



# Notre terrain d'entente

Rétablir la santé des terres pour une agriculture durable

Ludovic Larbodière, Jonathan Davies, Ruth Schmidt, Chris Magero, Alain Vidal, Alberto Arroyo Schnell, Peter Bucher, Stewart Maginnis, Neil Cox, Olivier Hasinger, P.C. Abhilash, Nicholas Conner, Vanja Westerberg, Luis Costa



UNION INTERNATIONALE POUR LA CONSERVATION DE LA NATURE



## À propos de l'UICN

L'UICN est une union de Membres composée de gouvernements et d'organisations de la société civile. Elle offre aux organisations publiques, privées et non-gouvernementales les connaissances et les outils nécessaires pour que le progrès humain, le développement économique et la conservation de la nature se réalisent en harmonie.

Créée en 1948, l'UICN s'est agrandie au fil des ans pour devenir le réseau environnemental le plus important et le plus diversifié au monde. Elle compte avec l'expérience, les ressources et le poids de ses plus de 1400 organisations Membres et les compétences de ses plus de 15 000 experts. Elle est l'un des principaux fournisseurs de données, d'évaluations et d'analyses sur la conservation. Sa taille lui permet de jouer le rôle d'incubateur et de référentiel fiable de bonnes pratiques, d'outils et de normes internationales.

L'UICN offre un espace neutre où diverses parties prenantes – gouvernements, ONG, scientifiques, entreprises, communautés locales, groupes de populations autochtones, organisations caritatives et autres – peuvent travailler ensemble pour élaborer et mettre en œuvre des solutions pour lutter contre les défis environnementaux et obtenir un développement durable.

Travaillant de concert avec de nombreux partenaires et soutiens, l'UICN met en œuvre un portefeuille vaste et divers de projets liés à la conservation dans le monde. Associant les connaissances scientifiques les plus pointues et le savoir traditionnel des communautés locales, ces projets visent à mettre un terme à la disparition des habitats, à restaurer les écosystèmes et à améliorer le bien-être des populations.

[www.iucn.org](http://www.iucn.org)

<https://twitter.com/IUCN/>

# Notre terrain d'entente

Rétablir la santé des terres pour une agriculture durable

Ludovic Larbodière, Jonathan Davies, Ruth Schmidt, Chris Magero, Alain Vidal, Alberto Arroyo Schnell, Peter Bucher, Stewart Maginnis, Neil Cox, Olivier Hasinger, P.C. Abhilash, Nicholas Conner, Vanja Westerberg, Luis Costa

La terminologie géographique employée dans cet ouvrage, de même que sa présentation, ne sont en aucune manière l'expression d'une opinion quelconque de la part de l'UICN concernant le statut juridique ou l'autorité de quelque pays, territoire ou région que ce soit, ou sur la délimitation de ses frontières.

Les opinions exprimées dans cette publication ne reflètent pas nécessairement celles de l'UICN.

L'UICN remercie ses partenaires cadre pour leur précieux support et tout particulièrement le Ministère des affaires étrangères de la Finlande ; le Gouvernement Français et l'Agence Française de Développement (AFD) ; le Ministère de l'environnement de la République de Corée ; l'Agence norvégienne de développement et de coopération (Norad) ; l'Agence suédoise de coopération internationale au développement (Asdi) ; la Direction du développement et de la coopération de la Suisse (DDC) et le Département d'État des États Unis d'Amérique.

Le présent ouvrage a pu être publié grâce au soutien financier du Ministère français de l'agriculture, du Gouvernement français et de l'Agence Française de Développement (AFD).

**Publié par :** UICN, Gland, Suisse.

**Droits d'auteur :** © 2020 UICN, Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources  
La reproduction de cette publication à des fins non commerciales, notamment éducatives, est permise sans autorisation écrite préalable du (des) détenteur(s) des droits d'auteur à condition que la source soit dûment citée. La reproduction de cette publication à des fins commerciales, notamment en vue de la vente, est interdite sans autorisation écrite préalable du (des) détenteur(s) des droits d'auteur.

**Citation :** Larbodière, L., Davies, J., Schmidt, R., Magero, C., Vidal, A., Arroyo Schnelle, A., Bucher, P., Maginnis, S., Cox, N., Hasinger, O., Abhilash, P.C., Conner, N., Westerberg, V., Costa, L. (2020). *Notre terrain d'entente : rétablir la santé des terres pour une agriculture durable*. Gland, Suisse : UICN.

**ISBN :** 978-2-8317-2072-2 (PDF)

**DOI :** <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.10.fr>

**Correcteur :** Stephen Graham

**Photo de couverture :** Shutterstock

**Mise en page :** Eyeris Communicatons

**Illustrations :** Toutes les illustrations de cette publication ont été développées par les auteurs et l'UICN en détient les droits de reproduction, sauf indication contraire.

Disponible auprès de: UICN, Union internationale pour la conservation de la nature  
Programme mondial de gestion des écosystèmes  
Rue Mauverney 28  
1196 Gland, Suisse  
[Jonathan.Davies@iucn.org](mailto:Jonathan.Davies@iucn.org)  
[www.iucn.org/resources/publications](http://www.iucn.org/resources/publications)

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> .....	<b>vii</b>
<b>Résumé exécutif</b> .....	<b>viii</b>
Pourquoi rechercher un terrain d'entente?.....	viii
La conservation de la biodiversité des sols améliore la santé des terres agricoles.....	viii
L'amélioration de la santé des terres agricoles peut apporter des avantages considérables à la société.....	viii
Les solutions pour restaurer et maintenir la santé des terres agricoles sont bien établies.....	ix
Des mesures incitatives sont nécessaires pour accélérer la transition.....	ix
Les conditions sont favorables à des progrès rapides.....	x
<b>Recommandations</b> .....	<b>x</b>
<b>Remerciements</b> .....	<b>xii</b>
<b>Acronymes et abréviations</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. Introduction à la recherche d'un terrain d'entente: alimenter neuf milliards de personnes tout en protégeant la nature</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Nourrir l'avenir</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 Équilibrer les objectifs de durabilité</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Gérer la nature pour améliorer la durabilité agricole</b> .....	<b>5</b>
<b>1.4 Vers un changement de système</b> .....	<b>7</b>
<b>2. Pratiques agricoles non durables et avenir de l'agriculture</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1 La terre en tant que ressource finie</b> .....	<b>9</b>
2.1.1 Contribution de l'agriculture à la transgression des limites écologiques.....	10
<b>2.2 Développement agricole: un acteur performant?</b> .....	<b>11</b>
2.2.1 Terres consacrées à l'agriculture.....	14
<b>2.3 Impacts de l'environnement sur les terres agricoles</b> .....	<b>16</b>
2.3.1 Dégradation des terres.....	16
2.3.2 Déclin de la biodiversité.....	18
2.3.3 Stress hydrique.....	18
<b>2.4 Facteurs de dégradation des terres dans le secteur agricole</b> .....	<b>19</b>
<b>2.5 Relancer la santé des terres pour favoriser la durabilité du système alimentaire</b> .....	<b>21</b>
<b>2.6 Conclusion du chapitre 2</b> .....	<b>22</b>
<b>3. Biodiversité des sols et santé des terres agricoles</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1 La riche biodiversité des sols</b> .....	<b>25</b>
3.1.1 Biote du sol et processus écosystémiques.....	27
3.1.2 Macrofaune.....	27
3.1.3 Méso-faune.....	28
3.1.4 Microfaune.....	28
<b>3.2 Le sol en tant que système écologique</b> .....	<b>30</b>
3.2.1 Services écosystémiques essentiels pour l'agriculture.....	30
3.2.1.1 Cycle des nutriments.....	30
3.2.1.2 Décomposeurs et transformateurs élémentaires.....	31
3.2.1.3 Modification de la structure du sol.....	31
3.2.1.4 Ravageurs et maladies.....	32
<b>3.3 Diversité et abondance des espèces et fonctions écosystémiques du sol</b> .....	<b>32</b>
<b>3.4 Évolution des communautés des sols en fonction des pratiques agricoles</b> .....	<b>33</b>
<b>3.5 Disponibilité d'informations sur l'état actuel de la biodiversité des sols</b> .....	<b>37</b>
3.5.1 Données de la Liste rouge concernant la biodiversité des sols.....	37
<b>3.6 Menaces pesant sur les écosystèmes des sols</b> .....	<b>38</b>
<b>3.7 Conclusion du chapitre 3</b> .....	<b>40</b>

<b>4. Modélisation des résultats d'une amélioration globale de la santé des terres.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Avantages d'atteindre les objectifs de 4%.....</b>	<b>43</b>
4.1.1 Carbone et climat : potentiel de séquestration et d'atténuation des changements climatiques.....	44
4.1.2 Eau : amélioration du stockage de l'eau dans les sols et réduction de la demande d'irrigation.....	45
4.1.3 Alimentation : amélioration du rendement mondial des cultures de base.....	47
<b>4.2 Conclusion du chapitre 4.....</b>	<b>48</b>
<b>5. Agriculture durable pour la gestion de la santé des terres.....</b>	<b>49</b>
<b>5.1 Agriculture durable : un objectif ambitieux.....</b>	<b>50</b>
<b>5.2 Agriculture durable : une variété de perspectives.....</b>	<b>51</b>
5.2.1 Intensification durable.....	52
5.2.2 Intensification écologique de l'agriculture.....	52
5.2.3 Agroécologie.....	53
5.2.4 Agriculture biologique.....	53
5.2.5 Agriculture régénérative.....	54
5.2.6 Agriculture mixte.....	54
5.2.7 Gestion des prairies et pâturages durables.....	55
5.2.8 Agriculture de conservation.....	56
5.2.9 Agroforesterie.....	56
5.2.10 Autres systèmes et pratiques agricoles durables.....	57
<b>5.3 Gestion de la santé des terres dans les exploitations et les paysages agricoles.....</b>	<b>58</b>
5.3.1 Conservation de la biodiversité dans les paysages agricoles.....	58
5.3.2 Pratiques agricoles contribuant à conserver la biodiversité à l'échelle des exploitations.....	60
5.3.3 Conserver la diversité génétique agricole.....	62
<b>5.4 Conclusion du chapitre 5.....</b>	<b>62</b>
<b>6. Amélioration de la santé des terres grâce à la transformation des systèmes alimentaires.....</b>	<b>63</b>
<b>6.1 Obstacles à l'adoption et à la mise en oeuvre.....</b>	<b>64</b>
<b>6.2 Meilleure compréhension et valorisation des paysages agricoles.....</b>	<b>66</b>
6.2.1 Obstacles à la valorisation et à la conservation de la santé des terres.....	69
6.2.2 Solutions pour promouvoir efficacement l'agriculture durable à grande échelle.....	69
<b>6.3 incitations à une action transformatrice.....</b>	<b>73</b>
6.3.1 Évaluation de la performance des systèmes d'utilisation durable des terres.....	78
6.3.1.1 Métrique.....	78
6.3.1.2 Recommandations et directives volontaires.....	78
6.3.1.3 Projections et trajectoires possibles.....	78
<b>6.4 Réduire les risques liés à la transition.....</b>	<b>79</b>
<b>6.5 Conclusion du chapitre 6.....</b>	<b>83</b>
<b>7. Conclusions et recommandations.....</b>	<b>84</b>
<b>7.1 L'agriculture en tant que solution fondée sur la nature.....</b>	<b>86</b>
<b>7.2 Agriculture durable.....</b>	<b>86</b>
<b>7.3 Évaluation et suivi de la durabilité.....</b>	<b>87</b>
<b>7.4 Services agro-écosystémiques.....</b>	<b>87</b>
<b>7.5 Systèmes alimentaires durables.....</b>	<b>87</b>
<b>7.6 Terrain d'entente.....</b>	<b>88</b>
<b>Références.....</b>	<b>89</b>

# Tableau des figures

<b>Figure 1</b>	La santé des terres en tant que terrain d'entente.....	x
<b>Figure 3</b>	Effets environnementaux de l'agriculture : moteurs, pressions, état, impact et réponse...	11
<b>Figure 4</b>	Évolution mondiale de la population, de la superficie des terres cultivées et de la production.....	12
<b>Figure 5</b>	Évolution de l'utilisation d'engrais et de l'irrigation depuis 1961.....	12
<b>Figure 6</b>	Évolution de la prévalence de la sous-alimentation et de l'obésité chez les adultes au fil du temps.....	13
<b>Figure 7</b>	Superficie agricole mondiale en 2015.....	14
<b>Figure 8</b>	Carte de la diminution de la productivité des terres : l'un des 3 indicateurs convenus de la dégradation des terres en vertu de l'UNCCD.....	17
<b>Figure 9</b>	Nombre d'espèces (richesse spécifique) connues et estimées des principaux groupes taxonomiques.....	26
<b>Figure 10</b>	Le biote du sol forme des réseaux trophiques complexes qui soutiennent les fonctions des écosystèmes.....	27
<b>Figure 11</b>	Vue d'ensemble des processus écosystémiques fournis par le biote du sol, classé selon la taille du corps (macrofaune, méso-faune, microfaune et micro-organismes).....	30
<b>Figure 12</b>	Données de la Liste rouge concernant la biodiversité des sols, couvrant les plantes, les champignons et les protistes, les insectes et les collemboles (à partir de 2020).....	38
<b>Figure 13</b>	Menace pondérée (en pourcentage du score maximum possible) des pressions sur la biodiversité des sols, telle qu'indiquée par le Groupe de travail sur la biodiversité des sols de la Commission européenne.....	39
<b>Figure 14</b>	Vers le 4 pour mille : divers bénéfices associés à l'augmentation du carbone des sols....	43
<b>Figure 15</b>	Absorption annuelle et cumulée potentielle de carbone dans les terres cultivées et les prairies mondiales dans le cadre de l'initiative 4%.....	44
<b>Figure 16</b>	Utilisation de l'eau douce et limites planétaires.....	45
<b>Figure 17</b>	Économies cumulées dans les prélèvements destinés à l'irrigation résultant de l'adoption de la stratégie 4%.....	46
<b>Figure 18</b>	Gains de rendement mondiaux du fait d'un COS plus élevés grâce à la stratégie 4%.....	47
<b>Figure 19</b>	Augmentation estimée, en pourcentage, du rendement du maïs entre 2020 et 2050 grâce à une stratégie 4%.....	48
<b>Figure 20</b>	Utilisation d'instruments d'atténuation des risques pour débloquer de plus amples investissements en capital.....	81

# Encadrés

<b>Encadré 1</b> Résumé des avantages globaux d'une augmentation de la concentration de COS dans les terres agricoles de 0,4% par an.....	42
<b>Encadré 2</b> Intégrer la valeur de la santé des sols dans les politiques américaines.....	68
<b>Encadré 3</b> Développer les capacités et l'expérimentation de la valeur de la santé des sols.....	71
<b>Encadré 4</b> Reverdir le Sahel : de multiples incitations à la transformation à grande échelle au Niger (Gray et al., 2016).....	72
<b>Encadré 5</b> Programmes publics pour l'amélioration de l'environnement dans l'agriculture américaine.....	74
<b>Encadré 6</b> Étiquetage du « score de biodiversité » pour les consommateurs.....	75
<b>Encadré 7</b> L'initiative « 4% » et le projet agro-écologique français : un solide schéma ascendant volontaire.....	76
<b>Encadré 8</b> Améliorer les moyens de subsistance et les entreprises durables.....	77
<b>Encadré 9</b> Assurance-récolte fédérale aux États-Unis d'Amérique.....	80
<b>Encadré 10</b> Fonds pour les moyens de subsistance au Kenya.....	82

# Avant-propos

Les changements climatiques, une perte de biodiversité sans précédent et la propagation de maladies dévastatrices nous envoient un message clair : le moment est venu de repenser notre relation à la nature. Peu de secteurs économiques sont aussi centraux dans la relation entre l'humanité et la nature que l'agriculture. Celle-ci fournit des moyens de subsistance à des milliards de personnes et exploite les ressources de la nature pour nous offrir de la nourriture, des aliments pour animaux, des fibres et de l'énergie. Pourtant, une expansion et une intensification trop forte de l'agriculture entraînent également une dégradation des sols, de biodiversité et contribuent au changement climatique, compromettant ainsi l'avenir du secteur agricole lui-même.

Il n'est peut-être pas surprenant que le dialogue entre les secteurs de la conservation et de l'agriculture soit trop souvent antagoniste, se concentrant sur des objectifs apparemment inconciliables et sur une concurrence pour l'espace disponible. Tout en reconnaissant cette situation, ce rapport tente de recadrer le dialogue entre le secteur agricole et la communauté de la conservation autour d'un « terrain d'entente » fondé sur des solutions partagées.

Au cours des dernières décennies, le secteur agricole a considérablement augmenté sa productivité et réduit le nombre de personnes en situation d'insécurité alimentaire dans le monde. Ceci constitue une immense réussite. Cependant, le coût a pu être élevé. L'impact de l'agriculture sur sa propre viabilité doit appeler notre vigilance. Dans de nombreuses régions du monde, la seule option pour les agriculteurs est de partir à la recherche de nouvelles terres pour assurer leur production, ou d'utiliser les sols comme un substrat, à grands renforts d'intrants synthétiques. La plus grande partie de la croissance de production a été obtenue grâce à l'intensification (obtenir davantage d'une même superficie), mais la perte d'habitats au profit de l'agriculture demeure une préoccupation majeure, menaçant la biodiversité et les écosystèmes naturels tels que les forêts, les prairies ou les tourbières dans de nombreux pays en développement.

Alors que les effets néfastes de certains intrants agricoles sont avérés, de nombreuses politiques et mesures incitatives sont en train de voir le jour pour promouvoir une agriculture durable. Elles encouragent des pratiques écologiquement rationnelles qui préservent des paysages et des sols sains, riches en biodiversité et productifs, conservent l'humidité, favorisent le cycle des nutriments, la décomposition et la structure des sols, et aident à lutter contre les ravageurs et les maladies.

Ce rapport souligne l'immense potentiel d'une adoption généralisée de pratiques agricoles durables pour une production sûre et à long terme de nourriture, d'aliments pour animaux, de fibres et d'énergie. Il souligne également que les services écosystémiques fournis par des sols sains ne se limitent pas aux exploitations agricoles. Lorsque les agriculteurs travaillent la terre de manière durable, ils ne se contentent pas de nous nourrir. Ils transforment l'agriculture en une véritable solution fondée sur la nature en réponse à nos défis sociétaux les plus pressants, contribuant à réguler le climat, à améliorer la sécurité en eau et à fournir des habitats à d'innombrables espèces.

La société profite de ces services supplémentaires, bien qu'elle ne les rétribue que rarement et qu'elle n'incite pas suffisamment les agriculteurs à les protéger. Le présent rapport évalue pour la première fois l'importante valeur monétaire potentielle de ces bénéfices et présente des mesures concrètes pour les obtenir.

Il est plus évident que jamais que nous devons rendre nos systèmes de production alimentaire plus durables et plus résilients si nous voulons relever les défis interdépendants des changements climatiques, de l'accélération de la perte de biodiversité et de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle mondiale.

Nous espérons que ce rapport aidera les défenseurs de l'environnement et les agriculteurs à travailler ensemble à un secteur agricole plus durable, promouvant des approches agro-écologiques et des paysages sains, qui permettront de nourrir la société du futur tout en conservant la riche diversité de la vie sur notre planète.

**Julien Denormandie**

*Ministre français de l'agriculture et de l'alimentation*

**Dr Bruno Oberle**

*Directeur général*

*UICN, Union internationale pour la conservation de la nature*

# Résumé exécutif

## Pourquoi rechercher un terrain d'entente?

Les principaux rapports internationaux récents ont mis en évidence l'impact alarmant des systèmes de production alimentaire sur les changements climatiques, les terres et la biodiversité. La pandémie de COVID-19 illustre une fois de plus la nécessité de systèmes alimentaires plus durables, qui fonctionnent avec la nature et non contre elle, tout en assurant la sécurité alimentaire et des moyens de subsistance décents à une population augmentant rapidement.

Pour parvenir à une plus grande durabilité, il faut parvenir à un consensus entre divers acteurs, tant sur les objectifs que sur les approches. Cela exige une coordination accrue, ainsi que le développement de synergies entre diverses parties prenantes dans les secteurs de l'agriculture et de la conservation.

Ce rapport montre qu'il existe un terrain d'entente entre les secteurs de l'agriculture et de la conservation pour une action mutuellement bénéfique, ainsi qu'un grand potentiel d'adoption généralisée de pratiques agricoles durables, susceptibles de répondre à nos besoins en nourriture, en aliments pour animaux, en fibres et en énergie. Plus généralement, l'agriculture durable peut contribuer à l'alimentation, à la sécurité en eau, à la régulation du climat et autres objectifs, soutenant ainsi les progrès vers les Objectifs de développement durable et autres objectifs internationaux relatifs aux changements climatiques, à la biodiversité et à la dégradation des terres.

## La conservation de la biodiversité des sols améliore la santé des terres agricoles

Les exploitations agricoles sont des écosystèmes modifiés qui dépendent de la nature à bien des égards pour leur approvisionnement en nutriments et en eau, la lutte antiparasitaire, la pollinisation et autres services. La conservation de la biodiversité des sols est au cœur de la plupart des pratiques agricoles durables, mais les connaissances scientifiques restent limitées : 90 à 95% du biote des sols reste non identifié et moins de 1% de certains groupes a été décrit. Une corrélation étroite est observée entre la diversité et l'abondance des espèces d'un sol et sa fonction écosystémique. La science devrait mieux guider la gestion de ce biote par les agriculteurs, en particulier quant à la façon dont les espèces interagissent dans le sol et comment les interactions positives peuvent être améliorées ou restaurées par les pratiques agricoles.

## L'amélioration de la santé des terres agricoles peut apporter des avantages considérables à la société

L'initiative « quatre pour mille » (ou « 4‰ ») vise à augmenter chaque année le carbone organique présent dans les 30 à 40 premiers cm du sol de 0,4% par rapport à son niveau actuel, grâce à la mise en œuvre de pratiques agronomiques économiquement viables et respectueuses de l'environnement. Ce rapport montre que la réalisation de l'objectif de 4‰ sur l'ensemble des terres agricoles mondiales pourrait apporter des avantages majeurs pour atténuer les changements climatiques, augmenter la production alimentaire et améliorer les stocks d'eau verte. **Atteindre l'objectif de 4‰ sur les terres agricoles mondiales pourrait augmenter le captage de carbone** par les terres cultivées et les prairies **d'environ 1 Gt par an** au cours des 30 prochaines années, **soit l'équivalent de 10% des émissions anthropiques mondiales** sur la base des émissions de 2017. Le coût social évité découlant de cette contribution à l'atténuation des changements climatiques sur la période 2020-2050 serait de l'ordre de **600 milliards de dollars américains** par an en valeur actualisée.

La production végétale pourrait également bénéficier de la réalisation de l'objectif de 4%. **La production de trois grandes cultures (le maïs, le blé et le riz) pourrait augmenter de 23,4%, 22,9% et 41,9% respectivement, pour une valeur estimée à 135,2 milliards de dollars américains par an entre 2020 et 2050.** Les avantages de cette augmentation de la production pourraient varier selon les régions, mais seraient plus nombreux dans les pays en développement, et particulièrement en Afrique. Dans le même temps, la réduction de la dépendance à l'égard des engrais inorganiques permettrait de réduire la pollution des cours d'eau, tandis que l'augmentation de la productivité des terres pourrait compenser la demande de reconversion des terres à des fins agricoles.

Les cycles hydrologiques bénéficieraient également d'une augmentation du carbone des sols et la **capacité des sols à stocker l'eau pourrait augmenter de 37 milliards de m<sup>3</sup>.** L'augmentation de l'humidité des sols grâce à l'objectif de 4% a le potentiel de réduire la dépendance à l'égard de l'irrigation, avec des **économies mondiales estimées à 44 milliards de dollars américains par an.** Les avantages de l'objectif de 4% pourraient accroître la résilience des communautés agricoles vulnérables et réduire l'exposition aux risques prévus liés aux changements climatiques, tels que les inondations, les sécheresses et les tempêtes.

## Les solutions pour restaurer et maintenir la santé des terres agricoles sont bien établies

De nombreuses approches et pratiques agricoles durables sont connues et documentées, et se sont avérées efficaces pour conserver et améliorer la biodiversité au-dessus et en dessous des sols. Les systèmes agricoles sont étroitement liés à l'ensemble du paysage grâce à de nombreuses interactions écologiques, également susceptibles d'être gérées. Les pratiques de gestion des paysages ont également un impact direct sur la productivité agricole et paysagère, ainsi que sur le niveau de prestation des services écosystémiques. Des pratiques agricoles et paysagères saines peuvent avoir un impact positif direct pour les agriculteurs, en particulier les plus vulnérables, pour la santé et la nutrition des consommateurs et pour la société dans son ensemble.

## Des mesures incitatives sont nécessaires pour accélérer la transition

Pour que la santé des terres soit pleinement intégrée dans les institutions, les marchés et les politiques, les vraies valeurs des paysages agricoles doivent être mieux comprises et récompensées, et les moyens d'encourager et de réduire les risques liés à la transition vers une agriculture plus durable doivent être identifiés. Cependant, les agriculteurs doivent surmonter de nombreux **obstacles pour adopter des pratiques durables**, comme une sensibilisation insuffisante, des coûts de transition élevés, des marchés peu fiables et une aversion au changement en raison de toute une gamme de risques et d'incertitudes. De nombreux agriculteurs sont liés aux systèmes de gestion non durables existants par le biais de politiques commerciales, de cadres juridiques et de mesures incitatives publiques. Le présent rapport met en lumière **trois domaines prioritaires de travail** pour surmonter ces obstacles :

1. Comprendre et valoriser les diverses valeurs des terres et des paysages agricoles ;
2. Élaborer des mesures incitatives et des règlements qui encouragent ou permettent une action transformatrice, tout en assouplissant les mesures dissuasives ;
3. Réduire les risques associés à la transition vers une agriculture et une production alimentaire qui préservent la santé des terres.

## Les conditions sont favorables a des progrès rapides

Le rétablissement de la santé des terres est l'un des éléments du changement plus global à opérer dans les systèmes alimentaires. Les pays connaissant un déficit alimentaire ou dont l'économie dépend fortement du secteur agricole continueront probablement de prioriser le niveau de production agricole dans son ensemble. La gestion de la santé des terres devrait constituer un aspect central pour atteindre les objectifs de production, tout en préservant la durabilité et en renforçant la résilience des agriculteurs. Des améliorations sont également nécessaires quant à l'accès équitable aux ressources naturelles (en particulier la terre et l'eau) et à la nourriture, afin de réduire les mauvaises habitudes et atténuer les pertes et le gaspillage alimentaires. Cela nécessitera une coordination sans précédent entre de nombreux acteurs des chaînes d'approvisionnement alimentaire et au-delà, guidés par un leadership politique audacieux.

La prochaine décennie offre une opportunité unique pour orienter l'agriculture vers un ensemble ambitieux d'objectifs qui équilibrent les besoins en denrées alimentaires, aliments pour animaux et fibres, ainsi que vers une variété de services écosystémiques qui contribuent globalement à des sociétés plus durables et résilientes. **Les politiques publiques devront viser à obtenir un impact net positif de l'agriculture sur les indicateurs clés de biodiversité d'ici 2030, ainsi qu'une stabilisation de la superficie agricole, afin d'accroître la biodiversité et la résilience des paysages agricoles et réduire la dégradation des terres, la pollution et les émissions de gaz à effet de serre.**



Figure1 La santé des terres en tant que terrain d'entente

## Recommandations

### 1. Prioriser la biodiversité des sols et des paysages pour l'alimentation et la nature

L'agriculture durable dépend du maintien de la santé des terres et de la conservation de la biodiversité dans les sols et les paysages agricoles. La santé des terres doit donc être un objectif central pour le secteur agricole dans sa contribution à éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition, et promouvoir la durabilité sans augmenter la superficie globale des terres agricoles. Ce faisant, l'agriculture peut devenir une **Solution fondée sur la nature** qui contribue à relever certains des défis sociétaux les plus pressants. **Les agriculteurs et le secteur agricole doivent adopter d'urgence des objectifs ambitieux en matière de santé des terres, et le secteur de la conservation doit consolider les bases scientifiques qui permettront de réaliser un suivi des progrès.**

## 2. Principales approches agro-écologiques pour la gestion des paysages agricoles

Des approches agro-écologiques favorisant les synergies entre agriculture et biodiversité sont déjà disponibles et devraient être développées et intégrées dans toutes les politiques, instruments et institutions pertinents. Cela devra se faire en partenariat étroit avec les communautés et les organisations. **L'accent devra être mis sur la création de conditions permettant aux agriculteurs d'atteindre la durabilité à la fois au niveau des exploitations et des paysages, et de réduire les risques auxquels ils seront confrontés au cours de la transition.** Bien que des progrès rapides soient déjà possibles sur la base des connaissances existantes, comme cela a été démontré dans un certain nombre de pays, une analyse plus approfondie des obstacles comportementaux, organisationnels, sociaux, politiques, financiers et économiques à l'adoption est nécessaire.

## 3. Établir des objectifs et des indicateurs aux niveaux national et mondial pour une agriculture durable

L'adoption d'une agriculture durable doit être encouragée par l'établissement d'objectifs clairs en matière d'indicateurs de durabilité. Plus précisément, le secteur agricole devrait viser un impact net positif sur les indicateurs clés de biodiversité d'ici 2030, y compris la stabilisation de la superficie agricole totale, l'augmentation de la biodiversité dans les paysages agricoles et la réduction de la pollution et des émissions de gaz à effet de serre. Ces indicateurs devraient compléter les données socioéconomiques sur les revenus, l'emploi, la réduction de la pauvreté et la résilience des moyens de subsistance, en particulier pour ceux qui en ont le plus besoin, dont les jeunes et les femmes.

## 4. Récompenser les services écosystémiques pour encourager l'agriculture durable

La transition mondiale vers une agriculture durable nécessite de passer d'une conception de l'agriculture en termes de « nourriture, fibres et combustibles » (et autres produits) à une conception en termes de « production, eau, climat et nature » (et autres services). L'objectif prioritaire du secteur agricole devrait être d'accroître la valeur globale de l'agriculture, de **valoriser les sols, les terres et les paysages agricoles et les services fournis à la société, et de mettre en place les réglementations et mesures incitatives appropriées.** Des mesures incitatives et de réduction des risques innovantes doivent être identifiées et testées, ce qui nécessitera des cadres politiques créatifs et cohérents.

## 5. Promouvoir un changement dans l'ensemble du système alimentaire mondial pour améliorer la durabilité

La restauration et la conservation de la santé des sols et des terres doivent être promues en tant que partie intégrante de la transformation plus générale du système, en mettant l'accent sur la **convergence des politiques nationales et internationales afin de relier la santé des sols et des terres à une alimentation durable et saine.** Les subventions publiques et les flux financiers privés devront être réorientés de l'agriculture conventionnelle vers une agriculture plus durable, tout en contribuant à éliminer les facteurs limitant la transformation, tels que les subventions aux intrants, la spécialisation des systèmes, les chaînes d'approvisionnement standardisées et les asymétries de pouvoir. Une plus grande attention devra être accordée aux investissements responsables dans les paysages et les chaînes d'approvisionnement protégeant des sols sains et récompensant les pratiques agricoles durables.

## 6. Établir un consensus sur la gérance de l'environnement dans le secteur agricole

Le dialogue entre les communautés de l'agriculture et de la conservation doit être intensifié aux niveaux local, national et international. Le secteur agricole nécessite une meilleure information sur la nature écologique et vivante des sols en tant que capital naturel, et les acteurs de la conservation ont besoin d'une meilleure appréciation de l'agriculture durable comme solution permettant d'accroître la biodiversité, et des paysages agricoles comme une occasion d'étendre la couverture mondiale des aires de conservation. Des institutions nouvelles ou adaptées peuvent être nécessaires pour encourager l'action et obtenir des résultats durables au niveau des agroécosystèmes ou des paysages.

# Remerciements

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à nos réviseurs pairs Bruce Campbell (CGIAR : Groupe consultatif sur la recherche agricole internationale), Dafydd Pilling (FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), Julie Bélanger (FAO), Mark Schauer (GIZ : Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit), Maya Suzuki (GIZ), Judith Rosendahl (GIZ), Sébastien Treyer (IDDRI : Institut du développement durable et des relations internationales), Thierry Caquet (INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement), Helene van den Hombergh (UICN Pays-Bas), Estelle Midler (MAA : ministère français de l'Agriculture et de l'Alimentation), Marie-Hélène Schwoob (MAA) et Olivier Crozet - (OFB : Office français de la biodiversité), dont l'expertise et les conseils ont contribué à façonner notre travail et à nous soutenir dans cette entreprise.

Nous tenons également à remercier nos collègues Barbara Oberč, Linda Lungaho, Daisy Hessenberger, Goska Bonnaveira, Mark Gnadt et Matthias Fiechter, qui ont consacré leur temps et leurs efforts à la finalisation et la mise en forme de ce rapport.

# Acronymes et abréviations

<b>C</b>	Carbone
<b>CBD</b>	Convention des Nations unies sur la diversité biologique
<b>CDN</b>	Contribution déterminée à l'échelle nationale
<b>CMA</b>	Champignons mycorhiziens arbusculaires
<b>CNULCD</b>	Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de carbone
<b>COS</b>	Carbone organique du sol
<b>CSA</b>	Comité des Nations unies sur la sécurité alimentaire mondiale
<b>FAO</b>	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
<b>FBA</b>	Fixation biologique de l'azote
<b>FOLU</b>	Food and Land Use Coalition (Coalition pour l'alimentation et l'utilisation des terres)
<b>GAIN</b>	Global Alliance for Improved Nutrition (Alliance mondiale pour une meilleure nutrition)
<b>GDT</b>	Gestion durable des terres
<b>GES</b>	Gaz à effet de serre
<b>GIZ</b>	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
<b>IDDR</b>	Institut du développement durable et des relations internationales
<b>INRAE</b>	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
<b>MAA</b>	Ministère français de l'agriculture et de l'alimentation
<b>MOS</b>	Matière organique du sol
<b>N</b>	Azote
<b>OCDE</b>	Organisation de coopération et de développement économiques
<b>ODD</b>	Objectif de développement durable
<b>OECD</b>	Autre mesures efficaces de conservation par zone
<b>OFB</b>	Office français de la Biodiversité
<b>P</b>	Phosphore
<b>PHNE</b>	Panel de haut niveau d'experts sur la sécurité alimentaire et la nutrition
<b>RNAA</b>	Régénération naturelle assistée par les agriculteurs
<b>SfN</b>	Solution fondée sur la nature
<b>SPANB</b>	Stratégie et plan d'action nationaux pour la biodiversité
<b>UE</b>	Union européenne
<b>UICN</b>	Union internationale pour la conservation de la nature



# Chapitre 1

Introduction à la recherche d'un terrain d'entente : alimenter neuf milliards de personnes tout en protégeant la nature

## 1.1 Nourrir l'avenir

L'impact environnemental du secteur agroalimentaire a suscité un regain d'intérêt au cours des dernières années. Plusieurs rapports influents ont souligné l'ampleur des dommages causés par l'agriculture, en raison de sa contribution aux changements climatiques, à la déforestation, à la pollution et autres dangers (HLPE, 2017; Willett et al., 2019). Bien que ces préoccupations soient pleinement justifiées, le discours public a tendance à être très polémique et passe souvent sous silence les preuves des avantages environnementaux potentiels de l'agriculture. Ce rapport montre qu'en réorientant l'agriculture vers une utilisation responsable et la protection de l'environnement naturel par des pratiques durables, ce que nous appelons la *gérance environnementale*, nous pouvons encourager une transition d'une perte nette à un gain net de biodiversité, tout en contribuant à la sécurité alimentaire et aux moyens de subsistance des agriculteurs.

La population mondiale a atteint 7,7 milliards à la fin de 2019 et devrait augmenter de 25% d'ici 2050, approchant les 10 milliards de personnes. Ces 10 milliards de personnes jouiront probablement d'une plus grande richesse par habitant que les générations précédentes et demanderont plus de nourriture, des aliments plus coûteux pour l'environnement, ainsi que d'autres produits agricoles. Cette demande devra être satisfaite dans des conditions climatiques changeantes, qui affecteront la qualité et la quantité des produits agricoles (Ebi & Loladze, 2019). L'agriculture génère déjà une empreinte environnementale importante, à tel point que, sans changement radical, la viabilité à long terme de la production alimentaire pourrait être compromise. La dégradation des terres est une préoccupation croissante, et selon un haut responsable de l'ONU, les sols mondiaux pourraient être épuisés d'ici seulement 60 ans<sup>1</sup>.

Néanmoins, compte tenu de la demande mondiale croissante de denrées alimentaires et des inégalités persistantes dans leur distribution à travers le monde, il est peu probable qu'un discours axé exclusivement sur les effets néfastes de l'agriculture aboutisse à des solutions pratiques en faveur du développement durable. Si nous voulons concilier ne serait-ce que les Objectifs de développement durable (ODD) 2 (Faim « zéro ») et 15 (Vie terrestre), sans parler de plusieurs autres, le monde doit accorder une attention beaucoup plus importante aux possibilités de *gérance* environnementale par le secteur agricole et alimentaire.

De fortes divergences d'opinion existent sur la meilleure façon de nourrir la population future. Dans une étude récente (FAO, 2018a), l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a suggéré que « pour répondre à la demande, en 2050, l'agriculture devra produire près de 50% de denrées alimentaires, d'aliments pour animaux et de biocarburants de plus qu'en 2012<sup>2</sup>. Cependant, d'autres sources, notamment le Panel de haut niveau d'experts sur la sécurité alimentaire et la nutrition (PHNE) (HLPE, 2017), relevant du Comité des Nations unies sur la sécurité alimentaire mondiale (CSA), estiment que le défi n'est pas tant la production totale, mais la combinaison des inégalités dans la distribution alimentaire et la surconsommation. L'Organisation mondiale de la santé rapportait que, en 2014, alors qu'environ 462 millions d'adultes dans le monde souffraient d'insuffisance pondérale, 1,9 milliard étaient en surpoids ou obèses<sup>3</sup>. En outre, la FAO estime qu'un tiers de toutes les denrées alimentaires produites sont gaspillées<sup>4</sup>. Le PHNE a estimé que le monde produit déjà plus qu'assez de nourriture pour fournir à chacun sur la planète une alimentation saine (HLPE, 2017).

La réduction des pertes et du gaspillage alimentaires à l'échelle mondiale pourrait réduire considérablement l'impact environnemental total de l'agriculture. La FAO établit une distinction entre les pertes alimentaires (une diminution de la quantité ou de la qualité des aliments résultant de décisions et d'actions des acteurs de la

---

<sup>1</sup> <https://www.scientificamerican.com/article/only-60-years-of-farming-left-if-soil-dégradation-continues/>

<sup>2</sup> <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>

<sup>3</sup> <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>

<sup>4</sup> <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en/>

chaîne alimentaire, à l'exception des détaillants, des fournisseurs de services alimentaires et des consommateurs) et le gaspillage alimentaire (une diminution de la quantité ou de la qualité des aliments résultant de décisions et d'actions des détaillants, des fournisseurs de services alimentaires et des consommateurs). Environ 30% des terres agricoles mondiales sont utilisées pour produire des aliments perdus ou gaspillés, les niveaux de gaspillage les plus élevés se produisant en Europe et en Amérique du Nord (95-115 kg par personne et par an) et les plus faibles en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud et du Sud-Est (6-11 kg par personne et par an) (Gustavsson et al., 2011). Les tendances mondiales en matière de pertes alimentaires sont assez différentes, les niveaux les plus élevés se produisant en Asie centrale et du Sud (21%) et les plus faibles en Australie et en Nouvelle-Zélande (6%). À l'échelle mondiale, environ 14% des aliments produits sont perdus après la phase post-récolte et avant la vente au détail (FAO, 2019c).

Des rapports récents, y compris celui du PHNE et le rapport de la Commission EAT-Lancet (Willett et al., 2019), plaident pour une transformation du système alimentaire, loin de la production inefficace, de la surconsommation et d'une distribution inéquitable. Le rapport EAT-Lancet conclut que l'alimentation de la population future prévue nécessitera la transformation des habitudes de consommation, et l'amélioration de la production et la réduction du gaspillage alimentaires. Les chapitres suivants montrent qu'en réorientant l'agriculture vers la gérance environnementale, nous pouvons encourager cette transformation.

Les auteurs ont été guidés par une vision d'un système agroalimentaire qui protège les écosystèmes et préserve la biodiversité, et se présente en contributeur net aux objectifs de conservation. Dans notre vision, les paysages agricoles du monde entier fournissent de la nourriture, des combustibles et des fibres, régulent l'approvisionnement en eau, stockent le carbone et contribuent à l'atténuation des changements climatiques, et conservent la biodiversité, tout en soutenant les moyens de subsistance des communautés agricoles. Bien qu'il s'agisse d'une vision ambitieuse et de grande envergure, elle repose sur des solutions déjà largement appliquées aujourd'hui, et qui se sont révélées économiquement viables. La Coalition pour

l'alimentation et l'utilisation des terres (FOLU, 2019) suggère que les avantages d'une agriculture plus durable pourraient largement en compenser les coûts, créant potentiellement 4 500 milliards de dollars américains en nouvelles opportunités commerciales chaque année d'ici 2030, tout en permettant d'économiser 5 700 milliards de dollars américains par an en dommages aux personnes et à la planète sur la même période. Cela représente plus de 15 fois les coûts d'investissement, estimés à 350 milliards de dollars américains par an.

## 1.2 Équilibrer les objectifs de durabilité

Le programme de travail pour le développement durable à l'horizon 2030 comprend plusieurs ambitions environnementales à travers ses cibles pour une consommation et une production responsables ([ODD 12](#)), les mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques ([ODD 13](#)), la vie aquatique ([ODD 14](#)) et la vie terrestre ([ODD 15](#)). Dans le même temps, de nombreux acteurs de la conservation travaillent explicitement à la réalisation des objectifs de développement, notamment « Pas de pauvreté » ([ODD 1](#)) et « Faim zéro » ([ODD 2](#)). L'équilibre entre développement social et économique et objectifs environnementaux est implicite dans la vision de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) d'« un monde juste qui valorise et conserve la nature ».

Équilibrer la réalisation des ODD nécessite une compréhension approfondie des compromis potentiels entre ces objectifs. Le paradigme dominant du développement agricole se concentre encore principalement sur la production alimentaire et moins sur les impacts environnementaux. En outre, les plus fortes augmentations de production ne se produisent pas dans les régions où les déficits alimentaires sont les plus importants. Ces incohérences doivent être corrigées pour atteindre les ODD. Ce rapport identifie des solutions pragmatiques qui capitalisent sur les synergies potentielles entre agriculture et conservation. Pour parvenir à un changement transformateur vers une agriculture durable, il sera nécessaire de mieux comprendre les effets positifs et négatifs de l'agriculture sur l'environnement.

La Convention sur la diversité biologique (CDB) a adopté un Plan stratégique révisé et actualisé pour la biodiversité, incluant les objectifs d'Aichi pour la biodiversité, pour la période 2011-2020. Ces 20 objectifs ambitieux et complets comprenaient deux objectifs directement liés à l'agriculture<sup>5</sup> :

Objectif 7 : « D'ici à 2020, les zones consacrées à l'agriculture, l'aquaculture et la sylviculture sont gérées d'une manière durable, afin d'assurer la conservation de la diversité biologique » ;

Objectif 13: « D'ici à 2020, la diversité génétique des plantes cultivées, des animaux d'élevage et domestiques et des parents pauvres, y compris celle d'autres espèces qui ont une valeur socio-économique ou culturelle, est préservée, et des stratégies sont élaborées et mises en œuvre pour réduire au minimum l'érosion génétique et sauvegarder leur diversité génétique ».

Alors que de nombreuses Stratégies et plans d'action nationaux pour la biodiversité (SPANB) font référence aux objectifs 7 et 13, seulement 30% incluent des détails sur des actions pour la conservation et l'utilisation durable de l'agro-biodiversité. Très peu de SPANB prévoient d'utiliser les ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture ou pour diversifier les régimes alimentaires et améliorer la nutrition (Lapena et al., 2016).

L'Accord de Paris, adopté dans le cadre de la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques en 2015, reconnaît également le rôle que le secteur agricole pourrait jouer dans la préservation de la sécurité alimentaire, et sa contribution aux objectifs d'atténuation et d'adaptation :

« Reconnaissant la priorité fondamentale consistant à protéger la sécurité alimentaire et à venir à bout de la faim, et la vulnérabilité particulière des systèmes de production alimentaire aux effets néfastes des changements climatiques » (préambule) ;

Demandent aux Parties de prendre des mesures pour préserver et renforcer, le cas échéant, les puits et réservoirs de gaz à effet de serre afin d'atteindre l'objectif

à long terme de contenir l'augmentation de la température moyenne mondiale nettement en-dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels (Art. 4.1 et 5.1).

La grande majorité des Parties à l'Accord de Paris ont également inclus l'agriculture dans leurs Contributions déterminées à l'échelle nationale (CDN) à la réponse mondiale aux changements climatiques, en tant que domaine prioritaire d'adaptation (78% des CDN soumises) ou d'atténuation (86% des CDN soumises) (FAO, 2016).

Notre rapport jette un regard neuf sur le rôle de la biodiversité dans l'agriculture, en accordant une attention particulière au rôle fondamental de la biodiversité des sols et aux différentes pratiques agricoles qui contribuent à sa protection, ainsi qu'à sa capacité à fournir toute une variété de services écosystémiques, y compris une contribution directe à l'adaptation et à l'atténuation des changements climatiques. Le rapport s'articule autour des préoccupations liées au déclin de la santé des terres, des impacts que cela pourrait avoir (sur la productivité ainsi que sur les défis sociétaux importants aux niveaux local et mondial), et des conséquences pour les moyens de subsistance ruraux.

Le concept de Solutions fondées sur la Nature (SfN) ouvre la porte à une nouvelle approche pour équilibrer les objectifs de développement environnemental et agricole. L'UICN définit les SfN comme « des actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés, pour relever directement les enjeux de société de manière efficace et adaptative tout en assurant le bien-être humain et des avantages pour la biodiversité »<sup>6</sup>. Une meilleure analyse de la façon dont l'agriculture peut mieux gérer la biodiversité pour constituer une SfN peut modifier notre cadre d'analyse et permettre d'identifier et de gérer les synergies et les compromis potentiels. L'UICN a lancé la Standard mondiale de l'UICN pour les SfN en 2020, fournissant un cadre solide et standardisé pour explorer davantage cette connexion (UICN, 2020).

---

<sup>5</sup> <https://www.cbd.int/sp/targets/>

<sup>6</sup> IUCN (International Union for Conservation of Nature) (2016). Resolution 69 on Defining Nature-based Solutions (WCC-2016-Res-069). IUCN Resolutions, Recommendations & Other Decisions 6–10 September 2016. World Conservation Congress Honolulu, Hawai'i, USA. [https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC\\_2016\\_RES\\_069\\_EN.pdf](https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2016_RES_069_EN.pdf)

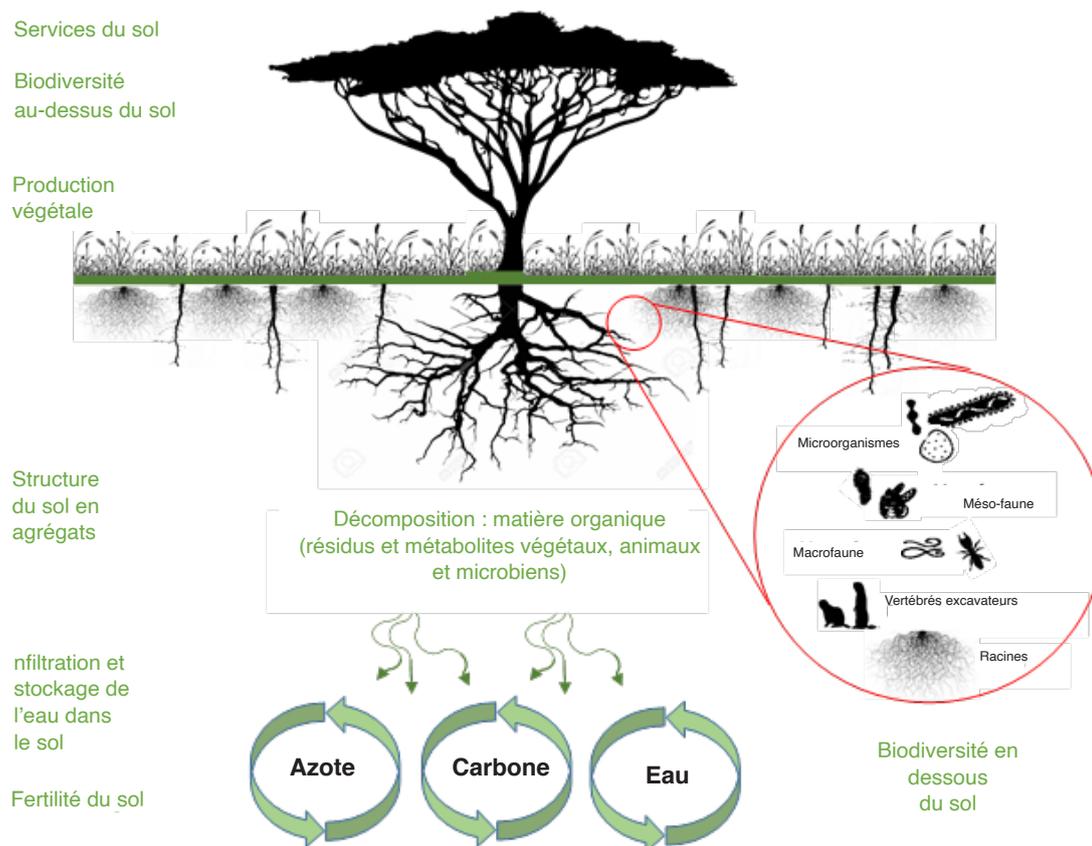
### 1.3 Gérer la nature pour améliorer la durabilité agricole

L'agriculture dépend de la biodiversité à bien des égards, depuis la diversité génétique des cultures et du bétail jusqu'aux organismes jouant un rôle dans la pollinisation ou la lutte contre les ravageurs. Cependant, l'agriculture et la conservation traditionnelles n'accordent que peu d'attention à bon nombre de ces rôles. La biodiversité des sols et son rôle dans le maintien de la fertilité et de l'humidité des sols, et donc dans la détermination de la productivité des terres ainsi que dans le contrôle d'un certain nombre d'autres fonctions écosystémiques, constituent un domaine particulièrement négligé. Par exemple, la biodiversité d'un sol régule son pH, sa fertilité, son humidité et sa structure, par son influence sur les cycles du C, de l'azote (N) et de l'eau. Elle contribue à des services écosystémiques tels que la stabilisation des sols, l'atténuation des inondations et des sécheresses (Brussaard et al., 2007), et la création de microclimats qui favorisent la production agricole. Une communauté diversifiée d'organismes vertébrés et invertébrés joue un rôle important dans la lutte biologique contre les ravageurs et le cycle des nutriments (voir Figure 1) (Laban et al., 2018).

Les données sur l'état de la biodiversité des sols sont rares et la compréhension scientifique de la relation entre le biote des sols et les fonctions écosystémiques est encore limitée. Cependant, ce rapport montre que les fonctions écosystémiques et la biodiversité des sols sont étroitement liées, et que la productivité agricole peut être améliorée par des sols sains et un meilleur fonctionnement des écosystèmes. Le concept de santé des terres sera utilisé comme un point d'intérêt commun entre les acteurs de l'agriculture et de la conservation, défini comme « la capacité d'une terre, par rapport à son potentiel, à soutenir la fourniture de services écosystémiques » (Shepherd et al., 2015).

Malgré les lacunes dans les connaissances, de très vastes étendues de terres sont déjà soumises à des pratiques agricoles considérées comme une gestion durable des terres (GDT). Les paysages agricoles sont gérés selon différents degrés d'intensité, et la FAO estime que les deux cinquièmes des terres cultivées de la planète comprennent au moins 10% de couverture arborée (Zomer et al., 2009). L'adoption accélérée de pratiques durables au niveau des exploitations agricoles et des paysages est possible immédiatement, à condition que les facteurs de blocage en aval et les effets limitants dans le système alimentaire soient éliminés. Des signes montrent que de nombreux acteurs du secteur agricole sont préoccupés par la durabilité du secteur, y compris le risque d'épuisement des sols, et cela crée de nouvelles opportunités d'action pour une production plus respectueuse de l'environnement.

L'absence de consensus sur des objectifs, des cibles et des indicateurs de progrès est une contrainte fondamentale. L'absence de consensus sur ce qui constitue une agriculture durable est un obstacle majeur à un accord sur les pratiques ou approches agricoles souhaitées, et la polarisation du débat entre agriculture et conservation sur ces questions fait que d'importants points communs et opportunités sont négligés ou ignorés. Ce rapport montre que les pratiques agricoles qui préservent la biodiversité des sols sont susceptibles de générer de multiples avantages en améliorant la qualité et la quantité des services écosystémiques. Une autre contrainte majeure est que, dans de nombreux cas, les agriculteurs et les gestionnaires des terres sont peu incités à protéger les actifs écosystémiques à partir desquels les services écosystémiques sont fournis. Les mécanismes écologiques sous-jacents de l'agriculture durable ne reçoivent qu'une attention limitée de la part de nombreux acteurs du secteur agricole et de la société dans son ensemble. L'établissement de récompenses et autres incitations pour ces services écosystémiques pourrait être l'une des clés pour catalyser la transition vers une gestion agroenvironnementale mondiale.



(Laban et al., 2018)

**Figure 2** La biodiversité des sols est le principal facteur déterminant de plusieurs fonctions et services écosystémiques qui déterminent la performance agricole, y compris le cycle des nutriments et de l'eau

## 1.4 Vers un changement de système

Une multitude de politiques et de mesures incitatives promeuvent actuellement une agriculture non durable et découragent les pratiques respectueuses de l'environnement, limitant le plein potentiel environnemental de l'agriculture. De nombreux pays ont favorisé, depuis des décennies, une dépendance à l'égard d'intrants agricoles coûteux, nuisibles à l'environnement et non renouvelables. Cependant, les acteurs du secteur agricole s'intéressent de plus en plus à l'adoption de méthodes de production alimentaire qui protègent les services écosystémiques dont ils dépendent. Cela inclut la protection de la fertilité et de l'humidité des sols, la protection des insectes pollinisateurs et des organismes de lutte biologique, et la conservation de la diversité génétique des exploitations agricoles.

Ce rapport montre que l'amélioration de la santé des terres crée une plateforme pour l'amélioration de la durabilité dans l'agriculture, et peut fournir un accès à d'autres améliorations de la durabilité et objectifs environnementaux. Il montre un terrain d'entente entre les secteurs de l'agriculture et de la conservation pour une action mutuellement bénéfique, soulignant l'importance de la biodiversité des sols pour la santé des terres, et des interventions et incitations à l'échelle du système pour améliorer sa restauration et sa gestion. Le rapport montre qu'une adoption généralisée de pratiques agricoles durables pourrait contribuer à la production alimentaire, à la sécurité en eau et à la régulation du climat, entre autres avantages.

Le Chapitre 2 analyse les données sur les tendances mondiales de l'agriculture pour montrer comment les pratiques agricoles non durables ont réussi à nourrir une population croissante tout en menaçant l'avenir de l'agriculture, en particulier en compromettant la santé des terres. Le Chapitre 3 explore les aspects de biodiversité dans l'agriculture, avec un accent particulier sur les

services écosystémiques stimulant la production, et la biodiversité des sols qui sous-tend ces services. Le Chapitre 4 modélise les résultats potentiels d'améliorations mondiales de la santé des terres, simulant les multiples avantages susceptibles d'être générés par l'adoption de la stratégie d'augmentation du carbone organique du sol (COS) de 0,4% par an. Le Chapitre 5 présente un certain nombre de concepts et d'approches pour une agriculture durable, déjà pratiqués à une échelle significative et ayant le potentiel d'être encore intensifiés. Le Chapitre 6 donne un aperçu de la manière dont la description du changement de système dans le secteur agroalimentaire pourrait être repensée, en mettant l'accent sur une incitation à la GDT par des investissements et des politiques influençant la production agricole et les chaînes d'approvisionnement. Enfin, les enseignements tirés du rapport sont résumés dans une série de messages clés, au Chapitre 7.

Le rapport vise à apporter une contribution constructive, fondée sur la science et le savoir, à la conciliation de l'agriculture et de la conservation. Il vise à convaincre les acteurs des secteurs de la conservation et de l'agriculture de promouvoir un programme commun et d'adopter une approche plus constructive du dialogue, en mettant l'accent sur une vision commune de la durabilité et des objectifs convenus pour une GDT et la conservation de la biodiversité. Le public principal comprend donc les acteurs de la conservation et de l'agriculture au sein des gouvernements et des organisations non gouvernementales, ainsi que les groupements d'agriculteurs et les agro-industries. Le rapport remet en question la représentation antagoniste de la relation entre biodiversité et productivité agricole comme un jeu à somme nulle. Il met en évidence le potentiel d'une convergence et d'une synergie véritables, grâce à la promotion d'approches durables susceptibles d'améliorer la santé des terres et de constituer des SfN offrant de multiples avantages à la société et à la nature.



# Chapitre 2

Pratiques agricoles non durables et avenir de l'agriculture



## 2.1 La terre en tant que ressource finie

Comme illustré au Chapitre 1, l'un des plus grands défis rencontrés par l'humanité au cours des prochaines décennies sera d'équilibrer la nécessité de nourrir 9 milliards de personnes et celle de restaurer et protéger les ressources naturelles. La terre est l'une des ressources naturelles les plus fondamentales : quelque chose de si banal que nous choisissons régulièrement d'ignorer comment les actions humaines lui nuisent. La terre est un territoire, une propriété, une ressource, notre patrimoine, et bien plus encore. La terre a une valeur économique, sociale et environnementale et, même quand elle est privée, elle apporte de nombreux avantages à la société, notamment en termes d'approvisionnement en eau douce et de régulation du climat. La terre fait partie des fondements de la vie humaine, mais nous la prenons pour acquise et nous la dégradons rapidement.

Dans leur article de 2009, Rockström et al. définissent ce qu'ils appellent un espace d'action sûr pour l'humanité, au-delà duquel nous pourrions encourir des risques « délétères, voire catastrophiques ». Les auteurs identifient neuf limites planétaires et estiment que trois de ces limites ont déjà été franchies par l'humanité : les changements climatiques, la perte de biodiversité et les changements au cycle mondial de l'azote (Rockström et al., 2009). Une étude ultérieure estime qu'une quatrième limite, la conversion des terres, est également en train d'être franchie, et propose une limite planétaire générique pour englober l'influence humaine sur les flux biogéochimiques en général, plutôt que de se concentrer uniquement sur le phosphore (P) et l'azote (N) (Steffen et al., 2015).

La réalisation des ODD, adoptés par les États membres de l'ONU en 2015, contribuerait à répondre à ces limites planétaires. Cependant, les ODD comprennent des objectifs de développement économique et social qui impliquent des compromis potentiels avec la durabilité environnementale. En particulier, l'[ODD 2](#) (Faim « zéro ») est parfois considéré comme en concurrence directe

avec l'[ODD 15](#) (Vie terrestre). L'un des défis les plus urgents de la société est donc de satisfaire le droit des individus à une « bonne vie », y compris une alimentation et une nutrition adéquates, tout en restant en-deçà des limites planétaires. En d'autres termes, nous devons réconcilier l'agriculture et l'environnement : « éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir l'agriculture durable » ([ODD 2](#)) et, en même temps, « préserver et restaurer les écosystèmes terrestres, en veillant à les exploiter de façon durable, gérer durablement les forêts, lutter contre la désertification, enrayer et inverser le processus de dégradation des sols et mettre fin à l'appauvrissement de la biodiversité » ([ODD 15](#)).

Un cadre plus récent a été proposé pour équilibrer les limites planétaires avec le développement social (Raworth, 2017). Le modèle d'« économie en beignet » ajoute douze dimensions du développement social, tirées des ODD, aux neuf limites planétaires. Ce modèle met en avant la vision d'une société juste et durable, dans laquelle l'humanité occupe l'espace sûr entre les niveaux supérieurs de nos limites planétaires et des exigences minimales de développement social pour tous, partout dans le monde, appelé « socle social ». Ce modèle met en évidence le défi d'améliorer notre prestation d'avantages sociaux tels que la nourriture, l'eau, la santé et l'éducation, tout en restant dans les limites planétaires.

Le développement économique de base reste une priorité urgente pour bon nombre d'individus, environ 75 millions de personnes vivant actuellement dans l'extrême pauvreté. Cependant, ce chiffre a diminué de moitié depuis la fin des années 1980, alors que la population a augmenté, ramenant la proportion de la population mondiale vivant dans l'extrême pauvreté de 42% à 10% depuis 1987 (Roser & Ortiz-Ospina, 2017). La population continue de croître rapidement, et devrait augmenter d'environ 7,7 milliards de personnes à la fin de 2019 à environ 9,7 milliards d'ici à 2050<sup>7</sup>. Alors que le monde progresse de façon considérable en ce qui concerne les dimensions sociales du développement durable, l'augmentation de la population et de la richesse par habitant imposent des pressions croissantes sur la nature, en particulier dans le secteur alimentaire.

<sup>7</sup> <http://www.un.org/en/sections/issues-depth/population/>

### 2.1.1 Contribution de l'agriculture à la transgression des limites écologiques

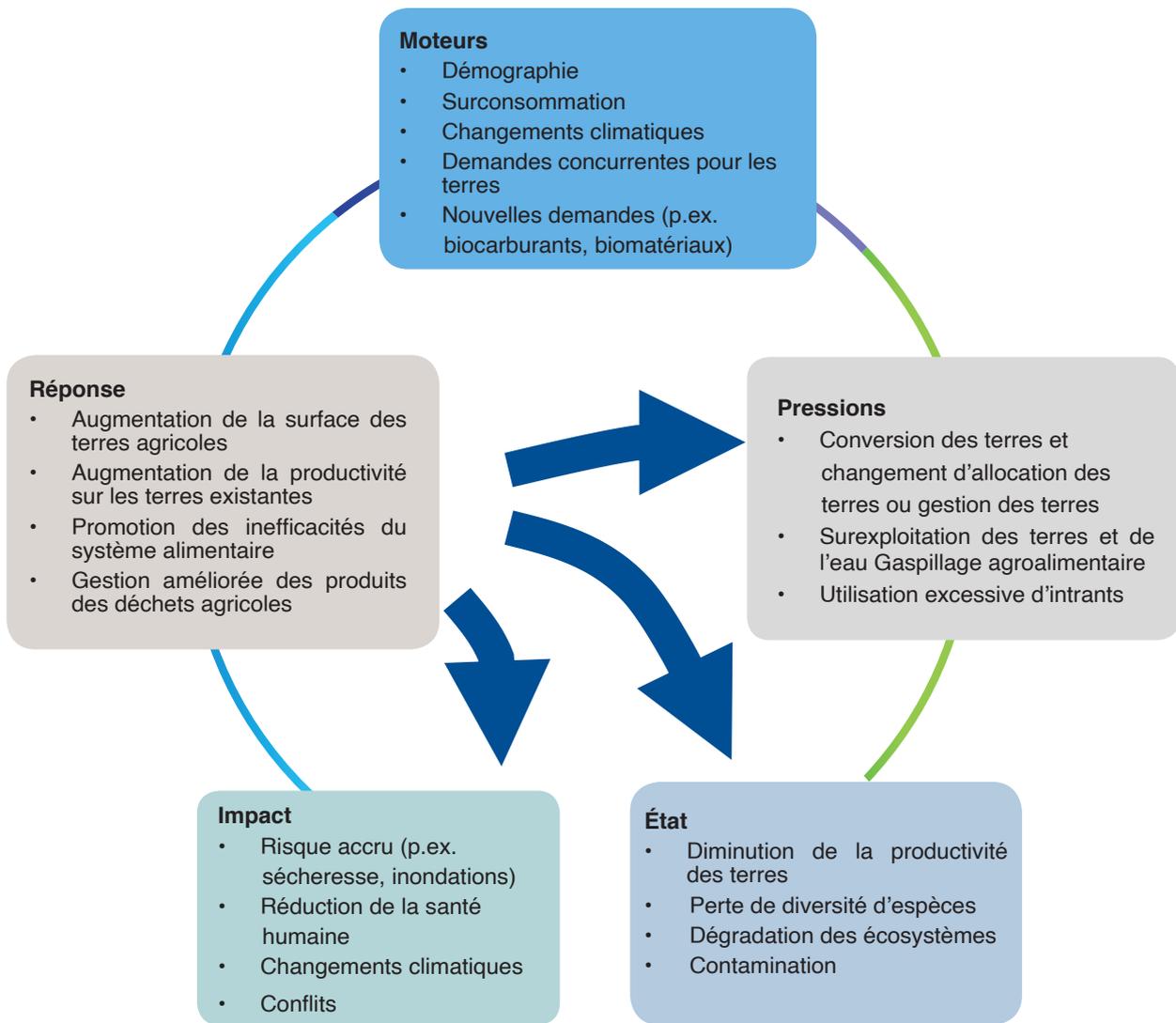
L'agriculture constitue actuellement l'une des principales menaces aux limites planétaires. Il s'agit de la principale source de risques pour l'intégrité de la biosphère, les flux biogéochimiques, le changement du système terrestre et l'utilisation de l'eau douce, et d'un contributeur majeur aux changements climatiques (Campbell et al., 2017). Alors que certaines formes d'agriculture protègent la biosphère et créent même de nouveaux habitats, les pratiques nocives compromettent l'intégrité de la biosphère en détruisant les habitats et en contribuant à l'extinction d'espèces. Les systèmes agroalimentaires sont le principal contributeur aux flux biogéochimiques, notamment par le lessivage de l'azote et du phosphore, qui a une incidence sur la qualité de l'eau et contribue à la pollution des océans. L'agriculture est également le principal moteur du changement d'affectation des terres, responsable de la conversion des forêts et des prairies en zones cultivées.

Les prélèvements d'eau douce destinés à la production agricole ont eu des répercussions négatives sur les écosystèmes de nombreux bassins versants. Ils réduisent les masses d'eau, menacent la biodiversité et compromettent le fonctionnement des écosystèmes. L'ampleur de l'impact peut être importante, l'utilisation localisée de l'eau ayant des conséquences sur de grandes distances, en raison de la fragmentation des écosystèmes et de l'eutrophisation causée par le lessivage de l'azote et du phosphore (Falkenmark, 2013). L'agriculture est considérée comme la principale source non ponctuelle de pollution (Evans et al., 2019).

L'agriculture contribue aux changements climatiques en libérant des gaz à effet de serre (GES), tels que le méthane provenant de la fermentation entérique des ruminants et de la riziculture, ou l'oxyde nitreux provenant des sols, de l'épandage d'engrais et de la gestion du fumier (Blanco et al., 2014). Globalement, on estime que 23% des émissions anthropiques de GES proviennent de l'agriculture, de l'exploitation forestière et autres utilisations des terres (IPCC, 2019).

L'impact de l'agriculture sur la nature est considérable. Les pratiques agricoles non durables peuvent compromettre la productivité des terres et la disponibilité en eau, et menacent souvent la viabilité à long terme de l'agriculture. En conséquence, l'agriculture non durable a un effet d'entraînement sur la résilience et la sécurité humaine, et peut contribuer aux conflits et aux migrations. La non-viabilité de notre système alimentaire mondial menace, en fin de compte, les économies et la stabilité politiques mondiales.

L'agriculture est un élément central du très complexe système alimentaire mondial, mais les pratiques agricoles ne sont pas le seul facteur affectant sa durabilité. Les choix et le comportement de milliards de consommateurs, ainsi que d'une multitude d'acteurs dans les chaînes d'approvisionnement en intrants, de transformation, de commercialisation et de distribution des aliments, déterminent en fin de compte la durabilité du système alimentaire. Comme illustré par la Figure 2, de puissantes forces sous-jacentes, notamment la croissance démographique et l'augmentation du revenu par habitant, stimulent une demande croissante de produits agricoles (aliments, fibres, biocarburants et biomatériaux) et intensifient les pressions sur les terres. Le secteur agricole réagit en intensifiant la production, grâce à une production accrue sur les terres agricoles existantes et à la conversion de plus de terres à la production. Les deux réponses peuvent avoir de graves conséquences néfastes pour la nature. Cependant, la Figure 2 montre une troisième réponse : accroître l'efficacité du système alimentaire. Cette réponse est conforme à l'opinion selon laquelle la production alimentaire mondiale est déjà suffisante, et le défi consiste à veiller à ce que cette nourriture soit distribuée équitablement et consommée de manière responsable.



**Figure 3** Effets environnementaux de l'agriculture : moteurs, pressions, état, impact et réponse

La Figure 3 montre comment l'agriculture et autres facteurs contribuent à une pression croissante sur les terres, soulignant la complexité du défi. Pour faire face à cette complexité, des stratégies à long terme et des réponses intégrées et multi-acteurs sont nécessaires. La compréhension des rétroactions entre réponses et moteurs d'une part, et pressions et état de la terre d'autre part, est essentielle pour identifier et promouvoir les rétroactions positives. Cette relation positive peut être développée par une meilleure gestion environnementale et par des investissements intégrant les multiples fonctions des terres agricoles.

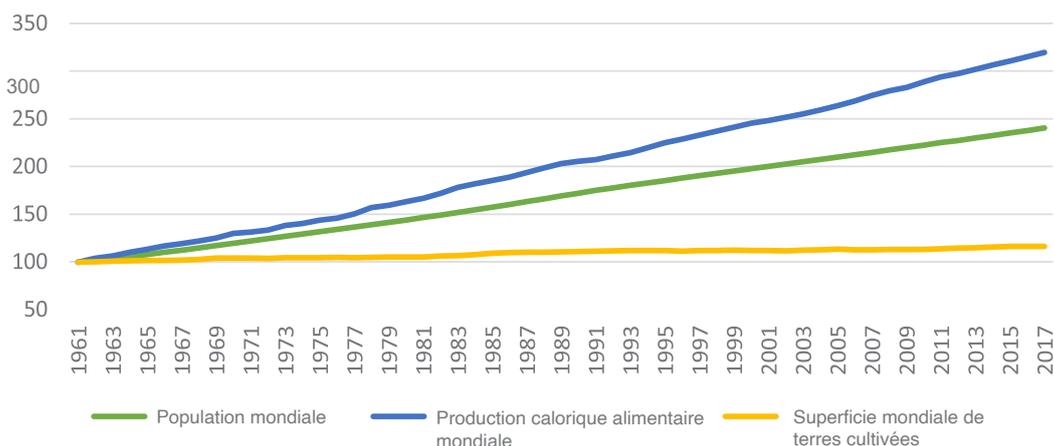
## 2.2 Développement agricole: un acteur performant?

L'alimentation est un besoin humain fondamental, essentiel à une vie saine et productive et à des sociétés pacifiques et prospères. L'insécurité alimentaire a conduit à des souffrances incommensurables au cours de l'histoire de l'humanité et, même au cours des dernières années, a été à l'origine de révolutions politiques et de mouvements sociaux. Il n'est pas surprenant que les gouvernements placent la sécurité alimentaire au-dessus des nombreuses priorités de développement concurrentes.

Au cours des 50 dernières années, le secteur agricole a réalisé des progrès remarquables dans l'alimentation d'une population mondiale en augmentation rapide. Alors que la population humaine a augmenté de plus de 170% depuis 1962, la production agricole mondiale a augmenté de plus de 270% (Figure 3). Ce bond de production est largement attribué à une augmentation de la productivité, plutôt qu'à une expansion des terres agricoles : au cours de la même période, la superficie cultivée a augmenté d'environ 12%. À titre d'exemple, la production céréalière

par habitant est passée de 0,29 à 0,39 tonne entre 1961 et 2014.

Les rendements plus élevés sont attribués à quatre grands domaines de développement technologique : les variétés de cultures à haut rendement, l'irrigation, les engrais synthétiques et les pesticides, et la mécanisation, associée à une énergie à faible coût (souvent subventionnée) à partir de combustibles fossiles (Ramankutty et al., 2018).

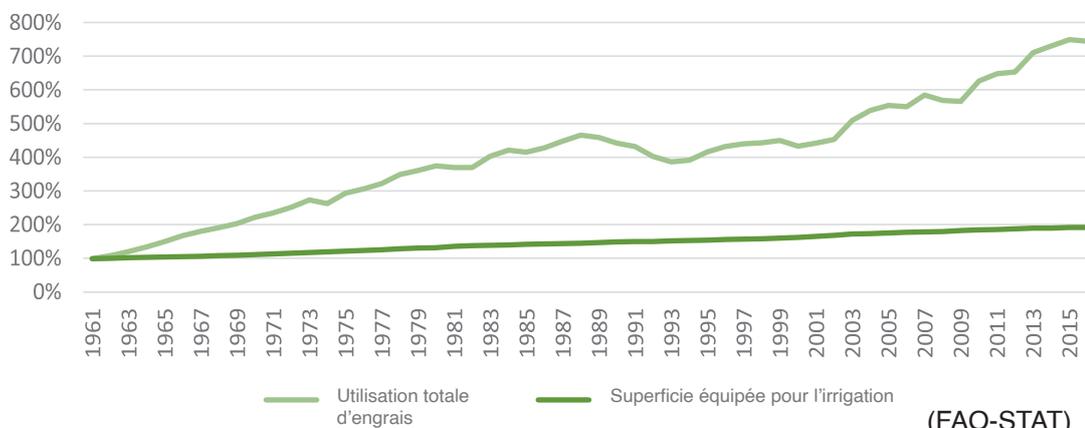


(FAO-STAT)

**Figure 4** Évolution mondiale de la population, de la superficie des terres cultivées et de la production calorique alimentaire depuis 1961

L'irrigation a joué un rôle important dans la croissance agricole. Les terres irriguées représentaient environ 19,7% des terres cultivées en 2006, mais l'augmentation de l'irrigation représente environ 40% de la hausse totale de la production agricole (FAO, 2011). Bien que le taux d'expansion de l'irrigation diminue, une étude (Tubiello & Van der Velde, 2010) estime que la production vivrière

irriguée devrait augmenter de 15-17% entre 2015 et 2050. Les produits agrochimiques ont également joué un rôle majeur dans le développement agricole. L'utilisation mondiale d'engrais artificiels devrait dépasser 200 millions de tonnes par an d'ici 2018, soit une augmentation de 25% par rapport aux niveaux de 2008 (FAO, 2015)<sup>8</sup>.



(FAO-STAT)

**Figure 5** Évolution de l'utilisation d'engrais et de l'irrigation depuis 1961

<sup>8</sup> Il convient de noter que cette projection est basée sur des estimations de la productivité agricole ne supposant aucun changement en ce qui concerne l'efficacité du secteur agroalimentaire.

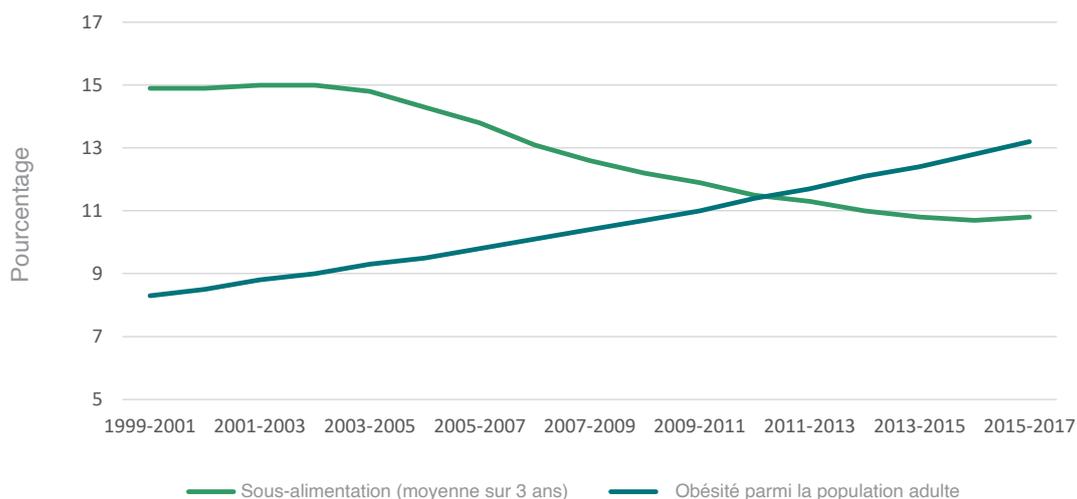
Bien que les progrès de la production agricole aient été remarquables, la situation mondiale peut masquer les défis majeurs qui subsistent dans certains pays et certaines régions. L'augmentation des rendements des cultures a contribué à réduire la faim, à améliorer l'espérance de vie et à réduire les taux de mortalité infantile et juvénile, ainsi que la pauvreté dans le monde (Whitmee et al., 2015). La prévalence de la sous-alimentation a diminué au cours des 20 dernières années, bien qu'elle touche encore actuellement près de 11% de la population mondiale, soit 800 millions de personnes, et qu'au moins 51 pays aient dû faire face à l'insécurité alimentaire en 2017 (FSIN, 2018).

Cependant, les chiffres de prévalence de l'insécurité alimentaire ont augmenté entre 2015 et 2018. Dans un contexte de changements climatiques et de crises humanitaires multiples, l'incertitude s'est accrue et l'augmentation de la production alimentaire mondiale pourrait ne pas être suffisante pour assurer la sécurité alimentaire, à moins que les systèmes de production ne deviennent plus résilients et que les populations aient un accès plus stable à la nourriture (FAO, 2019d).

Dans le même temps, une urbanisation rapide, une augmentation des revenus et un accès inadéquat aux aliments nutritifs entraînent un phénomène croissant de surconsommation et de mauvaise alimentation

(Global Panel on Agriculture & Food Systems for Nutrition, 2016; Willett et al., 2019). L'augmentation de la consommation de viande, de graisses raffinées, de sucres raffinés, d'alcools et d'huiles contribue à des régimes alimentaires inappropriés et entraîne une concurrence pour les ressources avec les produits alimentaires de base (Ramankutty et al., 2018). Une étude estime qu'entre 2005-2007 et 2050, la production mondiale de viande augmentera de 76% et la production céréalière de 46% (Alexandratos & Bruinsma, 2012).

Bien que le niveau de sous-nutrition mondiale suscite de grandes préoccupations, on estime que 2 milliards de personnes dans le monde sont en surpoids (WHO, 2019). La prévalence de l'obésité ne cesse d'augmenter (Figure 5) et, en 2011, la suralimentation est devenue la principale cause de malnutrition dans le monde. Les politiques agricoles contribuent à ces effets négatifs sur la santé : l'amélioration de la productivité agricole, combinée à un accès subventionné aux graisses saturées et au sucre, a facilité une augmentation massive de l'apport énergétique alimentaire (Willett et al., 2019).



(FAO-STAT)

**Figure 6** Évolution de la prévalence de la sous-alimentation et de l'obésité chez les adultes au fil du temps

En plus de nourrir le monde, l'agriculture reste le premier employeur et apporte de nombreuses contributions aux moyens de subsistance ruraux. La Banque mondiale estimait que l'agriculture employait 27% de la main-d'œuvre mondiale en 2019, contre 43% en 1991<sup>9</sup>, et que dans 33 pays, plus de la moitié de la main-d'œuvre travaille dans l'agriculture, dont 24 pays d'Afrique<sup>10</sup>. En Asie du Sud, un tiers de la croissance de l'emploi depuis 1999 s'est produit dans l'agriculture, tandis que les emplois agricoles sont en baisse dans les pays développés, en Asie de l'Est, en Amérique latine et dans les Caraïbes. Les femmes sont plus actives que les hommes dans le secteur agricole à l'échelle mondiale (38% contre 33%). Le secteur emploie également la plus forte proportion d'enfants au monde : environ 60% de tous les enfants travailleurs, soit 129 millions de filles et de garçons (FAO, 2014b).

### 2.2.1 Terres consacrées à l'agriculture

Sur la base des données de 2015 de la Division des statistiques de la FAO, (FAO-STAT)<sup>11</sup>, 12% de toutes les terres de la planète sont cultivées, et 25% sont des prairies et pâturages permanents. (Figure 6). Ensemble, ces chiffres indiquent que 37% de la superficie totale des terres est consacrée à l'agriculture. Cependant, ces données peuvent être trompeuses, car de vastes zones de prairies et de pâturages permanents sont des habitats semi-naturels dans lesquels la faune et la flore sauvages sont conservées, en conjonction avec la production animale (Davies et al., 2012). Ces zones pourraient potentiellement être considérées comme faisant l'objet d'« autres mesures efficaces de conservation par zone » (OECM) et contribuer, aux côtés des zones plus strictement protégées, à l'Objectif 11 d'Aichi pour la biodiversité.

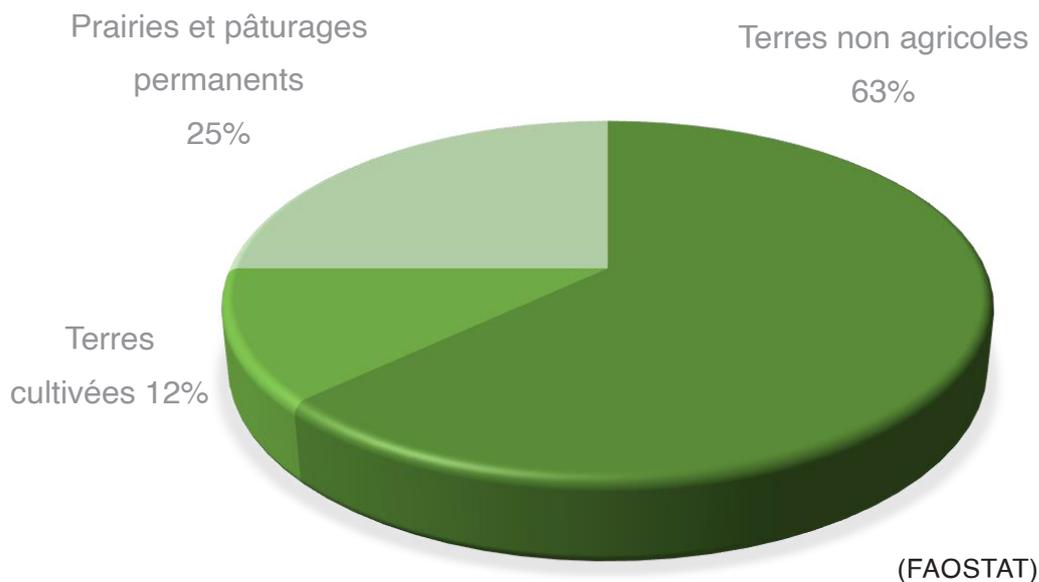


Figure 7 Superficie agricole mondiale en 2015

<sup>9</sup> <https://data.worldbank.org/indicator/sl.agr.empl.zs>

<sup>10</sup> [https://www.theglobaleconomy.com/rankings/employment\\_in\\_agriculture/](https://www.theglobaleconomy.com/rankings/employment_in_agriculture/)

<sup>11</sup> <http://www.fao.org/faostat/en/#home>

Plusieurs tentatives ont été faites pour estimer la date à laquelle la superficie globale des terres cultivées se stabilisera, un moment connu sous le nom de « pic de terres cultivées ». Les modèles utilisés dans ces projections sont sensibles à l'incertitude de paramètres tels que la croissance démographique, les préférences alimentaires et les nouvelles demandes, comme celle de biocarburants. Une étude a prédit que la superficie totale cultivée aurait commencé à décliner après 2010 (Ausubel, et al, 2013), bien que des données récentes indiquent que le pic pourrait être atteint entre 2020 et 2040 pour l'ensemble des terres agricoles, et autour de 2050 pour les terres cultivées (Roser & Ortiz-Ospina, 2017). La FAO a estimé que le pic de terres cultivées pourrait ne pas être atteint avant 2080 (Alexandratos & Bruinsma, 2012).

De vastes zones de terres sont impropres aux cultures, avec les technologies actuelles, mais d'importantes zones de cultures potentielles subsistent. On estime que 80% des terres agricoles potentielles restantes dans le monde se trouvent en Afrique (580 millions d'ha) et en Amérique du Sud (369 millions d'ha). Cependant, une proportion importante de ces terres est déjà utilisée pour le bétail et à d'autres fins, et l'estimation des terres cultivées disponibles pourrait être surévaluée (Cotula, et al, 2008). Les terres identifiées comme candidates à une conversion en terres cultivées se sont souvent avérées avoir un coût environnemental élevé du fait, par exemple d'une destruction de prairies, de pâturages ou de forêts. En outre, les suggestions visant à étendre les terres cultivées sur des terres marginales ou dégradées se heurtent à plusieurs problèmes. Des défis constants empêchent de parvenir à un accord sur la façon de définir les terres dégradées et d'identifier où ces terres se trouvent. Les terres marginales ou dégradées sont rarement vacantes et procurent déjà des avantages à leurs utilisateurs existants. Pourtant, elles sont simultanément recherchées pour des utilisations concurrentes, telles que la production alimentaire, la production de bois, les bioénergies et la conservation. Enfin, une grande partie des terres classées comme dégradées sont déjà des terres agricoles et peuvent donc être réhabilitées grâce à une agriculture durable, mais ne peuvent pas être « converties » en terres agricoles (Hanson & Searchinger, 2015).

Avec le ralentissement de l'expansion des terres cultivées totales, la majeure partie de la croissance future de la production (jusqu'à 80%) pourrait provenir de l'amélioration des rendements. Cela reflète une évolution vers plus d'efficacité depuis 1990, dans laquelle l'augmentation de la production agricole mondiale est moins liée à l'utilisation accrue d'intrants (terres, irrigation, main-d'œuvre, machines, etc.) qu'à un accroissement de la « productivité globale des facteurs », qui mesure la production par unité d'intrant (Ramankutty et al., 2018).

L'évolution de la productivité et de l'utilisation des terres a des incidences sur les régimes fonciers et les droits des communautés agraires en matière de gestion des ressources. Les changements dans la taille des exploitations peuvent donner un aperçu de l'évolution des droits sur les ressources, avec des différences marquées entre les régions. La taille moyenne des exploitations agricoles en Afrique et en Asie a diminué de 1950 à 2000, mais la tendance s'est inversée ces dernières années en Asie. La taille des exploitations agricoles continue de diminuer en Afrique, bien que la plupart des pays Africains riches en terres aient enregistré une augmentation de la taille moyenne des exploitations. Dans le même temps, la taille des exploitations agricoles en Europe et en Amérique du Nord a augmenté (Lowder et al., 2016).

La majorité des exploitations agricoles dans le monde (84%) sont gérées par de petits exploitants, cultivant moins de 2 hectares et gérant collectivement environ 12% des terres agricoles mondiales (Lowder et al., 2016). La contribution de ces exploitations à la production calorifique mondiale a été estimée entre 18% et 34% (Herrero et al., 2017, Ricciardi et al., 2018).

La plupart des terres agricoles sont gérées par des agriculteurs familiaux, qui ne sont pas considérés comme petits exploitants parce qu'ils possèdent plus de 2 hectares de terres. Selon Lowder et al. (2016), ces agriculteurs familiaux installés sur plus de 2 hectares gèrent 6% des exploitations individuelles, mais 63% des terres agricoles mondiales. Les 10% d'exploitations restantes gèrent les 25% restants de terres : cela inclut les terres contrôlées par des exploitations publiques et des entreprises privées.

Des préoccupations ont été exprimées, au cours de la dernière décennie, au sujet d'accords entre pays en développement et entreprises étrangères, portant sur les terres agricoles et ignorant souvent les droits coutumiers des communautés autochtones et locales à accéder à la terre et à l'utiliser. Selon une étude, les droits sur l'eau acquis grâce à ces accords suffiraient, à eux seuls, à améliorer la sécurité alimentaire et à réduire la malnutrition dans les pays concernés (Rulli et al., 2013). L'étude estime qu'environ 47 millions d'hectares de terres ont été acquis dans le monde et consomment environ 310 milliards de m<sup>3</sup> d'eau verte par an (eau provenant du sol et de la végétation) et jusqu'à 140 milliards de m<sup>3</sup> d'eau bleue par an (eau provenant des lacs, des rivières et des eaux souterraines).

Bien que la relation entre développement agricole et structure des propriétés foncières soit difficile à discerner, les changements dans les régimes fonciers suscitent des préoccupations quant aux inégalités potentielles qui pourraient en résulter. Dans de nombreuses sociétés, des attitudes discriminatoires persistent en matière de propriété foncière et d'accès au savoir ou au capital financier, aboutissant à des résultats inéquitables en matière de développement agricole. Les inégalités entre hommes et femmes en matière de régime foncier et de droits sur les ressources sont particulièrement préoccupantes. Les femmes sont désavantagées par rapport aux hommes en ce qui concerne toutes les dimensions des droits fonciers associés aux terres agricoles : propriété, gestion, transfert et droits économiques. Moins de 15% de tous les propriétaires fonciers dans le monde sont des femmes, et seulement 5% au Moyen-Orient (FAO, 2018b).

Les femmes sont souvent exclues de la participation aux processus relatifs au régime foncier et à la gouvernance foncière, et peuvent avoir une capacité limitée d'influencer la prise de décisions. Les régimes fonciers reflètent souvent les relations de pouvoir entre différents groupes, et peuvent être utilisés pour affirmer une autorité sur les groupes pauvres et socialement marginalisés. Cela peut résulter d'une situation dans laquelle le contrôle et l'influence de l'État sont faibles, et des élites locales sont en mesure de prendre le contrôle des terres et des ressources (Borelli et al.,

2019). Compte tenu de l'importance du travail des femmes dans l'agriculture dans de nombreux pays, leur exclusion de la prise de décisions peut avoir des conséquences importantes pour l'adoption de pratiques de GDT. Cela peut être dû à des motifs et des priorités différents quant à la prise de décision, à une capacité différente de répondre aux opportunités ou à un manque d'accès à l'information pertinente (Ragassa, 2014).

## 2.3 Impacts de l'environnement sur les terres agricoles

L'augmentation rapide de la production agricole au cours du dernier demi-siècle a généré un coût environnemental important, et des signes montrent que des pratiques agricoles non durables compromettent la viabilité à long terme du secteur. Les progrès de la technologie agricole, y compris la sélection de variétés de cultures et de races de bétail nécessitant des facteurs de production plus exigeants pour réaliser leur potentiel (engrais, pesticides et mécanisation), ont été des moteurs importants de pratiques agricoles écologiquement non durables. Toutefois, d'autres progrès technologiques peuvent jouer un rôle important dans la réalisation de la durabilité à l'avenir, et le défi consiste à réorienter le développement de la technologie agricole pour soutenir une production plus durable.

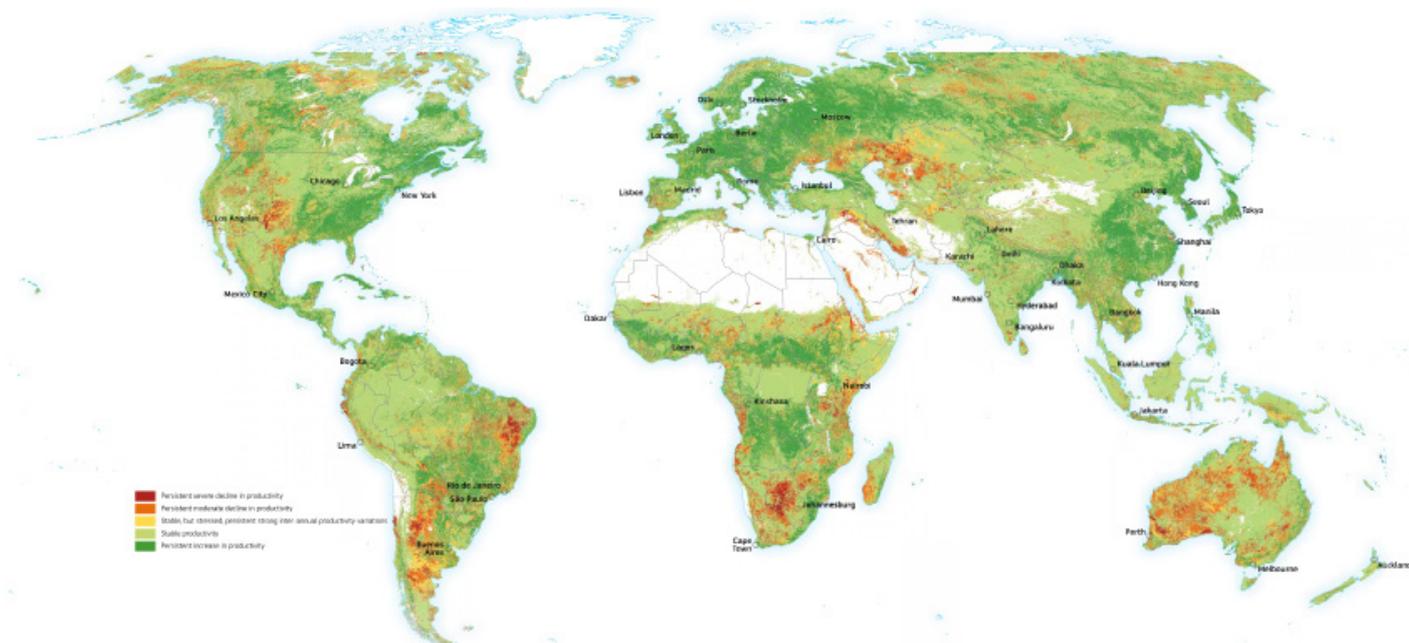
### 2.3.1 Dégradation des terres

Les Nations unies définissent la dégradation des terres comme « la réduction ou la perte ... de productivité biologique ou économique et de complexité ... des terres à conséquence de leur utilisation ... » La dégradation des terres peut résulter d'une érosion des sols causée par le vent ou l'eau, de la détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques ou économiques des sols ou de la perte à long terme de la végétation naturelle (United Nations, 1994). L'utilisation prolongée, intensive et aveugle de produits agrochimiques nuit à la biodiversité des sols, à la durabilité de l'agriculture et à la sécurité alimentaire, et contribue largement à la dégradation des terres (Meena et al., 2020). Les symptômes de la dégradation des terres peuvent

inclure la perte, l'épuisement des nutriments, la salinité, la rareté de l'eau, la pollution, la perturbation des cycles biologiques et la perte de biodiversité des sols (Bai et al., 2008).

L'agriculture contribue à la dégradation des terres agricoles et autres types de couverture terrestre, par exemple par la déforestation ou la conversion des prairies naturelles. La dégradation des terres affecte environ 29% de la superficie totale des terres mondiales et se produit dans tous les agroécosystèmes. Un déclin de productivité de la biomasse induit par l'homme est observé sur 25% des terres cultivées et des mosaïques végétales, 29% des mosaïques de forêts avec arbustes et prairies, 25% des zones arbustives et 33% des prairies. La dégradation des terres cultivées peut être masquée par l'application d'engrais visant à accroître la productivité des terres (Le et al., 2014).

Une dégradation est observée sur les terres agricoles dans toutes les régions, bien qu'elle soit plus répandue en Afrique du Nord et au Proche-Orient, affectant 45% des terres et 52% des pâturages, contre 19% et 17% respectivement en Europe. À l'échelle mondiale, on estime que 28% de la population réside dans des zones dégradées, ce pourcentage s'élevant à 66% en Afrique du Nord et au Proche-Orient, alors qu'il n'est que de 10% en Europe (Le et al., 2014).



Atlas mondial de la désertification: <https://wad.jrc.ec.europa.eu/landproductivity>

**Figure 8** Carte de la diminution de la productivité des terres : l'un des 3 indicateurs convenus de la dégradation des terres en vertu de l'CNULCD

### 2.3.2 Déclin de la biodiversité

Les pratiques agricoles non durables sont associées à un déclin de la diversité des espèces, provoqué par la conversion des habitats naturels pour la production alimentaire ainsi que par la pollution. L'impact sur la biodiversité est amplifié le long des chaînes d'approvisionnement alimentaire par l'utilisation d'énergie, le transport et les déchets (Dudley & Alexander, 2017). L'intensification et l'application accrue de produits agrochimiques, y compris de pesticides et d'engrais, contribuent grandement à la perte de biodiversité du secteur agroalimentaire. Les fonctions et services écosystémiques déclinent souvent en parallèle à la perte de biodiversité, y compris une diminution de l'approvisionnement en eau, de la qualité de l'eau et de l'air, et de la régulation du climat. La perte mondiale de services écosystémiques due aux changements d'affectation des terres a été estimée à entre 4,3 et 20,2 billions de dollars américains par an (Costanza et al., 2014).

La conversion des terres à l'agriculture contribue à la perte d'habitats et à la fragmentation des paysages. La superficie forestière mondiale a diminué d'environ 3% entre 1990 et 2015, bien que le taux de perte nette de forêts entre 2010 et 2015 ait été deux fois moins élevé que dans les années 1990 (Keenan et al., 2015). Les pertes forestières ont été plus importantes dans les régions tropicales et dans les pays en développement, tandis que la superficie mondiale de forêts tempérées a augmenté. Les changements dans les pratiques de gestion des terres agricoles ont également nui à la biodiversité, y compris par la conversion de pâturages permanents en cultures annuelles, le remplacement des jachères par des cultures permanentes et l'élimination des haies et bordures de champs, entre de nombreux autres changements (UNEP, 2007). En Europe, par exemple, l'agriculture constitue le facteur principal affectant l'état de la nature<sup>12</sup>.

L'intensification de l'agriculture a contribué à la perte des méthodes agricoles traditionnelles, qui favorisaient souvent des niveaux plus élevés d'hétérogénéité des paysages et de biodiversité. Cette simplification des

systèmes agricoles réduit le nombre de prédateurs naturels, entraînant une augmentation des infestations de ravageurs des cultures et une plus grande dépendance aux pesticides. Une analyse a révélé que la lutte naturelle contre les ravageurs était inférieure de 46% dans les paysages agricoles homogènes par rapport aux paysages plus complexes (Rusch et al., 2016). En outre, l'intensification a entraîné une diminution de la diversité des cultures et de l'élevage. Alors que plus de 6 000 espèces végétales ont été cultivées pour l'alimentation, moins de 200 contribuent de manière substantielle à la production alimentaire mondiale, et seulement neuf représentaient 66% de la production végétale totale en 2014 (FAO, 2019d).

### 2.3.3 Stress hydrique

L'expansion de l'agriculture irriguée a entraîné la dégradation des zones humides et riveraines, l'épuisement des aquifères et la perturbation de l'approvisionnement en eau en aval. Le secteur de l'agriculture utilise environ 70% de l'eau prélevée dans les aquifères, les cours d'eau et les lacs (FAO, 2011). La disponibilité en eau pour l'agriculture limite désormais toute intensification supplémentaire dans de nombreuses régions. En outre, une irrigation mal gérée ou mal conçue contribue à la dégradation des terres dans certains pays, du fait de la salinisation des terres cultivées (IWMI, 2007).

Au cours de la seconde moitié du XXe siècle, les « Révolutions vertes » dans plusieurs pays ont compromis la sécurité en eau par l'épuisement du débit des rivières et des eaux souterraines ainsi que par une grave pollution de l'eau. La perte d'humidité des sols (eau verte) en raison de la dégradation des terres et de la déforestation menace la production de biomasse terrestre, y compris les rendements agricoles, ainsi que la séquestration de carbone. Des changements dans les débits et les volumes d'eau (eau bleue) et leur saisonnalité menacent les écosystèmes aquatiques ainsi que les approvisionnements domestique et industriel en eau. La diminution de la restitution d'humidité en flux de vapeur d'eau (eau verte) affecte les régimes de précipitations locaux et régionaux et la régulation du climat (Falkenmark, 2013)

---

<sup>12</sup>European Environment Agency. (2015). State of nature in the EU: biodiversity still being eroded, but some local improvements observed. <http://www.eea.europa.eu/highlights/state-of-nature-in-the>

## 2.4 Facteurs de dégradation des terres dans le secteur agricole

La croissance démographique est l'un des principaux moteurs des pressions environnementales liées à l'agriculture. La population mondiale devrait atteindre 9,7 milliards d'ici 2050, et environ 11 milliards de personnes d'ici 2100<sup>13</sup>. Sans autres changements visant à améliorer l'efficacité du système agroalimentaire, on estime que la demande de produits agricoles augmentera d'au moins 50% d'ici 2050 (FAO, 2018a). Cependant, comme indiqué précédemment, la production alimentaire dépasse largement la demande actuelle. Le défi n'est pas la disponibilité alimentaire, mais plutôt la façon dont les aliments sont distribués et consommés à l'échelle mondiale.

Bien que la production agricole mondiale devrait ralentir, cela masque d'importantes disparités régionales. La production pourrait doubler en Asie du Sud et tripler en Afrique subsaharienne (Alexandratos & Bruinsma, 2012). Parallèlement, l'abandon rural apparaît comme un nouveau défi environnemental en Europe. L'estimation moyenne de l'abandon des terres agricoles dans l'Union Européenne (UE) se situera autour de 3-4% de la superficie totale d'ici 2030 (Keenleyside & Tucker, 2010).

Le rapport de la Commission EAT-Lancet sur les modes de consommation et la dégradation de l'environnement a identifié un grand nombre de corrélations entre les régimes alimentaires, la santé humaine et la durabilité environnementale (Willett et al., 2019). La commission a constaté que le mode de production des aliments, les choix de consommation et l'ampleur des pertes et gaspillages alimentaires influent fortement sur la santé des personnes et de la planète. Elle conclue que des régimes alimentaires riches en aliments d'origine végétale et contenant moins de produits animaux pourraient apporter des avantages aussi bien en termes d'amélioration de la santé qu'en matière environnementale, tout en reconnaissant que le modèle mondial peut masquer des disparités régionales, telles que des carences en micronutriments.

En plus d'une demande croissante de calories et de protéines, notre appétit pour des produits non alimentaires issus de l'agriculture, tels que les biocarburants et les bioplastiques, augmente. Selon une estimation, la superficie totale des terres utilisées pour la production de biocarburants et de sous-produits pourrait atteindre entre 35 et 54 millions d'hectares d'ici 2030, en fonction du scénario politique (Cotula et al., 2008). Parallèlement, la préoccupation mondiale croissante concernant les déchets plastiques entraîne une nouvelle demande de bioplastiques fabriqués à partir de biomasse, tels que les graisses et les huiles végétales ou l'amidon de maïs. En 2017, l'huile de palme utilisée pour les biocarburants, les cosmétiques et autres utilisations en plus de l'alimentation, a été produite à partir de 18,7 millions d'hectares de plantations de palmiers à huile à l'échelle industrielle. Bien que cela représente moins de 10% des terres allouées aux cultures oléagineuses, cela représente 35% de toute l'huile végétale, ce qui reflète des niveaux relativement élevés de productivité des terres (Meijaard et al., 2018).

Le gaspillage alimentaire est un autre facteur important des impacts environnementaux du secteur agricole, car il augmente la superficie totale des terres et des intrants nécessaires pour produire chaque unité de nourriture consommée. La majorité du gaspillage alimentaire dans les pays à revenu moyen et élevé est due au comportement des consommateurs, combiné à un manque de coordination entre les acteurs des chaînes d'approvisionnement alimentaire. Dans l'UE, cela coûte environ 143 milliards d'euros par an<sup>14</sup>, chaque tonne de déchets alimentaires envoyée en décharge générant des émissions de GES équivalentes à 4,2 tonnes de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)<sup>15</sup>. Dans les pays en développement, les limitations en matière de récolte, stockage, infrastructure et commercialisation constituent les principaux facteurs du gaspillage alimentaire. Jusqu'à un tiers de toutes les denrées alimentaires produites dans le monde sont gaspillées, et la réduction du gaspillage est l'un des moyens les plus prometteurs de réduire l'impact actuel de l'humanité sur l'environnement tout en assurant, simultanément, la sécurité alimentaire (Gustavsson et al., 2011).

<sup>13</sup> <http://www.un.org/en/sections/issues-depth/population/>

<sup>14</sup> For more information on EU food waste, see: [https://ec.europa.eu/food/safety/food\\_waste\\_en](https://ec.europa.eu/food/safety/food_waste_en)

<sup>15</sup> Dinamix, *Issue No. 2, February 2016. Policy Report*. A policy mix aimed at reducing impacts of agricultural production & consumption - Synthesis of potential impacts. [https://dynamix-project.eu/sites/default/files/Dynamix%20Policyfield\\_roadmap\\_land\\_230316\\_0.pdf](https://dynamix-project.eu/sites/default/files/Dynamix%20Policyfield_roadmap_land_230316_0.pdf)

Certains facteurs économiques ont grandement contribué à la non-durabilité de l'agriculture. Une évaluation de l'OCDE de ses 37 pays membres, des cinq États membres de l'UE non membres de l'OCDE et des 12 économies émergentes a révélé que les transferts nets vers les secteurs agricoles de ces 54 pays s'élevaient à 619 milliards de dollars par an, entre 2017 et 2019 (OECD, 2020). L'OCDE rapporte que plus de 500 milliards de dollars contribuent à fausser les marchés, à étouffer l'innovation et à nuire à l'environnement. En revanche, le rapport constate que très peu est dépensé pour assurer la performance à long terme du secteur agricole, avec seulement 106 milliards de dollars par an alloués à la recherche et au développement, aux infrastructures, à la biosécurité et autres services habilitants.

L'OCDE estime que plus d'un dollar sur neuf des recettes agricoles brutes provient globalement de politiques publiques, bien que dans certains pays, cela puisse représenter près de la moitié de l'ensemble des recettes agricoles. Au cours des 40 dernières années, le soutien aux producteurs dans les pays de l'OCDE a diminué en pourcentage des recettes agricoles brutes, passant d'environ un tiers dans les années 1980 à environ 17% en 2017-2019. La tendance est actuellement inversée dans les économies émergentes, passant d'une moyenne de 4% dans les pays analysés en 2000-2002 à plus de 8% en 2017-2019. Si l'OCDE reconnaît la nécessité pour les gouvernements d'investir dans des systèmes alimentaires qui fonctionnent bien, elle reconnaît également que « la plupart des aides actuelles à l'agriculture sont inutiles, voire nuisibles ». Elle identifie trois mesures politiques que les gouvernements peuvent prendre pour rendre leur secteur agricole plus productif, durable et résilient (OECD, 2020) :

1. Éliminer progressivement les politiques responsables de ces distorsion, y compris le soutien aux prix et le soutien budgétaire, étroitement liés à la production agricole et à l'utilisation d'intrants.
2. Réaffecter des fonds à des services publics clés pour le secteur afin d'améliorer la productivité, la durabilité et la résilience, ou à un soutien bien ciblé pour la fourniture de résultats d'intérêt public tels que la biodiversité.

3. Mettre l'accent sur des résultats environnementaux plus ambitieux grâce à des politiques moins distorsives, plus efficaces et plus ciblées.

Les changements climatiques affectent positivement et négativement la productivité des terres agricoles, en raison de l'augmentation des températures, de la perturbation des schémas de précipitations, de la gravité et de la fréquence accrues des chocs climatiques et de la fertilisation au CO<sub>2</sub>. Les changements climatiques exacerbent les processus de dégradation des terres, notamment en augmentant l'intensité des précipitations, les inondations, la fréquence et la gravité des sécheresses, le stress thermique, les périodes de sécheresse, l'élévation du niveau de la mer et l'action des vagues et le dégel du permafrost, les résultats étant modulés par la gestion des terres. L'érosion côtière s'intensifie et empiète sur d'autres régions, l'élévation du niveau de la mer s'ajoutant à la pression foncière dans certaines régions. Dans les zones arides, les changements climatiques et la désertification devraient réduire la productivité des cultures et du bétail, modifier le mélange des espèces végétales et nuire à la biodiversité. L'Asie et l'Afrique devraient abriter le plus grand nombre de personnes vulnérables à l'augmentation de la désertification. Les régions tropicales et subtropicales devraient être les plus vulnérables à la baisse du rendement des cultures. La dégradation des terres résultant de la combinaison de l'élévation du niveau de la mer et des cyclones plus intenses devrait mettre en péril la vie et les moyens de subsistance dans les zones sujettes aux cyclones (IPCC, 2019).

## 2.5 Relancer la santé des terres pour favoriser la durabilité du système alimentaire

Le secteur agricole a connu une transformation remarquable au cours du dernier demi-siècle et fournit actuellement suffisamment de nourriture pour la population future. L'intensification de l'agriculture a joué un rôle majeur dans la réduction de l'expansion des terres agricoles, mais a généré un certain nombre de menaces pour l'environnement, y compris la dégradation des terres et la pollution. La transformation de l'agriculture a été dictée par une politique étroite, axée sur un objectif principal : produire plus de denrées alimentaires, de fibres et de combustibles, sans tenir suffisamment compte d'autres dimensions importantes des systèmes agroalimentaires, y compris la variété nutritionnelle, les moyens de subsistance et les revenus ruraux, la durabilité environnementale et, même, l'efficacité économique.

L'intensification de l'agriculture a conduit à des pratiques préjudiciable à l'essence même de la productivité agricole (les sols), compromettant sa propre santé, dans la mesure où la dégradation des terres et des paysages menace l'avenir du système agricole actuel. La viabilité future du système alimentaire mondial dépend de la restauration et du maintien de la santé des terres dans l'agriculture, à la fois au niveau des exploitations agricoles et des paysages, tout en reconnaissant la nécessité de répondre à la demande alimentaire mondiale croissante et de préserver la biodiversité.

Les agroécosystèmes offrent de nombreux avantages en plus de la production alimentaire, notamment l'approvisionnement en eau, la réduction des risques de sécheresses et d'inondations, la régulation du climat, la conservation de la biodiversité et la fourniture de services récréatifs, esthétiques et culturels. L'accent mis sur l'augmentation de la production alimentaire à partir des terres agricoles a souvent sacrifié ces autres valeurs, que la société demande de plus en plus. De nombreux avantages associés aux terres agricoles sont déterminés par la biodiversité des sols, qui constitue l'une des premières victimes de la dégradation des terres.

La valeur de la biodiversité des sols pour les services écosystémiques a été estimée entre 1,5 et 13 billions de dollars américains par an (van der Putten et al., 2004). Le secteur agricole a un rôle majeur à jouer dans la sauvegarde des services écosystémiques en protégeant la biodiversité des sols.

La quantité de terres disponibles pour l'expansion agricole est limitée, poussant l'agriculture dans des zones de plus en plus marginales. L'empiètement des terres et la perte d'habitats resteront des préoccupations urgentes en matière de conservation dans certaines régions, notamment en Afrique, et pour certains habitats critiques. Pour être compatible avec les ODD, l'agriculture devra nourrir tout le monde sans augmenter la superficie totale cultivée. Cela dépendra d'une efficacité accrue dans l'utilisation des ressources et, dans certaines régions, impliquera presque certainement de nouvelles augmentations de production. Il est fort probable que l'utilisation de l'irrigation, d'intrants synthétiques et de races améliorées continuera d'augmenter. Le développement agricole doit donc, de toute urgence, mettre l'accent sur une efficacité accrue (produire plus par unité d'intrant) d'une manière écologiquement durable (Van Der Esch et al., 2017). Produire plus par unité d'intrant ne signifie pas nécessairement produire plus globalement : produire la même quantité avec moins d'intrant est également un moyen légitime d'améliorer l'efficacité. Maintenir la production tout en réduisant les coûts peut être une option commerciale attrayante pour de nombreux agriculteurs.

L'agriculture durable doit équilibrer la production alimentaire et la fourniture d'autres services écosystémiques. Cela doit se faire sans compromettre la production ou les revenus, en particulier dans les régions en situation d'insécurité alimentaire. La durabilité de l'agriculture doit être évaluée tant au niveau des paysages que des exploitations. Cela dépendra de l'adoption de pratiques agricoles durables par les agriculteurs individuels, ainsi que des efforts collectifs pour assurer la fonctionnalité et l'intégrité des paysages, au-delà des exploitations individuelles. Cela peut inclure la protection des forêts et des zones humides, ou la gestion des forêts et des pâturages, dans les paysages agricoles plus vastes.

Aborder la question des modes de consommation et de distribution mondiaux et la réduction du gaspillage alimentaire nécessitera une action intersectorielle à l'échelle nationale et une action intergouvernementale pour un changement mondial. L'ampleur du défi est énorme et nécessite une action urgente à grande échelle. Elle exige des réponses de la part des agriculteurs individuels, des investisseurs agricoles et de l'ensemble des chaînes d'approvisionnement agroalimentaire, jusqu'au consommateur. Elle exige des réponses dans les politiques et la législation, ainsi que dans les programmes politiques nationaux, afin de fournir un plus grand soutien à la durabilité dans l'agriculture. Cependant, les acteurs de la conservation et de l'agriculture ont un intérêt commun à protéger et à restaurer la santé des terres et la biodiversité des sols dans les paysages agricoles. La création de mesures incitatives pour une meilleure santé des terres par l'intermédiaire du système agroalimentaire doit faire partie intégrante de la transition vers la durabilité. Il s'agit là d'un défi important à relever au cours de la Décennie des Nations unies pour la restauration des écosystèmes (2021-2030)<sup>16</sup>.

## 2.6 Conclusion du chapitre 2

Le secteur agricole a accompli un travail remarquable au cours du dernier demi-siècle. La production alimentaire a augmenté de façon spectaculaire, entraînant une diminution de la faim et contribuant à une espérance de vie plus élevée, à une baisse des taux de mortalité infantile et juvénile et à une diminution de la pauvreté. Ces changements impressionnants ont été largement obtenus grâce à l'intensification, et en particulier à une augmentation massive de l'utilisation d'intrants, y compris les produits agrochimiques et la mécanisation, ainsi que l'irrigation et les nouvelles races.

Ces améliorations ont coûté cher à la planète et à la société. L'expansion des terres agricoles et la destruction des habitats naturels ont contribué à des pertes massives de biodiversité, à la pollution, aux émissions de GES et à la dégradation des terres. Un accès facile à une alimentation bon marché a contribué à une crise d'obésité dans certains pays, alors qu'un grand nombre de personnes dans les pays en développement souffrent d'insécurité alimentaire et d'une déficience en micronutriments. La demande mondiale pourrait déjà être satisfaite si les aliments étaient distribués de manière plus équitable et si le gaspillage était éliminé.

La terre est une ressource limitée, grandement surexploitée, ce qui met en péril le bien-être futur de l'humanité. Pour atteindre les objectifs de développement durable, ainsi que les objectifs internationaux relatifs aux changements climatiques, à la conservation de la biodiversité et à la dégradation des terres, la société doit adopter, d'urgence, davantage de pratiques de GDT, entre autres changements profonds dans le système agroalimentaire. Cela doit se faire dans le contexte de changements climatiques, ainsi que de croissance démographique et de déclin des ressources naturelles.

Le coût de ces changements peut sembler intimidant, mais doit être analysé à la lumière des 60 milliards de dollars américains de subventions et des flux encore plus importants d'investissements privés vers le secteur agricole (principalement par les agriculteurs eux-mêmes). Le défi consiste à veiller à ce que les flux financiers soient réorientés de manière à favoriser des pratiques de production durables et promouvoir des gains d'efficacité dans l'ensemble du système agroalimentaire.

---

<sup>16</sup><https://www.decadeonrestoration.org/>



# Chapitre 3

Biodiversité des sols et santé des terres agricoles



La diversité biologique (ou biodiversité) est définie comme la variabilité des organismes vivants et des complexes écologiques dont ils font partie. Cela comprend la diversité au sein des espèces, entre les espèces et des écosystèmes (CBD, 1992). La biodiversité agricole comprend toutes les composantes de la diversité biologique relatives à l'alimentation et à l'agriculture, elle recouvre : la variété et la variabilité, des animaux, des plantes et des microorganismes au niveau de la génétique, des espèces et des écosystèmes, nécessaires pour soutenir les fonctions clés de l'agroécosystème, sa structure et ses processus (CBD, 2010).

La biodiversité agricole peut être divisée en deux grandes catégories. La première comprend les espèces domestiquées qui fournissent des aliments et autres produits, ainsi que leurs parents sauvages (CBD, 2010). La deuxième catégorie comprend tous les éléments non récoltés qui contribuent à la productivité agricole et la maintiennent grâce aux services écosystémiques de soutien et de régulation, y compris le biote des sols, les pollinisateurs et les ennemis des ravageurs et des maladies (CBD, 2010). Les micro-biotes du sol présentent une diversité particulièrement importante et remplissent un certain nombre de fonctions vitales qui régulent la fertilité du sol et le cycle des nutriments (discutés plus en détail dans la section suivante). Ceci est particulièrement vrai pour les fonctions écosystémiques déterminées principalement par la biodiversité du sol : 90 à 95% du biote du sol reste non identifié et moins de 1% de certains groupes a été décrit.

La pollinisation pour la production végétale est peut-être le service écosystémique le plus connu (effectué par les insectes ainsi que par certains oiseaux et mammifères). Quatre-vingt-sept des principales cultures vivrières de l'humanité, soit 35% de la production alimentaire mondiale, dépendent de la pollinisation animale (Klein et al., 2007). Les principaux pollinisateurs pour les cultures économiquement importantes sont les abeilles mellifères (*Apis mellifera*), suivies par les abeilles solitaires et les mouches (Rader et al., 2016). Au total, entre 235 et 577 milliards de dollars américains de production alimentaire mondiale annuelle dépendent des contributions directes des pollinisateurs (IPBES, 2018).

Les pollinisateurs varient considérablement pour chaque culture, selon l'emplacement géographique, la disponibilité d'habitats naturels et l'utilisation de pesticides (Kremen et al., 2002). Par exemple, contrairement aux abeilles polyvalentes, les abeilles solitaires sont spécifiques à certaines espèces végétales (Hallmann et al., 2017). Ainsi, la perte de certaines espèces végétales peut être directement liée au déclin des abeilles dans certaines parties du monde, et constitue une préoccupation majeure pour la biodiversité et les services écosystémiques dans le secteur agricole (Papanikolaou et al., 2017; IPBES, 2018). Par exemple, Biesmeijer et al. (2006) constatent des déclinés parallèles des abeilles et des plantes pollinisées par les insectes en Grande-Bretagne et aux Pays-Bas en raison de changements dans la richesse spécifique (nombre d'espèces), et Weiner et al. (2014) démontrent que les effets de l'utilisation des terres sur les pollinisateurs sont accélérés par leur dépendance mutuelle à l'égard des plantes.

La lutte biologique contre les ravageurs et les maladies est un autre service écosystémique important pour l'agriculture fourni par des organismes, par prédation directe, parasitisme ou production de substances chimiques (par exemple les toxines). Cette activité réduit la densité de population d'organismes nuisibles, y compris les animaux, les mauvaises herbes et les maladies (Bale et al., 2008). La réduction de la perte d'habitats et des perturbations environnementales associées à une production agricole intensive peut conserver les ennemis naturels et contribuer à la suppression des ravageurs, une approche connue sous le nom de conservation pour la lutte biologique (Begg et al., 2017).

La lutte biologique par conservation, qui implique le déploiement de diverses méthodes pour conserver et améliorer les herbivores autochtones, les parasitoïdes et/ou les prédateurs naturels, a des impacts négatifs minimes sur l'environnement et les services écologiques. En revanche, la lutte biologique classique, impliquant l'introduction et l'établissement d'ennemis naturels non autochtones spécialisés, peut parfois entraîner des conséquences écologiques inattendues dans l'écosystème ciblé (Jennings et al. 2017).

Beaucoup de ces bio-pesticides ciblent des espèces spécifiques de ravageurs, entraînant moins d'impact sur les pollinisateurs et la biodiversité des sols (Chandler et al., 2011) par rapport aux pesticides chimiques, qui ont souvent des effets néfastes sur les organismes non ciblés, endommageant ainsi les communautés du sol et les interactions entre espèces (Thiour-Mauprivez et al., 2019). Certains organismes peuvent même développer une résistance, et nécessitent donc des apports plus élevés de pesticides (Aktar et al., 2009). Pour cette raison, les bio-pesticides ont parfois été considérés comme une alternative plus sûre aux pesticides chimiques (Bale et al., 2008). La bactérie *Bacillus thuringiensis*, un pathogène des insectes utilisé pour lutter contre les lépidoptères ravageurs agricoles (Bravo et al., 2005), qui représente 95% du marché mondial des agents antiparasitaires microbiens (Joung & Côté, 2000), est un exemple très efficace.

Dans une analyse plus récente, Siegwart (Siegwart et al., 2015) a montré que tous les biopesticides largement utilisés sélectionnent finalement des individus résistants. Par exemple, au moins 27 espèces d'insectes ont été décrites comme résistantes aux toxines de *Bacillus thuringiensis*. De même, il a été démontré que les bio-pesticides peuvent avoir des effets similaires à ceux des pesticides synthétiques sur la biodiversité des sols, en particulier lorsqu'ils sont utilisés aux doses recommandées pour l'agriculture (Romdhane et al., 2019), (Shao et al. 2017). D'autres bio-pesticides couramment utilisés incluent des nématodes entomopathogènes tels que les Steinernematidae et les Heterorhabditidae, utilisés efficacement contre des insectes (Lacey & Georgis, 2012), ainsi que des espèces du champignon *Trichoderma*, utilisées contre les champignons du sol pathogènes des plantes et qui produisent également une variété de composés qui favorisent la croissance des plantes (Verma et al., 2007). En réduisant les populations de ravageurs en agriculture, les services de lutte biologique réduisent le besoin de pesticides chimiques (Power, 2010). Certaines études suggèrent que les prédateurs d'insectes et les parasitoïdes représentent environ 33% de la lutte antiparasitaire naturelle (Hawkins et al., 1999), et la

valeur des services de lutte antiparasitaire attribués aux insectes a été estimée à 4,5 milliards de dollars américains par an, rien qu'aux États-Unis (Losey & Vaughan, 2006).

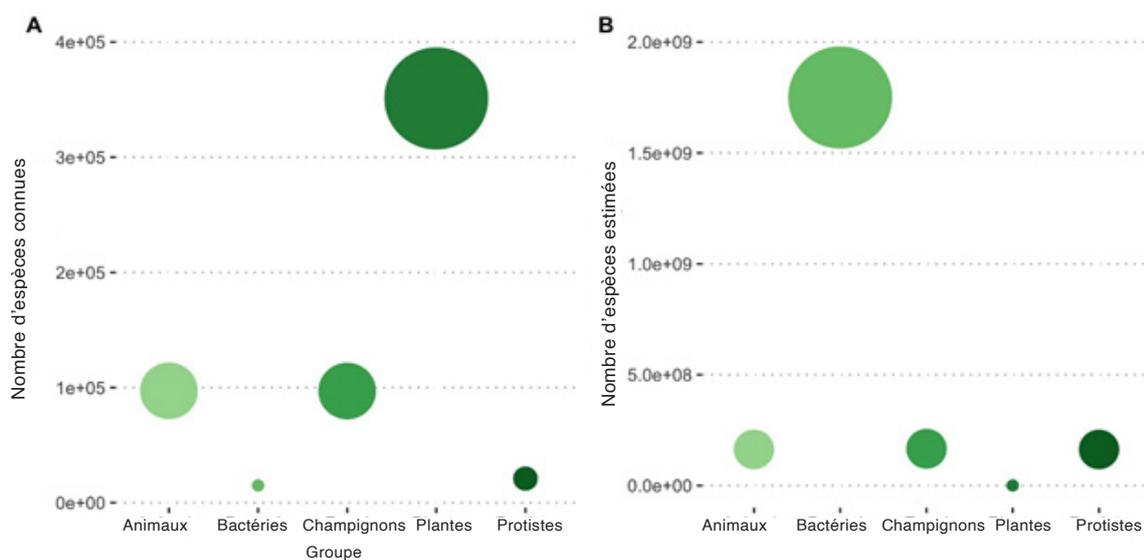
### 3.1 La riche biodiversité des sols

Le biote d'un sol comprend des bactéries, des champignons, des algues, des protistes, des virus, des nématodes, des Acari (dont les acariens), des collemboles, des annélides (principalement des vers de terre), des macro-arthropodes (comme les araignées, les fourmis et les cloportes) et des vertébrés (comme les campagnols, les taupes et les musaraignes). Tous peuvent être bénéfiques ou nocifs, selon l'agroécosystème spécifique. Le biote du sol comprend également les plantes dont les exsudats racinaires fournissent de la nourriture aux organismes du sol, dans la zone située autour des racines, connue sous le nom de « rhizosphère » (Briones, 2014).

Les organismes du sol sont généralement classés en trois grands groupes selon la taille de leur corps : macrofaune (2-20 mm) comme les vers de terre, les fourmis et les termites, méso-faune (0,1–2 mm) y compris les acariens et les collemboles, et microfaune et microorganismes (moins de 0,1 mm) y compris les nématodes, les protistes, les champignons et les bactéries (Swift et al., 1979). La diversité des espèces dans le sol est si importante qu'on estime que 90 à 95% du biote du sol reste à identifier (Wall et al., 2005). Les espèces identifiées et décrites jusqu'à présent comprennent 7 000 vers de terre (23% du nombre total estimé d'espèces), 40 000 acariens (55% du total estimé), 25 000 nématodes (2,5% du total estimé) et 21 000 protistes (0,03-0,3% du total estimé) (Tableau 1, Figure 8).

**Tableau 1** Diversité globale (richesse spécifique) des organismes du sol en fonction de la taille de leur corps (source : Wall et al., 2011 et De Deyn & Van Der Putten, 2005).

Groupe	Sous-groupes	Espèces décrites	Estimation du nombre d'espèces existantes	Pourcentage d'espèces décrites
<b>Plantes vasculaires</b>		350,700	400,000	88
<b>Macrofaune (2-20 mm)</b>				
	Vers de terre	7,000*	30,000*	23
	Fourmis	14,000	25,000 - 30,000	50-60
	Termites	2,700	3,100	87
<b>Méso-faune (0.1-2 mm)</b>				
	Acariens	40,000*	100,000	40
	Collemboles	8,500	50,000	17
<b>Microfaune et micro-organismes (&lt; 0.1 mm)</b>				
	Nématodes	20,000 - 25,000*	1-10 million*	≤2.5
	Protistes	21,000*	7-70 million*	≤0.03
	Champignons	97 000	1.5-5.1 million	≤0.02
	Bactéries	15 000	>1 000 000	<1.5

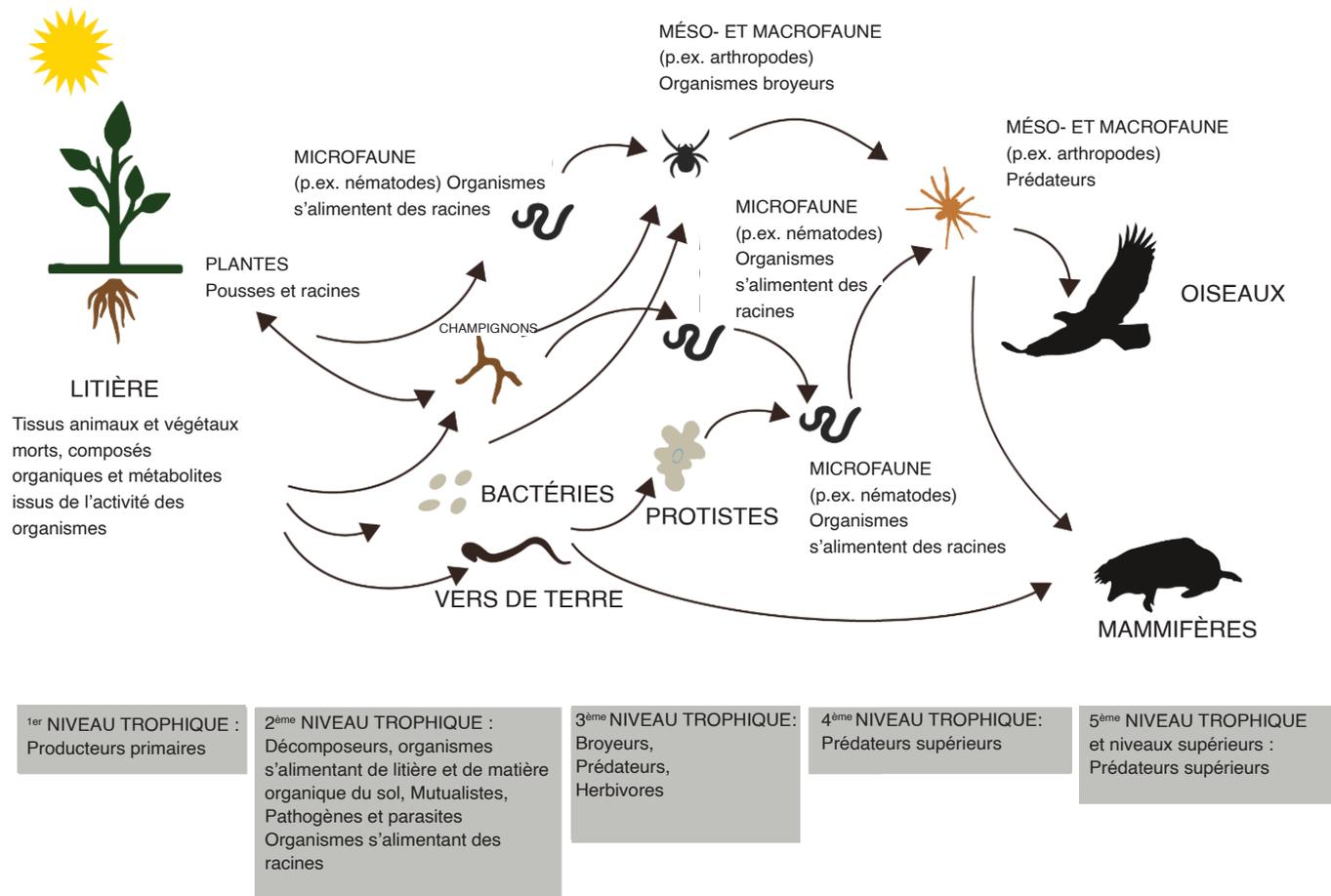


Données : Barrios (2007) et Larsen et al. (2017). Les animaux incluent les vers de terre, les fourmis, les termites, les acariens et les collemboles. Microorganismes (bactéries, champignons). Plantes = plantes vasculaires.

**Figure 9** Nombre d'espèces (richesse spécifique) connues (à gauche) et estimées (à droite) des principaux groupes taxonomiques

### 3.1.1 Biote du sol et processus écosystémiques

Le biote du sol interagit et forme des réseaux trophiques complexes qui soutiennent une gamme de processus écologiques (Barrios, 2007), comme indiqué dans Figure 9. Ces processus sont essentiels au maintien d'un écosystème du sol fonctionnel, et donc à la santé des terres.



Adapté de Tugel & Lewandowski (2001)

**Figure 10** Le biote du sol forme des réseaux trophiques complexes qui soutiennent les fonctions des écosystèmes. Le niveau trophique d'un organisme est la position qu'il occupe au sein d'un réseau trophique

### 3.1.2 Macrofaune

Les espèces de macrofaune aident à maintenir une bonne structure de sol en ingérant la matière organique et les particules minérales du sol, en mélangeant et en agrégeant le sol, un processus également connu sous

le nom de bioturbation, en creusant le sol et en libérant des nutriments pour les plantes (Tate, 2005). Les vers de terre sont généralement le groupe animal le plus abondant dans les sols agricoles en termes de biomasse, et contribuent de manière significative à une structure saine du sol (Plaas et al., 2019).

### 3.1.3 Méso-faune

Les espèces de méso-faune, y compris de nombreux arthropodes, décomposent la matière organique et déposent leurs fèces, contribuant à augmenter la fertilité du sol (Culliney, 2013). Les acariens sont souvent le groupe le plus abondant et le plus riche en espèces (Culliney, 2013), et se situent à différents niveaux du réseau trophique du sol : herbivores (se nourrissant des plantes ou des algues du premier niveau trophique), bactériovores et fongivores (se nourrissant de bactéries ou de champignons appartenant au deuxième niveau trophique) et prédateurs (se nourrissant de petits animaux vivant dans le sol du deuxième niveau trophique et des niveaux trophiques supérieurs) (Mitchell, 2013). Le nombre d'espèces connues de collemboles est beaucoup plus faible que celui des acariens, mais les deux groupes peuvent présenter la même abondance. Par rapport aux acariens, la plupart des espèces de collemboles se nourrissent de champignons et d'algues, bien que quelques-unes se nourrissent de plantes ou soient prédatrices (Petersen & Luxton, 1982).

### 3.1.4 Microfaune

Les espèces de microfaune sont un groupe extrêmement abondant et diversifié d'organismes du sol, les nématodes (également appelés vers ronds) et les protistes (principalement des organismes unicellulaires, y compris amiboïdes et ciliés) constituant les composantes dominantes du biote du sol (Haynes, 2014). Plusieurs milliers d'espèces de microfaune sont connues dans le monde entier, mais on pense que ceci ne représente qu'une fraction du nombre d'espèces réellement présentes autour du globe. Par exemple, une étude récente a estimé qu'environ  $4,4 \times 10^{20}$  nématodes (représentant une biomasse totale d'environ 0,3 gigatonnes) sont présents dans les sols à l'échelle mondiale (van den Hoogen et al., 2019). La microfaune vit généralement dans l'interface sol-eau et se nourrit de microflore, de racines de plantes et d'autres espèces de microfaune (y compris les champignons et les bactéries). Les nématodes entomopathogènes se nourrissent d'organismes plus gros. Les nématodes peuvent ainsi réguler la taille de la population et l'activité des microbes du sol, et favoriser la compétitivité et la dispersion des

microbes bénéfiques par un broutage sélectif sur des microorganismes nuisibles du sol (Bonkowski et al., 2009; Mitchell, 2013). Leur activité aide à libérer des nutriments, y compris de l'azote et du phosphore, qui stimulent la croissance des racines (Mekonen Ertiban, 2019).

Les nématodes sont présents à tous les niveaux du réseau trophique. Selon leur stratégie d'alimentation, ils peuvent être classés en cinq groupes trophiques : bactériovores, fongivores, prédateurs, omnivores et herbivores (Kennedy & de Luna, 2005). Étant donné leur rôle central dans le traitement des nutriments organiques et le contrôle des populations de microorganismes du sol, ils jouent un rôle essentiel dans la régulation de la dynamique du carbone et des nutriments, et constituent un bon indicateur de l'activité biologique des sols (van den Hoogen et al., 2019). De plus, les nématodes entomopathogènes peuvent contribuer à l'élimination d'insectes nuisibles (Mitchell, 2013).

Les protistes atteignent généralement des dizaines de milliers d'individus par gramme de sol (Finlay, 2002), et présentent une immense diversité morphologique et fonctionnelle. Les protistes autotrophes et hétérotrophes sont d'une importance fondamentale dans le réseau trophique (Geisen et al., 2018), et les protistes photosynthétiques peuvent fournir d'importants apports de carbone aux sols (Bonkowski & Clarholm, 2012). Les protistes phagotrophes hétérotrophes libèrent des nutriments par prédation microbienne, qui sont ensuite mis à disposition des plantes et stimulent la croissance. Les protistes du sol sont les principaux consommateurs de bactéries, définissant ainsi les communautés bactériennes. Certains se nourrissent de champignons, y compris certains agents pathogènes des plantes (Geisen et al., 2018).

La diversité microbienne dans les écosystèmes du sol est encore plus grande que celle des protistes. Les microbes, tels que les champignons saprotrophes, sont les principaux régulateurs du carbone du sol et du cycle des nutriments (Crowther et al., 2012). Constituant une partie importante de la biomasse microbienne du sol (Frac et al., 2018), les champignons sont les

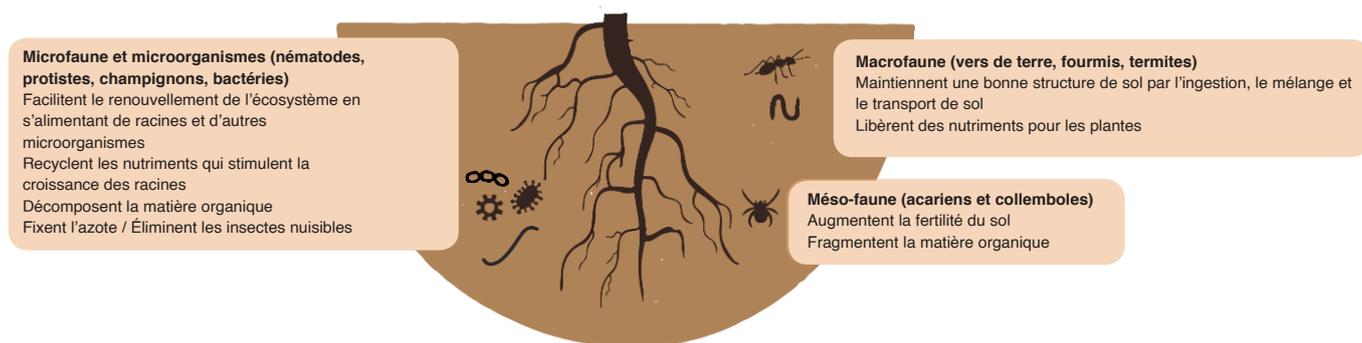
principaux agents de décomposition de la litière végétale et leurs réseaux hyphaux représentent des canaux très dynamiques à travers lesquels les nutriments sont facilement redistribués (Crowther et al., 2012).

Plus de 80% des espèces végétales forment des associations racinaires avec des champignons mycorhiziens, des relations symbiotiques qui aident la plante à acquérir des nutriments importants, tels que le phosphore du sol, en échange de sucres végétaux (Peterson et al., 1984). En outre, les champignons mycorhiziens améliorent la résistance au stress, la tolérance et la fertilité des plantes, ainsi que la structure du sol, car les mycéliums mycorhiziens peuvent transporter des composés carbone dérivés des plantes à travers le système du sol (Chen et al., 2018). Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) sont, de loin, la classe la plus omniprésente et forment des arbuscules (et parfois des vésicules) dans les cellules racinaires de leurs hôtes (Smith & Read, 2008). L'exploration d'un grand volume de sol par leurs réseaux d'hyphes constitue l'un des mécanismes clé par lequel les CMA augmentent l'obtention de phosphore par les plantes (Jakobsen et al., 1992). Les symbioses avec des CMA sont donc plus bénéfiques dans les sols à faible fertilité, car les fins hyphes fongiques peuvent récupérer plus efficacement les nutriments essentiels que ne le font les racines des plantes (Chen et al., 2018).

Les bactéries sont souvent considérées comme le groupe le plus diversifié de microorganismes du sol, avec environ 103 à 107 espèces bactériennes par gramme de sol (Fierer et al., 2007). Les bactéries sont des moteurs clés des cycles biogéochimiques, au cours desquels elles libèrent des éléments essentiels pour le recyclage (Orgiazzi et al., 2016). Elles décomposent également la matière organique morte et sont les seuls microbes capables de fixer l'azote de façon biologique (Orgiazzi et al., 2016). Les bactéries fixatrices d'azote, telles que les *Rhizobium*, forment une relation symbiotique avec les cultures de Leguminosae, importantes d'un point de vue agricole, dans laquelle elles transforment l'azote de l'atmosphère en ammonium, assimilé par les plantes (Hillel, 2008).

Le sol contient également une abondance et une diversité élevées d'algues (Metting, 1981), d'archées et de virus (Fierer et al., 2007), dont le nombre est estimé à entre 107 et 109 particules virales par gramme de sol (Williamson et al., 2017). Pourtant, leur rôle dans le fonctionnement des écosystèmes est largement sous-étudié (Trubl et al., 2018). Les algues du sol sont des microorganismes pionniers qui colonisent les roches et les surfaces sous diverses conditions environnementales (climats secs ou humides, froids ou chauds). Elles contribuent à la première fixation et aux premiers apports de matière organique par la photosynthèse et la libération de substances exopolymères dans les sols, et soutiennent (avec les cyanobactéries) l'initiation des successions écologiques, en aidant à former des croûtes biologiques dans les sols naturels et agricoles (Belnap & Lange, 2003). Les archées sont connues pour produire du méthane (méthanogènes) et pour oxyder l'ammoniac en nitrite puis en nitrate, un processus central du cycle de l'azote (Hallin et al., 2009). Il a été démontré que les virus agissent comme des prédateurs microbiens qui influencent les cycles biogéochimiques et contrôlent la taille des populations d'agents pathogènes des plantes et de bactéries bénéfiques (Rohwer et al., 2009).

## 3.2 Le sol en tant que système écologique



**Figure 11** Vue d'ensemble des processus écosystémiques fournis par le biote du sol, classé selon la taille du corps (macrofaune, méso-faune, microfaune et micro-organismes)

### 3.2.1 Services écosystémiques essentiels pour l'agriculture

#### 3.2.1.1 Cycle des nutriments

Le cycle des nutriments est une fonction cruciale de l'écosystème, essentielle à la vie, et les micro-symbiotes ont un impact positif sur le rendement des cultures en mettant davantage de nutriments à disposition des plantes (Barrios, 2007). L'azote, en particulier, est un nutriment essentiel pour les plantes, et les micro-symbiotes tels que les *Rhizobium* constituent une source importante de fixation biologique d'azote (FBA) dans l'écosystème du sol (Checcucci et al., 2017). La quantité d'azote fixée à partir de la symbiose *Rhizobium* -légumineuse varie considérablement en fonction de nombreux facteurs, y compris les espèces végétales et le cultivar, ainsi que les conditions environnementales (Stewart, 1977). Alors que les estimations de FBA symbiotique peuvent s'élever à 400 kg N ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup>, la FBA associative moyenne (par les organismes du sol en association occasionnelle avec les racines des plantes) est environ 10 fois plus faible, et la FBA par les organismes hétérotrophes libres (ni symbiotiques ni associatifs) environ 100 fois plus faible (Barrios, 2007). Par exemple, la quantité totale estimée d'azote fixé est de 65 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> pour les pois (*Pisum sativum*), de 103 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> pour le soja (*Glycine max*) et de 224 kg ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> pour les haricots (*Cajanus cajan*) (Stewart, 1977).

En dehors de cette symbiose bien documentée de fixation de l'azote, de nombreux microorganismes du sol

sont capables de fixer l'azote sans former de nodules, mais plutôt en vivant dans la rhizosphère (fixation associative d'azote) ou dans les tissus végétaux (fixation endophytique d'azote) (Moreau et al., 2019). Des études récentes ont montré de fortes augmentations de rendement dans les céréales telles que le maïs, le riz et le blé, grâce à l'utilisation de bactéries *Rhizobium* fixant l'azote et favorisant la croissance des plantes (Souza et al., 2014). Des cultivars de haricots brésiliens (*Phaseolus vulgaris*) dans des sols pauvres en azote, inoculés avec la souche de *Rhizobium* la plus efficace, ont permis une augmentation de rendement de 178 kg ha<sup>-1</sup>. Ces exemples montrent que l'étude de la capacité génétique des microorganismes à fixer l'azote pourrait aider à augmenter les rendements, à faible coût (Hungria et al., 2003), tout en réduisant les apports d'engrais (Souza et al., 2014).

Les microorganismes du sol rendent également l'azote disponible pour les plantes, en raison de leur rôle dans la décomposition de la matière organique du sol. Cette activité est au cœur de leur nutrition, les plantes transférant de grandes quantités de molécules organiques à leurs microorganismes associés, au niveau des racines, pour les stimuler à dégrader la matière organique du sol afin de libérer de l'azote, un phénomène connu sous le nom d'« amorçage » (Kuzyakov et al., 2000; Moreau et al., 2019).

La nitrification et la dénitrification sont les processus microbiens principalement responsables des pertes d'azote minéral dans les écosystèmes terrestres. Des études récentes indiquent qu'il existe des relations entre

croissance des plantes, activité des microbes du cycle de l'azote et rétention et perte d'azote, ce qui indique une compétition entre les plantes et les micro-organismes pour l'azote, dans laquelle la plante utilise plusieurs stratégies pour conserver l'azote. Ces stratégies incluent la limitation des processus microbiens conduisant à des pertes d'azote, comme la nitrification et la dénitrification, directement par la libération d'inhibiteurs à partir des racines. Dans cette compétition, les plantes peuvent également nuire indirectement aux microbes participant au cycle de l'azote, une absorption plus élevée d'azote par les plantes diminuant la disponibilité d'azote dans le sol, ce qui aura des conséquences sur l'abondance et/ou l'activité des microbes (Moreau et al., 2019). Par exemple, les inhibiteurs de nitrification peuvent entraîner une diminution de 90% des taux d'oxydation de l'ammoniac dans les pâturages de *Brachiara*, ainsi qu'une plus faible abondance de microorganismes archaéaux et bactériens oxydant l'ammoniac (Subbarao et al., 2009). Le même résultat peut être obtenu par l'application d'inhibiteurs de nitrification dans les champs. Cependant les problèmes de persistance dus à l'hydrolyse, à la sorption dans les colloïdes du sol ou à la volatilisation réduisent leur efficacité, et peu sont disponibles dans le commerce (McNeill & Unkovich, 2007). De même, une autre étude a démontré que certaines plantes peuvent inhiber la dénitrification jusqu'à 80% par la libération de procyanidines dans les exsudats racinaires (Bardon et al., 2014, 2016). Cependant, contrairement aux inhibiteurs de nitrification, l'impact de tels inhibiteurs de dénitrification n'a pas encore été quantifié sur le terrain, et des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer les différentes interactions entre les plantes et les microbes associés, afin de trouver des solutions pour retenir l'azote dans les sols et éviter les effets négatifs.

Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA), des micro-symbiontes qui aident les plantes à acquérir du phosphore (voir ci-dessus), sont particulièrement importants dans les systèmes de culture déficients en phosphore (Barrios, 2007). La plupart des cultures agricoles constituant des hôtes de champignons mycorhiziens, l'inoculation par des CMA représente une approche prometteuse pour augmenter la santé et le rendement des plantes (Hijri, 2016). Les taux de

croissance significativement plus élevés des plantes colonisées par des CMA ont fait de l'inoculation de ces microorganismes un point d'entrée clé pour la réhabilitation des terres dégradées et la restauration de la productivité des terres (Requena et al., 2001).

### 3.2.1.2 Décomposeurs et transformateurs élémentaires

La décomposition de la matière organique en molécules et nutriments plus simples (y compris l'azote, le phosphore et le soufre, ainsi que le carbone minéralisé) est l'un des services écosystémiques les plus importants fournis par les organismes du sol. La décomposition implique la fragmentation physique, la minéralisation biochimique et la lixiviation (lessivage) des substrats organiques et des nutriments (Barrios, 2007). Le processus de décomposition est à 90% réalisé par des microorganismes tels que les bactéries et les champignons, et grandement facilité par la méso- et la macrofaune du sol (en particulier les vers de terre), qui fragmentent les résidus et dispersent les propagules microbiennes, ayant ainsi un impact sur la dynamique de la matière organique du sol (MOS) et le cycle des nutriments (Lavelle et al., 1997). La gestion adaptative de la biodiversité des sols peut avoir de fortes répercussions sur la productivité des cultures (Barrios, 2007). Des études ont montré qu'une présence moyenne de vers de terre dans les agroécosystèmes à faible teneur en azote entraîne une augmentation de 25% du rendement des cultures et de 23% de la biomasse en dessus du sol par rapport aux agroécosystèmes sans vers de terre, grâce à la libération d'azote, mettant en évidence une alternative potentielle à l'utilisation d'engrais azotés (Van Groenigen et al., 2014).

### 3.2.1.3 Modification de la structure du sol

La structure du sol peut être définie comme la disposition des particules de sable, de limon et d'argile, ainsi que de MOS, en agrégats de différentes tailles par des agents organiques et inorganiques (Barrios, 2007). La taille, la quantité et la stabilité des agrégats du sol reflètent un équilibre entre les facteurs de formation des agrégats (modification de la matière organique, microorganismes du sol et faune du sol) et ceux qui les perturbent

(bioturbation, culture). Le « modèle dynamique des agrégats » avance que plusieurs processus biologiques dans le sol conduisent à la formation de « macro-agrégats biologiques » et à leur stabilisation dans la structure du sol par l'activité des champignons et des bactéries, des racines des plantes et de la macrofaune (comme les vers de terre) (Six et al., 2002). Par exemple, les champignons mycorhiziens produisent la glomaline, une glycoprotéine cruciale pour la stabilité du sol et la rétention d'eau, et constituant un réservoir important de carbone (Pal, 2014). De plus, les racines, à travers leurs exsudats, augmentent 2,3 fois plus le COS que le processus de compostage de la biomasse morte au-dessus du sol (Kätterer et al., 2011). Dans certains sols agricoles particuliers (terres arides ou sols nus), les algues et les cyanobactéries jouent un rôle clé dans l'agrégation de la surface et la stabilisation des particules du sol, contribuant ainsi à prévenir son érosion (Renuka et al., 2018, Crouzet et al., 2019). Comme décrit précédemment, la macrofaune joue également un rôle important dans la modification de la structure du sol et sa porosité connexe, et influence ainsi profondément la dynamique de l'eau et des éléments nutritifs dans le sol (Brussaard, 1997). Par exemple, la gestion indirecte des termites par l'application de paillis organique peut conduire à une récupération de sols imperméabilisés (Mando, 1997).

### 3.2.1.4 Ravageurs et maladies

Les ravageurs et maladies du sol causent d'énormes pertes annuelles aux cultures dans le monde (Barrios, 2007). Une communauté de sol en bonne santé présente un réseau trophique diversifié, qui maintient les ravageurs et les maladies sous contrôle par concurrence, prédation et parasitisme (Susilo et al., 2009). Un biote de sol sain améliore la fertilité et la santé des plantes par rapport aux cultures sur des sols à faible biodiversité, qui entraînent une mauvaise nutrition et une plus grande susceptibilité aux attaques de ravageurs et de maladies (Altieri & Nicholls, 2003; Barrios, 2007). Par exemple, l'infestation du maïs par la mauvaise herbe parasite *Striga* spp. dans les sols africains déficients en azote a été grandement réduite grâce à l'utilisation de légumineuses fixatrices d'azote en jachères plantées, augmentant ainsi la disponibilité en azote du sol par FBA et décomposition (Barrios et al., 1998). A titre d'exemple, dans le nord du Cameroun, lorsque le maïs et

le sorgho ont été inoculés avec des CMA et cultivés dans des sols infestés de *Striga hermonthica*, l'émergence de cette dernière a été réduite de 30 à 50% et la biomasse a augmenté de 40 à 63%, en grande partie grâce à une meilleure nutrition, et donc, à une meilleure santé des plantes (Lendzemo et al., 2005). La diversité des communautés microbiennes du sol crée une barrière contrôlant l'établissement d'agents pathogènes microbiens dans les sols (Van Elsas et al., 2012; Vivant et al., 2013). Il existe un consensus général selon lequel une communauté de sol diversifiée aidera non seulement à prévenir les pertes dues aux ravageurs et aux maladies du sol, mais aussi à promouvoir d'autres fonctions biologiques clés du sol (Wall & Virginia, 2000).

## 3.3 Diversité et abondance des espèces et fonctions écosystémiques du sol

Il existe un consensus général selon lequel une diminution de la biodiversité entraîne une diminution du fonctionnement et des services des écosystèmes (Isbell et al., 2011), et vice versa (Hooper et al., 2005; Balvanera et al., 2006; Isbell et al., 2011; Gamfeldt et al., 2013). En conséquence, la productivité des écosystèmes agricoles dépend de la stabilité des services écosystémiques fournis par le sol. Les exemples de services écosystémiques affectant la productivité agricole incluent la pollinisation, la lutte biologique contre les ravageurs et les maladies, le maintien de la structure et de la fertilité des sols, le cycle des nutriments et les services hydrologiques (Power, 2010). De mauvais choix en matière de production et de gestion réduisent la productivité agricole en raison de la dégradation des terres, de la rareté et d'une qualité réduite de l'eau, de l'augmentation des risques de ravageurs et de maladies et de la perte des pollinisateurs naturels (Regmi et al., 2016). La valeur nette actualisée des mesures prises pour lutter contre l'épuisement des nutriments par l'érosion des sols sur les terres arables utilisées pour la production de céréales au cours de 15 années, de 2016 à 2030, a été estimée à 2,48 billions de dollars américains, soit 62,4 milliards de dollars américains par an (ELD Initiative, 2015).

La richesse et l'abondance des espèces déterminent en grande partie la fonction de l'écosystème, et sont donc

souvent utilisées comme indicateurs de biodiversité pour évaluer l'état d'un écosystème (Regmi et al., 2016). Il est largement admis que la biodiversité végétale affecte les processus écosystémiques (Tilman et al., 1997) et influe sur leurs réactions aux perturbations (Reich et al., 2001). Par exemple, des recherches ont montré que la biodiversité végétale augmente les services écosystémiques (Hautier et al., 2015), car elle affecte positivement la teneur en éléments nutritifs du sol, et donc, sa qualité (Hajjar et al., 2008, Mulumba et al., 2012, Ponisio et al., 2015). Choisir la bonne combinaison de cultures plutôt que d'utiliser une ou quelques cultures dominantes peut, par exemple, augmenter considérablement l'efficacité de l'utilisation de l'eau sur les terres cultivées (Brauman et al., 2013; West et al., 2014). Il a également été démontré que l'augmentation de la diversité des cultures améliore la santé des pollinisateurs (Isaacs & Kirk, 2010; Garibaldi et al., 2014), alors qu'un manque de diversité des cultures entraîne une diminution du nombre de pollinisateurs, ce qui constitue une menace pour la sécurité alimentaire (Aizen et al., 2019).

Des études sur la multifonctionnalité de la biodiversité et des écosystèmes ont révélé qu'il faut plus d'espèces pour fournir des fonctions multiples, parce que différentes espèces soutiennent des fonctions différentes (Zavaleta et al., 2010, Eisenhauer et al., 2018). De plus, une étude menée par Isbell et al. (2011) a révélé que davantage d'espèces sont nécessaires pour assurer le fonctionnement des écosystèmes à de plus grandes échelles spatio-temporelles, car différentes espèces favorisent la productivité à des moments ou des endroits différents. Par conséquent, bien que certaines espèces puissent sembler fonctionnellement redondantes lorsqu'une fonction est considérée dans un ensemble de conditions environnementales (Cardinale et al., 2011), de nombreuses espèces sont nécessaires pour maintenir des fonctions multiples à plusieurs moments et endroits (Isbell et al., 2011). Cela signifie qu'une plus grande diversité d'espèces conduit à une plus grande redondance, et donc, à une plus grande résilience du sol.

De même, il a été démontré que la diversité microbienne améliore le fonctionnement des écosystèmes (Downing & Leibold 2002, Horner-Devine et al. 2003, Bell et al., 2005, Peter et al., 2011, Wagg et al., 2019), et vice versa. À moins qu'il n'existe une redondance fonctionnelle

substantielle dans les communautés microbiennes (Allison & Martiny, 2009), une perte de diversité microbienne modifierait probablement la capacité des microbes à soutenir les fonctions de l'écosystème (Delgado-Baquerizo et al., 2016). Par exemple, des recherches récentes ont montré qu'une forte diminution de la diversité microbienne affecte la décomposition des sources de carbone, confirmant que la diversité microbienne peut être d'une grande importance pour la décomposition de la matière organique (Maron et al., 2018). Au contraire, des travaux antérieurs ont montré qu'une perturbation modérée de la diversité microbienne du sol n'altérerait pas le cycle de l'azote (Wertz et al., 2007). Il est donc important de comprendre et de prévoir les conséquences fonctionnelles des changements de la diversité microbienne sur les services écosystémiques du sol, afin de développer des indicateurs des fonctions écosystémiques.

Les caractéristiques fonctionnelles de la macrofaune et des réseaux trophiques des sols sont également influencées par le type et l'intensité d'utilisation de ceux-ci (Birkhofer et al., 2017). Certaines populations microbiennes peuvent faciliter la dégradation des pesticides dans le sol et servir de tampons aux écosystèmes du sol (Aislabie & Lloyd-Jones, 1995).

### 3.4 Évolution des communautés des sols en fonction des pratiques agricoles

Différentes pratiques agricoles affectent les habitats agricoles de manières différentes, et l'impact sur les communautés du sol et les services écosystémiques qu'il fournit peut être positif ou négatif selon le biote affecté (Tableau 2). La comparaison des grandes catégories de pratiques agricoles est un moyen d'évaluer les effets de l'intensité de la gestion agricole sur la biodiversité (Rundlöf et al., 2016). Bien qu'il n'existe pas de consensus suffisant concernant la terminologie utilisée pour décrire les différentes pratiques agricoles (voir le Chapitre 5), il est possible d'analyser les impacts des pratiques agricoles sur les communautés du sol en distinguant l'agriculture conventionnelle (ou traditionnelle), l'agriculture biologique et l'agriculture de conservation.

Les systèmes agricoles traditionnels varient d'un pays à l'autre et d'une exploitation à l'autre. Ils peuvent varier d'intensifs à extensifs, se caractériser par une absence de labour ou un labour minimal, utiliser une seule culture (monoculture) ou des cultures mixtes (polyculture), et recevoir des apports faibles ou élevés de pesticides et d'engrais (CBD, 2010; Gold, 2016). L'agriculture conventionnelle fournit généralement des rendements élevés en raison de l'utilisation de pesticides et d'engrais (Seufert et al., 2012), mais généralement au prix d'une biodiversité plus faible et de services écosystémiques altérés (Erisman et al., 2016).

Il a été démontré que des ajouts plus importants d'engrais azotés modifient les communautés bactériennes et fongiques, ainsi que la biomasse microbienne, en modifiant le rapport carbone-azote dans les sols et en affectant le cycle des nutriments (Martínez-García et al., 2018). La composition des communautés de nématodes est également affectée (Kardol et al., 2005). En raison de leur sensibilité, les nématodes et vers de terre sont couramment utilisés comme indicateurs de la qualité des sols (Neher, 2001). Parallèlement, certains pesticides peuvent réduire l'efficacité des rhizobiums symbiotiques, entraînant moins de nodules racinaires, des taux plus faibles de fixation d'azote et une réduction du rendement des plantes (Fox et al., 2007). Il a été largement démontré que les pesticides ont toute une gamme d'effets négatifs sur le micro-biote du sol, y compris sur sa croissance, diversité, composition et processus et fonctions biochimiques (Aktar et al., 2009, Chagnon et al., 2015), ainsi que sur les macrobiotes du sol, y compris la croissance et la survie de nombreuses espèces d'amphibiens (Baker et al., 2013).

L'agriculture biologique et l'agriculture de conservation sont des alternatives à l'agriculture conventionnelle, souvent présentées comme plus respectueuses de l'environnement (Mäder et al., 2002; Tuck et al., 2014). L'agriculture biologique minimise l'utilisation de produits agrochimiques, et s'appuie sur des techniques naturelles telles que la rotation des cultures, un labour réduit ou nul, la lutte biologique contre les ravageurs et l'application de fumier, de fumier vert ou de compost (Reganold & Wachter, 2016). L'agriculture de conservation représente un ensemble de trois principes de gestion des cultures

: (a) un ensemencement direct avec une perturbation minimale du sol (c'est-à-dire une réduction ou l'absence de labour), (B) une couverture permanente du sol par les résidus de cultures ou des cultures de couverture, et (C) la rotation des cultures (Pittelkow et al., 2015). Des études indiquent que l'agriculture biologique et l'agriculture de conservation ont un effet essentiellement positif sur la qualité du sol, ainsi que sur toute une gamme de biotes du sol (Köhl et al., 2014, Briones & Schmidt, 2017).

Le labour affecte le biote du sol par des changements de structure, une perte de matière organique et d'humidité, une modification de la dynamique de la température et des dommages mécaniques, différents systèmes de labour ayant des impacts différents (Busari et al., 2015). L'abondance des microarthropodes (acariens et collemboles) diminue généralement avec une augmentation du labour, les collemboles étant plus sensibles que les acariens (Cortet et al., 2002). Il a été démontré que l'abondance, la biomasse et la diversité des espèces de vers de terre diminuent significativement avec une intensité de labour plus élevée (Plaas et al., 2019). Par exemple, le nombre d'individus peut varier de 30 par m<sup>2</sup> dans les champs labourés à 400 avec un ensemencement direct (Plaas et al., 2019).

L'impact du labour sur les champignons est moins clair. Frac et al., (2018) ont montré que celui-ci affecte négativement les CMA en décomposant les agrégats de sol reliés par des hyphes fongiques, conduisant à une détérioration de la structure du sol, de l'absorption des nutriments et des effets suppressifs contre les micro-organismes pathogènes. Cependant, une méta-analyse récente a révélé que les CMA, la diversité fongique et la diversité fonctionnelle n'étaient pas affectées négativement par le labour (de Graaff et al., 2019). Il est suggéré qu'une gamme d'impacts sont possibles en fonction des espèces fongiques impliquées (Douds et al., 1995; Brito et al., 2012), des propriétés du sol et de l'intensité du labour (Roger-Estrade et al., 2010; Snapp et al., 2010).

Le labour peut varier considérablement quant à son impact sur les champignons, avec des effets positifs (Peyret-Guzzon et al., 2016) ou négatifs (Schnoor et al., 2011) selon les pratiques utilisées, pouvant aller d'un

labour par inversion classique à un labour sans inversion, qui laisse la majorité du sol et des résidus intacts (Morris et al., 2010). Par exemple, une méta-analyse mondiale récente sur l'effet du labour de conservation (impliquant un labour nul ou réduit, et >30% de couverture par des résidus de culture) sur la biomasse fongique et bactérienne du sol a montré que celui-ci augmentait considérablement la biomasse microbienne globale du sol (37%), y compris à la fois la biomasse fongique (31%) et la biomasse bactérienne (11%), en particulier dans les 20 cm supérieurs du sol et dans les systèmes sans labour (Oldfield et al., 2019). Une autre méta-analyse (Briones & Schmidt, 2017) a montré que l'agriculture sans labour et l'agriculture de conservation augmentaient significativement l'abondance des vers de terre (augmentation moyenne de 137% et 127%, respectivement) et la biomasse (196% et 101%, respectivement) par rapport à l'inversion du sol par labour conventionnel.

Différents biotes du sol sont affectés différemment par la perturbation des sols. Les systèmes labourés ont tendance à abriter plus de bactéries que de champignons, car les premières sont plus résistantes au labour, ainsi que plus de protistes, tandis que le nombre de nématodes peut augmenter ou diminuer selon les pratiques de labour utilisées (Sun et al., 2018). Les systèmes sans labour ont tendance à présenter un plus grand nombre de champignons par rapport aux bactéries, ainsi que de vers de terre et de collemboles. Les systèmes sans labour se caractérisent par une forte concentration de matière organique dans les couches supérieures du sol, due à la décomposition de la litière végétale, et les champignons, ainsi que les collemboles qui s'en nourrissent, y sont donc plus nombreux. Les populations de ces espèces peuvent donc être régulées en modifiant le régime de labour (Menta, 2012).

**Tableau 2** Habitats agricoles (sols traités chimiquement, systèmes labourés et sans labour) en fonction des pratiques agricoles (agriculture biologique, de conservation et conventionnelle) et leurs impacts sur le biote du sol et les services écosystémiques qui en résultent

Habitat agricole	Système de production primaire	Impact sur le biote du sol
Sols traités chimiquement	Application de pesticides, d'engrais organiques et minéraux	Forts impacts sur la biodiversité du sol, altération des communautés bactériennes et fongiques, possible inhibition / mortalité de certains champignons, possible affectation de la croissance et de la survie des amphibiens et affectation de la composition des communautés de nématodes → processus de cycles (nutriments, carbone, azote)
Sols labourés	Agriculture biologique, agriculture de conservation, agriculture conventionnelle - rotations de cultures, lutte biologique contre les ravageurs, applications de fumier / compost	Le labour peut avoir des effets positifs et négatifs sur la biomasse des (micro)organismes du sol, en particulier les vers de terre, les nématodes et les champignons, y compris les CMA. Si la biomasse des nématodes et des vers de terre diminue, moins de microarthropodes → diminution de la structure et de la stabilité du sol, de l'absorption des nutriments (phosphore), de la lutte biologique contre les agents pathogènes
Sols sans labour / à labour réduit	Agriculture biologique, agriculture de conservation, agriculture conventionnelle - rotations de cultures, lutte biologique contre les ravageurs, applications de fumier / compost	Augmentation de la biomasse microbienne du sol, à la fois champignons et bactéries (champignons généralement plus abondants), ainsi que des vers de terre, collemboles → augmentation de la structure et de la stabilité du sol, de l'absorption des nutriments (phosphore), MOS et contrôle biologique des agents pathogènes plus élevés

### 3.5 Disponibilité d'informations sur l'état actuel de la biodiversité des sols

Comme le montre ce rapport, le sol est un système écologique riche en biodiversité, qui fournit des services écosystémiques essentiels à la production agricole. Une meilleure compréhension de la biodiversité des sols et de la façon dont elle soutient les services écosystémiques est importante pour éclairer la prise de décision sur la façon de parvenir à un développement durable dans l'agriculture et les domaines connexes, tout en préservant la biodiversité.

La recherche sur la biodiversité des sols a principalement porté sur le rôle de groupes spécifiques d'organismes, y compris les microbes du sol, les champignons mycorhiziens et la faune du sol (Wagg et al., 2014). Des informations détaillées sur la biodiversité des sols ont été rassemblées, par exemple, dans l'Atlas mondial de la biodiversité des sols (Orgiazzi et al., 2016). Cependant, les connaissances sur la biodiversité réellement présente dans les sols à des endroits particuliers, et sur la façon dont les espèces du sol influencent le fonctionnement des écosystèmes, sont encore rares.

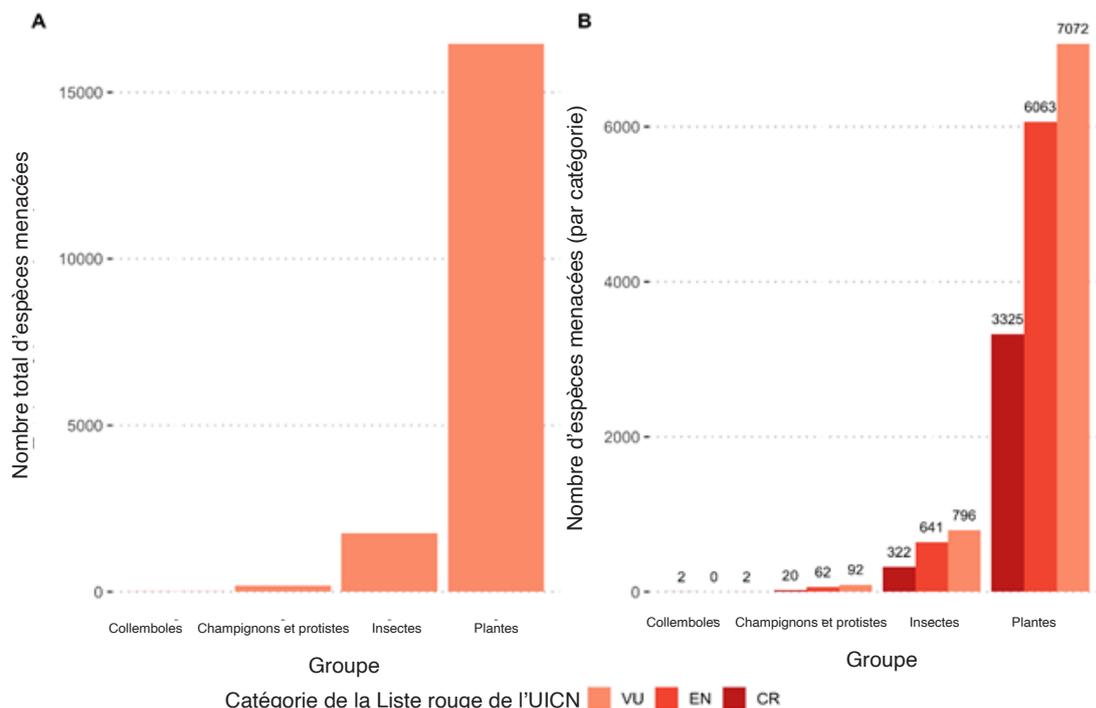
Des évaluations mondiales des principales menaces et de l'état de la biodiversité des sols sont importantes pour combler les lacunes existantes en matière de connaissances. Parallèlement aux nouveaux développements en matière d'évaluation de la biodiversité (par exemple, de nouvelles approches moléculaires et de nouveaux outils), il est essentiel de relier les mesures de conservation de la biodiversité à des fonctions spécifiques du sol dans des contextes environnementaux particuliers (Ramirez et al., 2015). Par exemple, là où certaines fonctions du sol (comme la décomposition) sont assurées par un large éventail d'organismes, d'autres impliquent un groupe plus spécifique, rendant ces fonctions plus vulnérables à une perte de biodiversité (Jurburg & Salles, 2015).

En outre, une meilleure compréhension des rôles clés des organismes du sol dans la médiation des services écosystémiques édaphiques, tels qu'ils sont affectés par des approches et des pratiques de gestion écosystémique adaptées aux contextes socio-écologiques, est essentielle pour guider une intensification agricole respectueuse de la biodiversité.

#### 3.5.1 Données de la Liste rouge concernant la biodiversité des sols

Les énormes lacunes présentes dans la documentation de la biodiversité des sols, en particulier des microorganismes, rend impossible toute évaluation de l'état de conservation de nombreux biotes du sol. Les données actuelles sur la biodiversité des sols concernent, en grande partie, les plantes et les insectes. Le Rapport d'évaluation mondial sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES, 2019) indique qu'environ un demi-million d'espèces terrestres sont « vouées à l'extinction », à moins que leurs habitats ne s'améliorent. Cependant, cette estimation pourrait être prudente, car la diversité non documentée des arthropodes, des parasites et de la microfaune du sol pourrait signifier que 2 à 25 fois plus d'espèces animales sont concernées, sans inclure les champignons (Scheffers et al., 2012).

Globalement, nous manquons de connaissances détaillées sur l'état de conservation et les tendances des populations d'insectes, de champignons et de microbes, les populations tropicales étant extrêmement sous-représentées dans les données sur les tendances (IPBES, 2019). La Figure 12 illustre clairement que les champignons, les protistes et les collemboles ne sont fondamentalement pas couverts par la Liste rouge en raison du manque de données, un autre problème étant que la Liste rouge de l'UICN n'est pas conçue pour évaluer le risque d'extinction des microorganismes. La Liste rouge de l'UICN repose sur un ensemble de critères quantitatifs (tels que la taille de la population, la taille de l'aire de répartition, la durée des générations ou la nature des menaces auxquelles l'espèce est confrontée) qui ne sont pas appropriés pour évaluer le risque d'extinction des microorganismes. Pour cette raison, une méthodologie différente est nécessaire.



Catégories de la liste rouge de l'UICN : CR (En danger critique d'extinction), EN (En danger), VU (Vulnérable)<sup>17</sup>

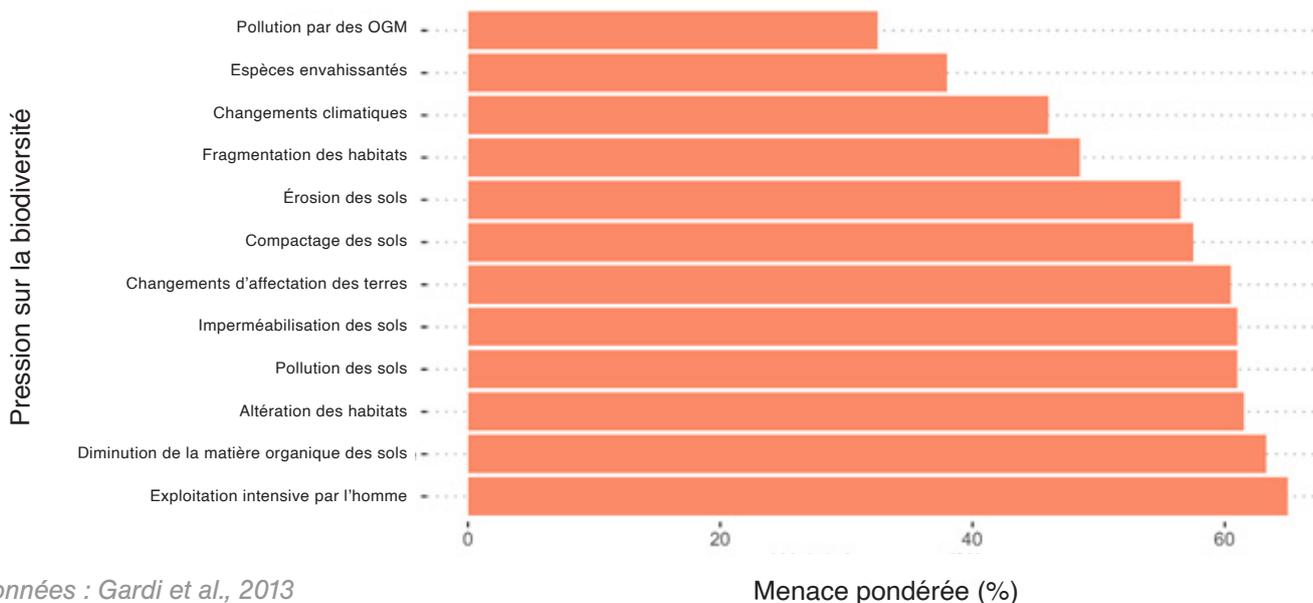
**Figure 12** Données de la Liste rouge concernant la biodiversité des sols, couvrant les plantes, les champignons et les protistes, les insectes et les collemboles (à partir de 2020)

### 3.6 Menaces pesant sur les écosystèmes des sols

La dégradation des terres répond à de multiples facteurs anthropiques, y compris les changements climatiques et les pratiques agricoles dégradant les sols, par exemple par le labour, la pollution, le compactage, l'érosion et l'élimination de la matière organique (Gomiero, 2016).

La dégradation des terres peut avoir des effets directs ou indirects sur de nombreuses fonctions écosystémiques importantes du biote du sol, réduisant leur abondance et leur diversité (Wagg et al., 2014). La Figure 13 illustre les pressions les plus importantes que la dégradation des terres exerce sur la biodiversité des sols.

<sup>17</sup>Données : site statistique de l'UICN : <https://www.iucnredlist.org/resources/summary-statistics>



Données : Gardi et al., 2013

Menace pondérée (%)

**Figure 13** Menace pondérée (en pourcentage du score maximum possible) des pressions sur la biodiversité des sols, telle qu'indiquée par le Groupe de travail sur la biodiversité des sols de la Commission européenne

Le compactage du sol dégrade la structure de celui-ci en augmentant sa densité apparente ou en diminuant sa porosité, entraînant une stagnation des rendements des cultures, une augmentation de l'érosion et du ruissellement de l'eau et des éléments nutritifs et une diminution de la biodiversité (Smith et al., 2016, Keller et al., 2019). Par exemple, une étude portant sur les effets de la densité apparente et la résistance à la pénétration du sol sur les taux de décomposition de la litière a révélé que le compactage du sol affecte les principaux processus édaphiques, tels que la décomposition (Carlesso et al., 2019).

L'érosion physique du sol se produit généralement lorsque celui-ci est exposé aux effets de la pluie ou du vent. L'érosion des sols entraîne une diminution de la productivité ou, dans des cas extrêmes, l'abandon des terres (Gomiero, 2016). Les études montrent clairement que l'érosion des sols affecte négativement leur biodiversité. Cependant, la relation entre érosion et biodiversité des sols est complexe (Orgiazzi & Panagos, 2018). L'activité de terrassement des vers de terre ou des réseaux denses de champignons mycorhiziens peuvent réduire la quantité de sol érodé par la pluie ou les tempêtes de vent en maintenant les agrégats de sol plus compacts (Shuster et al., 2002,

Burri et al., 2013). Cependant, la production de digestats par certaines espèces de vers de terre peut également accélérer les processus d'érosion, les matériaux digérés pouvant être plus facilement lessivés par l'eau (Shipitalo & Protz, 1987).

Une utilisation intensive est un autre facteur important de dégradation des terres. Une étude a révélé que l'intensification réduisait la biodiversité des sols et simplifiait la composition des communautés édaphiques, altérant les fonctions écosystémiques, y compris la décomposition et la rétention et le cycle des nutriments. Certains groupes d'organismes du sol, tels que les nématodes et les champignons mycorhiziens, étaient entièrement éliminés, alors que les communautés fongiques et bactériennes présentaient une abondance et une richesse spécifiques réduites (Wagg et al., 2014). Une autre étude a montré que l'intensification de l'agriculture grâce à l'utilisation intensive de pesticides réduisait la diversité des espèces du biote du sol, en particulier des organismes les plus gros, comme les vers de terre, les collemboles et les acariens (Tsiafouli et al., 2015). En conséquence, les réseaux trophiques du sol devenaient moins diversifiés et se composaient d'organismes plus petits (Tsiafouli et al., 2015). Ces changements ont un impact négatif sur les multiples

services écosystémiques fournis par la macrofaune du sol, tels que la régulation de l'érosion, la séquestration du carbone et le débit et le stockage de l'eau (Wagg et al., 2014). Ces mêmes changements affectent la résistance et la résilience des sols aux phénomènes climatiques extrêmes, tels que les sécheresses, entraînant des pertes élevées de carbone et d'azote par drainage ou vers les eaux souterraines lors des précipitations subséquentes (De Vries et al., 2011).

### 3.7 Conclusion du chapitre 3

La plus grande variété et abondance d'espèces en agriculture se trouvent dans les sols, mais cette biodiversité reste peu comprise et étudiée. Bien que les connaissances concernant l'importance des pollinisateurs et le rôle de la diversité génétique dans les cultures et les races de bétail soient raisonnablement développées, la compréhension du biote du sol et de sa contribution au fonctionnement des écosystèmes reste faible : 90 à 95% du biote du sol sont peut-être encore non identifiés, et moins de 1% de certains groupes a été décrit.

Le sol est un système écologique dans lequel une vaste gamme d'espèces forment des réseaux trophiques complexes et fournissent de nombreux services, y compris le cycle des nutriments, la décomposition, la modification de la structure du sol et la lutte contre les ravageurs et les maladies. Il semble exister une étroite corrélation entre diversité et abondance des espèces et fonctions écosystémiques du sol, mais cette relation, ainsi que les interdépendances et la concurrence entre les espèces du sol, sont mal comprises. Par conséquent, la gestion des fonctions du sol peut ressembler davantage à un art plutôt qu'à une science, un art qui, à ce jour, repose en grande partie sur les connaissances spécialisées et l'expérience des agriculteurs.

L'amélioration de la compréhension scientifique des rôles des différentes espèces du sol, et de la façon dont elles peuvent être modulées pour améliorer les services écosystémiques, pourrait apporter une contribution majeure à la promotion d'une agriculture durable.

Les systèmes agricoles sont des écosystèmes modifiés qui dépendent étroitement de la biodiversité pour fonctionner efficacement. Comme le montrera le Chapitre 5, de nombreuses pratiques agricoles progressistes fondent leur succès sur la conservation de la biodiversité des sols afin d'améliorer le flux des services écosystémiques, y compris la formation et la fertilité du sol, la conservation de son humidité et la lutte antiparasitaire. Ces approches agricoles fournissent, en outre, des services écosystémiques à des bénéficiaires non agricoles, par exemple en protégeant les bassins versants contre les risques d'inondations, ou en contribuant à l'atténuation des changements climatiques. Les gouvernements et les bénéficiaires prennent souvent ces externalités positives pour acquises et, par conséquent, la conservation de la biodiversité des sols n'est pas encouragée ni efficacement sauvegardée.

À l'heure actuelle, des dangers tels que la pollution par les nutriments et la perte de biodiversité dominent le discours sur l'agriculture et l'environnement, et la valeur de la biodiversité pour l'agriculture est négligée. Une meilleure compréhension de la biodiversité agricole et de sa contribution à la fois à la production alimentaire et à d'autres avantages sociétaux aidera à identifier des mesures incitatives et autres actions visant à restaurer les agroécosystèmes.



# Chapitre 4

Modélisation des résultats d'une amélioration globale de la santé des terres



La gestion durable des sols et des paysages agricoles peut permettre de restaurer et protéger la biodiversité tout en améliorant le fonctionnement global des écosystèmes agricoles, comme expliqué au Chapitre 3. Les pratiques agricoles durables offrent une gamme d'avantages profitant directement à l'agriculteur (par exemple, une productivité accrue, des coûts d'intrants et des risques réduits), ainsi que des avantages pour les bénéficiaires non agricoles en aval. Ces « externalités positives » sont un aspect vital de l'agriculture durable, et constituent probablement la clé pour encourager l'adoption à grande échelle de pratiques durables. Ce chapitre montre comment ces avantages peuvent être monétisés pour aider à renforcer les arguments en faveur d'une agriculture durable.

L'initiative internationale « Quatre pour mille », lancée par le gouvernement français en 2015<sup>18</sup>, vise à restaurer les écosystèmes agricoles afin d'améliorer la sécurité alimentaire et lutter contre les changements climatiques. Connue sous l'abréviation de « 4‰ », l'initiative vise à augmenter le COS présent dans les premiers 30-40 cm du sol de 0,4% par an, grâce à la mise en œuvre de pratiques agronomiques économiquement viables et respectueuses de l'environnement. Le COS est l'un des indicateurs de durabilité les plus communément utilisés dans les terres agricoles. On peut supposer qu'un changement relatif de la concentration de COS soit corrélé avec des changements de biodiversité dans les sols et la génération de services écosystémiques de soutien (Brady et al., 2015). La section suivante évalue la valeur d'atteindre les objectifs de 4‰ dans trois domaines : les changements climatiques, la production alimentaire et les stocks d'eau verte.

---

**ENCADRÉ 1 RÉSUMÉ DES AVANTAGES GLOBAUX D'UNE AUGMENTATION DE LA CONCENTRATION DE COS DANS LES TERRES AGRICOLES DE 0,4% PAR AN**

Atteindre les objectifs de 4‰ pourrait permettre de :

- Capturer environ 1 Gt C par an au cours des 30 prochaines années, soit 10% des émissions anthropiques mondiales ;
- Éviter des coûts sociaux de 600 milliards de dollars américains par an grâce à l'atténuation des changements climatiques sur la période 2020-2050 ;
- Stimuler la production de maïs, de blé et de riz, entre 2020 et 2050, de 23,4%, 22,9% et 41,9% respectivement (des augmentations d'un montant combiné de 135,2 milliards de dollars américains par an) ;
- Aider à atteindre l'objectif d'éliminer la faim d'ici 2030, des régions comme l'Afrique bénéficiant des plus grandes améliorations de productivité ;
- Stocker 37 milliards de m<sup>3</sup> supplémentaires d'eau dans les sols, réduisant ainsi la demande mondiale d'irrigation de 4% et économisant environ 44 milliards de dollars américains par an ; et
- Accroître la résilience des communautés agricoles face aux changements climatiques, réduire la dépendance à l'égard des engrais inorganiques et la pollution qui en résulte, et compenser la demande de conversion des terres.

---

<sup>18</sup>[www.4per1000.org](http://www.4per1000.org)

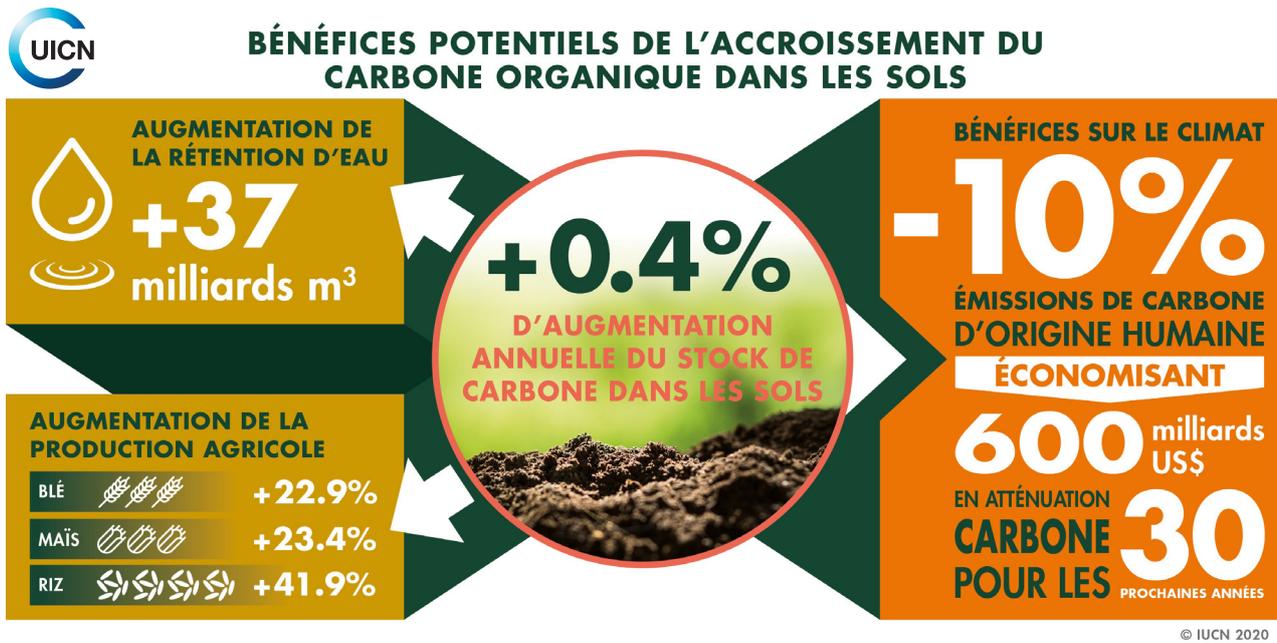


Figure 14 Vers le 4 pour mille : divers bénéfices associés à l'augmentation du carbone des sols

## 4.1 Avantages d'atteindre les objectifs de 4‰

Si il est mis en œuvre à l'échelle mondiale (y compris dans les zones non agricoles telles que les tourbières et les forêts), l'objectif de 4‰ pourrait permettre d'éliminer 6 Gt C par an de l'atmosphère, compensant ainsi les deux tiers des émissions anthropiques annuelles de CO<sub>2</sub> (Chabbi et al., 2017). L'augmentation des stocks de COS afin de contrer les changements climatiques présente un certain nombre d'avantages, tels que l'amélioration de la biodiversité et de la productivité des sols, l'augmentation des rendements, la réduction de l'érosion, l'augmentation de la rétention d'eau, la diminution des besoins en engrais et l'amélioration de la résilience des cultures à la variabilité climatique (Laban et al., 2018).

Tous les avantages biophysiques susmentionnés ont des impacts tangibles sur le bien-être humain. En outre, ces avantages peuvent être monétisés en termes, par

exemple, d'évitement des dommages causés par les émissions de CO<sub>2</sub> ou d'amélioration des rendements des cultures. Cette section résume les travaux de Westerberg et Costa commandés pour ce rapport (non publié)<sup>19</sup>, et visant à estimer les avantages d'une meilleure séquestration de carbone et productivité agricole, sur la période 2020 à 2050, grâce à une stratégie de 4‰ dans les terres cultivées et les prairies (voir Encadré 1)<sup>20</sup>. Les résultats sont basés sur un modèle simplifié, qui fournit une base pour évaluer certains des avantages de la séquestration de carbone dans les sols. Le modèle ne tient pas compte des impacts sur la biodiversité, pour deux raisons : premièrement, parce que l'augmentation du COS ne signifie pas toujours une plus grande biodiversité et qu'il est nécessaire de mieux évaluer les compromis potentiels, et deuxièmement, parce que le modèle ne tient pas explicitement compte de la re-diversification des paysages agricoles et d'une plus grande utilisation de la rotation des cultures, toutes deux centrales à la restauration du COS.

<sup>19</sup>L'analyse est basée sur des données accessibles au public. Les ensembles de données spatiales comprenaient 1) des estimations du COS, 2) la densité apparente du sol, 3) l'emplacement des terres cultivées et des prairies, et 4) les rendements des principaux produits agricoles. Les données sur les processus agronomiques comprennent une méta-analyse de la réponse en termes de rendement pour le maïs (Oldfield, Bradford & Wood, 2019) et du taux d'absorption de carbone dans le sol en fonction du temps (Minasny et al., 2017). Les données économiques comprennent les prix des principaux produits agricoles en 2018 et les estimations des coûts sociaux du carbone pour différents scénarios de réduction des émissions.

<sup>20</sup>La valeur des augmentations de la productivité agricole est estimée uniquement pour les terres cultivées, tandis que les avantages d'une meilleure séquestration du carbone s'appliquent à la fois aux prairies et aux terres cultivées.

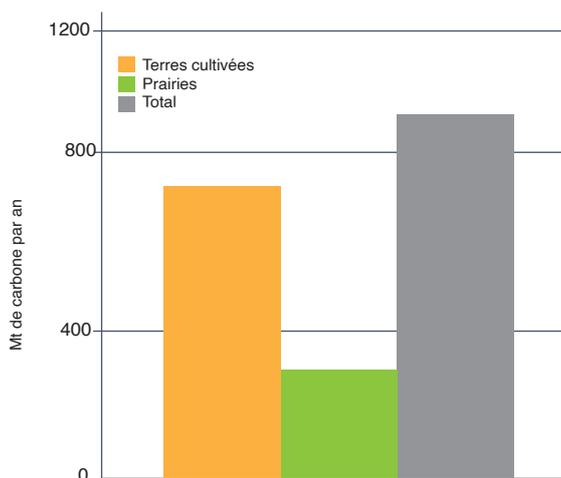
### 4.1.1 Carbone et climat : potentiel de séquestration et d'atténuation des changements climatiques

Le CO<sub>2</sub> est un gaz à effet de serre majeur et l'augmentation de ses émissions contribue considérablement au réchauffement de la planète et aux changements climatiques. Le cycle mondial du carbone inclut un stock important de carbone dans les sols, y compris les sols agricoles. La dégradation mondiale des terres et des sols est fortement liée à l'épuisement de ce stock.

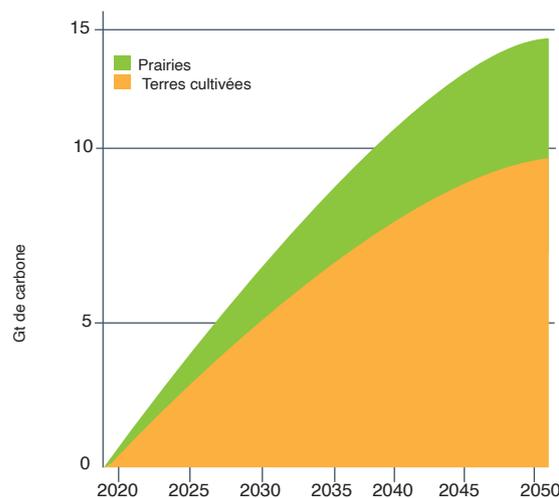
La modélisation de la mise en œuvre de la stratégie 4% de 2020 à 2050 montre que les sols agricoles séquestreraient globalement jusqu'à 1 Gt C par an dans

le premier mètre de sol. Au départ, l'absorption de carbone serait plus rapide, car de nombreux sols sont actuellement épuisés, puis le taux d'absorption diminuerait avec le temps. Le potentiel de stockage de carbone dans le sol peut être influencé par l'augmentation de la température et les événements extrêmes, qui n'ont pas été pris en compte ici. Le COS est principalement accumulé dans la couche arable, où il est également plus facilement influencé par les pratiques de gestion. Pour ces 30-40 cm supérieurs du sol, le modèle calcule un potentiel de séquestration d'environ 0,7 Gt C par an, soit environ 1,6% des émissions mondiales de carbone en 2018 (37 Gt)<sup>21</sup>. Le potentiel de séquestration de carbone dans les terres cultivées est environ deux fois plus élevé que dans les pâturages gérés, même si leur surface globale est inférieure de moitié (Figure 13).

Potentiel annuel d'absorption de carbone dans la couche supérieure du sol et le sous-sol combinés



Absorption cumulée de carbone dans la couche supérieure du sol grâce à une stratégie 4%



**Figure 15** Absorption annuelle et cumulée potentielle de carbone dans les terres cultivées et les prairies mondiales dans le cadre de l'initiative 4%

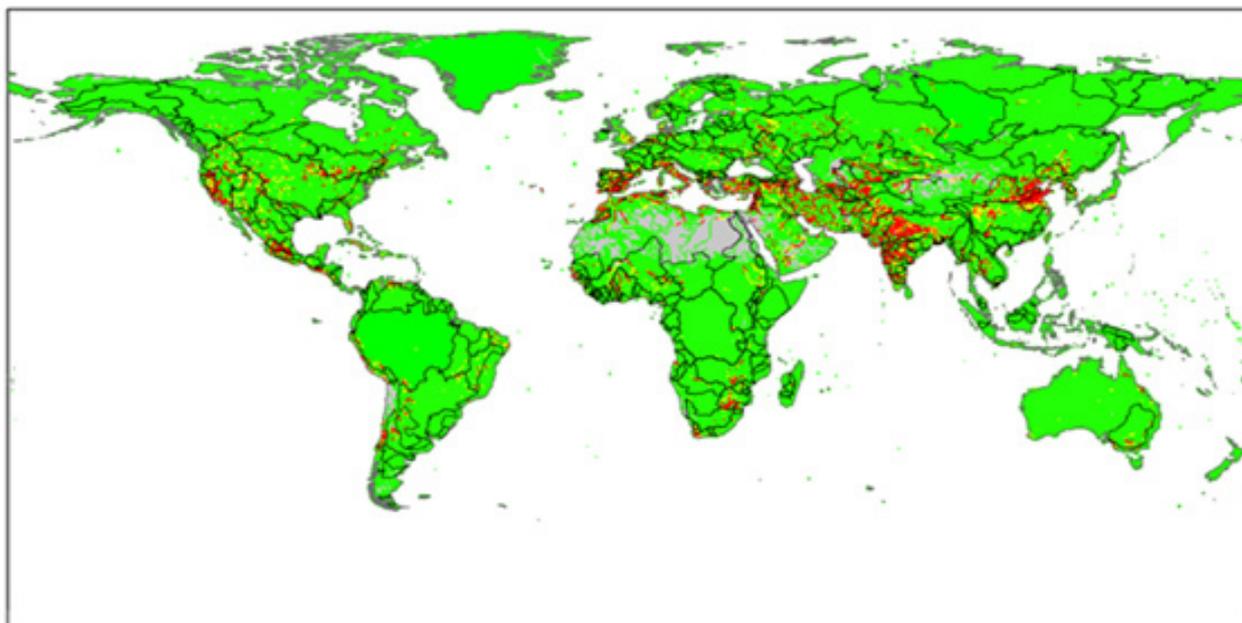
<sup>21</sup> <https://www.scientificamerican.com/article/co2-emissions-reached-an-all-time-high-in-2018/> <https://www.theguardian.com/environment/2018/dec/05/brutal-news-global-carbon-emissions-jump-to-all-time-high-in-2018>

La valeur des coûts des dommages sociaux évités par la mise en œuvre d'une stratégie 4‰ est estimée à 600 milliards de dollars américains par an. À titre de comparaison, on estime qu'en 2017 les catastrophes naturelles ont causé des pertes économiques globales de 340 milliards de dollars américains<sup>22</sup>.

Ce résultat doit encore être affiné, en particulier parce que le stockage de plus de carbone dans le sol nécessite d'autres éléments, dont de l'azote. Une modélisation plus détaillée tiendrait compte de la nécessité d'une utilisation accrue d'engrais azotés et de ses implications sur l'augmentation des émissions de N<sub>2</sub>O. De plus, le modèle devrait tenir compte de la réversibilité du stockage du COS, suite à des événements tels que les sécheresses ou les changements d'affectation des terres.

#### 4.1.2 Eau : amélioration du stockage de l'eau dans les sols et réduction de la demande d'irrigation

Comme indiqué au Chapitre 2, les prélèvements d'eau douce à l'échelle mondiale se rapprochent de la limite planétaire, en plus de présenter d'importantes disparités régionales, certains pays connaissant déjà un stress hydrique (Figure 14)<sup>23</sup>. La plupart des prélèvements d'eau sont destinés à l'irrigation. Une utilisation efficace de l'eau est particulièrement importante dans les zones sèches.



Steffen et al. (2015)

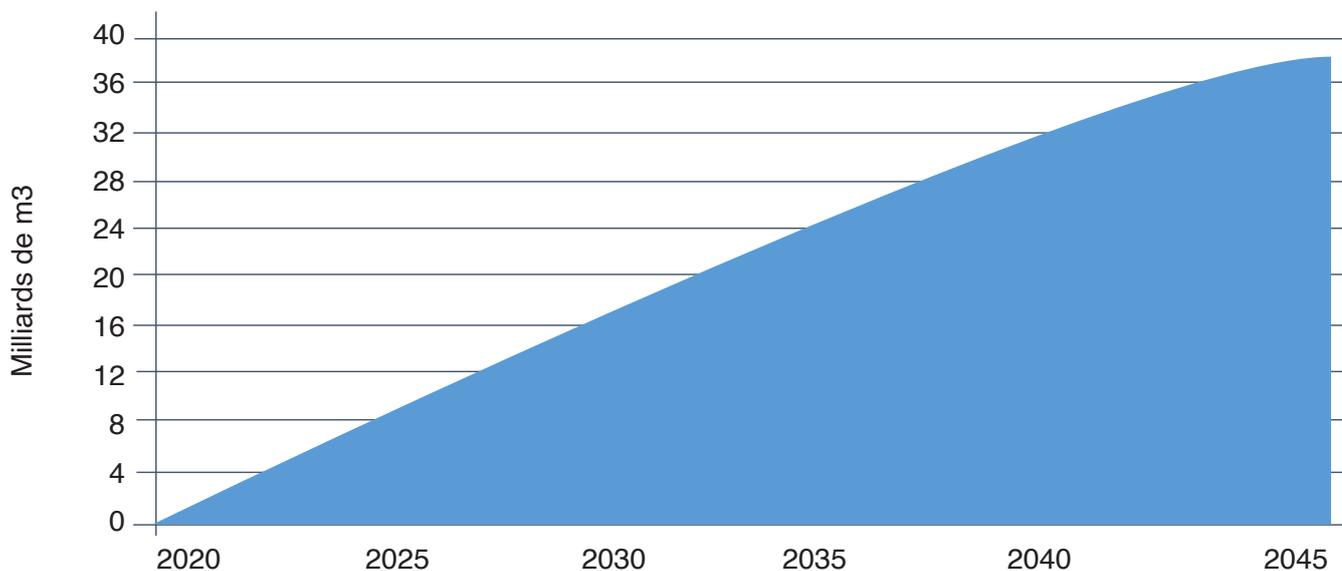
**Figure 16** Utilisation de l'eau douce et limites planétaires : en vert, utilisation en-deçà de la limite planétaire (sûre), en jaune, pays se situant dans la « zone d'incertitude » (risque croissant), et en rouge, pays dans lesquels l'utilisation de l'eau dépasse la limite (risque élevé)

<sup>22</sup><https://www.munichre.com/topics-online/en/climate-change-and-natural-disasters/natural-disasters/topics-geo-2017.html>

<sup>23</sup>[www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries/planetary-boundaries-data.html](http://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries/planetary-boundaries-data.html)

La modélisation de la stratégie 4‰ montre que l'absorption prévue de carbone de jusqu'à 1 Gt par an pourrait augmenter la capacité de stockage d'eau dans les sols jusqu'à 1,25 milliard de m<sup>3</sup> par an (Figure 14). Cela permettrait une diminution progressive des prélèvements mondiaux destinés à l'irrigation de 907 milliards de m<sup>3</sup> en 2020 à 870 milliards de m<sup>3</sup> d'ici 2050, en supposant que tous les autres paramètres, tels que la surface irriguée, l'efficacité de l'irrigation ou les effets des changements climatiques, restent constants. Cela correspond à une réduction annuelle de 4%. De cette

façon, l'amélioration du stockage de l'eau dans les sols plus riches en COS peut atténuer la pression croissante sur les ressources en eau pour l'irrigation. Ceci est particulièrement pertinent pour les régions déjà confrontées à une pénurie d'eau, ou dans lesquelles les pénuries d'eau devraient augmenter en raison des changements climatiques et autres facteurs.

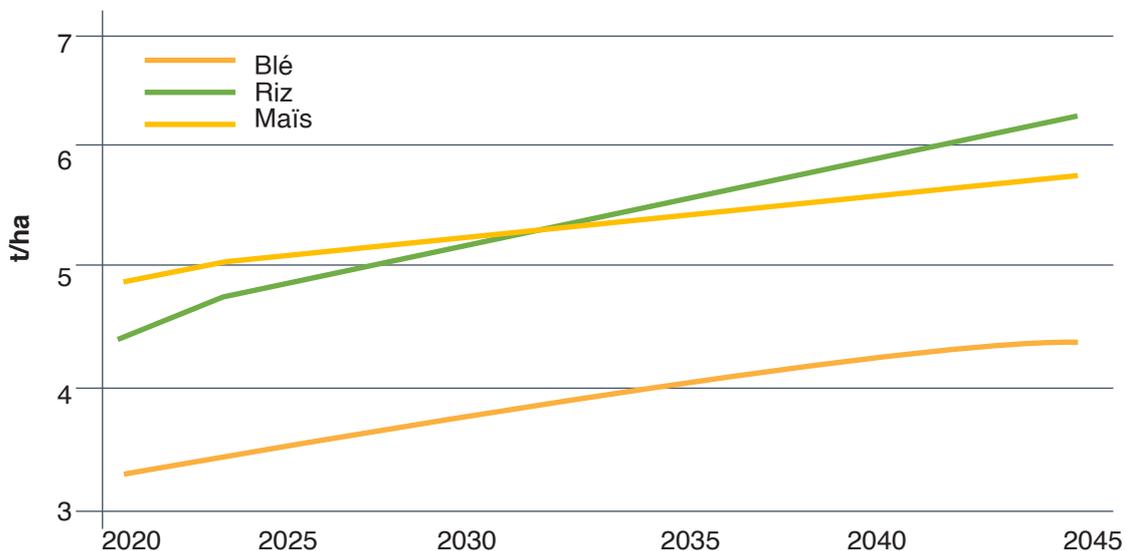


**Figure 17** Économies cumulées dans les prélèvements destinés à l'irrigation résultant de l'adoption de la stratégie 4‰ (tous les autres facteurs restant constants)

L'économie d'eau indiquée à la Figure 15 est susceptible de constituer la fourchette supérieure des économies potentielles, étant donné que d'autres facteurs, tels que la perte d'humidité due à l'évapotranspiration, ne sont pas pris en compte. En outre, certaines cultures prélèvent l'eau en dessous de la couche arable où la plupart du COS, et donc de l'eau, est stocké. D'autre part, l'irrigation génère également des pertes d'eau, entre le moment où celle-ci est prélevée et le moment où elle atteint les racines des plantes. Il est donc logique d'évaluer une rétention d'eau accrue de pair avec un besoin potentiellement réduit d'eau d'irrigation d'une ampleur équivalente. Néanmoins, même si dans un tel scénario l'irrigation pourrait être réduite, elle devrait augmenter en Afrique dans les décennies à venir.

#### 4.1.3 Alimentation : amélioration du rendement mondial des cultures de base

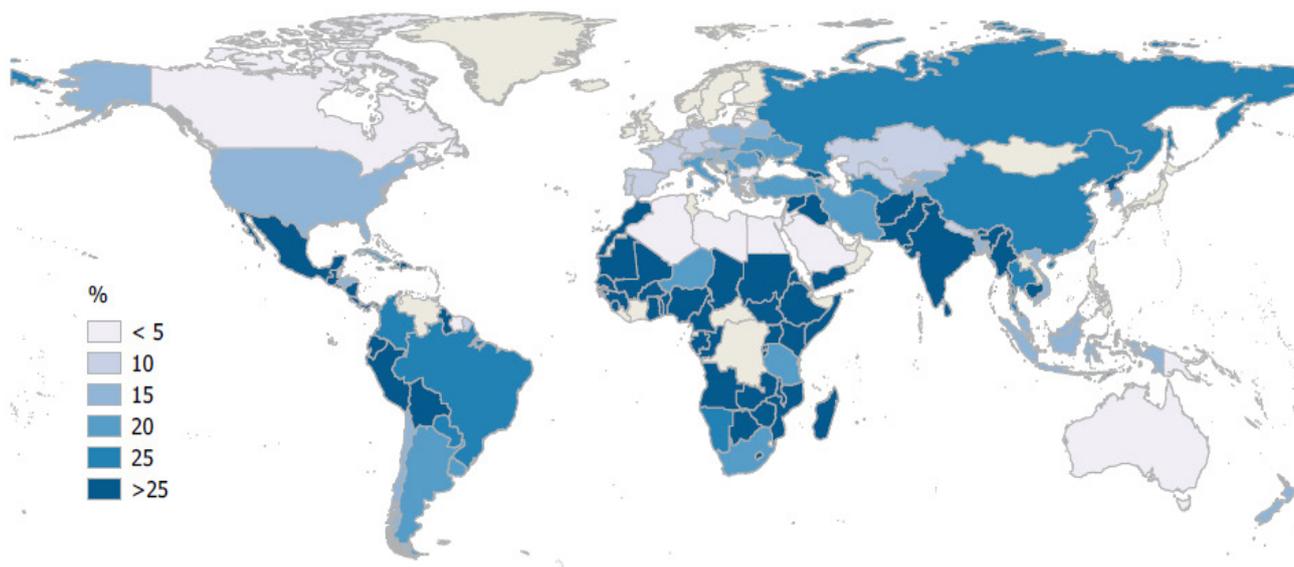
Les rendements mondiaux de riz, de maïs et de blé bénéficieront d'une stratégie 4% qui séquestre jusqu'à 1 Gt C par an (Figure 16). Les rendements moyens du riz pourraient augmenter de plus de 40%, passant d'environ 4,3 t/ha en 2020 à 6,1 t/ha en 2050 (sans tenir compte des effets de l'évolution des techniques de production ou du climat). Dans le même temps, les rendements moyens du maïs devraient augmenter de 23%, passant de 4,7 t/ha à 5,8 t/ha. Pour le blé, l'augmentation du rendement est également estimée à 23%, passant de 3,5 t/ha à 4,3 t/ha.



**Figure 18** Gains de rendement mondiaux du fait d'un COS plus élevés grâce à la stratégie 4%.

En termes de répartition spatiale des avantages sur les rendements, la Figure 17 montre les gains pour le maïs sur les années 2020 à 2050. Pour la plupart des pays développés, l'augmentation prévue est de l'ordre de 5% à 25%. Pour les pays africains, une consommation supplémentaire de carbone du fait d'une stratégie 4%

aurait un impact substantiel sur les rendements prévus de maïs, souvent supérieurs à 25%. Néanmoins, il est important de garder à l'esprit que les rendements actuels dans ces pays sont inférieurs à ceux des pays développés.



**Figure 19** Augmentation estimée, en pourcentage, du rendement du maïs entre 2020 et 2050 grâce à une stratégie 4%.

Sur la base de la modélisation d'une augmentation du COS grâce à une stratégie 4%, l'augmentation de la production alimentaire correspondante pourrait être considérable. Par exemple, au Bangladesh, les rendements du riz devraient augmenter d'environ 43%. Cela équivaut à 1,3 million de tonnes de riz chaque année entre 2020 et 2050, soit 2,5% de la production totale de riz du pays en 2017. Un autre exemple est celui des États-Unis, où les rendements du maïs pourraient augmenter de 14% et ceux du blé de 20%.

## 4.2 Conclusion du chapitre 4

Les résultats présentés dans cette section sont des estimations préliminaires visant à illustrer les changements potentiels associés à l'initiative 4%. Le modèle ne tient pas compte des effets des changements climatiques sur le potentiel de séquestration de carbone, ni de l'impact que les changements climatiques pourraient avoir sur les rendements des cultures. Le stockage de plus de carbone dans les sols nécessite d'autres éléments, en particulier de l'azote. Une modélisation plus détaillée devra prendre en compte la nécessité d'une utilisation accrue d'engrais azotés et ses implications sur l'augmentation des émissions de  $N_2O$ . De plus, le modèle devrait tenir compte de la réversibilité du stockage de COS suite à des événements tels que les sécheresses ou les changements d'affectation des terres.

Une analyse plus complète devra également modéliser les implications potentielles pour la biodiversité, en évaluant le compromis possible entre séquestration de COS et protection de la biodiversité. Cela comprendrait l'estimation de l'impact d'une utilisation accrue d'herbicides sur les pollinisateurs dans les systèmes sans labour. D'autres complexités apparaissent dans la modélisation de l'impact de la re-diversification des cultures et de la re-complexification des paysages.

Ce chapitre fournit une première estimation des valeurs mondiales que la restauration de la santé des terres pourrait générer grâce à une concentration accrue de COS, en analysant l'avantage d'atteindre les objectifs de 4% dans trois domaines : les changements climatiques, la production alimentaire et les stocks d'eau verte. Ces résultats nécessitent une analyse plus approfondie, en particulier pour mieux intégrer les impacts climatiques et analyser les implications pour la biodiversité. Cependant, ces résultats mettent déjà en évidence la multiplicité des valeurs et l'ampleur des avantages associés à la santé des sols. Ils plaident en faveur de l'adoption urgente de plus de pratiques de GDT à l'échelle mondiale.



# Chapitre 5

Agriculture durable pour la gestion de la santé des terres

Les avantages estimés d'une augmentation de 0,4% par an du COS sur les terres agricoles plaident en faveur d'une adoption généralisée de pratiques agricoles appropriées. Une grande variété de systèmes et pratiques agricoles susceptibles de contribuer à l'augmentation du COS, dont certains sont déjà largement utilisés, a été documentée. Ces pratiques peuvent porter des noms divers, et il est tout aussi important de s'entendre sur les principes fondamentaux de la durabilité que de promouvoir des solutions ou des concepts spécifiques. S'entendre sur des paramètres et des normes spécifiques pour la durabilité agricole, tels que le contenu en COS, peut-être une étape importante pour la mise en place de mesures incitatives qui encouragent les agriculteurs et autres acteurs à adopter les pratiques les plus appropriées en fonction de leur situation.

Le terme « agriculture durable » est présenté dans la section suivante comme un objectif primordial. L'agriculture durable peut être considérée comme un sous-ensemble de la GDT, elle-même définie comme : « l'utilisation des ressources foncières, y compris les sols, l'eau, les animaux et les plantes, pour la production de biens destinés à répondre aux besoins humains changeants, tout en assurant le potentiel productif à long terme de ces ressources et le maintien de leurs fonctions environnementales » (UNCCD, 2016). La gestion durable des terres est une vaste approche intersectorielle qui peut contribuer (mais sans s'y limiter) à une agriculture durable. Des centaines de pratiques de gestion durable des terres ont été documentées, par exemple grâce à l'Aperçu mondial des approches et technologies de conservation<sup>24</sup>, dont beaucoup sont des pratiques agricoles traditionnelles ayant perduré pendant des siècles, bien que, dans certains cas, elles aient dû être ravivées et adaptées à l'évolution des environnements socioéconomiques, climatiques et institutionnels (Liniger & Critchley, 2007). Les pratiques de GDT bien connues incluent l'agroforesterie, l'agriculture durable et à faibles intrants (LEISA), les jachères d'été, le pastoralisme mobile, les prairies de pâturage et un large éventail de méthodes visant à stimuler localement le COS et l'humidité (Schwilch et al., 2012).

Différents acteurs utilisent les terminologies présentées dans les sections suivantes de manière contradictoire. Afin de minimiser la confusion, ce chapitre analyse certains des concepts, approches, systèmes et pratiques agricoles les plus couramment utilisés, susceptibles de contribuer à une agriculture durable.

## 5.1 Agriculture durable : Un objectif ambitieux

Le développement durable est généralement défini en des termes initialement publiés dans le rapport « Notre avenir commun » (également connu sous le nom de rapport Brundtland) de la façon suivante : « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins » (Commission on Environment, 1987).

Conformément à cette définition du développement durable, la FAO définit le développement agricole durable comme « la gestion et la conservation de la base de ressources naturelles et l'orientation du changement technologique et institutionnel de manière à assurer la réalisation et la satisfaction continue des besoins humains pour les générations présentes et futures. Un tel développement ... conserve les terres, l'eau, les ressources génétiques végétales et animales, est non-dégradant pour l'environnement, techniquement approprié, économiquement viable et socialement acceptable » (FAO, 1988).

La FAO a proposé cinq principes d'alimentation et d'agriculture durables équilibrant les dimensions sociales, économiques et environnementales de la durabilité (FAO, 2014a) :

1. L'amélioration de l'efficacité dans l'utilisation des ressources ;
2. La conservation, protection et amélioration des écosystèmes naturels ;
3. La protection et amélioration des moyens de subsistance et du bien-être social en milieu rural ;
4. L'amélioration de la résilience des personnes, des communautés et des écosystèmes ; et
5. La promotion d'une bonne gouvernance des systèmes naturels et humains.

---

<sup>24</sup> <https://www.wocat.net/en/>

Dans la pratique, il existe de nombreuses définitions et interprétations de l'agriculture durable, et le concept reste quelque peu ambigu. La Royal Society soutient que la durabilité agricole doit être déterminée sur la base de quatre principes (The Royal Society, 2009) :

1. **Persistance** : la capacité de continuer à fournir les résultats souhaités sur de longues périodes de temps (générations humaines), conférant ainsi une prévisibilité ;
2. **Résilience** : capacité d'absorber, d'utiliser ou même de bénéficier des perturbations (chocs et contraintes), et donc de persister sans changements qualitatifs de structure ;
3. **Autarcie** : la capacité de fournir les extrants souhaités à partir d'intrants et de ressources (facteurs de production) acquis à l'intérieur des limites clés du système ; et
4. **Bienveillance** : la capacité de produire les extrants souhaités (nourriture, fibres, combustibles, carburants) tout en soutenant le fonctionnement des services écosystémiques et en ne provoquant pas l'épuisement de l'eau propre.

Selon ces principes, tout système sera non-viable s'il dépend d'intrants non-renouvelables, s'il n'est pas en mesure d'obtenir les résultats souhaités de manière cohérente et prévisible, s'il ne peut le faire qu'en impliquant la culture de plus de terres et/ou s'il provoque des impacts environnementaux négatifs et irréversibles (The Royal Society, 2009).

La durabilité de l'agriculture est parfois considérée comme se situant le long d'un continuum de complexité croissante, allant de l'amélioration de l'efficacité du système et de la réduction des intrants (niveau I) à des systèmes repensés selon les principes écologiques (niveau III), jusqu'au plus haut niveau où le système est pleinement intégré dans les piliers sociaux et économiques de la durabilité (niveau V) (Gliessman & Engles, 2014). Des préoccupations ont été fréquemment soulevées à propos du fait que l'agriculture durable se concentre trop souvent sur les premiers niveaux de ce continuum, et néglige les niveaux plus élevés (Cook et al., 2015).

L'intégration de l'agriculture aux piliers sociaux et économiques de la durabilité soulève des questions particulières concernant les objectifs de l'agriculture et du développement économique, notamment comment concilier croissance et consolidation des entreprises agricoles avec une réduction de la pauvreté rurale et la création d'emplois. Les dimensions sociales de la durabilité dans l'agriculture nécessitent une plus grande attention pour identifier des cibles et des indicateurs appropriés, ainsi que pour identifier un plus large éventail de solutions potentielles. Par exemple, la réduction de l'écart entre hommes et femmes dans l'agriculture pourrait générer des gains de productivité, et il a été estimé qu'avec un accès égal aux ressources productives, les femmes pourraient augmenter les rendements de leurs exploitations de 20 à 30%. Cela pourrait augmenter la production agricole totale dans les pays en développement de 2,5 à 4%, et réduire le nombre de personnes souffrant de la faim dans le monde d'environ 12 à 17% (FAO, 2011).

Si un accord peut être atteint sur les buts de l'agriculture durable, il devient alors possible de s'entendre sur des objectifs et des indicateurs de progrès. Une fois que ceux-ci seront convenus, il devient possible pour les agriculteurs et autres acteurs d'évaluer différentes approches, activités et pratiques quant à leur contribution à la réalisation des objectifs visés (pour une analyse plus détaillée des approches d'agriculture durable, voir Oberc & Arroyo Schnell, 2020).

## 5.2 Agriculture durable : Une variété de perspectives

Il existe de nombreuses façons, déjà pratiquées dans le monde entier, de cultiver plus durablement, et de nombreuses terminologies différentes sont utilisées pour les décrire, créant une source de confusion et de désaccord inutile. Certains des termes les plus répandus sont brièvement décrits ci-dessous pour illustrer la diversité des perspectives. Comme il a été mentionné précédemment, les définitions de la durabilité diffèrent et, par conséquent, la durabilité relative des différentes approches, selon des critères différents, peut être contestée.

### 5.2.1 Intensification durable

L'intensification durable se réfère à une intensification de l'agriculture sans impacts environnementaux négatifs. Maintenir la viabilité future de l'agriculture nécessite un changement de paradigme pour repositionner l'agriculture en tant que facteur clé de la transition mondiale vers un monde durable. L'intensification durable de l'agriculture devrait « intégrer les objectifs doubles et interdépendants de l'utilisation de pratiques durables pour répondre aux besoins humains croissants, tout en contribuant à la résilience et à la durabilité des paysages, de la biosphère et du système terrestre » (Rockström et al., 2017).

L'objectif de l'intensification durable est d'augmenter la productivité, plutôt que la production, tout en réduisant les impacts environnementaux. La productivité est généralement définie comme un rapport entre volume de production et volume d'intrants. En d'autres termes, elle mesure l'efficacité avec laquelle les intrants de production, tels que la main-d'œuvre et le capital, sont utilisés dans une économie pour obtenir un niveau de production donné (OECD, 2001).

L'intensification durable peut être interprétée comme une augmentation des rendements par unité d'intrants (y compris les nutriments, l'eau, l'énergie, les capitaux et les terres), ainsi que par unité de produits « indésirables » (tels que les émissions de gaz à effet de serre ou la pollution de l'eau) (Garnett & Godfray, 2012).

Le concept d'intensification durable a été critiqué en raison de divergences dans l'utilisation du terme et des différents objectifs qu'il soutient (Tittonell, 2014). Par exemple, l'accent mis sur l'augmentation de la productivité a été mis à profit pour soutenir la campagne en cours dans le secteur agricole en faveur de variétés à haut rendement, notamment d'organismes génétiquement modifiés, dont beaucoup nécessitent des apports externes plus importants pour réaliser leur plein potentiel (Cook et al., 2015). Une partie du défi lié à l'utilisation de ce terme réside dans les différentes interprétations de l'« intensification », et dans les différentes opinions sur la question de savoir si cela implique ou non une augmentation de la production. Une autre partie du défi réside dans la définition de la « durabilité », l'équilibre attendu entre les trois piliers de celle-ci et l'échelle à laquelle elle est mesurée.

### 5.2.2 Intensification écologique de l'agriculture

Le terme d'intensification écologique a été popularisé pour mettre l'accent sur les pratiques faisant « une utilisation intensive et intelligente des fonctionnalités naturelles de l'écosystème (soutien, régulation) pour produire des aliments, des fibres, de l'énergie et des services écologiques de manière durable » (Tittonell, 2014). Des préoccupations ont été exprimées quant au manque de compréhension détaillée des interactions écologiques au sein des systèmes et des paysages agricoles, et de la valeur économique des services écosystémiques associés à l'agriculture (Robertson & Swinton, 2005).

L'intensification écologique met l'accent sur les processus écologiques opérant au-delà des limites de l'exploitation, tels que l'approvisionnement en eau et la régulation du climat, et nécessitant une plus grande échelle d'analyse. L'intensification écologique tient compte de la complexité de l'agroécosystème au sens large, ou paysage agricole, et est donc compatible avec les approches actuelles de gestion des paysages et des écosystèmes (Tittonell, 2014).

L'intensification écologique implique « un remplacement des intrants anthropiques et/ou une amélioration de la productivité des cultures de façon respectueuse de l'environnement, en incluant la gestion des services écosystémiques de régulation et de soutien dans les pratiques agricoles » (Bommarco et al., 2013). Elle vise à évaluer ou augmenter les rendements, tout en minimisant les impacts négatifs sur l'environnement et sur la productivité agricole, en intégrant la gestion des services écosystémiques fournis par la biodiversité dans les systèmes de production. « Une intensification écologique efficace exige une compréhension des relations entre utilisation des terres à différentes échelles et composition des communautés d'organismes fournissant des services écosystémiques au-dessus et en dessous du sol, ainsi que du débit, de la stabilité, de la contribution au rendement et des coûts de gestion des multiples services fournis par ces organismes » (Bommarco et al., 2013).

### 5.2.3 Agroécologie

L'agroécologie est l'une des plus anciennes approches d'agriculture durable documentées, définie pour la première fois en 1928. D'autres approches ou concepts d'agriculture durable ont évolué à partir de l'agroécologie, ou sont basés sur celle-ci. L'agroécologie est un terme générique, qui a été appliquée à une discipline scientifique, un ensemble de pratiques et un mouvement social (Wezel et al., 2009, Silici, 2014). La science de l'agroécologie étudie comment les composantes de l'agroécosystème interagissent, tandis que la pratique de l'agroécologie vise des systèmes agricoles durables qui optimisent et stabilisent les rendements. Le mouvement social de l'agroécologie promeut les rôles multifonctionnels de l'agriculture, tout en favorisant la justice sociale, en cultivant l'identité et la culture, et en renforçant la viabilité économique des zones rurales. Dans de nombreuses interprétations de l'agroécologie, les agriculteurs familiaux sont les détenteurs des connaissances et les acteurs clés d'une production alimentaire agro-écologique (Wezel et al., 2009).

L'agroécologie vise à augmenter la quantité et à améliorer la qualité de la production agricole, à gérer les populations de ravageurs de manière plus efficace et à réduire la dépendance à l'égard des intrants, 1) en augmentant la diversité biologique dans les agroécosystèmes, et 2) en optimisant les interactions biologiques dans ces agroécosystèmes. L'agroécologie est généralement définie au niveau de la parcelle, de l'exploitation et des paysages (Malézieux, 2012).

La FAO décrit l'agroécologie comme « basée sur l'application de concepts et de principes écologiques visant à optimiser les interactions entre les plantes, les animaux, les humains et l'environnement. En créant des synergies, l'agroécologie peut soutenir la production et la sécurité alimentaires ainsi que la nutrition, tout en rétablissant les services écosystémiques et la biodiversité essentiels à une agriculture durable. L'agroécologie peut jouer un rôle important dans le renforcement de la résilience et l'adaptation aux

changements climatiques »<sup>25</sup>. La FAO identifie les éléments suivants de l'agroécologie comme interdépendants :

- Diversité ; synergies ; efficacité ; résilience ; recyclage ; co-création et partage des connaissances (description des caractéristiques communes, des pratiques fondamentales et des approches innovantes des systèmes agro-écologiques)
- Valeurs humaines et sociales ; culture et traditions alimentaires (caractéristiques du contexte)
- Gouvernance responsable ; économie circulaire et solidaire (environnement propice)

### 5.2.4 Agriculture biologique

L'agriculture biologique et l'agriculture biodynamique sont des approches connexes ayant des définitions différentes selon les pays, malgré leurs origines communes (Vogt, 2007). En termes simples, ces deux concepts désignent une agriculture qui évite l'utilisation d'engrais synthétiques et de pesticides. L'agriculture biologique est définie par la Fédération internationale des mouvements pour l'agriculture biologique comme : « un système de production qui soutient la santé des sols, des écosystèmes et des personnes. Elle repose sur des processus écologiques, une biodiversité et des cycles adaptés aux conditions locales, plutôt que sur l'utilisation d'intrants ayant des effets néfastes. L'agriculture biologique combine la tradition, l'innovation et la science pour bénéficier de l'environnement partagé et promouvoir des relations équitables et une bonne qualité de vie pour tous les acteurs »<sup>26</sup>. La Fédération identifie les quatre principes suivants de l'agriculture biologique :

- 1.Santé : sol, plantes, animaux et humains sains
- 2.Écologie : imiter et soutenir les systèmes naturels
- 3.Équité : équité, respect et justice pour tous les êtres vivants
- 4.Attention : souci des générations à venir

<sup>25</sup>[www.fao.org/agroecology/home/en](http://www.fao.org/agroecology/home/en) (consulté en juillet 2019)

<sup>26</sup>[www.ifoam.bio/en/organic-landmarks/definition-organic-agriculture](http://www.ifoam.bio/en/organic-landmarks/definition-organic-agriculture) (consulté en juillet 2019)

Certaines études ont montré que, par rapport à l'agriculture conventionnelle, l'agriculture biologique tend à stimuler la biodiversité au-dessus et en dessous du sol. Ces études mettent également en évidence trois grandes pratiques de gestion, en grande partie intrinsèques mais non exclusives à l'agriculture biologique, et particulièrement bénéfiques pour la vie sauvage dans les terres agricoles : l'interdiction ou la réduction de l'utilisation de pesticides chimiques et d'engrais inorganiques, la gestion sympathique des habitats non cultivés et la préservation de la polyculture (Hole et al., 2005). Cependant, une méta-analyse récente a montré que l'agriculture biologique présentait une stabilité temporelle des rendements significativement plus faible (-15%) (la variabilité et la fiabilité de la production d'une année sur l'autre) par rapport à l'agriculture conventionnelle (Knapp & van der Heijden, 2018). L'étude indique également que l'utilisation de fumier vert et une fertilisation accrue peuvent réduire cet écart de stabilité des rendements.

### 5.2.5 Agriculture régénérative

Lancée au début des années 1980 par Robert Rodale (Gold & Gates, 2007) et originaire des États-Unis, l'agriculture régénérative vise à améliorer et à maintenir la santé des sols en rétablissant leur matière organique, en augmentant leur fertilité et leur productivité et en réduisant (mais pas nécessairement en éliminant) les pesticides et les engrais synthétiques. Son principal objectif est la santé des sols, dans le but d'augmenter les rendements agricoles et l'adaptation aux changements climatiques.

Une analyse récente, publiée à partir de sources multiples, définit l'agriculture régénérative comme « un système de principes et de pratiques qui génère des produits agricoles, séquestre le carbone et améliore la biodiversité à l'échelle de l'exploitation » (Burgess et al., 2019). Le rapport identifie cinq pratiques principales largement associées à l'agriculture régénérative :

- l'abandon du labour ;
- l'élimination des sols nus ;
- la promotion de la diversité végétale ;
- l'encouragement de la percolation de l'eau dans le sol ;
- l'intégration des opérations d'élevage et de culture.

Les pratiques les plus fréquemment associées sont le travail sans labour ou le labour réduit, la couverture permanente des sols et la diversité dans les rotations des cultures, l'utilisation de compost et de fumier animal, la diversification biologique (par exemple par l'interculture, l'agroforesterie, le sylvopastoralisme) et le pâturage durable (comme le pâturage par rotation et la culture en pâturage).

L'agriculture régénérative se concentre donc sur la santé des sols, mais sa portée est plus vaste que l'agriculture de conservation (décrite ci-après), car elle considère également l'élevage, et implique le mélange des cultures et du bétail, afin d'améliorer encore la qualité des sols et la fertilité de l'exploitation. Bien que la plupart des exemples de mise en œuvre de l'agriculture régénérative se situent aux États-Unis, l'approche gagne en reconnaissance et en intérêt en Europe, avec le soutien du secteur privé et de groupes internationaux tels que la Coalition pour l'alimentation et l'utilisation des terres (FOLU).

### 5.2.6 Agriculture mixte

Traditionnellement, l'agriculture, dans de nombreux pays, a impliqué une combinaison de cultures et de bétail, de façon interdépendante. Le bétail peut fournir une importante source de revenus, ou une source précieuse de protéines, tout en produisant du fumier qui maintient la fertilité des sols, ainsi que de nombreux autres services écologiques et économiques. Les résidus et sous-produits des récoltes, ainsi que les cultures fourragères sont à leur tour utilisés pour soutenir le bétail (Thiessen Martens & Entz, 2011). La production de bétail et de cultures sur une même exploitation est appelée polyculture-élevage, et reste le système agricole le plus courant dans les pays en développement, et était autrefois la norme dans les pays développés, avant l'émergence d'exploitations spécialisées.

Aujourd'hui, les systèmes de polyculture-élevage regagnent en popularité pour leur capacité à récupérer les cultures et la production animale, et à contribuer à la réalisation des cycles du carbone, de l'azote et du phosphore. Ils sont considérés comme une option permettant de réduire les pertes dans l'environnement et limiter les impacts préjudiciables, tout en augmentant la résilience grâce à la diversification des sources de

revenus. Afin de construire des systèmes agricoles plus résilients et durables, les chercheurs et décideurs considèrent l'agriculture mixte comme une alternative possible à la spécialisation. Ces systèmes utilisent les principes de l'économie circulaire, recyclant les nutriments plus efficacement que les systèmes spécialisés, utilisant des cultures et des prairies pour l'alimentation des animaux et, en retour, du fumier organique pour la fertilisation ou le biogaz. Dans de nombreux pays, ces systèmes font également un meilleur usage de l'énergie animale (pour le labour ou le transport, par exemple), lorsque la mécanisation n'est pas abordable, réduisant ainsi l'utilisation de combustibles fossiles.

La fertilisation à partir de compost ou de fumier frais dans les systèmes cultivés peut aider à maintenir une certaine production entre les principales saisons de croissance, tout en limitant la quantité d'intrants externes nécessaires. La qualité du fumier est donc une considération importante pour l'agriculture durable, car elle a une incidence directe sur les propriétés biologiques du sol, y compris sa structure et sa teneur en matière organique, ainsi que sur l'amélioration de la fixation de l'azote et la lutte contre les mauvaises herbes, ce qui a un impact sur la productivité des terres (Thiessen Martens & Entz, 2011, Erisman et al., 2017).

### 5.2.7 Gestion des prairies et pâturages durables

Les pâturages représentent environ 3,6 milliards d'hectares de terres à l'échelle mondiale et assurent diverses fonctions écosystémiques essentielles, notamment la production d'aliments, de fourrages et d'eau (Xu, Jagadamma & Rowntree, 2018). La productivité des terres peut être améliorée grâce à de bonnes pratiques de pâturage, ayant un impact positif sur certains aspects de la santé des terres, notamment la rétention et l'infiltration d'eau, la production fourragère, le cycle des nutriments, l'accumulation de carbone, les processus racinaires et la durabilité des écosystèmes (Thornton & Herrero, 2010, Xu, Jagadamma & Rowntree, 2018).

L'objectif de la gestion des pâturages et du pâturage durable est d'améliorer la productivité des terres en

gérant les herbivores comme des outils dans un système de gestion des pâturages prédéterminé. Cela peut impliquer un pâturage continu ou rotatif, et peut être plus facilement établi sur des terres privées, où peu de décideurs interviennent (Briske et al., 2008, Nordborg & Roos, 2016). Cependant, dans les systèmes où les ressources sont en libre accès, qui incluent les pâturages sauvages mondiaux d'Afrique subsaharienne et d'Amérique centrale et du Sud, la gestion des ressources foncières demeure un défi complexe. Dans ce contexte, la GDT consiste à reconnaître l'importance des interactions écologiques, sociales et économiques, ainsi que leurs effets sur la santé des terres (Gray et al., 2016).

Une bonne gestion des pâturages repose donc sur une connaissance de leur complexité écologique, ainsi que des processus et réponses écologiques découlant des décisions de gestion. Cela est généralement spécifique au contexte, mais repose globalement sur les principes de temporalité, d'intensité et de fréquence du pâturage (Davies et al., 2015). Le taux de charge en herbivores devient alors l'outil variable du système pour atteindre les objectifs de gestion des terres prévus à court et à long terme.

Dans de nombreux pays, le système prédominant de gestion des pâturages et de pâturage durable est le pastoralisme (y compris l'agropastoralisme, le sylvopastoralisme et autres systèmes dérivés ou apparentés).

Le pastoralisme, défini comme l'élevage extensif sur des pâturages sauvages (Davies et al., 2010), repose principalement sur les pâturages naturels et les arbustes comme source de fourrage pour le bétail, et est considéré par beaucoup comme un système de production alimentaire écologiquement durable qui contribue à la conservation de la biodiversité. Il est pratiqué sur un quart à un tiers de la superficie mondiale des terres (McGahey et al., 2014). Le pastoralisme dépend souvent de mouvements de troupeaux organisés pour une utilisation saisonnière des différentes ressources naturelles, et la mobilité des troupeaux est souvent essentielle pour maintenir la santé des terres. Il est parfois classé en trois systèmes généraux : sédentaire, nomade et transhumant (Weber & Horst, 2011).

Le pastoralisme est un système traditionnel d'utilisation des terres, modernisé à différents degrés dans le monde entier. Dans certains pays, les pâturages sauvages fournissent encore la majorité du fourrage, tandis que dans d'autres, ils sont complétés par des aliments cultivés. L'utilisation d'intrants externes varie selon le degré de commercialisation des produits du pastoralisme. Les impacts environnementaux positifs et négatifs du pastoralisme varient considérablement selon le système de gestion, le mouvement effectif des troupeaux et la pression globale sur les ressources naturelles (Scoones, 1995; Davies et al., 2010; McGahey et al., 2014).

### 5.2.8 Agriculture de conservation

L'agriculture de conservation fait généralement référence à une approche agricole fondée sur trois grands principes<sup>27</sup> :

1. Perturbation mécanique minimale du sol (pas de labour) par ensemencement direct et/ou utilisation d'engrais ;
2. Couverture organique permanente du sol (d'au moins 30%) par des résidus de récolte et/ou des cultures de couverture ;
3. Diversification des espèces par des séquences de cultures variées et des associations impliquant au moins trois cultures différentes.

Il a été constaté que l'agriculture de conservation améliorerait la biodiversité et les processus biologiques naturels au-dessus et en dessous du sol, contribuant à améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau et des nutriments et à améliorer la production végétale (Shah & Wu, 2019). La Fédération européenne pour l'agriculture de conservation la décrit comme : « un système de production agricole durable comprenant un ensemble de pratiques agricoles adaptées aux exigences des cultures et des conditions locales de chaque région, dont les techniques d'agriculture et de gestion des sols protègent le sol de l'érosion et de la dégradation, améliorent sa qualité et sa biodiversité, et contribuent à la préservation des ressources naturelles, de l'eau et de l'air, tout en optimisant les rendements »<sup>28</sup>.

Il est important de noter que, bien que l'agriculture de conservation génère un certain nombre d'avantages, elle utilise le plus souvent des herbicides pour lutter contre les mauvaises herbes, ce qui a des effets néfastes sur la biodiversité des sols, la qualité de l'eau et la santé des agriculteurs (Lammoglia et al., 2017). En outre, sa contribution à l'atténuation des changements climatiques, par le biais de l'accumulation de carbone organique dans les sols, a parfois été surestimée. Une méta-analyse des travaux sur l'agriculture à labour réduit a révélé que l'augmentation du COS était relativement faible. Des concentrations plus importantes peuvent être trouvées près de la surface, ce qui explique certains des avantages pour l'agriculture, mais ce carbone peut être perdu dans les cas où le sol est cultivé périodiquement. Cependant, en protégeant les sols, l'agriculture de conservation contribue à rendre les systèmes agricoles plus résilients à la variabilité climatique et météorologique, contribuant ainsi à l'adaptation aux changements climatiques (Powlson et al., 2014).

### 5.2.9 Agroforesterie

World Agroforestry (ICRAF) décrit l'agroforesterie comme « une agriculture arborée », et plus largement comme « l'interaction de l'agriculture et des arbres, y compris l'utilisation agricole des arbres »<sup>29</sup>. Les interactions entre les arbres et les autres composants de l'agriculture peuvent être importantes à diverses échelles : au niveau des champs (où les arbres et les cultures sont cultivées ensemble), au niveau des exploitations (où les arbres peuvent fournir du fourrage pour le bétail, du combustible, de la nourriture, un abri ou des revenus provenant de produits tels que le bois) et au niveau des paysages (où les utilisations des terres agricoles et forestières se combinent pour déterminer la fourniture de services écosystémiques).

L'intégration des arbres dans les paysages agricoles a le potentiel de générer un certain nombre d'améliorations pour les organismes du sol et pour la croissance des cultures (Barrios et al., 2013). Dans les systèmes agroforestiers, des interactions écologiques et économiques se produisent entre les différentes

---

<sup>27</sup> <http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/>

<sup>28</sup> <http://www.ecaf.org/ca-in-europe/what-is-ca>

<sup>29</sup> <http://www.worldagroforestry.org/about/agroforestry>

composantés. L'agroforesterie est décrite par la FAO comme « un système de gestion des ressources naturelles dynamique et écologique qui, grâce à l'intégration des arbres dans les exploitations et dans les paysages agricoles, diversifie et soutient la production pour des avantages sociaux, économiques et environnementaux accrus pour les utilisateurs des terres à tous les niveaux »<sup>30</sup>. Les systèmes agroforestiers sont des systèmes multifonctionnels, susceptibles de fournir un large éventail d'avantages économiques, socioculturels et environnementaux. Trois principaux types de systèmes agroforestiers ont été décrits :

1. Les systèmes agrosylvicoles, présentant une combinaison de cultures et d'arbres, par exemple les cultures en allées, les haies vives et les brise-vent ou dans les jardins familiaux ;
2. Les systèmes sylvopastoraux, combinant foresterie et pâturage d'animaux domestiques sur des prés ou des pâturages sauvages ;
3. Les systèmes agrosilvopastoraux, dans lesquels les trois éléments (arbres, animaux et cultures) sont intégrés, par exemple dans des jardins familiaux ou sous forme d'arbres dispersés sur les terres cultivées, qui fournissent du fourrage (ou une source de brouillage après la récolte).

L'agroforesterie a le potentiel d'augmenter les revenus, d'améliorer la sécurité alimentaire et de conserver la biodiversité et les services écosystémiques, contribuant ainsi à une meilleure adaptation aux changements climatiques, ainsi qu'à l'atténuation de ceux-ci grâce à une séquestration accrue du carbone (Hillbrand et al., 2017). L'agroforesterie a été utilisée pour améliorer la qualité et réduire l'érosion ou la salinité des sols et améliorer la qualité de l'eau. Les systèmes agroforestiers augmentent la couverture végétale et la matière organique du sol, réduisant ainsi le ruissellement de l'eau et l'évaporation, et augmentant les taux d'infiltration et la capacité de rétention d'eau, ce qui augmente la disponibilité en eau pour la production végétale dans toutes les couches du sol. La Régénération naturelle assistée par les agriculteurs (RNAA) est un mouvement agroforestier ayant réussi à restaurer les forêts et les prairies et à améliorer les

moyens de subsistance dans les écozones soudano-sahéliennes d'Afrique (Binam et al., 2015). L'agroforesterie peut, dans une certaine mesure, être considérée comme un moyen efficace pour contrebalancer la déforestation et la perte consécutive de biodiversité au-dessus du sol, qui entraîne également un impact négatif sur la biodiversité en dessous du sol (Barrios et al., 2013), bien qu'elle ne remplace pas les forêts primaires. L'intégration des arbres favorise le biote du sol de plusieurs façons, y compris par un apport accru de matière organique et de nutriments dans les sols (Barrios et al., 2013). L'élagage et le paillage créent une couche supérieure organique du sol, qui aide à minimiser l'érosion et à favoriser l'humidité, soutenant ainsi l'activité des organismes du sol, tout en fournissant du carbone et des nutriments qui soutiennent les rendements des cultures (Castro et al., 2009, Barrios et al., 2013). Les arbres des systèmes agroforestiers fournissent également de l'ombre, qui peut abaisser la température du sol, ce qui réduit les pertes en eau et permet de maintenir une humidité du sol appropriée pour la croissance des cultures (Lin, 2010; Barrios et al., 2013).

#### 5.2.10 Autres systèmes et pratiques agricoles durables

Les systèmes et pratiques agricoles présentés jusqu'ici ne couvrent pas toutes les options disponibles, mais visent à donner une indication de la façon dont l'agriculture durable atteint ses objectifs en protégeant la biodiversité des sols et les fonctions écosystémiques. De nombreuses autres approches pourraient être incluses, telles que la protection des pâturages naturels et permanents, l'utilisation de cultures de couverture pour favoriser la rétention des sols et des éléments nutritifs entre les cycles de culture, ou l'incorporation de résidus de récolte pour maintenir la matière organique du sol, contribuant ainsi à la rétention d'eau et à un apport de nutriments pour les cultures (Power, 2010).

La diversification des cultures est une autre pratique améliorant la complexité des espèces cultivées (Gan et al., 2015). Les polycultures diversifient l'agriculture et

<sup>30</sup><http://www.fao.org/forestry/agroforestry/80338/en/>

améliorent la productivité globale et les services écosystémiques en mélangeant différentes cultures (système de rangées de cultures intercalées, cultures relais), en combinant les cultures avec des plantes voisines bénéfiques pour la lutte antiparasitaire ou la pollinisation, et en utilisant une rotation entre les polycultures de cultures de couverture et les cultures commerciales (Finney & Kaye, 2017). Les pratiques agricoles précédentes traduisent souvent une compréhension similaire des problèmes, ainsi qu'un ensemble de solutions qui se recoupent largement. Développées principalement à l'échelle des espèces ou des exploitations, elles contribuent à la santé des terres dans les exploitations et dans les paysages agricoles.

## 5.3 Gestion de la santé des terres dans les exploitations et les paysages agricoles

L'agro-biodiversité peut être analysée à trois niveaux distincts : les paysages, les exploitations et les espèces (le niveau génétique). À partir de l'échelle la plus générale, cette section examine le rôle de la gestion durable des paysages agricoles dans le maintien des fonctions écosystémiques critiques, y compris celles soutenant l'agriculture et celles appréciées en dehors des paysages agricoles. À l'échelle de l'exploitation, nous analyserons comment les pratiques agricoles influencent la biodiversité ayant un impact direct sur la productivité, y compris les fonctions de l'écosystème du sol. Au niveau génétique, la biodiversité comprend les espèces végétales et animales élevées et conservées par les agriculteurs, mais aussi la biodiversité des sols et autres espèces contribuant à la productivité et à la résilience des exploitations. Cependant, comme le Chapitre 3 l'a déjà indiqué, il existe d'importantes lacunes dans les connaissances dans ce domaine.

### 5.3.1 Conservation de la biodiversité dans les paysages agricoles

Les paysages agricoles sont très divers, depuis des paysages structurellement simples dominés par une ou

deux cultures à des mosaïques complexes de diverses cultures intégrées dans des habitats naturels et semi-naturels. Les paysages agricoles peuvent comprendre des zones boisées, des pâturages ou des zones humides, qui font souvent partie intégrante des économies agricoles et représentent également d'importants réservoirs de biodiversité. Dans l'agriculture tempérée, les paysages comprennent des bordures de champs et des haies, développées à l'origine pour leurs fonctions agricoles, mais aujourd'hui souvent protégées en tant qu'habitats essentiels pour la biodiversité. La biodiversité dans les paysages agricoles peut inclure des espèces nuisibles, mais aussi des prédateurs de ces espèces nuisibles et autres espèces bénéfiques, telles que les pollinisateurs des cultures. Les pratiques agricoles peuvent éliminer une grande partie de cette biodiversité, à la fois bénéfique et nuisible, et ont des conséquences pour les espèces se situant à des niveaux trophiques plus élevés, notamment les oiseaux agricoles (Marshall, 2004).

Selon la définition de la dégradation des terres, les paysages agricoles durables devraient maintenir ou renforcer la productivité et la complexité biologiques et économiques du paysage, celles-ci pouvant être mesurées par l'intermédiaire des services et de fonctions écosystémiques. À l'échelle du paysage, il est également nécessaire d'envisager des compromis entre diverses utilisations des terres, afin de maintenir l'équilibre souhaité dans la fonctionnalité de l'écosystème.

L'intensification agricole conduit à une perte d'hétérogénéité écologique et à une simplification de la structure des paysages (Benton et al., 2003). Diverses études ont montré comment l'intensification a augmenté la proportion de terres arables, diminué les pâturages permanents ou les habitats semi-naturels, augmenté la taille des champs et l'utilisation d'engrais inorganiques et de pesticides, et a eu de nombreux autres effets ayant abouti à la simplification des paysages et à une perte de biodiversité (Persson et al., 2010). Des préoccupations ont été exprimées quant au manque de compréhension détaillée concernant les interactions écologiques au sein des systèmes et des paysages agricoles, ainsi que la valeur économique des services écosystémiques associés à l'agriculture (Robertson & Swinton, 2005).

Une méta-analyse récente, utilisant une base de données mondiale de 89 études sur 1 475 sites, a analysé l'importance relative de la richesse, l'abondance et la dominance spécifiques pour la pollinisation, la lutte biologique contre les ravageurs et les rendements finaux. Jusqu'à 50% des effets négatifs de la simplification des paysages sur les services écosystémiques étaient dus à des pertes de richesse d'organismes fournisseurs de services, entraînant des conséquences négatives sur les rendements des cultures (Dainese et al., 2019).

Il existe une tendance à penser à la biodiversité des paysages agricoles sans trop de nuances, et à se concentrer sur la restauration de parcelles d'habitats distinctes dans un paysage (Billeter et al., 2007). Cela ne tient cependant pas compte des divergences considérables entre les systèmes agricoles, ni de la mesure dans laquelle les différents systèmes de gestion conservent la biodiversité sur les terres productives. Par exemple, l'intégration d'arbres dans les systèmes de production (voir la description de l'agroforesterie ci-dessus), la gestion des pâturages ou la protection des limites des champs sont autant de mesures contribuant au maintien de la biodiversité dans les paysages (Schweiger et al., 2005). Une meilleure compréhension des paysages agricoles et de la biodiversité relative conservée dans les différents systèmes de production est nécessaire pour assurer une utilisation optimale des terres agricoles (Norris, 2008).

La biodiversité peut être augmentée dans les paysages agricoles en convertissant les terres productives en habitats plus naturels, soit par l'arrêt de la production, soit par la réduction de l'intensité de la production, soit par la complexification des schémas paysagers. Divers aspects de l'hétérogénéité des terres semblent être cruciaux pour la biodiversité. Une étude menée dans huit régions contrastées d'Europe et d'Amérique du Nord, à travers 435 paysages, a mesuré l'effet de différentes interventions sur la diversité multi-trophique à l'échelle des paysages. L'augmentation de l'hétérogénéité des cultures, la diminution de la taille moyenne des champs et l'augmentation de la couverture semi-naturelle ont eu un fort effet positif (Sirami et al., 2019). Selon une méta-analyse réalisée en Europe, la densité des haies

semblait également être critique en tant que refuge pour les arthropodes, avec des impacts directs sur la lutte contre les ravageurs, la pollinisation et les rendements (Volf et al., 2019). Cependant, une incertitude persiste quant à ses implications pour la production agricole à grande échelle et, par conséquent, aux coûts et compromis potentiels pour les agriculteurs et la société (Fahrig et al., 2011). Dans le même temps, les recherches sont insuffisantes pour démontrer le coût de la perte de biodiversité dans les paysages agricoles. La réduction de la biodiversité dans les paysages réduit la productivité agricole, ainsi que la fourniture d'autres services écosystémiques soutenant, par exemple, l'approvisionnement en eau, les habitats et la santé (Perrings et al., 2006).

La société doit faire des choix mieux éclairés sur le mélange de gènes, d'espèces et d'écosystèmes conservés dans les paysages agricoles, afin de maintenir le flux des services écosystémiques et d'équilibrer les compromis entre production alimentaire, conservation de la biodiversité, services écosystémiques et bien-être humain. Ne pas reconnaître pleinement le rôle de la biodiversité dans les paysages agricoles conduit à ignorer les risques associés à la perte de services écosystémiques. Le maintien de la biodiversité dans les paysages agricoles améliore la capacité du biote terrestre à répondre aux risques climatiques et autres risques environnementaux (Perrings et al., 2006).

La gestion durable des paysages agricoles est conforme à l'approche de l'UICN en matière de restauration des paysages forestiers, définie comme « le processus continu de récupération de la fonctionnalité écologique et d'amélioration du bien-être humain dans les paysages forestiers déboisés ou dégradés »<sup>31</sup>. Les paysages agricoles sont des écosystèmes transformés qui contiennent des niveaux variables de biodiversité en fonction de différents facteurs, y compris leur gestion. Les écosystèmes transformés peuvent être dégradés par rapport à leurs objectifs de gestion, et de même, ils peuvent être « réhabilités vers un état moins dégradé, par rapport à l'attente d'un paysage délibérément modifié » (IPBES, 2018). La réhabilitation vers un état moins dégradé est compatible avec l'objectif de neutralité

---

<sup>31</sup><https://www.iucn.org/theme/forests/our-work/forest-landscape-restoration>

en matière de dégradation des terres (une cible de l'ODD 15) si la biodiversité et les fonctions et services écosystémiques sont stables ou augmentent dans chacun des écosystèmes d'un ensemble focal, sur une période donnée (Cowie et al., 2018).

### 5.3.2 Pratiques agricoles contribuant à conserver la biodiversité à l'échelle des exploitations

La grande diversité des organismes en dessous du sol est intimement liée à la biodiversité au-dessus du sol et aux producteurs primaires qui réalisent la photosynthèse (De Deyn & Van Der Putten, 2005). En retour, la biodiversité au-dessus du sol dépend de l'activité de groupes fonctionnels clés en dessous du sol, chacun d'eux jouant un rôle particulier en contribuant à des services écosystémiques essentiels, et en maintenant ainsi la productivité agricole (Barrios, 2007; Xavier et al., 2010). À cet égard, les pratiques agricoles affectent à la fois la production de biomasse primaire, les principaux groupes fonctionnels et les caractéristiques physico-chimiques du sol (telles que sa structure, matière organique, humidité, température et composition chimique).

La biodiversité peut être conservée au niveau de l'exploitation par des pratiques la favorisant explicitement ou minimisant les impacts négatifs de l'agriculture. Par exemple, une série de pratiques favorisent la matière organique du sol, notamment : la maximisation des résidus organiques comme source d'alimentation continue des microorganismes du sol (par exemple en utilisant du fumier vert et animal, du paillis et des résidus de récolte), l'optimisation des conditions de décomposition de la matière organique et de libération des nutriments (par exemple, l'humidité et le rapport carbone / azote), la réduction ou l'optimisation des perturbations (par exemple par l'absence ou la réduction de labour et un compactage minimal), ou l'influence sur l'état chimique des sols (par l'utilisation d'engrais ou de chaux) (Bot & Benites, 2005). L'architecture du système racinaire des cultures est un autre facteur pouvant être utilisé pour améliorer le stockage de MOS/ COS (Kell, 2011). L'augmentation de la diversité végétale améliorerait également le stockage du carbone dans les sols.

Un labour limité ou nul, un élément clé de l'agriculture de conservation décrite précédemment, est utilisé dans plusieurs pays comme alternative au labour. La réduction du labour contribue à créer un environnement édaphique propice à la culture et à la conservation des ressources de sol, en eau et en énergie, tant par la réduction de l'intensité du labour que par la rétention des résidus végétaux. Les avantages d'un labour réduit peuvent inclure les éléments suivants (Palm et al., 2014):

- Augmentation de la matière organique de la couche arable ;
- Réduction de l'érosion et du ruissellement ;
- Meilleure qualité de l'eau ;
- Plus grande rétention d'humidité dans le sol, entraînant des rendements plus élevés et plus stables pendant les saisons sèches ;
- Biodiversité des sols accrue.

Le consensus quant aux avantages d'un labour réduit en matière de séquestration du carbone et d'émissions de GES est plus limité (Palm et al., 2014). Par conséquent, le non labour devrait être considéré comme une méthode permettant avant tout de réduire l'érosion des sols, de s'adapter aux changements climatiques et d'assurer la sécurité alimentaire, les co-avantages d'atténuation pour la société étant plus incertains (Ogle et al., 2019).

Les herbicides à large spectre ont permis de réduire ou d'éliminer les mauvaises herbes, bien qu'une résistance accrue ait été signalée (Triplett & Dick, 2008). Là où la réduction du labour peut être bénéfique pour la biodiversité du sol, l'application d'herbicides peut être préjudiciable. Bien que certaines études affirment que les effets nocifs des herbicides sur la fonction du sol sont mineurs et temporaires, d'autres ont observé des changements dans la fonction du sol et la biodiversité, y compris des changements dans l'écologie des vers de terre, l'inhibition du cycle de l'azote du sol et une augmentation spécifique au site des maladies (Rose et al., 2016).

Les engrais ont une influence très nette sur les sols. Alors que les engrais organiques contiennent beaucoup de matériel organique et de nutriments alimentant les organismes du sol et augmentant la matière organique du sol, les engrais synthétiques se concentrent sur l'alimentation des plantes. Les nutriments, à savoir l'azote, ne sont pas automatiquement disponibles pour

les plantes, même s'ils sont présents dans le sol, en raison de différents états chimiques influencés par de nombreuses conditions et fonctions du sol (Institute of Medicine & National Research Council, 2015). Les engrais organiques génériques ne contiennent qu'une faible concentration de nutriments et, selon leur rapport C:N, peuvent même réduire la bio-activité du sol. Les engrais concentrés peuvent avoir des effets négatifs directs, tels que le brûlage des plantes et la réduction de leur résistance aux maladies. Les engrais synthétiques peuvent diminuer la fertilité du sol en augmentant sa salinité et acidité. Une sur-application d'engrais peut entraîner une pollution atmosphérique importante, des émissions de gaz à effet de serre (par exemple de CO<sub>2</sub> et de N<sub>2</sub>O), une eutrophisation de l'eau et des risques pour la santé humaine (Galloway et al., 2008).

Une gestion équilibrée du carbone, de l'azote et du phosphate est fondamentale, car ces éléments sont étroitement liés. L'augmentation du COS nécessite suffisamment d'azote et de phosphate. Sa réduction entraîne une réduction des cycles de l'azote et du phosphate, ainsi d'autres nutriments (FAO & ITPS, 2015). Un déséquilibre des nutriments dans le sol peut également altérer les plantes et réduire leur résistance aux maladies et leur qualité nutritionnelle.

Les pesticides peuvent nuire aux cultures, à la biodiversité et aux humains, avec différents impacts sur des organismes non ciblés comme les vers de terre, les prédateurs naturels et les pollinisateurs, ainsi que sur la microflore du sol. Les pesticides peuvent s'accumuler dans le sol et nuire à sa biodiversité, affectant le fonctionnement global de l'écosystème du sol et ses services écosystémiques. Cela s'ajoute aux risques directs que les pesticides peuvent présenter pour la santé humaine, par exemple par la contamination des aliments (Yadav & Devi, 2017).

L'irrigation et le drainage sont un autre domaine dans lequel les pratiques agricoles conventionnelles peuvent être non durables, et où des approches alternatives peuvent être identifiées (cultures adaptées, amélioration de la matière organique du sol, agroforesterie...). L'irrigation et le drainage peuvent favoriser la croissance

des plantes, mais ils modifient également les débits d'eau en quantité et en qualité. Cela peut avoir des effets négatifs sur la disponibilité générale en eau et sur l'apparition de sécheresses et d'inondations extrêmes, affectant en particulier les écosystèmes et l'utilisation humaine en aval (FAO & ITPS, 2015). Une irrigation et un drainage inefficaces peuvent nuire à la stabilité de la structure du sol et entraîner l'érosion et la pollution de l'eau. Des pertes d'eau peuvent se produire entre le prélèvement d'eau et l'absorption par les plantes, par exemple du fait d'une distribution inefficace de l'eau vers les champs et dans les champs ou de pertes par évaporation. L'irrigation et le drainage peuvent entraîner d'importantes émissions de CO<sub>2</sub>, résultant en une minéralisation du COS, en particulier dans les tourbières.

Enfin, la diversification des cultures est une pratique qui renforce la complexité des espèces cultivées (Gan et al., 2015). Les polycultures diversifient l'agriculture et améliorent la productivité globale et les services écosystémiques en mélangeant différentes cultures (système de rangées de cultures intercalées, cultures relais), en combinant les cultures avec des plantes voisines bénéfiques pour la lutte antiparasitaire ou la pollinisation, ou en utilisant une rotation entre polycultures d'espèces de couverture et espèces commerciales (Finney & Kaye, 2017).

Les pratiques décrites précédemment n'indiquent que quelques-unes des options disponibles pour rendre les exploitations plus durables en protégeant la biodiversité des sols et le fonctionnement des écosystèmes. De nombreuses autres pratiques pourraient être incluses, comme l'utilisation de cultures de couverture pour favoriser la rétention du sol et des éléments nutritifs entre les cycles de culture, ou l'incorporation de résidus de récolte pour maintenir la matière organique du sol, contribuant ainsi à la rétention d'eau et à un apport de nutriments aux cultures (Power, 2010).

### 5.3.3 Conserver la diversité génétique agricole

La FAO définit l'agro-biodiversité comme « la variété et la variabilité des animaux, des plantes et des microorganismes utilisés directement ou indirectement

pour l'alimentation et l'agriculture, y compris les cultures, l'élevage, la foresterie et la pêche. Elle comprend la diversité des ressources génétiques (variétés, races) et des espèces utilisées pour l'alimentation, le fourrage, les fibres, les combustibles et les produits pharmaceutiques. Elle comprend également la diversité des espèces non récoltées qui soutiennent la production (microorganismes du sol, prédateurs, pollinisateurs), et celles présentes dans l'environnement plus général qui soutiennent les agroécosystèmes (agricoles, pastoraux, forestiers et aquatiques) ainsi que la diversité des agroécosystèmes » (FAO, 2004). Cette définition générale englobe tous les aspects de la biodiversité pertinents pour le présent rapport et, en particulier, la biodiversité des sols qui soutient la production et maintient la fonctionnalité des agroécosystèmes.

Alors que plus de 6 000 espèces végétales ont été cultivées pour l'alimentation, moins de 200 contribuent de manière substantielle à la production alimentaire mondiale, et neuf représentaient les deux tiers de la production végétale totale en 2014. Parallèlement, la production animale est basée sur environ 40 espèces, et la diversité génétique au sein de ces espèces est plus limitée que pour les cultures (FAO, 2019d). Bien que ces espèces ne représentent qu'une faible proportion de la biodiversité agricole en termes de richesse et d'abondance spécifiques, comme le montre le Chapitre 3, elles ont fait l'objet de recherches importantes. Si l'agriculture doit évoluer vers une plus grande durabilité, les objectifs de sélection sont susceptibles de changer, et des espèces et races moins répandues pourraient posséder des caractéristiques souhaitables.

Bien que ce domaine de recherche semble prometteur, un nombre limité d'études ont analysé les liens entre diversité des espèces dans les systèmes de culture, valeur nutritionnelle des espèces consommées et sécurité alimentaire et état nutritionnel de la population humaine. Les données disponibles tendent à démontrer qu'une réduction de la diversité des espèces peut avoir des impacts importants sur la diversité nutritionnelle et la nutrition humaine, en particulier à l'échelle de villages ou de communautés (Remans et al., 2011).

La biodiversité, aussi bien au-dessus qu'en dessous du sol, est de plus en plus reconnue comme bénéfique pour la santé humaine, car gérée de manière durable, elle est susceptible d'éliminer les organismes pathogènes du sol et fournir de l'air, de l'eau et des aliments propres. Promouvoir la complexité écologique et la robustesse de la biodiversité des agroécosystèmes par l'amélioration des pratiques de gestion représente une ressource sous-utilisée, susceptible d'améliorer la santé humaine (Wall et al., 2015). Cependant, il est difficile de tirer des conclusions générales, car peu de recherches scientifiques ont été publiées sur les impacts des systèmes agricoles sur la biodiversité, et il existe encore une hétérogénéité significative de pratiques dans le cadre de ce qu'on appelle l'« agriculture durable ». Peu de publications scientifiques sont disponibles sur l'impact de la biodiversité sur les rendements, la qualité de la production et le bien-être humain.

## 5.4 Conclusion du chapitre 5

Ce chapitre met en évidence la diversité des approches et des pratiques agricoles durables et montre que, en dépit des approches concurrentes, il existe déjà, à l'échelle mondiale, des connaissances soutenant l'adoption de pratiques de gestion des terres plus durables et adaptées localement. Il montre également l'importance des interactions écologiques entre les systèmes agricoles, les sols et la santé des paysages, et en particulier les liens positifs et négatifs entre biodiversité, productivité des paysages et fourniture de services écosystémiques. Ces interactions ont des conséquences directes pour tous les agriculteurs, et en particulier les plus vulnérables, qui auront besoin de développer des pratiques susceptibles de soutenir leur capital de sol et leurs moyens de subsistance, et de contribuer à accroître leur résilience face aux impacts négatifs des changements climatiques. Elles ont des implications pour les décideurs, chargés de fournir les mesures incitatives et les réglementations les plus appropriées, et pour les acteurs en aval qui devront ajuster leurs propres stratégies et sécuriser leur activité afin de préserver la sécurité alimentaire et satisfaire les consommateurs et les attentes sociétales émergentes.



## Chapitre 6

Amélioration de la santé des terres grâce à la transformation des systèmes alimentaires



Les connaissances accumulées sur l'agriculture durable n'ont eu qu'un impact limité sur les principaux acteurs du système alimentaire : les agriculteurs, les entreprises, les gouvernements et les consommateurs. Les chapitres précédents ont montré que la gestion des paysages agricoles peut apporter un bénéfice optimal pour la société quand la gestion des terres va au-delà de la production de nourriture pour tendre vers une gérance environnementale. En fait, il existe de nombreux précédents en matière de gérance environnementale dans le secteur agricole, comme des pratiques visant à atténuer les risques d'inondation dans les bassins versants ou à protéger les habitats pour la biodiversité à l'intérieur des limites des champs.

Bien que les solutions pour une agriculture durable soient disponibles, des informations supplémentaires sont souvent nécessaires au niveau local pour aider les agriculteurs à trouver les bonnes options pour leur contexte. Tirer bénéfice d'une gestion durable des terres au niveau de l'agroécosystème et de l'exploitation implique de restaurer et de protéger la biodiversité des sols, de maintenir la biodiversité de l'exploitation dans son ensemble et de protéger la biodiversité dans le paysage agricole plus général. Cela nécessite, à son tour, une combinaison de pratiques agricoles appropriées, telles que celles identifiées comme approches agro-écologiques, et de pratiques de gestion des paysages, telles que la protection des forêts, des pâturages et des zones humides.

La restauration et la protection de la biodiversité à ces différents niveaux ont des implications pour différents acteurs et nécessitent de nouveaux arrangements institutionnels permettant de régir ces rôles. Bien que les agriculteurs bénéficient de certains avantages d'une agriculture durable, d'autres bénéfices seront appréciés par les consommateurs en aval, créant des opportunités de responsabilité partagée et de mesures incitatives. En outre, les actions à l'échelle d'un paysage dépendent d'une action collective et d'un secteur public en capacité d'assumer ses responsabilités, ce qui pose des défis supplémentaires de mise en œuvre.

Bien que les changements ne se produisent que sporadiquement à travers le monde, ils indiquent néanmoins que la dynamique est lancée. La demande d'aliments biologiques, par exemple, a plus que

quadruplé la superficie des terres cultivées en agriculture biologique entre 1999 et 2015. Cependant, même à ce rythme de croissance, l'agriculture biologique ne représentait que 1,4% des terres agricoles mondiales en 2017 (Willer & Lernoud, 2018). Ce chapitre examine certains des facteurs susceptibles d'entraver l'adoption de pratiques durables par différents acteurs du secteur agricole. Il s'inspire de quelques exemples d'innovation en matière de mise à l'échelle, à partir desquels des leçons peuvent être tirées pour guider les pratiques à plus grande échelle.

## 6.1 Obstacles à l'adoption et à la mise en œuvre

Attitudes et connaissances, politiques et incitations perverses, ainsi que paradigmes et modèles commerciaux profondément ancrés limitent encore l'adoption de pratiques durables. Le rapport du PHNE sur « les approches agro-écologiques et autres approches innovantes pour une agriculture et des systèmes alimentaires durables qui améliorent la sécurité alimentaire et la nutrition » (HLPE, 2019) a classé ces obstacles en cinq domaines principaux :

1. Facteurs de gouvernance, y compris les systèmes politiques à court terme et compartimentés, les politiques commerciales, les cadres juridiques et les mesures incitatives renforçant l'agriculture non durable ;
2. Facteurs économiques, y compris les dépendances envers les facteurs limitants, la consolidation accrue des entreprises, le déclin de l'emploi rural, la montée des inégalités, les options limitées de marché pour les produits alimentaires durables, les coûts élevés et l'incertitude ou les risques perçus associés à l'innovation en faveur de transitions durables ;
3. Facteurs de ressources, tels que la faible fertilité des sols, les lacunes technologiques, les lacunes de productivité, le manque de main-d'œuvre, l'accès inadéquat à la terre, à l'eau, aux semences, aux ressources génétiques, au crédit et à l'information ;

4. Facteurs sociaux et culturels, y compris les changements alimentaires, les attentes des producteurs et des consommateurs, les discours dominants, le capital social, les normes et pratiques socioculturelles et les préférences alimentaires ;
5. Facteurs de connaissances, tels que les paramètres de recherche ne tenant pas compte des externalités environnementales ou sociales, les investissements publics biaisés dans la recherche-développement, le manque de connaissances ou de capacités dans les innovations favorisant la santé des terres, et le manque d'information sur les technologies existantes ou nouvelles.

Les facteurs de connaissances sont essentiels, car il existe encore des lacunes importantes dans les connaissances en matière de biodiversité des sols et de santé des terres. Ce fondement de l'agriculture durable est ignoré par de nombreux acteurs, tout simplement parce qu'ils ne le connaissent pas. Souvent, la biodiversité est mentionnée en termes d'espèces menacées, telles que les oiseaux ou les pollinisateurs, ou en termes de cultures et de races de bétail que les agriculteurs ont délibérément abandonnées pour différentes raisons. L'attitude dominante à l'égard des terres agricoles est de traiter le sol comme un substrat inerte dans lequel des intrants externes sont nécessaires pour nourrir les cultures. Une compréhension plus profonde et plus générale du sol en tant que système écologique est urgente, et plus largement de la façon dont les liens entre biodiversité et productivité et résilience des paysages peuvent fournir un flux de co-avantages pour la société.

La transformation à grande échelle de l'agriculture doit inclure des moyens d'encourager les petits agriculteurs ainsi que les grands producteurs. Contrairement à une croyance répandue, les petits exploitants ne produisent pas la majorité de la nourriture mondiale, mais ils représentent la majorité des agriculteurs du monde. À l'échelle mondiale, environ 84% des exploitations agricoles ont une superficie inférieure à 2 hectares et utilisent environ 12% des terres agricoles mondiales (Lowder et al., 2016). La contribution de ces exploitations à la production mondiale de calories

alimentaires a été estimée entre 18% et 34%, bien que ces estimations soient très sensibles aux définitions d'échelle et aux lacunes dans les données (Herrero et al., 2017, Ricciardi et al., 2018).

Bien qu'il existe une tendance à faire une distinction entre l'agriculture des petits exploitants (« les victimes ») et l'agriculture industrielle (« les méchants »), cette vision néglige le rôle dominant de l'exploitation familiale dans l'agriculture, celle-ci pouvant appartenir aux deux catégories. Une exploitation familiale est détenue et exploitée par une famille, et repose essentiellement sur la main d'œuvre familiale. Ces exploitations peuvent être de toute taille, et dominent la superficie des terres agricoles. En extrapolant les données précédentes, si les agriculteurs familiaux (y compris les petits exploitants) représentent plus de 90% des exploitations agricoles et exploitent environ 75% des terres agricoles mondiales, il s'ensuit que 6% des exploitations agricoles mondiales sont des exploitations familiales, qui gèrent 63% des terres agricoles mondiales. Ce groupe représente donc un groupe cible important pour les programmes visant à développer l'agriculture durable. Les 10% restants des exploitations gèrent les 25% restants des terres agricoles du monde : il s'agit probablement d'une combinaison d'exploitations agricoles publiques et appartenant à des entreprises privées. Il est indispensable de développer de meilleures données sur le profil et l'étendue de ces différents groupes d'agriculteurs afin de comprendre les possibilités d'expansion de l'agriculture durable.

L'un des principaux défis pour développer l'adoption de l'agriculture durable est de traduire les principes agro-écologiques en stratégies pratiques et durables pour la gestion des sols, de l'eau et de la biodiversité, afin d'améliorer la productivité des terres et la résilience (Nicholls & Altieri, 2018). Le succès de l'expansion des différentes technologies, approches et pratiques dans le domaine de l'agriculture durable dépendra d'un examen attentif de la façon dont elles peuvent être adaptées localement au contexte social, économique et écologique existant dans lequel elles doivent être appliquées (Coe et al., 2014). Cela comprend la promotion du co-apprentissage et l'exploitation des connaissances et de l'innovation locales, afin de guider l'application de ces technologies, approches et pratiques (Pretty et al., 2011). Si la connaissance des agriculteurs est essentielle à

l'adoption de pratiques agricoles durables, l'agrobusiness exerce également une influence puissante. La mondialisation et le commerce international se sont rapidement développés et ont connecté de nombreux agriculteurs aux marchés d'exportation et d'importation, principalement grâce aux investissements de sociétés alimentaires transnationales. Cette mondialisation des systèmes alimentaires a fait qu'un petit nombre d'entreprises très influentes joue un rôle vital dans l'intégration verticale des marchés agroalimentaires, et contrôlent les grandes chaînes d'approvisionnement (Gliessman & Tiftonell, 2015). La transformation des systèmes agroalimentaires par des approches agro-écologiques devrait donc tenir dûment compte de ces entités transnationales, en fonction de leur capacité à façonner les pratiques liées à l'alimentation et à l'agriculture.

Les conditions sociales, politiques et économiques qui entourent les agriculteurs influencent inévitablement leurs décisions concernant les pratiques agricoles. Les stratégies efficaces pour développer l'innovation dans l'agriculture comprennent la relance des systèmes agricoles traditionnels, comme dans le cas de l'agroforesterie au Sahel, et la création de sites sentinelles, ou pilotes, à partir desquels les expériences peuvent être diffusées aux zones environnantes. Pour être pleinement efficaces, ces approches devraient être complétées par des politiques de soutien et des arrangements améliorant l'engagement des marchés et la viabilité économique (Nicholls & Altieri, 2018).

Les sections suivantes de ce chapitre sont axées sur les possibilités d'éliminer les obstacles susmentionnés à l'expansion de l'agriculture durable, et sur trois domaines dans lesquels des progrès peuvent être réalisés :

1. Une meilleure compréhension et valorisation des valeurs des terres et des paysages agricoles ;
2. Des mesures incitatives pour une action transformatrice, tant positive que négative, économique et réglementaire ; et
3. La réduction des risques associés à la transition vers une agriculture et une production alimentaire préservant la santé des terres.

## 6.2 Meilleure compréhension et valorisation des paysages agricoles

Les Chapitres 3 et 4 ont montré comment les processus écologiques liés à la biodiversité et à la santé des terres contribuent à la fourniture d'une gamme de services écosystémiques utilisés comme intrants agricoles. Les investisseurs et décideurs ont traditionnellement considéré les intrants agricoles comme regroupant les terres, le travail, le capital financier et la gestion (« facteurs de production »), et ont considéré la valeur de la production agricole comme une fonction du coût de ces intrants. En règle générale, les services écosystémiques utilisés comme intrants dans la production n'ont pas été considérés en termes économiques, ou ont été traités comme des biens publics, fournis gratuitement au producteur. En tant que tels, ces services n'ont pas de prix de marché cohérent et convenu pour réguler leur consommation ou indiquer leur valeur économique. Une conséquence bien connue de cette absence de prix de marché est que la consommation de services écosystémiques dépasse leur offre, car les écosystèmes dont ils sont issus voient leur qualité et leur étendue diminuer, du fait d'une surutilisation et d'un manque de réinvestissement.

Certains acteurs des systèmes alimentaires reconnaissent la contribution essentielle des services écosystémiques à la production agricole. Toutefois, comme il a été mentionné précédemment, ces services non marchands n'ont pas de valeur de marché, et ne peuvent donc pas être facilement évalués en termes monétaires et intégrés dans les décisions de budgétisation et d'allocation des ressources agricoles, de la même manière que d'autres facteurs de production. Par exemple, la matière organique du sol est connue pour améliorer l'humidité du sol et le stockage des nutriments, ce qui garantit des rendements accrus et résilients, mais cet avantage n'est pas facilement quantifiable (Oldfield et al., 2019) et n'est généralement pas pris en compte dans la tarification des terres agricoles. Ainsi, la valeur économique des intrants essentiels des services écosystémiques n'est pas prise en compte dans la prise de décisions.

Un changement de paradigme est nécessaire pour que la valeur des services écosystémiques améliorant la santé des terres (en particulier ceux liés aux processus du sol) soit reconnue, et que les écosystèmes dont ces services dépendent soient considérés comme des actifs. Ce paradigme signifie que les actifs de l'écosystème, tout comme les actifs financiers et autres, auront besoin de réinvestissements réguliers pour maintenir les stocks et le flux de ces stocks en tant que services aux utilisateurs. Dans le cas des actifs écosystémiques, ce « réinvestissement » peut inclure la conservation et la protection des écosystèmes, la restauration et la réhabilitation des terres et une gestion écologique continue.

Un tel changement de paradigme s'est produit aux États-Unis, où les rendements agricoles continuent d'augmenter en parallèle à un fort soutien politique pour la santé des sols. Ce changement prend ses racines dans la Loi sur la conservation des sols, adoptée en 1935 en réponse à la période de sécheresse et d'érosion sévère des sols dans les années 1930, connue sous le nom de Dust Bowl. En 1938, un effort massif de conservation avait réduit l'érosion des sols de 65%, et depuis lors, la santé des terres est restée une valeur pour les agriculteurs, les propriétaires fonciers et les investisseurs américains (voir Encadré 2). Les changements climatiques entraînant aujourd'hui des changements dans les pratiques agricoles et commerciales, les investissements, les politiques et les habitudes de consommation, un changement de culture similaire concernant la santé des terres est à nouveau nécessaire, mais cette fois, à l'échelle mondiale.

## ENCADRÉ 2 INTÉGRER LA VALEUR DE LA SANTÉ DES SOLS DANS LES POLITIQUES AMÉRICAINES

Les propriétaires fonciers non-exploitants contrôlent 41% des terres agricoles aux États-Unis, dont 62% dans le Midwest. Les baux fonciers peuvent constituer à la fois des mesures incitatives et des obstacles à l'amélioration de la santé des terres. Les contrats de location de terres varient d'un État à l'autre, aux États-Unis, et beaucoup peuvent inclure des dispositions relatives à la santé des terres<sup>32</sup>. Par exemple, de nombreux baux dans le Midwest incluent des dispositions visant à maintenir les niveaux de fertilité des terres louées, ainsi que des accords entre le propriétaire et le locataire concernant l'application et le retrait de nutriments. Ce concept peut être étendu à d'autres éléments de la santé des terres, tels que la santé plus générale des sols, la biodiversité, la qualité et la quantité d'eau. Plusieurs États évaluent les structures juridiques de location qui abordent la santé des sols et autres services de santé des terres. Ces structures de location dépendent de l'évolution scientifique de la quantification de la santé du sol, du potentiel de l'habitat, de l'amélioration de la quantité d'eau et autres facteurs<sup>33</sup>.

De nombreuses initiatives publiques et privées ont porté sur l'évaluation des avantages économiques de pratiques améliorant la santé des sols pour les agriculteurs, les chaînes d'approvisionnement agricoles et la société dans son ensemble. Très peu de programmes ont compilé des données à une échelle suffisamment fine pour comprendre tous les avantages de la santé des terres pour l'amélioration de la production agricole.

Le programme Precision Conservation Management<sup>34</sup> (Gestion de la conservation de précision) est un effort mené par les agriculteurs pour développer des plans d'amélioration continue sur le terrain, grâce à l'utilisation de mesures de durabilité, de modèles économiques, de données de gestion agronomique et de consultation individuelle. Les mesures permettent aux agriculteurs de mieux internaliser les pratiques de santé des terres dans les budgets de dépenses opérationnelles et les modèles de planification financière. Le programme de recherche et d'éducation en agriculture durable (SARE) du Département de l'agriculture des États-Unis (USDA) a étudié l'économie des cultures de couverture et de la santé des terres. Un récent bulletin technique du SARE<sup>35</sup> résume l'augmentation de la superficie des cultures de couverture aux États-Unis entre 2012 et 2017 (une hausse de 50%) et les facteurs économiques liés à l'impact des cultures de couverture sur la santé des terres agricoles.

---

<sup>32</sup> <https://www.extension.iastate.edu/agdm/wholefarm/html/c2-01.html>

<sup>33</sup> <https://farmdoc.illinois.edu/management#handbook-farmland-leasing>

<sup>34</sup> <https://www.precisionconservation.org/>

<sup>35</sup> <https://www.sare.org/Learning-Center/Topic-Rooms/Cover-Crops/Cover-Crops-Economics>

### 6.2.1 Obstacles à la valorisation et à la conservation de la santé des terres

Les lacunes dans les connaissances sur les avantages, les possibilités et les pratiques de l'agriculture durable entravent souvent son adoption. L'agriculture durable est un processus nécessitant une grande quantité de connaissances, et investir dans la santé des sols nécessitera une augmentation significative des investissements dans la science.

Comme mentionné précédemment, la prise de décisions en matière de gestion agricole est généralement fondée sur la relation entre la terre, la main-d'œuvre, le capital, les coûts de gestion et la valeur de marché de la production. Cette approche pourrait constituer une puissante incitation perverse contre l'adoption de pratiques agricoles durables. Le produit national brut agricole et les prix des produits de base agricoles sont des indicateurs couramment rapportés dans les statistiques agricoles nationales utilisées par les agences des Nations unies et les banques de développement. En comparaison, il existe un manque de statistiques sur les changements dans l'étendue et les conditions des écosystèmes qui sous-tendent les services utilisés comme intrants agricoles. Cependant, les récents développements de la comptabilité économique et environnementale et de la comptabilité écosystémique par l'ONU et plusieurs organismes nationaux de statistique commencent à remédier à cette situation, à mesure que les méthodes de comptabilité environnementale et écosystémique deviennent disponibles pour les décideurs et les planificateurs agricoles. En outre, les gouvernements ont tendance à déléguer la responsabilité des services de vulgarisation et de renforcement des capacités des agriculteurs aux détaillants d'intrants agricoles (pour les semences, les engrais et les produits agrochimiques), qui sont probablement plus intéressés par la protection de leurs marchés<sup>36</sup> que par la promotion des activités durables décrites dans le présent rapport.

La complexité des systèmes agroalimentaires complique encore la promotion des valeurs de la santé des terres (HLPE, 2017). En outre, les défis varient

considérablement d'un pays à l'autre. Comme indiqué au Chapitre 2, certains pays font face à une crise croissante d'obésité, tandis que d'autres sont encore confrontés à des niveaux élevés de sous-nutrition et de carences en micronutriments. Les pays faisant de la production alimentaire une priorité de développement pourraient avoir tendance à se méfier des risques perçus comme associés à l'agriculture durable et douter de son potentiel en tant qu'alternative crédible aux pratiques conventionnelles éprouvées. Bien que les données scientifiques disponibles constituent un argument convaincant en faveur d'une agriculture durable, elles n'ont pas encore pleinement influencé la politique agricole générale de nombreux pays.

Dépeindre les pratiques agricoles durables comme des options d'avenir, scientifiques et progressistes, plutôt que comme des pratiques archaïques, peut aider à surmonter une partie de la résistance au changement. Dans les pays développés, les systèmes agro-écologiques peuvent remplacer les approches de gestion fortement tributaires des combustibles fossiles et d'apports chimiques par une gestion à forte intensité de connaissances. L'agriculture à forte intensité de connaissances peut réduire l'empreinte environnementale de l'agriculture tout en créant des emplois dans les zones rurales. Cela devrait représenter un argument convaincant pour les pays en développement, possédant une abondante main-d'œuvre rurale et une rareté relative de combustibles fossiles et de produits chimiques. Cependant, la promotion des approches agro-écologiques dépend d'une impulsion majeure en matière d'éducation, combinée à la création d'institutions permettant aux agriculteurs de devenir des agents actifs (Carlisle et al., 2019).

### 6.2.2 Solutions pour promouvoir efficacement l'agriculture durable à grande échelle

L'adoption généralisée de l'agriculture durable dépend de l'innovation dans tout le système agroalimentaire. Cependant, l'innovation ne se limite pas à la technologie, et l'innovation agricole combine le changement technologique, social, économique et institutionnel. L'innovation agricole exige le développement et l'échange

<sup>36</sup> <https://ag4impact.org/sid/socio-economic-intensification/building-human-capital/agricultural-extension/>

de connaissances, ainsi que la prise en compte des politiques, de la législation, de l'infrastructure, du financement et du développement des marchés. L'innovation agricole dépend souvent des interactions entre les réseaux de parties prenantes, qui permettent aux acteurs de développer une vision commune, de créer des liens commerciaux et des flux d'information, de renforcer la coopération, de développer les marchés, d'établir des environnements législatifs et politiques et de développer le capital humain (Klerkx et al., 2012). Les réseaux d'acteurs de l'agriculture, y compris les réseaux sociaux informels, jouent un rôle important dans la médiation des relations sociales et le renforcement de la confiance et des connaissances. Ces réseaux se sont révélés influents dans la promotion du changement social et de la compréhension des agriculteurs, ainsi que pour l'adoption de pratiques agricoles durables (Carolan, 2006).

L'adoption de l'agriculture de conservation donne un aperçu de la façon dont les connaissances et les attitudes des agriculteurs influencent l'innovation. L'agriculture de conservation est passée de 45 millions d'hectares en 2004 à plus de 125 millions d'hectares en 2012, et occupe aujourd'hui environ 10% de la surface des terres arables mondiales (Kassam et al., 2019). La majeure partie de cette expansion s'est produite en Amérique du Nord et du Sud, en Océanie et en Afrique. La superficie totale de

l'agriculture de conservation en Europe est estimée à 22,7 millions d'hectares, soit environ 25,8% des terres arables de la région (Kertész & Madarász, 2014).

L'adoption de l'agriculture de conservation en Europe a été largement motivée par la possibilité d'améliorer les rendements nets, grâce à une réduction des coûts d'exploitation, de main-d'œuvre et des intrants. Les préoccupations relatives à la conservation des sols et de l'eau ne semblent pas figurer parmi les principaux facteurs de décisions des agriculteurs européens de passer ou non à l'agriculture de conservation (Lahmar, 2010).

L'adoption de l'agriculture de conservation en Europe, par exemple en Norvège et en Allemagne, s'est faite par étapes, les grands agriculteurs ayant été les premiers à franchir le pas. Cette tendance devrait se poursuivre, étant donné la pression croissante pour améliorer la compétitivité des exploitations et l'augmentation constante des coûts des carburants (Lahmar, 2010). Bien que les preuves des valeurs environnementales de l'agriculture de conservation puissent sembler convaincantes pour les scientifiques, les preuves des économies réalisées grâce à la réduction des coûts des intrants pourraient être plus décisives pour les agriculteurs.

### ENCADRÉ 3 DÉVELOPPER LES CAPACITÉS ET L'EXPÉRIMENTATION DE LA VALEUR DE LA SANTÉ DES SOLS<sup>37</sup>

Les agriculteurs font face à de nombreux risques au moment de changer leur système de production, y compris une réduction potentielle des rendements, des essais et des erreurs dans la mise en œuvre de nouvelles pratiques et des investissements dans l'équipement. Ces risques et obstacles dissuadent fortement les agriculteurs d'adopter des pratiques agricoles durables. Parallèlement, les entreprises ne sont pas en mesure de définir et de mesurer les performances de l'agriculture de conservation, car il n'existe pas d'indicateurs convenus pouvant être inclus dans les politiques d'approvisionnement responsable.

L'initiative Living Soils (Sols vivants) de la Fondation Earthworm vise à surmonter ces obstacles en :

1. Créant des solutions pilotes qui réduisent les risques et encouragent davantage la transition vers une agriculture de conservation, par exemple en rémunérant les agriculteurs pour la conservation des actifs écosystémiques à partir desquels les services sont fournis, y compris la séquestration et le stockage du carbone dans les sols ;
2. Développant les critères « Sols vivants » pour fournir aux entreprises un mécanisme d'évaluation de la production dans leurs chaînes d'approvisionnement sur la base d'un « score de sols vivants ».

La Fondation travaille avec les agriculteurs, les entreprises, les investisseurs, les institutions de recherche et les gouvernements pour co-crée et mettre en œuvre ces solutions. Elle offre un soutien scientifique et une formation sur le terrain, et renforce les réseaux d'agriculteurs afin de partager l'information et les connaissances. Un paysage pilote est en cours de test dans le nord de la France (Picardie), où sont cultivées des cultures arables pour le compte de Nestlé, Cerelia, Lidl et autres entreprises ayant rejoint l'initiative.

L'adoption de l'agriculture de conservation en Afrique a été influencée par d'autres facteurs, y compris la formation, l'appartenance à des organisations paysannes, la propriété de l'équipement nécessaire pour supprimer les labours et l'utilisation d'herbicides (Nyanga, 2012). L'adoption a également été influencée par la taille des exploitations, ce qui confirme l'expérience en Europe selon laquelle les grands agriculteurs sont plus fréquemment les premiers à franchir le pas. Cela peut être corrélé avec leurs droits de propriété ou leur accès à l'équipement et autres ressources nécessaires, y compris les ressources humaines. L'adoption a également été influencée par le

rapport et la confiance entre agriculteurs et agents de vulgarisation, la réciprocité et l'altruisme, à l'image de la recherche précédente sur les réseaux d'innovation. La stratégie de vulgarisation a joué un rôle déterminant, notamment en ce qui concerne le suivi et l'évaluation, ainsi que la qualité et l'étendue des connaissances techniques. En outre, il a été constaté qu'un leadership traditionnel favorisait l'adoption de l'agriculture de conservation dans la plupart des cas. En particulier, les leviers de l'adoption différaient entre les hommes et les femmes, reflétant les différences sexospécifiques quant aux rôles et aspirations des agriculteurs.

<sup>37</sup> <https://www.earthworm.org/our-work/projects/living-soils-in-rosi%C3%A8res-en-sant%C3%A9-terre-france>

#### ENCADRÉ 4 REVERDIR LE SAHEL : DE MULTIPLES INCITATIONS À LA TRANSFORMATION À GRANDE ÉCHELLE AU NIGER (GRAY ET AL., 2016)

Au Sahel, sept millions d'hectares de terres ont retrouvé une couverture végétale au cours des 25 dernières années, après les importantes sécheresses ayant ravagé la région dans les années 1970 et 1980. Les moteurs de cette re-végétalisation font encore l'objet de débats parmi les scientifiques, mais on pense que des changements dans la propriété des arbres ont joué un rôle important. Les progrès ont peut-être également été stimulés par le mouvement, au niveau local, ayant favorisé l'adoption d'une gestion durable innovante des exploitations, connue sous le nom de régénération naturelle assistée par les agriculteurs (RNAA), un exemple de pratique agroforestière. La RNAA est définie comme un processus par lequel les agriculteurs protègent et gèrent les arbres qui se régénèrent naturellement sur leurs terres, plutôt que de les abattre. La RNAA a donné lieu à de multiples avantages paysagers, y compris l'augmentation des rendements agricoles, la réhabilitation des terres dégradées, l'expansion des jardins irrigués en saison sèche, la diversification des revenus des ménages, la réduction de l'insécurité alimentaire et l'augmentation de la résilience (Gray et al., 2016).

Les agriculteurs, eux-mêmes, ont joué un rôle central dans l'adoption et la diffusion de la RNAA. Les premiers à franchir le pas ont démontré comment la relance de ces approches traditionnelles d'agriculture a généré des avantages directs, y compris une amélioration de la productivité sur leurs terres agricoles. L'accélération de l'adoption des pratiques dépendait alors de la simplicité, de l'innovation et de la disponibilité de l'information fournie par les efforts des ONG et des agents de vulgarisation. Le renforcement des institutions a permis d'accroître l'appropriation locale et la participation des communautés à la prise de décisions, les aidant ainsi à gérer les compromis à la fois au niveau des ménages et de la communauté. Les communautés ont bénéficié d'avantages directs par l'utilisation des arbres pour le bois de feu, le fourrage et les aliments. Les méthodes utilisées étaient facilement démontrables et reproductibles, et partagées par des démonstrations au sein des exploitations. Bien que les objectifs de régénération à l'échelle des paysages n'aient pas été clairement formulés ou convenus, il existait une compréhension commune de l'action collective nécessaire pour répondre aux préoccupations transversales concernant la déforestation, la dégradation des terres, la diminution de la fertilité des sols, la rareté de l'eau et la vulnérabilité aux changements climatiques.

Les politiques régissant la propriété et l'utilisation des arbres constituaient un défi pour l'adoption de cette innovation. Au Niger, les arbres sont des biens nationaux et leur utilisation est soumise au contrôle du gouvernement. Une interdiction d'utilisation de certaines espèces d'arbres constituait un puissant frein à leur protection ou gestion au sein des exploitations. Une décentralisation ultérieure a permis aux institutions communautaires de décider de l'utilisation des ressources en arbres et arbustes, ce qui a incité les agriculteurs à investir dans la protection et la régénération des arbres. Dès lors, les agriculteurs Nigériens disposaient de droits garantis concernant la gestion des arbres sur leurs exploitations et étaient libérés de la crainte que le gouvernement ne leur impose une amende pour la coupe non autorisée d'espèces protégées ou ne les taxe pour le transport ou le commerce de produits forestiers.

Les résultats impressionnants à long terme au Niger étaient basés sur plusieurs facteurs :

- utilisation d'une approche ascendante ;
- démonstration d'une innovation à faible coût et viable pour la plus grande partie de la communauté ;
- fourniture d'avantages à différentes échelles ;
- autonomisation des communautés et institutions locales pour s'approprier les ressources naturelles et prendre des décisions à leur sujet ;
- utilisation des agents de vulgarisation et des organisations de la société civile comme catalyseurs de l'adoption ;
- utilisation d'une approche intégrée de gestion des paysages.

Favoriser la valeur à long terme est une approche originaire du secteur de l'énergie, dans lequel certains investisseurs ont commencé à considérer les investissements dans les énergies non renouvelables comme des « actifs bloqués », qui pourraient compromettre la durabilité à long terme de ces entreprises. Dans ce contexte, un actif bloqué désigne « un investissement déjà réalisé mais qui, à un moment donné avant la fin de sa vie économique ... n'est plus en mesure de générer un rendement économique » (Caldecott, 2017).

Le même concept a récemment été appliqué à la durabilité de l'agriculture (voir par exemple (TEEB, 2018)). En effet, retarder la transition vers une agriculture durable comporte un risque similaire pour les investisseurs potentiels dans l'agriculture, et pose la question de savoir s'il faut considérer uniquement la valeur de la production ou, plus largement, celle de la santé des terres. Ce type de pensée gagne du terrain au sein des entreprises et de leurs conseils d'administration, y compris dans le secteur agroalimentaire, celles-ci redéfinissant progressivement la valeur<sup>38</sup> et reconnaissant que « la valeur actionnariale ne fait plus tout », comme dans la déclaration récemment signée par 181 chefs d'entreprises aux États-Unis<sup>39</sup>. Inclure la valeur réelle des aliments<sup>40</sup>, par exemple en tenant compte de la santé des sols, comme un élément clé de la durabilité financière et environnementale des entreprises est une approche prometteuse pour entretenir la valeur à long terme de la santé des terres.

## 6.3 Incitations a une action transformatrice

Aborder les incitations à l'action transformatrice exige de faire une distinction entre les stimuli négatifs et les stimuli positifs, c'est à dire entre les mesures incitatives et les mesures dissuasives. Les subventions, normes et critères, en particulier, peuvent bloquer ou encourager la transformation souhaitée. La concentration industrielle ou les stratégies commerciales peuvent être incompatibles avec la nécessaire re-diversification des rotations de cultures et des paysages agricoles. Des arrangements conduisent souvent à une concentration de la capture de valeur et du pouvoir de décision dans la partie finale des chaînes d'approvisionnement, empêchant les agriculteurs de passer à des pratiques plus durables.

Diverses mesures incitatives peuvent être conçues pour promouvoir l'agriculture durable, y compris des mécanismes publics de compensation et des investissements privés en faveur des gestionnaires des terres. Les mécanismes publics comprennent des subventions, mais peuvent également prendre la forme de mécanismes de partage des avantages (Andina, 2014), y compris, entre autres, le paiement des services écosystémiques ou l'indemnisation des agriculteurs pour les services rendus à la société (voir l'Encadré 5 pour d'autres exemples).

---

<sup>38</sup><https://www.wbcsd.org/Programs/Redefining-Value>

<sup>39</sup><https://opportunity.businessroundtable.org/ourcommitment/>

<sup>40</sup><https://www.wbcsd.org/mtxv>

#### ENCADRÉ 5 PROGRAMMES PUBLICS POUR L'AMÉLIORATION DE L'ENVIRONNEMENT DANS L'AGRICULTURE AMÉRICAINE

Les municipalités locales, les gouvernements des États et le gouvernement fédéral des États-Unis ont lancé des programmes de crédits de qualité de l'eau, des incitations à des pratiques favorisant la santé des terres et des systèmes de plafonnement et d'échange de crédits carbone. L'État du Wisconsin a lancé un programme public de crédits de qualité de l'eau<sup>41</sup> par lequel les parties peuvent compenser leurs charges de polluants en travaillant avec les agriculteurs ou autres parties au sein de l'État. Les villes de Milwaukee et Grafton ont utilisé le programme pour des projets pilotes avec des agriculteurs, afin de réduire la charge de phosphore et d'azote dans les sources d'eau de la ville. De même, la ville de Cedar Rapids et plusieurs organismes universitaires, de conservation, industriels, producteurs et publics ont formé le Middle Cedar Partnership Project (Projet de partenariat de Middle Cedar) pour travailler avec les agriculteurs à la mise en œuvre de mesures pour la santé des terres, la qualité et la quantité d'eau (y compris la réduction des inondations) et la santé des sols.

L'agriculture durable peut être encouragée par un certain nombre de mesures économiques, notamment la certification, la réglementation technique, l'élimination progressive des subventions préjudiciables et la promotion d'investissements dans les technologies vertes. Les règlements techniques peuvent comprendre des règlements sur la qualité commerciale et l'étiquetage, la sécurité alimentaire (par exemple pour les résidus de pesticides) et des mesures sanitaires et phytosanitaires. La certification regroupe les réglementations régissant les produits issus de systèmes de production spécifiques. L'agriculture durable peut être encouragée par un investissement sur les marchés en faveur de produits issus de systèmes de production durables, ainsi que de marchés d'importation ou de production (par exemple d'intrants) adaptés à une production durable (UNEP, 2013).

Les systèmes de certification volontaire sont un mécanisme de gouvernance capable de relever les défis environnementaux associés à l'agriculture (Encadré 6). Des mécanismes de certification volontaire ont été établis pour un certain nombre de produits, notamment le bœuf, le café, l'huile de palme et le soja, principalement dans les pays tropicaux. Les mécanismes de gouvernance appropriés pour les différentes chaînes de produits de base sont influencés par plusieurs facteurs, notamment les géographies environnementales, de marché et sociales. Par exemple, au Brésil, la pertinence de différents mécanismes a été déterminée, entre autres, par les priorités en matière de durabilité, l'orientation du marché, la traçabilité de la chaîne d'approvisionnement et les réseaux sociaux (Hajjar et al., 2019).

---

<sup>41</sup><https://dnr.wi.gov/topic/SurfaceWater/WaterQualityTrading.html>

#### ENCADRÉ 6 ÉTIQUETAGE DU « SCORE DE BIODIVERSITÉ » POUR LES CONSOMMATEURS<sup>42</sup>

L'étiquetage des produits est une autre incitation possible fondée sur le marché. Il peut permettre d'influencer les décisions de consommation en améliorant l'accès à l'information. Le projet suisse « Scoring High with Diversity » (Un bon point pour la biodiversité), visant à développer des options de gestion pour une agriculture « respectueuse de la faune et la flore sauvages », en est un exemple. Le projet, qui s'est déroulé de 2008 à 2016, a utilisé un système de points de crédit pour évaluer la biodiversité au sein des exploitations. Les agriculteurs ont également reçu des conseils sur la façon de conserver et de promouvoir la biodiversité sur leurs terres. Un système d'étiquetage simple a été mis au point pour communiquer aux consommateurs les performances améliorées en matière de biodiversité.

Le projet a été soutenu par deux organisations paysannes suisses intéressées par la promotion de la biodiversité sur leurs quelque 26 000 exploitations. Un important détaillant suisse commercialisait des produits provenant d'exploitations participantes sous le label de durabilité « IP-Suisse » (où IP signifie « production intégrée »).

Les investissements dans l'innovation verte peuvent améliorer la durabilité et la résilience des systèmes de production agricole. Certains gouvernements ont mis en place des cadres politiques nationaux visant à articuler une variété de mesures incitatives pour soutenir le passage à des pratiques agricoles plus durables (Encadré 7). Bien que de nombreuses solutions pour une agriculture durable soient connues, les pratiques spécifiques doivent être sélectionnées et adaptées localement. L'innovation ne signifie pas nécessairement une refonte radicale des pratiques agricoles, mais peut se

rapporter à de nouvelles façons de concilier les pratiques durables avec les connaissances locales et les contextes sociaux et écologiques locaux. Un certain nombre d'organismes internationaux de développement ont constaté que « l'intensification durable de la production nécessite un changement majeur du modèle d'innovation axé sur l'offre, vers des systèmes agricoles spécifiques, déterminés en fonction des connaissances et du contexte local, qui conservent et mettent en valeur les ressources naturelles » (UN-HLTF on Global Food Security, 2012).

<sup>42</sup><https://www.fibl.org/en/projectdatabase/projectitem/project/285.html>

#### ENCADRÉ 7 L'INITIATIVE « 4‰ » ET LE PROJET AGRO-ÉCOLOGIQUE FRANÇAIS : UN SOLIDE SCHÉMA ASCENDANT VOLONTAIRE<sup>43</sup>

Le gouvernement français met en œuvre un « projet agro-écologique » qui intègre des mesures et des stratégies dédiées à l'expansion des approches agro-écologiques et contribue au respect de son engagement dans l'initiative 4‰ (voir le Chapitre 4). En 2014, la France s'est fermement engagée dans une transition vers une agriculture plus durable. L'objectif est de faire en sorte que la production agricole et animale devienne écologiquement, économiquement et socialement efficace, tout en restant sûre. Pour atteindre cet objectif, l'agroécologie a été reconnue par la loi<sup>44</sup>.

Les actions liées au projet agro-écologique comprennent, entre autres, le « Plan d'action pour l'agroforesterie », le « Plan protéines végétales » visant à encourager le développement de variétés de légumineuses céréalières et fourragères, le « Plan d'autonomie énergétique méthane et azote » qui encourage le retour de la matière organique dans les sols, et le plan « Ambition Bio » pour l'agriculture biologique.

Le projet comprend également une dimension locale et sociale, avec le développement de plus de 500 groupes d'agriculteurs, dont 38% ont pour objectif principal la restauration de la santé des sols. L'expérience acquise est largement diffusée par le biais de vidéos. Le projet comporte également un important volet éducatif, qui a modifié les programmes d'enseignement pour inclure l'agroécologie et mettre l'accent sur la gestion de la santé des sols.

L'Institut national de la recherche agricole et environnementale a récemment publié une étude sur le potentiel de séquestration de carbone dans les sols en France, qui vise à évaluer le potentiel et le coût de mise en œuvre de cette option, par sous-région, en référence à l'objectif 4‰<sup>45</sup>.

Les gouvernements peuvent prendre des mesures pour promouvoir une agriculture durable en réformant les subventions qui favorisent actuellement des pratiques non durables. Comme indiqué au Chapitre 2, le soutien annuel net à l'agriculture entre 2017 et 2019 dépassait 619 milliards de dollars américains à l'échelle mondiale, et représentait environ 17% des recettes agricoles brutes dans les pays de l'OCDE (OECD, 2020). Bien que certains pays aient réformé leurs politiques pour découpler les transferts de revenus aux agriculteurs, dans l'ensemble, le soutien des prix reste la forme la plus

importante de soutien dans de nombreux pays de l'OCDE et pays émergents. Le soutien des prix est assuré par des droits de douanes et autres mesures douanières, ainsi que par des interventions gouvernementales sur le marché intérieur. Un environnement propice à une agriculture plus écologique comprend la réforme des subventions agricoles, qui peuvent constituer un frein majeur à l'innovation lorsqu'elles introduisent des distorsions de marché, telles que la baisse du coût des intrants (UNEP, 2013).

<sup>43</sup> Pour plus d'informations: [https://www.moag.gov.il/yhidotmisrad/research\\_economy\\_strategy/publication/2018/Documents/3\\_Schwartz\\_20170620\\_projet\\_agro\\_%C3%A9cologique\\_Isra%C3%ABlv3.pdf](https://www.moag.gov.il/yhidotmisrad/research_economy_strategy/publication/2018/Documents/3_Schwartz_20170620_projet_agro_%C3%A9cologique_Isra%C3%ABlv3.pdf)

<sup>44</sup> <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000029573022&categorieLien=id>

<sup>45</sup> <http://institut.inra.fr/en/Objectives/Informing-public-policy/Advanced-Studies/All-the-news/Storing-4-per-1000-carbon-in-soils-the-potential-in-France>

Des subventions innovantes ont été récemment proposées par l'Alliance mondiale pour l'amélioration de la nutrition (GAIN), qui appellent les gouvernements à fournir des incitations aux entreprises pour réparer le système alimentaire mondial (Haddad, 2018). Bien que l'appel de GAIN était axé sur des aliments sains et nutritifs, les mêmes principes s'appliquent à une production alimentaire ayant un impact positif sur la santé des terres. Cependant, des mécanismes peuvent être

nécessaires pour s'assurer que les incitations aux entreprises « se répercutent » sur les agriculteurs responsables de la restauration et de la conservation de la santé des sols. Certaines entreprises agroalimentaires augmentent leurs investissements dans les pays en développement pour sécuriser leurs chaînes d'approvisionnement, améliorer les moyens de subsistance des agriculteurs et encourager des pratiques plus durables (Encadré 8).

#### ENCADRÉ 8 AMÉLIORER LES MOYENS DE SUBSISTANCE ET LES ENTREPRISES DURABLES<sup>46</sup>

La production et l'approvisionnement agricoles sont au cœur des activités d'Olam, une société basée à Singapour qui travaille avec 45 produits agricoles. L'objectif d'Olam d'investir dans la qualité des sols est primordial pour améliorer simultanément l'efficacité de l'utilisation de l'eau, améliorer la productivité des cultures, le revenu des agriculteurs, les moyens de subsistance, ainsi que le volume et la qualité des échanges. Le programme de canne à sucre durable d'Olam dans le Madhya Pradesh et le Maharashtra, en Inde, en cours d'exécution depuis 2013 avec le soutien de l'IFC, de la Fondation Unilever Hindustan, Solidaridad et New Holland, en est un exemple. Dans sa première phase (2013-2016), le programme concernait 21 500 petits exploitants cultivant 20 500 hectares de canne à sucre. La deuxième phase (2017-2020) touche 26 500 producteurs gérant 27 000 ha. Les agriculteurs sont formés aux pratiques visant à améliorer la santé des sols, y compris l'utilisation d'intrants biologiques et d'engrais. Bien que la santé du sol soit considérée comme le fondement de l'amélioration de la productivité, les agriculteurs sont également formés à des variétés de cultures adaptées, à de nouveaux espacements de rangs, à des technologies de culture d'accompagnement et à des technologies améliorées d'irrigation et de conservation de l'eau (comme le paillage des cultures). Grâce au programme, l'utilisation d'intrants biologiques a plus que doublé, et les rendements des cultures ont augmenté de plus d'un tiers. Le volume total de canne à sucre broyée a augmenté de 25% au cours des trois premières années.

Olam adopte de plus en plus d'outils numériques pour suivre et adapter les pratiques et les progrès des agriculteurs concernant de nombreuses cultures. Les données générées révèlent que les 50% inférieurs de la communauté d'agriculteurs fournissent moins de 15 à 20% du volume des échanges, principalement en raison de la taille des exploitations.

Malheureusement, de nombreux agriculteurs de ce groupe inférieur ne possèdent que très peu de ressources ou de temps pour investir dans la santé des sols. Leurs petites parcelles et leurs faibles rendements rendent les crédits de trésorerie risqués. Les outils de soutien aux exploitations d'Olam mettent l'accent sur des améliorations progressives, dans les limites possibles pour ces agriculteurs, mais des partenariats (publics) sont souvent nécessaires pour soutenir ce segment inférieur, afin de générer des revenus supplémentaires à l'extérieur des exploitations en soutenant le développement d'activités économiques non agricoles.

<sup>46</sup> <https://www.olamgroup.com/sustainability/olam-livelihood-charter.html>

Les programmes bilatéraux de « paiements pour résultats » sont des accords de financement sous forme de subventions entre pays, dans le cadre desquels un pays donateur rémunère un autre pays pour un résultat environnemental spécifique, tel que la réduction de la déforestation par rapport à un niveau de référence historique (Wong et al., 2016). Par exemple, en 2008, la Norvège a accepté de payer jusqu'à 1 milliard de dollars américains sur cinq ans au Brésil pour une réduction des émissions de gaz à effet de serre provenant de la déforestation en dessous d'un niveau convenu (Birdsall, Savedoff & Seymour, 2014). De tels systèmes pourraient également être utilisés pour générer des revenus favorisant des améliorations dans d'autres aspects de la gestion des terres, y compris les efforts visant à améliorer la santé des sols.

### 6.3.1 Évaluation de la performance des systèmes d'utilisation durable des terres

#### 6.3.1.1 Métrique

Les objectifs scientifiques et indicateurs de performance associés peuvent également servir d'incitations, en particulier pour les acteurs du système alimentaire susceptibles d'avoir un impact à grande échelle, tels que les entreprises, les investisseurs et les gouvernements. Diverses initiatives pourraient contribuer à l'élaboration de ces indicateurs, notamment le programme de neutralité en matière de dégradation des terres établi par la Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification (UNCCD, 2015). Le programme a mis au point trois sous-indicateurs utilisés pour évaluer la dégradation et la restauration des terres : 1) les tendances en matière de couverture des sols, 2) les tendances de productivité ou de fonctionnement des terres, et 3) les tendances du stock de carbone au-dessus et en dessous du sol. Le cadre des « 3 C » pourrait représenter une autre base pour l'élaboration d'indicateurs (Locke et al., 2019). Le cadre propose des lignes de référence concernant une gamme de variables de biodiversité et de durabilité, y compris les stocks de carbone en-dessus et au-dessous du sol dans trois « conditions » d'utilisation des terres (villes et exploitations agricoles, terres partagées, grandes zones sauvages), afin de guider la définition des réponses de

conservation et des pratiques de production. Parmi les autres approches susceptibles de favoriser le développement de mesures pertinentes, citons la stratégie « Half-Earth » (La moitié de la Terre) adoptée par le rapport EAT Lancet (Willett et al., 2019), et selon laquelle 50% de toutes les écorégions du monde devraient être gérées de manière à favoriser la conservation de la biodiversité d'ici 2050. Les indicateurs pourraient également s'appuyer sur des outils établis, comme la Liste rouge des écosystèmes de l'UICN (Alaniz et al., 2019; Bland et al., 2019).

#### 6.3.1.2 Recommandations et directives volontaires

Un certain nombre de recommandations internationales et de directives volontaires relatives à la gestion durable des terres ont été publiées ces dernières années. Elles fournissent des références et des normes garantissant le respect des droits socioéconomiques (telles que les directives volontaires du CSA sur le droit à l'alimentation, sur la gouvernance responsable des régimes fonciers et sur les investissements responsables), et renforcent la valeur de la santé des sols (par exemple, le rapport sur l'État des ressources du sol dans le monde, les Directives volontaires pour une gestion durable des sols, le Code de conduite international pour une utilisation et une gestion durables des engrais, et les Directives pour la recarbonisation des sols mondiaux) (FAO, 2017, 2019b, 2019a).

#### 6.3.1.3 Projections et trajectoires possibles

Le Consortium FABLE, un réseau de connaissances composé d'équipes de recherche de 18 pays et opérant dans le cadre du FOLU, a proposé des « trajectoires nationales intégrées vers une utilisation durable des terres et des systèmes alimentaires compatibles avec les objectifs mondiaux » pour 18 pays et sept régions supplémentaires (FABLE, 2019). Le rapport est aligné sur d'autres objectifs établis, tels que la stratégie Half-Earth et la Voie de décarbonisation rapide résultant de l'Accord de Paris de 2015 (Rockström et al., 2017), ainsi que les Objectifs d'Aichi pour la biodiversité. Il propose plusieurs objectifs à atteindre d'ici 2050, visant à favoriser un changement vers la restauration de la santé des terres.

Il s'agit notamment de faire en sorte que les émissions de GES provenant des cultures et du bétail, ainsi que les absorptions dues à l'utilisation des terres, au changement d'affectation des terres et à la foresterie, soient compatibles avec l'objectif de maintenir la hausse des températures mondiales moyennes bien en dessous de 1,5°C. Les propositions incluent également de veiller à ce qu'une part minimum de la superficie terrestre soit dédiée à la biodiversité et incluse dans des aires protégées.

L'initiative FABLE illustre l'approche à long terme qui sera nécessaire pour une transition politique à l'échelle nationale. Malheureusement, ces approches omettent souvent d'inclure des évaluations de la biodiversité et des pratiques agricoles, essentielles pour relever le défi de la santé des sols et de la préservation de la biodiversité dans les paysages agricoles.

## 6.4 Réduire les risques liés à la transition

Les agriculteurs font face à un large éventail de risques et prennent des décisions quotidiennes avec peu de certitude quant aux résultats. Le passage de pratiques établies dans l'agriculture conventionnelle à des pratiques agricoles durables alternatives peut accroître l'incertitude et l'exposition à de nouveaux risques. Les agriculteurs intéressés par cette transition pourraient être réticents à s'exposer à de tels risques. Améliorer la compréhension des risques encourus, distinguer les risques réels et perçus, et mettre en place des mécanismes pour les absorber ou les compenser, peut être un moyen utile de catalyser l'adoption de pratiques durables.

Une façon traditionnelle de réduire les risques est aussi ancienne que l'agriculture elle-même, illustrée par l'adage « ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier », et consiste à diversifier la production d'une exploitation, y compris les cultures, les animaux et les produits non alimentaires. La biodiversité agricole est largement considérée comme l'épine dorsale de l'intensification agricole durable, fournissant une riche ressource pour une alimentation saine et diversifiée tout au long de l'année grâce à des espèces et des variétés

riches en nutriments. En effet, les ménages travaillant avec un ensemble diversifié de cultures et d'animaux sont moins susceptibles à la pauvreté que les ménages spécialisés dans une production végétale plus spécifique (Bioversity International, 2017).

Les politiques agricoles fournissent également de plus en plus d'outils de réduction des risques afin d'aider les agriculteurs à adopter des pratiques respectueuses de l'environnement. Par exemple, les mesures agroenvironnementales sont un élément clé de l'intégration des préoccupations environnementales dans la politique agricole commune (PAC) de l'UE. Elles sont conçues pour encourager les agriculteurs à protéger et à améliorer l'environnement sur leurs terres en les rémunérant pour la fourniture de services environnementaux. Les agriculteurs s'engagent, pour une période minimale d'au moins cinq ans, à adopter des techniques agricoles respectueuses de l'environnement allant au-delà de leurs obligations légales. En contrepartie, ils reçoivent une rémunération qui compense les coûts supplémentaires et les pertes de revenus résultant de l'application de ces pratiques agricoles conformément aux dispositions des contrats agroenvironnementaux.

L'assurance est un autre moyen puissant de réduire les risques de toute transition. L'assurance des agriculteurs a le potentiel de renforcer la résilience des petits exploitants. Elle fournit non seulement une rémunération lors de mauvaises années, afin d'aider les agriculteurs à survivre et à protéger leurs actifs, mais aide également à débloquer des opportunités visant à augmenter la productivité dans les années de non-paiement, pouvant permettre d'éviter ou d'échapper aux pièges de la pauvreté (Greatrex et al., 2015).

Les mécanismes d'assurance, qu'ils soient privés ou publics (tels que les filets de sécurité présents en Éthiopie), sont un moyen établi et de plus en plus populaire de réduire les risques liés aux activités des agriculteurs et de passer à des pratiques plus résilientes et durables. La plupart du temps, ils sont combinés à une innovation technologique, comme par exemple, alerter les agriculteurs d'événements météorologiques et des tendances du marché via les téléphones mobiles. Cela a été largement documenté par le programme Défi du

CGIAR sur les changements climatiques, l'agriculture et la sécurité alimentaire<sup>47</sup>, sans se limiter aux cultures. Des mécanismes d'assurance indexée du bétail ont également été mis au point, en particulier en Afrique<sup>48</sup>.

L'assurance météorologique est largement utilisée dans certains pays industrialisés, bien qu'elle soit moins répandue dans les pays en développement, souvent en

raison de son coût. Une assurance indexée dans laquelle l'assureur ne compense l'assuré que lorsque des facteurs externes dépassent certains seuils, tels que des précipitations inhabituellement faibles ou des températures élevées, a également été testée.

L'assurance indexée peut offrir une option d'assurance à moindre coût aux petits exploitants agricoles.

---

#### ENCADRÉ 9 ASSURANCE-RÉCOLTE FÉDÉRALE AUX ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Les programmes fédéraux d'assurance-récolte aux États-Unis sont des partenariats public-privé entre le gouvernement fédéral et les compagnies de réassurance privées, et sont gérés par l'Agence de gestion des risques de l'USDA. De nombreux programmes d'assurance-récolte reposent sur un historique de production et la protection des revenus des agriculteurs. Récemment, les programmes d'assurance-récolte ont supprimé les obstacles à la plantation de cultures de couverture, y compris dans les situations de « plantation empêchée » (lorsque les agriculteurs ne sont pas en mesure de planter une culture assurée à une date prévue)<sup>49</sup>. D'autres efforts sont en cours pour inclure et encourager plus de pratiques d'amélioration de la santé des terres, telles que l'élimination du labour, l'épandage de fumier de précision, les cultures de couverture, la génétique avancée des cultures, et autres, dans les programmes d'assurance. La Coalition sur les risques économiques et environnementaux AGree préconise des programmes fédéraux de gestion des risques qui encouragent les agriculteurs à mettre en œuvre des pratiques réduisant les risques à long terme tout en améliorant la santé des sols et la qualité de l'eau<sup>50</sup>. Au niveau des États, le Département de l'agriculture et de l'intendance des terres de l'Iowa a lancé un « Projet de démonstration de l'assurance-récolte des cultures de couverture »<sup>51</sup> de trois ans en 2019. Le projet offre une réduction des primes d'assurance aux agriculteurs qui plantent une culture de couverture d'hiver, en complément d'une culture commerciale au printemps.

---

<sup>47</sup> <https://ccafs.cgiar.org/publications/10-best-bet-innovations-adaptation-agriculture-supplement-unfccc-nap-technical>

<sup>48</sup> <https://ibli.ilri.org/>

<sup>49</sup> [https://www.hpi.com/crops/using-cover-crops-for-prevented-planting/article\\_20eac51b-e961-58b9-812f-8bac0fa4a5d1.html](https://www.hpi.com/crops/using-cover-crops-for-prevented-planting/article_20eac51b-e961-58b9-812f-8bac0fa4a5d1.html)

<sup>50</sup> <https://foodandagpolicy.org/>

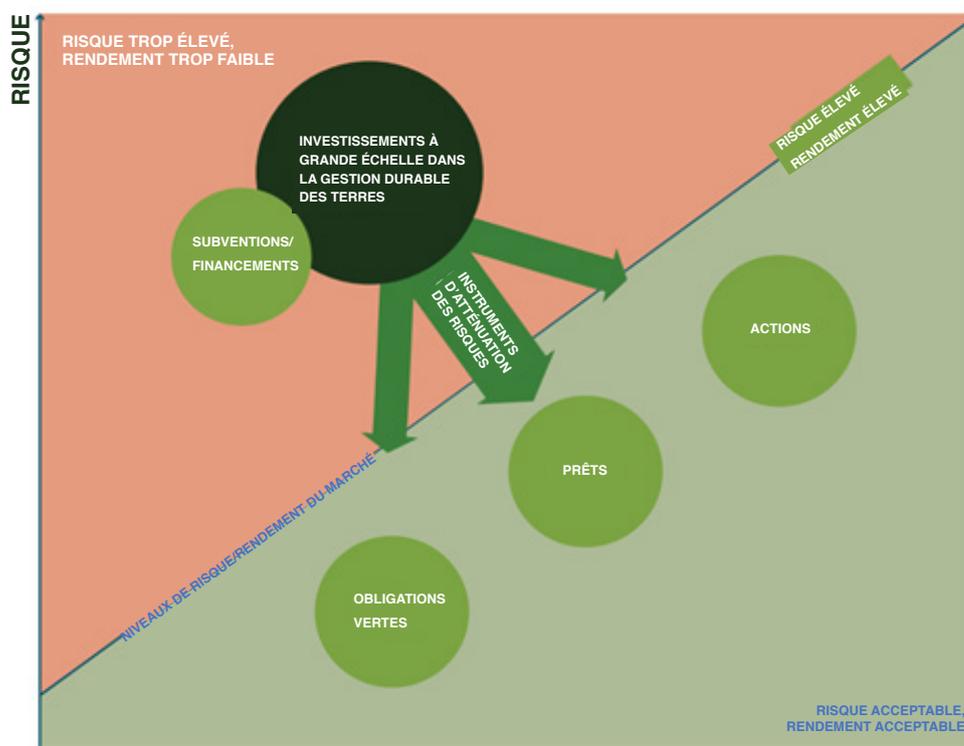
<sup>51</sup> <https://static1.squarespace.com/static/586bfd13be65947270902ac5/t/5b97d07f4d7a9ca99dcdca50/1536675980924/Cover+Crop+Demo+Brochure+2018.pdf>

Une grande variété d'autres instruments financiers ont été développés pour compenser les risques, et certains d'entre eux sont aujourd'hui adaptés pour être utilisés dans le secteur agricole, et en particulier pour promouvoir une agriculture durable. Un certain nombre d'instruments financiers peuvent être combinés pour atteindre le rendement/profil de risque nécessaire pour attirer les investisseurs privés. Voici quelques exemples (Girling & Bauch, 2017) :

- Conditions de prêt adaptées afin d'inciter les agriculteurs à adopter des méthodes plus durables ;
- Instruments encourageant les investissements dans de nouveaux domaines en modifiant le profil de risque, tels que les instruments de type « première perte » et les garanties de crédit ;
- Accords de départ ou autres mécanismes permettant aux négociants en produits de base de garantir une production plus durable ;
- Utilisation de subventions pour établir les conditions d'investissements futurs ;
- Placements en actions destinés à aider les projets d'agriculture durable à démarrer ;

- « Obligations vertes » permettant de dégager d'importantes sommes d'argent pour une utilisation durable des terres.

Beaucoup de ces instruments sont déjà utilisés dans l'agriculture conventionnelle, bien que leur application pour l'agriculture durable soit moins répandue. Certains coûts et risques, réels et perçus, associés à l'agriculture durable peuvent la rendre moins attrayante que les approches conventionnelles. En outre, les marchés de capitaux sont sous-développés dans de nombreux pays présentant un grand potentiel d'adoption d'une agriculture durable. L'argent public, y compris l'aide au développement, et les instruments destinés à atténuer les risques peuvent donc s'avérer cruciaux pour catalyser l'investissement en défrayant une partie des coûts ou des risques (Figure 18).



Girling & Bauch (2017)

**Figure 20** Utilisation d'instruments d'atténuation des risques pour débloquer de plus amples investissements en capital

Les instruments d'atténuation des risques peuvent inclure des garanties de crédit ou des assurances, comme indiqué précédemment, ou des accords de retrait donnant aux agriculteurs une plus grande sécurité d'accès au crédit. D'autres instruments peuvent inclure des accords de prêt adaptés, ou simplement l'accès au crédit pour les populations isolées : seulement 4,7% des adultes vivant dans les zones rurales des pays en développement disposent d'un prêt auprès d'une institution financière formelle. Les prêts peuvent être subventionnés et des garanties de crédit partielles peuvent permettre de réduire les risques pour les investisseurs. Certains investisseurs d'impact, qui visent à générer des avantages sociaux ou environnementaux

en plus d'un rendement financier, ainsi que les banques de développement et les gouvernements, peuvent accepter des rendements inférieurs au taux du marché afin de soutenir des résultats environnementaux ou sociaux. Ces investisseurs peuvent accepter d'assumer le risque de « première perte », modifiant ainsi le profil de risque / rendement pour d'autres investisseurs (Girling & Bauch, 2017). Les investisseurs peuvent également assumer le risque par le biais de projets à multiples objectifs économiques, sociaux et environnementaux (voir Encadré 10).

---

#### ENCADRÉ 10 FONDS POUR LES MOYENS DE SUBSISTANCE AU KENYA<sup>52</sup>

Les Fonds pour les moyens de subsistance sont des fonds d'investissement d'impact soutenus par de grandes entreprises privées, dont Danone et Mars, qui souhaitent transformer leurs chaînes d'approvisionnement et compenser leurs émissions de carbone en soutenant des pratiques agricoles durables et en restaurant les écosystèmes. Dans la région du Mont Elgon, au Kenya, l'un de ces fonds a investi dans un projet de 10 ans concernant 30 000 petites exploitations. Le Fonds pour les moyens de subsistance, géré par une entreprise sociale basée à Paris, a établi un partenariat avec Vi Agroforestry, une ONG possédant une expérience dans la mise en œuvre de pratiques agroforestières en Afrique de l'Est, et Brookside, une entreprise laitière kenyane de premier plan.

L'objectif principal du projet est d'aider les agriculteurs à augmenter leurs revenus et leur productivité grâce à la restauration des sols, à l'amélioration de la biodiversité, à la gestion des ressources en eau et à un mélange de cultures vivrières et commerciales. Un objectif clé est d'augmenter de 30 fois la production de lait dans la zone du projet, en partenariat avec 15 coopératives locales. Le projet met également l'accent sur l'autonomisation des femmes.

Le fonds supporte des risques en fournissant des subventions initiales à l'ONG chargée de la mise en œuvre. Le fonds génère des crédits carbone à partir du carbone séquestré dans le sol et les arbres, et évite les émissions de méthane des vaches grâce à l'amélioration des pratiques agricoles. Brookside bénéficie de l'augmentation des volumes de lait, d'une saisonnalité réduite de l'approvisionnement (grâce à une meilleure gestion de l'eau) et d'une réduction des coûts de collecte. La société s'est engagée à acheter du lait auprès des agriculteurs participants et soutient les coopératives. Elle contribue également financièrement, à travers des paiements basés sur les résultats, au bénéfice du fonds. Vi Agroforestry a mis en place un système de suivi des résultats du projet.

---

<sup>52</sup><http://www.livelihoods.eu/projects/mount-elgon-kenya/>

## 6.5 Conclusion du chapitre 6

Une transition réussie vers une agriculture durable, productive et résiliente est l'un des principaux défis de notre époque. Le concept de Solutions fondées sur la Nature (SfN) ouvre la porte à une nouvelle approche pour équilibrer les objectifs de développement environnemental et agricole. Exploiter les SfN peut permettre d'atteindre de multiples objectifs mondiaux, y compris ceux liés à la sécurité alimentaire, aux changements climatiques et à la biodiversité, et mérite d'être considéré comme l'une des principales priorités politiques de l'agenda international.

Au cours de la dernière décennie, de nombreuses initiatives ont été lancées et mises en œuvre avec succès, utilisant une variété de mesures incitatives publiques et privées et d'outils de réduction des risques. Ces initiatives montrent que des pratiques agricoles et des approches de gestion des paysages durables peuvent être adoptées à grande échelle s'il existe une volonté politique et un financement adéquat. Elles démontrent également l'énorme potentiel d'une réorientation des subventions internationales et des investissements privés de l'agriculture conventionnelle vers une agriculture plus durable. La demande croissante de la société et des consommateurs pour des systèmes alimentaires sains et durables et le développement des marchés locaux et régionaux accéléreront encore ce changement.



# Chapitre 7

Conclusions et recommandations

Ce rapport montre que la restauration et la protection de la biodiversité des sols et des paysages constituent un terrain d'entente entre les secteurs de la conservation et de l'agriculture. Il montre pourquoi la recherche d'un système agroalimentaire plus durable devrait accorder une plus grande priorité à la santé des terres. Les principaux décideurs et acteurs économiques ignorent largement la nature écologique et vivante des sols, dilapidant bon nombre des valeurs et des avantages associés pour la société. Les agriculteurs, en particulier, doivent restaurer et protéger ce capital vital pour assurer une rentabilité à long terme, et au bénéfice plus général de la société.

Le secteur agricole devrait viser un impact net positif sur les indicateurs clés de biodiversité d'ici 2030, y compris la stabilisation de la superficie agricole totale, l'augmentation de la biodiversité dans les paysages agricoles et la réduction de la pollution et des émissions de gaz à effet de serre. Pour atteindre cet objectif, il sera nécessaire d'éviter la dégradation et de promouvoir la santé des terres, susceptible, à son tour, de constituer un catalyseur efficace pour des progrès plus généraux vers la durabilité.

Selon l'objectif et les indicateurs de neutralité en matière de dégradation des terres, une première étape vers la reconstruction et la restauration du capital des sols consiste à mettre un terme à la dégradation des terres. Les gestionnaires de terres disposent d'une multitude d'options pour atteindre cet objectif, mais les solutions appropriées à chaque contexte ne sont pas toujours connues, et de nombreux obstacles entravent encore les progrès. La santé des terres doit être reconnue comme une condition préalable à une production agricole résiliente, et encouragée afin de déclencher le changement et l'impact souhaités à l'échelle recherchée.

Atteindre la durabilité dans le système agroalimentaire mondial est une tâche ardue, mais qui bénéficie d'un soutien croissant du public. Le bilan du secteur agricole en matière de réalisation de ses objectifs est impressionnant, et le secteur dispose des ressources nécessaires pour entreprendre les changements ambitieux requis. Il est urgent de modifier, ou d'élargir, les objectifs fondamentaux du secteur. Tant que l'agriculture dépendra de la terre, elle devra considérer cette dernière

comme une ressource finie et non renouvelable, en éliminant la surexploitation et en protégeant les processus écologiques qui sous-tendent la production.

Le défi pour le secteur agroalimentaire est de parvenir à la durabilité, face à une demande augmentant rapidement et aux risques croissants associés aux changements climatiques. Ces défis ne doivent pas servir d'excuse pour maintenir le statu quo, mais doivent être compris comme une justification supplémentaire pour protéger, restaurer et améliorer le capital naturel de l'agriculture. Lorsque les agriculteurs améliorent la santé des terres, ils contribuent à fournir des services à la société tout en renforçant la résilience globale de la production alimentaire et des économies rurales. Cela doit ensuite être soutenu et encouragé par des cadres politiques, des systèmes de gouvernance et des incitations économiques adéquats.

Le rétablissement de la santé des terres est l'un des éléments des changements plus généraux nécessaires dans le système alimentaire. Les efforts visant à améliorer l'accès équitable aux ressources naturelles (en particulier la terre et l'eau) et à la nourriture, à réduire les mauvaises habitudes alimentaires, et à atténuer la perte et le gaspillage de nourriture sont également essentiels. Cela nécessitera une coordination sans précédent entre de nombreux acteurs différents, dans les chaînes d'approvisionnement alimentaire et au-delà, guidée par un leadership politique audacieux.

L'augmentation de la production agricole continue de prévaloir, en particulier dans les pays sous-alimentés ou dont l'économie dépend fortement du secteur agricole. Cependant, il existe également une demande mondiale croissante pour des systèmes de production plus durables et des régimes alimentaires sains. À mesure que cette vision gagne du terrain, elle crée de nouvelles voies pour progresser vers un futur système agricole fondé sur la gestion durable des terres et autres ressources.

L'ampleur du défi est énorme, mais le coût de la gestion durable des paysages agricoles peut être compensé. L'CNULCD estime que pour inverser la dégradation des terres à l'échelle mondiale, un investissement d'au moins 2 milliards de dollars américains par an est nécessaire.

Ceci est insignifiant, comparé aux plus de 619 milliards de dollars américains de subventions publiques et aux billions de dollars américains d'investissements privés dans l'agriculture chaque année, et de grandes possibilités de réorienter les flux financiers vers les résultats souhaités en matière de durabilité existent.

Cette réorientation suppose que les pays puissent anticiper et surveiller la variété des impacts socioéconomiques et environnementaux d'un tel changement. Les questions de revenus et d'emploi, de sécurité alimentaire et hydrique, et d'équité, accès et contrôle requièrent une attention particulière. Les pays devront également concilier les utilisations concurrentes des terres dans le secteur agricole, y compris la production de biocarburants et de biomatériaux, ainsi que la concurrence d'autres secteurs, y compris les établissements humains, les infrastructures et l'industrie.

Les données présentées dans le présent rapport étayent les recommandations générales suivantes. Ces priorités d'action urgente génèrent déjà un soutien de la part des gouvernements ainsi que des acteurs privés du secteur agricole, notamment des agriculteurs. De nombreux facteurs critiques sont déjà en place pour permettre le changement à l'échelle nécessaire pour atteindre les objectifs de 2030. La prochaine décennie offre une occasion unique d'orienter l'agriculture vers un ensemble d'objectifs plus ambitieux, qui équilibrent les besoins de la société en matière d'alimentation et de nature.

## 7.1 L'agriculture en tant que solution fondée sur la nature

### **Prioriser la biodiversité des sols et des paysages pour l'alimentation et la nature**

L'amélioration, la protection et la restauration de la biodiversité sont essentielles à la santé des terres, et doivent donc devenir un objectif clé pour le secteur agricole dans sa contribution à l'élimination de la faim, à la sécurité alimentaire et à l'amélioration de la nutrition, et à la promotion de la durabilité (conformément à [l'ODD 2](#)) sans pour autant augmenter la superficie totale des terres agricoles. Pour ce faire, les gouvernements devront promouvoir la santé des terres en tant qu'objectif explicite des politiques agricoles et réaliser un suivi de la

biodiversité des sols et des paysages en tant qu'indicateurs de la santé des terres. Les politiques publiques devront orienter les investissements publics et privés vers des SfN à la sécurité alimentaire, aux changements climatiques et aux défis liés à la biodiversité. Pour ce faire, il faudra mettre en place des systèmes de suivi et de rapports permettant d'évaluer la biodiversité et la fourniture de services écosystémiques dans les paysages agricoles, ainsi que des institutions publiques, nouvelles ou adaptées, chargées d'assurer la conformité et d'encourager l'action.

Une meilleure connaissance de l'agro-biodiversité des sols et des paysages, de ses valeurs, de sa restauration et de sa conservation soutiendra l'objectif politique de promotion de la santé des terres. Une frontière majeure pour la recherche concerne le rôle de la biodiversité, à l'échelle des écosystèmes, des espèces et génétique, dans la fourniture des services écosystémiques. Cette science guidera l'élaboration d'indicateurs concernant les services écosystémiques clés, ainsi que les bonnes pratiques de gestion agricole et paysagère. Des efforts accrus sont nécessaires pour combiner les performances économiques et environnementales, tout en préservant la santé et le bien-être humains et des animaux. Ces pratiques de gestion agricole et paysagère devront aider à rétablir la santé des terres dans les systèmes hautement productifs, et à accroître durablement la productivité dans les systèmes à faible productivité, de manière à promouvoir une résilience accrue aux chocs climatiques, économiques et sanitaires.

## 7.2 Agriculture durable

### **Principales approches agro-écologiques pour la gestion durable des paysages agricoles**

Les approches agro-écologiques devront être intégrées à toutes les politiques, instruments et institutions pertinents afin de développer les connaissances, renforcer les capacités, développer les services et mobiliser les communautés et les organisations d'agriculteurs. L'accent devra être mis sur la création de conditions qui permettront aux agriculteurs d'atteindre la durabilité à la fois au niveau des exploitations et des paysages, y compris des mesures réduisant les risques liés à la transition.

Des connaissances plus approfondies sont nécessaires sur les obstacles comportementaux, organisationnels, sociaux, politiques, financiers et économiques à l'adoption. Les efforts doivent s'appuyer sur les connaissances scientifiques et autochtones afin d'aider à identifier les innovations qui faciliteront l'adoption. Des scénarios à long terme concernant l'adoption d'approches agro-écologiques et la fourniture de services écosystémiques aideront à évaluer les avantages et compromis potentiels pour la société, et offriront des voies souhaitables aux décideurs. Les acteurs de l'agriculture et de la conservation devront rechercher un consensus sur les indicateurs de durabilité, et les agriculteurs devront être soutenus pour améliorer leurs performances par rapport aux indicateurs permettant de développer des approches agro-écologiques scientifiquement établies.

## 7.3 Évaluation et suivi de la durabilité

### **Établir des objectifs et des indicateurs aux niveaux national et mondial pour une agriculture durable**

L'adoption de pratiques, d'investissements et de politiques en faveur d'une agriculture durable peuvent être encouragés par la définition d'objectifs clairs et partagés pour certains indicateurs de développement durable. Une meilleure définition des objectifs permettra de suivre les progrès accomplis dans la lutte contre la dégradation des terres, les changements climatiques et la perte de biodiversité, tout en préservant les revenus, l'emploi, la réduction de la pauvreté et la résilience des moyens de subsistance, en particulier pour ceux qui en ont le plus besoin, dont les jeunes et les femmes.

Le secteur agricole devra rechercher un impact net positif sur les indicateurs clés de biodiversité d'ici 2030, en particulier en ce qui concerne la stabilisation de la superficie agricole totale, l'augmentation de la biodiversité dans les paysages agricoles et la réduction de la pollution et des émissions de gaz à effet de serre. Cet impact positif net contribuera à la réhabilitation des terres, à l'amélioration de l'atténuation et de l'adaptation aux changements climatiques et à la restauration de la biodiversité. Les gouvernements devront promouvoir la santé des terres comme un moyen d'atteindre cet

objectif, ainsi que la durabilité dans l'ensemble du système alimentaire.

## 7.4 Services agro-écosystémiques

### **Récompenser les services écosystémiques pour encourager l'agriculture durable**

La transition mondiale vers une agriculture durable nécessite de passer d'une conception de l'agriculture en termes de « nourriture, fibres et combustibles » (et autres produits) à une conception en termes de « production, eau, climat et nature » (et autres services). Les co-bénéfices de l'agriculture durable ont une valeur considérable, et les politiques devront être mise en cohérence pour récompenser cette valeur, afin de rééquilibrer la production agricole et la fourniture d'autres services. Les décideurs politiques devront mobiliser toute la gamme des réglementations, mesures incitatives et outils de réduction des risques susceptibles de faciliter l'adoption généralisée et durable des approches agro-écologiques au niveau des exploitations agricoles et des paysages.

Des efforts urgents sont nécessaires pour sensibiliser les agriculteurs et les acteurs économiques aux services écosystémiques et au capital naturel, et pour renforcer leurs capacités en la matière, ainsi que pour mieux connaître les systèmes de mesure et de récompense, en commençant par une évaluation plus approfondie des réussites et des échecs actuels. Des mesures incitatives et de réduction des risques novatrices doivent être conçues et testées, ce qui nécessitera des cadres politiques cohérents et novateurs. Une participation accrue du secteur privé en aval peut contribuer à renforcer l'innovation et à créer des opportunités, notamment par le biais de partenariats public-privé et de financements mixtes.

## 7.5 Systèmes alimentaires durables

### **Promouvoir le changement dans l'ensemble des systèmes alimentaires mondiaux pour améliorer la durabilité**

Pour parvenir à des systèmes alimentaires durables, il faudra que tous les acteurs s'efforcent d'aligner leurs objectifs en matière de biodiversité, d'alimentation, de

dégradation des terres et de changements climatiques. La santé des sols et des terres, bien que ne répondant pas à tous les défis liés à la biodiversité et à l'agriculture, joue néanmoins un rôle essentiel dans la transition et devrait être une priorité absolue pour les agriculteurs et autres acteurs des systèmes alimentaires. Les pays peuvent mettre en place une gouvernance multi-acteurs à toutes les échelles, et veiller à ce que les investissements publics et privés soient conformes aux directives volontaires internationales existantes. Ils peuvent également étendre les garanties sociales et environnementales. Les subventions et flux financiers privés devront être réorientés de l'agriculture conventionnelle vers une agriculture plus durable, en s'attachant davantage à encourager les acteurs des paysages et des chaînes d'approvisionnement à protéger des sols sains et à récompenser les pratiques agricoles durables, tout en débloquent les facteurs limitant la transition (tels que les subventions aux intrants, la spécialisation des systèmes, les chaînes d'approvisionnement standardisées et les asymétries de pouvoir). Une plus grande attention devra être accordée à la convergence des politiques et à la promotion de politiques internationales et nationales qui établissent un lien entre la santé des terres et une alimentation durable et saine, y compris au niveau des instances internationales travaillant sur la biodiversité, la dégradation des terres, les changements climatiques et la sécurité alimentaire.

Les flux financiers mondiaux doivent être réorientés vers des chaînes de valeur durables et des paysages sains. La science peut aider à élaborer des indicateurs et des normes susceptibles d'orienter ces investissements vers des pratiques, des produits et des procédés plus durables, tout au long de la chaîne d'approvisionnement alimentaire. Les mesures incitatives publiques et privées peuvent permettre l'adoption à grande échelle de pratiques agricoles et paysagères durables, et aider les agriculteurs à surmonter les obstacles au changement. Les secteurs public et privé doivent adapter les systèmes, les conseils et les services de vulgarisation, y compris les services financiers, afin de fournir aux agriculteurs le soutien technique et les connaissances nécessaires. Les entreprises privées peuvent adapter le développement de nouveaux produits et marchés pour l'alimentation et la biomasse afin de favoriser des pratiques agricoles durables. Dans les pays

en développement où les gouvernements et le secteur privé ne fournissent parfois pas l'appui nécessaire, il faudra veiller à la sécurité des droits fonciers et d'accès aux ressources naturelles, à la création de marchés fonctionnels et au micro-financement pour les petits exploitants.

## 7.6 Terrain d'entente

### **Établir un consensus sur la gérance environnementale dans le secteur agricole**

Le secteur agricole devra travailler à un impact net positif sur les indicateurs clés de biodiversité d'ici 2030, y compris la stabilisation de la superficie agricole totale, l'augmentation de la biodiversité dans les paysages agricoles et la réduction de la pollution et des émissions de gaz à effet de serre. Les gouvernements devront promouvoir la santé des terres comme un moyen d'atteindre cet objectif, et afin d'assurer la durabilité du système alimentaire au sens large. Les acteurs de la conservation devront promouvoir la gestion durable des exploitations et des paysages agricoles en tant que contributions aux OECM et donc, à une augmentation importante de la couverture mondiale des aires protégées. Le rôle des paysages culturels et productifs dans les CDN, les SPANB et les objectifs de neutralité en matière de dégradation des terres devra être reconnu.

Ces objectifs bénéficieront d'une meilleure démonstration des impacts micro et macro-économiques de l'adoption d'approches agro-écologiques sur le développement rural, y compris sur les revenus et la création d'emplois. Les acteurs économiques doivent mieux comprendre la nature écologique et vivante des sols. Les sols doivent être considérés comme un capital naturel essentiel, nécessitant une protection par les acteurs économiques, qui doivent investir dans la rentabilité à long terme de leur propre activité, et qui doivent intégrer ces connaissances dans leurs stratégies commerciales. Le dialogue et la coordination doivent donc être renforcés à toutes les échelles entre les acteurs de l'agriculture et de la conservation, et des institutions nouvelles ou adaptées doivent être développées pour améliorer la coordination intersectorielle et l'action collective.

# Références

- Aislabie, J. & Lloyd-Jones, G. (1995) A review of bacterial degradation of pesticides. *Australian Journal of Soil Research*, 33, 925–942. <https://doi.org/10.1071/SR9950925>
- Aizen, M.A., Aguiar, S., Biesmeijer, J.C., Garibaldi, L.A., Inouye, D.W., Jung, C., Martins, D.J., Medel, R., Morales, C.L., Ngo, H., Pauw, A., Paxton, R.J., Sáez, A. & Seymour, C.L. (2019) Global agricultural productivity is threatened by increasing pollinator dependence without a parallel increase in crop diversification. *Global Change Biology*, 25, 3516–3527. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.14736>
- Aktar, W., Sengupta, D. & Chowdhury, A. (2009) Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*, 2. <https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7>
- Alaniz, A.J., Pérez-Quezada, J.F., Galleguillos, M., Vásquez, A.E. & Keith, D.A. (2019). Operationalizing the IUCN Red List of Écosystèmes in public policy. *Conservation Letters*, 12(5). <https://doi.org/10.1111/conl.12665>
- Alexandratos, N. & Bruinsma, J. (2012) *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-ap106e.pdf> [Accessed March 28, 2019].
- Allison, S.D. & Martiny, J.B.H. (2008) 'Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities'. In: National Academy of Sciences (ed), *Light of Evolution: Volume II: Biodiversity and Extinction*. Washington, DC: The National Academies <https://doi.org/10.17226/12501>
- Altieri, M.A. & Nicholls, C.I. (2003) Soil fertility management and insect pests: Harmonizing soil and plant health in agroécosystèmes. *Soil and Tillage Research*, 72, 203–211. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00089-8](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00089-8)
- Ausubel, J.H., Wernick, I.K. & Waggoner, P.E. (2013) Peak Farmland and the Prospect for Land Sparing. *Population and Development Review*, 38, 221–242. <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2013.00561.x>
- Bai, Z.G., Dent, D.L., Olsson, L. & Schaeppman, M.E. (2008) Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use and Management*, 24, 223–234. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1475-2743.2008.00169.x>
- Baker, N.J., Bancroft, B.A. & Garcia, T.S. (2013) A meta-analysis of the effects of pesticides and fertilizers on survival and growth of amphibians. *Science of The Total Environment*, 449, 150–156. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969713001113>
- Bale, J.S., Van Lenteren, J.C. & Bigler, F. (2008) Biological control and sustainable food production. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363, 1492. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2182>
- Balvanera, P., Pfisterer, A.B., Buchmann, N., He, J.S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D. & Schmid, B. (2006) Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters*, 9, 1146–1156. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00963.x>
- Bardon, C., Piola, F., Bellvert, F., Haichar, F. el Z., Comte, G., Meiffren, G., Pommier, T., Puijalón, S., Tsafack, N. & Poly, F. (2014) Evidence for biological denitrification inhibition (BDI) by plant secondary metabolites. *New Phytologist*, 204, 620–630. <https://doi.org/10.1111/nph.12944>
- Bardon, C., Piola, F., Haichar, F.Z., Meiffren, G., Comte, G., Missery, B., Balby, M. & Poly, F. (2016) Identification of B-type procyanidins in *Fallopia* spp. involved in biological denitrification inhibition. *Environmental Microbiology*, 18, 644–655. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13062>
- Barrios, E. (2007) Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, 64, 269–285. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.004>
- Barrios, E., Kwesiga, F., Buresh, R. J., Coe, R., & Sprent, J. I. (1998). Relating Preseason Soil Nitrogen to Maize Yield in Tree Legume-Maize Rotations. *Soil Science Society of America Journal*, 62(6), 1604–1609. <https://doi.org/10.2136/sssaj1998.03615995006200060018x>
- Barrios, E., Sileshi, G.W., Shepherd, K. & Sinclair, F. (2013) Agroforestry and Soil Health: Linking Trees, Soil Biota, and Ecosystem Services. In Wall DH Bardgett RD Behan-Pelletier V Herrick JE Jones TH Ritz K Six J Strong DR & van der Putten WH (eds), *Soil Ecology and Ecosystem Services*, Oxford University Press.

- Begg, G.S., Cook, S.M., Dye, R., Ferrante, M., Franck, P., Lavigne, C., Lövei, G.L., Mansion-Vaquie, A., Pell, J.K., Petit, S., Quesada, N., Ricci, B., Wratten, S.D. & Birch, A.N.E. (2017) A functional overview of conservation biological control. *Crop Protection*, 97, 145–158. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.008>
- Bell, T., Newman, J.A., Silverman, B.W., Turner, S.L. & Lilley, A.K. (2005) The contribution of species richness and composition to bacterial services. *Nature* 436, 1157–1160. <https://doi.org/10.1038/nature03891>
- Belnap, J. & Lange, O. (2003) Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management. *Ecological Studies* 150. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-56475-8>
- Benton, T.G., Vickery, J.A. & Wilson, J.D. (2003) Farmland biodiversity: Is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 182–188. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9)
- Biesmeijer, J.C., Roberts, S.P.M., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Schaffers, A.P., Potts, S.G., Kleukers, R., Thomas, C.D., Settele, J. & Kunin, W.E. (2006) Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313, 351–354. <https://doi.org/10.1126/science.1127863>
- Billetter, R., Liira, J., Bailey, D., Bugter, R., Arens, P., Augenstein, I., Aviron, S., Baudry, J., Bukacek, R., Burel, F., Cerny, M., De Blust, G., De Cock, R., Diekötter, T., Dietz, H., Dirksen, J., Dormann, C., Durka, W., Frenzel, M., Hamersky, R., F. Hendrickx, F., Herzog, F., Klotz, S., Koolstra, B., Lausch, A., Le Coeur, D., Maelfait, J. P., Opdam, P., Roubalova, M., Schermann, A., Schermann, N., Schmidt, T., Schweiger, O., Smulders, M. J. M., Speelmans, M., Simova, P., Verboom, J., Van Wingerden, W.K.R.E., Zobel, M., & Edwards, P.J. (2007) Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study. *Journal of Applied Ecology*, 45, 141–150. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01393.x>
- Binam, J.N., Place, F., Kalinganire, A., Hamade, S., Boureima, M., Tougiani, A., Dakouo, J., Mounkoro, B., Diaminatou, S., Badji, M., Diop, M., Babou, A.B. & Haglund, E. (2015) Effects of farmer managed natural regeneration on livelihoods in semi-arid West Africa. *Environmental Economics and Policy Studies*, 17, 543–575. <https://doi.org/10.1007/s10018-015-0107-4>
- Biodiversity International (2016) *Mainstreaming Agrobiodiversity in Sustainable Food Systems: Scientific Foundations for an Agrobiodiversity Index - Summary*. Rome, Italy: Biodiversity International. ISBN: 978-92-9255-059-2
- Birdsall, N., Savedoff, W., & Seymour, F. (2014). *The Brazil-Norway Agreement with Performance-Based Payments for Forest Conservation: Successes, Challenges, and Lessons*. In CGD Climate and Forest Paper Series #4. Centre for Global Development. <https://www.cgdev.org/publication/ft/brazil-norway-agreement-performance-based-payments-forest-conservation-successes>
- Birkhofer, K., Bylund, H., Dalin, P., Ferlian, O., Gagic, V., Hambäck, P.A., Klapwijk, M., Mestre, L., Roubinet, E., Schroeder, M., Stenberg, J.A., Porcel, M., Björkman, C. & Jonsson, M. (2017) Methods to identify the prey of invertebrate predators in terrestrial field studies. *Ecology and Evolution*, 7, 1942–1953. <https://doi.org/10.1002/ece3.2791>
- Blanco, G., Gerlagh, R., Suh, S., Barrett, J., Coninck, H.C. de, Morejon, C.F.D., Nakicenovic, R.M.N., Ahenkora, A.O., Pan, J., Pathak, H., Rice, J., Richels, R., Smith, S.J., Stern, D.I., Toth, F.L. & Zhou, P. (2014) Drivers, Trends and Mitigation. In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp.351-412. Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow TZ and JCM (ed) Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Bland, L.M., Nicholson, E., Miller, R.M., Andrade, A., Carré, A., Etter, A., Ferrer-Paris, J.R., Herrera, B., Kontula, T., Lindgaard, A., Pliscoff, P., Skowno, A., Valderrábano, M., Zager, I. & Keith, D.A. (2019) Impacts of the IUCN Red List of Écosystèmes on conservation policy and practice. *Conservation Letters*, 12. <https://doi.org/10.1111/conl.12666>
- Bommarco, R., Kleijn, D. & Potts, S.G. (2013) Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology & Evolution*, 28, 230–238 <https://doi.org/10.1016/J.TREE.2012.10.012>
- Bonkowski, M., & Clarholm, M. (2012). Stimulation of plant growth through interactions of bacteria and protozoa: Testing the auxiliary microbial loop hypothesis. *Acta Protozoologica*, 51(3). <https://doi.org/10.4467/16890027AP.12.019.0765>

- Bonkowski, M., Villenave, C., & Griffiths, B. (2009). Rhizosphere fauna: The functional and structural diversity of intimate interactions of soil fauna with plant roots. *Plant and Soil*, 321(1–2), 213–233. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0013-2>
- Borelli, S., Simelton, E., Aggarwal, S., Olivier, A., Conigliaro, M., Hillbrand, A., Garant, D. & Desmyttere, H. (2019) *Agroforestry and tenure*. (No. 8; Forestry Working Paper) Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/CA4662en/CA4662en.pdf>
- Bot, A. & Benites, J. (2005) *The importance of soil organic matter Key to drought-resistant soil and sustained food production*. Rome: FAO Available at: <http://www.fao.org/3/a0100e/a0100e00.htm#Contents>
- Brady, M. V., Hedlund, K., Cong, R.-G., Hemerik, L., Hotes, S., Machado, S., Mattsson, L., Schulz, E. & Thomsen, I.K. (2015) Valuing Supporting Soil Ecosystem Services in Agriculture: A Natural Capital Approach. *Agronomy Journal*, 107, 1809–1821. <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronj14.0597>
- Brauman, K.A., Siebert, S. & Foley, J.A. (2013) Improvements in crop water productivity increase water sustainability and food security - A global analysis. *Environmental Research Letters*, 8. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024030>
- Bravo, A., Soberón, M., & Gill, S. S. (2005). *Bacillus thuringiensis*: Mechanisms and Use BT - Comprehensive Molecular Insect Science. In L. I. Gilbert & S. S. Gill (Eds.), *Comprehensive Molecular Insect Science* (pp. 247–278). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b0-44-451924-6/00081-8>
- Briones, M. J. I. (2014). Soil fauna and soil functions: a jigsaw puzzle. *Frontiers in Environmental Science*, 22. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00007>
- Briones, M. J. I., & Schmidt, O. (2017). Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global Change Biology*, 23(10), 4396–4419. <https://doi.org/10.1111/gcb.13744>
- Briske, D.D., Derner, J.D., Brown, J.R., Fuhlendorf, S.D., Teague, W.R., Havstad, K.M., Gillen, R.L., Ash, A.J. & Willms, W.D. (2008) Rotational grazing on rangelands: Reconciliation of perception and experimental evidence. *Rangeland Ecology and Management*, 61, 3–17. <https://doi.org/10.2111/06-159R.1>
- Brito, I., Goss, M.J., de Carvalho, M., Chatagnier, O. & van Tuinen, D. (2012) Impact of tillage system on arbuscular mycorrhiza fungal communities in the soil under Mediterranean conditions. *Soil and Tillage Research*, 121, 63–67. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.01.012>
- Brondizio, E.S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H.T. & (editors) (2019) IPBES. 2019 Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science- Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Brussaard, L. (1997) Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. *Ambio*, 26, 563–570.
- Brussaard, L., de Ruiter, P.C. & Brown, G.G. (2007) Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Écosystèmes and Environment*, 121, 233–244. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880906004476>
- Burgess, P.J. Harris, J. Graves, A.R. Deeks, L.K. (2019) Regenerative Agriculture: Identifying the Impact; Enabling the Potential. Cranfield, UK Available at: <https://www.foodandlandusecoalition.org/wp-content/uploads/2019/09/Regenerative-Agriculture-final.pdf>.
- Burri, K., Gromke, C., & Graf, F. (2013). Mycorrhizal fungi protect the soil from wind erosion: A wind tunnel study. *Land Dégradation & Development*, 24(4), 385–392. <https://doi.org/10.1002/ldr.1136>
- Busari, M. A., Kukal, S. S., Kaur, A., Bhatt, R., & Dulazi, A. A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2), 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.002>
- Caldecott, B. (2017) Introduction to special issue: stranded assets and the environment. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, 7, 1–13. <https://doi.org/10.1080/20430795.2016.1266748>
- Campbell, B.M., Beare, D.J., Bennett, E.M., Hall-Spencer, J.M., Ingram, J.S.I., Jaramillo, F., Ortiz, R., Ramankutty, N., Sayer, J.A. & Shindell, D. (2017) Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society*, 22, art8. <https://doi.org/10.5751/ES-09595-220408>

- Cardinale, B. J., Matulich, K. L., Hooper, D. U., Byrnes, J. E., Duffy, E., Gamfeldt, L., Balvanera, P., O'Connor, M. I., & Gonzalez, A. (2011). The functional role of producer diversity in écosystèmes. *American Journal of Botany*, 98(3), 572–592. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000364>
- Carlesso, L., Beadle, A., Cook, S. M., Evans, J., Hartwell, G., Ritz, K., Sparkes, D., Wu, L., & Murray, P. J. (2019). Soil compaction effects on litter decomposition in an arable field: Implications for management of crop residues and headlands. *Applied Soil Ecology*, 134, 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.10.004>
- Carlisle, L., Montenegro de Wit, M., DeLonge, M.S., Iles, A., Calo, A., Getz, C., Ory, J., Munden-Dixon, K., Galt, R., Melone, B., Knox, R. & Press, D. (2019) Transitioning to Sustainable Agriculture Requires Growing and Sustaining an Ecologically Skilled Workforce. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00096>
- Carolan, M.S. (2006) Social change and the adoption and adaptation of knowledge claims: Whose truth do you trust in regard to sustainable agriculture? *Agriculture and Human Values*, 23, 325–339. <https://doi.org/10.1007/s10460-006-9006-4>
- Castro, A., Rivera, M., Ferreira, O., Pavon, J., García, E., Amezquita, E., Ayarza, M., Barrios, E., Rondon, M., Pauli, N., Baltodano, M.E., Mendoza, B., Welchez, L.A., Simon, S., Rubiano, J., Johnson, N. & Rao, I. (2009) Is the Quesungual system an option for smallholders in dry hillside agroécosystèmes. In *Proceedings of the CGIAR Challenge Program on Water and Food 2nd International Forum on Water and Food, Addis Ababa, Ethiopia, November 10–14, 2008*.
- Chabbi, A., Lehmann, J., Ciais, P., Loescher, H.W., Cotrufo, M.F., Don, A., SanClements, M., Schipper, L., Six, J., Smith, P. & Rumpel, C. (2017) Aligning agriculture and climate policy. *Nature Climate Change*, 7, 307–309 <https://doi.org/10.1038/nclimate3286>
- Chagnon, M., Kreuzweiser, D., Mitchell, E.A.D., Morrissey, C.A., Noome, D.A. & Van Der Sluijs, J.P. (2015) Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 119–134. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-3277-x>
- Chandler, D., Bailey, A. S., Tatchell, G. M., Davidson, G., Greaves, J., & Grant, W. P. (2011). The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1573), 1987–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0390>
- Checucci, A., DiCenzo, G. C., Bazzicalupo, M., & Mengoni, A. (2017). Trade, diplomacy, and warfare: The Quest for elite rhizobia inoculant strains. *Frontiers in Microbiology*, 09. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02207>
- Chen, M., Arato, M., Borghi, L., Nouri, E., & Reinhardt, D. (2018). Beneficial services of arbuscular mycorrhizal fungi – from ecology to application. *Frontiers in Plant Science*, 04. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01270>
- Coe, R., Sinclair, F. & Barrios, E. (2014) Scaling up agroforestry requires research ‘in’ rather than ‘for’ development. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6, 73–77. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.013>
- CBD (Convention on Biological Diversity). (2010a) In-depth review of the implementation of the programme of work on protected areas. Addendum. In *Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice. 14th meeting. Nairobi, Kenya, 10-21 May 2010*.
- CBD (Convention on Biological Diversity). (2010b) *Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020*. Decision adopted by the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity at its tenth meeting., Pub. L. No. COP 10 Decision X/2, 13 (2010). <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-10/cop-10-dec-02-en.pdf>
- Cook, S., Silici, L., Adolph, B. & Walker, S. (2015) *Sustainable Intensification Revisited*. London: International Institute for Environment and Development Available at: <https://pubs.iied.org/pdfs/14651IIED.pdf>.
- Cortet, J., Ronce, D., Poinot-Balaguer, N., Beaufreton, C., Chabert, A., Viaux, P., & Cancela De Fonseca, J. P. (2002). Impacts of different agricultural practices on the biodiversity of microarthropod communities in arable crop systems. *European Journal of Soil Biology*, 38(3–4), 239–244. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(02\)01152-4](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(02)01152-4)
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, S. & Turner, R.K. (2014) Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152–158 Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378014000685> [Accessed March 19, 2019]. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2014.04.002>

- Cotula, L., Dyer, N. & Vermeulen, S.J. (2008) Fuelling exclusion? The biofuels boom and poor people's access to land. London: International Institute for Environment and Development. Available at: <http://pubs.iied.org/pdfs/12551IIED.pdf>.
- Cowie, A.L., Orr, B.J., Castillo Sanchez, V.M., Chasek, P., Crossman, N.D., Erlewein, A., Louwagie, G., Maron, M., Metternicht, G.I., Minelli, S., Tengberg, A.E., Walter, S. & Welton, S. (2018) Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Dégradation Neutrality. *Environmental Science and Policy*, 79, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011>
- Crouzet, O., Consentino, L., Pétraud, J.-P., Marraud, C., Aguer, J.-P., Bureau, S., Le Bourvellec, C., Touloumet, L. & Bérard, A. (2019) Soil Photosynthetic Microbial Communities Mediate Aggregate Stability: Influence of Cropping Systems and Herbicide Use in an Agricultural Soil. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1319. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01319>
- Crowther, T.W., Boddy, L. & Hefin Jones, T. (2012) Functional and ecological consequences of saprotrophic fungus-grazer interactions. *ISME Journal*, 6,. <https://doi.org/10.1038/ismej.2012.53>
- Culliney, T. (2013) Role of Arthropods in Maintaining Soil Fertility. *Agriculture*, 3, 629–659. <https://doi.org/10.3390/agriculture3040629>
- Dainese, M., Martin, E.A., Aizen, M.A., Albrecht, M., Bartomeus, I., Bommarco, R., Carvalheiro, L.G., Chaplin-Kramer, R., Gagic, V., Garibaldi, L.A., Ghazoul, J., Grab, H., Jonsson, M., Karp, D.S., Kennedy, C.M., Kleijn, D., Kremen, C., Landis, D.A., Letourneau, D.K., Marini, L., et al (2019) A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances*, 5. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0121>
- Davies, J., Niamir-Fuller, M., Kerven, C. & Bauer, K. (2010) Extensive livestock production in transition: the future of sustainable pastoralism. *Livestock in a changing landscape: drivers, consequences and responses*, 1, 285–308.
- Davies, J., Ogali, C., Laban, P. & Metternicht, G. (2015) Homing in on the Range: Enabling Investments for Sustainable Land Management. Nairobi: IUCN and CEM. Available at: [http://cmsdata.iucn.org/downloads/technical\\_brief\\_\\_\\_investing\\_in\\_slm\\_2.pdf](http://cmsdata.iucn.org/downloads/technical_brief___investing_in_slm_2.pdf).
- Davies, J., Poulsen, L., Schulte-Herbrüggen, B., MacKinnon, K., Crawhall, N., Henwood, W.D., Dudley, N., Smith, J., Gudka, M. & International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (2012) Conserving dryland biodiversity. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Available at: <https://portals.iucn.org/library/node/10210> [Accessed June 25, 2019].
- De Deyn, G. B., & Van Der Putten, W. H. (2005). Linking aboveground and belowground diversity. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(11), 625–633. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.08.009>
- de Graaff, M. A., Hornslein, N., Throop, H. L., Kardol, P., & van Diepen, L. T. A. (2019). Effects of agricultural intensification on soil biodiversity and implications for ecosystem functioning: A meta-analysis. *Advances in Agronomy*, 155, 1–44. Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.01.001>
- De Vries, F. T., van Groenigen, J. W., Hoffland, E., & Bloem, J. (2011). Nitrogen losses from two grassland soils with different fungal biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(5), 997–1005. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.01.016>
- Delgado-Baquerizo, M., Giaramida, L., Reich, P. B., Khachane, A. N., Hamonts, K., Edwards, C., Lawton, L. A., & Singh, B. K. (2016). Lack of functional redundancy in the relationship between microbial diversity and ecosystem functioning. *Journal of Ecology*, 104(4), 936–946. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12585>
- Douds, D.D., Galvez, L., Janke, R.R. & Wagoner, P. (1995) Effect of tillage and farming system upon populations and distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Agriculture, Écosystèmes and Environment*, 52, 111–118. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)00550-X](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)00550-X)
- Downing, A. L., & Leibold, M. A. (2002). Ecosystem consequences of species richness and composition in pond food webs. *Nature*, 416(6883), 837–841. <https://doi.org/10.1038/416837a>
- Dudley, N. & Alexander, S. (2017) Agriculture and biodiversity: a review. *Biodiversity*, 18, 45–49. <https://doi.org/10.1080/14888386.2017.1351892>
- Ebi, K.L. & Loladze, I. (2019) Elevated atmospheric CO2 concentrations and climate change will affect our food's quality and quantity. *The Lancet Planetary Health*, 3, 7. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30108-1](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30108-1)
- Eisenhauer, N., Hines, J., Isbell, F., van der Plas, F., Hobbie, S. E., Kazanski, C. E., Lehmann, A., Liu, M., Lochner, A., Rillig, M. C., Vogel, A., Worm, K., & Reich, P. B. (2018). Plant diversity maintains multiple soil functions in future environments. *ELife*, 7(e4122). <https://doi.org/10.7554/eLife.41228>

- ELD Initiative (2015) Report for policy and decision makers: Reaping economic and environmental benefits from sustainable land management. Bonn: Economics of Land Dégradation Initiative.  
[https://www.eld-initiative.org/fileadmin/pdf/ELD-pm-report\\_05\\_web\\_300dpi.pdf](https://www.eld-initiative.org/fileadmin/pdf/ELD-pm-report_05_web_300dpi.pdf)
- Erisman, J.W., Eekeren, N. Van, Doorn, A. Van, Geertsema, W. & Polman, N. (2017) Measures for Nature-based agriculture. December Issue. Available at: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/448933>.
- Erisman, J.W., van Eekeren, N., de Wit, J., Koopmans, C., Cuijpers, W., Oerlemans, N. & Koks, B.J. (2016) Agriculture and biodiversity: A better balance benefits both. *AIMS Agriculture and Food*. 1(2), 157-174.  
<https://doi.org/10.3934/agrfood.2016.2.157>
- Evans, A.E., Mateo-Sagasta, J., Qadir, M., Boelee, E. & Ippolito, A. (2019) Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 36, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.10.003>
- FABLE (Food, Agriculture, Biodiversity, Land-Use, and Energy Consortium) (2019) Pathways to Sustainable Land-Use and Food Systems. 2019 Report of the FABLE Consortium. Laxenburg and Paris Available at: [https://www.foodandlandusecoalition.org/wpcontent/uploads/2019/09/FABLEinterimreport\\_nocountrieslowres.pdf](https://www.foodandlandusecoalition.org/wpcontent/uploads/2019/09/FABLEinterimreport_nocountrieslowres.pdf)
- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F.G., Crist, T.O., Fuller, R.J., Sirami, C., Siriwardena, G.M. & Martin, J.-L. (2011) Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters*, 14, 101–112. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x>
- Falkenmark, M. (2013) Growing water scarcity in agriculture: future challenge to global water security. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371, 20120410–20120410.  
<https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0410>
- Fierer, N., Breitbart, M., Nulton, J., Salamon, P., Lozupone, C., Jones, R., Robeson, M., Edwards, R. A., Felts, B., Rayhawk, S., Knight, R., Rohwer, F., & Jackson, R. B. (2007). Metagenomic and small-subunit rRNA analyses reveal the genetic diversity of bacteria, archaea, fungi, and viruses in soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(21), 7059–7066. <https://doi.org/10.1128/AEM.00358-07>
- Finlay, B. J. (2002). Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. In *Science* (Vol. 296, Issue 5570, pp. 1061–1063). American Association for the Advancement of Science. <https://doi.org/10.1126/science.1070710>
- Finney, D. M., & Kaye, J. P. (2017). Functional diversity in cover crop polycultures increases multifunctionality of an agricultural system. *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 509–517. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12765>
- FAO (Food and Agriculture Organization) (1988) *Report of the Council of FAO*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/t0087e/t0087e00.htm> [Accessed August 23, 2019].
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2004) *What is Agrobiodiversity?* Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/007/y5609e/y5609e00.pdf>.
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2011) *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. Rome & London: FAO & Earthscan. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i1688e.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2014a) *FAO Statistical Yearbook 2012: World Food and Agriculture*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/i2490e/i2490e00.htm>
- FAO (Food and Agriculture Organisation) (2014b) *Building a common vision for sustainable food and agriculture: principles and approaches*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i3940e.pdf> [Accessed August 23, 2019]
- FAO (Food and Agriculture Organisation) (2015) *World Fertilizer Trends*. Rome: FAO. Available at: [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications) [Accessed March 28, 2019].
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2016) *The agriculture sectors in the intended nationally determined contributions: Analysis*. Environment and Natural Resources Management Working Paper 62. P 67. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i5687e.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2017) *Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-bl813e.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2018a) *The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organisation) (2018b) *The gender gap in land rights*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/I8796EN/i8796en.pdf> [Accessed June 25, 2019].

- FAO (Food and Agriculture Organisation) (2019a) *The State of Food and Agriculture: moving forward on food loss and waste reduction*. Rome:FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>.
- FAO (Food and Agriculture Organisation) (2019b) *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*. Bélanger J & Pilling D (eds) Rome: FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments Available at: <http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf>.
- Food and Agriculture Organisation & Intergovernmental Technical Panel on Soils (2015) *Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>.
- Food and Landuse Coalition (2019) *Growing Better: Ten Critical Transitions to Transform Food and Land Use*. FOLU (location not disclosed). Available at: <https://www.foodandlandusecoalition.org/wp-content/uploads/2019/09/FOLU-GrowingBetter-GlobalReport.pdf>
- Fox, J.E., Gullede, J., Engelhaupt, E., Burow, M.E. & McLachlan, J.A. (2007) Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Frac, M., Hannula, S.E., Belka, M. & Jędrzycka, M. (2018) Fungal biodiversity and their role in soil health. *Frontiers in Microbiology*, 13 April 2,.
- Galloway, J.N., Townsend, A.R., Erisman, J.W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J.R., Martinelli, L.A., Seitzinger, S.P. & Sutton, M.A. (2008) Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. *Science*, 320, 889–892 Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18487183> [Accessed September 23, 2019].
- Gamfeldt, L., Snäll, T., Bagchi, R., Jonsson, M., Gustafsson, L., Kjellander, P., Ruiz-Jaen, M.C., Fröberg, M., Stendahl, J., Philipson, C.D., Mikusiński, G., Andersson, E., Westerlund, B., Andrén, H., Moberg, F., Moen, J. & Bengtsson, J. (2013) Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nature Communications*. 419, 456-459.
- Gan, Y., Hamel, C., O'Donovan, J.T., Cutforth, H., Zentner, R.P., Campbell, C.A., Niu, Y. & Poppy, L. (2015) Diversifying crop rotations with pulses enhances system productivity. *Scientific Reports*. 5, 14625.
- Gardi, C., Jeffery, S., & Saltelli, A. (2013). An estimate of potential threats levels to soil biodiversity in EU. *Global Change Biology*, 19(5), 1538–1548. <https://doi.org/10.1111/gcb.12159>
- Garibaldi, L. A., Carvalheiro, L. G., Leonhardt, S. D., Aizen, M. A., Blaauw, B. R., Isaacs, R., Kuhlmann, M., Kleijn, D., Klein, A. M., Kremen, C., Morandin, L., Scheper, J., & Winfree, R. (2014). From research to action: Enhancing crop yield through wild pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(8), 439–447. <https://doi.org/10.1890/130330>
- Garnett, T. & Godfray, H.C.J. (2012) *Sustainable intensification in agriculture. Navigating a course through competing food system priorities*. Oxford, UK: Food Climate Research Network Available at: <https://redgatro.fmvz.unam.mx/assets/rn7.pdf> [Accessed March 31, 2020].
- Geisen, S., Mitchell, E.A.D., Adl, S., Bonkowski, M., Dunthorn, M., Ekelund, F., Fernández, L.D., Jousset, A., Krashevskaya, V., Singer, D., Spiegel, F.W., Walochnik, J. & Lara, E. (2018) Soil protists: A fertile frontier in soil biology research. *FEMS Microbiology Reviews*, 42, 293–323.
- Girling, A. & Bauch, S. (2017) Incentives to Save the Forest. Global Canopy Program (location undisclosed). Available at: [https://www.globalcanopy.org/sites/default/files/documents/resources/Incentives to save the forest-web\\_1.pdf](https://www.globalcanopy.org/sites/default/files/documents/resources/Incentives%20to%20save%20the%20forest-web_1.pdf).
- Gliessman, S. & Tittonell, P. (2015) Agroecology for Food Security and Nutrition. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39, 131–133.
- Gliessman, S.R. & Engles, E. (2014) *Agroecology : the ecology of sustainable food systems*. CRC Press, Taylor & Francis Group. Available at: <https://www.crcpress.com/Agroecology-The-Ecology-of-Sustainable-Food-Systems-Third-Edition/Gliessman/p/book/9781439895610>
- Global Panel on Agriculture and Food Systems for Nutrition (2016) *Food systems and diets: Facing the challenges of the 21st century*. London, UK. Available at: <http://glopan.org/sites/default/files/ForesightReport.pdf> [Accessed March 28, 2019].
- Gold, M. (2016) *Sustainable Agriculture: Definitions and Terms*. Beltsville, MD: USDA. Available at: <https://www.nal.usda.gov/afsic/sustainable-agriculture-definitions-and-terms>.
- Gold, M. V. & Gates, J.P. (2007) *Tracing the evolution of or-ganic/sustainable agriculture: A selected and annotated bibliography*. Beltsville, MD: USDA Available at: <https://www.nal.usda.gov/afsic/tracing-evolution-organic-sustainable-agriculture-tesa1980>.

- Gomiero, T. (2016) Soil dégradation, land scarcity and food security: Reviewing a complex challenge. *Sustainability (Switzerland)*, 8, 281.
- Gray, E., Henninger, N., Reij, C., Winterbottom, R. & Agostini, P. (2016) *Integrated Landscape Approaches for Africa's Drylands*. Washington DC: The World Bank. Available at: <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0826-5>
- Greatrex, H., Hansen, J., Garvin, S., Diro, R., Blakeley, S., Le Guen, M., Rao, K., Osgood, D., Rao Senior Advisor, K., Osgood, D., Uthayakumar, N., Schindler, K., Bertram-Hümmer, V., Yadamsuren, U., Wandera, B., Mude, A., Coffey, K. & Jay, A. (2015) *Scaling up index insurance for smallholder farmers: Recent evidence and insights* Scaling up index insurance for smallholder farmers. CCAFS Report No. 14 Copenhagen: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Available at: <https://hdl.handle.net/10568/53101>
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R. & Meybeck, A. (2011) *Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention*. Rome: FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf> [Accessed June 26, 2019].
- Haddad, L. (2018) Reward food companies for improving nutrition. *Nature*, 556, 19–22.
- Hajjar, R., Jarvis, D. I., & Gemmill-Herren, B. (2008). The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services. In *Agriculture, Écosystèmes and Environment* (Vol. 123, Issue 4, pp. 261–270). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.08.003>
- Hajjar, R., Newton, P., Adshad, D., Bogaerts, M., Maguire-Rajpaul, V.A., Pinto, L.F.G., McDermott, C.L., Milder, J.C., Wollenberg, E. & Agrawal, A. (2019) Scaling up sustainability in commodity agriculture: Transferability of governance mechanisms across the coffee and cattle sectors in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 206, 124–132 Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618328221> [Accessed October 28, 2019].
- Hallin, S., Jones, C. M., Schloter, M., & Philippot, L. (2009). Relationship between n-cycling communities and ecosystem functioning in a 50-year-old fertilization experiment. *ISME Journal*, 3(5), 597–605. <https://doi.org/10.1038/ismej.2008.128>
- Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörren, T., Goulson, D. & De Kroon, H. (2017) More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE*, 12,. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Hanson, C. & Searchinger, T. (2015) *Ensuring crop expansion is limited to lands with low environmental opportunity costs*. Washington, DC Available at: [https://files.wri.org/s3fs-public/WRR\\_installment\\_10\\_low\\_environmental\\_opportunity\\_cost\\_lands.pdf](https://files.wri.org/s3fs-public/WRR_installment_10_low_environmental_opportunity_cost_lands.pdf).
- Hautier, Y., Tilman, D., Isbell, F., Seabloom, E. W., Borer, E. T., & Reich, P. B. (2015). Anthropogenic environmental changes affect ecosystem stability via biodiversity. *Science*, 348(6232), 336–340. <https://doi.org/10.1126/science.aaa1788>
- Hawkins, B. A., Mills, N. J., Jervis, M. A., & Price, P. W. (1999). Is the Biological Control of Insects a Natural Phenomenon? *Oikos*, 86(3), 493. <https://doi.org/10.2307/3546654>
- Haynes, R. J. (2014). Nature of the Belowground Ecosystem and Its Development during Pedogenesis. In *Advances in Agronomy* (Vol. 127, pp. 43–109). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800131-8.00002-9>
- Herrero, M., Thornton, P. K., Power, B., Bogard, J. R., Remans, R., Fritz, S., Gerber, J. S., Nelson, G., See, L., Waha, K., Watson, R. A., West, P. C., Samberg, L. H., van de Steeg, J., Stephenson, E., van Wijk, M., & Havlík, P. (2017). Farming and the geography of nutrient production for human use: a transdisciplinary analysis. *The Lancet Planetary Health*, 1(1), e33–e42. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30007-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30007-4)
- High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition (2017) *HLPE The High Level Panel of Experts on Food Security, Nutrition and food systems*. Rome: FAO. Available at: [www.fao.org/cfs/cfs-hlpe](http://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe)
- Hijri, M. (2016). Analysis of a large dataset of mycorrhiza inoculation field trials on potato shows highly significant increases in yield. *Mycorrhiza*, 26(3), 209–214. <https://doi.org/10.1007/s00572-015-0661-4>
- Hillbrand, A., Borelli, S., Conigliaro, M. & Olivier, A. (2017) *Agroforestry for landscape restoration: Exploring the potential of agroforestry to enhance the sustainability and resilience of degraded landscapes*. Rome, FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/b-i7374e.pdf>
- Hillel, D. (2008) *Soil as a Living Body: crucible of terrestrial life*. London, UK: Elsevier.
- Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P. V. & Evans, A.D. (2005) Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122, 113–130. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.07.018>

- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J., & Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3–35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- Horner-Devine, M. C., Leibold, M. A., Smith, V. H., & Bohannan, B. J. M. (2003). Bacterial diversity patterns along a gradient of primary productivity. *Ecology Letters*, 6(7), 613–622. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2003.00472.x>
- Hungria, M., Campo, R. J., & Mendes, I. C. (2003). Benefits of inoculation of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) crop with efficient and competitive *Rhizobium tropici* strains. *Biology and Fertility of Soils*, 39(2), 88–93. <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0682-6>
- Institute of Medicine and National Research Council (2015) *A Framework for Assessing Effects of the Food System*. Washington, D.C.: National Academies Press Available at: <http://www.nap.edu/catalog/18846> [Accessed September 24, 2019].
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2019) *Special Report on Climate Change and Land*. Geneva: IPCC. Available at: <https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep22279.pdf>
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (2018) *Summary for policymakers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany: IPCC. Available at: [https://ipbes.net/sites/default/files/spm\\_3bi\\_ldr\\_digital.pdf](https://ipbes.net/sites/default/files/spm_3bi_ldr_digital.pdf)
- Isaacs, R., & Kirk, A. K. (2010). Pollination services provided to small and large highbush blueberry fields by wild and managed bees. *Journal of Applied Ecology*, 47(4), 841–849. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01823.x>
- Isbell, F., Calcagno, V., Hector, A., Connolly, J., Harpole, W. S., Reich, P. B., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B., Tilman, D., Van Ruijven, J., Weigelt, A., Wilsey, B. J., Zavaleta, E. S., & Loreau, M. (2011). High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature*, 477(7363), 199–202. <https://doi.org/10.1038/nature10282>
- IWMI, 'International Water Management Institute' (2007) *Annual Report 2007-2008: Helping the world adapt to water scarcity*. Colombo, Sri Lanka: IWMI. Available at: [http://www.iwmi.cgiar.org/About\\_IWMI/Strategic\\_Documents/Annual\\_Reports/2007\\_2008/IWMI\\_AR\\_2007\\_2008.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/About_IWMI/Strategic_Documents/Annual_Reports/2007_2008/IWMI_AR_2007_2008.pdf)
- Jakobsen, I., Abbott, L. K., & Robson, A. D. (1992). External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 1. Spread of hyphae and phosphorus inflow into roots. *New Phytologist*, 120(3), 371–380. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb01077.x>
- Jennings, D.E., Duan, J.J. & Follett, P.A. (2017) Environmental Impacts of Arthropod Biological Control: An Ecological Perspective. In *Environmental Pest Management: Challenges for Agronomists, Ecologists, Economists and Policymakers* Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.
- Joung, K. ., & Côté, J. C. (2000). A review of the environmental impacts of the microbial insecticide *Bacillus thuringiensis*. In *Agriculture and Agri- Food Canada, Technical Bulletin No. 29*.
- Jurburg, S. D., & Salles, J. F. (2015). Functional Redundancy and Ecosystem Function — The Soil Microbiota as a Case Study. In Y. H. Lo, J. A. Blanco, & S. Roy (Eds.), *Biodiversity in Écosystèmes - Linking Structure and Function* (pp. 29–50). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/58981>
- Kardol, P., Bezemer, T. M., Van Der Wal, A., & Van Der Putten, W. H. (2005). Successional trajectories of soil nematode and plant communities in a chronosequence of ex-arable lands. *Biological Conservation*, 126(3), 317–327. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.06.005>
- Kassam, A., Friedrich, T. & Derpsch, R. (2019) Global spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*, 76, 29–51. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927>
- Kätterer, T., Bolinder, M. A., Andrén, O., Kirchmann, H., & Menichetti, L. (2011). Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture, Écosystèmes and Environment*, 141(1–2), 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.029>
- Keenan, R.J., Reams, G.A., Achard, F., de Freitas, J. V., Grainger, A. & Lindquist, E. (2015) Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. *Forest Ecology and Management*, 352, 9–20 Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112715003400> [Accessed March 28, 2019].

- Keenleyside, C. & Tucker, G. (2010) *Farmland Abandonment in the EU: an Assessment of Trends and Prospects*. A report for WWF Netherlands by Available at: [www.ieep.eu](http://www.ieep.eu) [Accessed December 12, 2019].
- Kell, D.B. (2011) Breeding crop plants with deep roots. *Annals of Botany*, 108 (3) 407–418. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr175>
- Keller, T., Sandin, M., Colombi, T., Horn, R. & Or, D. (2019) Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. *Soil and Tillage Research*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>
- Kennedy, A. C., & de Luna, L. Z. (2005). Rhizosphere. In D. Hillel (Ed.), *Encyclopedia of Soils in the Environment* (pp. 399–406). Science Direct. <https://doi.org/10.1016/b0-12-348530-4/00163-6>
- Kertész & Madarász, B. (2014) Conservation Agriculture in Europe. *International Soil and Water Conservation Research*, 2, 91–96. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30016-2](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30016-2)
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007, February 7). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Klerkx, L., van Mierlo, B. & Leeuwis, C. (2012) Evolution of systems approaches to agricultural innovation: concepts, analysis and interventions. In *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic. I. Darnhofer, D. Gibbon, and B. Dedieu (eds.)* pp 457–482.
- Knapp, S., & van der Heijden, M. G. A. (2018). A global meta-analysis of yield stability in organic and conservation agriculture. *Nature Communications*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05956-1>
- Köhl, L., Oehl, F., & van der Heijden, M. G. A. (2014). Agricultural practices indirectly influence plant productivity and ecosystem services through effects on soil biota. *Ecological Applications*, 24(7), 1842–1853. <https://doi.org/10.1890/13-1821.1>
- Kremen, C., Williams, N. M., & Thorp, R. W. (2002). Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(26), 16812–16816. <https://doi.org/10.1073/pnas.262413599>
- Kuzyakov, Y., Friedel, J.K. & Stahr, K. (2000) Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 1485–1498. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00084-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00084-5)
- Laban, P., Metternicht, G. & Davies, J. (2018) *Soil biodiversity and soil organic carbon: keeping drylands alive*. Gland, Switzerland: IUCN. Available at: <https://portals.iucn.org/library/node/47735>
- Lacey, L. A., & Georgis, R. (2012). Entomopathogenic nematodes for control of insect pests above and below ground with comments on commercial production. *Journal of Nematology*, 44(2), 218–225. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3578470/>
- Lahmar, R. (2010) Adoption of conservation agriculture in Europe. Lessons of the KASSA project. *Land Use Policy*, 27, 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.02.001>
- Lammoglia, S.K., Moeys, J., Barriuso, E., Larsbo, M., Marín-Benito, J.M., Justes, E., Alletto, L., Ubertosi, M., Nicolardot, B., Munier-Jolain, N. & Mamy, L. (2017) Sequential use of the STICS crop model and of the MACRO pesticide fate model to simulate pesticides leaching in cropping systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 6895–6909. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6842-7>
- Lapena, I., Halewood, M. & Hunter, D. (2016) *Mainstreaming agricultural biological diversity across sectors through NBSAPs: Missing Links to Climate Change Adaptation, Dietary Diversity and the Plant Treaty* Copenhagen, Denmark: CGIAR. Available at: [https://cgispace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/78323/CCAFS\\_info\\_note\\_NBSAPS-final\\_biodiversity.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cgispace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/78323/CCAFS_info_note_NBSAPS-final_biodiversity.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Larsen, B. B., Miller, E. C., Rhodes, M. K., & Wiens, J. J. (2017). Inordinate fondness multiplied and redistributed: The number of species on earth and the new pie of life. *Quarterly Review of Biology*, 92(3), 229–265. <https://doi.org/10.1086/693564>
- Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O.W. & Dhillon, S. (1997) Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33, 159–193. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010015216>
- Le, Q.B., Ephraim, N. & Mirzabaev, A. (2014) *Biomass Productivity-Based Mapping of Global Land Dégradation Hot-spots*. ZEF - Discussion Papers on Development Policy No. 193. , 57. University of Bonn. Available at: [https://www.zef.de/uploads/tx\\_zefportal/Publications/zef\\_dp\\_193.pdf](https://www.zef.de/uploads/tx_zefportal/Publications/zef_dp_193.pdf)

- Lendzemo, V. W., Kuyper, T. W., Kropff, M. J., & Van Ast, A. (2005). Field inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi reduces *Striga hermonthica* performance on cereal crops and has the potential to contribute to integrated *Striga* management. *Field Crops Research*, 91(1), 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.05.003>
- Lin, B. B. (2010). The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroécosystèmes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(4), 510–518. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.11.010>
- Liniger, H., & Critchley, W. (2007). *Where the land is greener*. Co-published by CTA, UNEP, FAO and CDE. Available at: [https://www.wocat.net/documents/87/where\\_the\\_land\\_is\\_greener\\_WEB.pdf](https://www.wocat.net/documents/87/where_the_land_is_greener_WEB.pdf)
- Locke, H., Ellis, E.C., Venter, O., Schuster, R., Ma, K., Shen, X., Woodley, S., Kingston, N., Bhola, N., Strassburg, B.B.N., Paulsch, A., Williams, B. & Watson, J.E.M. (2019) Three global conditions for biodiversity conservation and sustainable use: an implementation framework. *National Science Review*, 6, 1080–1082. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwz136>
- Losey, J. E., & Vaughan, M. (2006). The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects. *BioScience*, 56(4), 311–323. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[311:TEVOES\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[311:TEVOES]2.0.CO;2)
- Lowder, S.K., Skoet, J. & Raney, T. (2016) The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide. *World Development*, 87, 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.041>
- Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296(5573), 1694–1697. <https://doi.org/10.1126/science.1071148>
- Malézieux, E. (2012) Designing cropping systems from nature. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 15–29.
- Mando, A. (1997). Effect of termites and mulch on the physical rehabilitation of structurally crusted soils in the Sahel. *Land Dégradation & Development*, 8(3), 269–278. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199709\)8:3<269::AID-LDR260>3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199709)8:3<269::AID-LDR260>3.0.CO;2-8)
- Maron, P. A., Sarr, A., Kaisermann, A., Lévêque, J., Mathieu, O., Guigue, J., Karimi, B., Bernard, L., Dequiedt, S., Terrat, S., Chabbi, A., & Ranjard, L. (2018). High microbial diversity promotes soil ecosystem functioning. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(9). <https://doi.org/10.1128/AEM.02738-17>
- Marshall, E.J.P. (2004) Agricultural Landscapes. *Journal of Crop Improvement*, 12, 365–404 [https://doi.org/10.1300/J411v12n01\\_05](https://doi.org/10.1300/J411v12n01_05)
- Martínez-García, L. B., Korthals, G., Brussaard, L., Jørgensen, H. B., & De Deyn, G. B. (2018). Organic management and cover crop species steer soil microbial community structure and functionality along with soil organic matter properties. *Agriculture, Écosystèmes and Environment*, 263, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.04.018>
- McGahey, D., Davies, J., Hagelberg, N. & Ouedraogo, R. (2014) *Pastoralism and the Green Economy: a natural nexus?* Nairobi: IUCN and UNEP Available at: [http://cmsdata.iucn.org/downloads/wisp\\_green\\_economy\\_book.pdf](http://cmsdata.iucn.org/downloads/wisp_green_economy_book.pdf).
- McNeill, A. & Unkovich, M. (2007) The Nitrogen Cycle in Terrestrial Écosystèmes. In *Nutrient Cycling in Terrestrial Écosystèmes* pp 37–64. Springer Berlin Heidelberg.
- Meena, R.S., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., Sharma, M.P., Yadav, G.S., Jhariya, M.K., Jangir, C.K., Pathan, S.I., Dokulilova, T., Pecina, V. & Marfo, T.D. (2020) Impact of Agrochemicals on Soil Microbiota and Management: A Review. *Land*, 9 (2). <https://doi.org/10.3390/land9020034>
- Meijaard, E., Garcia-Ulloa, Sheil, J., Carlson, S.A., Juffe-Bignoli & Brooks (2018) *Oil palm and biodiversity: A situation analysis by the IUCN Oil Palm Task Force*. International Union for the Conservation of Nature. Gland, Switzerland: IUCN Available at: <https://www.iucn-optf.org/>.
- Mekonen Ertiban, S. (2019) Soil Fauna as Webmasters, Engineers and Bioindicators in Écosystèmes: Implications for Conservation Ecology and Sustainable Agriculture. *American Journal of Life Sciences*, 7, 17–26. doi: 10.11648/j.ajls.20190701.14
- Menta, C. (2012) Soil Fauna Diversity - Function, Soil Dégradation, Biological Indices, Soil Restoration. In *Biodiversity Conservation and Utilization in a Diverse World* pp 59–94.
- Metting, B. (1981) The systematics and ecology of soil algae. *The Botanical Review*, 47, 195–312. <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02868854>
- Minasny, B., Malone, B.P., McBratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z.S., Cheng, K., Das, B.S., Field, D.J., Gimona, A., Hedley, C.B., Hong, S.Y., Mandal, B., Marchant, B.P., Martin, M., McConkey, B.G., Mulder, V.L., O'Rourke, S., et al (2017) Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59–86. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>

- Mitchell, R. (2013) Soil Ecology and Ecosystem Services - edited by Wall, D.H., Bardgett, R.D., Behan-Pelletier, V., Herrick, J.E., Jones, T.H., Ritz, K., Six, J., Strong, D.R. & van der Putten, W.H. *European Journal of Soil Science*, 64, 546.
- Moreau, D., Bardgett, R.D., Finlay, R.D., Jones, D.L. & Philippot, L. (2019) A plant perspective on nitrogen cycling in the rhizosphere. *Functional Ecology*, 33, 540–552. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13303>
- Morris, N.L., Miller, P.C.H., Orson, J.H. & Froud-Williams, R.J. (2010) The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment-A review. *Soil and Tillage Research*, 108, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.03.004>
- Mulumba, J. W., Nankya, R., Adokorach, J., Kiwuka, C., Fadda, C., De Santis, P., & Jarvis, D. I. (2012). A risk-minimizing argument for traditional crop varietal diversity use to reduce pest and disease damage in agricultural écosystèmes of Uganda. *Agriculture, Écosystèmes and Environment*, 157, 70–86. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.02.012>
- Neher, D. A. (2001). Role of nematodes in soil health and their use as indicators. *Journal of Nematology*, 33(4), 161–168. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2620512/>
- Network, F.S.I. (2018) *Global Report on Food Crises 2018*. Available at: <https://www.wfp.org/publications/global-report-food-crises-2018#:~:text=The 2018 Global Report on,severe hunger in the world.&text=Conflict and insecurity continued to,in need of urgent assistance.>
- Nicholls, C.I. & Altieri, M.A. (2018) Pathways for the amplification of agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42, 1170–1193 <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1499578>
- Nordborg, M. & Roos, E. (2016) *Holistic management - a critical review of Allan Savory's grazing method*. Centre for Organic Food & Farming & Chalmers: Uppsala. 46 pages. Available at: [https://orgprints.org/34330/1/holisticmanagement\\_review.pdf](https://orgprints.org/34330/1/holisticmanagement_review.pdf)
- Norris, K. (2008) Agriculture and biodiversity conservation: opportunity knocks. *Conservation Letters*, 1, 2–11. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2008.00007.x>
- Nyanga, P.H. (2012) Factors Influencing Adoption and Area under Conservation Agriculture: A Mixed Methods Approach. *Sustainable Agriculture Research*, 1. 10.22004/ag.econ.231353
- Oberc, B.P. & Arroyo Schnell, A. (2020) *Approaches to Sustainable Agriculture: exploring the pathways towards the future of farming Brussels*. Brussels, Belgium: IUCN EURO. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-017-En.pdf>
- Ogle, S.M., Alsaker, C., Baldock, J., Bernoux, M., Breidt, F.J., McConkey, B., Regina, K. & Vazquez-Amabile, G.G. (2019) Climate and Soil Characteristics Determine Where No-Till Management Can Store Carbon in Soils and Mitigate Greenhouse Gas Emissions. *Scientific Reports*, 9. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-47861-7>
- Oldfield, E. E., Bradford, M. A., & Wood, S. A. (2019). Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. *Soil*, 5, 15–32. <https://doi.org/10.5194/soil-5-15-2019>
- Organisation for Economic Cooperation and Development (2001) *Measuring Productivity* Available at: <https://www.oecd.org/sdd/productivity-stats/40526851.pdf> [Accessed April 14, 2020].
- Organisation for Economic Cooperation and Development (2020) *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2020*. Paris, OECD. <https://doi.org/10.1787/22217371>
- Orgiazzi, A., D. Bardgett, R., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J.-L., Deyn, G.B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N., Jones, A., Kandeler, E., Kaneko, N., Lavelle, P., Lemanceau, P., Miko, L. & Verheijen, F. (2016) *Global Soil Biodiversity Atlas*. Luxembourg: European Commission.
- Orgiazzi, A., & Panagos, P. (2018). Soil biodiversity and soil erosion: It is time to get married. *Global Ecology and Biogeography*, 27(10), 1155–1167. <https://doi.org/10.1111/geb.12782>
- Pal, A. & Pandey, S. (2014) Role of Glomalin in Improving Soil Fertility: A Review. *International Journal of Plant & Soil Science*, 3, 1112–1129.
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L. & Grace, P. (2014) Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Écosystèmes and Environment*, 187, 87–105. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.010>
- Papanikolaou, A. D., Kühn, I., Frenzel, M., Kuhlmann, M., Poschlod, P., Potts, S. G., Roberts, S. P. M., & Schweiger, O. (2017). Wild bee and floral diversity co-vary in response to the direct and indirect impacts of land use. *Ecosphere*, 8(11), e02008. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2008>

- Perrings, C., Jackson, L., Bawa, K., Brussaard, L., Brush, S., Gavin, T., Papa, R., Pascual, U. & De Ruiter, P. (2006) Biodiversity in Agricultural Landscapes: Saving Natural Capital without Losing Interest. *Conservation Biology*, 20, 263–264 <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00390.x>
- Persson, A.S., Olsson, O., Rundlö, M. & Smith, H.G. (2010) Land use intensity and landscape complexity-Analysis of landscape characteristics in an agricultural region in Southern Sweden. *Agriculture, Écosystèmes and Environment*, 136, 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.12.018>
- Peter, H., Beier, S., Bertilsson, S., Lindström, E. S., Langenheder, S., & Tranvik, L. J. (2011). Function-specific response to depletion of microbial diversity. *ISME Journal*, 5(2), 351–361. <https://doi.org/10.1038/ismej.2010.119>
- Petersen, H., & Luxton, M. (1982). A Comparative Analysis of Soil Fauna Populations and Their Role in Decomposition Processes. *Oikos*, 39(3), 288. <https://doi.org/10.2307/3544689>
- Peterson, R. L., Piché, Y., & Plenchette, C. (1984). Mycorrhizae and their potential use in the agricultural and forestry industries. *Biotechnology Advances*, 2(1), 101-122. [https://doi.org/10.1016/0734-9750\(84\)90243-X](https://doi.org/10.1016/0734-9750(84)90243-X)
- Peyret-Guzzon, M., Stockinger, H., Bouffaud, M.L., Farcy, P., Wipf, D. & Redecker, D. (2016) Arbuscular mycorrhizal fungal communities and Rhizophagus irregularis populations shift in response to short-term ploughing and fertilisation in a buffer strip. *Mycorrhiza*, 26, 33–46 Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-015-0644-5> [Accessed July 7, 2020].
- Pittelkow, C. M., Liang, X., Linqvist, B. A., Van Groenigen, L. J., Lee, J., Lundy, M. E., Van Gestel, N., Six, J., Venterea, R. T., & Van Kessel, C. (2015). Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517(7534), 365–368. <https://doi.org/10.1038/nature13809>
- Plaas, E., Meyer-Wolfarth, F., Banse, M., Bengtsson, J., Bergmann, H., Faber, J., Potthoff, M., Runge, T., Schrader, S., & Taylor, A. (2019). Towards valuation of biodiversity in agricultural soils: A case for earthworms. *Ecological Economics*, 159, 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.02.003> <https://doi.org/10.1038/nature13809>
- Ponisio, L. C., M'Gonigle, L. K., Mace, K. C., Palomino, J., de Valpine, P., & Kremen, C. (2015). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1799), 20141396. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396>
- Power, A.G. (2010) Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365, 2959–2971 Available at: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/royptb/365/1554/2959.full.pdf>.
- Powlson, D.S., Stirling, C.M., Jat, M.L., Gerard, B.G., Palm, C.A., Sanchez, P.A. & Cassman, K.G. (2014) Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 4, 678–683. available at: <https://www.nature.com/articles/nclimate2292>
- Preciado, R. (2014) *Mecanismos para compartir beneficios: una introducción para la planificación e implementación*. Lima: CONDESAN. Available at: <https://condesan.org/recursos/mecanismos-para-compartir-beneficios-una-introduccion-para-la-planificacion-e-implementacion/>.
- Pretty, J., Toulmin, C. & Williams, S. (2011) Sustainable intensification in African agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9, 5–24 Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3763/ijas.2010.0583> [Accessed October 28, 2019].
- van der Putten, W.H., Anderson, J.M., Bardgett, R.D., Behan-Pelletier, V.M., Bignell, D.E., Brown, G.G., Brown, V.K., Brussaard, L., Hunt, H.W. & Ineson, P. (2004) The sustainable delivery of goods and services provided by soil biota. In: Wall D.H. (ed.) *Sustaining biodiversity and ecosystem services in soils and sediments*, pp 15–43. Island Press.
- Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L.A., Garratt, M.P.D., Howlett, B.G., Winfree, R., Cunningham, S.A., Mayfield, M.M., Arthur, A.D., Andersson, G.K.S., Bommarco, R., Brittain, C., Carvalheiro, L.G., Chacoff, N.P., Entling, M.H., Folly, B., Freitas, B.M., Gemmill-Herren, B., Ghazoul, J., Griffin, S.R., et al (2016) Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113, 146 LP – 151. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517092112>
- Ragassa, C. (2014) Improving Gender Responsiveness of Agricultural Extension. In Quisumbing AR Meinzen-Dick R Raney T Croppenstedt A Behrman JA & Peterman A (eds), *Gender in Agriculture: closing the knowledge gap*, p 444. Dordrecht, Heidelberg, New York, London: Springer.

- Ramankutty, N., Mehrabi, Z., Waha, K., Jarvis, L., Kremen, C., Herrero, M. & Rieseberg, L.H. (2018) Trends in Global Agricultural Land Use: Implications for Environmental Health and Food Security. *Annual Review of Plant Biology*, 69, 789–815 <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040256>
- Ramirez, K. S., Döring, M., Eisenhauer, N., Gardi, C., Ladau, J., Leff, J. W., Lentendu, G., Lindo, Z., Rillig, M. C., Russell, D., Scheu, S., St. John, M. G., de Vries, F. T., Wubet, T., van der Putten, W. H., & Wall, D. H. (2015). Toward a global platform for linking soil biodiversity data. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3(JUL), 91. <https://doi.org/10.3389/fevo.2015.00091>
- Raworth, K. (2017) *Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist*. London, UK: Chelsea Green Publishing.
- Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2(2), 15221. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>
- Regmi, A., Rojas Lara, T., Kleinwechter, U., Conwell, A. & Gotor, E. (2016) *Integrating Biodiversity and Ecosystem Services into the Economic Analysis of Agricultural Systems*. Rome, Bioversity International. Available at: [https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/70962/Integrating biodiversity and ecosystem services\\_2045.pdf;sequence=1](https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/70962/Integrating%20biodiversity%20and%20ecosystem%20services_2045.pdf;sequence=1).
- Reich, P. B., Knops, J., Tilman, D., Craine, J., Ellsworth, D., Tjoelker, M., Lee, T., Wedin, D., Naeem, S., Bahaouddin, D., Hendrey, G., Jose, S., Wrage, K., Goth, J., & Bengtson, W. (2001). Plant diversity enhances ecosystem responses to elevated CO<sub>2</sub> and nitrogen deposition. *Nature*, 410(6830), 809–812. <https://doi.org/10.1038/35071062>
- Remans, R., Flynn, D.F.B., DeClerck, F., Diru, W., Fanzo, J., Gaynor, K., Lambrecht, I., Mudioppe, J., Mutuo, P.K., Nkhoma, P., Siriri, D., Sullivan, C. & Palm, C.A. (2011) Assessing nutritional diversity of cropping systems in African villages. *PLoS ONE*, 6, e21235 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021235>
- Renuka, N., Guldhe, A., Prasanna, R., Singh, P. & Bux, F. (2018) Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: current trends, prospects and challenges. *Biotechnology Advances*, 36, 1255–1273. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.04.004>
- Requena, N., Perez-Solis, E., Azcón-Aguilar, C., Jeffries, P., & Barea, J. M. (2001). Management of indigenous plant-microbe symbioses aids restoration of desertified ecosystems. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(2), 495–498. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.2.495-498.2001>
- Ricciardi, V., Ramankutty, N., Mehrabi, Z., Jarvis, L. & Chookolingo, B. (2018) How much of the world's food do smallholders produce? *Global Food Security*, 17, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.05.002>
- Robertson, G. P., & Swinton, S. M. (2005). Reconciling Agricultural Productivity and Environmental Integrity: A Grand Challenge for Agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3(1), 38–46. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2005\)003\[0038:RAPAEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2005)003[0038:RAPAEI]2.0.CO;2)
- Rockström, J., Gaffney, O., Rogelj, J., Meinshausen, M., Nakicenovic, N. & Schellnhuber, H.J. (2017a) A roadmap for rapid decarbonization. *Science*, 355, 1269–1271. DOI: 10.1126/science.aah3443
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2). <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., Wetterstrand, H., DeClerck, F., Shah, M., Steduto, P., de Fraiture, C., Hatibu, N., Unver, O., Bird, J., Sibanda, L. & Smith, J. (2017b) Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46, 4–17 Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s13280-016-0793-6> [Accessed August 29, 2019].
- Roger-Estrade, J., Anger, C., Bertrand, M. & Richard, G. (2010) Tillage and soil ecology: Partners for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research*, 111, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.08.010>
- Rohwer, F., Prangishvili, D., & Lindell, D. (2009). Roles of viruses in the environment. In *Environmental Microbiology* Environmental Microbiology 11(11): 2771-2774. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2009.02101.x>

- Romdhane, S., Devers-Lamrani, M., Beguet, J., Bertrand, C., Calvayrac, C., Salvia, M.V., Jrad, A. Ben, Dayan, F.E., Spor, A., Barthelmebs, L. & Martin-Laurent, F. (2019) Assessment of the ecotoxicological impact of natural and synthetic  $\beta$ -triketone herbicides on the diversity and activity of the soil bacterial community using omic approaches. *Science of the Total Environment*, 651, 241–249. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.159>
- Rose, M.T., Cavagnaro, T.R., Scanlan, C.A., Rose, T.J., Vancov, T., Kimber, S., Kennedy, I.R., Kookana, R.S. & Van Zwieten, L. (2016) Impact of Herbicides on Soil Biology and Function. In *Advances in Agronomy* pp 133–220. Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.11.005>
- Roser, M. & Ortiz-Ospina, E. (2017) *Our World in Data*. Available at: <https://ourworldindata.org/>.
- Rulli, M.C., Savioli, A. & D'Odorico, P. (2013) Global land and water grabbing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, 892–7 <https://doi.org/10.1073/pnas.1213163110>
- Rundlöf, M., Smith, H. G., & Birkhofer, K. (2016). Effects of Organic Farming on Biodiversity. In *eLS (Explore the Life Sciences)* (pp. 1–7). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0026342>
- Rusch, A., Chaplin-Kramer, R., Gardiner, M.M., Hawro, V., Holland, J., Landis, D., Thies, C., Tscharnke, T., Weisser, W.W., Winqvist, C., Woltz, M. & Bommarco, R. (2016) Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture, Écosystèmes & Environment*, 221, 198–204 Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880916300512> [Accessed March 19, 2019].
- Scheffers, B. R., Joppa, L. N., Pimm, S. L., & Laurance, W. F. (2012). What we know and don't know about Earth's missing biodiversity. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 27, Issue 9, pp. 501–510). Elsevier Current Trends. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.05.008>
- Schnoor, T.K., Lekberg, Y., Rosendahl, S. & Olsson, P.A. (2011) Mechanical soil disturbance as a determinant of arbuscular mycorrhizal fungal communities in semi-natural grassland. *Mycorrhiza*, 21, 211–220 Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-010-0325-3> [Accessed July 7, 2020].
- Schweiger, O., Maelfait, J.P., Van Wingerden, W., Hendrickx, F., Billeter, R., Speelmans, M., Augenstein, I., Aukema, B., Aviron, S., Bailey, D., Bukacek, R., Burel, F., Diekötter, T., Dirksen, J., Frenzel, M., Herzog, F., Liira, J., Roubalova, M. & Bugter, R. (2005) Quantifying the impact of environmental factors on arthropod communities in agricultural landscapes across organizational levels and spatial scales. *Journal of Applied Ecology*, 42, 1129–1139. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01085.x>
- Schwilch, G., Hessel, R. & Verzandvoort, S.J.E. (2012) *Desire for greener land : options for sustainable land management in drylands*. University of Bern [etc.] Available at: <https://research.wur.nl/en/publications/desire-for-greener-land-options-for-sustainable-land-management-i> [Accessed September 2, 2019].
- Scoones, I. (1995) *Living with Uncertainty: New directions in pastoral development in Africa*. London, UK: Intermediate Technology Publications Ltd.
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485(7397), 229–232. <https://doi.org/10.1038/nature11069>
- Shah, F., & Wu, W. (2019). Soil and Crop Management Strategies to Ensure Higher Crop Productivity within Sustainable Environments. *Sustainability*, 11(5), 1485. <https://doi.org/10.3390/su11051485>
- Shepherd, K.D., Shepherd, G. & Walsh, M.G. (2015) Land health surveillance and response: A framework for evidence-informed land management. *Agricultural Systems*, 132, 93–106. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.09.002>
- Shipitalo, M. J., & Protz, R. (1987). Comparison of Morphology and Porosity of a Soil under Conventional and Zero Tillage. *Canadian Journal of Soil Science*, 67(3), 445–456. <https://doi.org/10.4141/cjss87-043>
- Shuster, W. D., McDonald, L. P., McCartney, D. A., Parmelee, R. W., Studer, N. S., & Stinner, B. R. (2002). Nitrogen source and earthworm abundance affected runoff volume and nutrient loss in a tilled-corn agroecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, 35(5), 320–327. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0474-4>
- Sieglwart, M., Graillet, B., Lopez, C.B., Besse, S., Bardin, M., Nicot, P.C. & Lopez-Ferber, M. (2015) Resistance to bio-insecticides or how to enhance their sustainability: A review. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00381>
- Silici, L. (2014) *Agroecology What it is and what it has to offer Food and agriculture*. London: International Institute for Environment and Development. Available at: <https://pubs.iied.org/14629IIED/>

- Sirami, C., Gross, N., Baillod, A.B., Bertrand, C., Carrié, R., Hass, A., Henckel, L., Miguet, P., Vuillot, C., Alignier, A., Girard, J., Batáry, P., Clough, Y., Violle, C., Giralt, D., Bota, G., Badenhausser, I., Lefebvre, G., Gauffre, B., Vialatte, A., et al (2019) Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116, 16442–16447.
- Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S. M., De Moraes Sa, J. C., & Albrecht, A. (2002). Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. *Agronomie*, 22(7–8), 755–775. <https://doi.org/10.1051/agro:2002043>
- Smith, P., House, J. I., Bustamante, M., Sobocká, J., Harper, R., Pan, G., West, P. C., Clark, J. M., Adhya, T., Rumpel, C., Paustian, K., Kuikman, P., Cotrufo, M. F., Elliott, J. A., Mcdowell, R., Griffiths, R. I., Asakawa, S., Bondeau, A., Jain, A. K., ... Pugh, T. A. M. (2016). Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change Biology*, 22(3), 1008–1028. <https://doi.org/10.1111/gcb.13068>
- Smith, S. & Read, D. (2008) *Mycorrhizal Symbiosis* 3rd ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press. Available at: <https://doi.org/10.1111/gcb.13068> [Accessed July 7, 2020].
- Snapp, S.S., Blackie, M.J., Gilbert, R.A., Bezner-Kerr, R. & Kanyama-Phiri, G.Y. (2010) Biodiversity can support a greener revolution in Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 20840–20845 <https://doi.org/10.1073/pnas.1007199107>
- Souza, E. M., Chubatsu, L. S., Huergo, L. F., Monteiro, R., Camilios-Neto, D., Wasseem, R., & de Oliveira Pedrosa, F. (2014). Use of nitrogen-fixing bacteria to improve agricultural productivity. *BMC Proceedings*, 8(4), 1–3. <https://doi.org/10.1186/1753-6561-8-s4-o23>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., Carpenter, S.R., Vries, W. de, Wit, C.A. de, Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B. & Sörlin, S. (2015) Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347, Available at: <https://science.sciencemag.org/content/347/6223/1259855.full>.
- Stewart, W. D. P. (1977). Present-Day Nitrogen-Fixing Plants. *Ambio*, 6, 166–173. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=SE19770187682>
- Subbarao, G. V., Nakahara, K., Hurtado, M.P., Ono, H., Moreta, D.E., Salcedo, A.F., Yoshihashi, A.T., Ishikawa, T., Ishitani, M., Ohnishi-Kameyama, M., Yoshida, M., Rondon, M., Rao, I.M., Lascano, C.E., Berry, W.L. & Ito, O. (2009) Evidence for biological nitrification inhibition in Brachiaria pastures. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 17302–17307. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903694106>
- Subsidiary Body on Scientific Technical and Technological Advice (2018) Review of pollinators and pollination relevant to the conservation and sustainable use of biodiversity in all écosystèmes, beyond their role in agriculture and food production. *Convention on Biological Diversity*.
- Sun, R., Li, W., Dong, W., Tian, Y., Hu, C., & Liu, B. (2018). Tillage changes vertical distribution of soil bacterial and fungal communities. *Frontiers in Microbiology*, 09. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00699>
- Susilo, F.X., Neutel, A.M., Noordwijk, M. van, Hairiah, K., Brown, G. & Swift, M.J. (2009) Soil biodiversity and food webs. In *Below-ground interactions in tropical agroécosystèmes: concepts and models with multiple plant components*, van Noordwijk M Cadisch G & Ong CK (eds) Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Swift, M.J., Heal, O.W. & Anderson, J.M. (1979) Decomposition in Terrestrial Écosystèmes. In *Studies in Ecology - Volume 5*.
- Tate, R. L. (2005). Encyclopedia of Soils in the Environment. *Soil Science*, 170(8), 669. <https://doi.org/10.1097/01.ss.0000178203.51170.63>
- The Economics of Biodiversity (2018) *The Economics of Écosystèmes & Biodiversity. The Economics of Écosystèmes and Biodiversity (TEEB)* (2018). TEEB for Agriculture & Food: Scientific and Economic Foundations. Geneva: UN Environment. Available at: <http://teebweb.org/agrifood/scientific-and-economic-foundations-report/>
- The High-Level Task Force on Global Food Security and Nutrition (2012) *Sustainable Agricultural Productivity Growth and Bridging the Gap for Small Family Farms: Interagency Report to the Mexican G20 Presidency* Washington DC: World Bank. Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/788091468171845538/text/705060WP0P10650p0Small0Family-0Farms.txt>

- The Royal Society (2009) *Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture*. London, UK: The Royal Society. Available at: [https://royalsociety.org/~media/Royal\\_Society\\_Content/policy/publications/2009/4294967719.pdf](https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/4294967719.pdf)
- Thiessen Martens, J. & Entz, M. (2011) Integrating green manure and grazing systems: A review. *Canadian Journal of Plant Science*, 91, 811–824. <https://doi.org/10.4141/cjps10177>
- Thiour-Mauprivez, C., Martin-Laurent, F., Calvayrac, C., & Barthelmebs, L. (2019). Effects of herbicide on non-target microorganisms: Towards a new class of biomarkers? *Science of the Total Environment*, 684, 314–325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.230>
- Thornton, P. K., & Herrero, M. (2010). Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(46), 19667–19672. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912890107>
- Tilman, D., Knops, J., Wedin, D., Reich, P., Ritchie, M., & Siemann, E. (1997). The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, 277(5330), 1300–1302. <https://doi.org/10.1126/science.277.5330.1300>
- Tittonell, P. (2014) Ecological intensification of agriculture-sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 53–61 Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.006> [Accessed August 29, 2019].
- Triplett, G.B. & Dick, W.A. (2008) No-Tillage Crop Production: A Revolution in Agriculture! *Agronomy Journal*, 100, S-153-S-165 Available at: <http://doi.wiley.com/10.2134/agronj2007.0005c> [Accessed January 24, 2020].
- Trubl, G., Jang, H. Bin, Roux, S., Emerson, J. B., Solonenko, N., Vik, D. R., Solden, L., Ellenbogen, J., Runyon, A. T., Bolduc, B., Woodcroft, B. J., Saleska, S. R., Tyson, G. W., Wrighton, K. C., Sullivan, M. B., & Rich, V. I. (2018). Soil Viruses Are Underexplored Players in Ecosystem Carbon Processing. *MSystems*, 3(5). <https://doi.org/10.1128/msystems.00076-18>
- Tsiafouli, M. A., Thébault, E., Sgardelis, S. P., de Ruiter, P. C., van der Putten, W. H., Birkhofer, K., Hemerik, L., de Vries, F. T., Bardgett, R. D., Brady, M. V., Bjornlund, L., Jørgensen, H. B., Christensen, S., Hertefeldt, T. D., Hotes, S., Gera Hol, W. H., Frouz, J., Liiri, M., Mortimer, S. R., ... Hedlund, K. (2015). Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology*, 21(2), 973–985. <https://doi.org/10.1111/gcb.12752>
- Tuck, S. L., Winqvist, C., Mota, F., Ahnström, J., Turnbull, L. A., & Bengtsson, J. (2014). Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: A hierarchical meta-analysis. In *Journal of Applied Ecology* (Vol. 51, Issue 3, pp. 746–755). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12219>
- Tugel, A.J. & Lewandowski, A.M. (2001) Soil Biology Primer [online]. Iowa: Soil and Water Conservation Society. Available at: [https://web.extension.illinois.edu/soil/SoilBiology/soil\\_biology\\_primer.htm](https://web.extension.illinois.edu/soil/SoilBiology/soil_biology_primer.htm)
- UICN (2020). Standard mondial de l'UICN pour les solutions fondées sur la nature. Cadre accessible pour la vérification, la conception et la mise à l'échelle des SfN. Première édition. Gland, Suisse : UICN <https://portals.iucn.org/library/node/49072>
- United Nations (1994) *Elaboration of an International Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa: Final Text of the Convention*. New York, United Nations. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27569/UNCCD\\_English.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27569/UNCCD_English.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- United Nations Convention to Combat Desertification (2015) Report of the Conference of the Parties on its twelfth session, held in Ankara from 12 to 23 October 2015. In *ICCD/COP(12) /20/Add.1* United Nations Available at: [https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/ICCD\\_COP12\\_20\\_Add.1/20add1eng.pdf#page=8](https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/ICCD_COP12_20_Add.1/20add1eng.pdf#page=8).
- United Nations Convention to Combat Desertification (2016) *Glossary for Performance and Progress Indicators, Financial Flows and Best Practices*. Addendum (ICCD/CRIC(11) /INF.3) Bonn Available at: <http://www.unccd.int/en/programmes/Capacity-building/CBW/Resources/Documents/2016Reporting/Glossary compiled Final.pdf>.
- United Nations Environment Programme (2007) *UNEP 2007 Annual Report*. Nairobi, Kenya. Available at: <https://digitallibrary.un.org/record/1491365?ln=en>.
- United Nations Environment Programme (2013) *Green Economy and Trade: Trends, Challenges and Opportunities*. Nairobi, Kenya Available at: <http://www.unep.org/greeneconomy/GreenEconomyandTrade>.

- Van Der Esch, S., Brink, B. ten, Stehfest, E., Michel Bakkenes, Annelies Sewell, Arno Bouwman, Johan Meijer, Henk Westhoek & Maurits van den Berg (2017) *Exploring future changes in land use and land condition and the impacts on food, water, climate change and biodiversity Scenarios for the UNCCD Global Land Outlook Policy Report*. The Hague: Netherlands Environment Institute. Available at: <https://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2017-exploring-future-changes-in-land-use-and-land-condition-2076b.pdf> [Accessed March 28, 2019].
- Van Elsas, J.D., Chiurazzi, M., Mallon, C.A., Elhottova, D., Krištůfek, V. & Salles, J.F. (2012) Microbial diversity determines the invasion of soil by a bacterial pathogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, 1159–1164. <https://doi.org/10.1073/pnas.1109326109>
- van den Hoogen, J., Geisen, S., Routh, D., Ferris, H., Traunspurger, W., Wardle, D. A., de Goede, R. G. M., Adams, B. J., Ahmad, W., Andriuzzi, W. S., Bardgett, R. D., Bonkowski, M., Campos-Herrera, R., Cares, J. E., Caruso, T., de Brito Caixeta, L., Chen, X., Costa, S. R., Creamer, R., ... Crowther, T. W. (2019). Soil nematode abundance and functional group composition at a global scale. *Nature*, 572(7768), 194–198. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1418-6>
- Van Groenigen, J. W., Lubbers, I. M., Vos, H. M. J., Brown, G. G., De Deyn, G. B., & Van Groenigen, K. J. (2014). Earthworms increase plant production: a meta-analysis. *Scientific Reports*, 4(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/srep06365>
- Verma, M., Brar, S. K., Tyagi, R. D., Surampalli, R. Y., & Valéro, J. R. (2007). Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: Panoply of biological control. In *Biochemical Engineering Journal* (Vol. 37, Issue 1, pp. 1–20). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.05.012>
- Vivant, A.L., Garmyn, D., Maron, P.A., Nowak, V. & Piveteau, P. (2013) Microbial Diversity and Structure Are Drivers of the Biological Barrier Effect against *Listeria monocytogenes* in Soil. *PLoS ONE*, 8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076991>
- Vogt, G. (2007) The origins of organic farming. In *Organic Farming: An International History* pp 9–29. CABI Publishing.
- Volf, M., Klimeš, P., Lamarre, G.P.A., Redmond, C.M., Seifert, C.L., Abe, T., Auga, J., Anderson-Teixeira, K., Basset, Y., Beckett, S., Butterill, P.T., Drozd, P., Gonzalez-Akre, E., Kaman, O., Kamata, N., Laird-Hopkins, B., Libra, M., Manumbor, M., Miller, S.E., Molem, K., et al (2019) Quantitative assessment of plant-arthropod interactions in forest canopies: A plot-based approach. *PLOS ONE*, 14. <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0222119>
- Wagg, C., Bender, S. F., Widmer, F., & Van Der Heijden, M. G. A. (2014). Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(14), 5266–5270. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320054111>
- Wall, D.H., Adams, G. & Parsons, A. (2011) Soil Biodiversity. In *Global Biodiversity in a Changing Environment*, Chapin III FS Sala OE & Huber-Sannwald E (eds) pp 47–82. Springer Link Available at: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4613-0157-8\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4613-0157-8_4)
- Wall, D. H., & Virginia, R. A. (2000). The world beneath our feet: soil biodiversity and ecosystem functioning. In P. R. Raven & T. Williams (Eds.), *Nature and Human Society: The Quest for a Sustainable World* (pp. 225–241). National Academy of Sciences and National Research Council.
- Wall, D. H., Fitter, A. H., & Paul, E. A. (2005). Developing new perspectives from advances in soil biodiversity research. In R. D. Bardgett, M. B. Usher, & D. W. Hopkins (Eds.), *Biological diversity and function in soils* (pp. 136–141). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00140-5>
- Wall, D.H., Nielsen, U.N. & Six, J. (2015) Soil biodiversity and human health. *Nature*, 528, 69–76. <https://www.nature.com/articles/nature15744/>
- Weber, K.T. & Horst, S. (2011) Desertification and livestock grazing: The roles of sedentarization, mobility and rest. *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, 1. <https://pastoralismjournal.springeropen.com/articles/10.1186/2041-7136-1-19>
- Weiner, C. N., Werner, M., Linsenmair, K. E., & Blüthgen, N. (2014). Land-use impacts on plant–pollinator networks: interaction strength and specialization predict pollinator declines. *Ecology*, 95(2), 466–474. <https://doi.org/10.1890/13-0436.1>
- Wertz, S., Degrange, V., Prosser, J.I., Poly, F., Commeaux, C., Guillaumaud, N. & Le Roux, X. (2007) Decline of soil microbial diversity does not influence the resistance and resilience of key soil microbial functional groups following a model disturbance. *Environmental Microbiology*, 9, 2211–2219. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2007.01335.x>

- West, P. C., Gerber, J. S., Engstrom, P. M., Mueller, N. D., Brauman, K. A., Carlson, K. M., Cassidy, E. S., Johnston, M., MacDonald, G. K., Ray, D. K., & Siebert, S. (2014). Leverage points for improving global food security and the environment. *Science*, 345(6194), 325–328. <https://doi.org/10.1126/science.1246067>
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D. & David, C. (2009) Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 503–515 <https://link.springer.com/article/10.1051/agro/2009004>
- Whitmee, S., Haines, A., Beyrer, C., Boltz, F., Capon, A.G., de Souza Dias, B.F., Ezeh, A., Frumkin, H., Gong, P., Head, P., Horton, R., Mace, G.M., Marten, R., Myers, S.S., Nishtar, S., Osofsky, S.A., Pattanayak, S.K., Pongsiri, M.J., Romanelli, C., Soucat, A., et al (2015) Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation–Lancet Commission on planetary health. *The Lancet*, 386, 1973–2028 DOI:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60901-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60901-1)
- Willer, H. & Lernoud, J. (2018) *The World of Organic Agriculture: Statistics and Emerging Trends*. Brussels, Belgium. Available at: <https://shop.fibl.org/chen/1076-organic-world-2018.html>.
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L.J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J.A., Vries, W. De, Sibanda, L.M., Afshin, A., et al (2019) Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393, 447–492 DOI:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Williamson, K. E., Fuhrmann, J. J., Wommack, K. E., & Radosevich, M. (2017). Viruses in Soil Écosystems: An Unknown Quantity Within an Unexplored Territory. *Annual Review of Virology*, 4(1), 201–219. <https://doi.org/10.1146/annurev-virology-101416-041639>
- Wong, G., Angelsen, A., Brockhaus, M., Carmenta, R., Duchelle, A.E., Leonard, S., Luttrell, C., Martius, C. & Wunder, S. (2016) *Results-based payments for REDD+: Lessons on finance, performance, and non-carbon benefits*. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR). Available at: <http://www.cifor.org/library/6108/results-based-payments-for-redd-lessons-on-finance-performance-and-non-carbon-benefits/> [Accessed January 23, 2020].
- World Commission on Environment and Development (1987) *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Towards Sustainable Development 2. Part II. Common Challenges Population and Human Resources 4*. Oxford, UK. Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> [Accessed August 23, 2019].
- World Health Organisation (2019) Overweight and obesity. *Global Health Observatory (GHO) data* Available at: [https://www.who.int/gho/ncd/risk\\_factors/overweight\\_text/en/](https://www.who.int/gho/ncd/risk_factors/overweight_text/en/).
- Xavier, G.R., Correia, M.E.F., de Aquino, A.M., Zilli, J.É. & Rumjanek, N.G. (2010) The Structural and Functional Biodiversity of Soil: An Interdisciplinary Vision for Conservation Agriculture in Brazil. In Dion P (ed). *Soil Biology and Agriculture in the Tropics*, pp 65–80.
- Xu, S., Jagadamma, S. & Rowntree, J. (2018) Response of grazing land soil health to management strategies: A summary review. *Sustainability (Switzerland)*, 10 (12), 4769. <https://doi.org/10.3390/su10124769>
- Yadav, I.C. & Devi, L.N. (2017) Pesticides Classification and Its Impact on Human and Environment. In *Environmental Science and Engineering*. pp 141–157. New York: Springer.
- Zavaleta, E. S., Pasari, J. R., Hulvey, K. B., & Tilman, G. D. (2010). Sustaining multiple ecosystem functions in grassland communities requires higher biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(4), 1443–1446. <https://doi.org/10.1073/pnas.0906829107>
- Zomer, R.A., Trabucco, A., Coe, R. & Place, F. (2009) *Trees on farm: analysis of global extent and geographical patterns of Agroforestry*. Nairobi, Kenya: ICRAF. Available at: <http://old.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/WP16263.pdf> [Accessed March 20, 2020].







**UNION INTERNATIONALE POUR LA  
CONSERVATION DE LA NATURE**

SIÈGE MONDIAL  
Rue Mauverney 28  
1196 Gland, Suisse  
Tél. +41 22 999 0000  
Fax +41 22 999 0002  
NbSStandard@iucn.org  
[www.iucn.org/fr](http://www.iucn.org/fr)