



# LOI CLIMAT & RÉSILIENCE

## Les quatre grandes fonctions des sols

Les sols, en tant que ressource, sont au cœur des grands enjeux environnementaux, climatiques et sociétaux. Ils sont aussi importants pour garantir la préservation de la biodiversité ou la disponibilité d'une eau de qualité, que pour lutter contre le changement climatique, prévenir certains risques ou encore assurer la sécurité alimentaire. Malgré ces rôles vitaux, **les sols subissent les effets des activités humaines qui entraînent des dégradations multiples** : érosion, imperméabilisation, compaction, artificialisation, pollution, etc.

Contrairement à certaines idées reçues, **la ressource « sol » est fragile** : elle ne se renouvelle que très lentement et n'est pas illimitée. On peut même considérer qu'il s'agit **une ressource non renouvelable à l'échelle humaine**, qui mérite à ce titre une attention particulière, pour sa préservation voire sa restauration.

C'est autour de ces enjeux de préservation d'une ressource précieuse et non renouvelable que s'est construite **la loi Climat et résilience**, qui fixe l'objectif d'une absence de toute artificialisation nette ou de toute altération durable des sols à l'horizon 2050. **Ce changement de cap invite à la sobriété foncière et à changer de regard** sur les sols, à développer une approche qualitative pour limiter leur artificialisation et prioriser la préservation durable de leurs fonctions écologiques.

Une meilleure connaissance des sols s'avère incontournable pour accompagner les territoires dans les défis que soulève l'application du **Zéro artificialisation nette (ZAN)**. L'Agence s'est donc donnée pour objectif de **mieux connaître** et **décrypter** pour ses membres « l'écosystème sol » dans toute sa complexité, afin de donner aux décideurs des clés de compréhension et faciliter l'intégration de la donnée « sols » dans les projets urbains et la planification territoriale.

**Cette note explore la notion de multifonctionnalité, en dressant le portrait des quatre grandes fonctions écologiques des sols énoncées par la loi Climat et résilience et aborde les axes de restauration des sols, piliers de leur désartificialisation.**



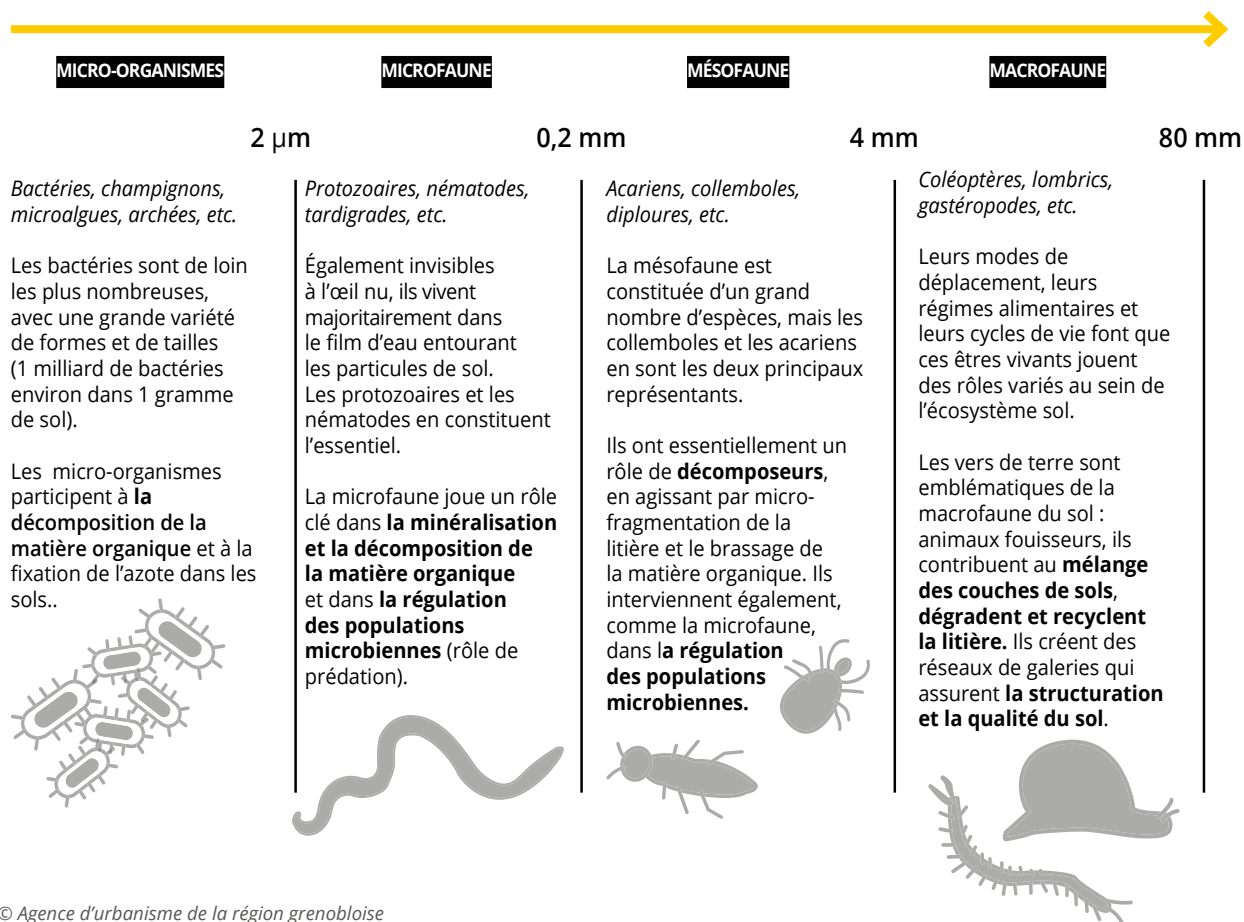
## LE SOL, UN DES PRINCIPAUX RÉSERVOIRS DE BIODIVERSITÉ

Les sols hébergent environ **un quart de la biodiversité terrestre totale**<sup>1</sup> (en nombre d'espèces). Bactéries, champignons, collemboles, insectes, myriapodes, etc. vivent et interagissent dans le sol, chacun de ces groupes d'espèces de faune du sol jouant un rôle important et complémentaire dans sa fonctionnalité. Cette richesse biologique est à l'origine même de la fonction biologique du sol.

Ainsi, évaluer la qualité d'un sol passe par la mise en place d'indicateurs d'abondance et de diversité de la pédofaune (faune du sol), en prenant en compte ses interactions au sein de l'écosystème sol.

### ■ Richesse et diversité de la faune du sol : de la bactérie au ver de terre

Les scientifiques distinguent généralement **4 grands groupes de faune du sol** en fonction de leurs dimensions :



© Agence d'urbanisme de la région grenobloise

### TRAME VERTE, TRAME BLEUE ... TRAME BRUNE ?

La trame brune est une expression forgée sur le modèle de la trame verte et bleue, pour mettre en valeur l'importance du maintien ou du rétablissement des **continuités écologiques des sols**, indispensables pour la préservation de la biodiversité et des écosystèmes.

Ce concept, récent, cherche encore une définition stabilisée : pour l'UPGE (union professionnelle du génie écologique), la trame brune serait « constituée par l'ensemble tridimensionnel des éléments biotiques (relatifs au monde vivant) et abiotiques (relatifs au milieu) constituant des sols permettant d'assurer les fonctions et continuités écologiques nécessaires aux organismes réalisant tout ou partie de leur cycle de vie dans la pédosphère. »

<sup>1</sup> Source : *European Atlas of Soil Biodiversity*, European Commission, Publications Office of the European Union. 2010.

## LE SOL AU CŒUR DU CYCLE DU CARBONE

A l'interface entre terre et ciel, les sols sont **en interaction avec l'atmosphère et l'évolution du climat**. Ils échangent en permanence des gaz à effet de serre (GES) avec l'atmosphère, notamment du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) capté lors de la photosynthèse des végétaux.

### Le rôle clé de la matière organique des sols

Dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, les sols sont souvent mis en avant pour leur **capacité à séquestrer puis stocker dans certaines conditions le carbone atmosphérique** sous forme de matière organique : ils constituent ainsi un maillon crucial dans le cycle du carbone.

La matière organique du sol se définit comme tout ce qui est vivant ou a été vivant dans le sol. Elle constitue **le réservoir de carbone organique terrestre le plus important**, devant la biomasse des végétaux.

Ce carbone organique provient majoritairement de la décomposition des végétaux. A la mort des plantes ou lors du renouvellement de certains organes (feuilles, racines, etc.), la matière organique « fraîche » est dégradée (on parle de « décomposition ») et incorporée dans les sols de manière plus ou moins évoluée et stable : **ce processus correspond à la séquestration de carbone par les sols**. Cette matière organique subit ensuite un processus de dégradation sous l'action des micro-organismes du sol, dont la rapidité dépend des conditions du milieu (aération, humidité, température, etc.) : c'est **la minéralisation**. Cette dégradation produit du CO<sub>2</sub> qui est émis en retour dans l'atmosphère notamment via la respiration des organismes du sol.

### Une fonction qui résulte de l'équilibre entre plusieurs phénomènes

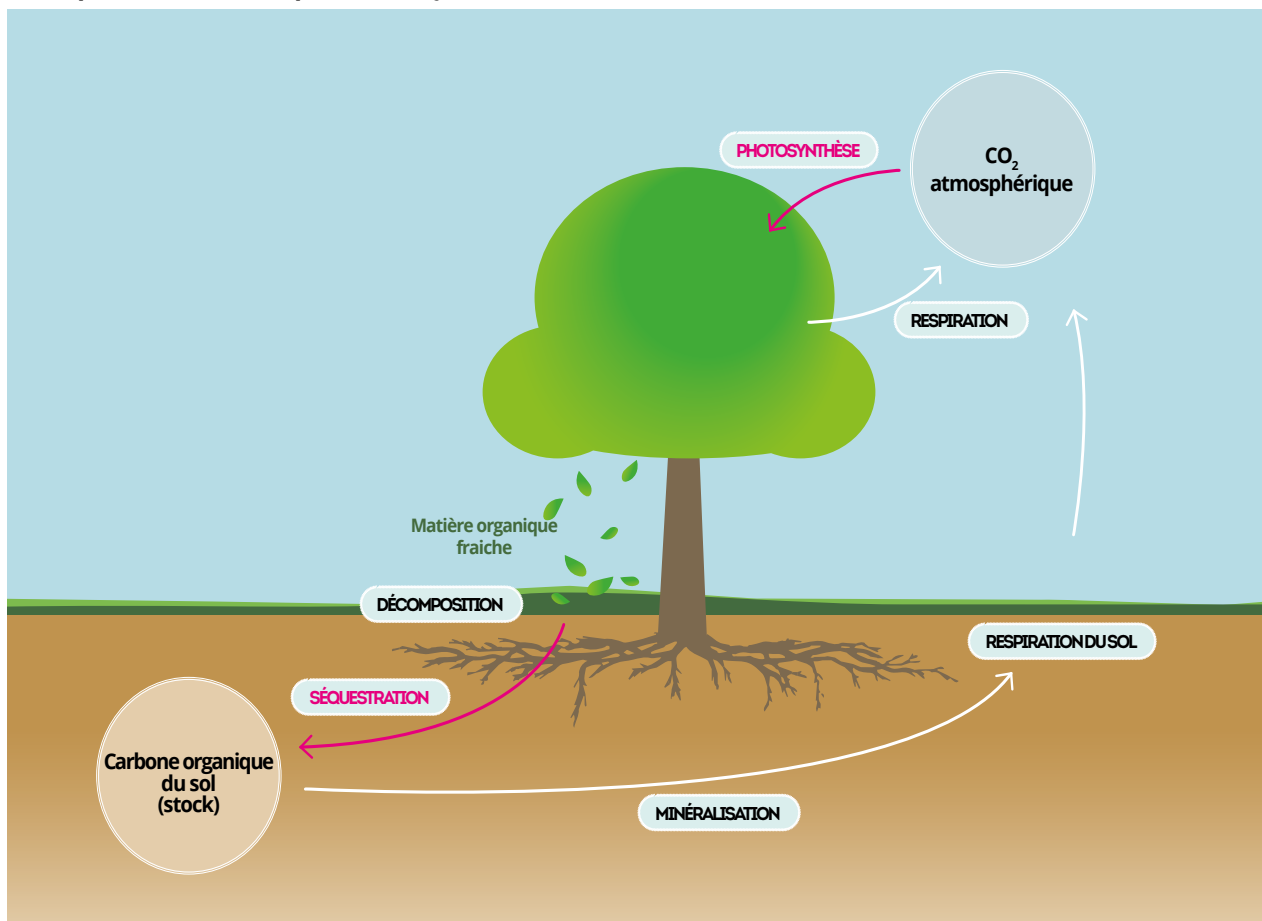
**Les stocks de carbone dans les sols dépendent de l'équilibre entre séquestration et minéralisation**. Ainsi, si les sols constituent majoritairement un « puits » de CO<sub>2</sub>, ils sont parfois également une source de CO<sub>2</sub> atmosphérique.

A titre d'exemple, la minéralisation de la matière organique du sol sous l'effet de changements d'occupation ou d'usage (déforestation, retournement de prairies, etc.) peut être à l'origine de flux de CO<sub>2</sub> vers l'atmosphère. L'imperméabilisation des sols amène par ailleurs à une perte de leurs capacités de stockage du carbone en bloquant les apports de matières organiques liés au végétal de surface.

## CHIFFRE CLÉ

A l'échelle planétaire, ce sont quelque **2 500 milliards** de tonnes de carbone qui sont présents dans le sol, soit deux à trois fois plus que dans l'atmosphère, essentiellement sous forme de matière organique. *Source : GIS sol, INRAE*

## ■ Représentation simplifiée du cycle du carbone



© Agence d'urbanisme de la région grenobloise

L'évolution du stock de carbone organique dans les sols résulte de l'équilibre entre les apports de matière organique au sol, leur taux de séquestration, et la dynamique de minéralisation (ou dégradation) par les organismes du sol.

## LE SOL, UN MAILLON ESSENTIEL DU CYCLE DE L'EAU

La fonction hydrique renvoie directement à la capacité d'un sol d'agir sur la qualité de l'eau, sur le régime des eaux superficielles et l'alimentation des eaux souterraines :

- Le sol partage l'eau de pluie (ou l'eau d'irrigation) en deux flux : une partie ruisselle à sa surface et l'autre s'infiltré en profondeur. Le sol a ainsi un **rôle de régulation** du transfert de l'eau entre l'atmosphère, les nappes souterraines et les cours d'eau.
- Par sa capacité de stockage, il sert aussi de **réservoir d'eau pour les plantes**, qui la restituent ensuite à l'atmosphère, principalement via leur transpiration (dite aussi évapotranspiration).
- Il peut aussi contribuer à l'**épuration de l'eau**, comme celle ayant ruisselé sur une surface polluée par exemple, par son **rôle de filtration**.
- L'eau est également indispensable aux organismes vivants des sols (animaux, végétaux, bactéries, champignons, etc.).

Le phénomène d'imperméabilisation constitue l'une des principales causes d'altération de cette fonction.

### Imperméabilisation versus désimperméabilisation

L'imperméabilisation des sols correspond au recouvrement d'un sol par un matériau qui **réduit ou supprime la capacité d'infiltration de l'eau** (tel que l'enrobé ou le béton). Le sol ne peut alors plus jouer son rôle hydrique. Le ruissellement des eaux de pluie sur ces surfaces imperméabilisées accentue par ailleurs localement le **risque d'inondation**.

L'action de désimperméabilisation vise alors à redonner de la perméabilité à la couche superficielle du sol, en supprimant les surfaces imperméables, ou en ayant recours à des revêtements poreux et drainants. Quelle que soit la solution choisie, l'enjeu est de réussir à restaurer la capacité d'infiltration et donc la fonction hydrique du sol.

#### ■ Utilisation d'un revêtement poreux pour le stationnement



© Agence d'urbanisme de la région grenobloise

#### SOLS ET RÉTENTION D'EAU

La capacité du sol à retenir l'eau dépend en premier lieu de sa porosité ; en effet 30 à 60 % du volume total d'un sol est constitué d'air (source : GIS Sol).

Des pores bien connectés faciliteront la circulation de l'eau. Plus les pores du sol sont petits (dans le cas d'un sol compacté par exemple), moins l'eau peut y circuler, et plus elle est retenue fortement. Les pores d'un diamètre inférieur à 0,2 µm sont trop petits pour permettre la circulation de l'eau, elle est donc inaccessible et inutilisable par les plantes. Ces eaux de pluie stockées temporairement dans le sol sous forme d'humidité sont appelées « eaux vertes » (les « eaux bleues » quant à elles font référence aux eaux douces de surface et souterraines).

## LE SOL ET SON POTENTIEL AGRONOMIQUE

Introduit dans les termes de la loi Climat & résilience (Cf. page 2) à la suite des fonctions biologiques, hydriques et climatiques, **le potentiel agronomique est une notion intégratrice proche de celle de la fertilité et dépendante des précédentes fonctions**. Cela signifie que le potentiel agronomique d'un sol ne pourra s'exprimer que si les autres fonctions des sols sont assurées.

### La fertilité d'un sol : un facteur clé de la croissance des végétaux

Aux sens agronomique et environnemental, la fertilité est définie comme **la capacité intrinsèque d'un sol à soutenir la productivité végétale**, ce qui permet de minimiser les apports de fertilisants.

Elle dépend :

- De dimensions spécifiques du sol comme la texture, la charge en cailloux ou encore la profondeur.
- De paramètres directement influencés par les pratiques agricoles comme le pH, la teneur en matière organique, la teneur en éléments minéraux nutritifs, etc.

**La matière organique du sol constitue un des indicateurs essentiels de la fertilité d'un sol** : mélange de matières carbonées d'origine animale ou végétale, vivantes ou mortes (en cours de décomposition), la matière organique représente 1 à 10 % des constituants du sol. Elle constitue un important **réservoir d'éléments nutritifs** (carbone, azote, phosphore, etc.) pour les organismes du sol. Le taux de matière organique conditionne également la **capacité d'un sol à fournir des nutriments aux plantes** via leur système racinaire.

### Le potentiel agronomique, une notion plurielle

De nombreux projets de recherche tentent d'appréhender cette notion de potentiel agronomique, **sous forme d'indicateurs de synthèse** et en produisent des cartographies à l'échelle de grands territoires. Les paramètres utilisés sont par exemple la pierrosité, la profondeur, la texture, la structure, le taux de matière organique ou encore la réserve en eau utile.

Un sol présentant un potentiel agronomique satisfaisant sera en capacité de soutenir la production de biomasse végétale à la base de l'alimentation humaine. Toutes les cultures n'ont cependant pas les mêmes besoins en termes de nutrition, d'enracinement, d'apports en eau, etc. Une variabilité existe en fonction des espèces cultivées. **Ainsi il n'y a pas un potentiel agronomique mais plutôt des potentiels agronomiques.**

**> Aller + loin :** Les travaux du GIS Sol liés au potentiel agronomique.



© Agence d'urbanisme de la région grenobloise

## QUELS OBJECTIFS SE DONNER POUR RESTAURER LES FONCTIONS D'UN SOL DÉGRADÉ ?

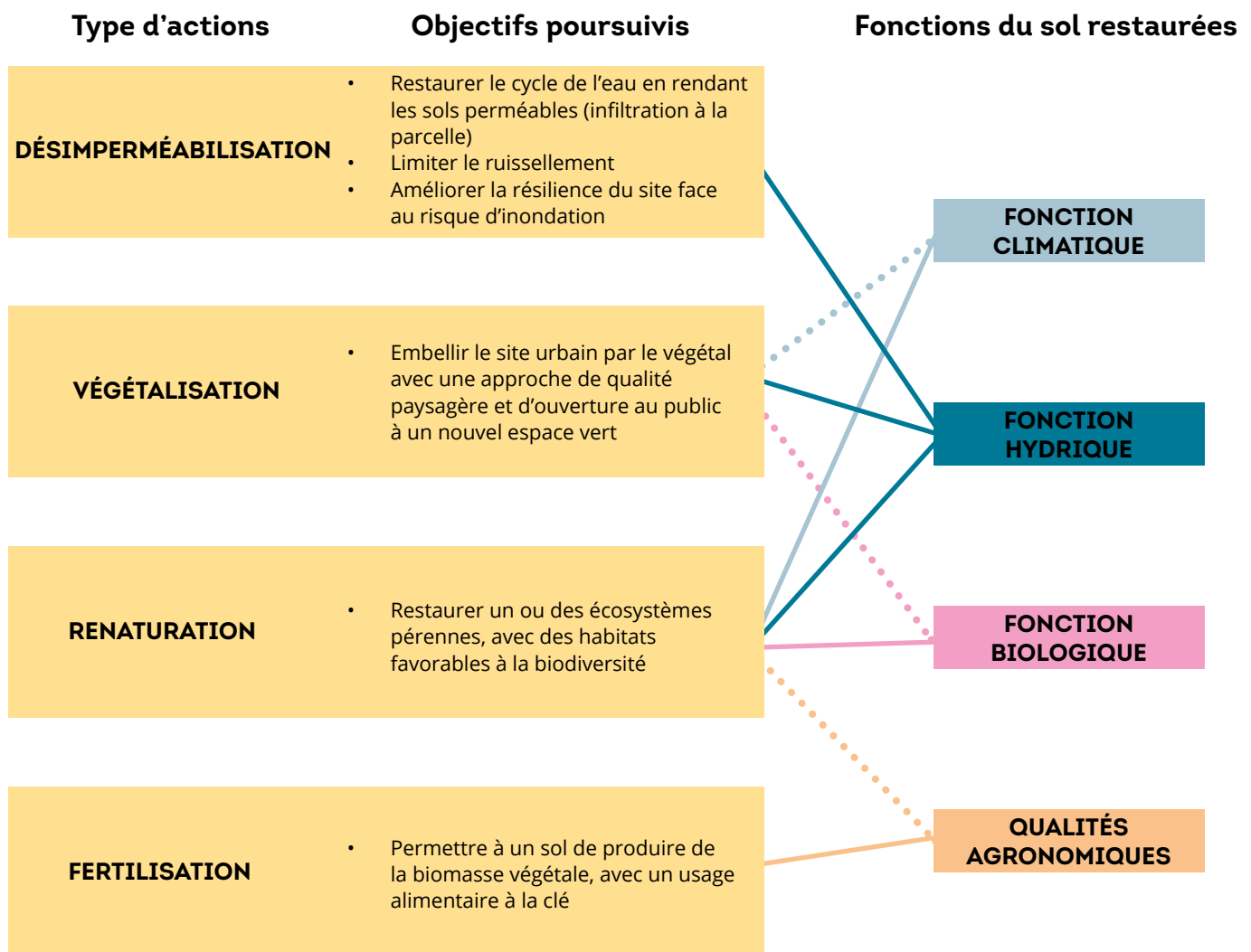
D'un point de vue écologique, les sols sont des entités vivantes dont les composantes sont en étroite relation avec les facteurs environnementaux et les usages qui en sont faits.

Dans ce contexte, la première étape d'une démarche de restauration d'un sol doit être **l'identification de la ou des causes de la dégradation**, au regard de l'historique du site. Il convient également de **se doter d'une vision claire de la vocation finale** attendue pour l'espace à réhabiliter (exemple : un espace vert, un espace de loisir, une zone d'agriculture urbaine, un écosystème naturel, etc.).

Sur cette base, il sera alors possible de **définir des objectifs de restauration** puis de préciser la feuille de route des différentes actions à réaliser pour les atteindre. Ces actions ou leur combinaison, pourront permettre de restaurer, par étapes, une ou plusieurs des quatre fonctions du sol. Elles participent toutes du processus global de désartificialisation du sol.

**Dans le cadre d'un projet urbain ou de valorisation d'espaces non bâtis, intégrer la donnée sol permet de formuler des préconisations d'usage et d'aménagement corrélées aux fonctionnalités assurées par ce sol.**

### ■ Les différents types d'actions permettant de désartificialiser les sols



Les objectifs sont atteints et les fonctions restaurées sous réserve de respecter certaines précautions (ex. : ne pas polluer le sol - fertilisants chimiques, ne pas importer d'espèces exotiques envahissantes lors de la végétalisation, etc.).

— Fonction restaurée principalement  
 ..... Fonction restaurée partiellement

## COMMENT ÉVALUER LA QUALITÉ D'UN SOL ?

La qualité d'un sol fait référence à ses propriétés physiques, chimiques, biologiques et agronomiques qui sont le résultat de son contexte pédoclimatique spécifique et de son historique (ses occupations et usages passés). **Cette notion de qualité renvoie ainsi à l'aptitude du sol d'assurer une ou plusieurs des fonctions écologiques.**

**Sept paramètres influencent la multifonctionnalité des sols et leur analyse permet d'évaluer la qualité d'un sol.** Ils se rapportent à des aspects intrinsèques des sols, donc relativement stables dans le temps, à l'exception du pH de surface, plus variable<sup>1</sup>. Chacun de ces critères peut faire l'objet d'une première estimation sur le terrain puis de mesures consolidées et protocolées en laboratoire.

### LA PROFONDEUR DU SOL

= la distance depuis la surface jusqu'à l'apparition de la roche mère non altérée.

Elle dépend de la nature de la roche mère, de l'âge du sol et des conditions de sa création (pédogénèse).

Elle détermine la possibilité d'enracinement des plantes, le stockage de l'eau et du carbone, et la capacité de filtration des eaux.

### LA TEXTURE DU SOL

= les proportions relatives entre particules argileuses, limoneuses et sableuses.

Elle influence la circulation de l'eau, l'enracinement des plantes, la disponibilité des éléments minéraux et l'aération du sol.

### LE TAUX DE MATIÈRE ORGANIQUE

= l'ensemble des constituants organiques morts ou vivants, d'origine végétale, animale ou microbienne, transformés ou non.

Plus la teneur en matière organique est élevée, plus la couleur du sol est foncée.

Ce paramètre agit principalement sur la capacité de stockage en carbone, l'activité biologique (notamment microbienne) et participe de la stabilité structurale du sol.

### LA STRUCTURE DU SOL

= le mode d'arrangement des différentes particules solides (sables, limons, argiles, matières organiques).

Dans un sol bien structuré, les particules sont liées en agrégats. Les grands espaces vides entre les agrégats (macropores) permettent à l'eau et à l'air de circuler et aux racines de s'enfoncer dans le sol. Les petits (micropores) retiennent quant à eux l'eau dont les plantes ont besoin.

Cette structure « idéale » est appelée structure grumeleuse.

### LE pH DU SOL

= mesure du degré d'acidité ou d'alcalinité d'un sol.

Il dépend de la nature de la roche mère (calcaire = pH élevé) et du processus d'humification (formation de l'humus à partir de matière organique sous l'action des micro-organismes).

Il influence la disponibilité des éléments minéraux et la capacité des végétaux à les assimiler.

### LA PIERROSITÉ

(Ou charge en éléments grossiers) = la proportion des constituants minéraux du sol de diamètre supérieur à 2 millimètres.

La quantité d'éléments grossiers va influencer les minéraux disponibles, la capacité d'infiltration et de rétention de l'eau, l'aération du sol, l'enracinement des plantes.

### LE RÉSERVOIR UTILE EN EAU

= la quantité maximale d'eau que le sol peut retenir et rendre disponible pour les plantes.

Ce réservoir joue un rôle crucial dans divers processus, notamment la circulation de l'eau dans le sol, l'infiltration de l'eau et la qualité de l'enracinement des plantes.

© Agence d'urbanisme de la région grenobloise

Au-delà de ces paramètres, **la qualité d'un sol est aussi influencée par les pratiques**, notamment agricoles, qui vont agir sur la disponibilité en éléments nutritifs dans le sol (par exemple l'utilisation d'engrais azotés, phosphatés et autres).

La qualité d'un sol ne se définit pas dans l'absolu mais par rapport à des usages attendus. Un sol peut donc être de bonne qualité pour un usage donné mais pas pour un autre usage.

<sup>1</sup> La saison, l'activité biologique et les précipitations excessives peuvent entraîner une modification du pH. Les pratiques culturales et l'utilisation d'engrais ammoniacaux augmentent également l'acidité d'un sol.

## A L'AGENCE, DÉVELOPPER UNE APPROCHE DE LA MULTIFONCTIONNALITÉ DES SOLS

Une petite équipe de collaboratrices et collaborateurs de l'Agence, experts de différentes thématiques (écologie, agronome et urbaniste), a été formée aux bases de la pédologie et d'un savoir-faire de terrain, afin d'être en capacité de conforter la vision des enjeux des sols au prisme du ZAN et de références sols locales.

Depuis début 2023, dans le cadre du chantier socle Parlon'ZAN, l'Agence conforte ainsi sa connaissance des sols afin d'être en capacité de mobiliser sur le terrain des indicateurs et protocoles simples, permettant d'approcher la qualité et la fonctionnalité des sols étudiés. Ces protocoles ont été expérimentés une première fois sur le terrain en octobre 2023, sur le site des Alloves (commune de Saint-Martin-d'Hères) dans le cadre d'une mission réalisée pour le compte de Grenoble-Alpes Métropole. L'Agence s'est dotée d'un matériel spécifique lui permettant de réaliser des sondages (tarière, outil mécanique utilisé pour creuser des trous dans le sol et observer les horizons) et d'analyser les échantillons de sol recueillis, à différentes profondeurs, selon les indicateurs suivants : texture, structure, couleur, pH, présence de calcaire, activité biologique, traces d'hydromorphie, etc.

### Approche expérimentale : croiser les regards sol et écologie

En 2023, Grenoble-Alpes Métropole a demandé aux deux partenaires, Agence d'urbanisme et Conservatoire des espaces naturels (CEN) Isère, de concevoir, tester puis calibrer une méthode « simple et rapide à mettre en œuvre », visant à identifier les enjeux écologiques d'un site et de répondre à deux objectifs :

1. **Identifier, cartographier et quantifier des « zones de vigilance »** dont l'artificialisation, la destruction ou l'altération, pourraient impliquer des mesures compensatoires :
  - Au titre de la perte de biodiversité ;
  - Au titre de l'artificialisation des sols, ce qui implique une analyse des grands types de sols présents.
2. A l'inverse, **faire ressortir les zones considérées comme artificialisées en l'état actuel** qui pourraient ainsi constituer un potentiel de désartificialisation *in situ* (renaturation au sens du ZAN).

Il s'agit avant tout d'anticiper l'application de la séquence ERC (Éviter-Réduire-Compenser) en se donnant les moyens et les connaissances de faire jouer à plein le « E », soit l'évitement des atteintes à la biodiversité et aux sols fonctionnels en place.

L'analyse pédologique « simplifiée » des sols a été confiée à l'Agence d'urbanisme. L'objectif est de **caractériser les profils des sols selon leurs fonctionnalités écologiques** (et donc leur niveau d'artificialisation) à travers des indicateurs simples à mettre en œuvre. La carte de synthèse des espaces à enjeux permet de croiser les analyses écologiques et pédologiques afin de faire ressortir :

- Les espaces d'intérêt écologique.
- Une évaluation du niveau de fonctionnalité des sols en trois catégories : sols non fonctionnels (considérés comme artificialisés), sols fortement à moyennement altérés (une ou plusieurs fonctions écologiques sont dégradées), sols fonctionnels (non artificialisés).



© Agence d'urbanisme de la région grenobloise



## POUR ALLER PLUS LOIN

- **Site du Groupement d'Intérêt scientifique Sol** : <https://www.gissol.fr/>
- **Site du Service géologique national**, le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), l'établissement public de référence dans les applications des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol : <https://www.brgm.fr/fr>
- **Portail citoyen « Notre environnement » sur les sols et sous-sols** : <https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/biodiversite/article/les-sols-et-sous-sols>
- **Site de Fertisols Auvergne Rhône-Alpes**, pour une gestion optimisée de la fertilité des sols : <https://agriressources.fr/fertisols/>

# théma

La loi Climat & résilience a introduit un changement de regard puisque les sols se regardent désormais en trois dimensions et au prisme de leurs qualités. Acteur privilégié pour accompagner les élus dans l'aménagement de leurs territoires, l'Agence d'urbanisme de la région grenobloise apporte son expertise pour décrypter l'écosystème sol et ses enjeux, qui vont de plus en plus devoir être pris en compte dans les documents de planification et les projets urbains à l'heure du ZAN.



**Retrouvez des ressources utiles  
sur le site de l'Agence**

**Les sols au prisme du ZAN**

**B.A-BA Sols & fonctions**

**B.A-BA Sols, préservation et altération**