

**Destinataires : Membres du Comité sénatorial permanent de l'agriculture et des forêts**

**Sujet : L'état des données sur les sols au Canada**

---

**Honorables sénatrices, honorables sénateurs,**

13 octobre 2022

Je tiens à vous remercier, vous et vos collègues, pour votre participation au Comité sénatorial permanent de l'agriculture et des forêts. Je tiens également à remercier le Comité pour sa reconnaissance du fait que le sol est l'une des ressources naturelles vitales de notre pays, ainsi que pour les efforts considérables et le leadership dont il a fait preuve pour aborder la gestion durable des sols et reconnaître l'importance d'examiner l'état de la santé des sols au Canada.

Mes recherches portent sur la **cartographie numérique des sols**, une discipline de la science des sols qui tire parti des nouvelles technologies de l'informatique, de la télédétection et de l'intelligence artificielle pour prédire les propriétés des sols et évaluer les indicateurs de la santé des sols. Il s'agit d'un nouveau domaine de recherche au Canada, et la communauté de la cartographie des sols est chargée de moderniser les données sur les sols partout au pays afin de maximiser et d'éclairer les pratiques agricoles et forestières durables et de mieux informer les Canadiens et les Canadiennes sur l'état de santé actuel de nos sols. En connaissant l'état de nos sols, nous serons beaucoup plus efficaces pour assurer la sécurité des sols, la sécurité alimentaire et la sécurité de l'eau dans le contexte des changements climatiques. L'information sur les endroits où les sols sont sains et les menaces pour la santé des sols est essentielle à notre capacité de relever certains des plus grands défis existentiels de notre époque (p. ex., les changements climatiques et la sécurité alimentaire).

Je travaille depuis longtemps avec la communauté nationale des sciences du sol par l'entremise de la Société canadienne de la science du sol (SCSS). Je suis membre du [Groupe de travail canadien sur la cartographie numérique des sols \(Canadian Digital Soil Mapping Working Group \[CDSMWG\]\)](#), un réseau national regroupant des chercheurs en cartographie des sols d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, de Ressources naturelles Canada, d'organismes gouvernementaux provinciaux et d'établissements d'enseignement. En 2018, mes pairs m'ont proposé comme coprésident du CDSMWG (avec la Dre Angela Bedard-Haughn, Université de la Saskatchewan). Plus récemment, nous avons rédigé un [chapitre sur la cartographie numérique des sols](#) pour le manuel canadien d'introduction à la science des sols en libre accès intitulé [Digging Into Canadian Soils : An Introduction to Soil Science](#).

Étant donné mon rôle au sein du CDSMWG, mon commentaire portera sur l'importance de l'information numérique sur les sols pour fournir une évaluation complète de la santé des sols.

### **Les sols en tant que ressource naturelle**

En 1984, votre comité sénatorial (anciennement le Comité sénatorial permanent de l'agriculture, des pêches et des forêts) a publié le rapport intitulé [Soil at Risk: Canada's Eroding Future](#). Le rapport comprenait une série de recommandations visant à répondre au besoin de résoudre les conflits de politiques, d'intensifier la recherche sur la conservation des sols, de faciliter le transfert de technologie, d'accroître la sensibilisation et d'inciter à la conservation des sols. Ces recommandations ont finalement mené à la création du Conseil canadien de conservation des sols. Ces résultats ont eu une incidence à long terme sur la gestion durable des sols et ont mené à la reconnaissance de la dégradation des sols comme une menace importante pour la sécurité alimentaire du Canada.

Les recherches scientifiques menées par les pédologues des établissements universitaires, des organismes provinciaux et des organismes fédéraux (Agriculture et Agroalimentaire Canada et

**FACULTY OF AGRICULTURE | Department of Plant, Food, and Environmental Sciences**

Cox Institute, local 233 | 50 Pictou Road | C.P. 550 | Truro (N.-É.) B2N 5E3 Canada

902.893.6630 | Brandon.Heung@dal.ca | dal.ca/agriculture

Ressources naturelles Canada) ont transformé notre compréhension de la gestion durable des sols et l'élaboration des meilleures pratiques de gestion.

De plus, les progrès technologiques ont mené à l'émergence de l'agriculture de précision, où les agriculteurs sont maintenant en mesure d'accroître l'efficacité des intrants agricoles (p. ex. l'eau, les engrais, les pesticides, les semences) tout en maintenant ou en améliorant la productivité et en minimisant l'impact sur les services écosystémiques.

Toutefois, l'information sur les sols est la clé pour tirer pleinement parti des possibilités offertes par ces progrès scientifiques et technologiques, pour assurer la gestion durable des sols, pour soutenir la sécurité alimentaire à long terme et pour atténuer les effets continus des changements climatiques.

### **Demande internationale de données sur les sols**

Pour attirer l'attention de la communauté internationale sur l'importance des sols, la FAO a créé le [Partenariat mondial sur les sols](#) (PMS) en 2012 et l'[Intergovernmental Technical Panel on Soils](#) (ITPS) en 2013. Elle a en outre désigné 2015 comme l'Année internationale des sols et 2015-2024 comme la Décennie internationale des sols. Ces initiatives ont été mises en place dans le but d'améliorer la gouvernance des ressources en sols afin de « *garantir des sols sains et productifs pour un monde en sécurité alimentaire, ainsi que de soutenir d'autres services écosystémiques essentiels (traduction libre)* »<sup>1</sup> par la gestion et la productivité durables des sols.

Au cours de l'établissement du PMS, la communauté scientifique a dégagé un large consensus selon lequel, malgré l'abondance des connaissances et des données sur les sols à l'échelle mondiale, les données sur les sols sont souvent « dispersées et partielles, ne sont pas harmonisées et ne sont pas accessibles à un large éventail d'intervenants [TRADUCTION] », ce qui signifie que « des mécanismes sont nécessaires pour améliorer le partage à grande échelle des connaissances, des données, des méthodes et des technologies [TRADUCTION] »<sup>2</sup>. Par la suite, le rapport « [Status of the World's Soil Resources](#) »<sup>3</sup>, qui a fourni la première évaluation mondiale des sols et a mis en évidence les nombreuses menaces qui pèsent sur les sols (par exemple, l'érosion, la salinisation, le compactage et la pollution) et sur la sécurité alimentaire mondiale, a cerné plusieurs lacunes importantes dans les connaissances et les besoins de recherche ayant des liens spécifiques avec les renseignements sur les sols. Il s'agit notamment du développement de représentations réalistes et à haute résolution des sols dans les modèles à l'échelle mondiale (par exemple, les modèles de changement climatique et de compatibilité des cultures) et de la nécessité d'établir un réseau distribué d'observation et de surveillance des sols pour la validation des modèles<sup>3</sup>. Si ces besoins sont satisfaits, la communauté pédologique sera bien mieux équipée pour fournir des estimations exactes, précises et spatialement explicites des propriétés des sols en utilisant des informations pédologiques *propres à un lieu et basées sur des mesures*. Les pédologues seront en mesure de fournir des renseignements numériques sur les sols qui sont conformes aux normes internationales, comme les lignes directrices du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour les inventaires de gaz à effet de serre à l'aide du niveau 3 (c.-à-d. de la plus haute qualité)<sup>4</sup>. Le Canada, comme l'exige la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), est tenu de déclarer les puits et les sources de carbone dans les terres gérées. En outre, en 2018, le rapport de la FAO intitulé « [L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde](#) » a clairement exprimé la nécessité de disposer d'informations détaillées et précises sur les sols pour comprendre et prévoir l'impact du changement climatique sur la compatibilité des cultures agricoles et la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale<sup>5</sup>. La disponibilité de données spatiales sur les sols est essentielle pour notre capacité à surveiller, vérifier et rendre compte de l'état de nos sols et à garantir le respect de nos engagements internationaux.

Pour combler les lacunes en matière d'information, la communauté internationale des sciences du sol a mis en place des initiatives telles que [GlobalSoilMap.net](#), [SoilGrids](#) et [ISRIC – World Soil](#)

**FACULTY OF AGRICULTURE | Department of Plant, Food, and Environmental Sciences**

Cox Institute, local 233 | 50 Pictou Road | C.P. 550 | Truro (N.-É.) B2N 5E3 Canada

902.893.6630 | Brandon.Heung@dal.ca | dal.ca/agriculture

Information. Ces initiatives ont pour but de produire des cartes numériques des sols (CNS) des principales propriétés des sols à de multiples intervalles de profondeur, afin de faciliter les activités de modélisation et de surveillance des sols à l'échelle mondiale en utilisant des approches rentables et efficaces en termes de temps<sup>6-7</sup>. À l'échelle continentale, le Centre européen de données pédologiques du Centre commun de recherche (Commission européenne, UE) a été efficace dans la distribution de cartes à l'échelle continentale des menaces et des fonctions des sols ainsi que dans la fourniture d'un accès libre à une base de données complète d'observations des sols pour aider les activités de modélisation. À l'aide d'approches rentables et rapides, ces initiatives tirent parti des progrès technologiques, comme la télédétection, les systèmes d'information géographique, les sciences des « mégadonnées » et l'apprentissage automatique, pour produire des CNS. De plus, d'autres initiatives, comme l'International Soil Carbon Network, se sont concentrées sur l'établissement de réseaux de surveillance des sols conçus pour suivre les changements dans les sols, facilitant ainsi les évaluations et la gestion à long terme du carbone organique dans les sols et de la santé des sols<sup>8-9</sup>. Le succès de ces initiatives repose en grande partie *sur un modèle communautaire* dans le cadre duquel les participants sont en mesure de communiquer efficacement les uns avec les autres; de contribuer l'élaboration d'un cadre de partage des données qui assure l'harmonisation et l'interopérabilité des données à partir des diverses sources de données; et la création d'une plateforme de modélisation commune<sup>9</sup>.

### **Reconnaître le besoin d'information sur les sols au Canada**

Le 2 mai 2019, votre comité a tenu une audience et a invité des témoins experts à faire rapport sur le sujet suivant : « Les conditions du sol au Canada, l'utilisation du sol et les mesures qui sont prises pour le protéger ». M. David Lobb (professeur, Université du Manitoba), M. David Burton (professeur, Université Dalhousie), Mme Gabrielle Ferguson (agronome), M. Don Lobb (agriculteur), et M. Cedric MacLeod (directeur général, Association canadienne pour les plantes fourragères), étaient au nombre des témoins experts. Chaque témoin expert a clairement communiqué le besoin d'information sur les sols et leur gestion. À titre de coprésident du CDSMWG et de défenseur dévoué de l'amélioration de l'information sur l'état des sols pour les Canadiens, j'ai été très heureux d'entendre les discussions qui ont eu lieu.

Plusieurs des déclarations de Mme Ferguson m'ont particulièrement interpellé. Par exemple :

*Pour comprendre comment l'agriculture peut changer le cours des choses grâce à une bonne gestion des terres, nous devons savoir ce qui se passe où et quand. Un processus coordonné de collecte et de synthèse de données de précision sur les lieux peut aider. L'entrée d'information propre au site dans des modèles prédictifs peut fournir les prévisions nécessaires pour établir l'ordre de priorité et cibler les mesures sur ceux qui ont le plus grand potentiel de réduire ou d'inverser la dégradation du sol et de protéger la qualité de l'eau.*

Compte tenu du besoin d'information propre à un site, on s'attendrait à ce que des renseignements précis sur le sol soient mis à la disposition des Canadiens. Cependant, elle a également indiqué que « Le Service d'information sur les sols du Canada [Agriculture et Agroalimentaire] existe, mais il doit être mis à jour. ». Je suis convaincu que la communauté des sciences du sol est tout à fait d'accord avec Mme Ferguson. Ce système doit être entièrement modernisé en utilisant la science et les technologies du 21<sup>e</sup> siècle.

Nous avons fait de nombreux progrès au cours de cette ère numérique, comme l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle, les technologies de télédétection et l'analyse des mégadonnées, pour n'en citer que quelques-uns. Pourtant, une grande partie de notre pays s'appuie encore sur des cartes provinciales d'arpentage des sols – dont certaines n'ont pas été mises à jour depuis les années 1940, date à laquelle elles ont été créées ; dans les années 1990, les derniers

programmes provinciaux d'arpentage des sols ont pris fin. De plus, de grandes étendues de terre n'ont pas encore été cartographiées, y compris les paysages forestiers et nordiques.

Mon collègue, le Dr Burton, a exprimé des sentiments semblables à ceux de Mme Ferguson :

*Nous devons accroître l'évaluation directe de l'état de nos sols afin que ces renseignements puissent servir de base à notre gestion des sols. La collecte de données sera essentielle pour cerner les préoccupations et étayer les solutions.*

Nous devons recueillir des renseignements sur l'emplacement et les propriétés de nos sols afin d'évaluer les menaces qui pèsent sur cette précieuse ressource, notamment la salinisation, la perte de matière organique et la dégradation de la santé des sols. Ces renseignements nous permettront également de cerner de nouvelles opportunités, telles que l'amélioration de la séquestration du carbone dans le sol et l'évaluation de la compatibilité des cultures.

Enfin, votre collègue, la sénatrice Rosemary Moodie, a fait l'une des observations les plus importantes :

*Je pense que nous avons besoin d'un **changement de paradigme** et que le transfert de la responsabilité de cette ressource à un nouveau secteur pourrait impulser la réflexion, au niveau systémique, sur la façon de vraiment combler certaines des failles qui existent dans les rapprochements dont nous avons besoin, c'est-à-dire : faire en sorte que les intervenants de première ligne « traduisent » l'information et comprennent en quoi et comment les outils de mesure peuvent nous guider.*

Oui. Absolument. Nous avons besoin d'un changement de paradigme. Et nous avons besoin de moyens pour communiquer cette information aux gens qui en auront le plus besoin, des agriculteurs et des forestiers aux politiciens qui rédigent nos politiques nationales sur les changements climatiques. La triste vérité, cependant, c'est que, pendant que notre pays continue de développer son expertise en cartographie numérique des sols et sa capacité de communiquer l'information sur les sols aux intervenants, le paradigme a déjà changé — il y a longtemps — dans d'autres pays développés. L'information sur les sols doit être démocratisée, et le Canada est en retard.

### **Le Canada dans le contexte international**

Prenons par exemple l'Union européenne et son Centre commun de recherche, qui a créé l'[European Soil Data Centre](#) (ESDAC) en 2006. Grâce à une collaboration internationale, ce centre a accompli des réalisations incroyables :

1. Il a établi une plateforme **centralisée** de données pédologiques qui est **interopérable** avec d'autres services de fourniture de données; elle est **en accès libre** et **peut être mise à jour** ([ici](#) et [ici](#)).
2. Il a mené une campagne de prospection des sols à l'échelle continentale et a produit un jeu de données contenant plus de 250 000 points d'échantillonnage ([LUCAS Topsoil Survey](#)), qui est **disponible gratuitement**.
3. Il a produit une série de [produits de cartographie numérique des sols](#) pour l'Europe, qui est **également disponible gratuitement**.

À l'aide des produits de cartographie des sols dérivés du jeu de données LUCAS, l'ESDAC a maintenant la capacité d'évaluer les [menaces pour les sols](#) (p. ex., érosion des sols, vulnérabilité aux

glissements de terrain, désertification) et les [fonctions des sols](#) (p. ex., séquestration du carbone dans le sol, productivité de la biomasse, sécurité alimentaire). L’Australie présente une histoire très similaire avec le [Soil and Landscape Grid of Australia](#).

### **Créer une communauté pour développer et fournir des informations numériques sur les sols au Canada**

Le Canada a une riche histoire en matière de levés pédologiques ; toutefois, le besoin d’information à haute résolution pour faire face aux changements climatiques et à la gestion durable des sols a mené à la recherche de nouvelles méthodes pour prédire les propriétés des sols et pour fournir des estimations actualisées et plus exactes et précises que ce qui est actuellement disponible. Pour répondre à ces besoins, la **pédométrie – une branche de la pédologie qui vise à élaborer des cartes pédologiques et à fournir des connaissances sur la variabilité des sols dans l’espace à l’aide de techniques statistiques** – est un domaine de recherche émergent, à l’échelle mondiale. Ce domaine de recherche en développement a évolué au cours des dix dernières années au Canada et dans les secteurs de l’agriculture, de la foresterie et de l’environnement. Avec beaucoup de succès, la communauté de la cartographie des sols a fourni des informations précieuses à de multiples échelles spatiales à divers intervenants, notamment les propriétaires fonciers, les agriculteurs, les gouvernements et les gestionnaires de forêts.

Pour relever les défis indiqués par le PMS, le [Comité de pédologie de la Société canadienne des sciences du sol](#) (SCSS) a créé le CDSMWG en 2016. Ce réseau de recherche intersectoriel à l’échelle du pays coordonne des initiatives de cartographie des sols à l’échelle nationale, diffuse de l’information numérique sur les sols et organise des ateliers éducatifs. Tous les produits développés par le CDSMWG sont conçus pour répondre aux normes internationales en matière de CNS de *GlobalSoilMap.net* et de la FAO. À ce jour, le CDSMWG a réussi à s’acquitter de son mandat; il a joué un rôle déterminant dans l’élaboration et la présentation d’une carte préliminaire du carbone organique dans le sol canadien (CSOCmap) dans le cadre de la contribution du Canada à la [Carte mondiale du carbone organique dans le sol \(GSOCmap\)](#) compilée par l’ITPS et la FAO en 2017.

Les bénévoles dévoués qui ont participé au projet ont clairement démontré la capacité du réseau à communiquer efficacement et à collaborer dans le cadre de la tâche colossale d’élaboration de la CSOCmap. Cependant, la portée et l’échelle de l’activité et le manque de ressources centralisées, combinés à l’énorme masse terrestre et aux divers écosystèmes du Canada, ont créé des défis supplémentaires dans l’élaboration de la carte. L’obtention de données sur les sols auprès de divers organismes universitaires, provinciaux et fédéraux et le manque d’harmonisation et d’interopérabilité entre ces jeux de données constituent certains de nos plus grands défis. Pour régler ce problème, notre réseau a élaboré la CSOCmap à partir de onze soumissions régionales fournies par des bénévoles du CDSMWG qui connaissent bien les jeux de données de leurs juridictions respectives.

On s’attend à ce que le Canada fournisse à l’avenir à la FAO des cartes nationales de l’érosion des sols, de la salinité des sols et du potentiel de séquestration du carbone dans les sols, ainsi qu’une carte actualisée du carbone dans les sols. Sans une base de données nationale centralisée sur les sols avec une structure de données commune, cette tâche sera difficile. La capacité de notre pays à contribuer pleinement aux futures initiatives de cartographie des sols dirigées par la FAO, à fournir des cartes régulièrement mises à jour et à élaborer des évaluations nationales de la santé des sols est entravée. Malgré ces défis, le CDSMWG reste le seul réseau de recherche ayant la capacité et l’expertise pour améliorer et mettre à jour les CNS à l’échelle nationale et répondre à la demande nationale et internationale d’informations sur le carbone séquestré dans le sol. Toutefois, pour ce faire, il faudra des ressources considérables.

**FACULTY OF AGRICULTURE | Department of Plant, Food, and Environmental Sciences**

Cox Institute, local 233 | 50 Pictou Road | C.P. 550 | Truro (N.-É.) B2N 5E3 Canada

902.893.6630 | Brandon.Heung@dal.ca | dal.ca/agriculture

## **Prochaines étapes et recommandations**

À mon avis, plusieurs obstacles majeurs devront être surmontés avant que nous puissions évaluer les menaces et les fonctions des sols à l'échelle nationale :

1. **Partage de données :** La communauté des sciences du sol devra élaborer un cadre de partage des données qui répond aux exigences du milieu universitaire, du gouvernement et de l'industrie, tout en respectant le droit à la vie privée. De plus, je crois que le gouvernement doit jouer un rôle de chef de file à cet égard et explorer les différents outils stratégiques (c.-à-d. les « carottes » et les « bâtons ») à sa disposition pour encourager le partage des données par l'industrie. Idéalement, il faudrait mettre en place des mécanismes permettant d'acquérir des données auprès d'entreprises de conseil en environnement et d'autres entreprises connexes, car l'industrie leur confie la réalisation d'études d'impact sur l'environnement et, à ce titre, elles constituent la plus grande source de données sur les sols acquises par le secteur privé.
2. **Mobilisation de l'industrie :** Les données de l'industrie sont une ressource précieuse si le pays veut améliorer ses produits cartographiques et réduire les incertitudes. Jusqu'à présent, le CDSMWG a démontré son efficacité à collaborer entre ses membres grâce à la volonté des organismes provinciaux et fédéraux et des chercheurs universitaires de partager leurs données. Le secteur privé est diversifié et a des besoins variés (p. ex., agriculture, foresterie, énergie et exploitation minière) et la coopération de l'industrie pour le partage des données exige qu'il y ait une analyse de rentabilisation claire pendant les activités de mobilisation.
3. **Mise à jour et harmonisation des jeux de données sur les sols :** Comme l'ESDAC, nous devons nous assurer que nos jeux de données partagent une structure commune, sont ouverts aux chercheurs, sont faciles à mettre à jour et sont interopérables avec les dépôts nationaux et internationaux de données sur les sols. De nombreux jeux de données hérités (c.-à-d. les relevés pédologiques) doivent être numérisés à partir des documents papier. Bien que ces données soient peut-être désuètes, elles demeurent une ressource précieuse. Par exemple, mes recherches ont montré que ces relevés des sols hérités peuvent être améliorés au moyen d'approches numériques de cartographie des sols. De plus, nous pouvons tirer des leçons des dépôts de données existants (p. ex., ESDAC et Soil and Landscapes Grids of Australia). Le CDSMWG a pris d'importantes mesures pour élaborer un cadre national d'harmonisation des données sur les sols.
4. **Gestion à long terme des données :** L'information numérique sur les sols doit être conservée dans un endroit où elle sera maintenue et mise à jour. Mes collègues et moi croyons en un modèle de données fédérées selon lequel les données devraient être rendues redondantes dans plusieurs nœuds à travers le pays par les universités et les agences gouvernementales. Cependant, des **ressources financières** seront nécessaires pour s'assurer que les données sur le sol sont bien gérées. Idéalement, ces données seraient gérées par un organisme indépendant, composé d'experts des institutions universitaires et du gouvernement (provincial et fédéral) – l'Institut national de la santé des sols dont il est question pourrait servir de foyer pour ces données. **L'indépendance est essentielle pour veiller à ce que notre infrastructure nationale de données sur les sols ne soit pas menacée par des changements de gouvernement et de priorités.**
5. **Financement durable :** Nous ne disposons pas des ressources financières nécessaires pour soutenir nos efforts ; pourtant, la communauté pédologique et le Sénat ont identifié la modernisation de l'information pédologique comme un domaine hautement prioritaire. Bien

que le CDSMWG possède l'expertise technique nécessaire pour produire des cartes pédologiques numériques, la plupart des fonds de recherche que nous recevons sont généralement destinés à des projets d'un à cinq ans. **Bien sûr, nous pouvons utiliser le financement à court terme comme tremplin pour élaborer une plateforme numérique d'information sur les sols, mais il sera impossible de la maintenir à long terme.** Le CDSMWG jouera certainement un rôle de leader dans tous les aspects scientifiques, mais nous avons besoin du soutien du gouvernement. L'élaboration de produits cartographiques pour les futures demandes de la FAO ne doit pas être considérée comme des « projets secondaires » menés par les bénévoles dévoués du CDSMWG. À l'heure actuelle, le CDSMWG est en train de mettre au point le Portail canadien de données sur les sols, un dépôt centralisé de données sur les sols. Cependant, ce projet est financé, à court terme (un à trois ans), par un financement de Technologies du développement durable Canada, à un partenaire du secteur privé, [Terramera](#). **Un plan de financement à long terme est essentiel.**

Mes collègues et moi-même sommes très passionnés par le développement d'une plateforme numérique d'information sur les sols. Nous croyons que le Canada sera en mesure d'atteindre la barre élevée qui a déjà été fixée par l'Australie et l'Union européenne. Je suis très optimiste, mais le travail à faire ne manque pas. Je crois en mes collègues du Groupe de travail, mais nous avons besoin de ressources et d'investissements substantiels.

J'espère que ce mémoire, plutôt long, vous permettra de mieux comprendre les efforts considérables que les pédologues canadiens ont déjà investis et notre désir collectif de promouvoir la gestion durable des sols et d'assurer la sécurité alimentaire.

Je vous remercie de votre attention. Les membres du CDSMWG seraient tout à fait disposés à vous rencontrer, vous et les membres de votre personnel, pour présenter nos réalisations en matière de cartographie numérique des sols à travers le pays.

N'hésitez pas à me contacter si vous avez des questions ou si vous souhaitez obtenir de plus amples informations. Je vous prie d'agréer mes salutations distinguées,



**Brandon Heung, PhD**

Professeur agrégé  
Soil-Landscape Analysis & Modelling Lab  
Centre de gestion durable des sols  
Département des sciences végétales, alimentaires et environnementales  
Faculty of Agriculture, Dalhousie University

Coprésident, Groupe de travail canadien sur la cartographie numérique des sols  
Secrétaire du Comité de pédologie  
Société canadienne des sciences du sol  
Rédacteur en chef adjoint, Geoderma

## **Bibliographie**

- [1] Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (2011). Mandat du Partenariat mondial sur les sols. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 2 p.
- [2] Partenariat mondial sur les sols. (2011). Vers l'établissement du Partenariat mondial sur les sols. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 15 p.
- [3] FAO et Groupe technique intergouvernemental sur les sols. (2015). Rapport sur l'état des ressources en sols dans le monde. FAO et Groupe technique intergouvernemental sur les sols, Rome, Italie.
- [4] IPCC. (2006). Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. IGES, Japon.
- [5] FAO. (2018). L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde : Renforcer la résilience face aux changements climatiques pour la sécurité alimentaire et la nutrition Rome, 181 p.
- [6] Sanchez, P.A., et 20 autres. (2009). Digital soil map of the world. *Science*, 325, 680-681.
- [7] Hengl, T. et 18 autres. (2017). SoilGrids250m: global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE*, 12, e0167948.
- [8] Jandl, R. et 12 autres. (2014). Current status, uncertainty and future needs in soil organic carbon monitoring. *Science of the Total Environment*, 468-469, 376-383.
- [9] Harden, J.W. et 21 autres. (2017). Networking our science to characterize the state vulnerabilities and management opportunities of soil organic matter. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.13896>.