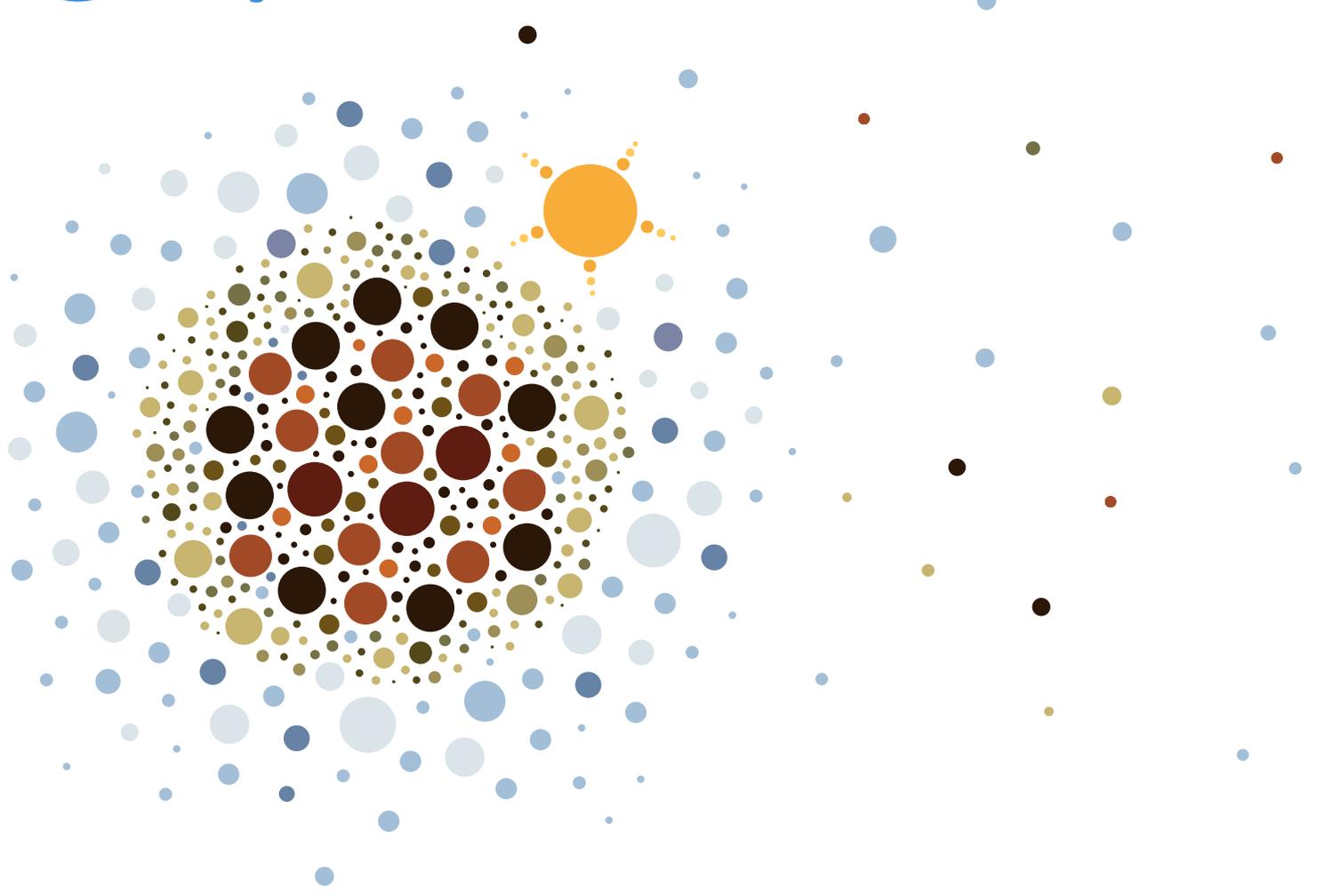




Organisation des Nations Unies  
pour l'alimentation  
et l'agriculture



# EXPLOITER LE POTENTIEL D'ADAPTATION DU CARBONE ORGANIQUE DES SOLS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DOCUMENT FINAL

COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LE CARBONE ORGANIQUE DU SOL  
21-23 MARS 2017 - SIÈGE DE LA FAO - ROME (ITALIE)



**United Nations**  
Convention to Combat  
Desertification





# EXPLOITER LE POTENTIEL D'ADAPTATION DU CARBONE ORGANIQUE DES SOLS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

DOCUMENT FINAL  
RELATIF AU COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LE CARBONE ORGANIQUE DES SOLS  
21-23 MARS 2017 | SIÈGE DE LA FAO - ROME, ITALIE

Un événement co-organisé par:

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

GSP | Partenariat Mondial sur les sols

GIEC | Groupe d'experts intergouvernemental sur le climat

ITPS | Groupe technique intergouvernemental sur les sols

CNULCD | Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification

CNULCD-SPI | Interface science-politique de la CNULCD

OMM | Organisation météorologique mondiale

UNCCD-SPI | Science-Policy Interface of the UNCCD

WMO | World Meteorological Organization

# AVERTISSEMENT ET DROIT D'AUTEUR

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part des institutions organisatrices - l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le Partenariat Mondial sur les sols et son Groupe technique intergouvernemental sur les sols, le Groupe d'experts intergouvernemental sur le climat, la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification et son interface science-politique et l'Organisation météorologique mondiale - aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. La mention de sociétés déterminées ou de produits de fabricants, qu'ils soient ou non brevetés, n'entraîne, de la part de la FAO, aucune approbation ou recommandation desdits produits de préférence à d'autres de nature analogue qui ne sont pas cités. Le contenu de ce document final et les conclusions ou recommandations qu'il contient ne reflètent pas les opinions ou politiques des institutions organisatrices. Les points de vue exprimés dans le document final reflètent un compte rendu des discussions des participants, appuyés sur des preuves scientifiques lorsqu'elles sont nécessaires et les recommandations qui en découlent.

Le co-parrainage du GIEC n'implique pas son approbation du document final ou des recommandations ou conclusions qui s'y trouvent. Ni les articles présentés lors du colloque ni ce document final n'ont été soumis au GIEC pour révision.

ISBN 978-92-5-130122-7

© FAO, 2018

La FAO encourage l'utilisation, la reproduction et la diffusion des informations figurant dans ce produit d'information. Sauf indication contraire, le contenu peut être copié, téléchargé et imprimé aux fins d'étude privée, de recherches ou d'enseignement, ainsi que pour son utilisation dans des produits ou services non commerciaux, sous réserve que la FAO soit correctement mentionnée comme source et comme titulaire du droit d'auteur et à condition qu'il ne soit sous-entendu en aucune manière que la FAO approuverait les opinions, produits ou services des utilisateurs.

Toute demande relative aux droits de traduction ou d'adaptation, à la revente ou à d'autres droits d'utilisation commerciale doit être présentée au moyen du formulaire en ligne, disponible à [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request) ou adressée par courriel à [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org).

Les produits d'information de la FAO sont disponibles sur le site web de la FAO ([www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications)) et peuvent être achetés par courriel, adressé à [publications-sales@fao.org](mailto:publications-sales@fao.org).

---

# TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	IV
Acronymes	V
Organisation de la rencontre et soutien administratif	VI
Résumé	VII
Recommandations	VIII
Thème 1: Mesure, cartographie, suivi et compte-rendu des réserves et des changements dans les réserves de COS.	VIII
Thème 2: Maintenir et/ou augmenter les réserves de COS (promotion de la séquestration du COS)	VIII
Thème 3: Gérer le COS dans les sols riches en COS (tourbières, permafrost et sols noirs); prairies et systèmes d'élevage; et sols arides.	IX
Pourquoi ce colloque ?	1
Thèmes du colloque, questions clés et résumé des discussions	3
Thème 1: Mesure, cartographie, contrôle et revue des réserves de COS et de leurs variations.	3
Thème 2: Maintien et/ou augmentation des réserves de COS (promouvoir la séquestration du COS)	7
Thème 3: Gérer le COS dans des sols spécifiques	14
Sous-thème 3.1: sols avec une forte teneur en COS	14
Sous-thème 3.2: sols de prairies et systèmes d'élevage	14
Sous-thème 3.3: sols arides	15
Conclusions et perspectives	18
Références	22

# REMERCIEMENTS

Le comité d'organisation et le comité scientifique expriment leur sincère gratitude envers un grand nombre de pays, d'institutions et de personnes pour leurs contributions importantes au succès de ce colloque.

Notre gratitude s'adresse également à la Confédération Suisse, à la Commission Européenne et au Ministère des Affaires Etrangères d'Islande qui ont financièrement contribué à l'organisation de ce colloque.

# ACRONYMES

CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques	GSP	Partenariat mondial sur les sols
COP	Conférence des Parties	GtC	Gigatonne(s) de carbone
COS	Carbone organique du sol	ITPS	Groupe technique intergouvernemental sur les sols
CNULCD	Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification	MOS	Matière organique du sol
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture	M. V	Mesure, rapport et vérification
GES	Gaz à effet de serre	NDT	Neutralité dans la dégradation des terres
GIEC	Groupe international d'experts sur l'évolution du climat	NU	Nations Unies
GSOC17	Colloque international sur le carbone organique du sol 2017	ODD	Objectifs de développement durable
GSOCmap	Carte mondiale du carbone organique des sols	OMM	Organisation météorologique mondiale
		SPI	Interface science-politique
		VGSSM	Directives volontaires pour une gestion durable des sols
		WOCAT	Panorama mondial des approches et des technologies de conservation

# ORGANISATION DE LA RENCONTRE ET SOUTIEN ADMINISTRATIF

Ce document final, 'Exploiter le potentiel du carbone organique des sols', a été préparé et révisé par les membres du Comité scientifique (ci-dessous) mais ne représente pas nécessairement les positions de ses institutions ou de ses Etats membres. Le présent document complète la publication des actes du colloque, qui présente les résumés détaillés des différentes sessions.

Le **Comité scientifique** était formé des personnes ci-dessous par ordre alphabétique du prénom et par institution d'appartenance:

## **Groupe technique intergouvernemental sur les sols (ITPS)**

M. Ahmad S. Muhaimeed  
M. Amanullah  
Mme Botle Mapeshoane  
M. Brajendra  
M. Daniel John Pennock  
M. Fernando Garcia Préchac  
M. Gan Lin Zhang  
M. Gary Pierzynski  
M. Gunay Erpul  
Mme Isaurinda Dos Santos Baptista Costa  
M. Juan Antonio Comerma  
M. Kazuyuki Yagi  
M. Bhanooduth Lalljee  
M. Luca Montanarella  
Mme Maria de Lourdes Mendonça Santos  
M. Martin Yemefack  
M. Miguel Taboada  
M. Neil McKenzie  
M. Nsalambi V. Nkongolo  
M. Pavel Krasilnikov  
M. Peter De Ruiters  
M. Rainer Horn  
M. Saéab AbdelHaleem Khresat  
M. Siosua Halavatau  
M. Talal Darwish  
Mme Liesl Wiese (FAO/GSP Secrétariat)  
Mme Viridiana Alcantara (FAO/GSP Secrétariat)  
M. Ronald Vargas (FAO/GSP Secrétariat)

## **Groupe international d'experts sur l'évolution du climat (GIEC)**

M. Andy Reisinger  
(Vice-Chair, Working Group III, IPCC)

## **Interface science-politique de la CNULCD (CNULCD-SPI)**

Mme Annette Cowie  
M. Axel Hebel (UNCCD Secretariat)  
M. Barron Orr  
M. German Kust  
M. Hamid Custovic  
M. Jean-Luc Chotte  
M. Joris de Vente  
Mme Karma Dorji  
M. Martial Bernoux  
M. Victor Castillo (UNCCD Secretariat)

## **Organisation météorologique mondiale (OMM)**

M. Robert Stefanski

## **Comité d'Organisation sur place (FAO/Secrétariat du GSP)**

Mme Clara Lefèvre  
Mme Daniela Colmenares  
M. Eduardo Mansur  
Mme Fatma Rekik  
Mme Giulia Stanco  
Mme Maria Giuseppina Emiliano  
Mme Isabelle Verbeke  
M. James Morgan  
Mme Lucrezia Caon  
M. Matteo Sala  
Mme Maryse Finka  
M. Rainer Baritz  
M. Sergio Zelaya  
M. Yusuf Yigini

# RÉSUMÉ

Le colloque international sur le carbone organique des sols (GSOC17) a été conjointement organisé par:

- L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO);
- Le Partenariat mondial sur les sols (GSP) et son Groupe technique intergouvernemental sur les sols (ITPS);
- Le Groupe international d'experts sur l'évolution du climat (GIEC);
- L'interface science-politique (SPI) de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CNULCD) et;
- L'Organisation météorologique mondiale (OMM).

Le colloque s'est déroulé au siège de la FAO à Rome, Italie, du 21 au 23 mars 2017. 488 personnes provenant de 111 pays différents y ont pris part (33 pour cent de femmes, 67 pour cent d'hommes). La participation consistait en représentants des États membres de la FAO, des institutions organisatrices, du secteur privé et de la société civile, ainsi que de scientifiques et de praticiens travaillant sur les thèmes du carbone organique du sol (COS) et dans des domaines similaires.

L'objectif général de ce colloque était de proposer une revue du rôle des sols et du COS dans le contexte du changement climatique, du développement durable et de la neutralité en termes de dégradation des terres (NDT). Ce colloque de trois jours était structuré autour de trois thèmes principaux centrés sur l'évaluation du COS, sur le maintien ou l'augmentation des stocks de COS et sur la gestion du COS pour des types spécifiques de sols.

Les participants, provenant de différentes régions du monde, ont pris une part active au colloque en présentant les résultats de leurs études indicatives du potentiel et des défis de la gestion et du suivi du COS et en discutant et développant les messages clés reflétés dans ce document. Les recommandations formulées sont directement basées sur ce travail et ont pour objectif de soutenir le développement de politiques et d'actions qui encouragent la mise en œuvre de stratégies de gestion des sols et des terres pour favoriser la protection, la séquestration, la mesure, la cartographie, le suivi et les comptes rendus relatifs au COS.

## RECOMMANDATIONS



### THÈME 1: MESURE, CARTOGRAPHIE, SUIVI ET COMPTE-RENDU DES RÉSERVES ET DES CHANGEMENTS DANS LES RÉSERVES DE COS.

#### Recommandation 1:

**Organiser le développement des capacités et les formations des pays pour développer les valeurs de référence nationales en ce qui concerne les réserves de COS, ainsi que les capacités de gestion des données nécessaires et les équipements associés.**

Bien que cette recommandation s'applique à tous les pays ayant besoin de telles capacités, la priorité devrait être donnée à ceux qui utilisent ou ont besoin de tables de référence de niveau 1 du GIEC pour les réserves de COS et les facteurs de changement dans les réserves. Développer des valeurs de référence nationales permettrait aux pays d'évoluer vers le niveau 2 et de proposer des valeurs de référence qui pourraient être utilisées pour d'autres évaluations nationales et préparation d'activités. De plus, un développement des capacités et des formations permettrait de soutenir les pays dans l'évolution vers des évaluations des réserves de COS pour le suivi et compte-rendu national du COS, de manière à respecter les conventions et mécanismes internationaux, ainsi que l'objectif ultime, à savoir rendre possible la prise de décision au niveau local et national sur l'amélioration de la gestion du carbone du sol pour améliorer durablement la santé et la fertilité du sol et augmenter sa productivité. De telles évaluations pour décisions de gestion impliqueraient des études plus détaillées à des échelles plus fines, prenant en compte la complexité des dynamiques du COS en relation à des facteurs tels que l'utilisation du territoire, le type de sol, le climat ou les modes de gestion.

#### Recommandation 2:

**Etablir un groupe de travail pour développer des directives applicables et adaptées au contexte régional pour mesurer, cartographier, contrôler et référer sur le COS, qui puissent être adaptées localement pour évaluer les réserves de COS et les changements dans les réserves afin de valider les décisions de gestion.**

De telles directives doivent se baser sur les orientations scientifiques existantes, comme celles qui ont été mises au point par le GIEC, et elles devraient être suffisamment simples pour permettre leur application dans des contextes et des échelles variés, en tenant compte de la diversité des capacités au niveau local et national. L'orientation pratique devrait aussi inclure les éléments de soutien des mécanismes de prix du carbone en s'appuyant sur la mesure des réserves de COS pour en évaluer les changements, au lieu de n'utiliser que les facteurs de changement de réserves basés sur l'utilisation du territoire et les pratiques de gestion. Le groupe de travail devrait être établi sous l'égide du GSP pour faciliter la collaboration entre les intervenants scientifiques clés, groupes consultatifs et organismes d'exécution.



### THÈME 2: MAINTENIR ET/OU AUGMENTER LES RÉSERVES DE COS (PROMOTION DE LA SÉQUESTRATION DU COS)

#### Recommandation 3:

**Inclure le bilan complet des GES et considérer les interactions possibles entre les cycles du carbone et de l'azote qui pourraient affecter le potentiel d'atténuation du changement climatique de certaines pratiques dans les estimations du potentiel pour la séquestration du COS.**

Il existe un fort potentiel de séquestration du COS avec des modes d'utilisation et de gestion du territoire mais les estimations du potentiel global pour la séquestration du COS varient en importance selon les différentes modalités d'utilisation du territoire, du style de gestion, des hypothèses sur les changements dans les réserves de COS et des flux de GES.

#### **Recommandation 4:**

**La conception et mise en place de stratégies et de modes appropriés de gestion des sols et des terres pour la protection et la séquestration du COS devraient prendre en compte l'utilisation du territoire et l'environnement local, le contexte socio-économique, culturel et institutionnel ainsi que les obstacles potentiels à leur adoption.**

Ces considérations détermineront l'efficacité des modes de gestion et réduiront les incertitudes quant aux effets sur la protection et la séquestration du COS. De nombreux exemples de pratiques qui contribuent à l'augmentation du COS sont disponibles sur diverses plates-formes et les combinaisons de pratiques sont souvent plus efficaces.

#### **Recommandation 5:**

**Identifier et préciser les bénéfices des modes de gestion pour la séquestration du COS sur le court et le long terme pour les agriculteurs, de manière à introduire des mécanismes et stimuler leur adoption.**

Les bénéfices peuvent inclure des augmentations de rendement des récoltes, une résistance à la sécheresse, des bénéfices économiques et d'autres avantages. Des mécanismes incitatifs pourraient inclure des schémas de paiement pour les services écosystémiques, comme les programmes de crédit carbone, l'établissement de modèles commerciaux durables, liant les schémas existants de subventions agricoles aux pratiques durables, au développement des capacités et au soutien à la mise en place. Les informations sur les bénéfices devraient contribuer au développement de solutions locales et de politiques spécifiques au contexte pour assurer la mise en place de telles pratiques à l'échelle locale ainsi que pour permettre une formation et une communication efficaces concernant les bénéfices globaux du COS et les modes de sa séquestration. En plus des preuves scientifiques existantes et convaincantes, des incitations sont nécessaires pour montrer que des augmentations durables en COS contribuent à atteindre les objectifs liés à l'adaptation et à la limitation du changement climatique, à la sécurité alimentaire et à la NDT.



**THÈME 3: GÉRER LE COS DANS LES SOLS RICHES EN COS (TOURBIÈRES, PERMAFROST ET SOLS NOIRS); PRAIRIES ET SYSTÈMES D'ÉLEVAGE; ET SOLS ARIDES.**

#### **Recommandation 6:**

**Empêcher les pertes de COS en maintenant les réserves actuelles de COS (surtout dans les sols riches en carbone) comme action minimum dans la gestion du COS.**

Atteindre cet objectif contribuerait à contenir le changement climatique en réduisant les rejets de carbone dans l'atmosphère et pour la NDT et la sécurité alimentaire en préservant le COS existant pour la santé des sols et les bénéfices associés, incluant la réduction du risque de plus amples dégradations du sol.

### **Recommandation 7:**

**Privilégier les sols avec les plus importantes réserves en carbone dans le développement de politiques nationales et régionales sur la conservation des sols pour empêcher les pertes de COS.**

Ces sols incluent les tourbières, les zones de permafrost et de nombreux sols riches en COS. Pour les tourbières, la priorité devrait être accordée aux vastes zones non exploitées ou aux tourbières intactes, surtout dans les régions où elles sont à la merci des changements de mode d'utilisation du territoire du fait de leur haut potentiel.

### **Recommandation 8:**

**Soutenir efficacement les utilisateurs des terres pour mettre en place et maintenir des pratiques de gestion des sols et des terres, aptes à protéger et augmenter le COS en maintenant les conditions locales, pour des bénéfices sur le long terme.**

Cela implique d'affiner les directives volontaires pour une gestion durable des sols afin de fournir des orientations sur la gestion durable du COS aux échelles nationales et locales pour tenir compte des conditions spécifiques à chaque site.

# POURQUOI CE COLLOQUE ?

Les sols sont devenus l'une des ressources les plus vulnérables du monde face au changement climatique, à la dégradation des terres, aux pertes de biodiversité et à la demande accrue pour la production alimentaire<sup>1</sup>. Malgré les énormes progrès scientifiques obtenus, la protection et le suivi des ressources en sol aux niveaux nationaux et locaux se heurtent à des défis complexes freinant la conception et la mise en place de politiques au niveau du terrain. Actuellement, le soutien pour affronter ces défis est insuffisant à l'échelle mondiale, même s'il varie largement selon les régions et par conséquent, pour la protection et la gestion durable des ressources en sol dans le monde.

La matière organique du sol (MOS) est un élément clé pour la santé du sol car elle conditionne de nombreuses fonctions du sol, comme le stockage du carbone en carbone organique du sol (COS), le stockage, la disponibilité et le cycle des nutriments des plantes, la biodiversité du sol, la porosité du sol, l'aération, la capacité à retenir l'eau et la conductivité hydraulique, les propriétés thermales et la force mécanique. Le lien entre la MOS et la fertilité du sol est connu depuis plus d'un siècle<sup>2</sup>. Le rôle des sols et du COS dans le système climatique et dans le contexte d'adaptation et d'atténuation du changement climatique n'a été reconnu qu'au cours des dix dernières années, mais il a été validé par différentes études, aussi bien au sein de modèles que par expérimentation<sup>3</sup>. Gérer la MOS est l'une des stratégies clés pour atteindre la neutralité dans la dégradation des terres (NDT). La conservation et le suivi des réserves de COS, tant au niveau national qu'international, est un défi complexe qui requiert des politiques adaptées localement pour garantir la mise en place effective des pratiques appropriées.

Les sols constituent le plus grand réservoir de carbone<sup>4</sup> à l'échelle mondiale et jouent des rôles cruciaux dans l'équilibre global du carbone en régulant des procédés dynamiques biogéochimiques et l'échange de gaz à effet de serre (GES) avec l'atmosphère<sup>3</sup>. On estime que 1 417 gigatonnes (GtC) de COS sont contenus dans le premier mètre de sol, ce qui correspond à environ deux fois la quantité de carbone atmosphérique (847 GtC comme dioxyde de carbone – CO<sub>2</sub>). Les changements dans l'utilisation et la couverture du territoire sont la deuxième plus grande source anthropogénique de carbone atmosphérique<sup>6</sup>. Les réserves de COS dans les couches supérieures des sols (750 GtC dans les premiers trente centimètres) sont particulièrement sensibles et réactives aux changements dans l'utilisation et la gestion du territoire. Cela présente une possibilité d'influencer la quantité de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère en maintenant les réserves existantes de carbone du sol (en évitant les pertes de carbone, qui sont particulièrement importantes dans les sols riches en COS) et en emmagasinant du carbone additionnel dans les sols grâce à la séquestration du COS. Le potentiel pour le stockage de COS varie avec les conditions locales et implique parfois de trouver des compromis avec d'autres objectifs de gestion des terres. Il est important de noter que le stockage de COS ne devrait pas avoir pour conséquence une augmentation des émissions d'autres GES, comme l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), un GES puissant.

Dans le sol, le COS peut être présent au sein de différents réservoirs, allant des résidus de plantes fraîchement déposés au carbone organique contenu dans des structures moléculaires complexes et stables comme celles qui se trouvent dans le compost, le biocharbon et la MOS, absorbées sur les particules d'argile et liées aux agrégats du sol. Le temps de présence du COS dans le système sol peut aller de quelques jours à des milliers d'années. La littérature scientifique encourage fortement les bénéfices multiples de l'ajout de carbone organique aux sols pour l'adaptation et l'atténuation du changement climatique, la sécurité alimentaire et l'obtention de la NDT. Cependant, les efforts pour augmenter le COS sont souvent considérés comme des actions « sans regrets », et la faculté d'obtenir chaque bénéfice dépend de l'environnement local et des conditions socio-économiques et culturelles. La séquestration du carbone a lieu lorsque la réserve en COS tend à augmenter au cours du temps et qu'il y a une nette réduction de l'émission des GES lorsque toutes les sources et puits de GES affectés par la gestion de la MOS sont pris en considération (CO<sub>2</sub>, méthane –CH<sub>4</sub>- et N<sub>2</sub>O). L'atténuation du changement climatique est aussi obtenue lorsque les pertes de COS sont freinées, évitant ainsi d'autres émissions de GES.

Le rôle des sols et du COS dans le système climatique et dans l'adaptation et l'atténuation du changement climatique a largement été reconnu et validé par des études diverses, à la fois expérimentales et modélisées<sup>3,7</sup>. Toutefois, les informations de base à grande échelle et les évaluations de tendances sont encore imprécises et la plupart des facteurs déterminant la qualité et la quantité du COS dans des régions différentes (étant affectées par le changement climatique et les mesures pour accroître le COS) sont insuffisamment étudiés<sup>7</sup>. La FAO, le GSP et son ITPS, le GIEC, la CNULCD et son SPI et l'OMM se sont unis pour co-organiser le GSOC17 à la lumière des importantes contributions que le maintien et l'augmentation du COS peut apporter pour la réalisation des objectifs de NDT, la réduction des émissions de GES et l'amélioration de l'adaptation au changement climatique.

Le **but général** de ce colloque était de préciser le rôle des sols et du COS dans le contexte du changement climatique, du développement durable et de la NDT. Le colloque visait également à rassembler des preuves scientifiques qui puissent être prises en compte dans les rapports d'évaluation du GIEC à partir du Sixième rapport d'évaluation et d'autres rapports à produire au cours du Sixième cycle d'évaluation ainsi que dans les comptes rendus pour la Convention-Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et la CNULCD ou encore dans les Objectifs de développement durable (ODD).

En particulier, l'objectif était que les conclusions de ce colloque fournissent des informations cruciales qui contribueraient:

- A l'amélioration des méthodologies de compte rendu en ce qui concerne le COS, comme souligné dans le volume 4 (Agriculture, Foresterie, et autres affectations des terres) du résumé du Rapport de méthodologie, de réajuster les lignes directrices du GIEC de 2006 pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, qui a été adopté avec la Décision GIEC-XLIV/L.3 lors de la 44<sup>ème</sup> session du GIEC;
- Rapport spécial sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des terres, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres, qui a été décidé lors de la 43<sup>ème</sup> session du GIEC et;
- Le programme d'établissement des cibles de la NDT mis en place par la CNULCD.

Les objectifs spécifiques du colloque étaient de:

- 1) Examiner les connaissances scientifiques et techniques actuelles sur le rôle des sols et du COS dans le système climatique pour la séquestration du carbone et l'adaptation au climat;
- 2) Evaluer le potentiel et les limites de la gestion du COS pour contribuer à s'adapter à et à limiter le changement climatique, faire face à la dégradation des terres et atteindre les ODD;
- 3) Passer en revue les connaissances actuelles de l'effet de la gestion des sols et des terres sur le COS (et les mécanismes de stabilisation/déstabilisation du COS), y compris l'identification des pratiques qui augmentent le COS;
- 4) Permettre et renforcer la mise à disposition des connaissances sur la mesure, la modélisation et la gestion du COS et les liens entre la dégradation des terres et le changement climatique, pour enrichir les prochains rapports d'évaluations du GIEC et les comptes rendus des initiatives combattant la dégradation des terres;
- 5) Identifier les lacunes en termes de connaissances et explorer de nouvelles opportunités de collaboration pour la recherche;
- 6) Identifier des politiques éventuelles pour des priorités pertinentes en ce qui concerne les sols et le COS afin d'encourager l'adoption de pratiques qui améliorent le COS dans les agendas nationaux traitant du changement climatique.

# THÈMES DU COLLOQUE, QUESTIONS CLÉS ET RÉSUMÉ DES DISCUSSIONS

Les trois thèmes principaux du colloque ont été conçus pour orienter les discussions sur l'évaluation du COS, le maintien ou l'augmentation des réserves en COS et la gestion du COS pour des types spécifiques de sols. En préalable au colloque, des questions clés ont été développées pour chaque thème, de manière à stimuler la discussion et faciliter l'identification d'actions prioritaires. Durant les sessions parallèles, des présentations spécifiques ont été proposées et ont préparé la voie à des échanges de vue sur des questions thématiques. Le dernier jour au matin, les discussions des groupes de travail se sont tenues pour la mise au point des réponses à ces questions. Du fait de la nature de ces questions, il n'a pas toujours été possible de formuler des réponses concrètes en se basant seulement sur les débats. C'est pourquoi, les discussions se sont principalement focalisées sur les buts ultimes visés par chaque question et sur les besoins auxquels répondre pour une formulation appropriée.

Les thèmes et sous-thèmes (lorsqu'applicable) du GSOC17 sont présentés ci-dessous, avec de brefs résumés contextualisés de leur importance. Ces présentations sont suivies d'un résumé des principaux points de discussion pour chaque question, comme en avaient convenu les participants lors des sessions des groupes de travail.



## THÈME 1: MESURE, CARTOGRAPHIE, CONTRÔLE ET REVUE DES RÉSERVES DE COS ET DE LEURS VARIATIONS.

L'atténuation portée au contrôle et au compte rendu du COS à l'échelle nationale devient de plus en plus importante eu égard aux exigences des conventions et des mécanismes internationaux. Pour la CCNUCC par exemple, les pays de l'annexe I doivent évaluer annuellement les changements dans les réserves de COS en lien avec les émissions de GES. Sous l'objectif 15.3<sup>9</sup>, le COS est estimé comme prenant part aux trois sous-indicateurs de l'indicateur 15.3.1 (« Proportion de terre qui est dégradée sur la surface totale de l'aire terrestre) (couverture terrestre [métrique: changement de couverture terrestre]; productivité de la terre [métrique: productivité primaire nette]; et réserves de carbone en superficie et en-dessous de la surface du sol [métrique: COS]), en accord avec le concept de NDT de la CNULCD<sup>9</sup>.

Les changements dans les réserves de COS sont évalués sur la base des principes suivants:

- Pour rendre compte à la CCNUCC, les changements dans les réserves de COS sont évalués en utilisant les lignes directrices du GIEC de 2006 pour l'inventaire national des gaz à effet de serre<sup>10</sup>. Des lignes directrices mises à jour seront publiées en 2019<sup>11</sup> pour fournir des bases scientifiques fiables pour la future action climatique internationale, en particulier sous l'égide de l'accord de Paris<sup>12</sup> (qui prendra effet en 2020).
- Pour rendre compte à l'ODD 15.3.1, les métadonnées<sup>13</sup> ainsi que le cadre et les principes généraux<sup>14</sup> décrivent la méthode pour le calcul des sous-indicateurs. Le cadre et les principes généraux soulignent le besoin de standardiser et d'harmoniser les données relatives au COS ainsi que celui de la compilation de nouvelles informations dans une base de données centrale pour améliorer la disponibilité des données pour les futures activités de cartographie. En termes de modélisation des changements dans les réserves de COS, le cadre se réfère aux lignes directrices pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre du GIEC de 2006.
- Une ligne de conduite sur la mesure du COS comme l'un des paramètres de la GDT est en voie de développement et sera basée sur les mesures des changements dans les réserves de COS pour une période de 10-15 ans environ à partir d'une date de référence. Il est probable que de telles mesures dérivent d'une combinaison de données de télédétection et de mesures sur le terrain<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> ODD 15.3: « D'ici à 2030, lutter contre la désertification, restaurer les terres et les sols dégradés, notamment les terres touchées par la désertification, la sécheresse et les inondations et s'efforcer de parvenir à un monde sans dégradation des sols. »

Malgré l'existence et le développement plus poussé de méthodes pour mesurer et évaluer les réserves de COS et les changements au sein du cadre des émissions de GES et de la dégradation des terres, rendre compte du statut et des tendances du COS en se basant sur des mesures reste un défi de taille<sup>15</sup>. Étant donné que les modifications dans les réserves de COS sont un indicateur indirect de la dégradation des terres et du sol, plusieurs défis associés doivent aussi être pris en compte. Ceux-ci incluent la disponibilité limitée des séries de données sur les réserves de COS au niveau national et régional, le manque d'harmonisation des méthodes de mesure du COS et les informations et données correspondantes sur le COS, les incertitudes associées aux données existantes pour suivre les changements dans les réserves de COS, prenant en compte la grande variabilité spatiale et temporelle des réserves de carbone du sol de même que la variation de l'impact des pratiques de gestion sur les réserves de COS, qui limite la capacité à modéliser les changements dans les réserves de COS. À cause du manque de suivi régulier des réserves en COS au niveau national, les pays déclarent souvent qu'il n'y a aucun changement dans les réserves de COS, ce qui peut entraîner de larges imprécisions dont les parties ne nous sont pas connues, dans la prise en compte des émissions de GES au niveau national et international.

Dans le contexte du suivi du COS, un autre point à prendre en considération est la mesure, le rapport et la vérification (MRV), qui visent à suivre les progrès effectués par les pays dans l'atténuation du changement climatique<sup>16</sup> et prennent en compte le contrôle de toutes les mesures effectuées par les pays pour collecter et rendre compte des données sur les émissions, les actions d'atténuation et le soutien. La MRV liée au COS se concentre sur les émissions de GES ou les changements de COS plutôt que sur les réserves de COS *per se*. Cela soulève la question de la nécessité ou non d'établir des principes de MRV spécifiques pour évaluer à la fois les réserves de COS et leurs changements, non seulement en relation avec les émissions de GES et le changement climatique mais aussi dans le contexte du compte rendu sur la dégradation des terres et les prises de décision sur les pratiques de gestion des sols et des terres.

## Résumé des discussions

---

Les participants ont constaté que même si le contenu du thème soulignait l'importance d'un suivi et d'un compte rendu national du COS dans le contexte plus large des conventions et mécanismes globaux, **l'objectif ultime dans l'étude des réserves de COS et de ses modifications** est d'obtenir des inventaires et des cartographies qui **permettent la prise de décisions locales et nationales qui améliorent la gestion du carbone** pour accroître la santé, la fertilité et la productivité des sols. Pour atteindre ces objectifs, des évaluations plus détaillées sont nécessaires à des échelles plus fines, qui prennent en considération la complexité de la dynamique du COS en fonction, par exemple, du type de sol, du régime climatique ou encore de l'utilisation et de la gestion des terres.

**Q1-1** Quelles sont les valeurs de référence les plus récentes et les plus fiables en ce qui concerne les réserves de COS et les facteurs de changements sur base des données spécifiques des pays ou des régions pour les usages du sol les plus importants, qu'il faille mettre à jour dans les directives du GIEC de 2006 ?

Aucune réponse directe à cette question n'a été fournie en présentant des valeurs de référence pour les réserves et les modifications dans les réserves de COS. Au lieu de cela, c'est le besoin de telles valeurs de référence et de leur développement qui a été discuté.

Les valeurs de référence actuelles des réserves de COS données par le GIEC, pour son niveau 1 (tableau 2.3 dans les orientations pour les inventaires nationaux de GES du GIEC (2006)<sup>10</sup> et ses actualisations ultérieures) sont approximatives et se limitent à un groupe restreint de types de sols et de régions climatiques. Toutefois, de nombreux pays, par manque de valeurs de références nationales, utilisent toujours ces valeurs. Batjes (2011) a développé des valeurs de référence actualisées pour les groupes climats-sols principaux du GIEC<sup>17</sup>, qui ont

montré que les réserves moyennes de COS pour la profondeur de sol de référence du GIEC (30cm) variaient grandement au sein de chaque groupe. Une réduction des incertitudes dans chaque groupe nécessiterait d'utiliser des critères plus fins pour la définition des zones climatiques et des classes de sols ainsi que le remplacement des réserves de référence par défaut et des facteurs de changement dans les réserves de COS avec des valeurs spécifiques de chaque région.

Bien que les valeurs de référence de niveau 1 soient utilisées, **il a été recommandé que les pays soient encouragés à développer des références nationales pour les valeurs de réserves de COS.** Une fois développées et publiées, ces données pourraient être utilisées pour alimenter la mise à jour périodique des valeurs de référence du GIEC de 2006, en plus d'autres applications. En les développant au niveau national pour les réserves de COS, les pays tendraient vers le niveau 2 et pourraient utiliser la table de référence du GIEC de 2006 comme étape de transition dans la procédure. Une attention accrue sur le niveau 2 consisterait à développer des valeurs nationales pour les facteurs de changement dans les réserves de COS en référence avec la matrice d'utilisation des terres du GIEC de 2006. De nombreux pays devront augmenter leurs capacités de développement et de formation pour la promotion de semblables activités de même que pour la maîtrise de technologies, traitement et interprétation des données appropriées.

### **Q1-2 Des directives spécifiques de MRV devraient-elles être développées pour suivre les réserves et les modifications dans les réserves de COS ? Si oui, quelles en seraient les principales considérations méthodologiques ?**

La réponse des participants à la première partie de la question a été « oui » : **des directives de MRV devraient être développées pour évaluer et suivre les réserves et les modifications dans les réserves de COS** de l'échelle locale (projet) au niveau national. Ces indications seraient basées sur les orientations scientifiques existantes, comme celles mises à jour par le GIEC. Pour soutenir l'étude du COS à l'échelle du projet, les principes de MRV doivent être simples et clairs. Ils doivent aussi inclure assez d'éléments pour appuyer les mécanismes de prix du carbone qui reposent sur la mesure des réserves de COS pour évaluer les changements dans leurs réserves, ou les modèles validés grâce à des mesures locales, plutôt que les facteurs de changement dans les réserves basés sur l'utilisation des terres et les pratiques de gestion. Les méthodologies basées sur des activités sont préférables, du fait de leurs faibles coûts de transaction et des compétences requises, ainsi que de la plus grande facilité à les vérifier.

Les mécanismes basés sur le marché augmentent l'incertitude, surtout celle liée à la permanence de la séquestration du COS et des taux de changement dans les réserves de COS. Par conséquent, les estimations doivent être aussi précises que possible tout en considérant la relation entre précision accrue et coût majeur. Les estimations doivent être aussi correctes que possible, compte tenu du prix du carbone et un mécanisme devrait être inclu pour encourager les pays à optimiser la précision dans la mesure et le contrôle du COS. De plus, les aspects méthodologiques devraient garantir que les changements (pertes et gains) dans les réserves de COS soient détectés lorsqu'ils apparaissent. Cela nécessite des orientations sur la densité d'échantillonnage nécessaire sur les sites de suivi ainsi que des intervalles de temps réalistes pour l'échantillonnage et l'évaluation. Des critères appropriés doivent être définis pour permettre tout cela et les pays devraient avoir des opportunités suffisantes pour apporter leur contribution au développement de tels standards et de telles méthodes, ainsi que pour ajuster les évaluations aux priorités nationales. Une approche par niveaux serait essentielle pour fournir des méthodes plus simples et accessibles avec moins d'expertise, de données et d'information.

De nombreux pays effectuent une cartographie du COS, qui prend part à l'activité de Carte mondiale du carbone organique du sol (GSOCmap) du GSP pour développer des cartes nationales de réserves en COS, et cela pourrait être étendu pour y inclure l'analyse de nouveaux échantillons du sol, conformément aux méthodes harmonisées.

De telles méthodes harmonisées auraient à considérer:

- L'utilisation de la masse de sol équivalente plutôt que la densité apparente ou le volume de sol équivalent pour calculer les réserves en COS;
- L'utilisation de techniques de télédétection de proximités pour mesurer le COS, à la fois en laboratoire et in situ, assurant une calibration suffisante de ces techniques au niveau local, national et régional et;
- L'échantillonnage aux profondeurs de sol appropriées pour mesurer les changements dans les réserves en COS comme une fonction des pratiques de gestion des sols et des terres.

La comparabilité des réserves en COS entre les pays est importante et devrait être considérée dans une approche ascendante pour permettre l'extrapolation de l'échelle nationale à l'échelle internationale et pour améliorer la comparabilité entre les approches ascendantes et descendantes. Par conséquent, les principes de MRV devraient inclure des orientations sur la manière dont la comparabilité (entre les pays et entre les approches ascendantes et descendantes) peut être atteinte.

### **Q1-3 Comment les incertitudes sur les estimations sur les réserves et les changements dans les réserves de COS peuvent-elles être réduites ?**

D'après les participants, de manière à réduire les incertitudes dans les estimations des réserves et des modifications dans les réserves de COS, il fallait d'abord les quantifier correctement.

Les incertitudes s'accumulent à partir de la période d'échantillonnage du sol, de l'analyse et de la transformation des données jusqu'au développement d'une carte; par conséquent, l'évaluation des incertitudes et leur réduction est requise à chacune de ces étapes. Des principes sur l'évaluation des incertitudes sont nécessaires aussi bien pour les données existantes que pour les nouvelles et ces dernières devraient traiter la question de l'harmonisation des échantillonnages de sol et de l'analyse pour la mesure du COS. Des orientations sont aussi requises en ce qui concerne la manière d'organiser les données et de les transformer en des produits pertinents.

Un échantillonnage efficace, effectué à la bonne profondeur et prenant en compte la masse de sol équivalente pour le calcul de la réserve en COS peut réduire les incertitudes associées à la mesure du COS. Des tests circulaires suffisants en laboratoire (incluant des comparaisons complémentaires en laboratoire en utilisant des échantillons communs) permettraient de renforcer la garantie de qualité pour les analyses de sol et ainsi, de réduire les incertitudes associées à la mesure du COS. Il devrait y avoir assez de réseaux de laboratoires nationaux et internationaux pour effectuer les tests circulaires et fournir des infrastructures pour effectuer les analyses de sol pour les pays qui en manquent. Cependant, le développement de réseaux de laboratoires ne devrait pas remplacer l'établissement d'infrastructures nationales ou le renforcement des capacités au niveau national. De nombreux pays ont affirmé lors du colloque qu'ils étaient déterminés à renforcer leurs capacités nationales pour les analyses de sol et l'étude du COS.

Prélever des échantillons de sol lorsqu'il n'y a pas de données disponibles ou augmenter le nombre d'échantillons dans les aires où il en existe déjà peut aussi favoriser la réduction des incertitudes. Cela peut nécessiter de grands investissements dans l'échantillonnage et l'analyse des sols; c'est pourquoi il est important d'identifier des méthodes pour des analyses moins chères et plus rapides, comme celles utilisées en détection de proximité. La réduction potentielle de la précision avec la spectroscopie infrarouge par exemple, pourrait être compensée par une augmentation importante du nombre d'échantillons analysés et la quantité d'informations générée. Les incertitudes associées à l'utilisation et aux pratiques de gestion des terres devraient être identifiées et prises en considération dans les études. Les protocoles pour le contrôle et l'évaluation de la qualité doivent aussi être améliorés.

## Quels sont les développements récents et fiables dans les méthodes et modèles pour quantifier les changements dans les réserves ? Comment peuvent-ils être appliqués de la meilleure façon pour la mesure et le suivi du COS ?

Avant de discuter des méthodes et modèles disponibles pour la quantification des changements dans les réserves de COS, il a été clarifié que la mesure et le suivi du COS seraient nécessaires à différentes échelles spatiales, du local (projet) à l'échelle nationale et mondiale, qui consentent des prévisions selon les divers besoins des utilisateurs. Les pays sont les derniers utilisateurs de produits et leur objectif est le développement de politiques. Par conséquent, des produits permettant de contrôler la pertinence politique devraient être développés à des échelles différentes et les pays devraient être soutenus pour développer les produits nécessaires liés au COS.

Une multitude de modèles en relation avec le COS opérant à partir de différentes hypothèses et données de base existent. Des approches multi-modèles dans lesquelles chaque modèle est appliqué pour son objectif de base et ses qualités propres consentirait de réduire les erreurs liées au modèle et les imprécisions du produit pourraient ainsi être sous contrôle. La modélisation devrait être effectuée à une résolution suffisamment fine qu'elle puisse contribuer de manière adéquate aux décisions de gestion et maîtriser le changement.

Les effets de l'érosion du sol sur les puits et sources de COS devraient être inclus dans la modélisation du COS. De même, la mesure du contenu en pierres et graviers devrait être améliorée pour éliminer les biais dans les estimations des réserves en COS. Différents indicateurs (court terme) des réserves et des changements dans les réserves en COS pourraient être étudiés pour permettre la détection précoce des changements dans ces dernières. L'utilisation de la technologie des isotopes peut être utile dans la détermination d'indicateurs à court terme.

L'utilisation informée de méthodes basées sur les données comparées à celles basées sur les processus est importante, surtout en termes de modélisation du COS dans les zones telles que les tourbières. Pour des approches de modélisation du sol basées sur les données, qui s'appuient sur les jeux de données des profils de sol, certaines cartes de tourbières présentent des problèmes associés à l'échelle spatiale (comme la prédominance de petites tourbières au sein de grandes unités modélisées de sol). Cependant, les méthodes guidées par les données qui ne prennent pas en considération les mécanismes du paysage négligent souvent la prise en compte de variables pourtant nécessaires pour modéliser correctement la présence de tourbières.



### THÈME 2: MAINTIEN ET/OU AUGMENTATION DES RÉSERVES DE COS (PROMOUVOIR LA SÉQUESTRATION DU COS)

La MOS comprend un mélange complexe de substances organiques partiellement décomposées dérivées de la litière végétale ainsi que de la biomasse faunistique et microbienne<sup>19</sup>. La MOS joue un rôle crucial dans de nombreuses fonctions du sol et services écosystémiques. Des changements dans la qualité ou la quantité de MOS affectent la capacité des sols à fournir ces services écosystémiques. C'est pourquoi, la MOS réclame une gestion avisée. Elle se compose d'environ 58 pour cent de carbone<sup>20</sup> correspondant au COS. Ses réserves sont influencées par l'activité microbienne, l'accessibilité des résidus organiques aux microbes, la texture du sol et les types de structure, les conditions du site et les modes de gestion. Gérer le COS grâce à l'agriculture durable et d'autres méthodes d'utilisation des terres est devenu une stratégie largement reconnue pour restaurer les propriétés des sols en bon état et ainsi combattre la dégradation des terres, la désertification et augmenter la l'adaptabilité des agroécosystèmes aux chocs environnementaux, bien que cela ne soit pas un processus de long terme<sup>21</sup>.

Maintenir et augmenter les réserves de COS n'est pas seulement crucial pour la réduction des GES et la suppression du CO<sub>2</sub> atmosphérique, mais aussi pour l'exploitation des avantages dus à une augmentation de

COS (et de MOS) pour la santé des sols et la fertilité en augmentant la capacité de stockage de l'eau et ainsi favoriser l'accès des plantes à l'eau, augmenter le potentiel de production alimentaire et la résistance face à la sécheresse. Le COS est aussi un indicateur clé pour la NDT car c'est un intermédiaire pour les changements des conditions du sol. Même si les sols contiennent le plus large réservoir de carbone, la dégradation du sol, l'utilisation des terres et les changements dans leurs modes d'utilisation ont entraîné des pertes allant de 25 à 75 pour cent des réserves originelles de COS. De plus grandes pertes de COS doivent être évitées, surtout dans les sols riches en carbone et les réserves de COS doivent être au moins partiellement restaurées grâce à la séquestration du carbone.

Le COS est très hétérogène, avec des temps de présence allant de l'heure au millénaire. La plupart des modèles de MOS divisent le COS en réserves cinétiques avec différents temps de résidence (actif/rapide, lent/intermédiaire et très lent/passif/inerte). Le taux de renouvellement de chaque réservoir dépend de différents facteurs et mécanismes, comme l'accessibilité de la matière organique aux décomposeurs, la participation des composés organiques dans les interactions organo-minérales, la résistance de la matière organique et les conditions environnementales (comme le climat et le pH)<sup>22</sup>. En considérant l'effet des modes de gestion des terres sur les niveaux de COS, l'étude de la stabilisation du COS (comme les interactions entre la MOS, les microbes et minéraux du sol affectant la protection de la MOS par l'agrégation et l'absorption<sup>23</sup> et donc affectant les temps de résidence relatifs) et les mécanismes de la minéralisation (comme la perturbation des sols et la perte de protection) et l'accessibilité améliorée aux pores et aux surfaces des particules dans des agrégats bien structurés sont essentiels pour déterminer le véritable effet sur les émissions de GES et la séquestration du COS<sup>24</sup>.

## *Résumé des discussions*

---

Les utilisations des terres et les modes de gestion qui maintiennent ou augmentent les réserves de COS ont de multiples avantages pour le changement climatique et son adaptation, la sécurité alimentaire, la NDT et la biodiversité. Les participants ont noté qu'il existait de nombreuses stratégies pour augmenter la teneur du sol en carbone mais que **les réponses variaient** en fonction du type de sol et du climat et par conséquent, **que les modes d'intervention devraient être choisis en fonction de chaque contexte**. Les recommandations suivantes, applicables pour maintenir ou augmenter le COS ont été identifiées: contrôle de l'érosion du sol; maintien d'une couverture du sol; application d'un mode de nutrition intégré; promotion des systèmes d'agriculture diversifiés; encouragement et soutien des possibilités qu'ont les agriculteurs de gérer le COS; et incitation à la collaboration entre scientifiques, agriculteurs et hommes politiques pour appliquer les stratégies qui augmentent le COS.

### **Q2-1 Quel est le potentiel global pour atteindre la séquestration du COS en fonction des utilisations des terres ? Quelle est l'incertitude associée à cet objectif ?**

Grâce à l'adoption des pratiques de gestion recommandées, 1 à 2 GtC par an pourraient être séquestrés d'ici 30 à 50 ans<sup>26</sup>. Cela suppose que 70 pour cent des écosystèmes gérés (dont les terres cultivées, les pâturages, les forêts ou bosquets) mettent en place des pratiques de gestion qui promeuvent la séquestration du COS, que 50 pour cent des sols dégradés soient restaurés et que la séquestration du carbone inorganique ait lieu dans tous les sols arides. Le plus grand potentiel pour la séquestration du carbone se trouve dans les sols dégradés, largement appauvris en MOS. Malgré tout, les sols à haute teneur en COS ne seront probablement pas en mesure de séquestrer beaucoup plus de carbone s'ils sont déjà proches de leur niveau de saturation en COS. Dans pareils sols, éviter les pertes de COS devrait être une priorité. Sommer et Bassio (2014)<sup>26</sup> ont montré que le taux de séquestration du COS diminuait au fil du temps et atteignait un maximum de séquestration au bout de 20 à 40 ans. Ils ont calculé que le potentiel mondial cumulé de la séquestration du carbone dans les terres arables, les

prairies permanentes et pâturages se trouvait entre 32 et 63 GtC (respectivement pour les scénarios pessimistes et optimistes) entre 2014 et 2100.

Malgré le grand potentiel de la séquestration du COS et la contribution associée au changement climatique, à l'adaptation et aux objectifs de NDT, il est crucial d'évaluer **le bilan complet en GES** avec une perspective d'un cycle de vie (comme les émissions associées à l'utilisation du territoire tout au long de la chaîne des fournitures, comprenant des aspects tels que la production et l'utilisation d'engrais), en prenant en compte les interactions entre les cycles du carbone et de l'azote ainsi que les émissions découlant des utilisations spécifiques du territoire qui peuvent affecter le potentiel d'atténuation du changement climatique. L'efficacité des mesures visant à maintenir ou augmenter les réserves de COS est déterminée par les utilisations existantes et les pratiques agricoles, l'environnement local (comme le sol, le climat et les communautés microbiennes), la socio-économie, les contextes culturels et sociaux, les systèmes agricoles locaux. En fonction de la combinaison de ces facteurs, **la séquestration du COS potentielle au niveau local ou régional peut être moins importante que le potentiel de séquestration théorique.**

## **Q2-2 Quelles sont les limites supérieures (niveaux potentiels de saturation) aux potentiels de séquestration du COS ?**

Les niveaux de saturation pour la séquestration du COS n'ont pas été définis lors du colloque. Cependant, les participants ont reconnu que lorsque les sols sont gérés comme des puits de carbone, le COS augmente jusqu'à un certain point à partir duquel un nouvel équilibre est atteint. Cet équilibre représente l'équilibre entre les apports en matière organique et le renouvellement de la MOS<sup>26</sup>.

La limite supérieure ou la saturation du COS se rapporte à la limite supérieure de la capacité du sol à protéger la matière organique de la minéralisation et dépend des spécificités du sol sur un même site et des conditions environnementales, dont le type de végétation et les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (contenu en argile, types d'argile et accessibilité des surfaces des particules aux microorganismes). L'objectif de la gestion du COS à des fins de séquestration est donc d'atteindre un nouvel équilibre qui se trouve aussi proche que possible du niveau de saturation et de le maintenir par la suite une fois le niveau atteint. Cela inclut le potentiel pour le stockage de COS dans les sous-sols, qui se trouve souvent en dessous des niveaux de saturation.

Du fait que la séquestration du COS est lente et demande beaucoup de gestion, les limites supérieures du potentiel de séquestration du COS sont plus pertinentes dans les sols ayant des teneurs relativement élevées en COS, approchant la valeur de saturation et moins importante dans les systèmes appauvris en COS. Les zones arides ont un potentiel de séquestration du COS plus faible que les zones humides car la disponibilité en eau est inférieure. Cependant, même des gains minimes en COS dans ces zones pourraient avoir un impact déterminant sur la sécurité alimentaire, l'adaptation au climat et la NDT en améliorant la santé du sol. L'application de biocharbon pourrait ajouter du carbone aux sols qui ne sont pas limités par une capacité intrinsèque de stockage de COS.

## **Q2-3 Quelle est la stabilité du COS et de ses constituants sur le long terme et quelle est la durabilité de la séquestration du carbone à long terme ?**

La stabilité et la durabilité de la séquestration du COS dépendent du maintien des meilleures méthodes de gestion et nécessitent de s'assurer que les apports de carbone soient supérieurs aux pertes de carbone par minéralisation. Cela met en lumière le besoin de faciliter l'acceptation et l'adoption à grande échelle des pratiques de séquestration du COS par des mécanismes participatifs, basés sur les savoirs locaux, en incitant les agriculteurs, en responsabilisant les services de vulgarisation et en augmentant la communication entre les parties concernées.

Le COS n'est pas le même partout. La protection et la stabilité du COS est inégalement déterminée par une combinaison de quantité, qualité et de dynamique de MOS, ainsi que par des conditions environnementales et pédoclimatiques, par les propriétés physicochimiques du sol, les mécanismes biologiques, les communautés microbiennes, la qualité des apports organiques, ainsi que par le niveau de protection du COS dû aux interactions organo-minérales et à la formation d'agrégats stables du sol. Des fractions de COS chimiquement et physiquement stables, stabilisées par des incompatibilités intrinsèques ou des associations avec des minéraux, doivent donc être préservées pour assurer la stabilité de la séquestration du COS sur le long terme. Le maintien des fonctions et de la structure du sol devraient constituer une cible pour améliorer à la fois sa santé et sa fertilité ainsi que le maintien et l'augmentation du COS.

La variabilité climatique, le changement climatique et la gestion de l'eau affectent aussi la stabilité du COS car la température et l'humidité du sol affectent le taux de minéralisation du COS. Une augmentation de la température entraîne une augmentation des pertes en COS dues à la minéralisation, avec un effet plus marqué dans les climats froids que dans les climats chauds et dans les sols avec de grandes réserves en COS, comparé aux sols pauvres en carbone. Des lacunes existent en ce qui concerne les effets du changement climatique sur les réserves et flux de COS, telles que celles de l'impact de l'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> sur les rendements des cultures et sur les apports en carbone.

L'impact spécifique de l'érosion du sol sur la stabilité du COS dépend des mécanismes de transformation qui surviennent lors du transport et du dépôt du sol, l'endroit du dépôt (l'enfouissement profond et les dépôts dans les environnements aquatiques augmentent la stabilité) et la mesure dans laquelle le remplacement dynamique du COS (remplacement du COS érodé avec du COS nouvellement produit) survient sur les zones érodées. Cependant, indépendamment de ces facteurs, réduire ou éviter l'érosion du sol aidera à protéger le COS dans les agrégats du sol et évitera les pertes de COS, quelle que soit la localisation.

Les changements d'utilisation des terres sont une cause possible et importante des pertes et gains de COS. Cela dépend de l'utilisation initiale et finale de la terre. Le COS est facilement et rapidement perdu avec certains changements d'utilisation de la terre (comme la conversion de prairie terre cultivée), mais la restauration des réserves de COS est lente lors d'une conversion de terre cultivée à prairie ou forêt, par exemple. Il est donc essentiel d'éviter les pertes de COS à la fois dans les sols riches et dans les sols pauvres en carbone pour minimiser les futurs besoins en ce qui concerne la séquestration du carbone.

## Q2-4 **Y a-t-il suffisamment de preuves scientifiques pour affirmer que la séquestration du COS contribue à l'adaptation au changement climatique, à son atténuation et à l'obtention de la NDT ?**

Il existe des preuves scientifiques convaincantes qu'**une augmentation continue du COS contribue aux objectifs multiples de l'atténuation et de l'adaptation au changement climatique, de la sécurité alimentaire et de l'obtention de la NDT**. Les Lignes Directrices volontaires pour une gestion durable des sols (VGSSM) et l'Étude mondiale des approches et des technologies de conservation (WOCAT) fournissent des recommandations et des exemples utiles de pratiques durables locales qui contribuent à la séquestration du carbone. Des exemples de pratiques qui favorisent directement ou indirectement le maintien ou l'augmentation du COS et qui peuvent être conçues en phase avec les conditions locales sont notamment l'agriculture de conservation, la rotation des cultures, l'application de biocharbon, les cultures sous couvert, les cultures dérobées/engrais verts, l'agroforesterie, l'application de compost, les amendements organiques, la gestion intégrée des nutriments, la gestion des pâturages, la gestion forestière et la collecte des eaux. La mise en œuvre combinée des pratiques qui visent à la fois la conservation du sol et de l'eau, la diversification des systèmes de culture, l'intégration des systèmes de cultures et d'élevage et l'agroforesterie sont les plus efficaces pour la séquestration du COS et devraient être prioritaires.

Les pratiques pour promouvoir la séquestration du COS se basent soit sur l'augmentation des apports de matériel organique soit sur le ralentissement du taux de renouvellement de la matière organique en réduisant les perturbations (comme par le non-labour). Les mesures pour augmenter l'apport de matériel organique (comme les cultures sous couvert, les rotations, le maintien des chaumes, l'amélioration de la gestion des pâturages et l'agroforesterie) sont plus efficaces pour la séquestration du COS que celles qui réduisent uniquement la perturbation entraînée par le labour ou l'érosion.

Il existe un grand nombre de preuves qu'augmenter le COS a des impacts positifs sur la santé du sol, sur la capacité d'adaptation au changement climatique et sur la sécheresse, en augmentant la capacité de rétention de l'eau par les sols, la résistance à la sécheresse, le contrôle de l'érosion, de la sécheresse et des inondations. Il existe souvent des synergies entre l'adaptation et l'atténuation du changement climatique et l'obtention de la NDT en relation avec la gestion du COS. Par conséquent, même dans les cas où les objectifs d'atténuation ne sont pas pleinement atteints du fait des effets d'autres flux de GES ou des faibles augmentations en COS (en minimisant par exemple le labour), maintenir à niveau ou augmenter le COS comporte toujours des avantages vitaux qui améliorent la sécurité alimentaire, l'adaptation au changement climatique et l'obtention de la NDT. Les principes et contraintes suivants ont été identifiés pour optimiser les bénéfices de la séquestration du COS en vue de l'adaptation et de l'atténuation du changement climatique et de la NDT. Ces principes devraient être envisagés dans la conception et la mise en œuvre des pratiques de gestion durable des sols et des terres:

- Les pratiques pour promouvoir la séquestration du COS devraient être conçues sur-mesure car leur efficacité dépend de l'utilisation des terres et des pratiques agricoles existantes, des types de mesures prises et des conditions environnementales, économiques, institutionnelles et sociales.
- Augmenter uniquement le COS est insuffisant pour améliorer la santé du sol. La réponse biologique au réchauffement, à l'augmentation des apports et au changement des régimes de précipitation doit aussi être considérée pour assurer la plus grande efficacité en termes d'adaptation au changement climatique et pour la NDT.
- Quelques incertitudes dans la compréhension des réponses du COS aux activités de gestion proviennent des variabilités intrinsèques des éléments qui entrent en jeu tels que les propriétés du sol, les apports organiques et le régime climatique. Cependant, la plupart des incertitudes et l'apparente variabilité de temps et d'espace dans l'efficacité des pratiques peuvent être expliquées par des facteurs expérimentaux de conception, tels que les différences dans la durée des expériences et des profondeurs d'échantillonnage et la portée de l'évaluation (COS seul, ou aussi les réservoirs de litière et biomasse; carbone seul ou tous les GES; sur la ferme seulement ou tous les cycles de vie...). Le suivi de long terme et un échantillonnage plus profond que les horizons proches de la surface sont recommandés pour réduire les incertitudes dues aux facteurs de conception des expériences. La réaction présumée du COS au changement climatique ajoute des incertitudes. Les interactions entre les cycles du carbone et de l'azote et le compromis entre les différentes émissions de GES devraient aussi être considérées pour la compréhension des impacts de la gestion sur le COS.
- Sous certaines conditions, les meilleures méthodes de gestion peuvent contribuer à éviter une perte de COS si on les compare avec les méthodes « comme si de rien n'était » mais ne résultent pas en une nette augmentation des réserves de COS. Cela représente encore un avantage pour l'atténuation du changement climatique en réduisant les émissions de CO<sub>2</sub> et en contribuant à l'adaptation au changement climatique et à la NDT en évitant la dégradation des sols et les pertes de COS.
- Le potentiel pour augmenter les apports en matériel organique se trouve souvent limité par la compétition pour les ressources. Dans certains cas, il est possible qu'aucun matériel organique additionnel ne soit disponible pour l'utilisation comme amendement car il est déjà utilisé pour l'alimentation animale, le carburant ou un autre usage.

## Comment les politiques peuvent-elles soutenir l'adoption de pratiques qui renforcent la séquestration du COS et comment les preuves scientifiques peuvent-elles être combinées pour formuler pareilles politiques ?

La multiplication d'activités de gestion durable des sols et des terres qui protègent ou augmentent le COS est un défi social d'importance. Pour susciter l'adoption de pratiques durables à grande échelle, **des avantages tangibles à court et à long terme pour les agriculteurs**, comme l'augmentation des rendements, ou la stabilisation et la résistance aux sécheresses doivent être manifestes, soulignés et réalisables. Les avantages multiples et la séquestration du COS pour le bien-être humain incluent la protection des services et fonctions écosystémiques (services de provision, de régulation, de soutien et culturels), ainsi que la conservation et la restauration de la biodiversité. Les agriculteurs sont plus susceptibles de contribuer à l'augmentation de la séquestration du carbone s'ils sont convaincus qu'elle augmente la production et la sécurité alimentaire, ou s'il existe des bénéfices économiques et d'autres motivations directes. C'est pourquoi des études d'estimation et de possibilité de réalisation des techniques alternatives de gestion devraient inclure les aspects socioéconomiques et l'analyse complète de la série d'avantages pour influencer les décisions des utilisateurs des terres en ce qui regarde leurs options de gestion des sols et des terres. Cependant, la disponibilité de telles informations ne garantit pas que les utilisateurs des terres changent leurs modes de gestion car de nombreux obstacles à l'adoption de la séquestration du COS existent<sup>27</sup>:

- Des obstacles financiers (financements limités et accès au capital) pourraient décourager les agriculteurs d'appliquer des techniques permettant d'accumuler le COS.
- Les obstacles techniques ou logistiques peuvent comporter le nonaccès aux technologies appropriées, aux capacités ou équipements techniques et à une faible capacité de détection des changements dans les réserves de COS à court terme.
- Les obstacles institutionnels peuvent prendre la forme de politiques ou réglementations nationales, de systèmes fonciers précaires, de marchés imparfaits, d'une recherche limitée et d'une faiblesse dans les services de vulgarisation, ainsi que celle d'une faible coordination interinstitutionnelle.
- Les carences en connaissances peuvent inclure un manque d'information sur les conditions climatiques ou options de gestion et sur leur application. Dans certains cas, ce n'est pas tellement un problème lié à la transmission du savoir aux agriculteurs, mais à la personne qui transmet le savoir. Les informations provenant de sources politisées par exemple, peuvent être considérées avec scepticisme et on leur préférera l'information provenant de sources apolitiques.
- Les obstacles liés aux ressources se réfèrent à l'absence de terres suffisantes, de main d'œuvre, d'intrants, d'eau ou de plantations pour mettre en place des pratiques d'adaptation au climat ou d'atténuation du changement climatique.
- Les obstacles socio-culturels peuvent être d'ordre cognitif ou normatif. La façon dont les agriculteurs perçoivent le changement climatique et l'identification des risques est l'un des obstacles clés influençant les actions des personnes dans la manière dont ils gèrent l'adaptation et l'atténuation du changement climatique.

Par conséquent, des mécanismes sont nécessaires pour **faciliter et favoriser la mise en place de méthodes de gestion** qui contribuent à la séquestration du COS et suppriment les obstacles à l'adoption de telles pratiques, notamment:

- a. Développer des schémas de paiement pour les services écosystémiques afin de compenser les agriculteurs et utilisateurs des terres d'éventuels surcoûts, pour la mise en place de pratiques de gestion alternatives qui aident à protéger les services écosystémiques pour la société dans son ensemble (par exemple, les programmes de crédit carbone).

- b. Identifier et établir des modèles de commerce durable et des opportunités d'investissement dans la réhabilitation du paysage, l'agriculture régénérative et la gestion durable des terres. Des évaluations du coût en cas de non-action peuvent aussi être nécessaires.
- c. Etablir des engagements financiers sur le long terme et des accords gouvernementaux.
- d. Rendre efficace la gestion, le maintien et la séquestration du COS aux niveaux locaux et nationaux grâce aux synergies entre les trois conventions des NU (la Convention sur la diversité biologique, la CNULCD et la CCNUCC) et les ODD.
- e. Développer des politiques qui assurent la communication efficace et pertinente de l'information sur les pratiques adéquates de gestion, leur mise en œuvre et le renforcement des politiques qui soutiennent ces acteurs en fournissant des informations sur la pratique de séquestration du COS provenant de la recherche, des systèmes d'analyse, des services de vulgarisation, de l'industrie et des réseaux nationaux.
- f. Reconnaître le contexte local, comme les croyances et les systèmes de valeurs, les connaissances et pratiques indigènes dans la conception et la mise en place de pratiques performantes de gestion.
- g. Rendre les technologies existantes disponibles pour mettre en place les pratiques intéressantes et investir dans de nouvelles stratégies techniques et de gestion telles que les variétés améliorées.
- h. Développer de nouvelles infrastructures (comme les technologies d'utilisation de l'eau efficaces et les systèmes de transport et de stockage) et établir des marchés accessibles et lucratifs pour les produits.
- i. Augmenter les formations locales et le soutien pour l'adoption de nouvelles techniques de gestion.
- j. Lier les schémas de subventions agricoles aux pratiques agricoles durables qui favorisent le maintien ou l'augmentation du COS, de la qualité de l'eau et de la biodiversité et ce, pour encourager la mise en place de telles pratiques.

La participation des acteurs, l'échange de connaissances, les données provenant de sources librement accessibles, l'éducation, la communication intelligible et la recherche interdisciplinaire qui prend en compte toutes les utilisations du territoire (et pas seulement l'agriculture) sont essentiels pour l'adoption de pratiques alternatives. Tous les acteurs, dont la communauté scientifique, les praticiens, les agriculteurs, propriétaires des terres et responsables politiques devraient s'engager dans des procédures participatives pour développer les connaissances réciproques et apprendre des autres selon un modèle collaboratif, interactif et itératif; il y a un besoin d'agir en apprenant et d'incorporer ces apprentissages aux stratégies adaptatives. Des recherches et des développements politiques bien conçus et participatifs facilitent la conception et l'utilisation **de solutions locales sur mesure ou existantes et des politiques spécifiques au contexte** et augmentent la prise de conscience et les échanges de connaissances. Les connaissances hybrides développées par le biais de procédés participatifs qui combinent preuves scientifiques et savoirs locaux devraient éclairer les politiques à différents niveaux.

Les politiques ne devraient pas ajouter de barrières aux pratiques agricoles qui pourraient mener à des états de régression négatives, mais elles devraient inclure des recommandations claires et des objectifs pour la séquestration du COS. L'objectif devrait être accessible et les pratiques devraient être claires et raisonnablement applicables. Les agriculteurs devraient recevoir les informations suffisantes, illustrant les avantages donnés par des sols en bon état au-delà de l'atténuation du changement climatique. Cela suppose de communiquer sur les conséquences de l'inertie et des opportunités apportées par l'action.

**Il n'y a pas un unique scénario applicable partout pour la communication et la formation**, car les preuves doivent être combinées de manière diverse pour différents acteurs. L'éducation, la formation et le renforcement des capacités pour les responsables politiques, pour les agriculteurs et les services de vulgarisation de même que le fait d'assurer un foncier sécurisé, sont d'autres moyens cruciaux pour promouvoir l'adoption de pratiques de gestion durable des terres. Des histoires « positives » et « négatives » concernant des personnes affectées par la dégradation du sol et de celles qui ont expérimenté les avantages d'une bonne gestion du COS peuvent contribuer à une meilleure prise de conscience et à encourager l'adoption à grande échelle de ces types avantageux de gestion.



## THÈME 3: GÉRER LE COS DANS DES SOLS SPÉCIFIQUES

La distribution du COS est très hétérogène et est (entre autres) fonction du type de sol, de l'utilisation de la terre, de son changement d'utilisation, du climat, du paysage et des pratiques de gestion du sol. C'est pourquoi des sols issus de différentes aires géographiques ont des potentiels différents de source ou de puits de carbone et requièrent des pratiques de gestion différentes pour permettre les flux de carbone qui alimentent les sols et les services écosystémiques. Trois sous-thèmes ont permis des discussions sur la gestion des sols avec des caractéristiques différentes de source ou de puits de carbone.

### SOUS-THÈME 3.1: SOLS AVEC UNE FORTE TENEUR EN COS

Dans le contexte du changement climatique, le maintien des niveaux existants de COS est particulièrement important dans les sols avec un taux élevé de COS constitutif, comme les tourbières, les permafrosts et les sols noirs. Cela est principalement dû à leur potentiel d'émissions importantes de carbone (surtout CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>), même si en proportion ils couvrent une part minime de la surface mondiale des terres. En plus de leur teneur notable en COS, une partie importante de ces sols ont une productivité élevée et une fertilité naturelle; ils sont très importants pour la sécurité alimentaire lorsqu'ils sont exploités et sont par conséquent largement cultivés. De tels sols sont aussi très aptes à servir comme puits potentiels de COS par le biais des pratiques améliorées de gestion dans les zones où historiquement se sont produites des pertes de COS. Il existe toujours une grande incertitude au sujet des réserves et des flux de carbone dans les sols à taux élevé de COS, mais cependant, du fait de leur portée, le statut et les dynamiques n'ont pas été estimés ou cartographiés avec une précision suffisante.

Les tourbières, par exemple, couvrent environ 3 pour cent de la surface terrestre du globe<sup>28</sup>. D'après la base de données mondiales sur les tourbières, ces dernières contiennent une masse totale de COS de 447 GtC pour leur profondeur totale, mais des incertitudes importantes subsistent quant à cette estimation<sup>29</sup>, principalement en raison des inconnues sur l'épaisseur des tourbières<sup>30</sup>. Dans le cas des sols de permafrost, on considère qu'environ 30 pour cent des stocks totaux de COS à une profondeur de 2 m soient situés dans la région circumpolaire nord, avec des stocks de COS estimés à 217 ± 12 GtC à 0-30 cm et 1 035 ± 150 GtC à 0-300cm de profondeur<sup>31</sup>. Comme pour les tourbières, les estimations sur les réserves de COS pour le permafrost sont variables et ont des marges d'incertitude relativement importantes. Les mollisols, l'un des principaux types de sols noirs, couvrent environ 7 pour cent de la surface non gelée du globe<sup>28</sup>, mais actuellement, il n'existe pas d'estimation mondiale de leur contenu en COS car ils couvrent un large éventail de sols et de modes d'utilisation des terres.

### SOUS-THÈME 3.2: SOLS DE PRAIRIES ET SYSTÈMES D'ÉLEVAGE

Les prairies couvrent approximativement 40 pour cent de la surface terrestre mondiale<sup>32,33</sup>, représentent 70 pour cent de l'aire agricole globale et contiennent environ 20 % des réserves en COS du globe<sup>1</sup>. Typiquement, les prairies ont une haute teneur en MOS, qui avoisine en moyenne les 333 Mg/ha<sup>34</sup> et les sols de prairie sont considérés comme ayant un potentiel important de séquestration de carbone plus grande encore avec des pratiques de gestion des prairies améliorées et la réhabilitation des prairies dégradées. De même, semblables pratiques augmentent souvent la productivité des prairies et leur adaptation à la variabilité climatique.

Cependant, dans de nombreuses régions, les prairies subissent de nombreuses pressions à cause d'un accroissement des pâturages, d'une gestion des feux inappropriée et de l'empiètement d'autres modes d'utilisation du territoire: par exemple, environ 20 pour cent des prairies natives mondiales ont été converties en terres cultivées. Il existe de nombreuses possibilités pour tirer avantage de pratiques de gestion qui séquestrent le carbone dans les prairies. De nombreuses personnes dépendent directement des prairies mais sont souvent pauvres et vulnérables face aux variabilités et au changement climatiques. Mettre en place des pratiques qui augmentent les réserves de COS dans les prairies pourrait donc fournir des avantages considérables en termes d'atténuation des effets du changement climatique, d'adaptation et de développement<sup>34</sup>.

Les systèmes d'élevage occupent environ deux tiers des terres agricoles mondiales pour la production de nourriture animale (80 pour cent pour les prairies pâturées et 20 pour cent pour la production de nourriture animale). La demande globale de produits issus de l'élevage est appelée à doubler d'ici 2050, surtout dans les pays en voie de développement. Ainsi, il sera de plus en plus important d'améliorer les systèmes basés sur les fourrages et les systèmes intégrés de cultures-prairies-forêts qui contribuent à l'adaptation au changement climatique et réduisent les émissions associées à la production de bétail<sup>35</sup>. Des stratégies pour séquestrer le carbone dans les prairies nécessitent aussi de prendre en compte le bilan net global des émissions selon différentes stratégies de gestion, dont les émissions provenant du bétail (émissions entériques de CH<sub>4</sub>) ainsi que leurs filières respectives d'approvisionnement.

### SOUS-THÈME 3.3: SOLS ARIDES

Les terres arides (zones arides, semi-arides et sèches subhumides) sont caractérisées en général par une faible moyenne de précipitations (précipitations inférieures aux pertes potentielles d'humidité par évapotranspiration et transpiration) et elles couvrent environ 47 pour cent de la surface terrestre du globe. Les zones arides sont souvent associées à un manque d'eau, qui limite sévèrement la productivité des plantes et donc affecte l'accumulation de COS dans les sols<sup>36</sup>. Cependant, les sols arides contiennent plus d'un quart des réserves mondiales de carbone organique<sup>21</sup>.

Les sols arides sont particulièrement vulnérables à la dégradation, à la désertification et aux pertes de COS associées car le stockage de COS diminue avec la déperdition en eau du sol; par conséquent, les sols arides contiennent de faibles teneurs en COS. Les facteurs qui influencent la séquestration du COS (comme le climat, le type de sol, le couvert végétal et les modes de gestion) sont importants dans le développement de stratégies et modes de gestion du COS pour ces sols<sup>36</sup>, car leurs faibles réserves de COS représentent un fort potentiel pour la séquestration du carbone étant donné la vaste étendue des zones arides.

#### *Résumé des discussions*

Sur la base des différences dans le COS et de leurs sensibilités variables aux modes de gestions, cinq questions clés ont été traitées.

**Q3-1** Où se situent les zones prioritaires pour la conservation du sol afin d'éviter les pertes de COS et quels sont les besoins en politiques et incitations associées pour contrôler leur gestion durable ?

*Aires prioritaires pour la conservation du sol:*

**Du point de vue des GES**, les aires prioritaires pour la préservation des réserves de COS sont celles ayant les plus grandes teneurs en carbone. Plus la réserve de COS est grande, plus le COS est vulnérable à l'oxydation; c'est par exemple le cas pour les zones de permafrost (bien qu'elles ne soient pas gérées directement) et pour les tourbières. Pour les tourbières, les deux zones prioritaires identifiées pour la protection sont 1) les vastes zones actuellement non gérées et naturelles (non perturbées) de tourbières (environ 80 pour cent des tourbières dans le monde sont encore considérées comme vierges) <sup>37</sup>, en particulier celles dans les régions qui sont vulnérables au changement de mode d'utilisation du territoire et 2) les tourbières dont la surface est intensivement gérée (pour les transformer en cultures ou forêts).

Pour protéger ces tourbières, leur localisation et leur étendue doivent être connues. La contrainte majeure pour bien les cartographier est le manque de profils documentés des sols organiques en général et des tourbières en particulier, qui empêchent d'effectuer des vérifications sur le terrain et des évaluations de précision des cartes d'échelle continentale et mondiale. Des cartes dont la précision est validée sont nécessaires pour la planification

de l'utilisation des tourbières. Les données au sol requises incluent des données géo-référencées sur les propriétés du carbone du sol et sur l'humidité du sol pour mesurer le niveau de dégradation des tourbières.

**Du point de vue de la sécurité alimentaire**, la priorité est de conserver le COS dans tous les sols utilisés pour la production alimentaire, dont les prairies utilisées pour le pâturage. Ceci est particulièrement vrai pour les zones arides, où les réserves de COS ne sont souvent guère importantes par unité de surface. La préservation du COS dans de tels sols est indispensable si l'on veut maintenir au moins les fonctions du sol en lien avec la production alimentaire que permet son COS.

Les vulnérabilités pour chaque utilisation du territoire dépendent du type de sol, des modes de gestion, du climat et des conditions économiques et sociales affectant les décisions sur le mode de gestion. Par exemple, la vulnérabilité est plus haute dans les tourbières tropicales où les avantages tirés des cultures sont très hauts, ainsi que dans de petites zones de tourbières dans la Méditerranée ou d'autres zones tempérées sujettes à de grosses pressions anthropiques. Par conséquent, les zones prioritaires devraient être définies aux niveaux nationaux et locaux.

### *Nécessité de politiques et d'incitations*

Les politiques publiques et les incitations sont nécessaires pour soutenir la protection et l'augmentation du COS par le biais des modes de gestion. Bien qu'il ait été démontré que les pratiques de gestion qui protègent ou restaurent le COS procurent des bénéfices simultanés pour l'adaptation et l'atténuation du changement climatique, la sécurité alimentaire et la NDT, l'introduction de telles pratiques a souvent des coûts initiaux directs ou causent au départ des pertes de revenu. Ceci est dû au décalage temporel entre les actions nécessaires à court terme, les contraintes sur les acteurs à court terme, tels que les agriculteurs (besoin de revenu) et la longue durée nécessaire pour augmenter les réserves de COS et en obtenir les bénéfices.

Il est nécessaire de mieux mettre en lumière les bénéfices à court terme de la gestion durable du COS et les actions immédiates compatibles avec les activités des agriculteurs. Les incitations doivent être spécifiques, conçues aux échelles nationales et locales et être adaptées à l'échelle d'application. Par exemple, les incitations pour encourager la protection des réserves existantes de COS dans les écosystèmes vierges ne sont pas toujours les mêmes que les incitations pour promouvoir les pratiques durables dans les écosystèmes gérés. Les incitations sont particulièrement requises pour promouvoir la réacquisition de biomasse et pour avoir plus de poids pour la compétition sur une telle biomasse, comme l'utilisation en tant que carburant ou fourrage.

Les agriculteurs, en particulier les petits agriculteurs, ne placent pas la séquestration du carbone per se comme prioritaire, mais ils souhaitent de préférence choisir les options de gestion leur permettant d'augmenter la productivité des cultures et d'arrêter l'érosion et la désertification, sous réserve que de telles pratiques puissent être mises en place et maintenues et que des connaissances et capacités suffisantes existent pour assurer leur mise en place. Dans de nombreux cas, des incitations supplémentaires sont requises pour convaincre les agriculteurs de changer leurs modes de faire habituels, pour adopter de nouvelles techniques car cela peut comporter une modification des équipements, des coûts initiaux de mise en place et une gestion plus exigeante.

### **Q3-2 De manière réaliste, quels changements dans les réserves de COS peuvent-ils être atteints et avec quels taux de changement pour des sols et utilisations spécifiques ?**

Les participants ont indiqué que cette question ne pouvait être traitée au niveau des seules discussions mais nécessitait une étude complète pour fournir des valeurs correctes basées sur le climat, le type de sol et les conditions spécifiques de gestion. Cependant, en général, plus la réserve en COS est importante, plus le taux de pertes potentielles en carbone résultant d'une perturbation du sol ou de changement dans l'utilisation du sol est grand (pour exemple le passage de forêt ou de prairie à culture).

Pour les trois contextes pris en compte dans le thème 3 - sols avec COS élevé (tourbières, permafrosts et sols noirs; prairies et systèmes d'élevage et sols arides), la priorité est de maintenir les réserves en COS existantes et minimiser les pertes de carbone. Même s'il paraît ambitieux pour diverses raisons de conserver les réserves existantes, cela semble plus réaliste que d'augmenter les réserves de COS puisque la séquestration du COS est en général un procédé prenant du temps, surtout dans les sols ayant déjà de hauts niveaux de COS.

### **Q3-3 Quel est le seuil de dégradation à partir duquel la restauration du sol et la séquestration du COS ne sont plus considérées possibles ?**

Les participants ont estimé qu'attribuer un seuil de dégradation (point critique) pour les pertes de COS était un concept inapproprié. Les pertes de COS apparaissent continuellement et aucun seuil de dégradation ne peut être défini, comme ce pourrait être le cas pour d'autres types de dégradation du sol comme l'érosion ou la salinisation. Il est cependant possible de définir un seuil de dégradation en relation avec l'efficacité de mesures spécifiques de restauration car, dans certains cas, les sols possédant des taux très bas de COS sont insensibles aux pratiques de restauration. Des seuils peuvent aussi être définis en relation avec le coût de la restauration, par exemple lorsque la restauration devient trop onéreuse pour être économiquement viable. C'est-à-dire que techniquement, la restauration des sols appauvris en COS serait possible, mais que des facteurs socio-économiques empêcheraient leur mise en pratique (comme le coût de l'eau nécessaire, celui des nutriments, de la biomasse, etc.).

Aucun seuil de dégradation universel applicable ne peut être déterminé car il apparaît comme spécifique au sol et à l'écosystème. Cependant, pour les zones arides par exemple, en dessous d'un certain seuil local de contenu en COS, les sols sont insensibles aux engrais inorganiques et augmenter le COS pour améliorer les récoltes par le biais de la seule addition d'engrais inorganiques n'est pas possible.

Les taux de modification sont considérés comme plus importants que les seuils. Des données sur les taux de changement existent et peuvent être regroupées et synthétisées pour des contextes spécifiques.

La différence entre restauration et réhabilitation a été mise en lumière. La restauration se rapporte au rétablissement des écosystèmes, en incluant la structure et la fonction écologique préexistante. La réhabilitation peut consentir le rétablissement des réserves de COS mais ne ramènera pas les écosystèmes à leurs conditions et caractéristiques originales vierges (ex. biodiversité terrestre ou du sous-sol).

### **Q3-4 Quels sont les services écosystémiques potentiels et les co-bénéfices de la séquestration du COS qui puissent contribuer à l'adaptation au changement climatique et à la réduction de la dégradation des terres ?**

La MOS intervient dans de nombreux services écosystémiques, tels que la fourniture d'aliments, de fibres et de carburants grâce au fait qu'il contribue à la fertilité du sol, à la régulation du cycle de l'eau en augmentant l'infiltration de l'eau et la perméabilité du sol et au recyclage d'éléments organiques ou à celui d'autres déchets. De plus, la MOS aide à maintenir la biodiversité du sol et la biodiversité fonctionnelle, qui, en retour, assurent toute une série de services écosystémiques. Pour compléter ces idées générales, qui ont été confirmées pour nombre de situations couvertes par le thème 3, les points spécifiques suivants ont été signalés:

- Il peut y avoir des avantages à ajouter du matériel organique au sol sans augmenter les réserves de COS. Quelques exemples incluent l'addition de matière organique associée à une amélioration de la fertilité du sol ou à une résistance à l'érosion sans changer la teneur en COS. Une gestion du COS porteuse de bénéfices ne devrait donc pas se limiter à la séquestration du carbone.
- Une augmentation de la MOS n'augmente pas systématiquement la productivité. Dans le cas des tourbières par exemple, il existe un équilibre entre la conservation du COS et la production et les rendements des

cultures. Cependant, on doit souligner que cultiver n'importe quelle denrée alimentaire sur des tourbières drainées ou en utilisant la tourbière comme un moyen de croissance, n'est pas durable.

- En terme de gestion des émissions de GES par les sols, le carbone ne devrait pas être l'unique élément à prendre en compte: les émissions de  $N_2O$  associées à certains sols tourbeux à haute teneur en COS devraient aussi être prises en compte lors de la programmation de pratiques de gestion appropriées et de celle des budgets en GES.

Les services écosystémiques et les co-bénéfices de la séquestration du COS ne devraient pas être considérés seulement à l'échelle du champ ou de la parcelle, mais aussi à des échelles plus importantes telles que le paysage ou le territoire (par exemple pour l'atténuation de l'érosion conjointement à l'augmentation des stocks de COS).

La plupart des bénéfices du maintien et de la séquestration du COS sont observés sur le long terme (décennies), alors que les agriculteurs ont besoin de bénéfices sur le court terme (mois et années). Il existe un besoin d'identifier et de souligner les bénéfices à court terme de la MOS pour favoriser l'adoption de pratiques de gestion qui protègent le COS du point de vue de la production.

### **Q3-5** Quels sont les modes avérés de meilleure gestion prouvés qui empêchent les pertes de COS et favorisent la séquestration du COS ?

Les meilleures pratiques de gestion pour empêcher les pertes de COS et favoriser la séquestration du COS sont les suivantes:

- a. Dans les tourbières: i) régulation du niveau de la nappe; ii) contrôle de l'érosion; iii) addition de matière organique grâce à des apports de biomasse végétale au sol ou l'addition de déchets organiques; iv) non-labour si associé avec un couvert végétal permanent et une augmentation des apports de biomasse au sol; et v) réhumidification des tourbières, en se concentrant en premier lieu sur les tourbières abandonnées ou drainées.
- b. Dans les prairies: i) introduction d'une phase de pâturage au sein des cycles de cultures; et ii) travailler sur la composition des espèces pour assurer une variété optimale afin de réduire les pertes de carbone et en favoriser la séquestration.
- c. Dans les zones arides: i) gestion intégrée de l'eau et des nutriments (combinant l'eau avec les amendements organiques et inorganiques), favorisant de ce fait toute une succession de bénéfices pour les écosystèmes (comme les augmentations dans les rendements des cultures) de même que souvent, la séquestration du COS, et ii) le contrôle de l'érosion pour la protection et la séquestration du COS (l'érosion éolienne est un problème de taille en plus de l'érosion hydraulique).
- d. Dans toutes les zones: maintenir un couvert du sol.

Bien qu'une augmentation des incorporations de matière organique au sol soit un levier majeur, il existe d'importantes limites à cette approche, surtout dans les zones arides, notamment celles liées à la production de la biomasse nécessaire à la végétation (contraintes en nutriments et en eau) et celle de la compétition avec d'autres utilisations de la biomasse (comme les fourrages ou les combustibles à des fins domestiques).

Comme développé au thème 2, souvent les agriculteurs connaissent bien les techniques environnementales et les bénéfices, mais leur mise en place est limitée par les coûts. La priorité pour les agriculteurs n'est pas de séquestrer le carbone mais plutôt de produire des quantités suffisantes de produits agricoles; même si la séquestration du COS peut aider à augmenter les productions, c'est un mécanisme lent, qui exige une gestion lourde. Des bénéfices plus directs et à court terme sont requis pour les pratiques de séquestration du COS, ou des conditions plus sûres pour ceux à court terme pour ce qui concerne la séquestration du COS et des besoins de production alimentaire efficace et viable, qui doivent être développés et mis en pratique.

De manière générale, les VGSSM sont compatibles avec une gestion durable du COS. Cependant, vu qu'elles sont génériques elles devraient être adaptées aux échelles nationales et locales pour englober les conditions de site spécifiques (climat, type de sol, utilisation de la terre, typologie de la ferme, etc.).

Commentaires additionnels:

- La profondeur du sol est une considération importante dans l'étude du COS car de larges stocks de COS et de matière organique persistante existent dans les sous-sols. Cependant, le compte-rendu standard des lignes directrices du GIEC (2006) requiert une étude à une profondeur de seulement 30 cm. Par conséquent, il est important de prêter une attention suffisante à la manière dont les modes de gestion peuvent augmenter le COS à des couches de sols plus profondes et comment le COS peut être efficacement étudié.
- La MOS ne devrait pas être réduite au COS seulement. Il ne faut pas négliger le fait qu'en plus du carbone, la MOS contient d'autres éléments dont l'azote et le phosphore, qui sont indispensables pour la croissance des végétaux.
- Le COS semble être un indicateur valable du bon état des sols, peut-être même le meilleur, car il est significatif, fiable, visible et mesurable.
- Le carbone inorganique du sol devrait également être pris en compte dans le bilan en carbone, particulièrement dans les zones arides car sa dissolution peut être une source importante d'émission de CO<sub>2</sub> et sa précipitation secondaire peut contribuer à l'atténuation du changement climatique.

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le GSOC17 a permis la réunion d'experts engagés dans des activités avec la FAO, le GSP et son ITPS, le GIEC, l'UNCCD-SPI, et l'OMM et leur mise en condition de travailler dans la perspective de l'objectif commun de gestion appropriée du COS comme part de la gestion durable des sols en vue de l'adaptation et de l'atténuation du changement climatique, du développement durable, de la NDT et de la sécurité alimentaire. Les scientifiques provenant de toutes les parties du globe ont été très actifs lors de la présentation des résultats des études montrant les potentiels et les défis de la gestion et du suivi du COS et lors des discussions et des présentations des messages clés exposés dans ce document. Les pays membres des NU et surtout leurs conseillers en politiques et preneurs de décisions peuvent entamer la mise en place des recommandations qui se sont dégagées au cours de ce colloque.

A l'occasion de cette consultation, les experts ont conclu qu'il existait des preuves scientifiques convaincantes qu'une augmentation soutenue du COS contribuait aux multiples objectifs d'adaptation et d'atténuation du changement climatique, de sécurité alimentaire et d'atteinte de la NDT. Il y a souvent des synergies entre l'adaptation et l'atténuation du changement climatique et la réalisation de la NDT. Même lorsque le potentiel d'atténuation n'est pas complètement exploité du fait des interactions avec les autres flux de GES, augmenter le COS a des bénéfices cruciaux pour la sécurité alimentaire, l'adaptation au changement climatique et l'atteinte de la NDT en améliorant la qualité du sol, en réduisant son érosion et en augmentant la capacité de rétention de l'eau dans les sols et la résistance aux sécheresses. Les experts ont aussi reconnu que les priorités principales de l'agenda du COS étaient d'éviter plus de pertes de COS et, lorsque c'était possible, de fournir des incitations pour augmenter les réserves de COS. Cela peut être atteint en évitant ou en réduisant la dégradation des sols et des terres, grâce, lorsque c'est possible, à une augmentation du COS. Cette stratégie est conforme à l'objectif de NDT.

Les travaux du colloque offrent de nombreux exemples de changements dans l'utilisation et la gestion des terres qui peuvent aider à maintenir ou augmenter le COS. Ces communications soulignent aussi les facteurs qui déterminent l'efficacité des mesures pour augmenter les réserves de COS dans différents contextes environnementaux, socio-économiques, culturels et institutionnels; ils fournissent des principes directeurs pour

en optimiser l'efficacité. Bien que les estimations de l'ampleur du potentiel global de la séquestration du COS puissent varier en fonction des catégories d'utilisation du territoire et des flux de GES qui sont inclus dans les études et en fonction des hypothèses retenues quant aux impacts des pratiques sur les réserves de COS, les conclusions ont mis l'accent sur le fort potentiel d'atteindre la conservation et la séquestration du COS que constituent les modes appropriés de gestion du sol et des terres. L'adaptation aux conditions locales de pratiques novatrices et respectueuses est essentielle pour y parvenir.

Dans une perspective d'atténuation du changement climatique, empêcher les pertes de COS des sols riches en carbones, tels que les tourbières, le permafrost, les sols noirs a été identifié comme une priorité due à la forte teneur en GES qu'ils peuvent potentiellement rejeter dans l'atmosphère. D'autre part, la conservation et l'augmentation des réserves de COS est importante dans tous les sols utilisés pour la production alimentaire si l'on vise à maintenir les fonctions du sol pour assurer et améliorer la sécurité alimentaire. Cela s'applique aux prairies utilisées pour le pâturage et est particulièrement important dans les zones arides, qui s'étendent sur de vastes étendues mais possèdent le plus souvent de faibles réserves en COS par unité de surface.

Habituellement, les utilisateurs des terres sont davantage préoccupés de l'augmentation de leurs rendements et de la stabilité et donc d'assurer leurs moyens de subsistance. Maintenir et augmenter les réserves de COS pourrait donc être promu sous le thème plus large de la gestion durable des sols. Les bénéfices multiples à long terme du maintien et de l'augmentation des réserves de COS, tels qu'une meilleure nutrition et sécurité alimentaire, la réduction de la pauvreté, l'adaptation au changement climatique et l'obtention de la NDT et des ODD, devraient servir comme incitation globale pour concrétiser les décisions visant à maintenir et augmenter le COS. Cependant, pour encourager les meilleures pratiques de gestion du COS par les utilisateurs des terres, des incitations locales tangibles sont requises.

Les VGSSM ont été développées en tant que procédé inclusif et approuvées par les pays membres de la FAO. Comme contribution à leur mise en place et de manière à effectuer des progrès dans la réalisation de la conservation et de la séquestration du COS sur le terrain, les participants du colloque ont recommandé que les lignes directrices soient ajustées pour fournir des orientations spécifiques au contexte sur la gestion durable du COS aux échelles nationales et locales. Pour l'atteindre, un groupe de travail va être établi au sein du GSP pour coordonner le développement d'un manuel technique et institutionnel sur la gestion du COS.

Vouloir formuler des recommandations pour les stratégies de séquestration du COS nécessite une grande confiance en la science. Par conséquent, il a été recommandé que la recherche se concentre sur la réduction des incertitudes en analysant et en promouvant les expérimentations de long terme, en validant les résultats par méta-analyses, en se centrant géographiquement sur des régions sous-étudiées. Une activité importante à cet égard a été le lancement du Réseau international des sols noirs au GSOC17 avec pour objectif de soutenir la collaboration technique en vue de maintenir de larges réserves en COS des sols noirs partout dans le monde.

Le développement de directives de politiques serait utile pour traduire les constats scientifiques en un langage accessible en vue d'informer les décideurs politiques des pays membres. Des illustrations de succès et des exemples d'applications concrètes avec les plus faibles incertitudes sur leurs effets positifs seraient les plus efficaces. Pour atteindre la mise en place à grande échelle des mesures de conservation et de séquestration du COS, la communauté scientifique, les responsables politiques et preneurs de décisions pourraient entamer une procédure de communication participative, interactive et itérative avec les agriculteurs, les utilisateurs des terres, les propriétaires et les services de vulgarisation.

Les services de vulgarisation sont indispensables pour faire connaître les pratiques de gestion aux utilisateurs, comme c'est le cas avec des programmes du type « Soil Doctors » ou « Farmer field schools ». La sensibilisation aux bénéfices du COS en ce qui concerne la santé des sols, tant pour les propriétaires des terres que pour la communauté au sens large, est essentielle: ce procédé a débuté lors de l'année internationale des sols et de la journée mondiale des sols et devrait perdurer.

La motivation financière pour une mise en place à grande échelle des pratiques de gestion durable des sols et des terres par les utilisateurs des terres a été mentionnée à plusieurs reprises au cours du GSOC17. Les spécificités, risques et occasions d'établir des incitations supplémentaires ou des accords financiers pour la fourniture de services écosystémiques grâce au maintien et à la séquestration du COS, incluant la création de marchés de COS, nécessite une approche minutieuse et globale.

On a recommandé que les pays soient responsabilisés en développant et en renforçant les capacités nationales liées à l'étude, à la cartographie, au suivi et au compte rendu des réserves en COS au fil du temps ainsi qu'à la gestion des sols en général. Les actions au niveau national prendront cours lorsque les pays auront conscience de maîtriser l'information, les méthodes et les résultats. Identifier et soutenir des priorités nationales et des thèmes de recherche, en commençant par les utilisateurs directs et en incluant des chercheurs locaux dans les activités de recherche peut renforcer la pleine maîtrise des connaissances.

Une des activités clés du GSP est la compilation de la GSOCmap, qui doit être finalisée d'ici le 5 décembre 2017, basée sur des jeux de données aux échelles nationales et sur des cartes produites au niveau national, en utilisant des spécifications uniformisées. En parallèle avec cette activité, il a été recommandé qu'un groupe de travail soit établi sous la tutelle du GSP pour faciliter la collaboration parmi les principaux scientifiques concernés, les groupes consultatifs et les institutions de mise en œuvre pour développer des lignes directrices réalisables, adaptées au contexte régional afin de mesurer, cartographier et rendre compte à propos du COS. Pour assurer le suivi et le compte rendu lors des conventions et atteindre l'objectif ultime de permettre les décisions locales et nationales pour améliorer la gestion du carbone du sol, il a été recommandé d'offrir aux pays l'aide nécessaire à l'amélioration de leurs capacités en ce qui concerne le développement de critères nationaux de référence pour les réserves de COS et pour le renforcement de leurs capacités en matière d'équipement et de gestion des données.

Ce document final, « Exploiter le potentiel du carbone organique des sols » sera distribué par les réseaux appropriés, parmi lesquels figurent la 13<sup>ème</sup> conférence des parties (COP13) de la CNULCD, la COP23 de la CCNUCC, l'Assemblée Plénière du GSP, le Conseil de la FAO et la COP14 de la Convention sur la diversité biologique et il sera présenté au GIEC pour évaluation, lors de la réunion de son sixième rapport d'évaluation.

# REFERENCES

1. **FAO & ITPS**. 2015. The Status of the World's Soil Resources (Main Report). 648 pp. (disponible sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01241064/>).
2. **Lawes, J.B. & Gilbert, J.H.** 1885. XLIV. On some points in the composition of soils; with results illustrating the sources of the fertility of Manitoba prairie soils. *Journal of the Chemical Society, Transactions*, 47(0): 380–422 (disponible sur: <https://doi.org/10.1039/CT8854700380>).
3. **Lal, R.** 2013. Soil carbon management and climate change. *Carbon Management*, 4(4): 439–462 (disponible sur: <https://doi.org/10.4155/cmt.13.31>).
4. **Batjes, N.H.** 2014. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 65(1): 10–21 (disponible sur: [https://doi.org/10.1111/ejss.12114\\_2](https://doi.org/10.1111/ejss.12114_2)).
5. **Hiederer, R. & Köchy, M.** 2011. Global soil organic carbon estimates and the harmonized world soil database. European Commission. Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.
6. **GIEC**. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).
7. **Scharlemann, J., Tanner, E.V.J., Hiederer, R. & Kapos, V.** 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, 5(1): 81–91 (disponible sur: <https://doi.org/10.4155/cmt.13.77>).
8. **FAO & ITPS**. 2016. Report of the Fifth Working Session of the Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome, FAO (disponible sur: <http://www.fao.org/3/a-bl137e.pdf>).
9. **Orr, B.J., Cowie, A.L., 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.** 2017. Scientific conceptual framework for land degradation neutrality. A report of the Science-Policy Interface. Bonn, Germany, United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) (disponible sur: [http://www2.unccd.int/sites/default/files/documents/LDN\\_Scientific\\_Conceptual\\_Framework\\_FINAL.pdf](http://www2.unccd.int/sites/default/files/documents/LDN_Scientific_Conceptual_Framework_FINAL.pdf)).
10. **GIEC**. 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Volume 4 Agriculture, forestry and other land use. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (disponible sur: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>).
11. **GIEC**. Undated. Decision IPCC/XLIV-5. Sixth Assessment Report (AR6) products, outline of the methodology report(s) to refine the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (disponible sur: [https://www.ipcc.ch/meetings/session44/13\\_adopted\\_outline\\_methodology\\_report\\_guideline.pdf](https://www.ipcc.ch/meetings/session44/13_adopted_outline_methodology_report_guideline.pdf)).
12. **NU**. 2015. Accord de Paris. Nations Unies (NU) (disponible sur: [https://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/french\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/french_paris_agreement.pdf)).
13. **CNULCD**. 2016. Indicator 15.3.1: Proportion of land that is degraded over total land area. Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CNULCD) (disponible sur: <http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Rio+20/LDN2016/UNCCD15.3.1metadata04March2016.pdf>).

14. **Convention des Nations Unies pour la lutte contre la désertification, Convention sur la diversité biologique, FAO & Panel consultatif scientifique et technique du Fonds pour l'Environnement Mondial** 2016. Framework and guiding principles for a land degradation indicator data from multiple sources. 2.2 Guiding principles. 3.0 Definitions, methodologies and data options (disponible sur: <http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Rio+20/LDN2016/FrameworkandGuidingPrinciplesforaLandDegradationIndicator.pdf>).

---

15. **Lorenz, K. & Lal, R.** 2016. Soil organic carbon: an appropriate indicator to monitor trends of land and soil degradation within the SDG framework? Dessau-Roßlau, Germany (disponible sur: [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/2016-11-30\\_soil\\_organic\\_carbon\\_as\\_indicator\\_final.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/2016-11-30_soil_organic_carbon_as_indicator_final.pdf)).

---

16. **CCNUCC.** 2014. Handbook on measurement, reporting and verification for developing countries. Bonn, Allemagne, Convention-Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) (disponible sur: [https://unfccc.int/files/national\\_reports/annex\\_i\\_natcom\\_/application/pdf/nonannex\\_i\\_mrv\\_handbook.pdf](https://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom_/application/pdf/nonannex_i_mrv_handbook.pdf)).

---

17. **Batjes, N.H.** 2011. Soil organic carbon stocks under native vegetation: revised estimates for use with the simple assessment option of the Carbon Benefits Project system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 142(3): 365–373 (disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.06.007>).

---

18. **Hengl, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G.B.M., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., Shangguan, W., Wright, M.N., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B., Guevara, M.A., Vargas, R., MacMillan, R.A., Batjes, N.H., Leenaars, J.G.B., Ribeiro, E., Wheeler, I., Mantel, S. & Kempen, B.** 2017. SoilGrids250m: global gridded soil information based on machine learning. *PLOS ONE*, 12(2): e0169748 (disponible sur: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>).

---

19. **Totsche, K.U., Rennert, T., Gerzabek, M.H., Kögel-Knabner, I., Smalla, K., Spiteller, M. & Vogel, H.-J.** 2010. Biogeochemical interfaces in soil: the interdisciplinary challenge for soil science. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(1): 88–99 (disponible sur: <https://doi.org/10.1002/jpln.200900105>).

---

20. **Pribyl, D.W.** 2010. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. *Geoderma*, 156(3): 75–83 (disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.02.003>).

---

21. **UNCCD-SPI.** 2015. Pivotal soil carbon. Science-Policy Brief 01. Convention des Nations Unies pour la lutte contre la désertification, interface science-politique (CNULCD-SPI) (disponible sur: [http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/2015\\_PolicyBrief\\_SPI\\_ENG.pdf](http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/2015_PolicyBrief_SPI_ENG.pdf)).

---

22. **Stockmann, U., Adams, M.A., Crawford, J.W., Field, D.J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., Minasny, B., McBratney, A.B., Courcelles, V. de R. de, Singh, K., Wheeler, I., Abbott, L., Angers, D.A., Baldock, J., Bird, M., Brookes, P.C., Chenu, C., Jastrow, J.D., Lal, R., Lehmann, J., O'Donnell, A.G., Parton, W.J., Whitehead, D. & Zimmermann, M.** 2013. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 164: 80–99 (disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.10.001>).

---

23. **Lehmann, J. & Kleber, M.** 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580): 60–8 (disponible sur: <https://doi.org/10.1038/nature16069>).

---

24. **Trumbore, S.E. & Czimczik, C.I.** 2008. An uncertain future for soil carbon. *Science*, 321(September): 1455–1456 (disponible sur: <https://doi.org/10.1126/science.1160232>).

---

25. **Lal, R.** 2003. Offsetting global CO<sub>2</sub> emissions by restoration of degraded soils and intensification of world agriculture and forestry. *Land Degradation and Development*, 14(3): 309–322 (disponible sur:

26. **Sommer, R. & Bossio, D.** 2014. Dynamics and climate change mitigation potential of soil organic carbon sequestration. *Journal of Environmental Management*, 144: 83–87 (disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.017>).
27. **FAO.** 2017. Soil organic carbon: the hidden potential. Rome (disponible sur: <http://www.fao.org/3/a-i6937e.pdf>).
28. **Liu, X., Lee Burras, C., Kravchenko, Y.S., Duran, A., Huffman, T., Morras, H., Studdert, G., Zhang, X., Cruse, R.M. & Yuan, X.** 2012. Overview of mollisols in the world: distribution, land use and management. *Canadian Journal of Soil Science*, 92(3): 383–402 (disponible sur: <https://doi.org/10.4141/cjss2010-058>).
29. **Köchy, M., Hiederer, R. & Freibauer, A.** 2015. Global distribution of soil organic carbon. Part 1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world. *Soil*, 1(1): 351–365 (disponible sur: <https://doi.org/10.5194/soil-1-351-2015>).
30. **Buffam, I., Carpenter, S.R., Yeck, W., Hanson, P.C. & Turner, M.G.** 2010. Filling holes in regional carbon budgets: predicting peat depth in a north temperate lake district. *Journal of Geophysical Research*, 115(G1): 1–16 (<https://doi.org/10.1029/2009JG001034>).
31. **Hugelius, G., Strauss, J., Zubrzycki, S., Harden, J.W., Schuur, E.A.G., Ping, C.L., Schirmer, L., Grosse, G., Michaelson, G.J., Koven, C.D., O'Donnell, J.A., Elberling, B., Mishra, U., Camill, P., Yu, Z., Palmtag, J. & Kuhry, P.** 2014. Estimated stocks of circumpolar permafrost carbon with quantified uncertainty ranges and identified data gaps. *Biogeosciences*, 11(23): 6573–6593 (disponible sur: <https://doi.org/10.5194/bg-11-6573-2014>).
32. **Mcsherry, M.E. & Ritchie, M.E.** 2013. Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Global Change Biology*, 19(5): 1347–1357 (disponible sur: <https://doi.org/10.1111/gcb.12144>).
33. **Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J-L, De Deyn, G.B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N.C., Jones, A., Kandeler, E., Kaneko, N., Lavelle, P., & Lemanceau, P., M, D.** 2016. *Global Soil Biodiversity Atlas*.
34. **Conant, R.T. & FAO.** 2010. Challenges and opportunities for carbon sequestration in grassland systems: a technical report on grassland management and climate mitigation. Rome, FAO (disponible sur: <http://www.fao.org/docrep/012/i1399e/i1399e00.htm>).
35. **Gaitán, L., Läderach, P., Graefe, S., Rao, I. & van der Hoek, R.** 2016. Climate-smart livestock systems: an assessment of carbon stocks and GHG emissions in Nicaragua. *PLOS ONE*, 11(12): e0167949 (disponible sur: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167949>).
36. **Sharma, P., Abrol, V., Abrol, S. & Kumar, R.** 2012. Climate change and carbon sequestration in dryland soils. In V. Abrol & P. Sharma, eds. *Resource management for sustainable agriculture*. InTech (disponible sur <http://www.intechopen.com/books/resource-management-for-sustainable-agriculture/climate-change-and-carbon-sequestration-in-dryland-soils>).
37. **Barthelmes, A., Couwenberg, J., Risager, M., Tegetmeyer, C. & Joosten, H.** 2015. Peatlands and climate in a Ramsar context. A Nordic-Baltic perspective. Nordic Council of Ministers (disponible sur: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:norden:org:diva-3927>).



AVEC LE SOUTIEN FINANCIER DE



MINISTRY FOR FOREIGN AFFAIRS  
OF ICELAND



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Federal Department of Economic Affairs,  
Education and Research EAER  
**Federal Office for Agriculture FOAG**

ISBN 978-92-5-130122-7



9 789251 301227

I7268FR/1/01.18