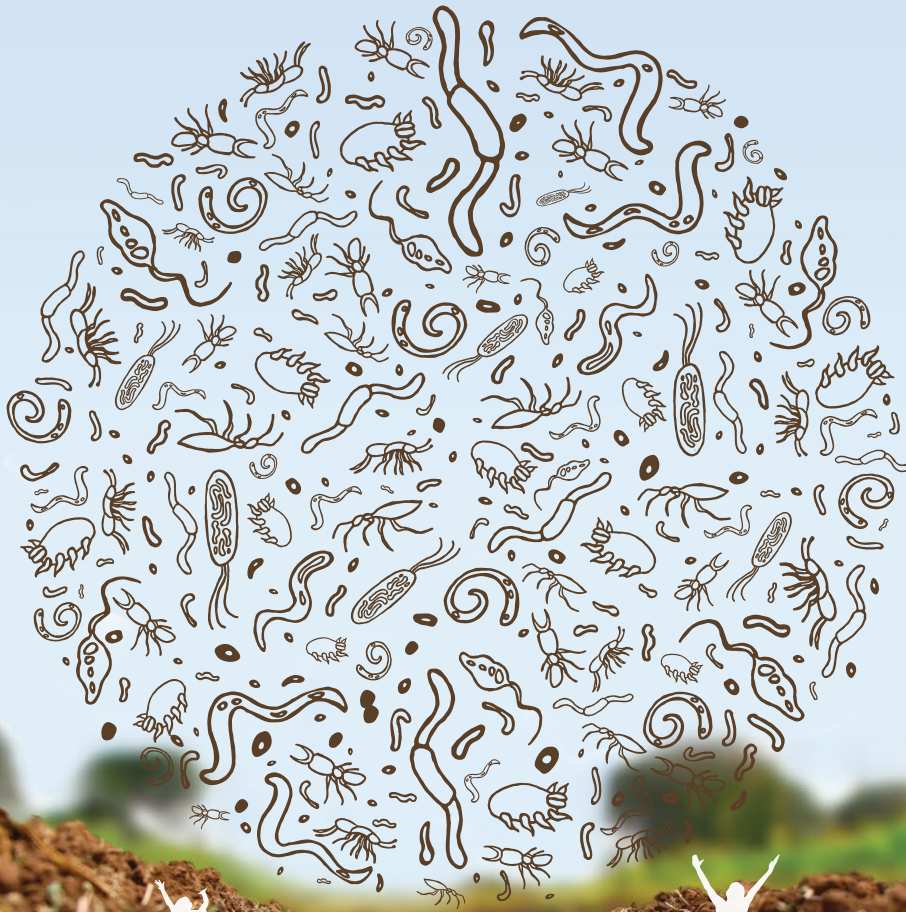




Organisation des Nations Unies  
pour l'alimentation  
et l'agriculture

Résumé à  
l'intention des  
décideurs

# L'ÉTAT des CONNAISSANCES sur la BIODIVERSITÉ des SOLS



## L'état actuel, les enjeux et potentialités

**itps**  
GROUPE TECHNIQUE  
INTERGOUVERNEMENTAL  
SUR LES SOLS



Convention sur la  
diversité biologique



PARTENARIAT  
MONDIAL  
SUR LES SOLS



Commission  
européenne



GLOBAL  
SOIL BIODIVERSITY  
INITIATIVE



# **L'ÉTAT** des **CONNAISSANCES** sur la **BIODIVERSITÉ** des **SOLS**

**L'état actuel, les enjeux et potentialités**

**Résumé à  
l'intention des  
décideurs**

### Citation requise

FAO, ITPS, GSBI, CDB et CE. 2021. *L'état des connaissances sur la biodiversité des sols - L'état actuel, les enjeux et potentialités, Résumé à l'intention des décideurs*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1929fr>

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), de l'Initiative mondiale sur la biodiversité des sols (GSBI), du Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (CDB) ou de la Commission européenne (CE) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Le fait qu'une société ou qu'un produit manufacturé, breveté ou non, soit mentionné ne signifie pas que la FAO, GSBI, CDB ou la CE approuvent ou recommandent ladite société ou ledit produit de préférence à d'autres sociétés ou produits analogues qui ne sont pas cités.

ISBN 978-92-5-134023-3 [FAO]

© FAO, 2021



Certains droits réservés. Ce travail est mis à la disposition du public selon les termes de la Licence Creative Commons - Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Partage dans les Mêmes Conditions 3.0 Organisations Internationales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.fr>).

Selon les termes de cette licence, ce travail peut être copié, diffusé et adapté à des fins non commerciales, sous réserve de mention appropriée de la source. Lors de l'utilisation de ce travail, aucune indication relative à l'approbation de la part de la FAO d'une organisation, de produits ou de services spécifiques ne doit apparaître. L'utilisation du logo de la FAO n'est pas autorisée. Si le travail est adapté, il doit donc être sous la même licence Creative Commons ou sous une licence équivalente. Si ce document fait l'objet d'une traduction, il est obligatoire d'intégrer la clause de non responsabilité suivante accompagnée de la citation indiquée ci-dessous: «Cette traduction n'a pas été réalisée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). La FAO n'est pas responsable du contenu ou de l'exactitude de cette traduction. L'édition originale [langue] doit être l'édition qui fait autorité.»

Tout litige relatif à la licence ne pouvant être réglé à l'amiable sera soumis à une procédure de médiation et d'arbitrage au sens de l'Article 8 de la licence, sauf indication contraire aux présentes. Les règles de médiation applicables seront celles de l'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (<http://www.wipo.int/amc/fr/mediation/rules>) et tout arbitrage sera mené conformément au Règlement d'arbitrage de la Commission des Nations Unies pour le droit commercial international (CNUDCI).

Documents de tierce partie. Les utilisateurs qui souhaitent réutiliser des matériels provenant de ce travail et qui sont attribués à un tiers, tels que des tableaux, des figures ou des images, ont la responsabilité de déterminer si l'autorisation est requise pour la réutilisation et d'obtenir la permission du détenteur des droits d'auteur. Le risque de demandes résultant de la violation d'un composant du travail détenu par une tierce partie incombe exclusivement à l'utilisateur.

Ventes, droits et licences. Les produits d'information de la FAO sont disponibles sur le site web de la FAO ([www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)) et peuvent être acquis par le biais du courriel suivant: [publications-sales@fao.org](mailto:publications-sales@fao.org). Les demandes pour usage commercial doivent être soumises à: [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request). Les demandes relatives aux droits et aux licences doivent être adressées à: [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org).

Photo de la couverture: ©FAO/Matteo Sala

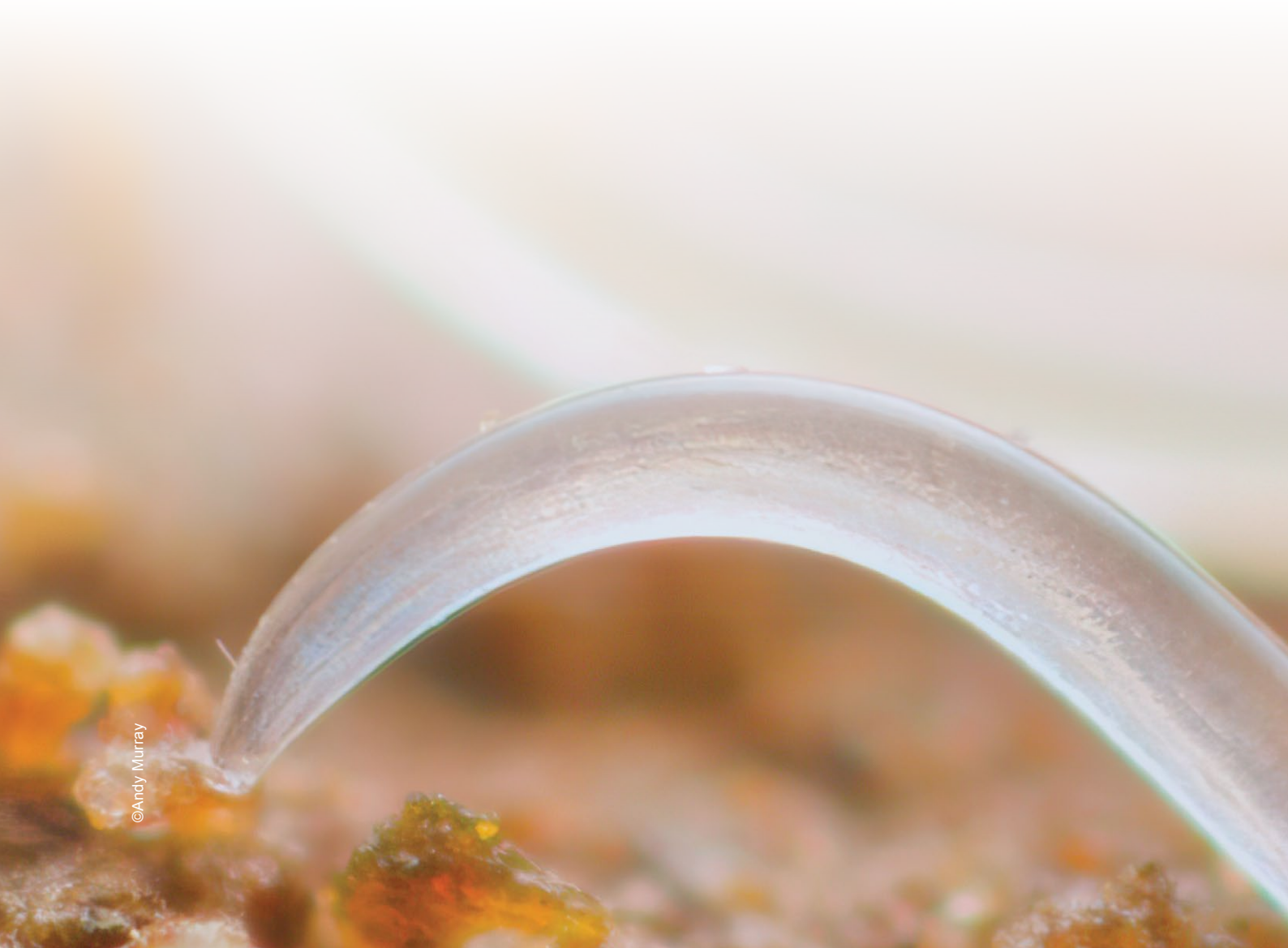
# Table des matières

<b>Préface</b>	IV
<b>Introduction</b>	1
<b>Messages clés</b>	2
<b>1 Les organismes du sol mènent des processus qui produisent des aliments, purifient le sol et l'eau, et préservent le bien-être humain et la santé de la biosphère</b>	2
Qu'est-ce que la biodiversité des sols?	2
Contributions de la biodiversité des sols	2
La biodiversité des sols et l'agriculture	4
La biodiversité des sols et le changement climatique	4
La biodiversité des sols et la santé humaine	5
La biodiversité des sols et la protection de l'environnement	5
<b>2 Notre compréhension actuelle du rôle des organismes du sol dans la croissance des plantes et la transformation des polluants a été mise à profit pour améliorer la production agricole et réhabiliter les sols dégradés</b>	8
Le secteur agricole	8
L'assainissement environnemental	12
Les défis de l'utilisation des organismes du sol	12
<b>3 Les progrès réalisés en laboratoire et en matière d'analyse au cours de la dernière décennie nous permettent d'aller au-delà de la recherche sur des espèces individuelles pour étudier des communautés entières d'organismes, et ainsi développer de nouvelles approches pour aborder la sécurité alimentaire et la protection de l'environnement</b>	14
L'industrie agricole	14
L'industrie alimentaire	14
La restauration des écosystèmes	14
<b>4 Les contributions essentielles des organismes du sol sont menacées par les pratiques de dégradation des sols. Les politiques qui minimisent la dégradation des sols et protègent la biodiversité des sols devraient faire partie intégrante de la protection de la biodiversité à tous les niveaux</b>	18
Les espèces exotiques envahissantes	23
L'intensification agricole	23
Évaluation de la biodiversité des sols	23
Développement de politiques	23
<b>La voie à suivre</b>	25

# Préface

Notre bien-être et les moyens de subsistance des sociétés humaines sont fortement tributaires de la biodiversité et des services écosystémiques qu'elle fournit. Il est essentiel que nous comprenions ces liens et les conséquences de la perte de biodiversité pour les différents défis mondiaux auxquels nous sommes actuellement confrontés, notamment l'insécurité alimentaire et la malnutrition, le changement climatique, la pauvreté et les épidémies. L'Agenda 2030 pour le développement durable définit une approche transformative pour parvenir au développement socio-économique tout en préservant l'environnement.

On accorde de plus en plus d'attention à l'importance de la biodiversité pour la sécurité alimentaire et la nutrition, en particulier la biodiversité de surface comme les plantes et les animaux. Cependant, moins d'attention est accordée à la biodiversité qui se trouve sous nos pieds, la biodiversité des sols. En 2002, la Conférence des parties (CdP) à la Convention sur la diversité biologique (CDB) a décidé, lors de sa sixième réunion, d'établir une initiative internationale pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité des sols et, depuis lors, l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a facilité cette initiative. En 2012, les membres de la FAO ont créé le Partenariat mondial sur les sols afin de promouvoir la gestion durable des sols et d'accroître l'attention portée à cette ressource cachée. L'état des ressources mondiales en sols (FAO, 2015) a conclu que la perte de la biodiversité des sols est considérée comme l'une des principales menaces globales pour les sols dans de nombreuses régions du monde.



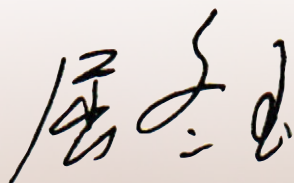
La 14<sup>e</sup> Conférence des Parties a invité la FAO, en collaboration avec d'autres organisations, à considérer la préparation d'un rapport sur l'état des connaissances sur la biodiversité des sols couvrant son état actuel, ses défis et ses potentialités. Ce rapport est le résultat d'un processus inclusif impliquant plus de 300 scientifiques du monde entier sous les auspices du Partenariat mondial sur les sols de la FAO et de son Groupe technique intergouvernemental sur les sols, de la Convention sur la diversité biologique, de l'Initiative mondiale pour la biodiversité des sols et de la Commission européenne. Le rapport présente l'état des connaissances sur la biodiversité des sols, les menaces qui pèsent sur elle, les solutions que la biodiversité des sols peut offrir à des problèmes dans différents domaines, notamment l'agriculture, la conservation de l'environnement, l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets, la nutrition, la médecine et les produits pharmaceutiques, la réhabilitation des sites pollués, et bien d'autres encore.

Le rapport apportera une contribution précieuse à la sensibilisation à l'importance de la biodiversité des sols et à la mise en évidence de son rôle dans la recherche de solutions aux menaces mondiales actuelles; il s'agit d'un sujet transversal au cœur de l'alignement de plusieurs cadres politiques internationaux, notamment les Objectifs de développement durable (ODD) et divers accords multilatéraux sur l'environnement. En outre, la biodiversité des sols et les services écosystémiques qu'elle fournit seront essentiels au succès de la récente Décennie déclarée Décennie des Nations unies pour la restauration des écosystèmes (2021-2030) et du prochain Cadre mondial pour la biodiversité pour l'après 2020.

La biodiversité des sols pourrait constituer, si un environnement favorable est mis en place, une véritable solution fondée sur la nature à la plupart des problèmes auxquels l'humanité est confrontée aujourd'hui, du niveau local au niveau mondial. Par conséquent, les efforts de conservation et de protection de la biodiversité devraient inclure l'ensemble invisible des micro-organismes qui constituent plus de 25 pour cent de la biodiversité totale de notre planète.

Directeur général de la FAO

*QU Dongyu*



Secrétaire exécutif de la CDB

*Elizabeth Maruma Mrema*







# Introduction

Une multitude de nouvelles connaissances scientifiques, techniques et autres concernant la biodiversité des sols ont été publiées depuis la création de l'Initiative internationale pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique des sols en 2002, la création de l'Initiative mondiale pour la biodiversité des sols en 2011, le Partenariat mondial sur les sols en 2012, et la publication de l'Atlas mondial de la biodiversité des sols par la Commission européenne en 2016.

Cette nouvelle vague de recherche est une conséquence de la croissance considérable des méthodes disponibles pour l'étude des organismes du sol par la communauté scientifique. Cette recherche a placé la biodiversité des sols au cœur des cadres politiques internationaux, y compris les Objectifs de développement durable (ODD). En outre, la biodiversité des sols et les services écosystémiques seront essentiels au succès de la récemment déclarée Décennie des Nations Unies pour la restauration des écosystèmes (2021-2030).

Ce résumé à l'intention des décideurs présente les principaux messages du rapport « L'état des connaissances sur la biodiversité des sols: l'état actuel, les enjeux et potentialités » préparé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le Groupe technique intergouvernemental sur les sols, le Partenariat mondial sur les sols, la Convention sur la diversité biologique, l'Initiative mondiale pour la biodiversité des sols et la Commission européenne. Le rapport est le résultat du travail de plus de 300 scientifiques et experts de la biodiversité des sols de toutes les régions du monde, et présente les meilleures connaissances disponibles sur les biotes des sols et leurs fonctions et services écosystémiques.

# Messages clés

## 1 Les organismes du sol mènent des processus qui produisent des aliments, purifient le sol et l'eau, et préservent le bien-être humain et la santé de la biosphère

### Qu'est-ce que la biodiversité des sols?

**Nous définissons la biodiversité des sols comme la variété de la vie dans le sol, des gènes et espèces aux communautés qu'ils forment, ainsi que les complexes écologiques auxquels ils contribuent et auxquels ils appartiennent, des micro-habitats du sol aux paysages.** La biodiversité des sols est essentielle pour la plupart des services écosystémiques fournis par les sols, qui bénéficient aux espèces du sol et à ses multiples interactions (biotiques et abiotiques) dans l'environnement. La biodiversité des sols soutient également la plupart des formes de vie de surface grâce aux liens de mieux en mieux compris entre la surface et le monde souterrain. Pour l'homme, les services fournis par la biodiversité des sols ont de fortes implications sociales, économiques, sanitaires et environnementales.

Les sols sont l'un des principaux réservoirs mondiaux de biodiversité, plus de 40 pour cent des organismes vivants des écosystèmes terrestres sont associés directement aux sols au cours de leur cycle de vie (Decaëns *et al.*, 2006). Les organismes du sol peuvent être divisés en différents groupes: microbes, micro, méso, macro et mégafaune. Ils comprennent un large éventail d'organismes, des formes unicellulaires et microscopiques aux invertébrés tels que les nématodes, les larves d'insectes et les vers de terre, les arthropodes et leurs stades larvaires, en passant par les mammifères, les reptiles et les amphibiens qui passent une grande partie de leur vie sous terre. De plus, il existe une grande diversité d'algues et de champignons, ainsi qu'une grande variété d'associations symbiotiques entre les microorganismes du sol et les algues, champignons, mousses, lichens, racines de plantes et invertébrés.

Ces organismes font partie d'un vaste réseau alimentaire qui assure le cycle de l'énergie et des nutriments depuis les formes microscopiques jusqu'aux organismes qui vivent sur le sol, en passant par la mégafaune du sol.

Pour les besoins du présent résumé, les termes «diversité biologique du sol» et «biodiversité souterraine» ont été utilisés comme synonymes et incluent les microbes et la faune du sol. De même, les termes diversité microbienne, microbes du sol, microbiome du sol et microorganismes du sol sont utilisés de manière interchangeable pour décrire spécifiquement la diversité microbienne du sol.

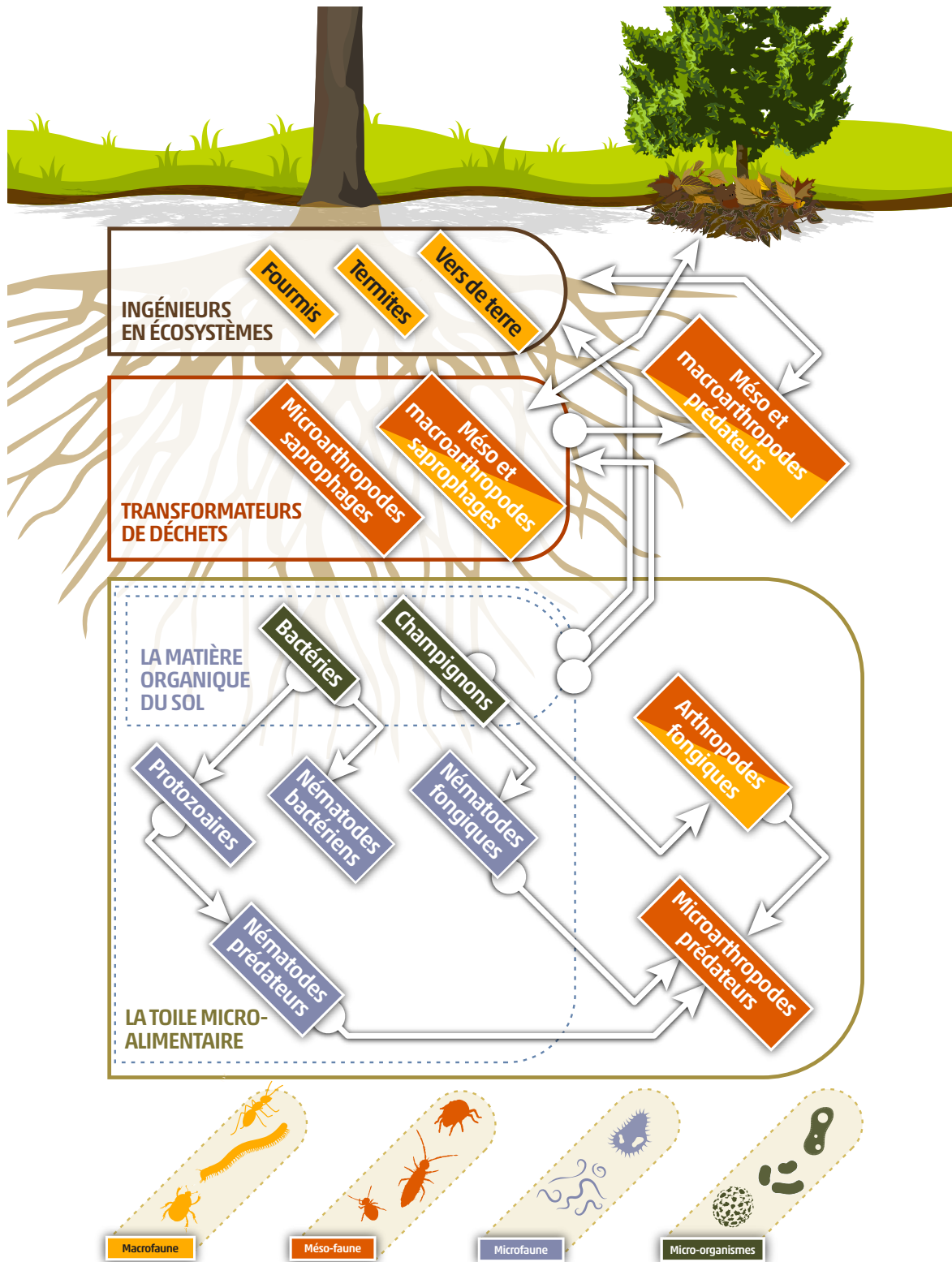
### Contributions de la biodiversité des sols

Les contributions des organismes du sol peuvent être regroupées en trois grandes catégories (figure 1). Premièrement, les **micro-organismes** du sol (c'est-à-dire les bactéries, les champignons) et la **microfaune** (c'est-à-dire les protozoaires et les nématodes) transforment les composés organiques et inorganiques par une série extraordinairement complexe de processus biochimiques. Ces transformations sont essentielles pour les services écosystémiques tels que la disponibilité des éléments nutritifs pour la croissance des plantes et autres organismes, la matière organique du sol et le cycle des éléments nutritifs, ainsi que la filtration, la dégradation et l'immobilisation des polluants dans l'air, l'eau et le sol.

Deuxièmement, les organismes du sol font partie d'un vaste réseau alimentaire qui assure le cycle de l'énergie et des nutriments depuis les formes microscopiques jusqu'aux organismes qui vivent au-dessus du sol, en passant par la mégafaune du sol. Une partie importante de la chaîne alimentaire est assurée par la **mésafaune**, comme les collemboles et les acariens, qui accélèrent la décomposition de la litière et améliorent le cycle et la disponibilité des nutriments (en particulier l'azote), et sont antérieurs aux organismes du sol plus petits (figure 1).

Enfin, la **macrofaune** et la **mégafaune** du sol telles que les vers de terre, les fourmis, les termites et certains mammifères agissent comme des ingénieurs de l'écosystème qui modifient la porosité du sol, le transport de l'eau et du gaz, et lient également les particules du sol en agrégats stables qui maintiennent le sol en place, réduisant ainsi l'érosion du sol (figure 1).

# Organisation du réseau trophique du sol



**Figure 1.** Modèle simplifié avec les groupes d'organismes du sol: micro-organismes, micro, méso et macrofaune regroupés en trois catégories dans le réseau alimentaire. Premièrement, la microfaune (lignes pointillées) comprend les bactéries et les champignons, qui sont à la base de la chaîne alimentaire et décomposent la matière organique du sol, qui représente la ressource de base de l'écosystème du sol, et leurs prédateurs directs, les protozoaires et les nématodes. Deuxièmement, les transformateurs de litière comprennent les microarthropodes qui fragmentent la litière, créant ainsi de nouvelles surfaces pour l'attaque microbienne. Enfin, les ingénieurs de l'écosystème, tels que les termites, les vers de terre et les fourmis, modifient la structure du sol en améliorant la circulation des nutriments, de l'énergie, des gaz et de l'eau.

## La biodiversité des sols et l'agriculture

Les organismes du sol sont à la fois une source de nutriments pour la croissance des plantes et le moteur des transformations des nutriments qui les rendent disponibles aux plantes. La teneur collective en carbone de toutes les cellules bactériennes du sol est comparable à celle de toutes les plantes sur terre, et leur teneur totale en azote et en phosphore est bien supérieure à celle de toute la végétation, faisant de ces micro-organismes la source principale des éléments nutritifs indispensables à la vie.

Les plantes fixent le carbone de l'atmosphère, mais elles nécessitent des macro et micronutriments qui sont absorbés par le sol pour créer de la biomasse et transférer des nutriments et de l'énergie. Les microbes et la microfaune du sol interagissent avec les facteurs abiotiques (température, pH, teneur en humidité) et sont à l'origine de ces processus de transformation.

La micro, la méso et la macrofaune du sol jouent un rôle clé dans la décomposition des résidus végétaux, permettant aux microorganismes du sol de libérer les nutriments et l'énergie liés à la matière végétale.

Le rôle des organismes du sol dans l'agriculture a de nombreux effets bénéfiques qui vont bien au-delà de la nutrition des plantes. Par exemple, les microbiotes du sol tels que les champignons mycorhiziens à arbuscules et les bactéries fixatrices d'azote peuvent réduire le coût et la dépendance à l'égard des engrais azotés synthétiques en agriculture, et améliorer la fertilité des sols et la durabilité environnementale, notamment en réduisant les émissions de gaz à effet de serre provenant de la fabrication à forte consommation d'énergie des engrais azotés.

## La biodiversité des sols et le changement climatique

Le rôle de la biodiversité des sols dans la lutte contre le changement climatique mondial ne peut être sous-estimé: les activités de la communauté des sols peuvent contribuer soit à l'émission de gaz à effet de serre, soit à l'absorption du carbone de l'atmosphère dans les sols. Dans le cadre des fonctions naturelles et des services écosystémiques fournis par les sols, un sol sain stocke plus de carbone que celui stocké dans l'atmosphère et la végétation réunies.

Le carbone est soit fixé, soit libéré par les sols, en fonction de l'activité des organismes du sol et des conditions du sol. Le carbone est fixé dans les sols par la transformation des débris végétaux et animaux, et certaines bactéries et archées peuvent également fixer le carbone en utilisant le CO<sub>2</sub> atmosphérique comme source d'énergie. Au-delà de leur rôle direct dans le cycle du carbone, les organismes du sol sont également essentiels aux efforts visant à réduire les émissions globales de gaz à effet de serre (GES) provenant de l'agriculture. À l'échelle mondiale, les écosystèmes agricoles contribuent chaque année entre 10 et 12 pour cent de toutes les émissions anthropiques directes de GES, dont 38 pour cent sont dues aux émissions d'oxyde nitreux dans le sol et 11 pour cent au méthane produit par la riziculture. Les microorganismes du sol sont impliqués dans chaque étape des transformations de l'azote et du carbone qui produisent ces gaz à effet de serre, et la gestion de l'environnement du sol pour minimiser les émissions est un objectif clé de la gestion durable des sols.



## La biodiversité des sols et la santé humaine

La biodiversité des sols soutient la santé humaine, à la fois directement et indirectement, au travers de la régulation des maladies et de la production alimentaire.

Depuis le début des années 1900, de nombreux médicaments et vaccins proviennent d'organismes du sol, des antibiotiques bien connus comme la pénicilline en passant par la bléomycine utilisée pour traiter le cancer et l'amphotéricine pour les infections fongiques. Dans un contexte d'augmentation des maladies dues à des micro-organismes résistants, la biodiversité des sols a un potentiel énorme pour fournir de nouveaux médicaments pour les combattre.

La biodiversité des sols et des sols sains contribuent à atténuer le risque de maladies d'origine alimentaire en renforçant les défenses des plantes contre les infections opportunistes. Par exemple, la très nocive bactérie *Listeria monocytogenes* est présente en faible concentration dans de nombreux sols agricoles, mais sa pathogénicité dépend de la richesse et de la diversité des communautés microbiennes du sol, ainsi que du type de sol, du pH et d'autres facteurs liés au sol.

La relation entre les racines des plantes et la biodiversité des sols permet aux plantes de fabriquer des produits chimiques tels que des antioxydants qui les protègent des parasites et autres facteurs de stress. Lorsque nous consommons ces plantes, ces antioxydants nous sont bénéfiques en stimulant notre système immunitaire et en contribuant à la régulation hormonale.

Une série d'études et de données suggère qu'une exposition précoce à une collection diversifiée de micro-organismes du sol pourrait aider à prévenir les maladies inflammatoires chroniques, notamment des allergies, de l'asthme, des maladies auto-immunes, des maladies intestinales inflammatoires et la dépression.

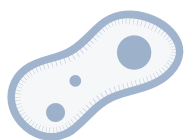
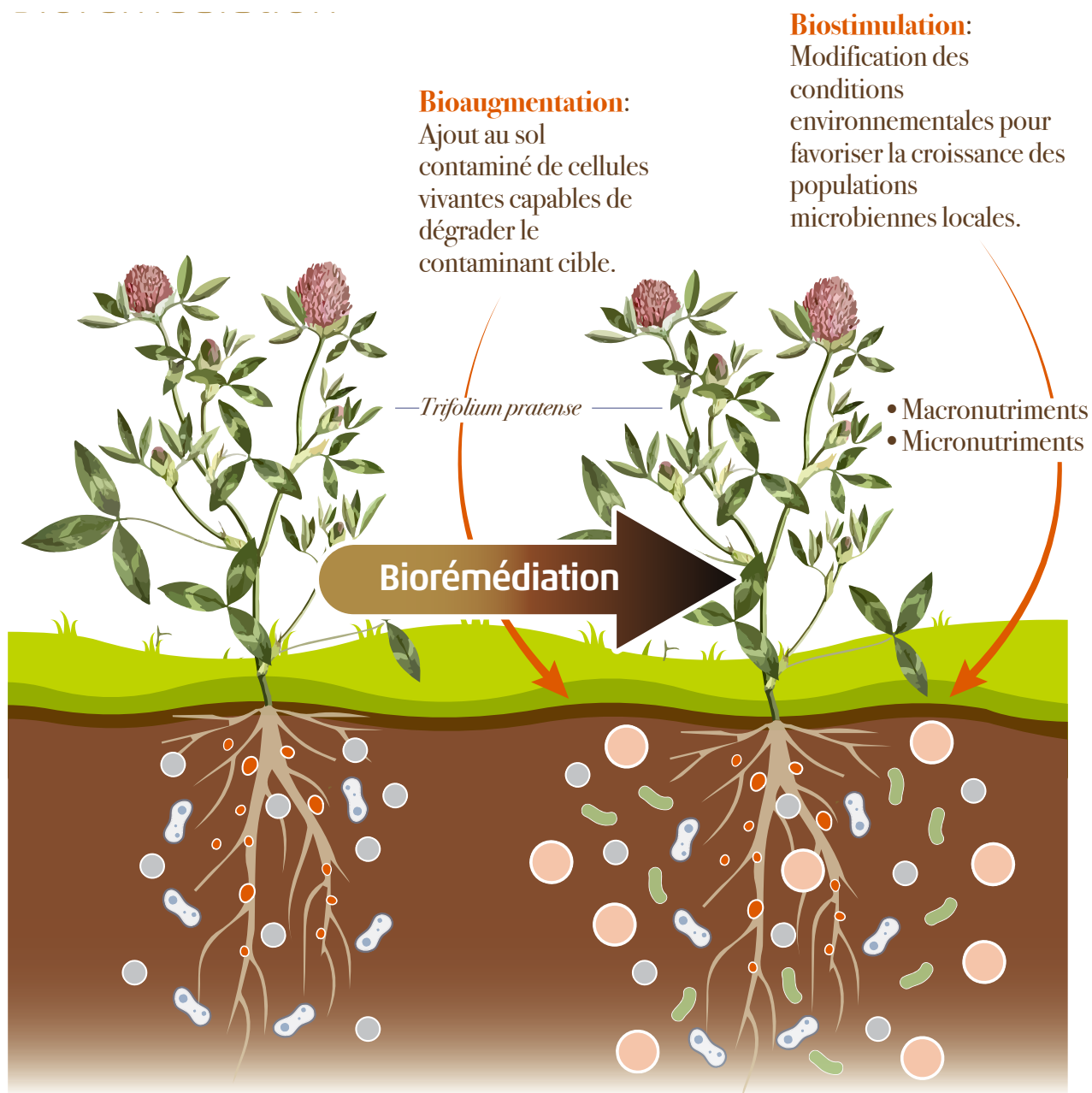
## La biodiversité des sols et la protection de l'environnement

Il est bien établi que la préservation de la biodiversité des sols est essentielle pour le maintien et l'amélioration de la biodiversité en surface. Les réseaux alimentaires complexes qui transfèrent les nutriments et l'énergie des matières organiques du sol, par l'intermédiaire des organismes vivant dans le sol, aux oiseaux, aux mammifères, aux reptiles et aux amphibiens, sont au cœur de la vie sur terre.

La biodiversité des sols peut atténuer les menaces qui pèsent sur les services écosystémiques, par exemple en agissant comme un outil puissant de biorestauration des sols contaminés. La biostimulation et la bioaugmentation sont des méthodes respectueuses de l'environnement qui contribuent à la filtration, à la dégradation et à l'immobilisation des contaminants cibles (figure 2). En outre, l'utilisation intégrale d'organismes tels que les microbes (bioaugmentation), les plantes (phytoremédiation) et les vers (vermiremédiation) comme stratégie de biorestauration dans les sols contaminés par les hydrocarbures s'est avérée être une alternative viable pour accroître l'élimination de ces derniers. D'autre part, la macrofaune du sol, telle que les vers de terre, les termites et les fourmis, joue un rôle important dans l'amélioration de la structure et de l'agrégation du sol, ce qui peut améliorer la résistance à l'érosion du sol causée par le vent et l'eau.



# Biorémédiation



**Bactéries indigènes**



**Bactéries exotiques**

**Figure 2.** Les microorganismes du sol comme outil de gestion des sols contaminés.



## 2 Notre compréhension actuelle du rôle des organismes du sol dans la croissance des plantes et la transformation des polluants a été mise à profit pour améliorer la production agricole et réhabiliter les sols dégradés

### Le secteur agricole

Les organismes couramment utilisés pour stimuler le cycle des nutriments comprennent les champignons mycorhiziens et les bactéries symbiotiques fixatrices d'azote (figure 3). Au Brésil et dans d'autres pays d'Amérique latine, l'inoculation de souches sélectionnées de bactéries *Bradyrhizobium* dans le soja est un exemple de réussite majeure. En 2018, le soja était cultivé sur une superficie d'environ 35 millions d'hectares au Brésil. L'inoculation de souches sélectionnées de *Bradyrhizobium* dans la production brésilienne de soja a totalement remplacé les engrais à base d'azote minéral (N), ce qui a permis d'économiser des milliards de dollars chaque année. Outre son énorme avantage économique, la fixation biologique de l'azote de l'atmosphère par le *Bradyrhizobium* est une biotechnologie propre qui évite la surutilisation d'engrais synthétiques (figure 4).

Les organismes du sol sont également utilisés actuellement dans les mesures de biocontrôle en agriculture. Le concept de base de la lutte biologique est de permettre à l'écosystème naturel de contrer le potentiel des parasites et, de manière générale, d'accroître la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes.

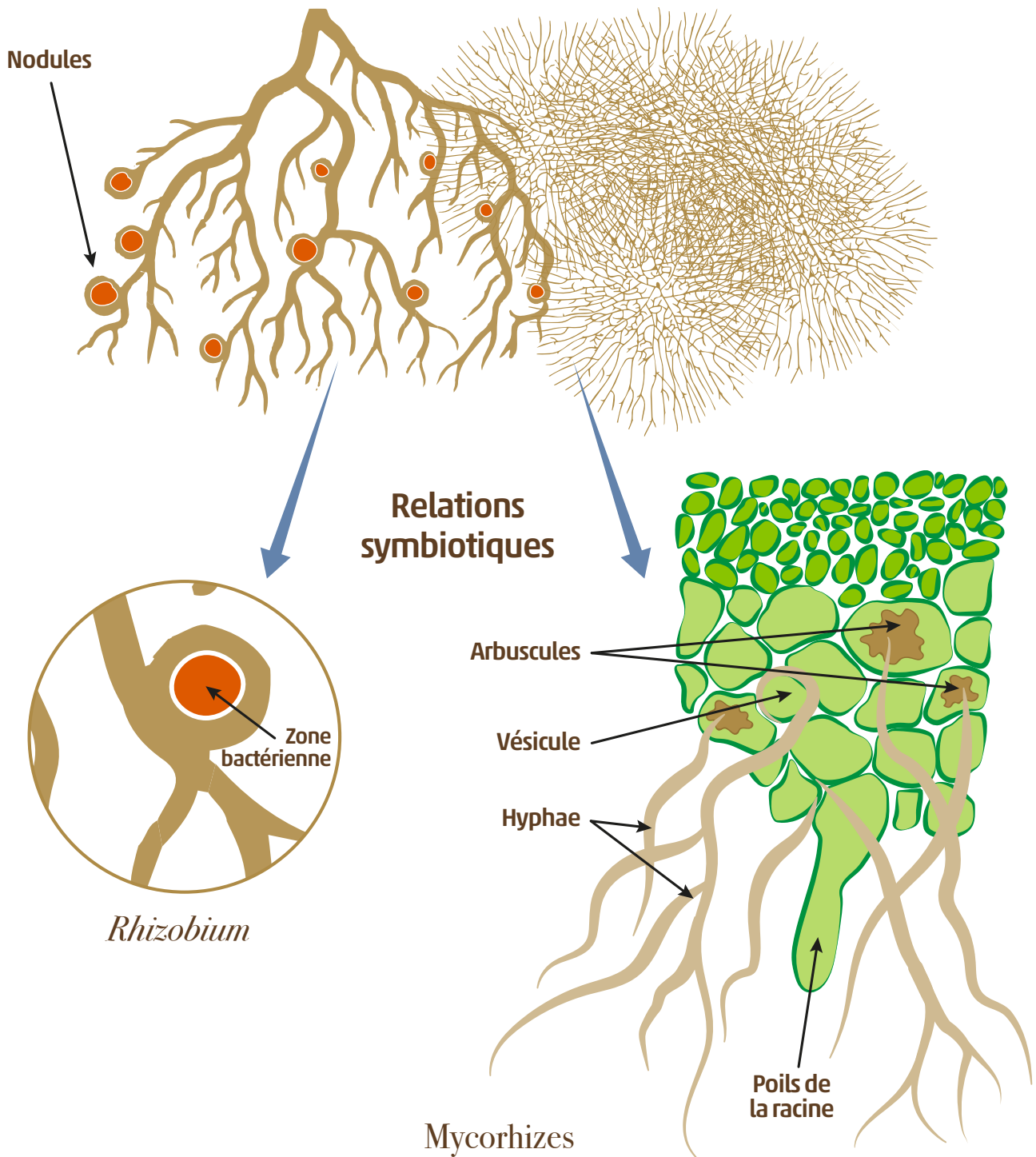
Au niveau mondial, le plus grand succès commercial d'un agent de lutte biologique est sans aucun doute le *Bacillus thuringiensis* (Bt), une bactérie commune isolée du sol. Le *Bacillus thuringiensis* est un agent de lutte biologique ayant une activité insecticide contre une série d'insectes différents, et les différentes souches et produits commercialisés augmentent la spécificité contre les organismes cibles (figure 5).

Des réactions négatives entre l'utilisation des organismes du sol et la production agricole se produisent également. Une proportion importante des antibiotiques utilisés dans les cultures et le bétail finissent dans le sol, ce qui affecte la biodiversité des sols et crée une résistance antimicrobienne chez les organismes vivant dans le sol.



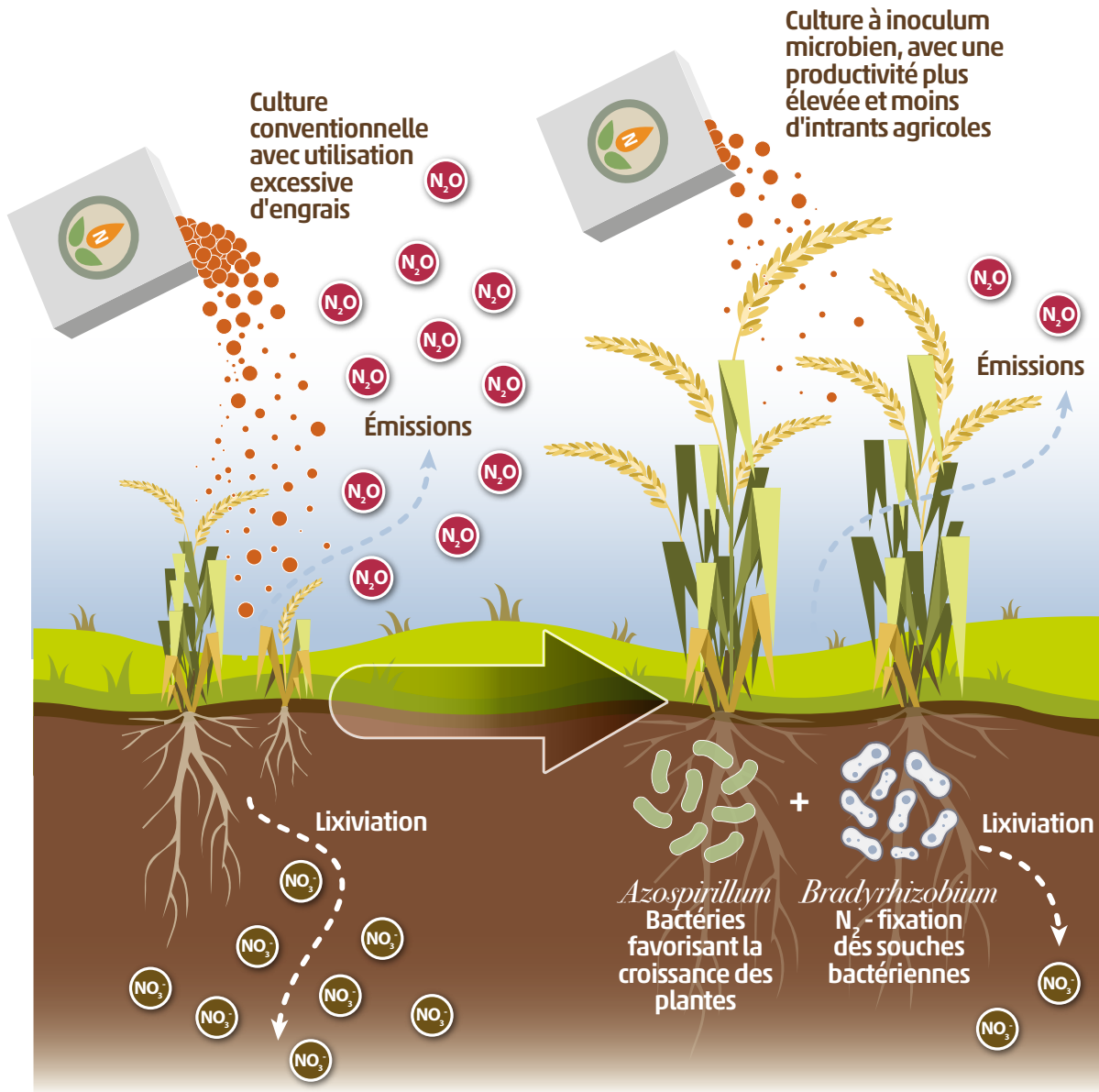


# La rhizosphère



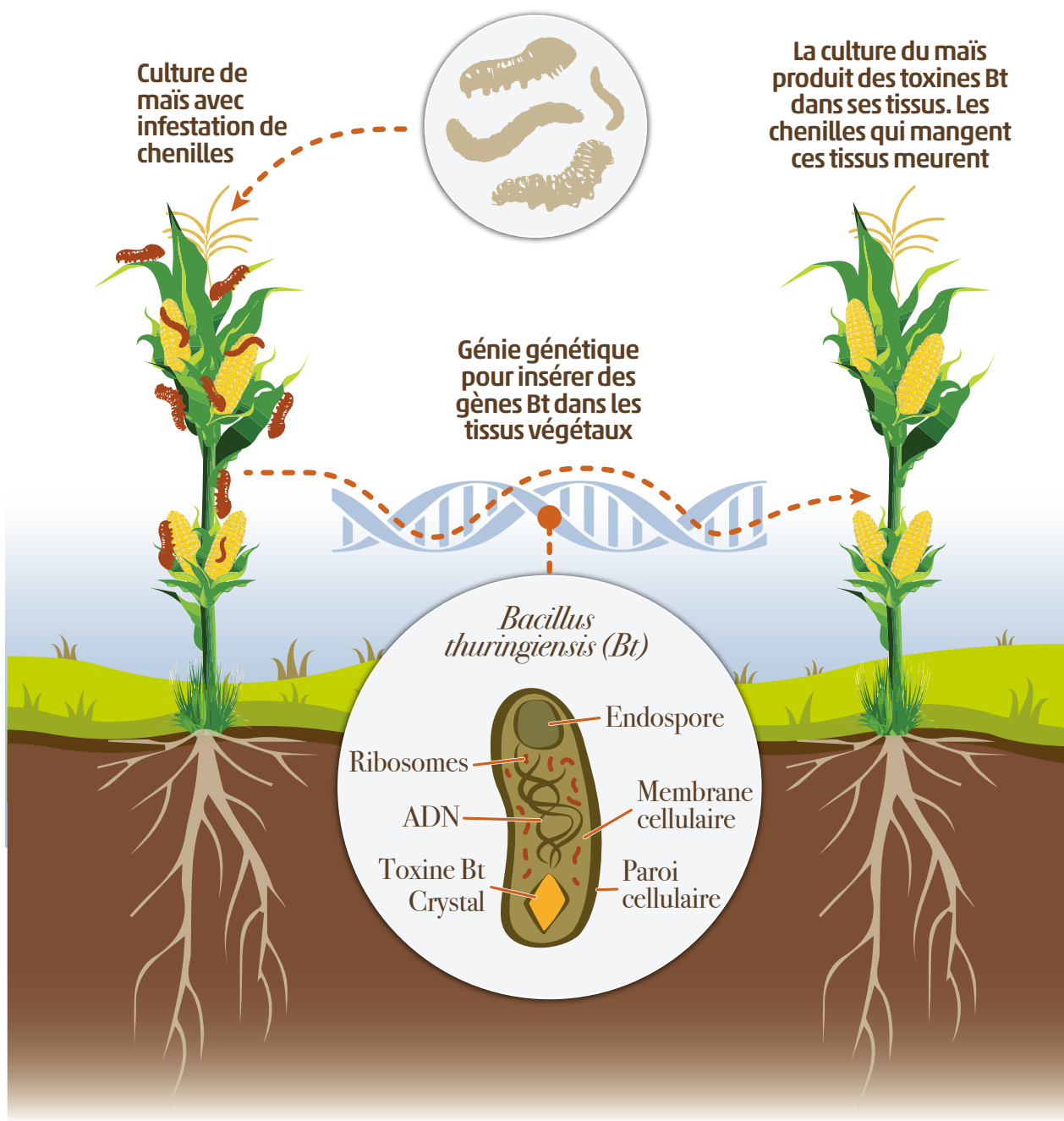
**Figure 3.** La rhizosphère est la région étroite du sol directement influencée par les sécrétions/exsudats des racines et les interactions des microorganismes associés. Les légumineuses reçoivent de l'azote - un nutriment limitant dans de nombreux sols -, sous forme d'ammoniac, grâce au rhizobium, une bactérie fixatrice d'azote qui forme des nodules dans les racines des plantes. En retour, le rhizobium reçoit des nutriments et un habitat de la part des racines. Les mycorhizes (champignons symbiotiques dans les racines) jouent un rôle clé dans la fourniture de services écosystémiques tels que la fertilité du sol, la formation et la maintenance du sol, le cycle des nutriments et l'amélioration de l'exploration du sol par les racines des plantes.

# Biotechnologie propre dans la production agricole



**Figure 4.** La co-inoculation de souches bactériennes (*Bradyrhizobium*) capables de fixer le  $N_2$  avec d'autres bactéries favorisant la croissance des plantes, telles que l'*Azospirillum* dans les céréales, pourrait remplacer une partie des engrais azotés minéraux, ce qui réduirait les émissions de gaz à effet de serre tels que le  $N_2O$  et diminuerait la lixiviation des formes réactives de l'azote ( $NO_3^-$ ) qui contaminent les eaux souterraines et les écosystèmes côtiers, tout en permettant d'économiser des investissements et des capitaux.

# Le contrôle biologique



**Figure 5.** *Bacillus thuringiensis* (Bt), une espèce de bactérie isolée du sol, a été utilisée avec succès comme agent de contrôle biologique contre les insectes. Le Bt produit une toxine intracellulaire qui, lorsqu'elle est ingérée par un insecte, est libérée dans l'intestin de l'insecte, le tuant. Les gènes qui produisent la toxine Bt sont insérés dans les cultures agricoles, en particulier le maïs, ce qui donne à la plante la capacité d'éviter l'attaque de certains organismes pathogènes.

## L'assainissement environnemental

Les technologies de bioremédiation peuvent conduire à la dégradation d'un contaminant cible jusqu'à un état inoffensif ou à des niveaux inférieurs aux limites de concentration établies par les autorités réglementaires. Les organismes du sol sont également utilisés directement pour transformer les composés toxiques en formes bénignes par biorestauration (figure 2). De nombreuses bactéries du sol peuvent transformer différents contaminants tels que les hydrocarbures saturés et aromatiques (par exemple, le pétrole, les produits chimiques synthétiques et les pesticides). Les bactéries et les champignons du sol peuvent réduire jusqu'à 85 pour cent les hydrocarbures pétroliers après un déversement.

## Les défis de l'utilisation des organismes du sol

De nombreux biofertilisants microbiens, biopesticides et autres produits connexes montrent de grands effets lorsqu'ils sont testés dans des conditions de laboratoire et de serre, mais ne donnent pas de résultats reproductibles dans des conditions de terrain. L'une des raisons est la difficulté pour certains organismes de survivre dans un environnement hautement compétitif.

Outre leur effet transitoire et leur dépendance à l'égard de l'environnement, le coût élevé des produits biologiques limite également leur adoption par les agriculteurs, et notamment les petits exploitants ayant un faible pouvoir d'achat et un accès limité au crédit.

En réponse à ces limitations, certains agriculteurs ayant une formation appropriée tentent de reproduire des consortiums natifs de micro-organismes du sol afin d'assembler des engrais biologiques, des produits de lutte biologique et des intrants agricoles biostimulants. À cette fin, les agriculteurs s'appuient sur des techniques relativement simples, rapides et abordables. L'utilisation de consortiums natifs ou d'espèces microbiennes natives - par opposition aux espèces exotiques - comme intrants agricoles peut être une stratégie efficace pour accroître la résistance biotique aux microorganismes pathogènes exotiques envahissants.





### 3 Les progrès réalisés en laboratoire et en matière d'analyse au cours de la dernière décennie nous permettent d'aller au-delà de la recherche sur des espèces individuelles pour étudier des communautés entières d'organismes, et ainsi développer de nouvelles approches pour aborder la sécurité alimentaire et la protection de l'environnement

Avec l'avènement de nouvelles méthodes, les chercheurs sont désormais en mesure de ne plus se focaliser sur des espèces individuelles. Les scientifiques ont commencé à découvrir comment la très grande biodiversité du microbiome du sol est liée au contrôle des agents pathogènes, à la santé des plantes, à l'augmentation du rendement et à une capacité accrue à surmonter le stress abiotique.

Au cours de la dernière décennie en particulier, les progrès des méthodes, notamment les techniques de séquençage moléculaire et les outils d'analyse comme le «big data», ont permis d'identifier les espèces vivant dans les sols et leurs communautés. L'intelligence artificielle présente un grand potentiel dans l'assemblage de données et l'agrégation d'informations provenant de multiples bases de données. La nouvelle métagénomique représente une approche prometteuse pour l'étude simultanée de toutes les informations basées sur l'ADN dans les sols, y compris tous les groupes d'organismes du sol et les informations génétiques fonctionnelles.

#### L'industrie agricole

New molecular techniques using next generation molecular sequencing allow for improved knowledge of what organisms are in the soil, and what effects those organisms are likely to have on associated cropping

systems. This knowledge provides predictive power to our understanding of how the soil systems will respond to changes in climatic factors, new cropping systems, and soil management. Other applications for these tools are the determination of which mycorrhizal fungi and nitrogen-fixing bacteria are present in the soil, and assistance to the field practitioner in assessing the efficacy of these organisms.

Soil microbiota have been found to influence the quality and longevity of harvested crops either positively (through beneficial microbial interactions) or negatively (through plant pathogens). Thus, the application of screening methods for associated biota – such as by next generation sequencing – and the subsequent necessary interventions would prove valuable in the post-harvest process. This may enhance sustainability of the full agricultural value-chain.

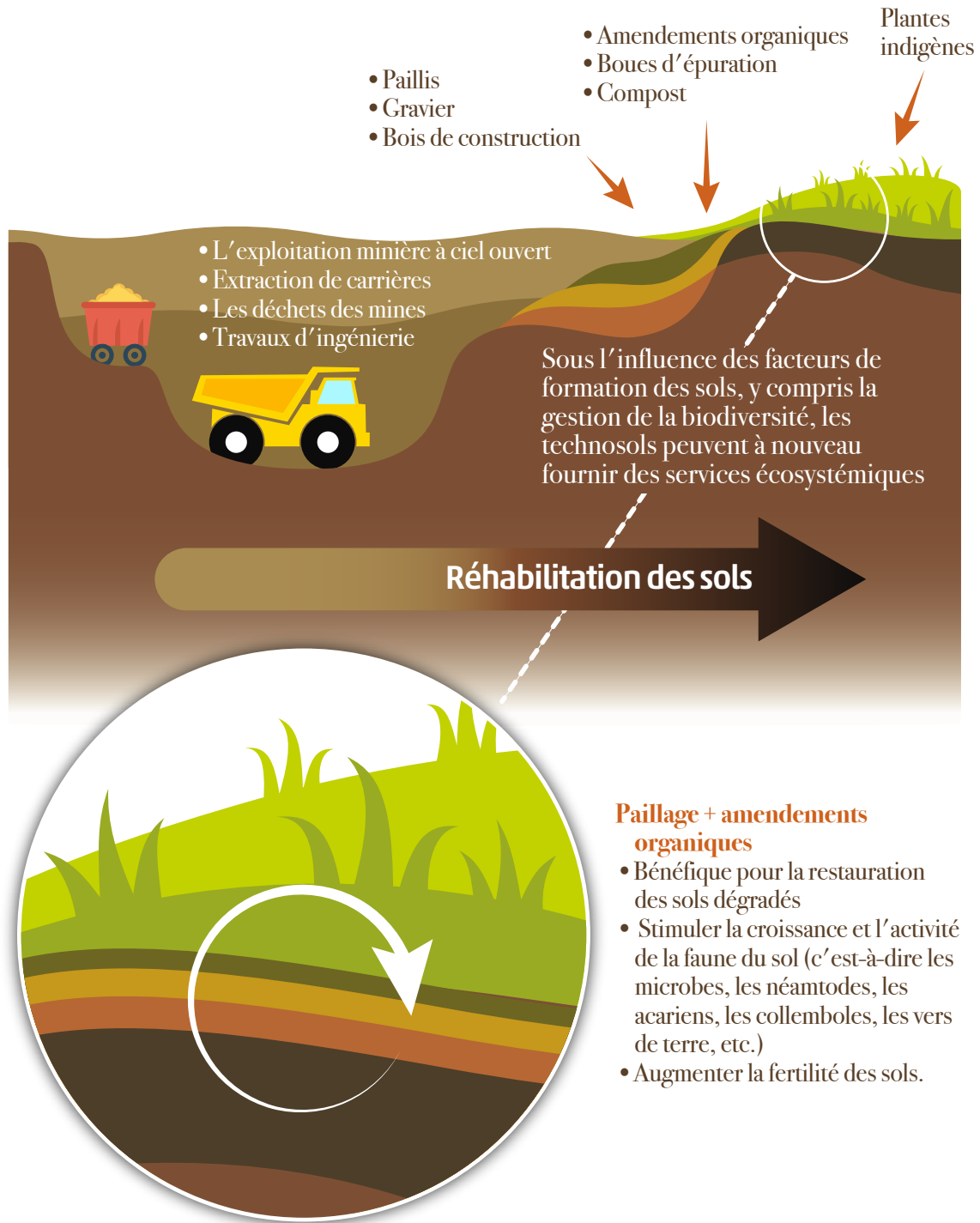
#### L'industrie alimentaire

Plusieurs bactéries et champignons du sol sont utilisés traditionnellement dans la production de sauce de soja, de fromage, de vin et d'autres aliments et boissons fermentés. Les bactéries lactiques pourraient potentiellement être utilisées pour produire des produits probiotiques absorbant les métaux lourds. Les sols offrent un habitat à diverses bactéries lactiques appartenant aux *Lactobacillus*, *Lactococcus* et autres genres, ouvrant la possibilité d'isoler des bactéries probiotiques utiles à la fermentation des aliments ou d'autres processus.

#### La restauration des écosystèmes

Des études de terrain menées à des échelles pertinentes pour la restauration des écosystèmes (c'est-à-dire en hectares) ont démontré qu'une méthode d'inoculation de biote de sol entier représentant toute la biodiversité des sols est un outil puissant pour la restauration des écosystèmes terrestres. Toutefois, l'efficacité de tout programme de restauration de la biodiversité des sols dépend de l'intégration appropriée dans son environnement et des interactions attendues au sein de celui-ci. Lorsque les sols ont été extrêmement dégradés, la réhabilitation des propriétés physiques et chimiques du substrat est nécessaire. Sous l'influence des facteurs de formation des sols, y compris la biodiversité des sols, le développement de nouveaux sols peut se produire (figures 2 et 6).

# Combinaison de stratégies de réhabilitation des sols



**Figure 6.** Les activités minières ont des effets négatifs drastiques sur les sols, en particulier dans les zones arides. Une alternative pour restaurer les communautés biologiques des sols est l'établissement de technosols. Des actions essentielles dans la récupération de la fonctionnalité des sols comprennent l'ajout de matière organique, qui, avec l'action des plantes pionnières, favorise la croissance et l'activité des populations de biote du sol, ce qui, à terme, influence l'amélioration de la fertilité des sols dégradés.

## L'industrie pharmaceutique

La perte de biodiversité des sols pourrait limiter notre capacité à développer de nouveaux antibiotiques et à lutter contre les maladies infectieuses. Alors que la plupart des recherches biopharmaceutiques se concentrent sur l'identification de microbes uniques qui peuvent être développés en biothérapies, les nouvelles technologies qui permettent d'étudier le métagénome (ou génome collectif) dans un échantillon environnemental ont suscité l'intérêt d'explorer comment les communautés biologiques complexes du sol et d'autres environnements intérieurs et extérieurs influencent la réponse immunitaire et nerveuse humaine via la peau, les intestins et les poumons.








## **4 Les contributions essentielles des organismes du sol sont menacées par les pratiques de dégradation des sols. Les politiques qui minimisent la dégradation des sols et protègent la biodiversité des sols devraient faire partie intégrante de la protection de la biodiversité à tous les niveaux**

Le rôle important de la biodiversité des sols dans le fonctionnement des écosystèmes et la fourniture de services écosystémiques peut être menacé par les activités humaines ainsi que par les catastrophes naturelles, bien que ces dernières puissent également être influencées par les changements induits par l'homme. Ceux-ci comprennent la déforestation, l'urbanisation, l'intensification de l'agriculture, la perte de matière organique/carbone du sol, le compactage du sol, l'imperméabilisation des surfaces, l'acidification du sol, le déséquilibre des nutriments, la pollution, la salinisation, la sodification, la désertification, les incendies, l'érosion et les glissements de terrain (figure 7). Ces facteurs concomitants de changement environnemental peuvent avoir des effets synergiques et peuvent donc constituer une menace particulière pour les organismes du sol et les fonctions des écosystèmes. La déforestation et les incendies, en particulier, ont des effets très négatifs sur la biodiversité des sols, et les politiques visant à contrôler et, idéalement, réduire leur fréquence auront des effets très bénéfiques sur la biodiversité des sols.

# Principales menaces anthropiques pour la biodiversité des sols




**Moteurs de la déforestation et effets sur les sols.**

- Changement d'affectation des sols.
- Perte de matière organique et de nutriments du sol.
- Modification des propriétés physiques du sol.
- Perturbation de l'habitat approprié.

**Impacts sur la biodiversité des sols**

- Perte d'espèces particulières et augmentation des taxons généralistes.
- Diminution des espèces prédatrices.
- Diminution de la diversité des sols et de leurs fonctions.
- Le rétablissement pourrait prendre des décennies.

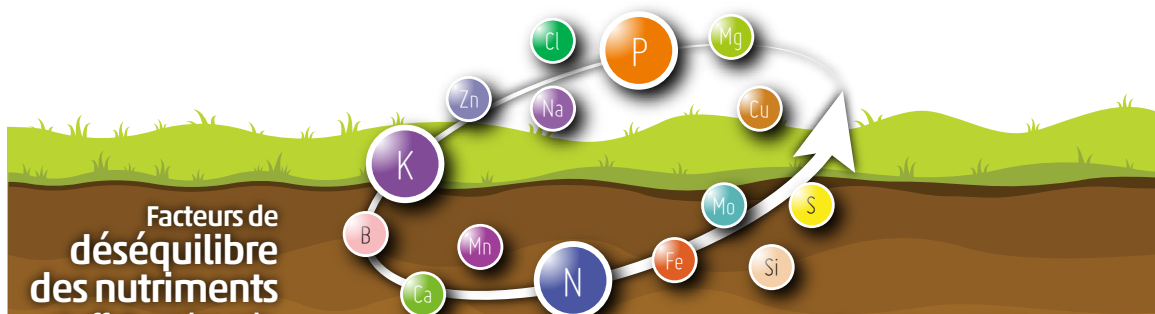


**Moteurs de l'intensification agricole et effets sur les sols.**

- Utilisation accrue d'intrants externes (pesticides, engrais) et perturbation accrue des sols.
- Risque accru d'érosion, de contamination, de dégradation, de compactage et de salinisation des sols.
- Altération des cycles hydrologiques et biogéochimiques.
- Perturbation de la structure du sol.
- Perte de matière organique du sol.

**Impacts sur la biodiversité des sols**

- Diminution de la biodiversité des sols.
- Réseaux alimentaires souterrains plus petits et moins complexes.
- Le rétablissement des communautés du sol peut prendre des années ou des décennies.
- Des réseaux alimentaires du sol moins efficaces et moins fonctionnels.
- Perte de carbone et de nutriments du sol par lixiviation.

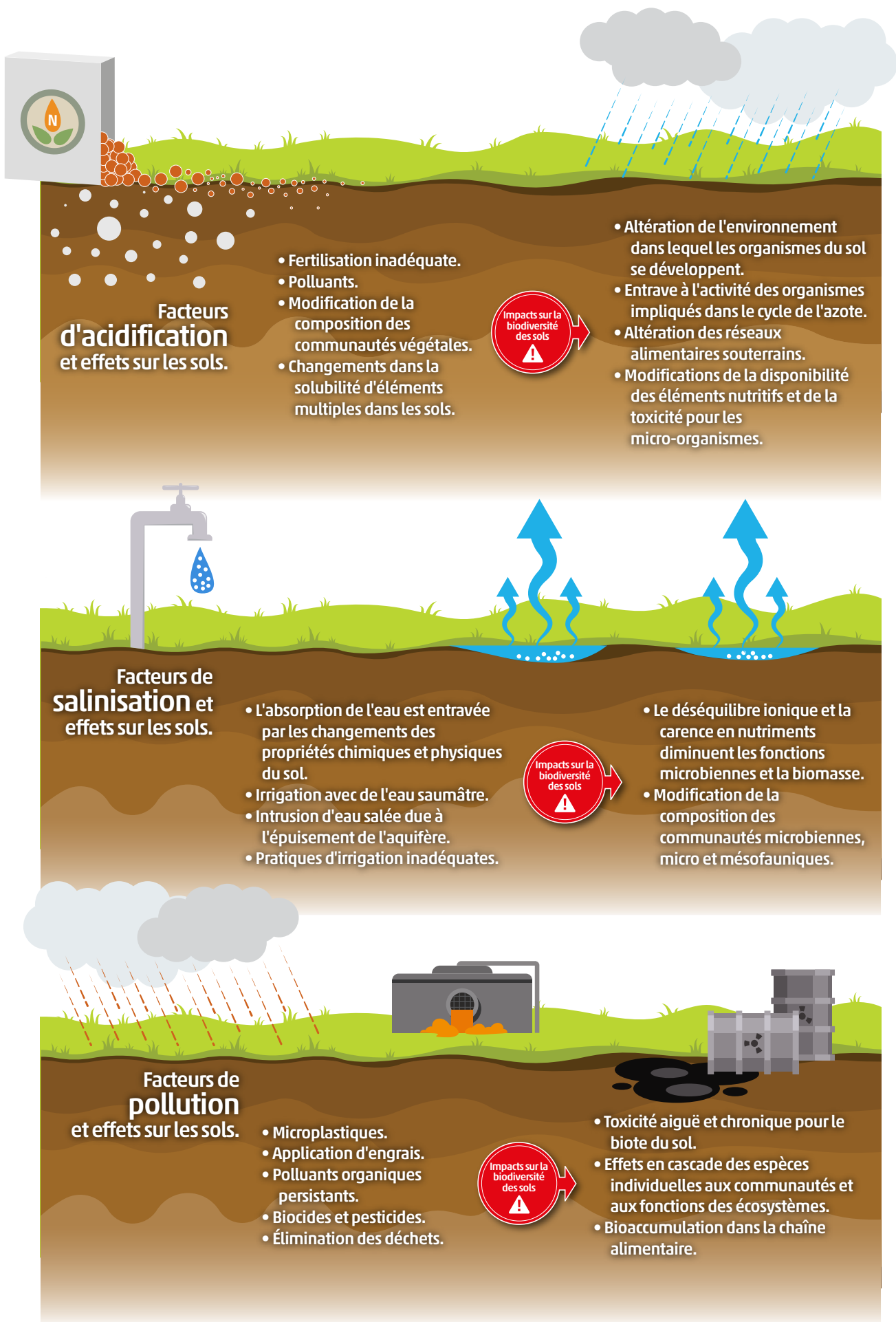


**Facteurs de déséquilibre des nutriments et effets sur les sols.**

- Modification de la disponibilité des nutriments essentiels.
- Utilisation excessive d'engrais minéraux.

**Impacts sur la biodiversité des sols**

- Réduction de la capacité de croissance des microorganismes du sol.
- Réduction du flux des nutriments dans la chaîne alimentaire du sol.
- Altération du contenu nutritionnel des producteurs primaires et des apports de litière.



### Facteurs d'acidification et effets sur les sols.

- Fertilisation inadéquate.
- Polluants.
- Modification de la composition des communautés végétales.
- Changements dans la solubilité d'éléments multiples dans les sols.



- Altération de l'environnement dans lequel les organismes du sol se développent.
- Entrave à l'activité des organismes impliqués dans le cycle de l'azote.
- Altération des réseaux alimentaires souterrains.
- Modifications de la disponibilité des éléments nutritifs et de la toxicité pour les micro-organismes.

### Facteurs de salinisation et effets sur les sols.

- L'absorption de l'eau est entravée par les changements des propriétés chimiques et physiques du sol.
- Irrigation avec de l'eau saumâtre.
- Intrusion d'eau salée due à l'épuisement de l'aquifère.
- Pratiques d'irrigation inadéquates.



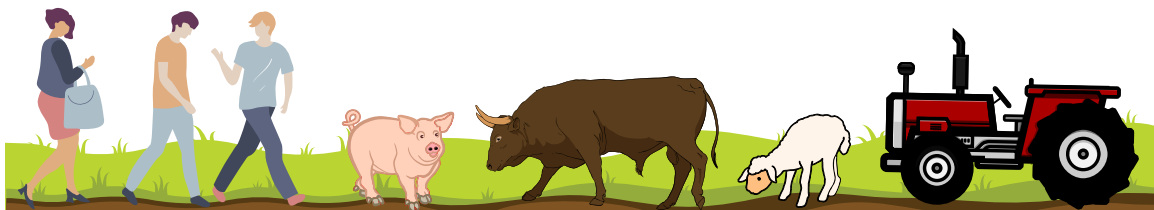
- Le déséquilibre ionique et la carence en nutriments diminuent les fonctions microbiennes et la biomasse.
- Modification de la composition des communautés microbiennes, micro et mésofauniques.

### Facteurs de pollution et effets sur les sols.

- Microplastiques.
- Application d'engrais.
- Polluants organiques persistants.
- Biocides et pesticides.
- Élimination des déchets.



- Toxicité aiguë et chronique pour le biote du sol.
- Effets en cascade des espèces individuelles aux communautés et aux fonctions des écosystèmes.
- Bioaccumulation dans la chaîne alimentaire.



### Facteurs de compactage et effets sur les sols.

- Diminue le volume des macropores.
- Augmente la résistance à la pénétration des racines.
- Réduit l'infiltration d'eau et augmente le ruissellement.
- Affecte les flux d'oxygène et de CO<sub>2</sub> ainsi que le potentiel redox.



- Perte d'habitat et d'espaces poreux pour le biote du sol.
- Affecte l'activité de la faune.
- Diminution de la biomasse faunique et de la densité de population.

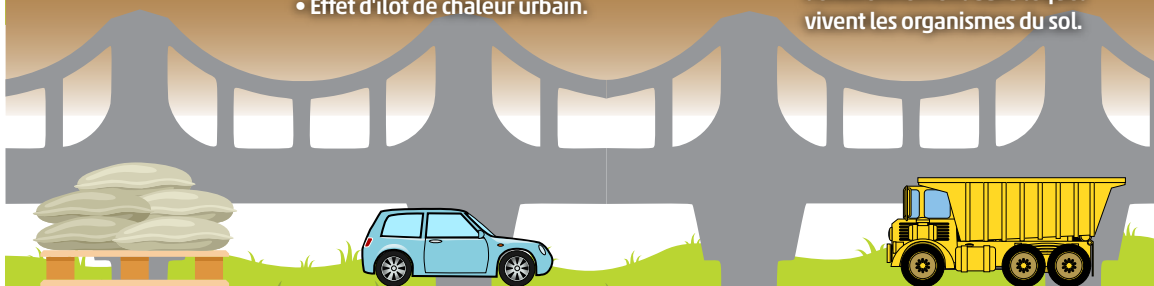


### Moteurs de l'urbanisation et effets sur les sols.

- Étanchéité des sols, augmentation du ruissellement des eaux et réduction des infiltrations.
- Pollution.
- Retrait ou remplacement de la terre végétale et ajout de matériaux anthropiques.
- Effet d'îlot de chaleur urbain.



- Réduction de l'habitat pour le biote du sol, et augmentation de l'hétérogénéité et de la fragmentation spatiales.
- Altération des communautés du sol et de la dynamique du réseau alimentaire.
- Altération drastique de l'environnement dans lequel vivent les organismes du sol.



### Facteurs d'imperméabilisation de la surface et effets sur les sols.

- Augmente le ruissellement de l'eau et réduit l'infiltration d'eau.
- Modifie le cycle des nutriments et du carbone.
- Influence sur la régulation du climat et du microclimat.
- Construction de routes et d'autres infrastructures permanentes.



- Perte d'habitats pour les organismes du sol.

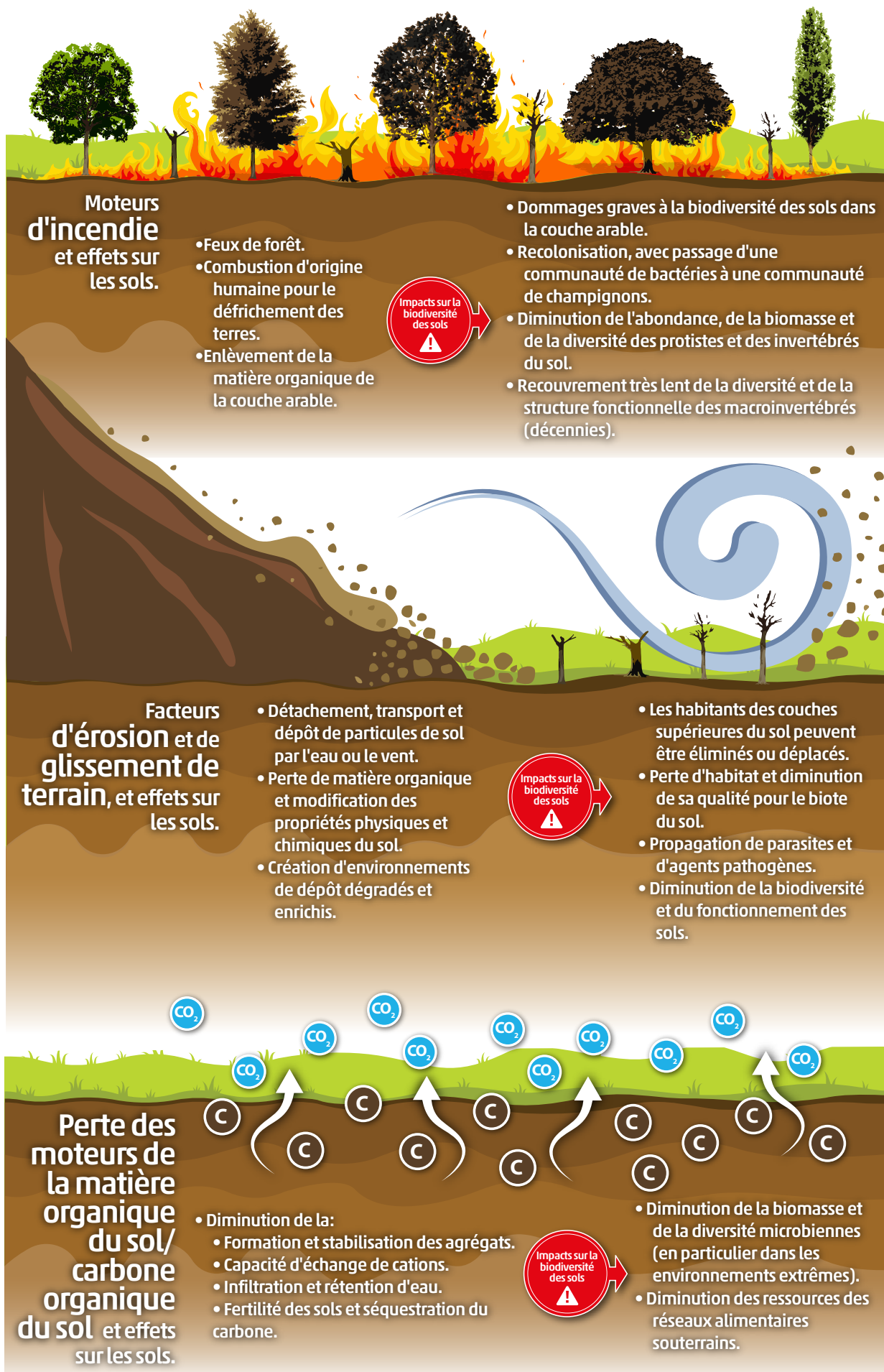


Figure 7. Principales menaces anthropiques pour la biodiversité des sols.

# Les espèces exotiques envahissantes

La majorité de nos connaissances sur les espèces envahissantes du sol concernent les ravageurs agricoles, dont beaucoup contribuent à d'énormes pertes économiques à l'échelle mondiale. Les espèces exotiques envahissantes menacent l'intégrité de la biodiversité indigène des sols. Les invertébrés du sol non indigènes peuvent avoir des impacts négatifs dramatiques sur les plantes indigènes, les communautés microbiennes et les autres animaux du sol: les espèces terrestres envahissantes peuvent provenir de n'importe quel niveau d'organisation biologique, allant des virus et des microbes (bactéries et champignons) aux plantes, aux invertébrés et aux mammifères.

## L'intensification agricole

Les impacts négatifs dus à l'intensification de l'agriculture ont des conséquences sur les fonctions spécifiques que remplissent les animaux du sol, notamment la formation de la structure du sol et l'ingénierie des écosystèmes, ainsi que la régulation des populations par la prédation. La gestion humaine des terres agricoles et d'autres sols est connue pour modifier de manière significative la biodiversité des sols:

**Travail du sol:** Le travail du sol entraîne la perte d'une plus grande faune du sol et la perturbation de la chaîne alimentaire du sol.

**Mauvaise utilisation des engrais:** La fertilisation synthétique peut avoir un impact négatif sur les communautés microbiennes et la faune du sol. Des effets négatifs de la fertilisation synthétique azotée sur la biomasse microbienne, le champignon mycorhizien à arbuscules (AMF) et la diversité faunique ont été observés.

**Application de chaux pour la correction du pH:** La plupart des sols des forêts tropicales humides sont naturellement acides, et reçoivent souvent de grandes quantités de chaux à la suite de déboisement pour neutraliser le pH, en particulier avec l'établissement de systèmes de culture plus intensifs. Les variations importantes du pH imposent un stress aux micro-organismes natifs, affectant leur croissance et réduisant la résilience des écosystèmes aux perturbations.

**Mauvaise utilisation des pesticides:** Les pesticides peuvent provoquer une résistance et une bioaccumulation dans les chaînes alimentaires. L'utilisation de pesticides peut avoir des effets involontaires sur les organismes du sol, car différents

groupes d'organismes réagissent différemment à diverses substances chimiques.

**Monocultures:** Les monocultures limitent la présence de bactéries, de champignons et d'insectes bénéfiques et contribuent à la dégradation des écosystèmes. Les monocultures à grande échelle réduisent également la biodiversité des sols en raison de la spécificité d'accueil de nombreuses bactéries et champignons du sol et de la plus grande faune du sol qu'ils attirent, facilitant la propagation et l'expression des maladies transmises par le sol.

## Évaluation de la biodiversité des sols

Malgré des études récentes - utilisant les dernières technologies et l'intelligence artificielle - sur la répartition mondiale de certaines espèces de biotes du sol, l'état actuel de la biodiversité des sols et la répartition de nombreux biotes du sol demeurent peu connus dans de nombreux pays du monde.

Les pays ont évalué l'état et les tendances de la biodiversité des sols de différentes manières, notamment en utilisant les connaissances scientifiques, les dernières technologies et l'intelligence artificielle, les innovations et les pratiques des agriculteurs, les connaissances indigènes et traditionnelles et la cartographie. Dans l'ensemble, il est urgent de poursuivre ces récents efforts en utilisant les dernières technologies et l'intelligence artificielle, et de coordonner et d'investir dans l'évaluation de la biodiversité des sols au niveau mondial.

## Développement de politiques

Alors que la biodiversité de surface est connue de tous et que sa protection est gérée par des lois et réglementations nationales et mondiales, il existe peu d'activités comparables qui se concentrent sur la protection de la biodiversité des sols. La protection de la biodiversité de surface n'est pas toujours suffisante pour protéger la biodiversité des sols. La biodiversité de surface et la biodiversité souterraine sont façonnées par différents facteurs environnementaux, et ne sont pas nécessairement liées entre elles.

Afin de promouvoir davantage la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité des sols, il faut mettre en place une surveillance à long terme et des protocoles d'échantillonnage et d'analyse normalisés. Une collaboration à l'échelle mondiale permettrait de rassembler de grands ensembles de données, qui sont essentiels pour réunir des preuves scientifiques

de l'importance quantitative et fonctionnelle de la biodiversité des sols. Si certains pays ont mis en place des indicateurs et des outils de suivi de la biodiversité des sols, la majorité des pays manquent de connaissances, de capacités et de ressources pour appliquer les principes de santé du sol et adopter les meilleures pratiques pour améliorer la biodiversité des sols.

Si certains pays ont mis en place des indicateurs et des outils de surveillance de la biodiversité des sols, la majorité des pays manquent de connaissances, de capacités et de ressources pour appliquer les principes de santé des sols et adopter les meilleures pratiques pour améliorer la biodiversité des sols.

Voici quelques-unes des principales recommandations du rapport:

- La biodiversité des sols doit être prise en compte dans les rapports nationaux et les stratégies et plans d'action nationaux pour la biodiversité (SPANB).
- Renforcer l'éducation et le renforcement des capacités dans l'adoption d'outils moléculaires pour contribuer à la santé des hommes, des plantes et des sols.
- Des pratiques de gestion durable des sols doivent être adoptées par les agriculteurs et les utilisateurs des terres afin de prévenir et de minimiser la perte de biodiversité des sols.
- Les plans d'assainissement des sols et de restauration des écosystèmes doivent tenir compte de la santé des sols et de la biodiversité des sols.
- Il est nécessaire de promouvoir le changement nécessaire pour inclure des indicateurs biologiques de la santé des sols, ainsi que des indicateurs physiques et chimiques.
- Il est nécessaire de normaliser les protocoles d'échantillonnage et d'analyse dans le monde entier pour permettre la collecte de grands ensembles de données comparables.
- Accroître la collaboration intersectorielle et interinstitutionnelle afin d'explorer les synergies et d'éviter les doublons ou la fragmentation, étant donné que les politiques relatives aux sols peuvent relever de différents ministères.
- Les politiques et la planification urbaine doivent intégrer la biodiversité des sols dans les plans de gestion durable des sols et de restauration des écosystèmes afin de garantir des sols sains aux populations en réduisant les menaces urbaines qui pèsent sur la biodiversité des sols.





# La voie à suivre

Malgré l'importance évidente de la biodiversité des sols dans la fourniture de services écosystémiques essentiels (apport de nourriture, de fibres et de carburant, filtrage de l'eau, source de produits pharmaceutiques, cycle du carbone et des nutriments, formation des sols, atténuation des GES, lutte contre les parasites et les maladies, décontamination et assainissement), son utilisation et sa gestion ne sont pas à la hauteur. Cela ne fait qu'un peu plus de dix ans que des initiatives et des réseaux de recherche ont été mis en place pour contribuer au savoir-faire, à la conservation, à l'utilisation et à la gestion durable de la biodiversité des sols. Parmi ces initiatives, on peut citer la création de l'Initiative internationale pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité des sols en 2002, la mise en place de l'Initiative mondiale pour la biodiversité des sols en 2011 et du Partenariat mondial sur les sols en 2012, ainsi que la publication de l'Atlas mondial de la biodiversité des sols par la Commission européenne en 2016.

Depuis, la biodiversité des sols a commencé à apparaître comme une solution alternative aux défis mondiaux et pas seulement comme un domaine universitaire. Certains pays commencent à utiliser la biodiversité des sols dans différents domaines tels que l'agriculture, la sécurité alimentaire, la biorestauration, le changement climatique, la lutte contre les parasites et les maladies et la santé humaine. Certaines régions, comme l'Union européenne, ont mis en place des plans d'action pour une production, une consommation et une croissance durables afin de devenir le premier continent neutre sur le plan climatique d'ici 2050; les sols et la biodiversité des sols sont des éléments importants du «Green Deal» européen. Par ailleurs, certaines institutions nationales, centres de recherche, réseaux, universités et écoles commencent à inclure la

biodiversité des sols dans leurs programmes. Certains d'entre eux mènent également des recherches sur les innovations technologiques ainsi que sur les approches traditionnelles et agroécologiques liées à la biodiversité des sols (par exemple, recherche, application pratique, évaluation, indicateurs et surveillance).

Nous devons profiter de cet élan pour:

Plaider pour l'intégration de la biodiversité des sols dans le programme de développement durable, dans le cadre de la biodiversité pour l'après 2020, dans la décennie des Nations unies sur la restauration des écosystèmes et dans tous les domaines où la biodiversité des sols peut contribuer;

Élaborer des protocoles et des procédures standard pour évaluer la biodiversité des sols à différentes échelles;

Promouvoir la mise en place de systèmes d'information et de surveillance des sols qui incluent la biodiversité des sols comme un indicateur clé de la santé des sols;

Améliorer la connaissance (y compris locale ou traditionnelle) du microbiome du sol;

Renforcer les connaissances sur les différents groupes de sols qui forment la biodiversité des sols (c'est-à-dire les microbes, la micro, méso, macro et mégafaune);

Mettre en place un programme mondial de renforcement des capacités pour l'utilisation et la gestion de la biodiversité des sols et l'Observatoire mondial de la biodiversité des sols.

Le tableau 1 présente un résumé à l'intention des décideurs dans une perspective d'avenir.

**Tableau 1**

Résumé pour les décideurs

Thème	Défis et lacunes	Actions spécifiques	* Actions transversales	* Portées transversales
Comprendre la biodiversité des sols, des cellules aux vertébrés	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Meilleure compréhension des réseaux de microbiomes (ou de groupes fonctionnels/ espèces clés).</li> <li>● Meilleure compréhension des rôles de la micro, méso et macrofaune dans les fonctions du sol et le cycle des nutriments.</li> <li>● Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour corroborer les données sur la biodiversité des sols dans différents écosystèmes et agroécosystèmes.</li> <li>● Études de la biodiversité des sols à petite et grande échelle dans de nombreuses éco-régions du monde, en particulier dans l'hémisphère sud.</li> <li>● Recherche ciblée sur les impacts/risques à long terme des méthodes de biocontrôle dans l'environnement.</li> <li>● Des programmes de surveillance continue à long terme sont nécessaires dans différents écosystèmes, types de climat et pratiques de gestion pour faire face à la variabilité temporelle des changements environnementaux.</li> <li>● Il est nécessaire de développer des indicateurs biologiques et des méthodes de mesure robustes et fiables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Des outils de surveillance qui comprennent: de nouvelles approches analytiques; une puissance de calcul avancée; un séquençage de prochaine génération pour l'évaluation de la biodiversité microbienne des sols, associé à des techniques traditionnelles; un pouvoir de prédiction accru des changements des facteurs climatiques, des nouveaux systèmes de culture et de la gestion durable des sols; des outils de cartographie numérique des sols associés à des informations biologiques.</li> <li>● Mettre en œuvre des études à grande échelle (bassins versants et paysages) sur la biodiversité des sols.</li> <li>● Inclure la biodiversité des sols dans les lignes directrices de l'étude des sols, y compris les méthodes de mesure standard.</li> <li>● Mettre en œuvre des modèles de biodiversité des sols basés sur de grandes données générées à partir d'informations sur les sols, les eaux, les plantes et l'atmosphère.</li> <li>● Obtenir ou augmenter le soutien financier pour la mise en œuvre de nouvelles technologies - métagénomique, métabolomique, volatilomique - dans les pays en voie de développement.</li> <li>● Création d'un observatoire mondial de la biodiversité des sols.</li> <li>● Soutenir le développement de systèmes communautaires de surveillance et d'information (CBMIS).</li> <li>● Simplifier les méthodologies et les outils d'évaluation de la biodiversité des sols qui sont directement accessibles dans toutes les régions du monde.</li> <li>● Mobiliser une recherche et un développement participatifs ciblés, garantissant l'égalité des genres, le renforcement du rôle des femmes et des jeunes, des approches sensibles au genre et la participation des populations autochtones et des communautés locales.</li> <li>● Accroître la capacité taxonomique et répondre aux besoins d'évaluation taxonomique dans différentes régions.</li> <li>● Soutenir la formation à l'identification et à la description de la biodiversité des sols à tous les niveaux, et en particulier pour les taxons moins connus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Plaider pour la mise en œuvre d'une gestion durable des sols dans le cadre du VGSSM au niveau national.</li> <li>● Mettre en œuvre l'utilisation/la gestion et la conservation de la biodiversité des sols en tant que solutions basées sur la nature.</li> <li>● Promouvoir des approches basées sur les écosystèmes qui conservent, restaurent et évitent la dégradation des sols et la perte de biodiversité.</li> <li>● Mettre en place des partenariats qui soutiennent des approches multidisciplinaires, favorisent les synergies et garantissent une perspective multipartite en ce qui concerne la gestion durable des sols et la biodiversité des sols.</li> <li>● Mettre en œuvre l'utilisation combinée des connaissances traditionnelles, des nouvelles technologies et de l'innovation et veiller à ce que toutes les parties prenantes concernées aient accès à ces outils et aux politiques associées.</li> <li>● Élaborer des indicateurs biologiques solides et fiables, ainsi que des protocoles de suivi et d'évaluation de la biodiversité des sols.</li> <li>● Sensibiliser la société à la perte et à la restauration de la biodiversité des sols, aux menaces qui pèsent sur la biodiversité des sols, notamment l'intensification de l'agriculture et les meilleures pratiques d'évaluation de la biodiversité des sols, ainsi qu'à la gestion et au suivi de toutes les activités de gestion des terres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Garantir la santé des sols pour la vitalité de tous les écosystèmes et le bien-être de l'homme.</li> <li>● Soutenir l'agriculture pour la durabilité, la productivité et l'efficacité de l'utilisation des ressources.</li> <li>● Aider les agriculteurs à réduire leur vulnérabilité en diminuant les coûts de production, en augmentant les rendements et en renforçant leur capacité à concevoir et à mettre en œuvre des pratiques de gestion durable des sols.</li> <li>● La biodiversité des sols peut contribuer de manière significative à la résolution des problèmes environnementaux.</li> <li>● Le fait de savoir que le sol est vivant élargit les possibilités de relations entre l'homme et le sol.</li> <li>● La biodiversité des sols doit être considérée comme un capital naturel à partir duquel des services écosystémiques sont produits.</li> </ul>
				<p>*Ce contenu s'applique à tous les thèmes abordés dans le tableau 1</p> <p>VGSSM: Directives volontaires pour une gestion durable des sols</p>

Thème	Défis et lacunes	Actions spécifiques	* Actions transversales	* Portées transversales
Contributions de la biodiversité des sols aux services et fonctions des écosystèmes	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Les évaluations économiques des fonctions de la biodiversité des sols et des services écosystémiques fournis sont rares.</li> <li>● Il convient d'accorder une plus grande attention aux services de régulation - tels que le stockage du carbone - qui dépendent de la biodiversité des sols.</li> <li>● Il est hautement nécessaire de développer des méthodes pour mesurer la contribution de la biodiversité des sols à tous les services écosystémiques concernés, et ce à différentes échelles spatiales et temporelles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Soutenir des projets axés sur l'évaluation économique des fonctions et des services de la biodiversité des sols.</li> <li>● Mesurer la contribution de la biodiversité des sols à différentes fonctions et services des sols à différentes échelles, et dans différentes conditions.</li> <li>● Élaborer des données de référence sur la biodiversité des sols et effectuer régulièrement des mesures à petite et à grande échelle au fil du temps.</li> <li>● Mieux analyser la relation entre la structure des communautés de biodiversité des sols et leur rôle dans le fonctionnement des écosystèmes et des agroécosystèmes.</li> <li>● Promouvoir l'adoption et la faisabilité d'un paiement pour les services environnementaux basé sur la biodiversité des sols, avec des politiques appropriées à différents niveaux gouvernementaux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Plaider pour la mise en œuvre d'une gestion durable des sols dans le cadre du VGSSM au niveau national.</li> <li>● Mettre en œuvre l'utilisation/la gestion et la conservation de la biodiversité des sols en tant que solutions basées sur la nature.</li> <li>● Promouvoir des approches basées sur les écosystèmes qui conservent, restaurent et évitent la dégradation des sols et la perte de biodiversité.</li> <li>● Mettre en place des partenariats qui soutiennent des approches multidisciplinaires, favorisent les synergies et garantissent une perspective multipartite en ce qui concerne la gestion durable des sols et la biodiversité des sols.</li> <li>● Mettre en œuvre l'utilisation combinée des connaissances traditionnelles, des nouvelles technologies et de l'innovation et veiller à ce que toutes les parties prenantes concernées aient accès à ces outils et aux politiques associées.</li> <li>● Élaborer des indicateurs biologiques solides et fiables, ainsi que des protocoles de suivi et d'évaluation de la biodiversité des sols.</li> <li>● Sensibiliser la société à la perte et au rétablissement de la biodiversité des sols, aux menaces qui pèsent sur la biodiversité des sols, notamment l'intensification de l'agriculture et les meilleures pratiques d'évaluation de la biodiversité des sols, ainsi qu'à la gestion et au suivi de toutes les activités de gestion des terres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Garantir la santé des sols pour la vitalité de tous les écosystèmes et le bien-être de l'homme.</li> <li>● Soutenir l'agriculture pour la durabilité, la productivité et l'efficacité de l'utilisation des ressources.</li> <li>● Aider les agriculteurs à réduire leur vulnérabilité en diminuant les coûts de production, en augmentant les rendements et en renforçant leur capacité à concevoir et à mettre en œuvre des pratiques de gestion durable des sols.</li> <li>● La biodiversité des sols peut contribuer de manière significative à la résolution des problèmes environnementaux.</li> <li>● Le fait de savoir que le sol est vivant élargit les possibilités de relations entre l'homme et le sol.</li> <li>● La biodiversité des sols doit être considérée comme un capital naturel à partir duquel des services écosystémiques sont produits.</li> </ul>

\*Ce contenu s'applique à tous les thèmes abordés dans le tableau 1

VGSSM: Directives volontaires pour une gestion durable des sols

## Menaces sur la biodiversité des sols

Thème	Défis et lacunes	Actions spécifiques	* Actions transversales	* Portées transversales
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Il est essentiel d'envisager le changement d'utilisation et la gestion des terres comme un élément déclencheur d'autres menaces pour la biodiversité des sols.</li> <li>● Il existe des lacunes dans les connaissances sur la biodiversité des sols urbains.</li> <li>● Manque de connaissances sur les concentrations de contaminants dans les sols et les seuils d'exposition pour la biodiversité des sols.</li> <li>● Manque de compréhension des effets interactifs des multiples facteurs de changement global sur la biodiversité des sols.</li> <li>● Mauvaise compréhension du rôle et des impacts des menaces pesant sur la biodiversité des sols dans certaines écorégions et régions du monde.</li> <li>● Incapacité à cartographier de manière adéquate l'importance des menaces pesant sur la biodiversité des sols au niveau mondial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tenir compte de la biodiversité des sols et des services écosystémiques dans l'aménagement du territoire.</li> <li>● Encourager les activités visant à promouvoir l'application pratique de la biodiversité des sols, et l'intégrer dans des programmes politiques plus larges pour la sécurité alimentaire, la restauration des écosystèmes, l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets, et le développement durable.</li> <li>● Promouvoir la gestion de la planification durable des environnements urbanisés et la réhabilitation des sols urbains.</li> <li>● Évaluation des espèces et des paysages vulnérables afin de donner la priorité à leur protection.</li> <li>● Minimiser les facteurs de perte de biodiversité des sols et promouvoir l'amélioration de la santé des sols.</li> <li>● Inclusion de la biodiversité des sols dans l'évaluation des risques liés aux intrants agricoles.</li> <li>● Évaluation régulière des contaminants du sol et expériences de tests écotoxicologiques avec différentes espèces cibles.</li> <li>● Réalisation d'évaluations détaillées des menaces pesant sur la biodiversité des sols à différentes échelles et/ou pour différents taxons.</li> <li>● Réalisation d'une synthèse régionale et mondiale des menaces pesant sur la biodiversité des sols, à l'aide de données géoréférencées et pertinentes sur le plan spatial.</li> <li>● Promouvoir l'établissement d'une liste rouge des espèces menacées de la biodiversité des sols aux niveaux national et mondial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Plaider pour la mise en œuvre d'une gestion durable des sols dans le cadre du VGSSM au niveau national.</li> <li>● Mettre en œuvre l'utilisation/la gestion et la conservation de la biodiversité des sols en tant que solutions basées sur la nature.</li> <li>● Promouvoir des approches basées sur les écosystèmes qui conservent, restaurent et évitent la dégradation des sols et la perte de biodiversité.</li> <li>● Mettre en place des partenariats qui soutiennent des approches multidisciplinaires, favorisent les synergies et garantissent une perspective multipartite en ce qui concerne la gestion durable des sols et la biodiversité des sols.</li> <li>● Mettre en œuvre l'utilisation combinée des connaissances traditionnelles, des nouvelles technologies et de l'innovation et veiller à ce que toutes les parties prenantes concernées aient accès à ces outils et aux politiques associées.</li> <li>● Élaborer des indicateurs biologiques solides et fiables, ainsi que des protocoles de suivi et d'évaluation de la biodiversité des sols.</li> <li>● Sensibiliser la société à la perte et au rétablissement de la biodiversité des sols, aux menaces qui pèsent sur la biodiversité des sols, notamment l'intensification de l'agriculture et les meilleures pratiques d'évaluation de la biodiversité des sols, ainsi qu'à la gestion et au suivi de toutes les activités de gestion des terres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Garantir la santé des sols pour la vitalité de tous les écosystèmes et le bien-être de l'homme.</li> <li>● Soutenir l'agriculture pour la durabilité, la productivité et l'efficacité de l'utilisation des ressources.</li> <li>● Aider les agriculteurs à réduire leur vulnérabilité en diminuant les coûts de production, en augmentant les rendements et en renforçant leur capacité à œuvrer des pratiques de gestion durable des sols.</li> <li>● La biodiversité des sols peut contribuer de manière significative à la résolution des problèmes environnementaux.</li> <li>● Le fait de savoir que le sol est vivant élargit les possibilités de relations entre l'homme et le sol.</li> <li>● La biodiversité des sols doit être considérée comme un capital naturel à partir duquel des services écosystémiques sont produits.</li> </ul>

\*Ce contenu s'applique à tous les thèmes abordés dans le tableau 1

VGSSM: Directives volontaires pour une gestion durable des sols

## Réponses et opportunités

Thème	Défis et lacunes	Actions spécifiques	* Actions transversales	* Portées transversales
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Accroître la recherche sur les performances à l'échelle du terrain des inoculants microbiens et des nématodes entomopathogènes en tant que contrôle biologique des insectes nuisibles.</li> <li>● Connaissance insuffisante du rôle de la gestion directe et indirecte de la micro, méso et macrofaune dans le fonctionnement des sols et la fourniture de services écosystémiques.</li> <li>● Le portefeuille de solutions aux problèmes environnementaux est actuellement basé sur les microbes; la micro, méso et macrofaune n'y sont presque jamais incluses.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Promouvoir la prévention, la suppression et le contrôle des agents pathogènes et des espèces envahissantes.</li> <li>● Investir dans la recherche ciblée sur les maladies transmises par le sol et promouvoir la lutte intégrée contre les parasites.</li> <li>● Privilégier le développement d'inoculants microbiens pour l'ensemble de la communauté plutôt que des isolats microbiens individuels.</li> <li>● Mettre en œuvre des solutions naturelles pour la micro, méso et macrofaune, et pas seulement pour les microbes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Plaider pour la mise en œuvre d'une gestion durable des sols dans le cadre du VGSSM au niveau national.</li> <li>● Mettre en œuvre l'utilisation/la gestion et la conservation de la biodiversité des sols en tant que solutions basées sur la nature.</li> <li>● Promouvoir des approches basées sur les écosystèmes qui conservent, restaurent et évitent la dégradation des sols et la perte de biodiversité.</li> <li>● Mettre en place des partenariats qui soutiennent des approches multidisciplinaires, favorisent les synergies et garantissent une perspective multipartite en ce qui concerne la gestion durable des sols et la biodiversité des sols.</li> <li>● Mettre en œuvre l'utilisation combinée des connaissances traditionnelles, des nouvelles technologies et de l'innovation et veiller à ce que toutes les parties prenantes concernées aient accès à ces outils et aux politiques associées.</li> <li>● Élaborer des indicateurs biologiques solides et fiables, ainsi que des protocoles de suivi et d'évaluation de la biodiversité des sols.</li> <li>● Sensibiliser la société à la perte et au rétablissement de la biodiversité des sols, aux menaces qui pèsent sur la biodiversité des sols, notamment l'intensification de l'agriculture et les meilleures pratiques d'évaluation de la biodiversité des sols, ainsi qu'à la gestion et au suivi de toutes les activités de gestion des terres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Garantir la santé des sols pour la vitalité de tous les écosystèmes et le bien-être de l'homme.</li> <li>● Soutenir l'agriculture pour la durabilité, la productivité et l'efficacité de l'utilisation des ressources.</li> <li>● Aider les agriculteurs à réduire leur vulnérabilité en diminuant les coûts de production, en augmentant les rendements et en renforçant leur capacité à concevoir et à mettre en œuvre des pratiques de gestion durable des sols.</li> <li>● La biodiversité des sols peut contribuer de manière significative à la résolution des problèmes environnementaux.</li> <li>● Le fait de savoir que le sol est vivant élargit les possibilités de relations entre l'homme et le sol.</li> <li>● La biodiversité des sols doit être considérée comme un capital naturel à partir duquel des services écosystémiques sont produits.</li> </ul>

\*Ce contenu s'applique à tous les thèmes abordés dans le tableau 1

VGSSM: Directives volontaires pour une gestion durable des sols









**PARTENARIAT  
MONDIAL  
SUR LES SOLS**

Le Partenariat mondial sur les sols (GSP) a été établi en 2012 comme un mécanisme reconnu au niveau mondial pour positionner les sols au cœur de l'agenda mondial grâce à une action collective. Les principaux objectifs du GSP sont de promouvoir la gestion durable des sols et d'améliorer la gouvernance des sols afin de garantir des sols sains et productifs et de soutenir la provision des services essentiels des écosystèmes pour la sécurité alimentaire et une meilleure nutrition, l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets, et le développement durable.

Grâce au soutien financier de



Ministère des Finances de la  
Fédération de Russie



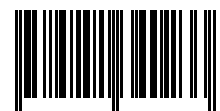
Commission  
européenne



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

ISBN 978-92-5-134023-3



9 789251 340233

CB1929FR/1/03.21