



# COMMISSION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE

## Point 9.1 de l'ordre du jour provisoire

### Dix-neuvième session ordinaire

Rome, 17-21 juillet 2023

## MICRO-ORGANISMES ET INVERTÉBRÉS DES SOLS PARTICIPANT À LA BIOREMÉDIATION ET AU CYCLE DES NUTRIMENTS

### TABLE DES MATIÈRES

	Paragraphes
I. Introduction .....	1-4
II. Rôles dans les processus des sols .....	5-11
III. Situation, tendances et menaces .....	12-23
IV. Conservation et utilisation durable .....	24-51
V. Cadres politiques et juridiques .....	52-55
VI. Réseaux et coopération .....	56-57
VII. Capacités en matière de recherche et d'éducation .....	58-60
VIII. Lacunes, besoins et actions possibles .....	61-71
IX. Indications que la Commission est invitée à donner .....	72

## I. INTRODUCTION

1. La Commission des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture (ci-après «la Commission»), à sa 17<sup>e</sup> session ordinaire, a adopté le Plan de travail concernant la conservation et l'utilisation durable des ressources génétiques des micro-organismes et des invertébrés pour l'alimentation et l'agriculture (ci-après «le Plan de travail»)<sup>1</sup>. Le Plan de travail considère les micro-organismes et les invertébrés en tant que groupes fonctionnels et prévoit que les deux groupes fonctionnels que la Commission examinera à sa 19<sup>e</sup> session ordinaire seront: i) les micro-organismes et invertébrés des sols, sachant que la priorité sera donnée aux organismes qui participent à la bioremédiation et au cycle des nutriments et ii) les micro-organismes intervenant dans la digestion des ruminants<sup>2</sup>.
2. Le Plan de travail prévoit que chaque groupe fonctionnel sera examiné sur la base des données suivantes: un résumé de la situation et des évolutions en matière de conservation, d'utilisation, d'accès et de partage des avantages, se fondant sur les travaux précédents de la Commission, la littérature existante et, le cas échéant, une enquête ouverte rassemblant éventuellement les meilleures pratiques en matière d'utilisation durable et de conservation; une cartographie des organisations régionales et internationales et autres organismes les plus pertinents pour le groupe fonctionnel et le recensement des domaines stratégiques dans lesquels une collaboration est possible; et une analyse des lacunes et des besoins dans les domaines concernés, afin que la Commission et ses membres puissent y répondre<sup>3</sup>.
3. Comme suite au Plan de travail, la FAO a demandé à l'Institut autrichien de technologie (Vienne) d'élaborer une étude sur les micro-organismes et invertébrés des sols participant à la bioremédiation et au cycle des nutriments. Une version préliminaire de cette étude est présentée dans le document intitulé *Draft study on the sustainable use and conservation of soil microorganisms and invertebrates that contribute to bioremediation of agricultural pollutants and soil nutrient cycling*<sup>4</sup> (Projet d'étude sur l'utilisation durable et la conservation des micro-organismes et invertébrés des sols qui contribuent à la bioremédiation des polluants agricoles et au cycle des éléments nutritifs des sols).
4. S'appuyant sur les résultats de ce projet d'étude, le présent document donne un aperçu de la situation des micro-organismes et invertébrés des sols qui participent au cycle des nutriments et à la bioremédiation et invite la Commission à donner des indications quant à l'orientation à imprimer aux travaux futurs sur ce groupe de micro-organismes et d'invertébrés.

## II. RÔLES DANS LES PROCESSUS DES SOLS

5. Les micro-organismes et invertébrés des sols sont de natures très diverses et évoluent dans des communautés complexes qui jouent un rôle crucial dans le cycle des nutriments et la préservation de la structure du sol. C'est pourquoi ils sont d'une importance vitale pour la production alimentaire. Ils offrent toute une gamme de solutions pour remédier à la pollution des sols par les métaux lourds et d'autres polluants (bioremédiation). De par leur rôle dans le cycle du carbone, ils apportent une contribution essentielle aux actions visant à maintenir et accroître la fixation du carbone dans le sol. Ils contribuent de diverses manières à l'approche «Une seule santé», qui regroupe les santés humaine, animale, végétale et environnementale.
6. Aligné sur le Plan de travail, le projet d'étude se concentre tout particulièrement sur le rôle des micro-organismes et invertébrés des sols dans le cycle des nutriments et la bioremédiation.
7. Pour pousser convenablement, les plantes ont besoin d'un large éventail de macro- et micronutriments, et notamment des éléments suivants: carbone, hydrogène, oxygène, azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, soufre, fer, manganèse, cuivre, zinc, molybdène, bore et chlore. Elles captent le carbone par photosynthèse et, normalement, trouvent les autres nutriments dans le sol où elles poussent.

---

<sup>1</sup> CGRFA-17/19/Report, *appendice E*.

<sup>2</sup> Voir CGRFA-19/23/9.2; CGRFA-19/23/9.2/Inf.1.

<sup>3</sup> CGRFA-17/19/Report, *appendice E*, paragraphe 7.

<sup>4</sup> CGRFA-19/23/9.1/Inf.1.

8. Dans le cas du cycle du carbone, la matière organique morte est dégradée en matière organique du sol par les décomposeurs microbiens et invertébrés. Le carbone est naturellement piégé dans le sol sous l'effet de l'activité des photosynthétiseurs, des invertébrés pédoturbateurs et des producteurs d'oxalate.

9. Le cycle, la biodisponibilité et la biominéralisation de l'ensemble des macro- et micronutriments sont liés à l'activité biologique des organismes du sol. Les principales fonctions microbiennes comprennent la fixation de l'azote atmosphérique et sa transformation en formes assimilables par les plantes, ainsi que la biominéralisation du phosphore organique en composés inorganiques.

10. Les plantes sont capables de recruter activement, à partir du sol de la rhizosphère, divers micro-organismes qui colonisent ensuite leurs tissus racinaires internes. Il en résulte des relations métaboliques étroites entre plantes et microbes, qui sont souvent cruciales pour le développement de la plante.

11. La mobilité et la disponibilité de la plupart des métaux dans le sol dépendent des processus microbiens. De nombreuses bactéries autochtones du sol contribuent naturellement à la réduction des niveaux de toxicité en excréant des exopolysaccharides qui absorbent les métaux lourds.

### III. SITUATION, TENDANCES ET MENACES

12. Les efforts pour améliorer la compréhension de la biodiversité des sols ont été grandement facilités ces dernières années par l'émergence des approches génomiques. Grâce aux outils moléculaires, il est maintenant possible de détecter l'empreinte génétique de n'importe quel organisme avec une grande exactitude et une meilleure résolution. Les approches génomiques modernes s'intéressent à la variabilité des gènes et des fonctions, et non pas uniquement à la richesse taxonomique. Des modèles statistiques écologiques spécifiques sont mis en œuvre pour déterminer si tel ou tel groupe d'organismes requiert des mesures de conservation.

13. Seule une partie des microbes présents dans le sol a été décrite du point de vue taxonomique. De nouvelles technologies, telles que la spectrométrie de masse MALDI-TOF (*Matrix Assisted Laser Desorption Ionization-Time Of Flight*), qui consiste à coupler la technique de désorption-ionisation laser assistée par matrice à un analyseur à temps de vol, ou encore le séquençage à haut débit permettent d'identifier et de quantifier rapidement les micro-organismes. Néanmoins, à cause des difficultés posées par l'identification des espèces, les connaissances sur la taxonomie des microbes du sol restent parfois insuffisantes.

14. On estime que 80 à 90 % des micro-organismes du sol ne peuvent pas être cultivés selon les pratiques de laboratoire établies, en dépit des nombreux efforts déployés pour s'affranchir des limites des stratégies de culture classiques. Des estimations fondées sur la métagénomique montrent que l'écosystème des sols est dominé par des microbes non cultivés phylogénétiquement nouveaux et très divergents, dont les fonctions sont inconnues. Par conséquent, la situation et les tendances des espèces individuelles, et même des genres microbiens, sont en grande partie inconnues.

15. Dans le cas des invertébrés, même si des méthodes efficaces par rapport à leur coût permettent de quantifier et identifier les populations correctement, la littérature scientifique sur la répartition spatiale à grande échelle et la dynamique temporelle de la diversité souterraine reste limitée.

16. Les changements d'affectation des terres et l'emploi massif de produits agrochimiques dans l'agriculture ont été associés à un déclin de la biodiversité fonctionnelle et taxonomique des sols. Les données disponibles laissent penser que ce déclin est de très grande ampleur. Toutefois, son étendue à l'échelle mondiale n'a pas été quantifiée.

17. Dans les systèmes agricoles, l'application de quantités excessives d'engrais chimiques et l'absence de pratiques de gestion régénérative des sols sont autant de menaces pour la présence naturelle, la diversité et la richesse fonctionnelle des organismes vivant dans le sol. On constate souvent un manque de politiques et de législation appropriées en matière de protection de la biodiversité des sols.

18. Faute d'études suffisantes portant sur différentes régions et différents systèmes de production, les connaissances sur les effets de pratiques agricoles déterminées sur la biodiversité des sols restent fragmentaires. De façon générale, il apparaît que le labour et les pratiques d'irrigation inadaptées peuvent être préjudiciables aux fonctions de l'écosystème du sol. Il a été observé que les pesticides également pouvaient perturber le microbiome du sol, mais les résultats sont variables et dans certains cas, le microbiome s'est révélé capable d'adaptation. La biodiversité de surface influe sur la biodiversité souterraine, et il est apparu que la monoculture à long terme avait des effets négatifs sur diverses composantes de la biodiversité du sol. Les risques et les avantages associés à des traitements possibles tels que l'ajout de biochars dans le sol et l'utilisation de phages ne sont pas clairs et nécessitent des recherches supplémentaires.

19. L'introduction volontaire ou non d'espèces de vers de terre non autochtones a probablement entraîné un déclin de la diversité des vers terrestres autochtones sur plusieurs continents. Bien que tous leurs effets ne soient pas encore connus, il a été constaté que ces espèces pouvaient à l'occasion affecter les fonctions écologiques ou avoir un impact important sur certaines composantes de la biodiversité autochtone. D'autres invertébrés et micro-organismes allogènes envahissants ont également des effets négatifs avérés sur la biodiversité du sol.

20. La propagation des gènes de résistance aux antibiotiques dans les organismes du sol est un autre sujet de préoccupation. La présence de gènes de résistance aux antibiotiques dans les sols s'explique principalement par l'épandage de fumier animal comme engrais et l'utilisation des eaux usées d'origine humaine pour l'irrigation. Ces gènes sont capables de rester dans le sol pendant deux ans après l'épandage du fumier. L'utilisation d'antibiotiques dans l'agriculture constitue une menace importante pour la biodiversité microbienne autochtone des sols. Les antibiotiques et les gènes de résistance aux antibiotiques contribuent à la diffusion de souches bactériennes multirésistantes dans l'environnement.

21. La biodiversité des sols est sensible aux changements de la température et de l'humidité du sol, et donc vulnérable aux effets du changement climatique. Néanmoins, il est difficile de prévoir précisément ces impacts sur la base des informations actuellement disponibles. Ces changements pourraient avoir des effets considérables sur le rôle des micro-organismes dans le cycle du carbone. Des études consacrées à l'impact des températures et des précipitations sur les micro-organismes participant à la fixation biologique de l'azote indiquent que ceux-ci pourraient être fortement touchés. Les changements climatiques peuvent également interagir avec d'autres menaces telles que la pollution par les métaux lourds ou les pesticides.

22. Des résultats expérimentaux ont été obtenus sur le déclin de certains groupes taxonomiques de microbes et d'invertébrés qui peut être imputé à des modifications de facteurs environnementaux déterminés ou à des pratiques agricoles. Cependant, les publications en question ne fournissent généralement que des informations globales sur l'abondance et la richesse en espèces des populations ou des groupes fonctionnels. Plus rares sont les données sur les dynamiques temporelles par espèce.

23. Certains modèles mathématiques sont utiles pour comprendre les processus écologiques complexes et prévoir les changements qui peuvent s'opérer dans les écosystèmes réels des sols sous l'effet de conditions particulières. Modéliser l'extinction des organismes du sol est une tâche difficile en raison de la complexité des microhabitats du sol, de la variabilité de la taille des organismes et de la grande taille de leurs populations. Qui plus est, dans la mesure où les concepts écologiques existants ne peuvent pas être appliqués aux micro-organismes, les modèles d'extinction du biote des sols se limitent pour l'instant aux résultats expérimentaux obtenus à partir de microcosmes artificiels et ne peuvent pas être directement étendus ou généralisés.

#### IV. CONSERVATION ET UTILISATION DURABLE

24. Des mesures doivent être prises d'urgence pour contrer ces menaces qui pèsent sur la biodiversité des sols et concevoir des stratégies de gestion de la biodiversité des sols qui tiennent compte de la nécessité de promouvoir une production alimentaire durable conjointement à divers autres services écosystémiques, ainsi que de réduire les effets délétères des pratiques agricoles.
25. Pour préserver les organismes des sols de façon efficace, il faut conjuguer approches *in situ* et *ex situ*. Comme cela a été indiqué plus haut, bon nombre de pratiques de gestion agricole constituent une menace pour la biodiversité des sols. Néanmoins, plusieurs techniques se sont révélées à même d'enrayer le déclin des organismes autochtones du sol et de contribuer à leur conservation. Elles comprennent, entre autres, la préservation de la couverture du sol (à l'aide de paillis ou de cultures de couverture par exemple), la permaculture, le recours aux cultures arbustives et à l'agroforesterie (y compris les pratiques sylvopastorales), la diversification de la rotation des cultures, la culture de plantes autochtones, l'ensemencement sous couvert et la diminution de l'utilisation de pesticides, même si les résultats varient en fonction de chaque combinaison de pratiques et des conditions environnementales.
26. Les méthodes de gestion traditionnelles favorables à la biodiversité des sols sont souvent négligées. Nombre d'entre elles risquent de disparaître avant que l'on ait pu évaluer leur efficacité.
27. Le compostage, qui consiste à transformer les déchets en engrais à l'aide de micro-organismes et d'invertébrés, est pratiqué depuis des siècles. Il est démontré que l'utilisation du compost en agriculture produit des avantages à long terme pour la teneur en nutriments des sols, le potentiel de fixation du carbone et la biodiversité des sols, même si, s'agissant des effets sur ce dernier paramètre, les données sont pour l'instant limitées.
28. La généralisation et l'accélération de l'adoption de pratiques de gestion des sols durables passe par une coopération améliorée entre les agriculteurs et gestionnaires de terres et les chercheurs, les ingénieurs et les législateurs. La participation active des agriculteurs a été encouragée au moyen d'approches telles que la régénération naturelle gérée par les agriculteurs, une forme régénérative d'agroforesterie qui a fait ses preuves au Sahel.
29. La conservation des micro-organismes et invertébrés des sols doit être guidée par des directives appropriées comprenant des paramètres clés bien définis concernant les sols, des informations sur les organismes indicateurs importants et des normes de qualité soigneusement sélectionnées permettant de réaliser des évaluations comparatives.
30. Dans certains cas, la protection *in situ* de la biodiversité des sols doit être complétée par des programmes de régénération des sols prévoyant, entre autres mesures, la réintroduction d'organismes du sol en voie d'épuisement ou localement éteints à partir de collections *ex situ*.
31. Lorsque les mesures de conservation se concentrent sur des espèces individuelles, les invertébrés, et en particulier les micro-organismes, tendent à être négligés en raison de leur «invisibilité», de la méconnaissance de leur importance et du fait qu'ils sont absents des listes telles que la Liste rouge des espèces menacées de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN).
32. Jusqu'à présent, la plupart des études consacrées au déclin de la biodiversité des sols se sont focalisées sur les effets de menaces uniques et non sur les menaces multiples qui opèrent concomitamment; par conséquent, les informations qu'elles livrent ne sont pas suffisantes pour permettre une planification efficace des interventions de gestion.
33. La diversité des organismes des sols varie selon les régions du monde. À cet égard, différentes zones ont été identifiées comme des «points chauds» en termes de dissemblance des communautés, de richesse des espèces ou de fourniture de services écosystémiques, et la conservation de chacune de ces zones exige potentiellement une panoplie d'interventions différente dans chaque cas. Seule une petite fraction de ces zones sensibles est actuellement protégée. Certaines parties du monde se caractérisent par un manque notoire de données sur la biodiversité des sols, qui fait obstacle à la planification d'interventions concrètes en faveur de leur conservation et de leur utilisation durable.

34. Pour évaluer les besoins en matière de mesures de conservation et de gestion, il faut disposer de données écologiques de bonne qualité. Or, la collecte de ces données, en particulier les données sur les populations à long terme, peut s'avérer longue et onéreuse. Du fait du manque de données de qualité sur la répartition et l'écologie des espèces cibles, il est souvent impossible de transposer les modèles et les applications de conservation à d'autres régions. L'utilisation de modèles pour prévoir l'évolution des écosystèmes dans les conditions environnementales futures et promouvoir une gestion durable impose de normaliser la collecte des données, les protocoles de laboratoire, l'analyse des données et la modélisation.

35. Faute de données suffisantes, certains plans de conservation sont élaborés à l'aide de données de substitution, telles que des données sur des espèces représentatives servant d'indicateurs au regard de l'objectif recherché. Il est également possible d'utiliser des indicateurs de la santé des écosystèmes ou des sols, tels que la teneur en carbone organique des sols et leur capacité de rétention d'eau. L'élaboration de modèles écologiques statistiques permettant d'optimiser les objectifs multiples liés à la conservation et à la productivité n'est pas une tâche aisée. Les approches d'optimisation fondées sur des données de substitution peuvent fournir des cadres de gestion offrant un niveau d'exactitude de prévision acceptable, et facilement adaptables à différents paramètres et types de données spatiales et temporelles.

#### *Collections de cultures*

36. Les collections de cultures microbiennes font fonction de centres d'identification et de conservation des micro-organismes des sols et de sources de micro-organismes disponibles à des fins de recherche et d'utilisation. Le catalogue de collections de cultures et la base de données de micro-organismes reconnus les plus complets sont accessibles via la page web de la Fédération internationale des collections de cultures<sup>5</sup>, qui fournit des informations sur 768 collections de cultures de 76 pays. La base de données du Centre mondial de données sur les micro-organismes<sup>6</sup> est un répertoire de collections mondiales qui contient des informations sur plus de 3 millions de micro-organismes et lignées cellulaires, appartenant à 831 collections de cultures issues de 78 pays. Certaines collections pourraient disparaître en raison du manque de financements, notamment pour le personnel, ou de catastrophes naturelles. Il faut donc intervenir pour assurer leur conservation future.

37. Plusieurs technologies de conservation *ex situ* différentes peuvent être employées en fonction des objectifs recherchés. Les méthodes de conservation à long terme comprennent la cryoconservation, le stockage sous l'eau et la lyophilisation. Pour être conservés sous la forme la plus viable possible, certains organismes nécessitent un travail du sol et du substrat, parfois en collaboration avec leur partenaire symbiotique, comme c'est le cas par exemple pour les champignons mycorhiziens à arbuscules. Même si certaines d'entre elles requièrent l'utilisation de matériel énergivore, les techniques de conservation à long terme présentent de nombreux avantages et sont utilisées dans la plupart des collections de cultures.

38. Les collections de cultures microbiennes font face à des obstacles tels que le manque de personnel qualifié et de technologies de pointe permettant la culture à haut débit, la culture du microbiome entier et la propagation des organismes actuellement incultivables. On observe aussi souvent un manque de coordination entre les collections.

#### *Utilisation d'organismes cultivés et transplantés*

39. Les engrais biologiques sont des produits agricoles formulés qui contiennent des micro-organismes cultivés et sélectionnés, capables d'accroître la disponibilité des nutriments du sol. Les bactéries bénéfiques qui favorisent la croissance des plantes ou la fixation de l'azote, comme les bactéries appartenant aux genres *Rhizobium*, *Azotobacter* et *Azospirillum*, sont largement utilisées dans les engrais biologiques. Il existe également sur le marché de nombreux produits contenant des champignons mycorhiziens à arbuscules. Néanmoins, la viabilité et la fiabilité d'un grand nombre de ces inoculants restent sujettes à caution, car bien souvent, ils ne parviennent pas à s'établir dans les

---

<sup>5</sup> <https://www.wfcc.info/>.

<sup>6</sup> <https://www.wdcm.org>.

conditions du terrain. La plupart des études portant sur les avantages des inoculants microbiens ont été menées sous serre.

40. Les inoculants microbiens pourraient constituer une menace pour les organismes autochtones du sol. Même si la plupart des études réalisées à ce jour concluent que ces effets sont limités, des recherches supplémentaires s'imposent. De même, les effets des pesticides biologiques sur la biodiversité des sols doivent être mieux étudiés.

41. Les vers de terre sont couramment utilisés pour le compostage et largement commercialisés à cet usage. Sur le marché de la lutte biologique contre les ravageurs, on trouve des produits de traitement du sol à base de nématodes, disponibles sous forme de capsules ou de cultures séchées. Diverses espèces de nématodes entomopathogènes sont couramment employées dans la gestion des ravageurs de l'agriculture et sont produites en masse par incubation dans des bioréacteurs.

42. L'élevage sélectif des invertébrés des sols n'est pas répandu. Les recherches menées sur le ver de terre *Eisenia fetida* ont donné des résultats prometteurs en termes de biomasse, de temps de maturation, de taux de production de cocons et de succès à l'éclosion, entre autres caractéristiques. Les essais d'élevage sélectif de nématodes du sol visant à améliorer l'attraction vers un signal racinaire, la tolérance à la dessiccation et la recherche sélective d'hôtes ont montré que la manipulation des caractères clés peut être efficace si l'héritabilité du caractère sélectionné est suffisamment élevée ou si les caractères bénéfiques sont stabilisés dans les lignées consanguines.

43. L'utilisation de microbiomes entiers (ou de consortiums microbiens) en lieu et place d'espèces uniques ou de mélanges d'espèces comme biostimulants, engrais biologiques ou pesticides biologiques dans l'agriculture est en train de s'affirmer comme une approche novatrice. Les microbiomes entiers se révèlent parfois plus efficaces que des espèces uniques, peut-être en raison des effets de complémentarité. Des initiatives de réintroduction de communautés de champignons mycorhiziens à arbuscules autochtones et de microbiomes entiers du sol visant à favoriser la régénération de la végétation autochtone ont été couronnées de succès.

44. En raison de leur nature complexe, les applications du microbiome associé aux plantes soulèvent un certain nombre de problèmes, liés notamment aux contraintes de l'approbation réglementaire, dont l'obtention est actuellement subordonnée à l'identification de la souche dans les produits microbiens – une tâche impossible pour un produit du microbiome contenant des centaines de milliers de micro-organismes. Il est nécessaire d'harmoniser ou de normaliser les protocoles de recherche applicables à l'étude du microbiome des sols et d'améliorer les liens interdisciplinaires entre les communautés de recherche sur les microbiomes (humain, environnemental, végétal et animal).

#### *Utilisation en bioremédiation*

45. Plusieurs technologies peuvent être mises à profit pour assainir les sites pollués par des métaux lourds. L'approche physico-chimique traditionnelle peut être onéreuse et impliquer des rayonnements ou des produits chimiques dangereux. La bioremédiation est une solution sûre, peu coûteuse et relativement respectueuse de l'environnement, particulièrement adaptée pour l'élimination de faibles concentrations de polluants. Le terme de bioremédiation fait référence à un traitement biologique *in situ* utilisant les micro-organismes du sol, qui a pour principales fonctions de dégrader les polluants organiques, tels que les hydrocarbures pétroliers, les solvants et les pesticides, et de transformer certaines espèces d'oligo-éléments pour en réduire la disponibilité.

46. La bioremédiation par biosorption (sorption avec du matériel biologique) permet d'éliminer les métaux lourds sans générer de boues toxiques ou de polluants secondaires. Elle peut être réalisée avec de la biomasse microbienne vivante ou morte. Les cellules mortes ont l'avantage de pouvoir être stockées facilement sous forme de poudre et, par conséquent, ne nécessitent pas d'être maintenues dans les conditions de croissance particulières dont les micro-organismes vivants ont besoin. Tandis que la bioaccumulation (l'accumulation du polluant dans l'organisme) est un processus actif qui dépend du métabolisme microbien et qui est partiellement réversible, la biosorption est un processus indépendant du métabolisme et réversible, qui ne nécessite pas un apport énergétique important ni un environnement respiratoire idéal. Une autre méthode de bioremédiation consiste à utiliser des

organismes pouvant transformer les formes toxiques d'un polluant en formes non toxiques et moins mobiles.

47. Il a été montré que les vers de terre pouvaient réduire les concentrations de différents métaux lourds dans le sol. L'utilisation combinée de vers de terre et de micro-organismes apparaît prometteuse.

48. S'il est possible de stimuler les communautés microbiennes et invertébrées autochtones déjà présentes dans le sol dans le but de favoriser la dégradation d'un polluant local spécifique (biostimulation), l'approche la plus courante consiste à isoler des souches microbiennes spécifiques à partir d'un site pollué et à les cultiver en laboratoire, pour les inoculer ensuite dans le sol (bioaugmentation).

49. Pour obtenir de bons candidats microbiens à la bioremédiation, le moyen idéal est de recueillir des échantillons sur place et d'isoler les souches résistantes aux métaux lourds dotées de la panoplie d'outils génétiques nécessaire pour transformer l'agent polluant. L'introduction dans le sol de micro-organismes issus de la bio-ingénierie ou non autochtones est discutable, même sur les sites pollués, quoiqu'il s'agisse d'un moyen pratique et rapide de traiter les boues d'épuration ou les eaux usées dans les systèmes fermés, où les organismes peuvent être stérilisés ou éliminés avant utilisation du matériau biorestauré sur le terrain. Toute opération de bioremédiation impliquant l'utilisation d'organismes vivants doit faire l'objet d'une évaluation appropriée des risques pour la santé humaine ou animale ou pour l'écosystème local.

50. Outre les métaux lourds, les micro-organismes peuvent également être utilisés pour la bioremédiation des sols pollués par les résidus de divers pesticides. Toutefois, on ne dispose que de données limitées sur la mesure dans laquelle ces approches sont véritablement mises en pratique.

51. Bon nombre des micro-organismes et des vers de terre ajoutés au sol pour réduire la bioaccumulation ou la biodisponibilité des substances toxiques peuvent simultanément améliorer la croissance des plantes, la fertilité du sol et la disponibilité des nutriments.

## V. CADRES POLITIQUES ET JURIDIQUES

52. Au niveau mondial, la Conférence des Parties (COP) à la Convention sur la diversité biologique (CDB) a décidé en 2002 d'établir l'Initiative internationale pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique des sols<sup>7</sup> dans le cadre de son Programme de travail sur la biodiversité agricole. La FAO et d'autres organisations compétentes ont été invitées à faciliter et à coordonner cette initiative<sup>8</sup>. La COP a adopté un cadre d'action pour cette initiative en 2006<sup>9</sup>. En 2022, lors de sa 15<sup>e</sup> réunion, elle a approuvé un nouveau plan d'action pour l'initiative couvrant la période 2020-2030<sup>10</sup>. Le document intitulé *Progress Report on the implementation of the International Initiative for the Conservation and Sustainable Use of Soil Biodiversity*<sup>11</sup> (Rapport intérimaire sur la mise en œuvre de l'Initiative internationale pour la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique des sols) fait le point sur les activités menées au titre de l'initiative. À sa 15<sup>e</sup> réunion, la Conférence des Parties à la CDB a demandé que les programmes de travail de la CDB fassent l'objet d'un examen et d'une analyse stratégiques dans le contexte du Cadre mondial de la biodiversité de Kunming à Montréal, afin de faciliter la mise en œuvre dudit instrument, et que des projets de mise à jour de ces programmes de travail soient préparés en vue de leur examen à la 16<sup>e</sup> réunion de la COP<sup>12</sup>. Au niveau mondial également, le Cadre d'action en faveur de la biodiversité pour l'alimentation et l'agriculture<sup>13</sup> contient plusieurs références spécifiques à la biodiversité des sols et à la santé des sols.

---

<sup>7</sup> Décision n° VI/5.

<sup>8</sup> Décision n° VI/5.

<sup>9</sup> UNEP/CBD/COP/DEC/VIII/23.

<sup>10</sup> CBD/COP/DEC/15/28.

<sup>11</sup> CGRFA-19/23/9.1/Inf.2.

<sup>12</sup> CBD/COP/DEC/15/4, paragraphe 9.

<sup>13</sup> CGRFA-18/21/Report, appendice C.

53. Au niveau national, la majorité des pays ont intégré des mesures relatives aux sols dans leurs stratégies et plans d'action nationaux pour la biodiversité. Néanmoins, rares sont les mesures axées spécifiquement sur la biodiversité des sols. Dans leurs rapports au secrétariat de la CDB, les pays ont fait état de difficultés pour identifier et comprendre la biodiversité des sols et d'un manque de compétences et d'outils dans ce domaine. Les données nécessaires pour évaluer l'impact des politiques nationales font souvent défaut.

54. De manière générale, peu de pays se sont dotés de cadres politiques et juridiques efficaces favorisant l'utilisation durable et la conservation de la biodiversité des sols, et ceux qui l'ont fait sont pour l'essentiel des pays développés. Néanmoins, il existe des pays mettant en œuvre des mesures liées à la biodiversité des sols dans toutes les régions du monde.

55. Les cadres juridiques relatifs à l'accès et au partage des avantages, ainsi qu'à la protection sanitaire et phytosanitaire, ont une incidence sur les échanges internationaux de micro-organismes et d'invertébrés des sols. Les mesures de quarantaine servent à protéger la biodiversité des sols autochtones contre les menaces liées aux maladies et aux espèces allogènes envahissantes.

## VI. RÉSEAUX ET COOPÉRATION

56. Un grand nombre de réseaux mondiaux et régionaux contribuent à la gestion de la biodiversité des sols. Le Partenariat mondial sur les sols<sup>14</sup> est l'un des plus importants. Ce mécanisme reconnu au niveau mondial a été établi en 2012 dans le but d'inscrire la question des sols parmi les priorités mondiales et de promouvoir la gestion durable des sols. Hébergé par la FAO, il s'emploie à améliorer la gouvernance des sols pour garantir le maintien de sols productifs qui contribuent à la sécurité alimentaire, à l'adaptation au changement climatique et à l'atténuation de ses effets, ainsi qu'au développement durable pour tous<sup>15</sup>.

57. Le Réseau international sur la biodiversité des sols (NETSOB)<sup>16</sup> a été créé en décembre 2021 pour promouvoir l'utilisation durable et la conservation de la biodiversité des sols et pour encourager la contribution collective des experts compétents et des initiatives existantes à la mise en œuvre de l'Observatoire mondial de la biodiversité des sols (GLOSOB).

## VII. CAPACITÉS EN MATIÈRE DE RECHERCHE ET D'ÉDUCATION

58. Au cours des dernières décennies, une pénurie de taxonomistes et de conservateurs qualifiés s'est fait jour, entraînant un «obstacle taxonomique» dans le domaine de la microbiologie des sols, c'est-à-dire un manque de capacités pour tenir à jour les informations sur certains taxons et espèces mal identifiées et traiter les grandes quantités de données taxonomiques ajoutées aux bases de données. Cela étant, le nombre d'articles de recherche, d'analyses documentaires, d'ouvrages, de nouvelles revues, de numéros spéciaux, de conférences et de réseaux scientifiques abordant des sujets liés aux sols a explosé.

59. Les programmes scientifiques participatifs peuvent apporter une contribution importante à la collecte de données sur les sols, y compris sur la répartition des espèces, avec l'aide de collecteurs de données bénévoles. Plusieurs initiatives fructueuses ont été mises en place, mais seulement dans un nombre limité de pays.

60. Pour améliorer la visibilité de la biodiversité des sols et faire prendre conscience de son importance, il faut sensibiliser le public. L'adoption de pratiques de gestion améliorées passe par une formation et une éducation des agriculteurs et des propriétaires fonciers. Diverses mesures ont été prises, telles que la création de sites web pédagogiques et l'intégration d'une formation sur les problématiques liées aux sols dans les activités des écoles pratiques d'agriculture. Néanmoins, seul un nombre limité de stratégies et plans d'action nationaux pour la biodiversité comprennent des plans spécifiques visant à former les agriculteurs et autres parties prenantes aux pratiques de gestion des sols

---

<sup>14</sup> <https://www.fao.org/global-soil-partnership/fr/>.

<sup>15</sup> Voir CGRFA-19/23/9.1/Inf.2.

<sup>16</sup> <https://www.fao.org/global-soil-partnership/netsob/fr/>.

ou à soutenir les réseaux de recherche pluridisciplinaire axés sur la conservation de la biodiversité des sols.

### VIII. LACUNES, BESOINS ET ACTIONS POSSIBLES

61. Il reste d'importantes lacunes à combler dans la connaissance des micro-organismes et des invertébrés intervenant dans les différents cycles des éléments nutritifs du sol. Ces lacunes concernent notamment la façon dont ces organismes sont affectés par les pratiques de gestion agricole, leur rôle dans les solutions de substitution possibles à la fertilisation conventionnelle au phosphore, leur rôle dans le piégeage du carbone, les liens entre leur rôle dans la fixation de l'azote et leur rôle dans la production de méthane, et l'impact qu'ont sur eux les gènes de résistance aux antibiotiques. Il est nécessaire d'améliorer les bases de données de gènes microbiens et de mettre au point de nouvelles méthodes pour prévoir et quantifier les fonctions microbiennes.

62. Pour améliorer la bioremédiation, il importe de mieux comprendre les interactions qui s'opèrent entre les bactéries, les champignons et les invertébrés. Une attention particulière doit être portée au rôle des invertébrés dans la bioremédiation des métaux lourds et des pesticides, à l'amélioration des méthodes de bioremédiation *in situ*, à la bioremédiation de polluants multiples et à l'identification d'organismes bio-indicateurs.

63. Les cartes et les bases de données contenant des informations sur la situation et les tendances de la biodiversité des sols et des menaces que sont notamment les organismes envahissants et la pollution des sols doivent être mises à jour et étoffées, le cas échéant avec l'appui de nouvelles technologies telles que la télédétection, les drones et les robots.

64. Il convient d'améliorer l'efficacité dans les conditions du terrain de produits microbiens tels que les engrais biologiques, de prévenir les effets non ciblés sur la biodiversité autochtone et les fonctions du sol et d'étudier les avantages potentiels de l'utilisation de consortiums microbiens en lieu et place de souches uniques. Il faut déterminer ce qu'est un sol «sain» et comment cette qualité peut être mesurée dans différents environnements.

65. Il est également nécessaire de mieux communiquer sur les résultats de la recherche, notamment ceux ayant trait aux avantages de la biodiversité des sols et des pratiques agricoles durables, auprès des agriculteurs et du grand public, et de faire participer davantage les parties prenantes aux activités de recherche, de diffusion et de développement.

66. L'amélioration de la conservation des micro-organismes et invertébrés des sols nécessitera de mieux comprendre leur situation (réalisation d'études de référence et suivi fréquent à long terme), de mieux partager l'information, de remédier au manque de prise en compte de ces organismes dans la planification de la conservation et de déterminer des moyens d'encourager les pratiques agricoles qui leur sont bénéfiques. Des programmes de conservation des cultures et des arbres autochtones, ainsi que des microbiotes et des invertébrés autochtones qui leur sont associés, doivent être mis en place.

67. Pour renforcer la conservation *ex situ*, mais aussi améliorer la compréhension des fonctions microbiennes, il est nécessaire d'élaborer des protocoles et des technologies à haut débit permettant la mise en culture de groupes «incultivables» et de microbiomes entiers. Il est également indispensable de centraliser le dépôt des souches microbiennes. Le manque de financement et de personnel qualifié est actuellement un obstacle majeur à la conservation *ex situ*. Il est essentiel d'établir des collections dédiées à la culture d'organismes du sol négligés ou d'organismes difficiles à élever ou cultiver dans les conditions du laboratoire.

68. Des méthodes améliorées doivent être mises au point pour restaurer les sols dans les zones fortement perturbées, notamment les sites qui ont été dégradés par des pratiques agricoles non durables. Cela nécessitera une compréhension globale des interdépendances entre les plantes, les invertébrés, les protozoaires, les bactéries, les champignons, les virus et les fonctions connexes du sol. Il faut cibler les microbiomes plutôt que des organismes uniques ou des groupes limités d'organismes. Les organismes du sol perdus pourraient, le cas échéant, être récupérés à partir de collections *ex situ* et réintroduits.

69. Certaines réglementations se rapportant à la gestion de la biodiversité des sols doivent être améliorées. Par exemple, l'obligation d'enregistrement de la souche peut faire obstacle à l'introduction dans l'agriculture de produits contenant plusieurs microbes. Une révision des règles d'importation d'invertébrés pourrait également s'imposer. Une autre exigence sera d'améliorer le contrôle de la qualité de la viabilité des produits microbiens. Les scientifiques et les conservateurs des collections de cultures doivent être étroitement associés à l'élaboration des politiques.

70. Voici quelques-uns des domaines qui nécessitent une collaboration internationale stratégique et pluridisciplinaire:

- élaboration de stratégies permettant de mieux communiquer et de mieux sensibiliser le public et les parties prenantes, comprenant la réalisation de documents d'information sur les organismes du sol et leur utilisation;
- mesures facilitant la recherche interdisciplinaire et internationale et l'établissement de partenariats sur les problématiques liées à la biodiversité des sols;
- transfert de connaissances entre les secteurs agricole, universitaire, industriel et politique, de façon à améliorer les produits, la législation pertinente et les systèmes de financement de la recherche;
- coordination de la recherche et mise en place de protocoles définissant ce qu'est un microbiome du sol «sain» et de protocoles pour les techniques de laboratoire et d'analyse couramment utilisées; et
- harmonisation des programmes de suivi, des réseaux, des initiatives et des bases de données se rapportant à la biodiversité des sols.

71. Voici une liste des mesures qui peuvent être envisagées pour améliorer la conservation et l'utilisation durable des micro-organismes et invertébrés des sols:

- Il y a lieu d'élaborer des directives et des procédures opérationnelles normalisées concernant la définition des «sols sains», aux fins de leur utilisation dans les évaluations comparatives de la biodiversité des sols. Ces directives et procédures doivent comprendre des paramètres clés bien définis concernant les sols, notamment des paramètres biologiques tels que les taxons microbiens/invertébrés révélateurs de la santé du sol, ainsi que des normes de qualité soigneusement choisies.
- Il est nécessaire de parvenir à un consensus sur: a) les fonctions les plus importantes du sol; b) les paramètres à inclure dans les évaluations des effets des nouvelles méthodes agricoles sur les sols; c) les principaux paramètres de la biodiversité des sols; et d) des procédures harmonisées d'échantillonnage, de laboratoire et d'analyse de la biodiversité des sols.
- Les recommandations relatives à l'état optimal des sols et aux meilleures pratiques et interventions en matière de gestion des sols en agriculture doivent se fonder sur des observations à long terme effectuées dans un ensemble diversifié de régions géographiques et de conditions environnementales.
- Pour favoriser l'adoption des pratiques agricoles prometteuses qui sont favorables à la conservation de la biodiversité des sols, il y a lieu d'améliorer l'évaluation de leur applicabilité et de leur facilité de mise en œuvre, en prenant en compte leurs effets indésirables possibles.
- La fonctionnalité, la normalisation et la maintenance des bases de données consacrées aux paramètres de la santé des sols et aux caractéristiques de la biodiversité des sols à l'échelle régionale doivent être améliorées.
- La protection des sols dans les systèmes agricoles se heurte à des problèmes complexes dont la résolution passe par l'adoption d'approches scientifiques interdisciplinaires faisant appel à un large éventail de spécialistes, notamment des chimistes de l'environnement, des biologistes, des agronomes et des taxonomistes.
- La coordination entre les multiples activités de recherche et réseaux scientifiques qui travaillent sur l'utilisation durable et la conservation des micro-organismes et invertébrés des sols doit être intensifiée et améliorée.

- La sensibilisation à la conservation de la biodiversité des sols et le renforcement des capacités dans ce domaine par le biais de l'éducation et de la participation des producteurs, ainsi que l'amélioration de la diffusion et de la communication avec le public, sont essentiels.
- Les initiatives de conservation *ex situ* et *in situ* déjà existantes doivent être mieux coordonnées et devraient également pourvoir à la nécessité de cultiver et conserver les groupes d'organismes du sol peu étudiés.
- Il convient de définir des objectifs à court et à long termes en matière de conservation et d'utilisation durable des organismes du sol et de les hiérarchiser par ordre de priorité.

## **IX. INDICATIONS QUE LA COMMISSION EST INVITÉE À DONNER**

72. La Commission souhaitera peut-être:

- i) prendre note du projet d'étude et formuler des observations à ce sujet;
- ii) recommander que l'étude soit achevée, diffusée et portée à l'attention du Partenariat mondial sur les sols et du secrétariat de la CDB;
- iii) donner suite aux conclusions et aux recommandations issues de l'étude et réfléchir aux mesures de suivi à prendre pour que la Commission et ses membres continuent de renforcer leurs travaux sur les micro-organismes et invertébrés des sols, la priorité étant donnée aux organismes qui participent à la bioremédiation et au cycle des nutriments;
- iv) recommander que la FAO prenne les résultats de l'étude en considération dans ses travaux sur des thèmes en lien avec la gestion des micro-organismes et invertébrés des sols, selon qu'il convient;
- v) inviter les membres à encourager l'utilisation durable et la conservation des micro-organismes et invertébrés des sols et à faire en sorte que ceux-ci soient dûment pris en compte dans les politiques locales, nationales, régionales et internationales et dans les processus d'élaboration des politiques;
- vi) encourager les acteurs concernés, notamment les instituts scientifiques, à collaborer dans le domaine de l'utilisation durable et de la conservation des micro-organismes et invertébrés des sols, en mettant particulièrement l'accent sur le développement des capacités dans les pays en développement et les pays en transition économique;
- vii) inviter les membres et les parties prenantes à intensifier les recherches sur les micro-organismes et invertébrés des sols, en particulier sur les méthodes de conservation et de culture et sur les effets des pratiques agricoles sur les sols, et à renforcer les programmes d'évaluation et de suivi de la biodiversité des sols; et
- viii) demander au secrétariat de collaborer avec les experts compétents sur la formulation de recommandations spécifiques concernant les micro-organismes et invertébrés des sols, qui seront examinées par la Commission à sa prochaine session.