

N° au catalogue 16-001-M
ISSN 1917-9707
ISBN 978-0-660-49452-4

Série de documents analytiques et techniques sur les comptes et la statistique de l'environnement

La comptabilité des écosystèmes dans les agroécosystèmes canadiens

par Julie Botzas-Coluni et Jessica Andrews

Date de diffusion : le 13 septembre 2023



Statistique
Canada

Statistics
Canada

Canada

Comment obtenir d'autres renseignements

Pour toute demande de renseignements au sujet de ce produit ou sur l'ensemble des données et des services de Statistique Canada, visiter notre site Web à www.statcan.gc.ca.

Vous pouvez également communiquer avec nous par :

Courriel à infostats@statcan.gc.ca

Téléphone entre 8 h 30 et 16 h 30 du lundi au vendredi aux numéros suivants :

- | | |
|---|----------------|
| • Service de renseignements statistiques | 1-800-263-1136 |
| • Service national d'appareils de télécommunications pour les malentendants | 1-800-363-7629 |
| • Télécopieur | 1-514-283-9350 |

Normes de service à la clientèle

Statistique Canada s'engage à fournir à ses clients des services rapides, fiables et courtois. À cet égard, notre organisme s'est doté de normes de service à la clientèle que les employés observent. Pour obtenir une copie de ces normes de service, veuillez communiquer avec Statistique Canada au numéro sans frais 1-800-263-1136. Les normes de service sont aussi publiées sur le site www.statcan.gc.ca sous « Contactez-nous » > « [Normes de service à la clientèle](#) ».

Note de reconnaissance

Le succès du système statistique du Canada repose sur un partenariat bien établi entre Statistique Canada et la population du Canada, les entreprises, les administrations et les autres organismes. Sans cette collaboration et cette bonne volonté, il serait impossible de produire des statistiques exactes et actuelles.

Publication autorisée par le ministre responsable de Statistique Canada

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre de l'Industrie, 2023

Tous droits réservés. L'utilisation de la présente publication est assujettie aux modalités de l'[entente de licence ouverte](#) de Statistique Canada.

Une [version HTML](#) est aussi disponible.

This publication is also available in English.

Table des matières

1. Introduction.....	6
2. Étendue	10
3. Condition.....	14
3.1 Condition physique	17
3.1.1 Érosion du sol	17
3.2 Condition chimique	17
3.2.1 Matière organique du sol	17
3.2.2 Concentrations d'éléments nutritifs dans le sol.....	18
3.2.3 Concentration de pesticides.....	19
3.2.4 Salinisation du sol	20
3.3 Condition de la composition	20
3.3.1 Abondance et diversité des oiseaux.....	20
3.3.2 Biodiversité des sols.....	21
3.3.3 Chargement en bétail des pâturages.....	22
3.4 Condition structurelle.....	22
3.4.1 Couverture du sol.....	22
3.4.2 Agriculture biologique	23
3.4.3 Diversité de la rotation des cultures.....	23
3.5 Condition fonctionnelle	24
3.5.1 Production primaire.....	24
3.5.2 Abondance et diversité des pollinisateurs sauvages.....	25
3.6 Paysage	25
3.6.1 Diversité des cultures.....	25
3.6.2 Taille moyenne des parcelles	26
3.6.3 Habitats naturels et semi-naturels	26
4. Services écosystémiques	27
4.1 Services d'approvisionnement	30
4.1.1 Cultures	30
4.1.2 Biomasse broutée	31
4.1.3 Plantes ornementales	31
4.2 Services de régulation et de maintenance.....	32
4.2.1 Pollinisation des cultures	32
4.2.2 Régulation du climat mondial	34
4.2.3 Régulation du climat local.....	35
4.2.4 Purification de l'eau	36
4.2.5 Régulation du débit d'eau.....	37
4.2.6 Rétention des sols	38
4.2.7 Maintien de l'habitat.....	39

4.3 Services culturels	40
4.3.1 Éducation et recherche	40
4.3.2 Loisirs	41
4.3.3 Patrimoine culturel	42
4.3.4 Agrément visuel	42
5. Conclusion	46
6. Glossaire	46
7. Bibliographie.....	48

Table des figures, cartes et tableaux

Figure 1	
Représentation des cinq types d'agroécosystèmes et description des trois types de comptes des agroécosystèmes	9
Carte 1	
Carte de l'étendue des agroécosystèmes canadiens, 2021, basée sur les données du Recensement de l'agriculture	12
Carte 2	
Carte de l'étendue des agroécosystèmes canadiens, 2021, basée sur les données d'observation de la Terre	13
Tableau 1	
Étendue des agroécosystèmes au Canada, par écoprovince.....	14
Tableau 2	
Exemple de compte d'indicateurs de la condition des agroécosystèmes selon le SCEE-CE.....	15
Tableau 3	
Variables proposées pour les comptes de la condition des agroécosystèmes, regroupées selon la typologie de la condition des écosystèmes du Système de comptabilité économique et environnementale – Comptabilité des écosystèmes.....	16
Figure 2	
Description des catégories de services écosystémiques	29
Tableau 4	
Cultures dépendantes des pollinisateurs au Canada	34
Tableau 5	
Chaînes logiques des services écosystémiques.....	43

La comptabilité des écosystèmes dans les agroécosystèmes canadiens

par Julie Botzas-Coluni et Jessica Andrews

1. Introduction

Le nouveau Recensement de l'environnement renseigne le public canadien au sujet de l'importance des écosystèmes au Canada. Une composante principale de ce recensement est l'élaboration de comptes pour faciliter le suivi des changements des écosystèmes et des services qu'ils fournissent au fil du temps, en s'appuyant sur le cadre du Système de comptabilité économique et environnementale – Comptabilité des écosystèmes (SCEE-CE) des Nations Unies (Nations Unies et coll., 2021).

Le SCEE-CE propose une approche structurée pour évaluer la contribution des écosystèmes à notre économie et à notre bien-être, et pour mettre en relief notre utilisation de ces contributions ainsi que notre dépendance à leur égard. Le cadre met en application les principes comptables nationaux pour permettre l'intégration des données environnementales et économiques de manière exhaustive, systématique et comparable.

Le SCEE-CE fournit aussi des orientations pour l'élaboration de comptes de l'étendue, de la condition et des services des écosystèmes. Les comptes de l'étendue des écosystèmes délimitent les types d'écosystèmes et font le suivi de leur superficie au fil du temps. Les comptes de la condition des écosystèmes, quant à eux, font le suivi des changements des principaux processus écosystémiques. Enfin, les comptes des services écosystémiques quantifient la valeur biophysique et monétaire des contributions des écosystèmes à notre économie et à notre bien-être (Nations Unies et coll., 2021).

Les renseignements contenus dans les trois comptes écosystémiques sont reliés les uns aux autres. Sur le plan conceptuel, l'étendue et la condition des écosystèmes ont une incidence sur le flux des services qu'ils procurent. L'utilisation des services écosystémiques peut également avoir une incidence sur la condition des écosystèmes. Dans la pratique, la mesure et la modélisation de la condition et des services des écosystèmes dépendent fortement des données spatiales que renferme le compte de l'étendue des écosystèmes.

Les renseignements contenus dans les comptes écosystémiques serviront à plusieurs fins. Ils seront utilisés par les décideurs politiques pour éclairer leur prise de décisions relatives aux enjeux qui touchent le bien-être des Canadiennes et Canadiens et de leur environnement, y compris des décisions liées à l'aménagement du territoire et à la restauration des écosystèmes. Ils aideront également à suivre la performance du Canada pour ce qui est de l'atteinte des objectifs internationaux visant à protéger la planète et à assurer un développement durable. En mettant l'accent sur la valeur des milieux naturels et le rôle essentiel qu'ils jouent pour la société, les comptes écosystémiques serviront à l'analyse des avantages et des compromis entre l'économie et l'environnement.

Les agroécosystèmes sont un type d'écosystème clé. Ils couvrent une grande partie des paysages modifiés du Canada, procurent un habitat à de nombreuses espèces, produisent des aliments destinés à la consommation intérieure et à l'exportation, assurent la subsistance des exploitants agricoles et jouent un rôle essentiel dans le maintien du bien-être des communautés rurales. En revanche, les agroécosystèmes peuvent être préjudiciables aux écosystèmes voisins en raison du ruissellement des nutriments et de la dérive des pesticides, tandis que l'expansion des agroécosystèmes peut entraîner la fragmentation des habitats et la déforestation. Les agroécosystèmes se caractérisent également par le fait qu'ils sont des écosystèmes aménagés. Par conséquent, les exploitants agricoles et les gestionnaires des terres jouent un rôle direct en influant sur leur étendue, leur condition et leurs services grâce aux pratiques de gestion agricole adoptées.

Le présent document décrit un cadre de comptabilité des écosystèmes servant à évaluer les agroécosystèmes du Canada et les services écosystémiques qu'ils procurent. Elle sera utilisée pour collaborer avec des parties prenantes, dont Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), des groupes autochtones, d'autres ministères et organismes gouvernementaux, et des spécialistes de l'agriculture, au sujet des besoins, des méthodes et de l'utilisation de nouvelles données. À mesure que les comptes seront mis au point, les sources de données et les méthodes d'analyse seront raffinées.

Les données des comptes des agroécosystèmes sont mises à jour tous les cinq ans; cependant, à mesure que les données et les méthodes évoluent, il pourrait être possible de produire des comptes annuels. L'élaboration de comptes pilotes d'agroécosystèmes reflétera les connaissances et les lacunes en matière de données décrites dans le présent document. Les comptes seront élaborés progressivement au fil du temps, à mesure que des données seront accessibles.

Ce document technique indique les sources de données utilisées pour mesurer l'étendue des agroécosystèmes, et pour décrire la condition des agrosystèmes et les services écosystémiques. Les variables, les mesures, les sources de données et les méthodes proposées sont décrites dans les différentes sections, et les limites et les défis actuels sont précisés. Le document offre une fondation pour l'élaboration de comptes des agroécosystèmes et orientera l'élaboration plus poussée de comptes pour d'autres écosystèmes dans le cadre du Recensement de l'environnement.

Que sont les agroécosystèmes?

Les agroécosystèmes sont des mosaïques complexes de terres dédiées aux cultures annuelles et pérennes, aux pâturages et aux habitats semi-naturels qui sont aménagés pour de nombreuses utilisations et fonctions (p. ex. production d'aliments, subsistance, loisirs, éducation, habitat, biodiversité, séquestration de carbone). Bien que les agroécosystèmes soient souvent perçus principalement sous l'angle de la culture et de l'élevage, ils constituent des sources importantes de nourriture, d'abri et d'habitat pour les nombreuses espèces qui procurent des services écosystémiques essentiels aux exploitants agricoles et à la société (p. ex. contrôle des insectes nuisibles, pollinisation) (Swinton, et coll., 2007).

Dans les agroécosystèmes, des variables écologiques importantes qui peuvent avoir une incidence sur la condition et les services des écosystèmes comprennent le climat, le type de sol, les propriétés du sol (p. ex. structure, teneur en nutriments), la durée de la saison de croissance, la diversité des espèces aériennes et souterraines, ainsi que la structure de la communauté. Les variables importantes de la gestion des terres comprennent le type de culture, la diversité des cultures, la rotation des cultures, le travail du sol, la date d'ensemencement, l'irrigation, la fertilisation (le type et la fréquence), l'utilisation de pesticides (le type et la fréquence), les solutions fondées sur la nature, comme la promotion de l'habitat naturel dans le paysage, et la connectivité des habitats (Vandermeer, 2009).

Les catégories d'agroécosystèmes comprennent les classes d'utilisation intensive du sol et les catégories de terres semi-naturelles comme les prairies et sont répertoriées dans la typologie globale des écosystèmes de l'Union internationale pour la conservation de la nature (version 2.0, Keith et coll., 2020), qui est la classification de référence pour les types d'écosystèmes dans le SCEE-CE. Le Cadre central du Système de comptabilité économique et environnementale (Cadre central du SCEE) est également pertinent pour les rapports sur la couverture terrestre agricole et l'utilisation du sol. Il existe des chevauchements importants entre ces deux classifications et les données disponibles. Pour les comptes des agroécosystèmes décrits dans le présent document, les classifications ont été adaptées et sont présentées ci-dessous avec les classes d'utilisation du sol associées :

Cultures annuelles : Systèmes dominés par une ou quelques espèces de plantes annuelles à enracinement superficiel.

- Comprennent les superficies ensemencées de céréales, de maïs à ensilage, de maïs-grain, de légumineuses, d'oléagineux, de semences, de chanvre, de tabac, de légumes, de plantes non ligneuses à fruits, les terres en jachère, ainsi que les plantes de pépinières, les gazonnières et les fleurs coupées (culture en pleine terre).

Cultures pérennes : Systèmes dominés par des arbres ou des arbustes à fruits et à noix.

- Comprend les superficies de vergers, de vignobles, de bleuets, de framboises et de canneberges.

Pâturages ensemencés et zones de production fourragère : Systèmes dominés par une ou quelques graminées vivaces ou légumineuses herbacées, utilisés pour la production fourragère et les animaux de pâturage destinés à la production commerciale. Les aménagements des terres comprennent l'ensemencement, le drainage, l'irrigation, l'épandage d'engrais ou le désherbage.

- Comprennent les superficies de pâturages cultivés ou ensemencés, le foin et les cultures fourragères.

Pâturages semi-naturels : Systèmes dominés par des graminées indigènes et des plantes herbacées non graminéoïdes, comprenant parfois des arbustes, utilisés pour des espèces d'animaux de pâturage.

- Comprend les pâturages naturels et les parcours naturels.

Végétation en bordure des champs : Petites superficies (moins de 0,5 ha¹), d'arbustes et de plantes herbacées d'arbres indigènes, plantés ou rudéraux, qui poussent le long ou à proximité des bordures des champs.

- Comprend les rideaux-abris, les brise-vent, les haies, les ourlets, les boisés, les zones tampons riveraines et les coins irrigués par pivot.

Il est à noter que les serres de même que les jardins communautaires et résidentiels ne sont pas inclus dans la définition d'agroécosystèmes du présent document. Les serres seront incluses dans les comptes des superficies bâties. Les terres humides, qui sont également exclues, seront comprises dans des comptes distincts des terres humides.

1. Le seuil de 0,5 ha a été choisi selon la définition de la forêt de la FAO (FAO, 2018).

Figure 1
Représentation des cinq types d'agroécosystèmes et description des trois types de comptes des agroécosystèmes



1

Étendue :

Le compte de l'étendue permet de suivre les changements dans la superficie couverte par différents écosystèmes. Différents types d'agroécosystèmes sont délimités et mesurés à plusieurs reprises au fil du temps pour comprendre les changements dans l'étendue.

2

Condition :

Le compte de la condition compile des renseignements sur la santé des écosystèmes. Dans le cas des agroécosystèmes, cela comprend le suivi de caractéristiques comme les taux d'érosion du sol et la biodiversité.

3

Services écosystémiques :

Le compte des services compile des renseignements sur les contributions des agroécosystèmes à notre bien-être et à notre économie. Les agroécosystèmes procurent de l'alimentation, ainsi que des occasions d'apprentissage et de loisirs, entre autres services.

2. Étendue

Les comptes de l'étendue des écosystèmes permettent d'effectuer le relevé des superficies et de faire le suivi de la modification de la taille des actifs écosystémiques. Dans ces comptes, les agroécosystèmes sont délimités et les variations de leur étendue sont déclarées au fil du temps. Les données spatialement explicites dans les comptes d'étendue servent également de base pour l'élaboration de comptes de la condition et des services des écosystèmes. Plusieurs ensembles de données canadiens fournissent des renseignements détaillés sur la couverture terrestre et l'utilisation des terres dans les régions agricoles du Canada, chacun présentant ses avantages et ses limites pour la comptabilité des écosystèmes.

Le Recensement de l'agriculture (REAG) de Statistique Canada permet de recueillir des données sur les cultures, le bétail et d'autres variables connexes tous les cinq ans (Statistique Canada, 2022a). Les superficies déclarées de cultures annuelles et pérennes, ainsi que celles de pâturages naturels et cultivés ou ensemencés, sont agrégées et publiées selon les zones géographiques normalisées du REAG². De plus, un nouveau produit de données spatiales agroenvironnementales (DSAE) fournit des estimations du REAG pour les géographies écologiques et hydrologiques (Statistique Canada, 2022b). Ce nouveau produit repose sur des ensembles de données de l'Inventaire annuel des cultures (IAC) et des assurances-récolte afin d'allouer les données pour certaines variables selon leur emplacement géographique plutôt qu'en fonction de l'emplacement de l'exploitation agricole, ce qui produit des estimations des superficies cultivées qui conviennent mieux à la comptabilité écosystémique.

Une autre source de données importante pour la comptabilité agroécosystémique est l'observation de la Terre par satellite. Depuis 2011, AAC produit l'IAC en utilisant l'imagerie satellitaire recueillie à une résolution spatiale de 30 m (AAC, 2021a). L'ensemble de données, qui couvre toutes les régions agricoles du Canada, a une précision de classification globale de 85 % des types de couverture agricole et est publié chaque année.

Malheureusement, l'estimation des superficies cultivées en comptant les pixels dans l'IAC produit des estimations biaisées. Les erreurs de classification entre certains types de cultures et certaines catégories de terrains dans l'IAC se produisent lorsque les caractéristiques spectrales de différentes cultures ne peuvent pas être facilement séparées. L'IAC a également tendance à surestimer la superficie de certaines cultures annuelles parce qu'elles sont surreprésentées dans ses données d'entraînement (Davidson et coll., 2017). Dans certains cas, l'IAC surestime également la superficie des terres agricoles parce que de petites superficies d'autres terres présentes dans le paysage agricole ne sont pas détectées. Dans l'ensemble, ces problèmes entraînent une surestimation de la superficie des cultures annuelles et une sous-estimation de la superficie des cultures pérennes. Les pâturages arborés et arbustifs ne sont pas inclus comme catégorie dans l'IAC, ce qui entraîne également une sous-estimation de la superficie des pâturages. Ces erreurs de classification peuvent varier selon la région et l'année, ce qui ajoute à la variabilité interrégionale et interannuelle des estimations. La difficulté de distinguer les types de cultures fait en sorte que certaines sont classées comme « autres cultures » ou « agriculture non différenciée », ce qui rend difficile l'attribution d'un type d'agroécosystème à ces classes.

Les données du DSAE serviront à estimer les superficies cultivées dans le compte de l'étendue des agroécosystèmes jusqu'à ce que des ajustements puissent être apportés à l'IAC pour réduire le biais associé au comptage des pixels (carte 1). Les estimations de la superficie des cultures fondées sur des ensembles de données de l'IAC et du DSAE sont présentées au tableau 1 à titre de référence. Les différences entre les superficies calculées sont attribuables aux caractéristiques des ensembles de données décrits dans les paragraphes précédents.

Malgré les limites de l'IAC, l'ensemble de données est utile puisqu'il fournit des données spatiales et temporelles détaillées sur les cultures à une résolution spatiale convenant à une évaluation au niveau des champs (carte 2). Sa capacité à fournir des renseignements sur les caractéristiques de composition et de configuration du paysage agricole à de multiples échelles spatiales est surtout nécessaire pour modéliser certaines variables de la condition et des services des agroécosystèmes. Pour ces raisons, l'IAC continuera d'être utilisé pour produire des cartes de l'étendue des agroécosystèmes, ainsi que pour modéliser leur condition et les variables des services qui nécessitent des données spatiales.

2. Variante de la Classification géographique type (CGT) 2021 pour les régions agricoles (statcan.gc.ca).

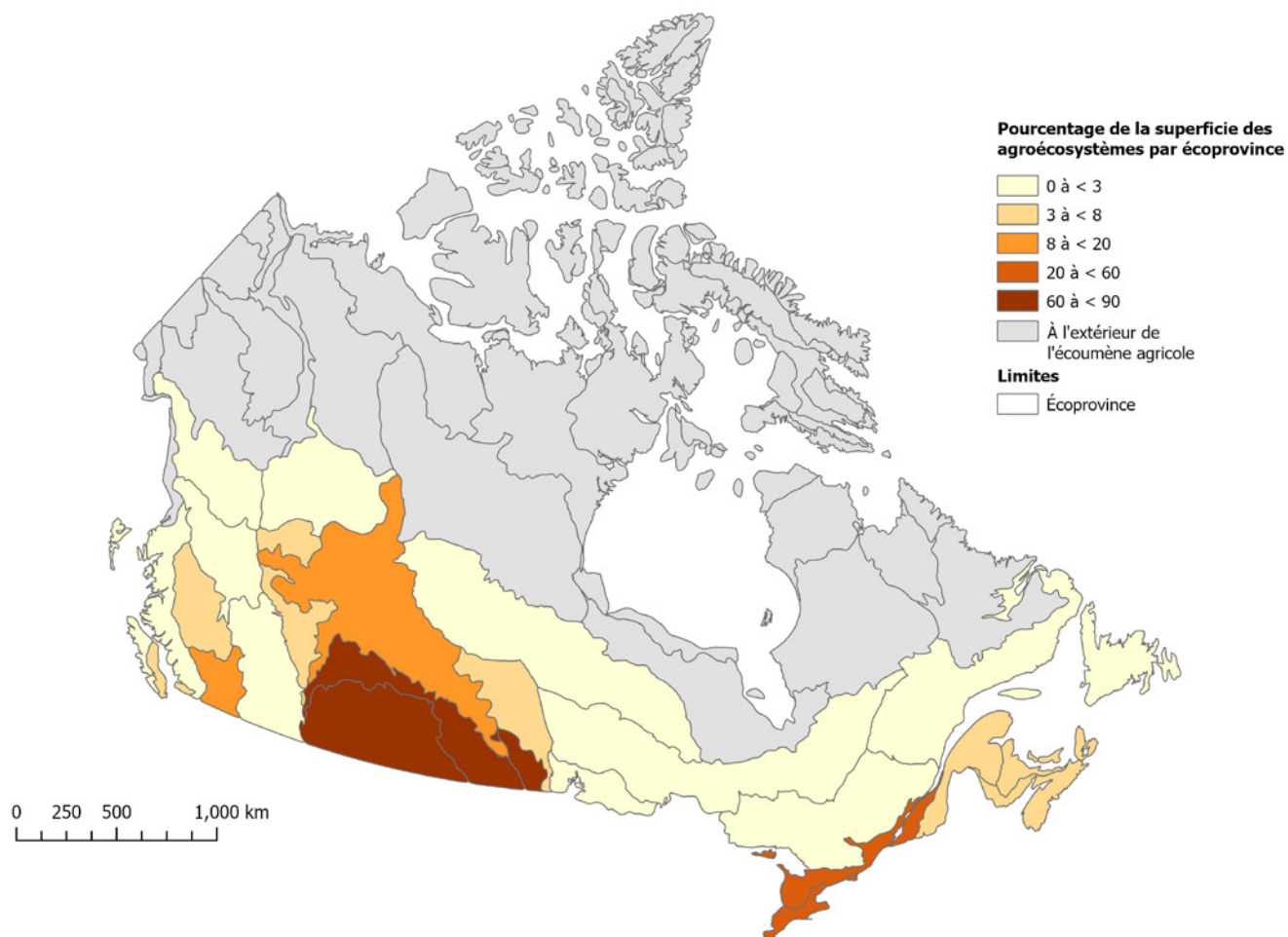
À l'avenir, les nouveaux flux de données satellitaires et les améliorations apportées aux méthodes statistiques pour le calcul des superficies feront en sorte, idéalement, que l'IAC soit l'ensemble de données de base pour les comptes de l'étendue des agroécosystèmes. Différents ajustements statistiques de l'IAC sont actuellement envisagés. L'utilisation de moyennes mobiles pour réduire la variabilité des données dans les classifications d'une année à l'autre est un ajustement envisagé, mais elle ne résoudrait pas la question des erreurs de classification liée aux données d'entraînement biaisées. Des sources de données supplémentaires (c.-à-d. les séries chronologiques d'utilisation des terres d'AAC) peuvent également être utilisées pour fournir d'autres renseignements sur certaines classes de couverture terrestre (AAC, 2021b). Une technique statistique connue sous le nom d'estimateur par la régression peut également être appliquée pour réduire le biais dans les estimations des superficies cultivées tirées de l'IAC. Cette approche utilise des cartes des cultures locales de grande précision pour dériver des coefficients de régression qui améliorent l'exactitude du calcul des superficies cultivées dans l'IAC (Davidson et coll., 2017). La recherche continue sur ces approches permettra d'améliorer de manière itérative l'exactitude et l'uniformité des comptes de l'étendue des agroécosystèmes.

Un autre aspect difficile, mais important, de la comptabilité des agroécosystèmes a trait à la distinction entre les pâturages ensemencés et les zones de production fourragère, d'une part, et les pâturages semi-naturels et les parcours naturels, d'autre part. Les pâturages semi-naturels de graminées indigènes font partie des écosystèmes de prairies tempérées qui sont essentiels au maintien de la biodiversité et des services écosystémiques. Cependant, les écosystèmes des prairies sont en déclin au Canada, principalement en raison de la conversion des terres en cultures annuelles ou en terres urbaines (Tamburini et coll., 2022; Bardgett et coll., 2021). L'IAC comprend une classe de pâturages et de fourrages qui regroupe toutes les graminées cultivées et les cultures pérennes destinées à la production de foin, de semences ou aux pâturages. L'IAC comprend également une classe de prairies, bien qu'on n'y fasse pas la distinction entre les prairies naturelles utilisées comme pâturage et les prairies non aménagées qui ne sont pas consacrées à l'agriculture. Cette distinction est surtout pertinente dans les Prairies et en Colombie-Britannique. Étant donné la difficulté de faire la distinction entre le foin, les pâturages cultivés ou ensemencés et les pâturages naturels dans l'IAC, les divers types d'agroécosystèmes seront regroupés dans le compte pilote de l'étendue des agroécosystèmes. À l'avenir, un inventaire des prairies canadiennes — élaboré conjointement par Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) et AAC dans le cadre du volet Solutions agricoles pour le climat (SAC) du Fonds des solutions climatiques axées sur la nature (FNPC) du gouvernement du Canada — permettra de cartographier l'étendue des prairies, des pâturages et des superficies de foin partout au Canada avec plus de détails et de précision.

La végétation en bordure des champs dans les agroécosystèmes est également un type d'agroécosystème important, mais difficile à comptabiliser. Cette classe se limite aux petites parcelles de végétation (moins de 0,5 ha³) ou aux caractéristiques linéaires le long ou à proximité des bordures des champs agricoles. La plupart des formes de végétation qui répondent à ces critères, comme les rideaux-abris ou les brise-vent, sont linéaires et d'une largeur inférieure à 10 m, ce qui les rend difficiles à délimiter à l'aide d'ensembles de données sur la couverture terrestre à une résolution de 30 m. AAC et ECCC explorent actuellement des méthodes pour cartographier la biomasse ligneuse le long des bordures des champs dans les agroécosystèmes par l'observation de la Terre, ce qui pourrait fournir une source supplémentaire de données pour cette variable de la condition des agroécosystèmes (J. Le Moullec, communication personnelle, 2023). Au fur et à mesure que de tels ensembles de données à plus fine résolution deviendront disponibles à l'avenir, il sera possible de délimiter ces terres avec plus de détails et de précision.

3. Le seuil de 0,5 ha a été choisi selon la définition de la forêt de la FAO (FAO, 2018). Il est à noter que les écosystèmes naturels, comme les forêts, les zones arbustives et les terres humides, sont exclus des comptes des agroécosystèmes. Les forêts, les zones arbustives et les terres humides sont des écosystèmes vitaux qui préservent la biodiversité et fournissent des services écosystémiques essentiels; ils seront comptabilisés dans des comptes écosystémiques distincts.

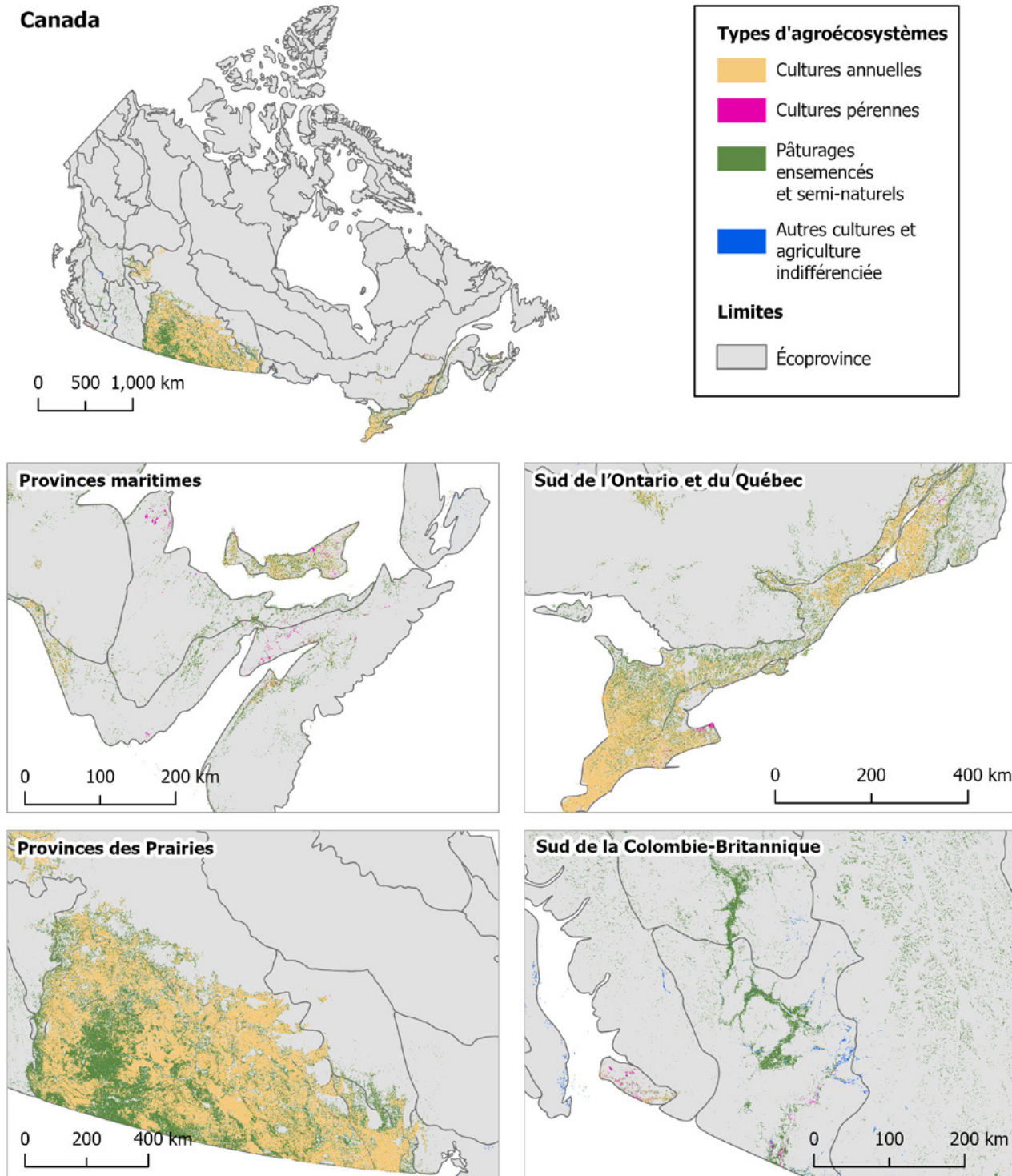
Carte 1 Carte de l'étendue des agroécosystèmes canadiens, 2021, basée sur les données du Recensement de l'agriculture



Source : Statistique Canada, 2022, Recensement de l'agriculture : Données spatiales agroenvironnementales (DSAE) [ensemble de données], <https://open.canada.ca/data/fr/dataset/83096e57-6584-4a8c-9854-59a49e57fb28> (site consulté le 14 décembre 2022).

Carte 2

Carte de l'étendue des agroécosystèmes canadiens, 2021, basée sur les données d'observation de la Terre



Notes: Les terres dédiées aux cultures annuelles comprennent toutes les terres servant aux cultures annuelles ainsi que les terres classées comme trop humides pour être ensemencées et mises en jachère. Les terres dédiées aux cultures pérennes comprennent les classes d'utilisation suivantes : bleuets, canneberges, autres baies, vergers, autres fruits, vignobles, ginseng, houblon et panic raide. Les pâturages ensemencés et semi-naturels comprennent la classe des pâturages et des fourrages, et la classe des prairies pour les provinces des Prairies et la Colombie-Britannique.

Source: Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2021, Inventaire annuel des cultures fondé sur les observations spatiales pour le Canada, 2009-2021 [ensemble de données], Division de l'agroclimat, de la géomatique et de l'observation de la Terre, Direction générale des sciences et de la technologie, <https://open.canada.ca/data/fr/dataset/ba2645d5-4458-414d-b196-6303ac06c1c9>.

Tableau 1
Étendue des agroécosystèmes au Canada, par écoprovince

Écoprovince	Étendue des agroécosystèmes, 2021						
	Données spatiales agroenvironnementales de Statistique Canada			Inventaire annuel des cultures d'AAC (IAC)			
	Cultures annuelles ¹	Cultures pérennes ²	Pâturages ensemencés et semi-naturels ³	Cultures annuelles ⁴	Cultures pérennes ⁵	Pâturages ensemencés et semi-naturels ⁶	Autres cultures et agriculture non différenciée
	hectares						
Hautes terres appalachiennes-acadiennes	130 299	1 828	336 514	135 000	511	480 699	40
Piémont boréal	90 360	35	370 816	106 888	0	279 432	18 802
Plaines boréales centrales	5 026 736	488	4 227 856	5 543 196	0	2 863 605	14 348
Prairie centrale	11 996 697	469	9 814 580	12 746 466	0	9 796 824	0
Chaîne montagnarde centrale	6 197	48	410 541	334	0	418 943	45 813
Chaîne montagnarde Columbia	5 743	496	184 879	3 463	7	688 246	19 975
Plaines boréales orientales	396 439	32	512 473	436 546	0	612 622	0
Bouclier boréal oriental	56 405	30 633	57 267	54 036	26 668	89 292	0
Prairies orientales	1 555 424	148	650 612	1 627 818	0	566 489	0
Hautes terres de Fundy	67 417	17 493	110 573	72 206	18 962	237 091	2 964
Dépression de Géorgie	32 457	15 631	61 428	15 563	9 942	17 048	13 550
Basses terres des Grands Lacs et du Saint-Laurent	2 489 754	18 083	1 087 342	2 734 185	13 518	1 662 854	312
Basses terres de Hay-Slave	873	0	3 093	506	0	2 130	31
Plaines Huron-Érié	1 305 749	17 811	132 542	1 376 058	21 830	274 878	185
Lac des Bois	86 441	8	85 591	89 982	0	61 964	57 822
Bouclier boréal moyen	12 805	286	56 762	11 497	0	141 029	12 880
Terre-Neuve	1 323	294	12 314	344	83	9 897	1 517
Montagnes côtières septentrionales	0	0	0	0	0	46 099	0
Chaîne montagnarde septentrionale	3 219	60	104 987	82	0	450 568	21 326
Basses terres de Northumberland	110 893	21 147	92 786	128 177	18 788	210 709	0
Prairies-parcs	9 369 803	579	4 820 937	10 251 462	0	3 576 895	0
Chaîne boréale méridionale	0	0	0	0	0	50 372	0
Bouclier boréal méridional	119 110	1 576	231 896	126 086	976	362 501	52
Montagnes côtières méridionales	491	41	6 524	158	46	244 847	3 059
Chaîne montagnarde méridionale	12 873	11 761	581 616	0	10 472	374 747	48 893
Bouclier boréal occidental	0	0	117	0	0	190	0
Canada	32 877 508	138 945	23 954 048	35 460 052	121 803	23 519 969	261 571

1. Comprend les terres dans la catégorie terres en culture moins les catégories de la luzerne et les mélanges de luzerne, tout autre foin cultivé et autres cultures fourragères, les graines fourragères, la superficie totale productive en fruits, en petits fruits et en noix et de ginseng. Ne comprend pas les terres en friche et les terres trop humides pour être ensemencées.

2. Comprend la superficie totale productive en fruits, en petits fruits, en noix et en ginseng.

3. Comprend la luzerne et les mélanges de luzerne, le foin cultivé et les cultures fourragères, les graines fourragères, les pâturages cultivés ou ensemencés et les terres naturelles pour le pâturage.

4. Comprend toutes les cultures annuelles, les terres jugées trop humides pour être ensemencées et les jachères.

5. Comprend les catégories des bleuets, des canneberges, d'autres petits fruits, des vergers, d'autres fruits, des vignobles, du ginseng, du houblon et du panic érigé.

6. Comprend les pâturages et les fourrages, ainsi que, pour la région des Prairies et la Colombie-Britannique, la catégorie des prairies.

Sources : Statistique Canada, 2022, Recensement de l'agriculture : Données spatiales agroenvironnementales (DSAE) [ensemble de données], <https://open.canada.ca/data/en/dataset/83096e57-6584-4a8c-9854-59a49e57fb28> (site consulté le 14 décembre 2022); Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2021, Inventaire annuel des cultures fondé sur l'imagerie satellitaire pour le Canada, 2009-2021, Ensemble de données B : Division de l'agroclimat, de la géomatique et de l'observation de la Terre, Direction générale des sciences et de la technologie, <https://open.canada.ca/data/fr/dataset/ba2645d5-4458-414d-b196-6303ac06c1c9>.

3. Condition

La condition des écosystèmes est « la qualité d'un écosystème mesurée en fonction de ses caractéristiques abiotiques et biotiques » (Nations Unies et coll., 2021). Les comptes de la condition des écosystèmes mesurent les caractéristiques qui influent sur la capacité de fonctionnement d'un écosystème au fil du temps. Les agroécosystèmes en bonne condition maintiennent et soutiennent les ressources biotiques et abiotiques et fournissent à long terme une prestation équilibrée de services écosystémiques (Commission européenne et coll., 2018).

Le cadre du SCEE-CE prévoit une approche en trois étapes pour la présentation de données sur la condition des écosystèmes. La première étape présente des données sur les variables de la condition des écosystèmes. La deuxième étape présente les données sur les indicateurs de la condition des écosystèmes (tableau 2), créées en redéfinissant les variables de condition à l'aide des niveaux de référence pour normaliser les données. La troisième étape consiste à créer des indices composites des indicateurs de la condition des écosystèmes en regroupant les indicateurs des divers types d'écosystèmes. Les comptes des trois étapes comprennent des observations sur l'état de l'écosystème au début et à la fin de la période comptable (Nations Unies et coll., 2021). Dans le présent document, l'accent sera mis sur les variables de la condition des écosystèmes (c.-à-d. la première étape de l'élaboration des comptes de la condition des écosystèmes), mais des indicateurs de condition sont proposés lorsque des données sont disponibles.

Tableau 2
Exemple de compte d'indicateurs de la condition des agroécosystèmes selon le SCEE-CE

Classe de la typologie de la condition des écosystèmes du SCEE	Descripteur de variable	Unité de mesure	Valeurs des variables (observées)		Valeurs des niveaux de référence		Valeurs des indicateurs (rééchelonnées)		
			Ouverture	Fermeture	Niveau inférieur	Niveau supérieur	Valeur d'ouverture	Valeur de fermeture	Variation de l'indicateur
Caractéristiques abiotiques									
État physique	Teneur en eau de la végétation - NDWI	Indice (-1 à 1)	-0,15	-0,13	-1	1	0,43	0,44	0,01
État chimique	Carbone organique du sol	gCOS/kg	25,6	24,8	0	40	0,64	0,62	-0,02
Caractéristiques biotiques									
État de composition	Richesse spécifique des espèces d'oiseaux	Indice des oiseaux des champs	71	70	0	100	0,71	0,70	-0,01
État structurel	Diversité des cultures	Indice de diversité de Simpson	0,43	0,48	0	1	0,43	0,48	0,05
	Part de l'agriculture biologique	pourcentage	7,5	7,6	0	100	0,08	0,08	0,00
État fonctionnel	Production primaire brute	kg C/m ²	0,92	0,94	0,5	1,3	0,53	0,55	0,03
Caractéristiques du paysage terrestre et marin									
	Part de la végétation semi-naturelle	pourcentage	5,1	4,9	0	20	0,26	0,25	-0,01

Note : Ce tableau est présenté à titre d'illustration et ne représente pas le compte d'indicateurs de condition qui sera développé pour le Canada.

Source : Fondé sur Nations Unies et coll., 2021, *Système de comptabilité économique et environnementale – Comptabilité des écosystèmes, Livre blanc, préédition du texte soumis à édition officielle*, tableau 5.3 des documents supplémentaires en ligne, <https://seea.un.org/ecosystem-accounting>.

Cette partie propose un ensemble de variables potentielles pour mesurer la condition des agroécosystèmes, en suivant la typologie de la condition des écosystèmes du SCEE-CE (tableau 3). Au moins une variable dans chaque catégorie est proposée ici pour décrire de façon exhaustive la condition des agroécosystèmes. Les variables ont été sélectionnées selon les critères énoncés à l'annexe 5.1 du SCEE-CE qui garantissent que les variables sont appropriées sur le plan conceptuel, raisonnablement réalisables, exhaustives et exemptes de redondance.

Bon nombre des variables reposent sur les données spatialement explicites présentées dans le compte de l'étendue des agroécosystèmes. Dans la mesure du possible, l'utilisation des données existantes est proposée, y compris les variables pertinentes de la série de rapports sur les indicateurs agroenvironnementaux d'AAC (1981 à 2021), qui est mise à jour tous les cinq ans à l'aide des polygones des pédo-paysages du Canada (PPC) comme unités de déclaration (Clearwater et coll., 2016). Ces indicateurs surveillent les changements de la qualité du sol, de l'eau et de l'air dans l'ensemble du paysage agricole du Canada. Les indicateurs utilisent les données du Recensement de l'agriculture qui sont ajustées en fonction des séries chronologiques d'utilisation des terres d'AAC. De plus, de nouvelles mesures sont proposées pour les variables de condition qui ne sont pas incluses dans la série de rapports sur les indicateurs agroenvironnementaux.

L'élaboration du compte de la condition des agroécosystèmes a posé plusieurs défis. Idéalement, toutes les données seraient disponibles chaque année à une résolution fine, de sorte que les variables pourraient facilement être agrégées dans diverses géographies. Cependant, les données disponibles pour différentes variables de condition sont produites à des résolutions spatiales et temporelles qui varient. De plus, on ne dispose pas de données cohérentes et comparables permettant de mesurer l'évolution d'une variable de condition au fil du temps pour toutes les variables proposées. Qui plus est, la modélisation de certaines des mesures proposées est complexe et ces dernières devraient reposer sur des données in situ. En raison de ces limites, le compte pilote de la condition des écosystèmes se fondera sur des variables de substitution en ce qui a trait aux variables de condition lorsque les données font défaut.

Dans les comptes pilotes, les variables de condition seront rapportées par écotypologies. Les données disponibles rapportées par les polygones des PPC seront agrégées par écotypologies au moyen du calcul de la moyenne pondérée. Pour les données déclarées en format matriciel, la moyenne de toutes les valeurs de pixel dans une écotypologie sera calculée ou elles seront additionnées, selon la variable de condition. D'autres ensembles de données empruntent un format par points ou ne sont disponibles qu'à l'échelle provinciale. Pour chaque variable, une seule valeur sera produite pour tous les types d'agroécosystèmes, à moins d'indication contraire. De nouvelles méthodes d'évaluation des changements de condition par l'observation de la Terre sont en cours d'élaboration et seront intégrées aux futurs comptes.

Des recherches sont également en cours pour déterminer des indicateurs de condition à l'aide des niveaux de référence. Les niveaux de référence représentent les niveaux élevés et faibles d'une variable de condition. La distance entre une variable et son niveau de référence fournit de l'information sur l'intégrité de l'écosystème. Étant donné que les agroécosystèmes sont des écosystèmes anthropiques, le niveau de référence le plus approprié pour les agroécosystèmes est probablement la condition la plus facile à atteindre, « la condition attendue d'un écosystème selon les meilleures pratiques de gestion possibles et l'atteinte d'un état socio-écologique stable » (Annexe 5.2, Nations Unies et coll., 2021). Pour certaines variables, ces niveaux peuvent être difficiles à déterminer, car il n'existe peut-être pas de consensus scientifique sur les meilleures pratiques de gestion possibles et les niveaux varient probablement selon la région.

Les comptes de la condition des écosystèmes reposent également sur des données auxiliaires. Ces données ne sont pas directement déclarées dans les comptes des écosystèmes, mais elles appuient la production des comptes et leur analyse. Les variables auxiliaires comprennent des caractéristiques écosystémiques stables ou à évolution lente (p. ex. type, texture, capacité de rétention de l'eau, masse volumique apparente et pH du sol), les pressions écosystémiques (p. ex. changements climatiques, parasites et agents pathogènes) et les pratiques de gestion agricole, y compris les pratiques autochtones (p. ex. travail du sol, fertilisation, irrigation, etc.). L'Enquête sur la gestion des fermes de Statistique Canada est une source de données possible pour les pratiques de gestion, mais il manque des données sur les pratiques autochtones (Statistique Canada, 2022c). Certaines variables auxiliaires seront compilées en tableaux selon la disponibilité et la pertinence des données.

Tableau 3
Variables proposées pour les comptes de la condition des agroécosystèmes, regroupées selon la typologie de la condition des écosystèmes du Système de comptabilité économique et environnementale – Comptabilité des écosystèmes

Classe	Variable	Statut des données disponibles		
		Couverture nationale	Fréquence de la mise à jour	Géographie de référence et résolution spatiale
A : Caractéristiques abiotiques de l'écosystème				
A1 : Condition physique	Érosion du sol	Disponible	Quinquennale	Polygones des PPC
A2 : Condition chimique	Matière organique du sol	Disponible	Quinquennale	Polygones des PPC
			Annuelle	Écozones
			Cause inconnue	250 m
	Concentrations d'éléments nutritifs dans le sol	Disponible	Quinquennale	Polygones des PPC
	Concentration de pesticides dans le sol	Disponible	Quinquennale	Polygones des PPC
	Salinisation du sol	Disponible	Quinquennale	Polygones des PPC
B : Caractéristiques biotiques de l'écosystème				
B1 : Condition de la composition	Abondance et diversité des oiseaux	Disponible	Annuelle	Points
	Biodiversité des sols	Non disponible	Sans objet	Sans objet
	Chargement en bétail	Disponible	Quinquennale	Polygones des PPC
B2 : Condition structurelle	Couverture du sol	Disponible	Annuelle	Polygones des PPC
	Agriculture biologique	Disponible	Annuelle	Province
	Diversité de la rotation des cultures	Disponible	Annuelle	30 m
B3 : Condition fonctionnelle	Production primaire brute	Disponible	Annuelle	Province
			Annuelle	250 m
			Annuelle	1 km
	Abondance et diversité des pollinisateurs sauvages	Non disponible	Sans objet	Sans objet
C : Caractéristiques du paysage				
C1 : Paysages terrestres et marins	Diversité des cultures	Disponible	Annuelle	30 m
	Taille moyenne des parcelles	Disponible	Annuelle	30 m
	Habitat naturel et semi-naturel	Disponible	Annuelle	30 m

3.1 Condition physique

Les variables de la condition physique décrivent les composantes abiotiques (non vivantes) d'un écosystème (Nations Unies et coll., 2021). Les variables de la condition physique proposées pour les agroécosystèmes comprennent le taux d'érosion du sol.

3.1.1 Érosion du sol

L'érosion du sol se produit lorsque le sol est usé et transporté. Les caractéristiques des pentes, du climat et du sol influent sur l'érosion du sol causée par des processus naturels, comme l'eau, le vent ou la gravité; cependant, les pratiques de gestion des fermes qui laissent le sol nu et ont une incidence sur sa structure le rendent plus vulnérable à l'érosion (Lobb et coll., 2016). Les changements climatiques peuvent également exacerber l'érosion du sol en raison de l'augmentation des précipitations, des vents et de la sécheresse (Borelli et coll., 2020).

AAC a élaboré un indicateur de risque d'érosion du sol dans le cadre de la série de rapports sur les indicateurs agroenvironnementaux afin d'évaluer le risque d'érosion du sol par l'eau, les vents et le travail du sol. L'indicateur est modélisé à l'aide des données de la Base nationale de données sur les sols (données sur le relief et la topographie), du Recensement de l'agriculture, des séries chronologiques d'utilisation des terres d'AAC (données sur l'utilisation et la gestion des terres) et des données climatiques. Le risque d'érosion hydrique est estimé à l'aide de la version 2 de l'équation universelle révisée des pertes de sol (RUSLE2). Le risque d'érosion éolienne est estimé à l'aide d'une version modifiée de l'équation de l'érosion éolienne. Finalement, le risque d'érosion lié au travail du sol est calculé en tant que produit de l'érosivité du labour et de l'érodabilité du paysage (Lobb et coll., 2016). Une composante de cet indicateur, l'érosion totale estimée du sol, pourrait être utilisée dans les comptes de la condition des agroécosystèmes comme mesure de leur état physique.

Il est important de noter que l'indicateur de risque d'érosion du sol ne tient pas compte de l'utilisation de certaines pratiques de contrôle de l'érosion dans les fermes, comme les cultures de couverture et les rideaux-abris, qui peuvent entraîner une surestimation du risque dans certaines régions. Il y a aussi des processus d'érosion particuliers qui ne sont pas pris en compte, comme l'érosion en ravins ou l'érosion du sol sous l'effet du gel (Lobb et coll., 2016). De plus, l'indicateur estime l'érosion du sol selon l'endroit où elle se produit d'une pente à l'autre et, par conséquent, le sol érodé n'est pas nécessairement retiré d'un champ productif.

Le Service canadien d'information sur les sols (SISCan) élabore également un nouvel ensemble de données sur l'érosion du sol à l'aide des données recueillies par l'observation de la Terre. Une fois que cet ensemble de données sera disponible, on envisagera de l'utiliser dans les comptes de la condition des agroécosystèmes.

Mesures proposées

- Sol érodé (tonnes/ha)
- Niveau de risque d'érosion du sol

3.2 Condition chimique

Les variables de la condition chimique décrivent la composition chimique de diverses parties d'un écosystème (Nations Unies et coll., 2021). Les variables importantes pour les agroécosystèmes comprennent la matière organique du sol, les concentrations d'éléments nutritifs dans le sol, la concentration de pesticides et la salinisation du sol.

3.2.1 Matière organique du sol

La matière organique du sol (MOS) est constituée de tissus végétaux ou animaux à divers stades de décomposition. Il s'agit d'une importante fraction du sol qui influe sur la structure, la chimie et les fonctions du sol. La matière organique du sol améliore l'agrégation du sol, l'infiltration de l'eau et la capacité de rétention de l'eau, l'aération du sol, la disponibilité des nutriments et la biodiversité du sol. Différents types de sols peuvent atteindre différents niveaux de matière organique du sol en fonction de leurs caractéristiques inhérentes; cependant, les pratiques de gestion qui intègrent des matières organiques dans le sol peuvent aider à maintenir ou à augmenter la MOS (Dignac et coll., 2017; Jackson et coll., 2017).

Le carbone organique du sol (COS) désigne la composante carbone de la MOS et est une mesure de substitution utile de la MOS. Un indicateur du taux de variation de la teneur en carbone organique du sol (COS) a été élaboré pour le Canada dans le cadre de la série de rapports sur les indicateurs agroenvironnementaux. Cet indicateur suit l'évolution des niveaux de carbone organique dans le sol au fil du temps à l'aide du modèle de simulation CENTURY (National Resource Ecology Laboratory, 2007). Des estimations de la variation totale de la teneur en carbone organique du sol en kilogrammes par hectare sont disponibles et pourraient être incluses dans le compte des variables de la condition des agroécosystèmes. Cet indicateur a toutefois ses limites, car il ne tient pas compte de l'érosion du sol, qui peut réduire la teneur en COS.

Le Canada présente également des estimations annuelles des variations des stocks nets de carbone dans le sol dans son Rapport d'inventaire national (RIN) en utilisant des méthodes semblables à l'indicateur de changement du COS (ECCC, 2020). Les estimations remontent à 1990 et sont publiées chaque année pour les zones de déclaration, une géographie fondée en grande partie sur les écozones du Cadre écologique national. Comme pour les estimations du changement total du COS, les estimations des variations des stocks nets de carbone dans le sol pourraient être incluses dans le compte des variables de la condition des agroécosystèmes.

AAC a également élaboré un indicateur de la teneur relative en carbone organique du sol (TRCOS), qui divise la teneur actuelle du COS par une valeur optimale du COS. Les estimations actuelles du COS sont modélisées à l'aide des données sur la teneur en carbone organique du sol produites par le SISCan, et la variation estimée du COS est fondée sur l'indicateur de variation de la teneur du carbone organique du sol (Cerkowniak et coll., 2016). Les valeurs de la TRCOS représentent une variable de condition qui a été rééchelonnée à l'aide d'une condition de référence et pourraient, par conséquent, être utilisées pour un compte des indicateurs de la condition des agroécosystèmes.

D'autres ensembles de données mondiales qui fournissent des données sur le carbone souterrain à des résolutions plus fines à partir d'observation de la Terre par satellite sont également disponibles. SoilGrids a produit une carte mondiale de la teneur en COS pour six intervalles de profondeur standard à une résolution spatiale de 250 m de 1950 à 2017 (Hengl & Wheeler, 2017). Le SISCan fait progresser le travail de base de Hengl et ses collaborateurs (2017) en ajoutant plus de données vérifiées sur le terrain et en personnalisant certaines covariables canadiennes à partir d'un cadre de cartographie prédictive des sols. Le SISCan a également produit une évaluation de la séquestration du carbone organique dans le sol dans l'ensemble des terres agricoles au Canada. Les données sous forme de grille et les données dérivées sur les sols sont produites au moyen d'une approche progressive. Ces ensembles de données n'existent actuellement que pour une seule période, mais à mesure que les méthodes seront peaufinées, il pourrait être possible d'utiliser ces données pour suivre le changement du COS au fil du temps.

Mesures proposées

- Carbone organique total du sol (kg/ha)
- Variation de la teneur de carbone organique du sol (kg/ha/an)
- Variation des stocks nets de carbone dans le sol (kg/ha/an)
- Teneur relative en carbone organique du sol (kg/ha)

3.2.2 Concentrations d'éléments nutritifs dans le sol

Les sols contiennent des nutriments essentiels à la croissance des cultures. Les trois principaux macronutriments sont le phosphore, l'azote et le potassium (Tripathi et coll., 2014). Bien que de faibles concentrations d'éléments nutritifs dans le sol puissent nuire à la croissance des plantes, des concentrations élevées peuvent entraîner l'eutrophisation des plans d'eau avoisinants et avoir des répercussions négatives sur la qualité de l'eau. Il s'agit d'une variable importante à suivre, étant donné que les épandages d'engrais ont augmenté au cours des dernières années dans les agroécosystèmes canadiens (Statistique Canada, tableau 32-10-0162-01).

Un indicateur de l'azote résiduel dans le sol pour les terres agricoles canadiennes a été élaboré dans le cadre de la série de rapports sur les indicateurs agroenvironnementaux. Les estimations sont produites à l'aide du modèle pour le bilan azoté de l'agriculture canadienne (Yang et coll., 2007). Le modèle estime la différence entre les apports totaux d'azote dans les sols agricoles et les sorties totales d'azote, permettant ainsi d'estimer la quantité d'azote inorganique résiduel dans le sol à la fin de la saison de croissance (Drury et coll., 2016). De plus, l'établissement

d'un bilan annuel du phosphore semblable permet d'estimer la quantité de phosphore résiduel dans le sol à la fin de la saison de croissance (Reid et coll., 2016). Les valeurs des nutriments résiduels dans le sol sont des mesures appropriées à inclure dans le compte des variables de la condition des agroécosystèmes.

AAC a également élaboré des indicateurs du risque de contamination de l'eau par l'azote et par le phosphore (Drury et coll., 2016; Reid et coll., 2016). Ces indicateurs déterminent les zones agricoles présentant le risque le plus élevé de contamination des eaux de surface par l'azote ou le phosphore, en fonction des propriétés des terres agricoles, du climat, des bassins hydrographiques et des sols. Les valeurs des indicateurs de risque de contamination de l'eau par l'azote et par le phosphore représentent des variables de condition qui ont été rééchelonnées à l'aide d'une condition de référence et pourraient, par conséquent, être utilisées pour un compte indicateur de la condition des agroécosystèmes.

Mesures proposées

- Azote résiduel dans le sol (kg N/ha)
- Bilan du phosphore du sol (kg P/ha)

3.2.3 Concentration de pesticides

Les pesticides, qui comprennent les herbicides, les fongicides et les insecticides, sont utilisés pour éradiquer les organismes (p. ex. mauvaises herbes, champignons, insectes) qui nuisent à la croissance des cultures (Gagnon et coll., 2016). La longévité des pesticides dans l'environnement et la toxicité des pesticides pour différents organismes varient selon la composition chimique (DeLorenzo et coll., 2001).

Les pesticides peuvent avoir des effets nocifs sur les organismes non visés dans le milieu environnant à travers des processus comme la dérive des vapeurs, le lessivage du sol et le ruissellement de surface. Ces processus peuvent avoir une incidence sur les fonctions agroécosystémiques (p. ex. en mettant en péril les pollinisateurs), ainsi que sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques avoisinants (Gagnon et coll., 2016). L'utilisation de pesticides augmente au Canada depuis 2008, principalement en raison de l'utilisation accrue de cultures résistantes aux herbicides (qui permettent l'application d'herbicides sans endommager les cultures) (Santé Canada, 2008; Santé Canada, 2020).

Un indicateur du risque de contamination de l'eau par les pesticides pour le Canada a été élaboré dans le cadre de la série de rapports sur les indicateurs agroenvironnementaux (Gagnon et coll., 2016). L'indicateur utilise des données sur les pratiques de gestion des fermes, y compris l'utilisation et les propriétés chimiques des pesticides, ainsi que les propriétés du sol et du climat, pour estimer la masse et la concentration annuelle de pesticides dans le ruissellement de surface et l'eau qui s'infiltre dans le sol à une profondeur d'un mètre. Le risque de contamination de l'eau est évalué en fonction de ces variables avec une concentration maximale acceptable de 0,5 g/L pour les mélanges de pesticides dans l'eau potable (Gagnon et coll., 2016). Les valeurs de risque représentent une variable de condition qui a été rééchelonnée à l'aide d'une condition de référence et pourraient, par conséquent, être utilisées pour un compte des indicateurs de la condition des agroécosystèmes.

L'indicateur de contamination de l'eau par les pesticides ne tient pas compte des différences de toxicité des pesticides, et il manque donc un facteur de risque important pour les espèces dans les agroécosystèmes, en particulier les insectes. Les possibilités futures de tenir compte des différences de toxicité des pesticides augmenteraient la valeur de cette variable de condition et fourniraient des renseignements précieux sur la condition des agroécosystèmes.

La concentration annuelle de pesticides et la masse de pesticides transportés dans l'eau sont des mesures appropriées pour déterminer la concentration de pesticides. La superficie traitée au moyen d'herbicides, d'insecticides et de fongicides, sur laquelle le REAG recueille des données tous les cinq ans, est également une mesure appropriée pour cette variable de condition (Statistique Canada, tableau 32-10-0368-01).

Mesures proposées

- Concentration de pesticides dans l'eau ($\mu\text{g/L}$)
- Masse de pesticides transportés dans l'eau (g/ha)
- Superficie traitée au moyen de pesticides (ha)

3.2.4 Salinisation du sol

La salinisation du sol se produit lorsque les sels solubles s'accumulent dans le sol. Les particules de sel se lient aux particules d'eau dans le sol, ce qui rend l'eau inaccessible aux plantes et nuit au rendement des cultures. La salinisation est particulièrement préoccupante dans les provinces des Prairies en raison des taux élevés d'évaporation qui font remonter les sels à la surface du sol (Bock, 2016). Bien que la salinisation soit un processus naturel, elle peut également être causée par des pratiques de gestion des fermes qui introduisent des sels dans la zone racinaire des cultures (p. ex. jachère, travail du sol; Henry et coll., 1987).

Un indicateur du risque de salinisation du sol, élaboré par AAC dans le cadre de la série de rapports sur les indicateurs agroenvironnementaux, existe pour les provinces des Prairies du Canada. L'indicateur estime un indice de risque de salinité basé sur l'état de la salinité du sol, la topographie, le climat et les facteurs de gestion des terres. Cet indicateur a ses limites, car il ne tient pas compte de la variabilité des conditions météorologiques tout au long de la saison de croissance, alors que cette variabilité a une incidence sur la salinisation (Bock, 2016). Toutefois, cet indicateur publié régulièrement surveille les tendances de la salinisation du sol, donnant ainsi un aperçu d'un aspect important de la condition des agroécosystèmes dans les Prairies.

Mesure proposée

- Indice de risque de salinité du sol

3.3 Condition de la composition

Les variables de la condition de la composition décrivent les communautés des composantes biotiques (vivantes) d'un écosystème (Nations Unies et coll., 2021). Les variables relatives aux oiseaux, au biote du sol et au bétail — composantes biotiques importantes des agroécosystèmes — entrent dans cette catégorie.

3.3.1 Abondance et diversité des oiseaux

Les oiseaux jouent un rôle écologique essentiel dans les agroécosystèmes. Le comportement alimentaire des oiseaux peut avoir une incidence sur d'autres communautés biotiques au sein d'un écosystème en raison de la position des oiseaux dans la chaîne alimentaire (Gregory, 2006). Les oiseaux insectivores fournissent d'importants services de lutte antiparasitaire en se nourrissant de parasites, comme les pucerons et les chenilles, tandis que les oiseaux herbivores jouent un rôle essentiel dans la lutte contre les mauvaises herbes en se nourrissant de graines de mauvaises herbes (Pejchar et coll., 2018). De plus, les oiseaux sont de bons indicateurs de la biodiversité globale d'un écosystème, car leurs tendances démographiques tendent à refléter celles des autres espèces (Gregory, 2006). Le suivi de l'abondance et de la diversité des oiseaux peut donc être un bon signe de la capacité de l'agroécosystème à soutenir la biodiversité.

Il faudra approfondir les recherches pour déterminer la possibilité d'élaborer un indice qui combine les tendances démographiques de plusieurs espèces d'oiseaux clés qui dépendent des agroécosystèmes, à l'aide d'ensembles de données librement accessibles au Canada. Cet indicateur pourrait être modélisé à partir de l'indice des oiseaux des terres agricoles élaboré par Eurostat (Eurostat, 2022).

Plusieurs initiatives de surveillance des oiseaux au Canada pourraient servir à créer cet indice, notamment les Atlas des oiseaux nicheurs, eBird Canada et les inventaires des strigidés nocturnes. Presque tous les ensembles de données sont accessibles au public ou disponibles sur demande dans la base de données NatureCounts d'Oiseaux Canada (Oiseaux Canada, 2022). Y sont répertoriées les données sur l'occurrence et les tendances démographiques pour plus de 700 espèces d'oiseaux au Canada, dont certaines remontent à 1960, selon l'espèce. De plus, la carte de l'habitat essentiel des espèces en péril produite par ECCC (2022a) pourrait être utilisée pour évaluer les oiseaux tributaires des agroécosystèmes.

Les données recueillies grâce à la science citoyenne présentent cependant des lacunes importantes pour la production de statistiques solides. Les relevés peuvent être biaisés en faveur de zones ou d'espèces plus populaires et accessibles. De plus, les relevés peuvent être incohérents sur les plans temporel et spatial. Néanmoins, compte tenu de la difficulté de recueillir des données pour un pays aussi vaste que le Canada, ces données constituent

une riche source d'information sur les occurrences des espèces qui ne sont pas accessibles par l'observation de la Terre.

Les rapports *Espèces sauvages* publiés par le Conseil canadien pour la conservation des espèces en péril sont une autre source de données potentielle pour cette variable de condition. Ces rapports sont publiés tous les cinq ans et remontent à l'an 2000. Le dernier rapport décrit l'état de conservation à l'échelle nationale et régionale de 50 534 espèces connues au Canada, y compris les 696 espèces d'oiseaux connues (Conseil canadien de conservation des espèces en péril, 2021). Le pourcentage d'oiseaux tributaires des agroécosystèmes désignés comme des espèces en péril ou en danger critique dans ces rapports pourrait être utilisé comme mesure pour évaluer cette variable de condition.

Mesures proposées

- Richesse spécifique des oiseaux
- Pourcentage d'oiseaux tributaires des agroécosystèmes qui sont désignés comme étant en péril ou en danger critique dans les rapports sur les espèces sauvages
- Indice canadien des oiseaux des terres agricoles

3.3.2 Biodiversité des sols

Les sols abritent une grande diversité d'organismes, comme les champignons, les bactéries, les coléoptères et les vers de terre. Chaque organisme exerce une fonction importante dans l'écosystème du sol, notamment en fournissant aux plantes des nutriments par l'intermédiaire d'associations mycorhiziennes ou en améliorant la structure du sol afin que l'eau et les nutriments puissent y circuler librement.

Les agroécosystèmes dépendent des organismes du sol pour construire de la matière organique, maintenir une structure adéquate du sol et libérer des nutriments pour la croissance des plantes (FAO et coll., 2019). Bien que les connaissances sur les communautés de sol dans les agroécosystèmes continuent de s'accroître, le suivi des changements dans ces communautés devrait être important en raison de leurs effets notables sur la fonction écosystémique et la productivité des cultures.

La Collection nationale canadienne d'insectes, d'arachnides et de nématodes numérise ses ensembles de données et les rend accessibles en ligne. Cette base de données pourrait fournir des renseignements sur les occurrences d'organismes vivant dans le sol. À l'heure actuelle, la base de données contient plus de 1 600 mentions d'occurrence remontant à 1890; toutefois, ces mentions ne portent pas sur tous les agroécosystèmes au Canada.

D'autres possibilités d'accès à la surveillance des changements dans cette variable commencent à se présenter et permettent d'aspirer à leur intégration dans les futurs comptes de la condition des agroécosystèmes. L'Observatoire canadien de la biodiversité des sols crée des cartes numériques de la biodiversité des sols dans l'est du Canada en utilisant la culture et le séquençage à haut débit (AAC, 2023). De plus, de nouvelles initiatives mondiales, comme le Réseau d'observation de la biodiversité des sols (SoilBON) et la Global Soil Biodiversity Initiative (GSBI), travaillent à produire des données mondiales sur la biodiversité des sols à l'aide de nouvelles techniques, comme la télédétection (SoilBON 2022; GSBI, 2022).

À mesure que les données sur les organismes des sols deviennent plus disponibles, il pourrait être possible de créer un indice de la biodiversité des sols. Cet indice pourrait combiner des mesures de la richesse spécifique des bactéries et des champignons du sol, ainsi que de l'abondance relative de différents types de microfaune (p. ex. nématodes), de mésofaune (p. ex. mites, collemboles) et de macrofaune (p. ex. vers de terre, fourmis) du sol (FAO et coll., 2019; Wagg et coll., 2014).

Mesures proposées

- Richesse spécifique microbienne du sol
- Richesse spécifique des nématodes
- Indice de biodiversité des sols

3.3.3 Chargement en bétail des pâturages

Les espèces végétales et animales des écosystèmes des prairies canadiennes ont évolué en même temps que les bisons au pâturage. Le pâturage est un processus naturel dans ces écosystèmes qui maintient la diversité végétale et la santé du sol (Cook, 2021). Le bétail, en particulier les bovins, joue un rôle essentiel dans la santé des pâturages en broutant dans les champs.

De courtes périodes de pacage intensif du bétail peuvent imiter les processus naturels de migration des bisons et favoriser des rendements élevés, tout en améliorant la qualité des pâturages (Franke et Kotzé, 2022). Cependant, une charge de bétail élevée pendant de longues périodes peut avoir des effets négatifs sur les écosystèmes pastoraux (Aiken, 2019). Un taux élevé de chargement en bétail des pâturages peut, à long terme, entraîner le surpâturage et, par conséquent, la dégradation du sol et la perte de biodiversité (Cid et Brizuela, 1998; Dlamini et coll., 2016). Des chargements en bétail élevés peuvent également accroître le risque de transmission de maladies. Le chargement en bétail est donc une variable de condition importante à suivre dans les agroécosystèmes.

Le bétail, en particulier les chèvres et les moutons, paît aussi dans certains systèmes de culture pérennes, notamment dans les vergers et les vignobles. Leur présence peut améliorer la condition des agroécosystèmes en réduisant les mauvaises herbes et en améliorant la fertilité du sol (Wilson et Hardestry, 2006). Les données sur cette pratique de gestion au Canada font défaut.

Statistique Canada recueille des données sur le bétail en pâturage par l'entremise du DSAE. Les données sur le nombre total de chaque espèce et de chaque superficie de pâturage sont disponibles par écogéographies et pourraient être utilisées pour inclure le chargement en bétail dans le compte de la condition des agroécosystèmes (Statistique Canada, 2022b).

Mesures proposées

- Nombre moyen d'animaux au pacage par km² de pâturage
- Nombre moyen de bovins par km² de pâturage
- Nombre moyen de moutons par km² de pâturage
- Nombre moyen de chèvres par km² de pâturage

3.4 Condition structurelle

Les variables de condition structurelle saisissent les propriétés agrégées de l'ensemble de l'écosystème ou de ses principales composantes biotiques (Nations Unies et coll., 2021). Pour les agroécosystèmes, les variables structurelles importantes comprennent la couverture du sol, la proportion de terres agricoles utilisant des pratiques biologiques et la rotation des cultures.

3.4.1 Couverture du sol

La couverture du sol, c'est-à-dire la mesure dans laquelle le sol est couvert de végétation ou de neige, est une variable structurelle importante dans les agroécosystèmes qui a une incidence sur la santé et le fonctionnement du sol et, par conséquent, sur la productivité des cultures. Les pratiques de gestion des terres influent de diverses façons sur la couverture du sol. Certains facteurs ont une incidence à cet égard, notamment les types de plantes cultivées, la mise en jachère, le type de travail du sol pratiqué et l'utilisation de cultures de couverture. Le fait de s'assurer que les sols sont recouverts de végétation ou de résidus de culture protège les sols contre l'érosion, aide à produire de la matière organique et créer une structure de sol adéquate (Krzic et coll., 2021). Le climat a également une incidence sur la couverture du sol parce qu'il détermine la période de couverture de neige (Huffman et Liu, 2016a).

AAC a élaboré un indicateur de la couverture du sol dans le cadre de la série de rapports sur les indicateurs agroenvironnementaux qui estime le nombre de jours par année où les sols agricoles sont recouverts de végétation, de résidus de culture ou de neige, à l'aide du modèle des jours de couverture du sol. Le modèle tient compte de la période typique de couverture du sol par type de culture et par écorégion, des taux de décomposition des résidus, de la couverture de neige et des régimes de pâturage (Huffman et Liu, 2016a).

Mesure proposée

- Nombre de jours par année où les sols agricoles sont recouverts (jours de couverture des sols)

3.4.2 Agriculture biologique

L'agriculture biologique est une forme d'agriculture qui est en croissance au Canada depuis plusieurs décennies (Statistique Canada, tableaux 32-10-0363-01 et 32-10-0414-01; Statistique Canada, 2001). Les produits agricoles certifiés biologiques sont des produits dont la culture ou l'élevage est conforme aux pratiques de gestion biologique (Office des normes générales du Canada, 2021). Les pratiques de gestion biologique comprennent l'utilisation de diverses rotations de cultures, la lutte antiparasitaire non chimique, l'épandage de compost et de fumier de ferme au lieu d'engrais synthétiques et l'utilisation de méthodes naturelles de reproduction du bétail. De plus, la production biologique interdit l'utilisation de plusieurs substances et techniques, comme les produits génétiquement modifiés.

Il existe plusieurs sources de données publiques sur l'ampleur de l'agriculture biologique au Canada. L'Association pour le commerce biologique du Canada publie la valeur annuelle de la superficie en culture biologique selon le type d'agriculture et la province (Association pour le commerce biologique du Canada, 2022). L'Institut de recherche en agriculture biologique publie également chaque année les valeurs de la superficie agricole utile consacrée à la culture biologique et la part de la superficie agricole totale consacrée à cette culture (FiBL, 2022). Les données disponibles couvrent la période de 2000 à 2020.

Statistique Canada mène une enquête annuelle sur les fruits et les légumes qui permet de recueillir de l'information sur les superficies consacrées à la culture de fruits et légumes certifiés biologiques par province, de 2019 à 2021 (Statistique Canada, tableau 32-10-0212-01). Le REAG recueille également des renseignements sur la vente de produits certifiés biologiques, mais pas sur les superficies consacrées à la production biologique (Statistique Canada, tableaux 32-10-0363-01 et 32-10-0414-01).

Il est à noter que de nombreuses exploitations agricoles adoptent des pratiques écologiques, mais ne sont pas officiellement certifiées biologiques. Pour cette raison, il pourrait être intéressant à l'avenir de se pencher sur l'utilisation de pratiques durables plutôt que sur la certification biologique uniquement.

Mesure proposée

- Superficie de terres agricoles aménagées selon les principes biologiques (ha)
- Superficie de terres agricoles cultivées conformément aux pratiques de gestion durable (ha)

3.4.3 Diversité de la rotation des cultures

La rotation des cultures est la pratique qui consiste à planter différentes cultures de façon séquentielle sur la même parcelle de terre. Les rotations simples peuvent comprendre deux ou trois cultures, tandis que les rotations complexes peuvent en comprendre une douzaine ou plus.

De multiples avantages sont associés à la diversification de la rotation des cultures, y compris l'augmentation de la MOS, la biodiversité du sol, les nutriments et le rendement des cultures, ainsi que la réduction des émissions de gaz à effet de serre, des agents pathogènes et des ravageurs (AAC, 2021c; Bowles et coll., 2020). Ces avantages sont attribués aux communautés microbiennes distinctes du sol associées à différents types de cultures. En utilisant la rotation des cultures, une grande diversité d'organismes et de fonctions du sol peut être maintenue dans un champ agricole (Tiemann et coll., 2015). Le suivi de la diversité de la rotation des cultures (c.-à-d. le nombre de cultures utilisées en rotation) dans les champs agricoles est donc un moyen efficace d'assurer la surveillance annuelle de la condition des terres cultivées.

AAC publie un ensemble de données sur la rotation annuelle des cultures au Canada qui retrace l'historique spatialement explicite de la rotation des cultures au cours de quatre saisons de croissance à l'aide de l'Inventaire annuel des cultures (IAC). Les données disponibles couvrent la période de 2017 à 2020 (AAC, 2021d). Cet ensemble de données pourrait être utilisé pour tenir compte de la diversité de la rotation des cultures. De plus, dans le cadre du volet Solutions agricoles pour le climat (SAC) du Fonds des solutions climatiques axées sur la nature (FNPC) du gouvernement du Canada, de nouvelles mesures annuelles de la rotation des cultures sont en développement

(A. Davidson, communication personnelle, 2023). Elles seront intégrées aux futurs comptes de la condition des écosystèmes lorsqu'elles seront disponibles.

Il pourrait également être possible de calculer un indice de diversité de la rotation des cultures en suivant la méthode adoptée par Bowles et coll. (2020). L'indice a été calculé comme étant la racine carrée du nombre d'espèces de cultures en rotation multipliée par la durée de la rotation, ce qui représente deux propriétés fondamentales des rotations connues pour avoir une incidence sur la fonction du sol.

Mesure proposée

- Nombre moyen d'espèces de cultures incluses dans la rotation
- Indice de diversité de la rotation des cultures

3.5 Condition fonctionnelle

Les variables de condition fonctionnelle décrivent les interactions entre les différentes composantes d'un écosystème et l'état des groupes fonctionnels (Nations Unies et coll., 2021). Pour les agroécosystèmes, ces variables comprennent la production primaire, ainsi que la diversité et l'abondance des pollinisateurs sauvages.

3.5.1 Production primaire

La production primaire brute (PPB) est la quantité totale de carbone fixé (lorsque le dioxyde de carbone de l'atmosphère est converti en glucides) par les plantes pendant une période donnée. La fixation du carbone mène à la création de biomasse végétale. La production primaire nette (PPN) correspond à la PPB moins la quantité de carbone perdu par la respiration végétale (Gough, 2011). La PPN est une variable importante dans les agroécosystèmes parce que le principal objectif de gestion de ces écosystèmes est la production de biomasse végétale qui est récoltée et vendue.

Le seul ensemble de données régulièrement mis à jour sur la PPN qui porte sur l'étendue des agroécosystèmes du Canada est produit par le Système d'observation de la Terre (EOS) de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) des États-Unis, qui fournit des estimations mondiales de la PPB obtenues au moyen du satellite Terra en utilisant son radiomètre spectral pour imagerie de résolution moyenne (MODIS) MOD17A3HGF version 6 (Running et coll., 2019). Les estimations de la PPN sont produites annuellement, pour les années 2000 à 2021, à une résolution de 500 m. En raison de la faible résolution de ce produit, il serait difficile de différencier les PPN de différents types d'agroécosystèmes, mais il pourrait tout de même être possible de fournir des estimations annuelles spatialement explicites de la PPN pouvant être additionnées par écogéographie sur l'ensemble de l'étendue des agroécosystèmes du Canada. Il est à noter que ce produit MODIS sera bientôt mis hors service et qu'il ne pourra pas être utilisé dans les comptes de condition à l'avenir.

Les variables de substitution potentielles de cette variable comprennent des indices de végétation comme l'indice de végétation par différence normalisée (IVDN), qui mesure la verdure de la végétation à l'aide d'images satellites (Weier et Herring, 2000). Des recherches sont en cours sur l'utilisation des indices de végétation pour calculer les estimations de la PPN. L'IVDN sert à faire le suivi de la condition des cultures au Canada dans le cadre du Programme d'évaluation de l'état des cultures de Statistique Canada. Ce programme permet d'assurer la surveillance de la condition de la végétation sur un cycle de sept jours pendant la saison de croissance pour tous les agroécosystèmes du Canada. Les données sont disponibles à une résolution de 1 km et de 250 m, et couvrent la période de 1987 à aujourd'hui. L'ensemble de données fournit des valeurs pour les terres cultivées et les pâturages. Toutefois, compte tenu de la résolution de cet ensemble de données, les valeurs de la végétation naturelle issues de l'IVDN, comme les forêts ou les terres humides situées à proximité des zones agricoles, seraient incluses (Statistique Canada, 2022d).

La boîte à outils LEAF élaborée par Ressources naturelles Canada est une application qui fournit des estimations pour une série de variables biophysiques de la végétation (p. ex. indice foliaire, fraction de couverture végétale, etc.), ainsi que des estimations de l'incertitude connexes pour l'ensemble du Canada. On étudie la possibilité de s'en servir comme source de données afin d'obtenir des estimations de la PPN pour les agroécosystèmes (Fernandes et coll., 2021).

Mesures proposées

- Production primaire nette (tonnes de carbone/ha/an)
- Mesure de substitution : Indice de végétation par différence normalisée des cultures et des pâturages

3.5.2 Abondance et diversité des pollinisateurs sauvages

Les pollinisateurs jouent un rôle important dans les agroécosystèmes, surtout dans les régions où un grand nombre de cultures dépendent des pollinisateurs, c'est-à-dire qui dépendent en partie ou entièrement des pollinisateurs pour produire des fruits (Klein et coll., 2007). Les pollinisateurs contribuent également à la mise à fruit et à la reproduction des espèces de plantes sauvages dans les agroécosystèmes. Par conséquent, l'abondance et la diversité des pollinisateurs sauvages sont d'importantes variables de la condition des agroécosystèmes, tant du point de vue écologique qu'économique.

Bien qu'il existe des initiatives de surveillance des pollinisateurs sauvages dans les diverses régions et provinces du Canada, on ne dispose pas d'ensembles de données à l'échelle nationale. Ce manque de données rend difficile le suivi des tendances nationales des pollinisateurs. Les rapports sur les espèces sauvages présentent des données sur l'état de conservation de 903 espèces connues d'abeilles et de 524 espèces connues de syrphes au Canada tous les cinq ans, à l'échelle nationale et provinciale (Conseil canadien pour la conservation des espèces en péril, 2016, 2021). La situation de ces importantes espèces pollinisatrices pourrait servir de mesure de substitution pour cette variable de condition.

Une autre source potentielle de données est la science citoyenne. Le site Bumble Bee Watch de la Xerces Society est une initiative de science citoyenne qui recueille des données sur l'occurrence des espèces de bourdons à partir d'observations photographiques de bourdons recueillies et soumises par des citoyens scientifiques aux États-Unis et au Canada. Les données actuellement disponibles couvrent la période allant de 1969 à 2019 (Hatfield et coll., 2020). Bien que les bourdons ne soient pas le seul groupe de pollinisateurs important, ils sont l'un des groupes pour lesquels nous disposons du plus grand nombre de données.

De plus, une base de données internationale connue sous le nom de Système mondial d'informations sur la biodiversité (GBIF) contient des données sur l'occurrence d'espèces provenant de diverses sources, y compris des collections de musées et de la science citoyenne, du début des années 1900 à aujourd'hui (GBIF, 2023). Comme dans le cas des oiseaux, il faudra pousser la recherche pour déterminer si un indicateur permettant de suivre les tendances démographiques des principales espèces de pollinisateurs peut être créé.

Mesures proposées

- Richesse spécifique des pollinisateurs
- Pourcentage d'espèces de pollinisateurs qui sont désignées comme étant en péril ou en danger critique dans les rapports sur les espèces sauvages
- Indice canadien des pollinisateurs (fondé sur les tendances démographiques des principales espèces de pollinisateurs)

3.6 Paysage

Les variables du paysage fournissent des renseignements sur l'hétérogénéité de la composition et de la configuration de divers types d'écosystèmes à l'échelle du paysage. En ce qui concerne les agroécosystèmes, les variables comprennent la diversité des cultures, la taille moyenne des parcelles, ainsi que l'habitat naturel et semi-naturel.

3.6.1 Diversité des cultures

Les espèces tributaires des agroécosystèmes dépendent de différents types de cultures pour leur alimentation et leur habitat (Javorek et coll., 2016; Fahrig et coll., 2011). Ainsi, un ensemble diversifié de types de cultures dans un paysage agricole peut soutenir une plus grande diversité d'espèces qu'un paysage ne comportant qu'une ou deux cultures. La diversité des cultures peut également accroître la stabilité du rendement et la résilience (Renard et Tilman, 2019; Sanford et coll., 2021). Pour ces raisons, la diversité des cultures est une variable de condition importante à inclure dans un compte de la condition des agroécosystèmes.

Pour estimer la diversité des cultures dans un paysage, on pourrait utiliser l'indice de diversité de Shannon, qui tient compte à la fois de l'abondance et de l'homogénéité des types de cultures dans un paysage (Fahrig et coll., 2015). Les valeurs de l'indice vont de zéro à un, et les faibles valeurs indiquent des niveaux inférieurs de diversité des cultures. L'IAC, qui délimite les types de cultures à une résolution de 30 m, pourrait être la carte de base utilisée pour calculer cet indice pour certaines écogéographies.

Mesure proposée

- Indice de diversité de Shannon pour les cultures

3.6.2 Taille moyenne des parcelles

En plus de la conservation de vastes parcelles d'habitats naturels, les bordures des champs jouent un rôle important dans le maintien de la biodiversité dans les agroécosystèmes (Fahrig et coll., 2015; Sirami et coll., 2019). La végétation en bordure des champs peut fournir abri et nourriture aux espèces d'oiseaux, de mammifères et d'insectes utiles. De plus, les bordures augmentent la connectivité de l'habitat et la facilité de dispersion dans le paysage. Pour les espèces qui utilisent plus d'un type de culture pour se nourrir et s'abriter, les petites parcelles offrent un meilleur accès à différents types de couverture terrestre dans le paysage (Fahrig et coll., 2011).

La taille moyenne des parcelles correspond à la dimension moyenne des parcelles agricoles (p. ex. un champ ou un verger) dans un paysage. La taille moyenne des parcelles est directement liée à la longueur et à la densité des bordures dans ce paysage (alors que dans un paysage où les parcelles sont plus petites, la longueur et la densité des bordures des champs sont plus considérables). Le rapport périmètre/superficie est une autre mesure qui peut être utilisée pour évaluer la longueur et la densité des bordures.

Les données permettant de mesurer avec précision la dimension des champs dans l'ensemble des agroécosystèmes canadiens sont limitées. L'IAC ne représente pas toujours avec exactitude les bordures des parcelles (p. ex. si les mêmes cultures sont plantées sur deux parcelles différentes). Les données d'assurance-récolte sur les parcelles représentent probablement les limites des parcelles avec plus de précision; toutefois, ces données sont disponibles pour un nombre restreint de provinces. Le projet entrepris par AAC et ECCC pour explorer des méthodes de cartographie de la biomasse ligneuse le long des bordures des champs dans les agroécosystèmes par l'observation de la Terre pourrait à l'avenir fournir une source de données supplémentaire pour cette variable de condition (J. Le Moullec, communication personnelle, 2023).

Entre-temps, il pourrait être plus facile de créer un compte pilote pour certaines provinces à l'aide des données d'assurance-récolte accessibles au public jusqu'à ce que des données détaillées soient disponibles à l'échelle nationale. Ces variables de condition pourraient être calculées pour certaines écogéographies.

Mesure proposée

- Taille moyenne des parcelles agricoles (dimension minimale des parcelles : 90 m x 90 m)
- Rapport périmètre/superficie des parcelles agricoles

3.6.3 Habitats naturels et semi-naturels

Les habitats naturels et semi-naturels jouent un rôle important dans le soutien et le maintien de la biodiversité dans les paysages agricoles. Bien que les terres agricoles puissent constituer des refuges essentiels et d'importantes ressources alimentaires pour les espèces, la présence de forêts stables, de prairies non aménagées, de pâturages semi-naturels, de zones arbustives et de terres humides à proximité des terres cultivées est déterminante pour le maintien des espèces (Sirami et coll., 2019). Tout au long de l'année, ces couvertures naturelles et semi-naturelles fournissent à de nombreuses espèces un habitat et des ressources alimentaires complémentaires qui sont nécessaires à leur cycle de vie. Les experts préconisent un minimum de 20 % d'habitats naturels dans les paysages agricoles et d'autres paysages aménagés (Garibaldi et coll., 2020) pour assurer le maintien de la biodiversité et des services écosystémiques.

Plusieurs mesures potentielles pourraient être utilisées pour tenir compte des habitats naturels et semi-naturels dans les agroécosystèmes. La taille et la proportion de ces habitats dans l'ensemble du paysage représentent des aspects importants de la condition des agroécosystèmes. De plus, la distance entre les parcelles agricoles

et les habitats naturels et semi-naturels influe sur l'accessibilité et la connectivité de ces habitats dans la matrice agricole. Les experts recommandent des distances moyennes de 1 km à 2 km pour assurer la connectivité de l'habitat (Garibaldi et coll., 2020; Chaplin-Kramer et coll., 2019; Fahrig et coll., 2015).

Afin de produire des estimations pour ces variables selon certaines écogéographies, des analyses géospatiales pourraient être effectuées à l'aide de l'IAC, ainsi que d'autres ensembles de données, comme les séries chronologiques d'utilisation des terres d'AAC.

Mesures proposées

- Proportion moyenne d'habitats naturels et semi-naturels dans un rayon de 2 km d'une parcelle de terre cultivée annuelle ou pérenne (taille minimale de la parcelle : 90 m x 90 m)
- Pourcentage d'habitats naturels et semi-naturels selon l'écogéographie
- Distance moyenne des habitats naturels et semi-naturels
- Taille moyenne des parcelles naturelles et semi-naturelles

4. Services écosystémiques

Le cadre du SCEE-CE définit les services écosystémiques comme « les contributions des écosystèmes aux avantages qui sont utilisés dans l'activité économique et d'autres activités humaines » et reconnaît trois grandes catégories de services, soit les services d'approvisionnement, les services de régulation et de maintenance, et les services culturels (Nations Unies et coll., 2021).

Les services d'approvisionnement sont les avantages tangibles que les humains tirent des écosystèmes (p. ex. cultures). Les services de régulation et de maintenance désignent les processus biologiques qui régulent et maintiennent les fonctions de l'écosystème (p. ex. régulation du climat, pollinisation). Les services culturels sont les avantages expérientiels et intangibles que les humains tirent de la nature (p. ex. loisirs, enseignement) (Nations Unies et coll., 2021).

L'objectif de la comptabilité des services écosystémiques est de quantifier les flux de services aux bénéficiaires. Les services écosystémiques finaux circulent entre les écosystèmes et les personnes (p. ex. entreprises, gouvernements, ménages). Les services écosystémiques intermédiaires circulent entre les écosystèmes et peuvent être enregistrés s'ils ont un lien clair avec un service écosystémique final et s'ils présentent un intérêt stratégique élevé.

La comptabilité des services écosystémiques peut fournir de l'information pour minimiser les compromis dans les écosystèmes, de sorte que la prestation des services écosystémiques puisse être optimisée parmi ses divers utilisateurs. Les comptes sont également utiles pour déterminer les secteurs où l'offre de services ne répond pas à la demande ou ceux où un service est surutilisé (c.-à-d. que le service est extrait ou utilisé à un rythme insoutenable), permettant ainsi aux décideurs et aux gestionnaires des terres de prioriser les secteurs où la prestation de services peut être améliorée par la restauration et la gestion des écosystèmes.

Le SCEE-CE décrit la structure comptable de l'approvisionnement et de l'utilisation pour les services écosystémiques. Les tableaux des ressources indiquent la quantité de services fournis par chaque type d'écosystème (en termes biophysiques ou monétaires), tandis que les tableaux des emplois indiquent la quantité de services consommés par différents secteurs de l'économie (Nations Unies et coll., 2021). Il est également possible de quantifier le potentiel d'un écosystème de fournir un service et la demande d'un service par la société humaine, bien que ces tableaux ne constituent pas une exigence de la norme statistique. Le potentiel et la demande d'un service permettent de mieux comprendre la dynamique sous-jacente à la prestation de services (c.-à-d. en déterminant les secteurs où la demande n'est pas satisfaite).

Ce document-cadre portera sur l'offre de services écosystémiques, mais proposera des mesures supplémentaires pour déterminer le potentiel et la demande d'un service, le cas échéant. Les utilisateurs des services et les avantages qui en découlent font également partie de la comptabilité des écosystèmes et seront abordés dans de futures publications du Recensement de l'environnement. Le tableau 5 présente les intrants, les bénéficiaires et les utilisateurs de chaque service dont il est question dans la présente partie.

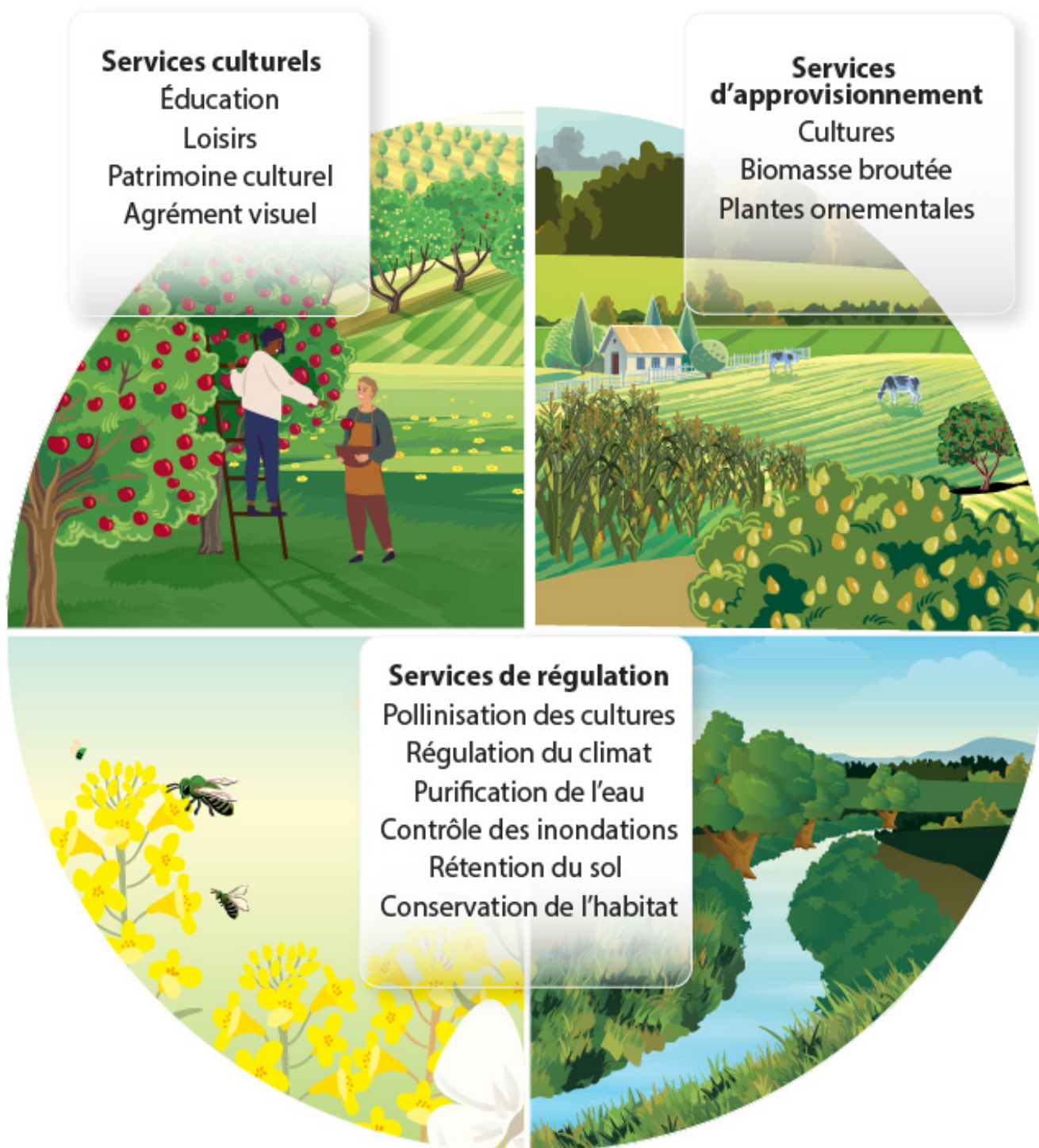
Il existe plusieurs options pour modéliser les services écosystémiques. La modélisation précise des services écosystémiques pose un défi, car ils résultent de processus écologiques complexes à de multiples échelles. Les données empiriques nécessaires pour étalonner et valider les modèles de services écosystémiques à l'échelle nationale ne sont pas facilement accessibles dans la plupart des cas (Bennett et coll., 2009; Thierry et coll., 2021).

Des logiciels de modélisation libres, dont ARIES (Artificial Intelligence for Environment and Sustainability), mis au point par un réseau international de scientifiques) et InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs, conçu par le Natural Capital Project), offrent des occasions de cartographier et de quantifier les services écosystémiques (Sharp et coll., 2020; Villa et coll., 2014).

ARIES utilise des ensembles de données mondiales pour modéliser le potentiel, la demande et l'offre de plusieurs services différents (Villa et coll., 2014). Cependant, les ensembles de données mondiales sont souvent insuffisamment détaillés pour permettre les analyses à l'échelle nationale, lesquelles nécessitent des ensembles de données nationales et régionales à plus grande résolution. Statistique Canada entreprend actuellement des recherches pour intégrer les ensembles de données canadiens dans la plateforme ARIES. InVEST permet aux utilisateurs d'entrer leurs propres ensembles de données dans ses modèles. Toutefois, les modèles des deux plateformes doivent être étalonnés et validés pour produire des extrants utilisables (Sharp et coll., 2020).

Outre l'utilisation de ces systèmes de modélisation, entre autres, les efforts de recherche continus ont permis d'obtenir des données sur les services écosystémiques à l'échelle mondiale et nationale plus largement disponibles. Les méthodes utilisées pour l'élaboration de comptes des services écosystémiques pour d'autres pays et régions, par exemple le système de comptabilité environnementale INCA (Integrated System for Natural Capital Accounting) de l'Union européenne, offrent également de précieux renseignements (La Notte et coll., 2022).

Figure 2
Description des catégories de services écosystémiques



4.1 Services d'approvisionnement

Les services d'approvisionnement comprennent les flux de biomasse, dont la nourriture, le combustible, les fibres et le bois, ainsi que les flux environnementaux comme l'eau. Ces services d'approvisionnement proviennent des écosystèmes et se rendent jusqu'aux personnes.

Les agroécosystèmes sont des écosystèmes aménagés dans lesquels les apports naturels et anthropiques contribuent à la prestation de services écosystémiques. La proportion d'apports naturels et anthropiques contribuant à l'offre de services dépend de l'intensité de l'aménagement. Selon le SCEE-CE, les estimations des services d'approvisionnement devraient se concentrer sur la partie du service qui peut être attribuée aux écosystèmes (capital naturel) et non au capital humain ou économique (Nations Unies et coll., 2021). Cependant, il recommande le recours aux mesures de substitution lorsque ce n'est pas possible.

Les contributions des écosystèmes à la production de biomasse dans les systèmes agricoles comprennent la pollinisation, la régulation du débit d'eau, la purification de l'eau, la rétention des sols et le maintien de l'habitat. Si l'un de ces services de régulation est déclaré dans les comptes comme faisant partie des services écosystémiques finaux, leur contribution à la production de biomasse doit être retirée du service d'approvisionnement en biomasse, afin d'éviter la double comptabilisation. Le rayonnement solaire et le vent sont des flux abiotiques qui contribuent également à la production de biomasse, mais ne sont pas considérés comme des services écosystémiques (Nations Unies et coll., 2021). Les apports anthropiques comprennent l'épandage d'engrais et l'utilisation de pesticides, l'irrigation, la machinerie (pour le désherbage, le labourage, l'ensemencement, etc.), les combustibles fossiles et le travail humain (Vallecillo Rodriguez et coll., 2019).

4.1.1 Cultures

L'approvisionnement en cultures comprend toute la biomasse végétale, y compris les céréales, les graines, les fruits et les légumes, qui est récoltée dans les agroécosystèmes pour la production d'aliments et de fibres, de fourrage et d'énergie. Les cultures produites en serre sont exclues en raison des contributions limitées qu'elles reçoivent des écosystèmes. Le rendement attribuable à la pollinisation est également exclu si celle-ci est déclarée comme étant un service écosystémique final, afin d'éviter la double comptabilisation.

ARIES a un modèle conçu pour estimer la contribution des écosystèmes à l'approvisionnement en cultures. Le modèle évalue la portion du rendement des cultures directement attribuable aux apports naturels. D'autres essais, ainsi que l'intégration d'ensembles de données nationaux dans ARIES, seraient nécessaires pour utiliser ce modèle pour le Canada.

La biomasse totale récoltée peut servir de mesure de substitution pour ce service. Par exemple, les services d'approvisionnement en cultures ont été déclarés dans le rapport de Statistique Canada sur l'activité humaine et l'environnement en tonnes métriques aux niveaux national et provincial (Statistique Canada, 2021a). En 2021, les agroécosystèmes ont produit 109 millions de tonnes de cultures destinées à l'alimentation humaine et animale et à l'industrie. Les valeurs ont été dérivées des enquêtes sur les grandes cultures et les fruits et légumes de Statistique Canada (tableaux 32-10-0359-01, 32-10-0364-01 et 32-10-0365-01).

Mesures proposées

- **Offre potentielle :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.
- **Demande :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.
- **Offre :**
 - Proportion de la biomasse récoltée attribuable à la contribution de l'écosystème (tonnes/ha) (à l'exclusion de la contribution à la pollinisation, voir la section 4.2.1)
 - Mesure de substitution : Biomasse totale récoltée (tonnes/ha)

4.1.2 Biomasse broutée

L'approvisionnement en biomasse broutée comprend la biomasse végétale qui est broutée par le bétail sur les pâturages ensemencés et les pâturages semi-naturels, ce qui contribue à la croissance des animaux. Dans le cadre du SCEE-CE, la biomasse broutée est considérée comme un service écosystémique final. Les cultures récoltées pour produire du fourrage (p. ex. le foin) sont exclues. Pour éviter la double comptabilisation, la biomasse du bétail n'est pas incluse dans le compte des services d'approvisionnement.

Le rapport sur l'activité humaine et l'environnement a fourni des estimations grossières de l'approvisionnement en biomasse broutée à l'échelle nationale et provinciale (Statistique Canada, 2021a). En 2021, les agroécosystèmes ont produit approximativement 11 millions de tonnes de fourrage pour le bétail en pâturage. Les valeurs de la biomasse ont été calculées en fonction de la production fourragère estimative des pâturages canadiens à l'aide d'estimations de l'unité animale-mois (la quantité de fourrage nécessaire à un animal pour un mois). Les données sur les pâturages cultivés et ensemencés et sur les pâturages naturels ont été tirées du REAG (Statistique Canada, tableau 32-10-0153-01).

Mesure proposée

- **Offre potentielle :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.
- **Demande :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.
- **Offre :**
 - Proportion de biomasse broutée attribuable à la contribution de l'écosystème (tonnes/ha)
 - Mesure de substitution : Biomasse totale broutée (tonnes/ha)

4.1.3 Plantes ornementales

Les plantes ornementales comprennent toutes les plantes cultivées en plein champ qui sont récoltées à des fins ornementales, comme les fleurs coupées et le gazon en plaques. Les fleurs produites en serre sont exclues en raison des contributions limitées qu'elles reçoivent des écosystèmes. Les arbres de Noël le sont également parce qu'ils seront pris en considération dans les comptes sur les forêts.

Pour assurer la compatibilité avec la déclaration d'autres services d'approvisionnement, le poids des plantes ornementales récoltées pourrait être utilisé comme mesure de substitution pour la valeur de ce service. L'Enquête annuelle sur les serres, les pépinières et les gazonnières (EASPG) (Statistique Canada, tableau 32-10-0452-01) est la principale source de données pour cette industrie. Toutefois, les estimations de la production de fleurs coupées cultivées en plein champ fournies par l'enquête portent sur leur dénombrement plutôt que sur leur poids. Le calcul de la production de fleurs coupées en tonnes doit se faire par multiplication en utilisant un coefficient tenant compte du poids des fleurs coupées. Il n'existe actuellement aucune donnée spatiale explicite sur la production de fleurs coupées.

Pour les gazonnières, l'EASPG fournit des données sur les superficies de gazon, mais pas sur les rendements (Statistique Canada, tableau 32-10-0034-01). Une valeur approximative du rendement moyen des gazonnières serait de 73 tonnes par acre⁴, valeur qui peut ensuite être utilisée pour estimer le rendement total des gazonnières en tonnes pour toutes les provinces (Aldino Sod Farms, s.d.; ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, 2022). L'Inventaire annuel des cultures (IAC) inclut le gazon comme couverture terrestre; par conséquent, des données spatialement explicites sont disponibles.

Mesures proposées

- **Offre potentielle :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.

4. Valeur fondée sur un rendement moyen de gazon de 4 100 verges carrées par acre selon le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, et un poids moyen de gazon de 4,5 livres par pied carré selon le site Web d'Aldino Sod Farms.

- **Demande :**

- Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.

- **Offre :**

- Proportion de fleurs cultivées en plein champ et de gazon récoltés attribuable à la contribution de l'écosystème (tonnes/ha)
- Mesure de substitution : Nombre total de fleurs coupées récoltées (nombre et tonnes/ha)
- Mesure de substitution : Quantité totale de gazon récolté (superficie et tonnes/ha)

4.2 Services de régulation et de maintenance

Les services de régulation et de maintenance se rapportent à la capacité d'un écosystème de maintenir ou de réguler les processus biologiques, hydrologiques ou biochimiques. Les services de régulation et de maintenance ont une incidence directe sur les fonctions écosystémiques (Nations Unies et coll., 2021).

Les agroécosystèmes sont particulièrement importants pour fournir des services de régulation aux exploitants agricoles et aux régions avoisinantes à forte densité de population. Ces services comprennent la pollinisation des cultures, la régulation du climat, la purification de l'eau, la régulation des inondations, la rétention des sols et la maintenance de l'habitat.

Les apports naturels et anthropiques contribuent à la fourniture de services écosystémiques de régulation. Il peut être difficile de distinguer la contribution de l'écosystème de la contribution économique.

4.2.1 Pollinisation des cultures

Bon nombre des produits agricoles récoltés au Canada et ailleurs dans le monde sont des fruits et des graines de plantes. Environ 85 % des principales cultures de fruits, de légumes et de semences dans le monde dépendent des animaux pour la pollinisation, à divers degrés (Klein et coll., 2007). Au Canada, les abeilles sont les principaux pollinisateurs, mais ceux-ci comprennent également les guêpes, les mouches, les papillons diurnes et nocturnes, les colibris et les coléoptères (AAC, 2014). Pour certaines cultures, la pollinisation par les animaux est essentielle à la mise à fruit, tandis que pour d'autres, la zoogamie augmente la taille et la qualité des fruits ou permet un mûrissement plus uniforme (tableau 4; Klein et coll., 2007). Plus de 40 types de cultures au Canada dépendent des pollinisateurs dans une certaine mesure pour produire des fruits et des graines (AAC, 2014).

Les abeilles élevées pour la pollinisation commerciale fournissent d'importants services. Cependant, comme l'abeille mellifère et les autres pollinisateurs commerciaux ne sont pas originaires d'Amérique du Nord et que leur gestion représente un coût supplémentaire pour les producteurs, leurs services de pollinisation ne sont pas considérés comme des contributions écosystémiques. Les pollinisateurs sauvages offrent des services de pollinisation gratuits et sont plus efficaces pour polliniser certaines cultures. Il y a 856 espèces d'abeilles indigènes au Canada, dont bon nombre jouent un rôle dans la pollinisation des cultures (Sheffield et coll., 2017).

Cerner les régions du Canada où la demande de pollinisation des cultures n'est pas satisfaite et où l'habitat des pollinisateurs doit être restauré peut donner des résultats positifs tant pour les exploitants agricoles que pour la sécurité alimentaire et la biodiversité (Reilly et coll., 2020). La pollinisation peut être un service intermédiaire ou un service final, selon les indicateurs mesurés. Si la contribution directe de la pollinisation aux rendements des cultures est mesurée, elle peut être déclarée comme un service final (et la portion de contribution doit être retirée du service d'approvisionnement en cultures pour éviter la double comptabilisation) (Nations Unies et coll., 2021).

Il est difficile d'attribuer la prestation de ce service écosystémique à un type d'écosystème particulier parce que les principaux organismes qui fournissent ce service, soit les abeilles, utilisent de nombreux types d'écosystèmes différents comme sources d'alimentation et d'habitat. Bien que les agroécosystèmes soient les principaux utilisateurs des services de pollinisation, ils assurent également des services de pollinisation en fournissant un habitat et de la nourriture aux pollinisateurs. Dans le présent document, les terres cultivées sont considérées comme le fournisseur du service final de pollinisation, tandis que les terres naturelles et semi-naturelles environnantes fournissent un service d'habitat intermédiaire aux terres cultivées.

Il n'existe actuellement aucune donnée spatialement explicite sur les services de pollinisation des cultures qui couvrent tous les agroécosystèmes du Canada. Cependant, d'autres pays et chercheurs ont modélisé la pollinisation à l'échelle nationale et mondiale, et des méthodes similaires pourraient être adoptées. ARIES a plusieurs modèles de pollinisation des cultures (occurrence des pollinisateurs, valeur nette de la pollinisation, excès et déficit de pollinisation). Toutefois, il faudra mener d'autres recherches avant que les données canadiennes puissent être intégrées à la plateforme ARIES.

InVEST fournit également un modèle de pollinisation des cultures qui a été utilisé par certains pays pour créer leurs comptes des services écosystémiques. Le modèle d'InVEST exige un grand volume de données et des caractéristiques détaillées du cycle biologique pour tous les pollinisateurs présents dans un paysage, ce qui complique son utilisation dans un pays aussi vaste que le Canada.

Chaplin-Kramer et ses collaborateurs (2019) ont élaboré un modèle de pollinisation des cultures plus simple pour évaluer les services mondiaux de pollinisation des cultures. Ils ont d'abord estimé le potentiel de pollinisation sauvage en fonction de la superficie de l'habitat des pollinisateurs autour des terres agricoles, en supposant que les pixels agricoles contenant plus de 30 % d'habitats naturels et semi-naturels dans une zone avoisinante de 2 km ont reçu une pollinisation suffisante. Les habitats naturels et semi-naturels comprennent les forêts, les prairies (pâturages non aménagés et semi-naturels), les zones arbustives et les terres humides. La demande de pollinisation a été estimée à l'aide des valeurs de dépendance à la pollinisation des cultures tirées de la documentation (c.-à-d. le pourcentage de réduction du rendement des cultures associé à une pollinisation inadéquate) (tableau 4). Par conséquent, l'étendue des cultures dépendantes des pollinisateurs représente une demande de services. Enfin, l'offre de pollinisation (c.-à-d. la production de cultures dépendantes de la pollinisation) a été calculée en multipliant les valeurs de rendement des cultures ayant un potentiel de pollinisation en raison de leur dépendance à la pollinisation pour déterminer l'offre totale de pollinisation. La méthode de Chaplin-Kramer pour calculer le potentiel, l'offre et la demande de pollinisation pourrait être appliquée à l'aide de données nationales et provinciales sur la couverture terrestre qui cartographient les cultures dépendantes des pollinisateurs et l'habitat naturel. Des chercheurs de l'Université de la Colombie-Britannique et de Conservation de la nature Canada appliquent actuellement ces méthodes pour modéliser les services de pollinisation au Canada (communication personnelle, M. Mitchell, 2023). D'autres recherches sont nécessaires pour déterminer si leurs données pourraient être intégrées au compte des services écosystémiques.

Mesures proposées

- **Offre potentielle :**
 - Étendue des terres cultivées annuelles et pérennes comprenant au moins 30 % de terres naturelles ou semi-naturelles (km) dans un rayon de 2 km
- **Demande :**
 - Étendue des cultures dépendantes des pollinisateurs (km²), selon la dépendance à la pollinisation
- **Offre :**
 - Proportion de la biomasse récoltée attribuable à la pollinisation (kg/ha)

Tableau 4
Cultures dépendantes des pollinisateurs au Canada

Type de culture	Cultures dépendantes des pollinisateurs au Canada et leur niveau de dépendance				Pollinisateurs (connus)
	Faible	Modéré	Élevé	Essentiel	
Légumineuses	Haricot de Lima	Soja Fèves/soles	Abeilles mellifères, bourdons, abeilles solitaires
Légumes	Poivron Tomates	...	Concombre	Citrouille Courge	Abeilles mellifères, bourdons, abeilles solitaires
Fruits	...	Fraises	Pommes Abricots Bleuets Cerises Canneberges Nectarines Pêches Poires Prunes Framboises	Melons	Abeilles mellifères, bourdons, abeilles solitaires, mouches, syrphes
Huiles, semences et graines	Luzerne Catharpe	Canola Graines de moutarde Tournesol	Sarrasin	...	Abeilles mellifères, abeilles solitaires, bourdons, guêpes

... sans objet

Note : Les légumes et le trèfle cultivés pour les semences sont exclus de ce tableau.

Sources : Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2014, *Les insectes pollinisateurs indigènes et l'agriculture au Canada*, https://publications.gc.ca/site/archivee-archived.html?url=https://publications.gc.ca/collections/collection_2014/aac-aa/c/A59-12-2014-fra.pdf (site consulté le 26 octobre 2022); Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. et Tscharntke, T., 2007, Importance of pollinators in changing landscapes for world crops, *Actes de la Royal Society B : biological sciences*, 274(1608), p. 303-313, <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>.

4.2.2 Régulation du climat mondial

La séquestration et le stockage du carbone sont d'importants services écosystémiques finaux qui empêchent le carbone de pénétrer dans l'atmosphère et atténuent les effets des changements climatiques. Dans les systèmes agricoles, les stocks de carbone aérien sont présents dans la végétation pérenne en bordure des champs, des vignobles et des vergers (ECCC, 2020). Le carbone stocké dans les cultures annuelles n'est pas pris en compte parce qu'il est retiré de l'écosystème une fois récolté (Nations Unies et coll., 2021). Le stock de carbone souterrain (c.-à-d. le carbone organique du sol) est stocké dans la MOS.

L'industrie agricole produit des gaz à effet de serre par des procédés comme la combustion de combustibles fossiles, le méthane produit par les ruminants et la décomposition des résidus de culture. Cependant, il est prouvé que l'amélioration du stockage du carbone dans les agroécosystèmes, en particulier dans les sols, pourrait aider les pays à atteindre les cibles nationales de réduction des émissions (AAC, 2020).

Les pratiques de gestion des sols susceptibles d'augmenter le carbone du sol sont celles qui accroissent les intrants organiques, réduisent au minimum la perturbation du sol et diversifient les systèmes de culture. Cela comprend l'agriculture sans labour ou avec un travail minimal du sol, l'ajout d'amendements organiques, la culture de couverture et la culture intercalaire (AAC, 2020). La présence de végétation pérenne indigène (p. ex. bandes enherbées, bandes de graminées) dans les champs peut également avoir des effets bénéfiques sur le stockage du carbone (Van Vooren et coll., 2018; Drexler et coll., 2021). Pour ce qui est du stock de carbone aérien, les possibilités d'accroître le stockage comprennent la production de cultures pérennes et l'intégration de plantes pérennes ligneuses le long des bordures des champs. L'adoption de bon nombre de ces pratiques, surtout dans les Prairies, a contribué à la transformation des sols agricoles canadiens en puits de carbone au cours des dernières décennies (Cerkowniak et coll., 2016).

Le Rapport d'inventaire national (RIN) du Canada fournit des estimations officielles des absorptions nettes de carbone pour la biomasse ligneuse, la matière organique morte et les sols dans les agroécosystèmes. Ces estimations sont publiées annuellement et pourraient être incluses dans un compte des services écosystémiques (voir la section 3.2.1).

D'autres données sur le carbone sont disponibles, y compris à des résolutions spatiales plus fines; toutefois, ces données ne concordent pas avec le RIN, car elles utilisent des méthodes différentes et portent sur des périodes

distinctes. L'Agence spatiale européenne a également produit des ensembles de données mondiales sur la biomasse aérienne (c.-à-d. la biomasse de tous les arbres vivants, y compris ceux qui poussent sur les terres agricoles) pour les années 2010, 2017 et 2018, à une résolution de 250 m (Santoro et Cartus, 2021). Les données à plus fine résolution (250 m) sont plus utiles pour déterminer où des efforts de restauration ou des pratiques de gestion améliorées seraient nécessaires en raison de la faible prestation des services écosystémiques. Toutefois, il faudra d'autres recherches pour évaluer la qualité de ces ensembles de données.

La quantité de carbone que les sols des agroécosystèmes peuvent stocker est limitée. Les limites sont liées à la quantité de carbone que les plantes peuvent fixer (et retourner dans le sol) et à la quantité d'azote qu'elles peuvent absorber (qui est nécessaire pour la formation de la MOS) (Janzen et coll., 2022). La recherche est en cours, mais de nombreuses zones agricoles du Canada n'ont pas atteint leur plein potentiel de stockage du carbone (Smukler, 2019). La FAO a produit des cartes mondiales du potentiel de séquestration du carbone organique dans le sol pour lesquelles le SISCan a fourni des estimations canadiennes. Les cartes estiment les taux de séquestration du carbone dans le sol selon différents scénarios de gestion durable des sols (FAO, 2022).

Mesures proposées

- **Offre potentielle :**
 - Potentiel de séquestration du carbone dans le sol (tonnes/ha)
- **Demande :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.
- **Offre :**
 - Absorption nette de carbone (tonnes)
 - Mesure de substitution : Carbone organique total du sol (kg/ha)
 - Mesure de substitution : Carbone total stocké (tonnes/ha)

4.2.3 Régulation du climat local

Les services de régulation du climat local sont la contribution des écosystèmes à la régulation de la température et des précipitations. Il s'agit d'un service final de plus en plus important parce que les températures estivales moyennes continuent d'augmenter au Canada (ECCC, 2022b). La végétation peut réduire la température de l'air en créant de l'ombre et par la transpiration. L'ombre fournie par la végétation — principalement les arbres — réduit l'apport de rayonnement de courtes longueurs d'onde atteignant le sol. La transpiration est le processus par lequel les plantes utilisent le rayonnement pour évaporer l'eau qui se trouve dans leurs feuilles, réduisant ainsi la quantité de rayonnement disponible pour chauffer l'air environnant (Rahman et Ennos, 2016).

Il est important de noter que les effets de refroidissement des agroécosystèmes sont accrus par l'irrigation, car le rayonnement est utilisé pour évaporer l'eau dans les champs, plutôt que pour réchauffer l'air. En fait, il a été démontré que l'irrigation a une incidence importante sur les températures extrêmes à l'échelle mondiale (Thiery et coll., 2017). Cependant, étant donné que l'irrigation est un apport anthropique, elle ne peut pas être considérée comme une contribution de l'écosystème. Cela limite la contribution des agroécosystèmes à la régulation du climat local.

La modélisation des changements de température par l'ombre et la transpiration est complexe, mais les données sur l'évapotranspiration dans les agroécosystèmes peuvent être utilisées comme mesure de substitution pour cette variable de condition. Bien que l'évapotranspiration comprenne l'eau transpirée par les plantes ainsi que celle qui s'évapore de la surface du sol, la couverture végétale pendant la saison de croissance crée de l'ombrage au sol, limitant ainsi l'évaporation du sol. Des données modélisées sur l'évapotranspiration annuelle moyenne existent pour le Canada à une résolution de 5 km, de 1979 à 2016 (Ressources naturelles Canada, 2019; Wang, 2008). Si les terres irriguées étaient exclues du calcul, cet ensemble de données pourrait être utilisé comme mesure de substitution de l'offre de services de régulation du climat local par les agroécosystèmes.

La demande pour ce service peut être représentée par la population vivant à proximité des agroécosystèmes, qui bénéficierait d'une régulation du climat local. Le Recensement de la population de Statistique Canada recueille des données démographiques détaillées pour divers niveaux géographiques qui pourraient servir à estimer la demande

pour ce service (Statistique Canada, 2023). D'autres recherches sont nécessaires pour déterminer la distance à l'intérieur de laquelle les collectivités à proximité des agroécosystèmes peuvent bénéficier de températures réduites.

Mesures proposées

- **Offre potentielle :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.
- **Demande :**
 - Population vivant à proximité des agroécosystèmes
- **Offre :**
 - Réduction de la température de l'air (degrés Celsius)
 - Mesure de substitution : Évapotranspiration annuelle moyenne (cm)

4.2.4 Purification de l'eau

La purification de l'eau se réfère aux contributions de l'écosystème à la restauration et au maintien de la qualité de l'eau par l'élimination ou la décomposition des polluants. Par exemple, les plantes absorbent les contaminants et les empêchent de s'infiltrer dans les eaux souterraines ou de s'écouler dans les plans d'eau voisins. Les parcelles de végétation pérenne, les zones tampons riveraines et les pâturages semi-naturels sont particulièrement importants pour les services de purification d'eau. Leurs racines profondes et leur longue saison de croissance permettent une plus grande absorption de l'eau et des nutriments. Ces plantes peuvent également aider à améliorer la structure du sol, ce qui accroît la capacité d'infiltration d'eau et réduit le ruissellement (Asbjornsen et coll., 2014). Les sols contribuent également à la purification de l'eau grâce à des processus physiques, chimiques et biologiques. Par exemple, les particules de sol qui lient les contaminants et les microorganismes du sol, comme les bactéries et les champignons, transforment les polluants (Sindelar, 2015).

Dans les agroécosystèmes, les contaminants les plus courants comprennent les nutriments et les pesticides, qui sont appliqués pour favoriser la croissance des cultures. Souvent, les cultures n'absorbent pas la totalité des nutriments appliqués dans les champs en raison d'un épandage excessif ou d'une application inadéquate d'engrais (Drury et coll., 2016). Les nutriments résiduels dans le sol sont vulnérables au lessivage et au ruissellement, ce qui compromet la qualité de l'eau. Des concentrations élevées d'azote et de phosphore dans les plans d'eau peuvent entraîner l'eutrophisation, un phénomène qui influe non seulement sur la biodiversité aquatique, mais aussi sur la qualité de l'eau destinée à la consommation et aux activités récréatives (Bennett et coll., 2001). En 2011, les sols de 28 % des terres agricoles canadiennes contenaient de l'azote résiduel considéré comme présentant un risque élevé de contamination des plans d'eau (Drury et coll., 2016).

Les services de purification d'eau peuvent être évalués en déterminant la quantité de contaminants contenus dans l'eau qui sont retenus et filtrés par l'écosystème. Étant donné que les engrais sont les principaux contaminants de l'eau dans les agroécosystèmes, on utilise souvent la rétention d'azote ou de phosphore (p. ex. tonnes d'azote ou de phosphore enlevées) pour mesurer ce service. Le service peut être considéré comme intermédiaire ou final, d'après le cadre du SCEE-CE selon que le service est fourni aux personnes ou aux écosystèmes.

INVEST offre une option pour modéliser le système de purification d'eau. Son modèle de rapport de distribution des nutriments estime la quantité d'azote ou de phosphore exportée de chaque pixel dans un paysage et soustrait la quantité accumulée dans celui-ci. Le résultat du modèle est la quantité totale d'azote ou de phosphore de chaque pixel exporté vers des plans d'eau. Les pixels qui exportent le moins de nutriments rendent le plus grand nombre de services. D'autres recherches sont nécessaires pour déterminer si ce modèle serait approprié.

La demande de purification d'eau existe dans les régions qui ont recours à l'épandage d'engrais dans le paysage. Les régions où l'agriculture est plus intensive sont susceptibles d'avoir une demande plus élevée pour le service. Les indicateurs de risque de contamination de l'eau par l'azote et par le phosphore élaborés par AAC (voir la section 3.2.2) pourraient représenter la demande pour le service de purification d'eau. Ces indicateurs déterminent les zones agricoles présentant le risque le plus élevé de contamination des eaux de surface par l'azote ou le phosphore, en fonction des propriétés des terres agricoles, du climat, des bassins hydrographiques et des sols

(Drury et coll., 2016). L'apport total d'azote et de phosphore dans les agroécosystèmes pourrait également représenter la demande pour ce service (La Notte et coll., 2021).

La demande de services de purification d'eau pourrait aussi être représentée par la population qui dépend de l'eau propre en aval des zones agricoles (Mitchell et coll., 2021). Les ménages, les municipalités, les exploitants agricoles et les entreprises ont besoin d'eau propre destinée à la consommation, à l'irrigation des champs et aux activités récréatives, entre autres. Le nombre de personnes vivant en aval des agroécosystèmes pourrait servir de mesure de substitution pour déterminer la demande de ces services.

Les pesticides et les coliformes sont d'autres formes de polluants qui présentent un risque pour la qualité de l'eau dans les agroécosystèmes. AAC produit des indicateurs du risque de contamination de l'eau par les pesticides et les coliformes semblables aux indicateurs mentionnés précédemment pour l'azote et le phosphore (Clearwater et coll., 2016). Ces indicateurs du risque de contamination par les pesticides et les coliformes pourraient représenter une demande pour le service de purification d'eau. Il n'existe encore aucun modèle d'estimation de l'offre de ce service pour l'eau contaminée par les pesticides et les coliformes.

Mesures proposées

- **Offre potentielle :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.
- **Demande :**
 - Étendue des zones agricoles classées comme présentant un risque de moyen à très élevé de contamination par l'azote et le phosphore (ha)
 - Apport total d'azote et de phosphore (tonnes)
 - Étendue des zones agricoles classées comme présentant un risque de moyen à très élevé de contamination par les pesticides et les coliformes (ha)
 - Mesure de substitution : Nombre de personnes vivant en aval des agroécosystèmes
- **Offre :**
 - Quantité d'azote et de phosphore retenue par le paysage (kg)
 - Quantité de pesticides et de coliformes retenue par le paysage (kg)

4.2.5 Régulation du débit d'eau

La régulation des débits d'eau est un autre service important de l'écosystème. Les agroécosystèmes régulent les débits d'eau en absorbant et en stockant l'eau, contribuant ainsi à réduire les débits de pointe et à éviter les inondations. Ces services peuvent aider à prévenir les inondations qui causent de graves dommages aux maisons et aux moyens de subsistance.

Plusieurs caractéristiques influent sur la capacité d'infiltration d'eau d'un agroécosystème, comme la texture du sol, la masse volumique apparente, la matière organique du sol, l'activité microbienne et la distribution des racines (Vallecillo Rodriguez et coll., 2019). L'interception des précipitations par la végétation dans les agroécosystèmes contribue également à la régulation du débit d'eau. En général, ce sont les pâturages et les cultures pérennes qui retiennent le plus d'eau dans le sol, ce qui ralentit le débit de l'eau et réduit les dommages causés par les inondations. Le service peut être considéré comme intermédiaire ou final.

Des modèles d'estimation de la demande, du potentiel et de l'offre en matière de lutte contre les inondations ont été élaborés par l'Union européenne pour le projet INCA et pourraient être appliqués aux agroécosystèmes canadiens. Le modèle INCA pour estimer le potentiel de lutte contre les inondations est fondé sur les caractéristiques de la couverture terrestre, du sol, des pentes et de l'imperméabilité. Un modèle canadien du potentiel de lutte contre les inondations tiendrait idéalement compte du drainage par canalisations enterrées dans les terres agricoles, qui peut modifier à la fois le volume des eaux de ruissellement et le parcours de leur écoulement (Kokulan, 2019). Malheureusement, il manque des données nationales sur le drainage par canalisations enterrées, ce qui complique l'intégration au modèle. Le modèle INCA estime la demande de services de lutte contre les inondations en calculant la valeur des actifs économiques (dans ce cas, les terres agricoles et la zone bâtie) situés dans

les plaines inondables. Enfin, l'offre de lutte contre les inondations est évaluée en fonction de la superficie des écosystèmes présentant un potentiel de lutte contre les inondations en amont de la zone de demande (Vallecillo Rodriguez et coll., 2019). Bien qu'elle ne soit pas mesurée dans le modèle INCA, la quantité d'eau de ruissellement retenue par les agroécosystèmes en amont de la zone de demande serait également une mesure importante de l'offre de services de lutte contre les inondations.

Le logiciel de modélisation ARIES élabore actuellement des modèles de lutte contre les inondations, ainsi que de la demande et de l'offre. Ces modèles offrent une autre option pour comptabiliser les services de lutte contre les inondations dans les agroécosystèmes canadiens.

Mesures proposées

- **Offre potentielle :**
 - Étendue des agroécosystèmes capables de retenir le ruissellement (km²)
- **Demande :**
 - Étendue des zones agricoles ou bâties en aval des agroécosystèmes (km²)
- **Offre :**
 - Étendue de la zone présentant un potentiel de lutte contre les inondations en amont de la zone de demande (km²)
 - Quantité d'eau de ruissellement retenue par les agroécosystèmes en amont de la zone de demande (L)

4.2.6 Rétention des sols

La rétention des sols (c.-à-d. la prévention de l'érosion du sol) est un service essentiel dans les agroécosystèmes parce qu'elle maintient la fertilité et la santé des sols et, par conséquent, la productivité des cultures. L'érosion du sol a d'importantes conséquences économiques et écologiques (voir la section 3.1.1 pour obtenir plus de détails).

Les cultures et la végétation pérennes le long des champs et à l'intérieur de ceux-ci (haies, rideaux-abris, bandes de graminées) exercent une action stabilisatrice sur les sols. Les cultures pérennes gardent le sol couvert tout au long de l'hiver et leurs racines profondes améliorent la structure du sol (Asbjornsen et coll., 2014).

Les terres cultivées dans la région de l'Atlantique, dans le sud du Québec et en Ontario sont les plus à risque d'érosion en raison des types de systèmes de culture en place (pommes de terre, maïs et soya sous régie conventionnelle) et des conditions climatiques et topographiques (c.-à-d. précipitations abondantes et paysages en pente) (Lobb et coll., 2016). La mesure des services de rétention des sols peut aider à déterminer les secteurs où la demande pour ce service n'est pas satisfaite et où la gestion est nécessaire.

Les services de rétention des sols peuvent être mesurés en estimant la quantité de sol retenu par le paysage, comparativement à la quantité qui le serait dans un paysage nu. Le service peut être considéré comme intermédiaire ou final selon les indicateurs mesurés. Si la contribution de la rétention des sols à la fonction écosystémique est mesurée, il s'agit d'un service intermédiaire (c.-à-d. flux intraécosystémique). Cependant, si la contribution directe de la rétention des sols à la des sols à l'approvisionnement des cultures doit être isolée et retirée du service d'approvisionnement en cultures, afin d'éviter la double comptabilisation (Nations Unies et coll., 2021; La Notte et coll., 2021).

InVEST et ARIES proposent tous deux des modèles qui estiment l'offre de rétention des sols. Les deux modèles utilisent l'équation universelle révisée des pertes de sol (RUSLE), un modèle largement utilisé pour estimer l'érosion hydrique à l'échelle régionale et nationale (Wall et coll., 2002). Le modèle de rapport de distribution des sédiments d'InVEST estime la quantité de sol exportée annuellement et soustrait la quantité retenue par le paysage. La différence entre cette quantité de sédiments exportés et celle qui est exportée par un paysage nu détermine la quantité de services de rétention de sédiments fournis par l'écosystème. Le modèle nécessite plusieurs ensembles de données d'entrée, y compris l'utilisation du sol et la couverture terrestre (c.-à-d. la couverture végétale), l'érosivité de la pluie, ainsi que l'élévation et l'érodibilité du sol (Sharp et coll., 2020). Le modèle de lutte

contre l'érosion du sol d'ARIES produit des estimations biophysiques de la perte et de la rétention des sols à l'aide de méthodes semblables.

L'indicateur de risque d'érosion du sol d'AAC (voir la section 3.1.1) fournit des données liées à ce service, mais il mesure l'érosion du sol et non la rétention. Comme cet indicateur détermine les zones à risque élevé d'érosion du sol, les données pourraient être utilisées pour représenter la demande de services de rétention du sol. De plus, en appliquant une méthode comme le modèle d'InVEST, selon laquelle la quantité totale de sol perdu est soustraite de la quantité de sol qui le serait dans un paysage sans végétation, il pourrait être possible d'estimer la quantité totale de sol retenu par l'écosystème (Lobb et coll., 2016). Des recherches sont en cours afin d'évaluer la méthode la plus appropriée pour comptabiliser ce service.

Mesures proposées

- **Offre potentielle :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.
- **Demande :**
 - Étendue des zones agricoles classées comme présentant un risque de moyen à très élevé d'érosion du sol (km²) selon l'indicateur de risque d'érosion du sol
- **Offre :**
 - Quantité totale de sol retenu par les agroécosystèmes (tonnes/km²)

4.2.7 Maintien de l'habitat

Le paysage agricole diversifié du Canada fournit un habitat à près de 600 espèces d'oiseaux, de mammifères, de reptiles et d'amphibiens, ainsi qu'à des milliers d'arthropodes, de champignons et d'espèces bactériennes (Javorek et coll., 2016). De nombreux types de terres agricoles et de bordures de champs servent d'habitat et de sources de nourriture pour les espèces, fournissant du pollen, du nectar, des insectes, des graines, un refuge et une aire de concentration hivernale à de nombreux organismes (Guiller et coll., 2016; Fahrig et coll., 2011). En tant que gestionnaires de ces paysages, les exploitants agricoles jouent un rôle important dans le maintien de la biodiversité.

Le maintien de l'habitat est considéré comme un service intermédiaire qui contribue aux services d'approvisionnement et de loisirs (c.-à-d. que le maintien de l'habitat pour les pollinisateurs favorise l'approvisionnement en cultures).

AAC a élaboré un indicateur de la capacité d'habitat faunique des terres agricoles dans le cadre de la série de rapports sur les indicateurs agroenvironnementaux. L'indicateur calcule la valeur relative des terres agricoles pour les vertébrés terrestres. Différentes couvertures terrestres sont évaluées en fonction du nombre d'espèces de vertébrés qui utilisent l'habitat pour la reproduction ou l'alimentation (Javorek et coll., 2016). L'indicateur n'est pas immédiatement utilisable pour la mesure du maintien de l'habitat en vertu de ce cadre puisqu'il comprend des couvertures terrestres non agricoles pour tous les polygones des PPC ayant une superficie agricole de plus de 5 %. Soulignons, entre autres limites, le fait que l'indicateur ne tient pas compte de la qualité de l'habitat, qui peut varier considérablement selon les pratiques de gestion agricole. L'indicateur ne comprend pas non plus les insectes, qui sont des organismes importants pour la fonction agroécosystémique. Il faut approfondir les recherches pour déterminer si l'indicateur peut être modifié afin de correspondre aux objectifs de la comptabilité des écosystèmes.

Des mesures comme celles qui ont été suggérées pour la diversité des oiseaux à la section 3.3.1 pourraient également être utilisées comme mesure de substitution pour mesurer les services de maintien de l'habitat. Le calcul de l'indice de diversité de Shannon pour les cultures et de la taille moyenne des parcelles pour les écosystèmes agricoles donnent également une indication du niveau de fourniture et de maintien de l'habitat (voir les sections 3.6.1 et 3.6.2) (Fahrig et coll., 2015; Martin et coll., 2020).

Mesures proposées

- **Offre potentielle :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.

- **Demande :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.
- **Offre :**
 - Superficie de terres agricoles servant d'habitat (km²)
 - Mesure de substitution : Richesse spécifique des oiseaux
 - Mesure de substitution : Indice de diversité de Shannon pour les cultures
 - Mesure de substitution : Superficie moyenne des parcelles agricoles (ha)

4.3 Services culturels

Les services culturels sont les avantages expérientiels et intangibles que les humains tirent de la nature (p. ex. loisirs, éducation) (Nations Unies et coll., 2021). Il s'agit notamment de services liés aux loisirs, de services d'agrément visuel, de services d'éducation, de services scientifiques et de recherche, ainsi que de services spirituels, artistiques et symboliques. Ce ne sont pas seulement les exploitants et les travailleurs agricoles qui bénéficient des services culturels des agroécosystèmes, mais quiconque visite les agroécosystèmes ou interagit avec eux. De nombreux services culturels sont difficiles à comptabiliser à l'échelle nationale, car il est compliqué de tenir compte des diverses valeurs relationnelles que les Canadiennes et Canadiens entretiennent avec la nature.

Ce document propose des méthodes pour prendre en considération quatre services culturels, soit l'éducation et la recherche, les loisirs, le patrimoine culturel et l'agrément visuel. Des travaux sont en cours pour évaluer comment les services culturels pourraient être mieux représentés et pris en considération dans les futurs comptes des agroécosystèmes. D'autres services culturels qui n'ont pas encore été abordés dans le présent document comprennent les relations sociales, l'inspiration, la spiritualité et le sentiment d'appartenance (Huynh et coll., 2022). Il faut mobiliser les organisations agricoles et les groupes autochtones pour déterminer quels services culturels devraient être inclus dans les comptes des services écosystémiques et quelles données et méthodes seraient les plus appropriées pour comptabiliser ces services.

4.3.1 Éducation et recherche

Les agroécosystèmes, en tant que systèmes socio-écologiques complexes, contribuent à de nombreuses activités d'éducation et de recherche partout au Canada. Les possibilités d'éducation offertes par les agroécosystèmes comprennent des visites éducatives à la ferme pour les visiteurs, ainsi que des formations techniques pour les exploitants et les travailleurs agricoles. Les formations techniques peuvent être dispensées par des établissements d'enseignement, des réseaux d'agriculteurs et des organisations non gouvernementales. Le nombre de fermes offrant des visites guidées, le nombre de formations offertes aux exploitants et aux travailleurs agricoles et le nombre de réseaux d'agriculteurs au Canada peuvent tous être des indicateurs potentiels pour ce service.

Les agroécosystèmes offrent également des possibilités de recherche. Un certain nombre d'universités canadiennes possèdent des facultés renommées en sciences agricoles et environnementales. Parmi les domaines de recherche où ces écosystèmes sont utilisés figurent l'agronomie, la science des sols, la microbiologie, l'écologie, l'entomologie, l'hydrologie, les sciences horticoles, la malherbologie, la génomique et la toxicologie.

La proportion de professeurs canadiens qui font de la recherche sur les agroécosystèmes canadiens et le nombre de leurs publications peuvent constituer des indicateurs potentiels pour ce service. Ces renseignements se trouvent sur les sites Web des universités et dans les bases de données des revues spécialisées (p. ex. *Web of Science*).

Mesures proposées

- **Offre potentielle :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.
- **Demande :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.

- **Offre :**

- Nombre de fermes offrant des visites éducatives aux visiteurs
- Nombre de réseaux d'agriculteurs au Canada
- Nombre d'établissements d'enseignement canadiens offrant des diplômes d'études liées aux sciences agricoles
- Nombre de professeurs canadiens menant des recherches sur les agroécosystèmes canadiens
- Nombre d'articles scientifiques publiés par des chercheurs canadiens sur les sciences agricoles au Canada

4.3.2 Loisirs

Les agroécosystèmes offrent de nombreuses possibilités récréatives à la population canadienne. Les systèmes axés sur l'agrotourisme contribuent particulièrement à ce service. Les activités récréatives comprennent la cueillette de fruits et de légumes, l'exploration du labyrinthe de maïs, les visites d'animaux, l'observation d'oiseaux, la marche et la dégustation de vin.

En ce qui a trait aux activités récréatives, le modèle InVEST estime le nombre de jours-personnes d'activités de loisirs dans le paysage à l'aide de photos géolocalisées affichées sur Flickr (Sharp et coll., 2020). Flickr n'est pas aussi populaire que d'autres sites de médias sociaux, comme Facebook et Instagram, et les données ne sont disponibles que de 2005 à 2017, ce qui limite l'efficacité de ce modèle.

Il existe d'autres logiciels qui permettent aux utilisateurs d'analyser des données tirées de sites de médias sociaux. Netlytic est un logiciel d'analyse de textes et de réseaux sociaux qui résume automatiquement les conversations publiques en ligne sur Twitter, YouTube, Reddit, Facebook et Instagram (Netlytic, 2022). Quintly, un logiciel semblable, permet de télécharger et d'analyser des images de médias sociaux (Quintly, 2022). Ces types de logiciels peuvent présenter des occasions d'estimer le nombre de visiteurs des agroécosystèmes par année, mais d'autres recherches sont nécessaires sur les questions de protection de la vie privée et les biais statistiques qui y sont associés.

ARIES propose un modèle de loisirs de plein air fondé sur le caractère naturel de la couverture terrestre et l'accessibilité. Cependant, ce modèle est moins adapté aux écosystèmes aménagés, comme les agroécosystèmes. La partie « accessibilité » du modèle pourrait représenter la demande pour ce service, puisque la population vivant à proximité des agroécosystèmes a accès à des activités récréatives dans ces écosystèmes. Les données démographiques du Recensement de la population de Statistique Canada pourraient servir à estimer la demande pour ce service (Statistique Canada, 2023). Il faut approfondir la recherche pour déterminer quels agroécosystèmes conviennent le mieux aux loisirs, de même que la distance à l'intérieur de laquelle les collectivités à proximité des agroécosystèmes peuvent bénéficier des services récréatifs.

Un autre paramètre qui peut être utilisé pour mesurer ce service est le revenu provenant des activités récréatives à la ferme. Statistique Canada recueille des données sur le revenu agricole tous les deux ans dans le cadre de son Enquête financière sur les fermes; cependant, le revenu tiré des activités récréatives est actuellement regroupé avec d'autres sources de revenus (Statistique Canada, 2021b). Il pourrait être possible de trouver d'autres sources de données pour estimer la portion de ces revenus pouvant être liée aux loisirs.

Le potentiel des agroécosystèmes à fournir des services récréatifs pourrait être estimé à l'aide de mesures comme celles qui ont été suggérées pour la diversité des oiseaux à la section 3.3.1 et qui représentent le potentiel d'observation des oiseaux dans ces écosystèmes. Il faudra poursuivre les recherches pour déterminer d'autres mesures du potentiel récréatif dans les agroécosystèmes.

Mesures proposées

- **Offre potentielle :**

- Richesse spécifique des oiseaux
- Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.

- **Demande :**
 - Population vivant à proximité des agroécosystèmes
- **Offre :**
 - Nombre total de jours ou de visites consacrés aux activités récréatives dans les agroécosystèmes
 - Nombre total de visiteurs des agroécosystèmes à des fins récréatives
 - Revenu provenant des activités récréatives à la ferme

4.3.3 Patrimoine culturel

Les terres dans les agroécosystèmes du Canada sont cultivées depuis longtemps. De nombreuses fermes, valeurs, histoires et traditions ont été transmises de génération en génération et ce patrimoine culturel crée un fort sentiment d'identité au sein des collectivités agricoles du Canada. Cependant, à mesure que le paysage rural du Canada continue de se transformer et que le nombre de petites fermes continue de diminuer (Statistique Canada, 2022a), ce service culturel est susceptible de changer.

Le patrimoine culturel est un service complexe à évaluer, compte tenu de son intangibilité, surtout à l'échelle nationale. Idéalement, ce service écosystémique tiendrait compte des diverses traditions et valeurs culturelles tangibles et intangibles associées aux agroécosystèmes. Des études à plus petite échelle ont utilisé des méthodes participatives, comme des sondages et des entrevues, pour tenter d'estimer ce service (Holleland et coll., 2017). D'autres recherches sont nécessaires pour déterminer si l'ajout de nouvelles questions à une enquête de Statistique Canada serait faisable pour comptabiliser ce service.

Certaines communautés autochtones pratiquent l'agriculture depuis des siècles. En 2016, les exploitants agricoles autochtones représentaient 2 % des exploitants agricoles du Canada et une proportion croissante de la population agricole au pays (Gauthier et White, 2019). Les pratiques, les valeurs et le savoir traditionnels sur la gestion des terres agricoles ont été transmis de génération en génération et représentent un aspect important de la valeur du patrimoine culturel associé aux agroécosystèmes. On manque de données sur le nombre d'exploitations agricoles qui adoptent des pratiques autochtones traditionnelles ou cultivent des plantes indigènes, mais elles pourraient constituer des indicateurs de l'offre de ce service (Arcand et coll., 2020; Hill, 2020). La mobilisation des communautés autochtones est nécessaire à l'élaboration d'autres indicateurs et méthodes appropriés pour comptabiliser ce service.

À l'heure actuelle, le REAG et l'Enquête financière sur les fermes à Statistique Canada comprennent des questions sur la planification de la relève et fournissent des données sur l'héritage planifié des exploitations agricoles (Statistique Canada, tableau 31-10-0244-01; Statistique Canada, 2021b). Cela pourrait représenter une mesure de substitution pour les services liés au patrimoine culturel pendant que la recherche et la mobilisation sur ce service écosystémique sont en cours.

Mesures proposées

- **Offre potentielle :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.
- **Demande :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.
- **Offre :**
 - Nombre d'exploitants agricoles appliquant des pratiques autochtones traditionnelles
 - Nombre de fermes cultivant des plantes indigènes ou culturellement pertinentes
 - Mesure de substitution : Nombre de fermes héritées d'un membre de la famille

4.3.4 Agrément visuel

Le paysage mosaïque des agroécosystèmes peut fournir un service aux populations locales par son attrait visuel (Nations Unies et coll., 2021). Les maisons situées à proximité de terres agricoles peuvent offrir une vue agréable

sur les cultures en plein champ, les pâturages ou les vergers, ce qui peut favoriser un sentiment de bien-être et améliorer la santé mentale (Brady, 2006; Fagerholm et coll., 2016).

Il est difficile de mesurer l'agrément visuel étant donné son intangibilité. Le fait que des groupes de personnes dont l'âge, l'origine ethnique ou les acquis diffèrent, puissent réagir différemment à la vue des mêmes paysages complique encore les choses (Lindemann-Matthies et coll., 2010).

La possibilité qu'un paysage agroécosystémique fournisse un service d'agrément visuel est liée à la condition de l'écosystème. Les paysages agricoles aux cultures et à la végétation variées sous forme de boisés et de haies, qui sont biodiversifiés, pastoraux et moins intensivement aménagés, ont tendance à être plus agréables visuellement (Lindemann-Matthies et coll., 2010). Ainsi, un indicateur fondé sur ces variables de condition peut donner une mesure du potentiel du paysage à fournir des services d'agrément visuel, mais les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.

Une mesure potentielle de l'offre de ce service pourrait être la différence de prix des maisons ayant une vue imprenable sur les terres agricoles par rapport aux prix moyens locaux. Cependant, il est important de noter que certains types d'exploitation agricole peuvent faire baisser les prix des maisons avoisinantes si les niveaux de bruit ou les odeurs sont intrusifs. Il faut approfondir les recherches afin d'élaborer une mesure appropriée pour cette offre de services. Il est difficile d'obtenir d'autres mesures de la jouissance visuelle, mais la mobilisation des collectivités agricoles ou des enquêtes les concernant pourraient fournir ces données.

Mesures proposées

- **Offre potentielle :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.
- **Demande :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.
- **Offre :**
 - Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine.

Tableau 5
Chaînes logiques des services écosystémiques

Services écosystémiques	Niveau d'approvisionnement	Facteurs déterminant la fourniture		Facteurs déterminant l'utilisation	Mesures ou mesures de substitution pour la quantification des services	Avantages	Principaux utilisateurs et bénéficiaires
		Écologiques	Sociétaux				
Approvisionnement							
Cultures	Final	Énergie solaire; fertilité du sol; régulation du débit d'eau; purification de l'eau; rétention du sol; pollinisation; contrôle biologique; habitat pour les organismes fournissant des services	Pratiques de gestion agricole (fertilisation, irrigation, épandage de pesticides, travail du sol, culture de couverture, diversité des cultures, végétation pérenne, etc.)	Demande de cultures	<ul style="list-style-type: none"> • Proportion de la biomasse récoltée attribuable à la contribution de l'écosystème (à l'exclusion de la contribution de la pollinisation) (tonnes/ha) • Mesure de substitution : Biomasse totale récoltée (tonnes/ha) 	Produits végétaux	Exploitants et travailleurs agricoles; ménages
Biomasse broutée	Final	Énergie solaire; fertilité du sol; régulation du débit d'eau; purification de l'eau; retenues des sols	Pratiques de gestion agricole	Demande de bétail	<ul style="list-style-type: none"> • Proportion de la biomasse broutée attribuable à la contribution de l'écosystème (tonnes/ha) • Mesure de substitution : Biomasse totale des pâturages (tonnes/ha) 	Bétail et produits du bétail	Exploitants et travailleurs agricoles; ménages

Tableau 5
Chaînes logiques des services écosystémiques

Services écosystémiques	Niveau d'approvisionnement	Facteurs déterminant la fourniture		Facteurs déterminant l'utilisation	Mesures ou mesures de substitution pour la quantification des services	Avantages	Principaux utilisateurs et bénéficiaires
		Écologiques	Sociétaux				
Plantes ornementales (cultivées en plein champ)	Final	Énergie solaire; fertilité du sol; régulation du débit d'eau; purification de l'eau; retenues des sols	Pratiques de gestion agricole	Demande de fleurs coupées, de gazon et de plantes de pépinières	<ul style="list-style-type: none"> • Proportion de fleurs cultivées en plein champ et de gazon récoltés attribuable à la contribution de l'écosystème (tonnes/ha) • Mesure de substitution : Nombre total de fleurs coupées récoltées (nombre et tonnes/ha) • Mesure de substitution : Quantité totale de gazon récolté (superficie et tonnes/ha) 	Fleurs coupées, gazon et plantes de pépinières	Exploitants et travailleurs agricoles; ménages
Régulation et maintenance							
Pollinisation des cultures	Final ou intermédiaire	Abondance et diversité des pollinisateurs sauvages; étendue et connectivité de la nourriture et de l'habitat des pollinisateurs tout au long de la saison de croissance	Utilisation de produits chimiques agricoles; travail du sol; présence de ruches d'abeilles; diversité des cultures; entretien ou plantation de végétation pérenne	Emplacement des cultures bénéficiant de la pollinisation sauvage	Proportion de la biomasse récoltée attribuable à la pollinisation (kg/ha)	Amélioration du rendement pour certaines cultures; réduction du besoin de services payants pour les pollinisateurs	Exploitants et travailleurs agricoles; ménages; écosystèmes
Régulation du climat mondial	Final	Énergie solaire; type de sol; biote du sol; couverture végétale pérenne; type de végétation	Pratiques actuelles et passées de gestion des sols; émissions de GES; entretien ou plantation de végétation pérenne	Vulnérabilité aux changements climatiques	<ul style="list-style-type: none"> • Absorption nette de carbone (tonnes) • Carbone organique total du sol (tonnes/ha) • Carbone total stocké (tonnes/ha) 	Réduction des concentrations de GES dans l'atmosphère; atténuation des changements climatiques	Utilisés collectivement par le gouvernement pour le compte de la société
Régulation du climat local	Final	Énergie solaire; couverture et type de végétation; précipitations	Irrigation; entretien ou plantation de végétation pérenne	Proximité de l'écosystème; température de l'air	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la température de l'air (degrés Celsius) • Mesure de substitution : Évapotranspiration annuelle moyenne 	Modération des conditions climatiques locales; températures de l'air plus confortables	Exploitants et travailleurs agricoles; ménages; entreprises
Purification de l'eau	Final ou intermédiaire	Couverture et type de végétation; type de sol; capacité d'infiltration d'eau dans le sol; biote du sol	Pratiques de gestion agricole (en particulier les pratiques actuelles et passées de gestion des sols)	Zone à risque d'être contaminée par le ruissellement	<ul style="list-style-type: none"> • Quantité d'azote et de phosphore retenue par le paysage (kg) • Quantité de pesticides et de coliformes retenue par le paysage (kg) 	Amélioration de la qualité de l'eau	Exploitants et travailleurs agricoles; ménages; entreprises; écosystèmes
Régulation du débit d'eau	Final ou intermédiaire	Couverture et type de végétation; type de sol; capacité d'infiltration d'eau dans le sol; biote du sol	Pratiques de gestion agricole (en particulier les pratiques actuelles et passées de gestion des sols)	Zone à risque d'inondation	<ul style="list-style-type: none"> • Étendue de la zone présentant un potentiel de régularisation des crues en amont de la zone de demande (km²) • Quantité de ruissellement retenue par les agroécosystèmes en amont de la zone de demande (L) 	Risque d'inondation plus faible	Exploitants et travailleurs agricoles; ménages; entreprises

Tableau 5
Chaînes logiques des services écosystémiques

Services écosystémiques	Niveau d'approvisionnement	Facteurs déterminant la fourniture		Facteurs déterminant l'utilisation	Mesures ou mesures de substitution pour la quantification des services	Avantages	Principaux utilisateurs et bénéficiaires
		Écologiques	Sociétaux				
Retenue des sols	Final ou intermédiaire	Type de sol; biote du sol; couverture végétale et type	Pratiques de gestion agricole (en particulier les pratiques actuelles et passées de gestion des sols)	Demande de biomasse agricole; emplacement des plans d'eau aménagés menacés par la sédimentation	<ul style="list-style-type: none"> Quantité totale de sol retenu par les agroécosystèmes (tonnes/km²) 	Réduction de l'érosion des sols et préservation de la fertilité des sols	Exploitants et travailleurs agricoles; ménages; entreprises; écosystèmes
Maintien des habitats	Intermédiaire	Étendue et connectivité de la nourriture et de l'habitat tout au long de la saison de croissance	Utilisation de produits chimiques agricoles; travail du sol; entretien ou plantation de végétation pérenne	Demande de services pouvant être fournis par des organismes	<ul style="list-style-type: none"> Superficie de terres agricoles servant d'habitat à la faune (km²) Mesure de substitution : Richesse spécifique des oiseaux Mesure de substitution : Indice de diversité de Shannon pour les cultures Mesure de substitution : Superficie moyenne des parcelles agricoles (ha) 	Maintien de la biodiversité et prestation de services écosystémiques	Tous les écosystèmes; en fin de compte tous les secteurs de la société
Culturel							
Éducation	Final	Condition de l'agroécosystème	Pratiques de gestion agricole; financement des activités d'éducation	Demande de formation de la part des agriculteurs; politiques d'éducation; priorités de recherche; financement	<ul style="list-style-type: none"> Nombre de fermes offrant des visites éducatives aux visiteurs Nombre de réseaux d'agriculteurs au Canada Nombre d'établissements d'enseignement canadiens offrant des diplômes d'études liées aux sciences agricoles Nombre de professeurs canadiens menant des recherches sur les agroécosystèmes canadiens Nombre d'articles scientifiques publiés par des chercheurs canadiens sur les sciences agricoles au Canada 	Développement intellectuel; avancement des connaissances et de la compréhension	Organismes d'enseignement et de recherche; secteur agricole
Loisirs	Final	Condition de l'agroécosystème; présence de points d'intérêt ou d'espèces importants; caractéristiques du paysage	Gestion des fermes, y compris les installations pour favoriser l'accès	Accessibilité des sites agricoles; demande de loisirs de plein air	<ul style="list-style-type: none"> Nombre total de jours ou de visites consacrés aux activités récréatives dans les agroécosystèmes Nombre total de visiteurs des agroécosystèmes à des fins récréatives Revenu provenant des activités récréatives à la ferme 	Amélioration de la santé physique et mentale; plaisir	Ménages; secteur agrotouristique

Tableau 5
Chaînes logiques des services écosystémiques

Services écosystémiques	Niveau d'approvisionnement	Facteurs déterminant la fourniture		Facteurs déterminant l'utilisation	Mesures ou mesures de substitution pour la quantification des services	Avantages	Principaux utilisateurs et bénéficiaires
		Écologiques	Sociétaux				
Patrimoine culturel	Final	Condition de l'agroécosystème	Propriété agricole; pratiques de gestion agricole; semis de cultures importantes sur le plan culturel	Demande de maintien du patrimoine agricole; financement	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre d'agriculteurs appliquant des pratiques autochtones traditionnelles • Nombre de fermes cultivant des cultures indigènes ou culturellement pertinentes • Mesure de substitution : Nombre de fermes héritées d'un membre de la famille 	Amélioration de la santé mentale et d'un sentiment d'appartenance	Ménages
Agrément visuel	Final	Condition de l'agroécosystème; caractéristiques du paysage	Pratiques de gestion agricole	Demande de logements dans les zones agricoles	<ul style="list-style-type: none"> • Les travaux de recherche doivent se poursuivre dans ce domaine. 	Amélioration de la santé mentale; plaisir	Ménages

5. Conclusion

Le présent document décrit le cadre qui est utilisé pour élaborer les comptes de l'étendue, de la condition et des services des écosystèmes relativement aux agroécosystèmes canadiens dans le cadre du Recensement de l'environnement. Les comptes seront créés progressivement, en tenant compte des variables selon la disponibilité, la complexité et l'importance des données. Les méthodes et les ensembles de données seront mis à jour à mesure que les données, les connaissances et les techniques de modélisation s'amélioreront. Les comptes seront également mis à jour régulièrement pour suivre l'évolution de l'étendue, de la condition et des services au fil du temps.

Les comptes des agroécosystèmes présentent une approche structurée pour faire le suivi de la superficie et de l'état des agroécosystèmes ainsi que de leur contribution à notre bien-être. Bien que ces comptes fournissent des renseignements essentiels permettant de relier les données économiques et environnementales pour les décideurs politiques, certains aspects importants des agroécosystèmes échappent à la portée des comptes. L'information sur le régime foncier des terres agricoles ainsi que l'incidence positive des activités humaines sur l'environnement, telles que l'intendance, la gestion et la restauration, ne font pas partie des comptes des écosystèmes, mais peuvent être abordées dans des programmes distincts. Le cadre du SCEE-CE ne traite pas non plus des déservices écosystémiques. Enfin, les données sur les pressions que les agroécosystèmes exercent sur les écosystèmes voisins seront reflétées dans les comptes des écosystèmes touchés (p. ex. forêts, terres humides et eau douce).

Les agroécosystèmes sont des écosystèmes importants qui assurent la sécurité alimentaire, les moyens de subsistance et de nombreux services culturels et de régulation. La surveillance de leur étendue et de leur condition est essentielle à l'économie canadienne et au bien-être de la population. Il est important de déterminer la valeur des services fournis par les agroécosystèmes pour s'assurer qu'ils continuent d'être bien aménagés et maintenus.

6. Glossaire

À l'échelle du paysage : Échelle spatiale qui englobe les processus écologiques ou les aires de dispersion des espèces étudiées.

Associations mycorhiziennes : Associations entre champignons et plantes.

Abiotique : Éléments non vivants de l'environnement.

Actif écosystémique : Espaces contigus d'un type d'écosystème particulier caractérisé par un ensemble distinct de composantes biotiques et abiotiques et leurs interactions.

Biomasse : Masse des organismes vivants.

Caractéristique spectrale : Magnitude de l'énergie qu'un objet réfléchit ou émet sur une plage de longueurs d'onde.

Carbone organique du sol : Fraction de matière organique du sol composée de carbone.

Communauté pédologique : Assemblage d'organismes vivant dans le sol et jouant un rôle dans plusieurs processus écologiques importants.

Compactage du sol : Compression des particules de sol, réduisant l'espace interstitiel entre elles.

Demande de services écosystémiques : Quantité de services requis par une population.

Eutrophisation : Excès de nutriments dans un plan d'eau, entraînant une augmentation de la croissance des plantes et des algues.

Évapotranspiration : Processus combinés d'évaporation de l'eau à partir des surfaces du sol et de transpiration des plantes dans l'atmosphère.

Fixation : Processus par lequel un composé inorganique est converti en composé organique par des organismes vivants.

Habitat naturel et semi-naturel : Toutes les catégories de terrain, à l'exception des lieux habités et des routes, des terres cultivées et de la forêt récoltée.

Indice de végétation par différence normalisée (IVDN) : Différence entre les ondes du proche infrarouge (que les plantes réfléchissent) et la lumière visible (que les plantes absorbent) réfléchies par les plantes — une plante verte et saine réfléchit la majeure partie de la lumière visible qui l'atteint, tandis qu'une plante malade réfléchit plus de lumière visible et moins de lumière proche infrarouge; de faibles valeurs selon l'IVDN peuvent indiquer qu'une plante est malade.

Jachère : Pratique selon laquelle les terres cultivées sont maintenues hors production pendant une saison de croissance régulière par la culture ou des moyens chimiques.

Masse volumique apparente : Poids sec du sol divisé par son volume.

Matière organique du sol : Partie du sol composée de tissus vivants à divers stades de dégradation.

Minéralisation : Décomposition de matière organique libérant des nutriments sous forme végétale.

Modèle adaptatif du bilan hydrique des sols : Modèle de bilan hydrique des sols, continu et déterministe, élaboré par Agriculture et Agroalimentaire Canada; il repose sur la prémisse que l'eau disponible pour la croissance des plantes provient des précipitations ou de l'irrigation, et est perdue par évapotranspiration et ruissellement, ainsi que par drainage latéral et profond.

Modèle CENTURY : Modèle de cycle nutritif des plantes et du sol qui simule la dynamique du carbone et des éléments nutritifs dans un écosystème.

Modèle pour le bilan azoté de l'agriculture : Modèle de l'azote résiduel dans le sol à l'échelle des PPC qui utilise les données climatiques pour calculer la perte d'azote dans les eaux de drainage.

Offre de services écosystémiques : Quantité de services fournis à une population.

Parcelle agricole : Superficie continue de terresensemencées avec une seule culture par une seule ferme.

Pédo-paysages du Canada (PPC) : Polygones de types de sols distincts et leurs attributs partout au Canada; les PPC ont été compilés à une échelle de 1:1 million.

Plante herbacée non graminioïde : Plante à floraison qui n'est pas une herbe, de la laiche ou un jonc.

Porosité du sol : Volume d'espace entre les particules de sol remplies d'eau ou d'air.

Potentiel des services écosystémiques : Capacité d'un écosystème de fournir un service.

Production primaire brute : Taux de conversion de l'énergie en carbone par photosynthèse.

Production primaire nette : Production primaire brute moins la quantité d'énergie utilisée pour le métabolisme et l'entretien de la plante; il s'agit de la quantité de biomasse produite.

Respiration : Vitesse à laquelle le CO₂ est libéré du sol.

Rudéral : Se dit des espèces végétales qui colonisent les sites perturbés par l'activité humaine.

Science citoyenne : Participation du public à la recherche scientifique.

Séquençage à haut débit : Technologies qui séquençent rapidement l'ADN et l'ARN à l'aide de méthodes rentables.

Service final : Service écosystémique dont les humains bénéficient directement.

Texture du sol : Proportions de particules de sable, de limon et d'argile qui composent le sol.

Topographie : Caractéristiques de la surface de la Terre.

Travail du sol : Préparation du sol agricole par des moyens mécaniques.

Zone bâtie : Zone qui comporte principalement des chaussées, des bâtiments, des milieux urbains et des sites industriels, à une résolution de 30 m ou plus.

7. Bibliographie

Abdalla, M., Hastings, A., Cheng, K., Yue, Q., Chadwick, D., Espenberg, M., Truu, J., Rees, R.M. et Smith, P. 2019. [A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity](https://doi.org/10.1111/gcb.14644), *Global change biology*, 25(8), p. 2530-2543, <https://doi.org/10.1111/gcb.14644>.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2014. [Les pollinisateurs indigènes et l'agriculture au Canada](https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/220208/dq220208d-fra.htm), <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/220208/dq220208d-fra.htm>.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2020. [Émissions de gaz à effet de serre et agriculture](https://agriculture.canada.ca/fr/environnement/gaz-effet-serre), <https://agriculture.canada.ca/fr/environnement/gaz-effet-serre> (site consulté le 26 octobre 2022).

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2021a. [Inventaire annuel des cultures, 2009-2021](https://open.canada.ca/data/fr/dataset/ba2645d5-4458-414d-b196-6303ac06c1c9) [ensemble de données], Division de l'agroclimat, de la géomatique et de l'observation de la Terre, Direction générale des sciences et de la technologie, <https://open.canada.ca/data/fr/dataset/ba2645d5-4458-414d-b196-6303ac06c1c9>.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2021b. [Séries chronologiques d'utilisation des terres, 2000-2020](https://open.canada.ca/data/fr/dataset/fa84a70f-03ad-4946-b0f8-a3b481dd5248) [ensemble de données], Division de l'agroclimat, de la géomatique et de l'observation de la Terre, Direction générale des sciences et de la technologie, <https://open.canada.ca/data/fr/dataset/fa84a70f-03ad-4946-b0f8-a3b481dd5248>.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2021c. [Les rotations de cultures diversifiées permettent d'augmenter les rendements, d'améliorer la santé des sols et de réduire les émissions de gaz à effet de serre](https://agriculture.canada.ca/fr/nouvelles-dagriculture-agroalimentaire-canada/realisations-scientifiques-agriculture/rotations-cultures-diversifiees-permettent-daugmenter-rendements-dameliorer-sante-sols-reduire), <https://agriculture.canada.ca/fr/nouvelles-dagriculture-agroalimentaire-canada/realisations-scientifiques-agriculture/rotations-cultures-diversifiees-permettent-daugmenter-rendements-dameliorer-sante-sols-reduire> (site consulté le 14 octobre 2022).

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2021d. [Rotations des cultures au Canada](https://open.canada.ca/data/fr/dataset/31226205-3654-4462-b50a-10ba53d7f362) [ensemble de données], Division de l'agroclimat, de la géomatique et de l'observation de la Terre, Direction générale des sciences et de la technologie, <https://open.canada.ca/data/fr/dataset/31226205-3654-4462-b50a-10ba53d7f362>.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2022. [Pourcentage d'humidité normale du sol](https://open.canada.ca/data/fr/dataset/ee7e9a50-f1cb-4cc0-87ad-6f0cc5227756) [ensemble de données], Division de l'agroclimat, de la géomatique et de l'observation de la Terre, Direction générale des sciences et de la technologie, <https://open.canada.ca/data/fr/dataset/ee7e9a50-f1cb-4cc0-87ad-6f0cc5227756>.

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2023. [Observatoire canadien de la biodiversité des sols](https://sis.agr.gc.ca/siscan/biome/index.html), <https://sis.agr.gc.ca/siscan/biome/index.html> (site consulté le 29 mars 2023).

Aiken, G. E. 2019. [Grazing Management Options for Maintaining Optimum Pasture Composition and Utilization](https://uknowledge.uky.edu/igc/23/keynote/6/) [discours thème], The XXIII International Grassland Congress, New Delhi, Inde, <https://uknowledge.uky.edu/igc/23/keynote/6/>.

Aldino Sod Farms. s.d.. [F.A.Q. et Tips from the Pros](https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/220208/dq220208d-fra.htm) (FAQ et conseils de professionnels), <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/220208/dq220208d-fra.htm> (site consulté le 26 novembre 2022).

Arcand, M. M., Bradford, L., Worme, D. F., Strickert, G. E., Bear, K., Johnston, A. B. D., Wuttunee, S.M., Gamble, A. et Shewfelt, D. 2020. [Sowing a way towards revitalizing Indigenous agriculture: Creating meaning from a forum discussion in Saskatchewan, Canada](https://doi.org/10.1139/facets-2020-0004). *Facets*, 5(1), p. 619-641. <https://doi.org/10.1139/facets-2020-0004>

Asbjornsen, H., Hernandez-Santana, V., Liebman, M., Bayala, J., Chen, J., Helmers, M., Ong, C. K. et Schulte, L. A. 2014. [Targeting perennial vegetation in agricultural landscapes for enhancing ecosystem services](#), *Renewable Agriculture and Food Systems*, 29(2), p. 101-125, <https://doi.org/10.1017/S1742170512000385>.

Association pour le commerce biologique du Canada. 2022. [Les produits biologiques au Canada : By the Numbers](#) [ensemble de données]. <https://www.canada-organic.ca/fr/ce-quin-fait/donnees-et-recherche/analyse-de-la-production-bio>.

Bardgett, R. D., Bullock, J. M., Lavorel, S., Manning, P., Schaffner, U., Ostle, N., ... et Shi, H. 2021. Combatting global grassland degradation, *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(10), p. 720-735.

Bennett, E. M., Carpenter, S. R. et Caraco, N. F. 2001. [Human impact on erodible phosphorus and eutrophication: a global perspective: increasing accumulation of phosphorus in soil threatens rivers, lakes, and coastal oceans with eutrophication](#), *Bioscience*, 51(3), p. 227-234, [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0227:HIOEPA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0227:HIOEPA]2.0.CO;2)

Bennett, E. M., Peterson, G. D. et Gordon, L. J. 2009. [Understanding relationships among multiple ecosystem services](#). *Ecology letters*, 12(12), p. 1394-1404, <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01387.x>.

Bock, M.D. 2016. Salinisation du sol, dans R.L. Clearwater, T. Martin et T. Hoppe (eds.), [L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, rapport n° 4](#), p.101-109, Agriculture et Agroalimentaire Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aafc/A22-201-2016-fra.pdf

Borrelli, P., Robinson, D.A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J.E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L. et Ballabio, C. 2020. [Land use and climate change impacts on global soil erosion by water \(2015-2070\)](#), *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(36), p. 21994-22001, <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>

Bowles, T. M., Mooshammer, M., Socolar, Y., Calderón, F., Cavigelli, M. A., Culman, S. W., Deen, W., Drury, C.F., Garcia y Garcia, A., Gaudin, A.C.M., Harkcom, W.S., Lehman, R.M., Osborne, S.L., Roberston, G.P., Salerno, J., Schmer, M.R., Strock, J et Grandy, A. S. 2020. [Long-term evidence shows that crop-rotation diversification increases agricultural resilience to adverse growing conditions in North America](#), *One Earth*, 2(3), p. 284-293. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.02.007>

Brady, E. 2006. [The aesthetics of agricultural landscapes and the relationship between humans and nature](#), *Ethics, Place and Environment*, 9(1), p. 1-19. <https://doi.org/10.1080/13668790500518024>

Cerkowniak, D., McConkey, B.G., Smith, W.N. et Bentham, M. J. 2016. Matière organique du sol, dans R. L. Clearwater, T. Martin et T. Hoppe (eds.), [L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, rapport n° 4](#), p. 90-100, Agriculture et Agroalimentaire Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aafc/A22-201-2016-fra.pdf

Chaplin-Kramer, R., Sharp, R. P., Weil, C., Bennett, E. M., Pascual, U., Arkema, K. K., Brauman, K. A., Bryant, B. P., Guerry, A. D., Haddad, N. M., Hamann, M., Hamel, P., Johnson, J. A., Mandle, L., Pereira, H. M., Polasky, S., Ruckelshaus, M., Shaw, M. R., Silver, J. M., ... Daily, G. C. 2019. [Global modeling of nature's contributions to people](#), *Science*, 366(6462), p. 255-258. <https://doi.org/10.1126/science.aaw3372>.

Cid, M. S. et Brizuela, M. A. 1998. [Heterogeneity in tall fescue pastures created and sustained by cattle grazing](#), *Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives*, 51(6), p. 644-649. <https://doi.org/10.2307/4003606>

Clearwater, R. L., Martin, T. et Hoppe, T. (eds.). 2016. [L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, rapport n° 4](#), Agriculture et Agroalimentaire Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aafc/A22-201-2016-fra.pdf

Commission européenne, Direction générale de l'environnement, Grizzetti, B., Teller, A., Maes, J. 2018. [Mapping and assessment of ecosystems and their services : an analytical framework for mapping and assessment of ecosystem condition in EU](#), Office des publications de l'Union européenne, <https://data.europa.eu/doi/10.2779/055584>.

Conseil canadien pour la conservation des espèces en péril. 2016. [Espèces sauvages 2015 : la situation générale des espèces au Canada](#), Groupe de travail national sur la situation générale. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-public-especes-peril/publications/especes-sauvages-2015.html>

Conseil canadien pour la conservation des espèces en péril. 2021. [Espèces sauvages 2020 : la situation générale des espèces au Canada](#), Groupe de travail national sur la situation générale. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-public-especes-peril/situation-generale/especes-sauvages-2020.html>

- Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. 2022. [Base de données sur les subventions et bourses du CRSNG](https://www.nserc-crsng.gc.ca/ase-oro/index_fra.asp), https://www.nserc-crsng.gc.ca/ase-oro/index_fra.asp (site consulté le 1^{er} avril 2022).
- Cook, I. 2021 [Les éleveurs de bétail, puissants alliés des oiseaux de prairies](https://www.oiseauxcanada.org/les-eleveurs-de-betail-puissants-allies-des-oiseaux-de-prairies), Oiseaux Canada, <https://www.oiseauxcanada.org/les-eleveurs-de-betail-puissants-allies-des-oiseaux-de-prairies> (site consulté le 17 février 2023).
- Davidson, A.M., Fiset, T., Mcnairn, H. et Daneshfar, B. 2017. Detailed crop mapping using remote sensing data (Crop Data Layers), dans Delincé, J. (eds.), [Handbook on Remote Sensing for Agricultural Statistics](https://ncfc.gov.in/publications/p3.pdf), p. 91-129, Global Strategy to improve Agricultural and Rural Statistics (GSARS), <https://ncfc.gov.in/publications/p3.pdf>
- DeLorenzo, M.E., Scott, G.I. et Ross, P.E. 2001. [Toxicity of pesticides to aquatic microorganisms A review](https://doi.org/10.1002/etc.5620200108). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20(1), p. 84-98, <https://doi.org/10.1002/etc.5620200108>.
- Dignac, M. -F., Derrien, D., Barré, P., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., Chevallier, T., Freschet, G. T., Garnier, P., Guenet, B., Hedde, M., Klumpp, K., Lashermes, G., Maron, P.-A., Nunan, N., Roumet, C. et Basile-Doelsch, I. 2017. [Increasing soil carbon storage: Mechanisms, effects of agricultural practices and proxies, A Review](https://doi.org/10.1007/s13593-017-0421-2), *Agronomy for Sustainable Development*, 37(2), 1-27, <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0421-2>.
- Dlamini, P., Chivenge, P. et Chaplot, V. 2016. [Overgrazing decreases soil organic carbon stocks the most under dry climates and low soil ph: A meta-analysis shows](https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.026), *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, p. 258-269, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.026>.
- Drexler, S., Gensior, A. et Don, A. 2021. [Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone](https://doi.org/10.1007/s10113-021-01798-8). *Regional Environmental Change*, 21(3), p. 1-14, <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01798-8>.
- Drury, C.F., Yang, J., De Jong, R., Huffman, T., Reid, K., Yang, X., Bittman S. et Desjardins, R. 2016. Azote résiduel dans le sol, dans Clearwater, R. L., T. Martin et T. Hoppe (eds.) [L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, rapport n° 4](https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aafc/A22-201-2016-fra.pdf). p. 114-120, Agriculture et Agroalimentaire Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aafc/A22-201-2016-fra.pdf
- Environnement et Changement climatique Canada. 2020. [Rapport d'inventaire national 1990-2018 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada](https://publications.gc.ca/site/fra/9.506002/publication.html), Division des inventaires et rapports sur les polluants. <https://publications.gc.ca/site/fra/9.506002/publication.html>
- Environnement et Changement climatique Canada. 2022a. [Ensemble de données nationales sur l'habitat essentiel des espèces en péril – Canada](https://open.canada.ca/data/fr/dataset/47caa405-be2b-4e9e-8f53-c478ade2ca74) [ensemble de données], Service canadien de la faune, <https://open.canada.ca/data/fr/dataset/47caa405-be2b-4e9e-8f53-c478ade2ca74>.
- Environnement et Changement climatique Canada. 2022b. [Changements de la température au Canada](https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateurs-environnementaux/changements-temperature.html), <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateurs-environnementaux/changements-temperature.html> (site consulté le 26 octobre 2022).
- Eurostat. 2022. [Indice des oiseaux des champs](https://agridata.ec.europa.eu/Qlik_Downloads/InfoSheet/Environmental/infoC35.html#:~:text=The%20farmland%20bird%20indicator%20is,the%20overall%20state%20of%20biodiversity), https://agridata.ec.europa.eu/Qlik_Downloads/InfoSheet/Environmental/infoC35.html#:~:text=The%20farmland%20bird%20indicator%20is,the%20overall%20state%20of%20biodiversity (site consulté le 17 février 2023).
- Fagerholm, N., Oteros-Rozas, E., Raymond, C. M., Torralba, M., Moreno, G. et Plieninger, T. 2016. [Assessing linkages between ecosystem services, land-use and well-being in an agroforestry landscape using public participation GIS](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.06.007), *Applied Geography*, 74, p. 30-46. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.06.007>
- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F. G., Crist, T. O., Fuller, R. J., Sirami, C., Siriwardena, G. M., Martin, J.-L. 2011. [Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x), *Ecology Letters*, 14(2), p. 101-112, <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x>.
- Fahrig, L., Girard, J., Duro, D., Pasher, J., Smith, A., Javorek, S., King, D., Lindsay, K. F., Mitchell, S., Tischendorf, L. 2015. [Farmlands with smaller crop fields have higher within-field biodiversity](https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.11.018), *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, p. 219-234, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.11.018>.
- FAO, ITPS, GSBI, SCBD et EC (eds.). 2020. [L'état des connaissances sur la biodiversité des sols - L'état actuel, les enjeux et potentialités, Rapport 2020](https://www.fao.org/documents/card/en/c/CB1929FR), <https://www.fao.org/documents/card/en/c/CB1929FR>.
- FAO. 2018. [Évaluation des ressources forestières mondiales 2020, Termes et définitions](https://www.fao.org/3/I8661FR/i8661fr.pdf), <https://www.fao.org/3/I8661FR/i8661fr.pdf>.
- FAO. 2022. [Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map – SOCseq v.1.1. Technical report](https://doi.org/10.4060/cb9002en), <https://doi.org/10.4060/cb9002en>.

- Fernandes, R. et coll. 2021. [LEAF Toolbox](https://github.com/rfernand387/LEAF-Toolbox/wiki). Centre canadien de télédétection, <https://github.com/rfernand387/LEAF-Toolbox/wiki>.
- FiBL. 2022. [Area data on organic agriculture in Canada 2000-2022](https://statistics.fibl.org/world.html) [ensemble de données], The Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), <https://statistics.fibl.org/world.html>.
- Franke, A.C. et Kotzé, E. 2022. [High-density grazing in southern Africa: Inspiration by nature leads to conservation?](https://doi.org/10.1177/00307270221075), *Outlook on Agriculture*, 51(1), 67-74, <https://doi.org/10.1177/00307270221075>
- Gagnon, P., Sheedy, C., Farenhorst, A., Cessna, A.J., Newlands, N. et McQueen, D.A.R. 2016. Pesticides, dans R. L. Clearwater, T. Martin et T. Hoppe (eds.), *L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, rapport n° 4*, p. 153-165, Agriculture et Agroalimentaire Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aaaf/A22-201-2016-fra.pdf
- Garibaldi, L. A., Oddi, F. J., Miguez, F. E., Bartomeus, I., Orr, M. C., Jobbágy, E. G., Kremen, C., Schulte, L. A., Hughes, A. C., Bagnato, C., Abramson, G., Bridgewater, P., Carella, D. G., Díaz, S., Dicks, L. V., Ellis, E. C., Goldenberg, M., Huaylla, C. A., Kuperman, ... Zhu, C. D. 2020. [Working landscapes need at least 20% native habitat](https://doi.org/10.1111/conl.12773), *Conservation Letters*, 14(2), <https://doi.org/10.1111/conl.12773>.
- Gauthier, N. et White, J. 2019. [Les peuples autochtones et l'agriculture en 2016 : un portrait](https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/96-325-x/2019001/article/00001-fra.htm). Statistique Canada. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/96-325-x/2019001/article/00001-fra.htm>.
- GBIF. 2023. [Page d'accueil du de Système mondial d'informations sur la biodiversité \(GBIF\)](https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/220208/dq220208d-fra.htm), <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/220208/dq220208d-fra.htm> (site consulté le 29 mars 2023).
- [Global Soil Biodiversity Initiative](https://www.globalsoilbiodiversity.org/objectives). 2022. *Objectives*, <https://www.globalsoilbiodiversity.org/objectives> (site consulté le 14 octobre 2022).
- Gough, C. M. 2011. [Terrestrial Primary Production : Fuel for Life](https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/terrestrial-primary-production-fuel-for-life-17567411/), *Nature Education Knowledge* 3(10), p. 28. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/terrestrial-primary-production-fuel-for-life-17567411/>
- Gregory, R. 2006. [Birds as biodiversity indicators for Europe](https://doi.org/10.1111/j.1740-9713.2006.00178.x), *Signification*, 3(3), p. 106-110. <https://doi.org/10.1111/j.1740-9713.2006.00178.x>
- Groupe de travail sur les pédo-paysages du Canada. 2010. [Pédo-paysages du Canada version 3.2](https://sis.agr.gc.ca/siscan/nsdb/slc/v3.2/index.html). [ensemble de données], <https://sis.agr.gc.ca/siscan/nsdb/slc/v3.2/index.html>.
- Guiller, C., Affre, L., Albert, C. H., Tatoni, T. et Dumas, E. 2016. [How do field margins contribute to the functional connectivity of insect-pollinated plants?](https://doi.org/10.1007/s10980-016-0359-9) *Landscape Ecology*, 31(8), p. 1747-1761. <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0359-9>.
- Hatfield, R, E. Sellers, J. Kerr, M. Larrivée. 2020. Site [Bumble Bee Watch](https://doi.org/10.15468/t4rau8) de la Xerces Society (version 1.9) [ensemble de données], United States Geological Survey, <https://doi.org/10.15468/t4rau8>.
- Hengl, T. 2018. [Soil bulk density \(fine earth\) 10 x kg / m-cubic at 6 standard depths \(0, 10, 30, 60, 100 and 200 cm\) at 250 m resolution](https://doi.org/10.5281/zenodo.2525665) (v0.2) [ensemble de données], Zenodo, <https://doi.org/10.5281/zenodo.2525665>.
- Hengl, T. et Gupta, S. 2019. [Soil available water capacity in mm derived for 5 standard layers \(0-10, 10-30, 30-60, 60-100 and 100-200 cm\) at 250 m resolution](https://doi.org/10.5281/zenodo.2629149) (v0.1) [ensemble de données], Zenodo <https://doi.org/10.5281/zenodo.2629149>.
- Hengl, T. et Wheeler, I. 2018. [Soil organic carbon stock in kg/m2 for 5 standard depth intervals \(0-10, 10-30, 30-60, 60-100 and 100-200 cm\) at 250 m resolution](https://doi.org/10.5281/zenodo.2536040) (v0.2) [ensemble de données], Zenodo, <https://doi.org/10.5281/zenodo.2536040>.
- Henry, L., B. Harron et D. Flaten. 1987. *The nature and management of salt-affected land in Saskatchewan. (Nature et gestion des terres halomorphes en Saskatchewan)*, Agriculture Saskatchewan.
- Hill, C. (2020). [Returning the 'three sisters' – corn, beans and squash – to Native American farms nourishes people, land and cultures](https://theconversation.com/returning-the-three-sisters-corn-beans-and-squash-to-native-american-farms-nourishes-people-land-and-cultures-149230), The Conversation. <https://theconversation.com/returning-the-three-sisters-corn-beans-and-squash-to-native-american-farms-nourishes-people-land-and-cultures-149230>. (site consulté le 1 septembre 2023).
- Holleland, H., Skrede, J. et Holmgaard, S. B. 2017. [Cultural heritage and ecosystem services: A literature review](https://doi.org/10.1080/13505033.2017.1342069), *Conservation and Management of Archaeological sites*, 19(3), p. 210-237. <https://doi.org/10.1080/13505033.2017.1342069>.

- Huffman T. et Liu, J. 2016a. Couverture du sol, dans R. L. Clearwater, T. Martin et T. Hoppe (eds.), *L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, rapport n° 4*, p. 53-63, Agriculture et Agroalimentaire Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aaaf/A22-201-2016-fra.pdf
- Huffman, T. et Liu., J. 2016b. Matière organique du sol dans R. L. Clearwater, T. Martin et T. Hoppe (eds.), *L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, rapport n° 4*, p. 90-101, Agriculture et Agroalimentaire Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aaaf/A22-201-2016-fra.pdf
- Huynh, L. T. M., Gasparatos, A., Su, J., Dam Lam, R., Grant, E. I. et Fukushi, K. 2022. [Linking the nonmaterial dimensions of human-nature relations and human well-being through cultural ecosystem services](https://doi.org/10.1126/sciadv.abn8042), *Science Advances*, 8(31), <https://doi.org/10.1126/sciadv.abn8042>.
- Jackson, R. B., Lajtha, K., Crow, S. E., Hugelius, G., Kramer, M. G. et Piñeiro, G. 2017. [The ecology of soil carbon: pools, vulnerabilities, and biotic and abiotic controls](https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054234), *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48(1), p. 419-445. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054234>.
- Janzen, H. H., van Groenigen, K. J., Powlson, D. S., Schwinghamer, T. et van Groenigen, J. W. 2022. [Photosynthetic limits on carbon sequestration in croplands](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115810), *Geoderma*, 416, p. 115810. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115810>.
- Javorek, S.K., Grant, M.C., Fillmore, S. 2016. Habitat faunique, dans R. L. Clearwater,, T. Martin et T. Hoppe (eds.) (2016) *L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, rapport n° 4*, p. 64-73, Agriculture et Agroalimentaire Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aaaf/A22-201-2016-fra.pdf
- Jian, J., Vargas, R., Anderson-Teixeira, K., Stell, E., Herrmann, V., Horn, M., Kholod, N., Manzon, J., Marchesi, R., Paredes, D., Bond-Lamberty, B., 2021, [A restructured and updated global soil respiration database \(SRDB-v5\)](https://doi.org/10.5194/essd-13-255-2021), *Earth System Science Data*, 13(2), p. 255-267, <https://doi.org/10.5194/essd-13-255-2021>
- Keith, D.A., Ferrer-Paris, J.R., Nicholson, E. et Kingsford, R.T. (eds.). 2020. [The IUCN Global Ecosystem Typology 2.0: Descriptive profiles for biomes and ecosystem functional groups](https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.13.en), IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.13.en>
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. et Tscharntke, T. 2007. [Importance of pollinators in changing landscapes for world crops](https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721), *Proceedings of the Royal Society B: Biological sciences*, 274(1608), p. 303-313, <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>.
- Kokulan, V. 2019. [Conséquences environnementales et économiques des réseaux de drainage souterrain au Canada](https://capi-icpa.ca/fr/explorer/ressources/environmental-and-economic-consequences-of-tile-drainage-systems-in-canada/?s=cons%C3%A9quences), Institut canadien des politiques agroalimentaires, <https://capi-icpa.ca/fr/explorer/ressources/environmental-and-economic-consequences-of-tile-drainage-systems-in-canada/?s=cons%C3%A9quences>.
- Krzic, M., Walley, F.L., Diachon, A., Paré, M.C., et Farrell, R.E. (eds.). 2021. [Digging into Canadian soils: An introduction to soil science](https://openpress.usask.ca/soilscience/), Société canadienne de la science du sol, <https://openpress.usask.ca/soilscience/>.
- La Notte, A., Vallecillo Rodriguez, S., Garcia Bendito, E., Grammatikopoulou, I., Czucz, B., Ferrini, S., Grizzetti, B., Rega, C., Herrando, S., Villero, D., Zurbaran Nucci, M. et Maes, J. 2021. [Ecosystem Services Accounting – Part III – Pilot accounts for habitat and species maintenance, on-site soil retention and water purification](https://doi.org/10.2760/707), Office des publications de l'Union européenne, <https://doi.org/10.2760/707>.
- La Notte, A., Vallecillo, S., Grammatikopoulou, I., Polce, C., Rega, C., Zulian, G., Kakoulaki, G., Grizzetti, B., Ferrini, S., Zurbaran-Nucci, M., Garcia Bendito, E., Vysna, V., Paracchini, M. L., et Maes, J. (2022). [The Integrated System for Natural Capital Accounting \(INCA\) in Europe: Twelve lessons learned from Empirical Ecosystem Service Accounting](https://doi.org/10.3897/oneeco.7.e84925), *One Ecosystem*, 7, <https://doi.org/10.3897/oneeco.7.e84925>.
- Lindemann-Matthies, P., Briegel, R., Schüpbach, B. et Junge, X. 2010. [Aesthetic preference for a Swiss alpine landscape: The impact of different agricultural land-use with different biodiversity](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.07.015), *Landscape and Urban Planning*, 98(2), p. 99-109, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.07.015>
- Lobb, D.A, Li, S. et McConkey, B. G. 2016. Érosion du sol, dans R. L. Clearwater, T. Martin et T. Hoppe (eds.) *L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, rapport n° 4*, p. 77-89. Agriculture et Agroalimentaire Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aaaf/A22-201-2016-fra.pdf

- Martin, A. E., Collins, S.J., Crowe, S., Girard, J., Naujokaitis-Lewis, I., Smith, A.C., Lindsay, K., Mitchell, S. et Fahrig, L. 2020. [Effects of farmland heterogeneity on biodiversity are similar to—or even larger than—the effects of farming practices](https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106698), *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 288, p. 106698, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106698>.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. 2022. [La production du gazon en plaques](https://www.ontario.ca/fr/page/la-production-du-gazon-en-plaques), <https://www.ontario.ca/fr/page/la-production-du-gazon-en-plaques> (site consulté le 24 octobre 2022).
- Mitchell, M.G., Schuster, R., Jacob, A.L., Hanna, D.E., Dallaire, C.O., Raudsepp-Hearne, C., ... et Chan, K. M. 2021. [Identifying key ecosystem service providing areas to inform national-scale conservation planning](https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc121), *Environmental Research*, 16, 014038. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc121>
- National Resource Ecology Laboratory. 2007. [Century Model Information](https://www.nrel.colostate.edu/projects/century-model-information), <https://www.nrel.colostate.edu/projects/century-model-information>
- Nations Unies et coll. 2021. [Système de comptabilité économique et environnementale – Comptabilité des écosystèmes, Livre blanc, préédition du texte soumis à édition officielle](https://seea.un.org/ecosystem-accounting), <https://seea.un.org/ecosystem-accounting>.
- Netlytic. 2022. [About](https://netlytic.org/home/?page_id=10834), https://netlytic.org/home/?page_id=10834 (site consulté le 26 octobre 2022).
- Ngai, C., Raimonde, O. et Longley, A. 2019. [Évapotranspiration de la surface terrestre continentale du Canada](https://open.canada.ca/data/fr/dataset/0005301b-624e-4000-8dad-a1a1ac6b46c2), <https://open.canada.ca/data/fr/dataset/0005301b-624e-4000-8dad-a1a1ac6b46c2> (site consulté le 26 octobre 2022).
- Office des normes générales du Canada. 2021. [Systèmes de production biologique – Principes généraux et normes de gestion](https://publications.gc.ca/collections/collection_2020/ongc-cgsb/P29-32-310-2020-fra.pdf). Office des normes générales du Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2020/ongc-cgsb/P29-32-310-2020-fra.pdf.
- Oiseaux Canada. 2022. [Application Web NatureCounts](https://www.naturecounts.ca), <https://www.naturecounts.ca>.
- Pejchar, L., Clough, Y., Ekroos, J., Nicholas, K. A., Olsson, O., Ram, D., Tschumi, M., Smith, H. G. 2018. [Net effects of birds in Agroecosystems](https://doi.org/10.1093/biosci/biy104), *Bioscience*, 68(11), p. 896-904, <https://doi.org/10.1093/biosci/biy104>.
- Quintly. 2022. [Social Media Analytics and competitive benchmarking tool](https://www.quintly.com/), <https://www.quintly.com/> (site consulté le 26 octobre 2022).
- Rahman, M. A. et Ennos, A. R. 2016. [What we know and don't know about the cooling benefits of urban trees](https://www.researchgate.net/publication/303868184_What_we_know_and_don't_know_about_the_cooling_benefits_of_urban_trees), *Trees & Design Action Group*, https://www.researchgate.net/publication/303868184_What_we_know_and_don't_know_about_the_cooling_benefits_of_urban_trees.
- Reid, D.K, Western, W., Rounce, T., Bogdan, D., Churchill, J., van Bochove, E., Thériault, G. et Denault, J.-T. 2016. Phosphore, dans R. L. Clearwater, T. Martin et T. Hoppe (eds.) [L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux, rapport n° 4](https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aafc/A22-201-2016-fra.pdf), p. 131-142, Agriculture et Agroalimentaire Canada. https://publications.gc.ca/collections/collection_2016/aac-aafc/A22-201-2016-fra.pdf
- Reilly, J. R., Artz, D. R., Biddinger, D., Bobiwash, K., Boyle, N. K., Brittain, C., Brokaw, J., Campbell, J. W., Daniels, J., Elle, E., Ellis, J. D., Fleischer, S. J., Gibbs, J., Gillespie, R. L., Gundersen, K. B., Gut, L., Hoffman, G., Joshi, N., Lundin, O. Winfree, R. 2020. [Crop production in the USA is frequently limited by a lack of pollinators](https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0922), *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 287(1931), 20200922, <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0922>.
- Renard, D. et Tilman, D. 2019. [National food production stabilized by crop diversity](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1316-y), *Nature*, 571(7764), p. 257-260, <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1316-y>.
- Running, S., Zhao, M. 2019. [MOD17A3HGF MODIS/Terra Net Primary Production Gap-Filled Annual L4 Global 500 m SIN Grid V006](https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD17A3HGF.006) [ensemble de données], NASA EOSDIS Land Processes DAAC, <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD17A3HGF.006>.
- Sanford, G. R., Jackson, R. D., Booth, E. G., Hedtcke, J. L. et Picasso, V. 2021. [Perenniality and diversity drive output stability and resilience in a 26-year cropping systems experiment](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108071), *Field Crops Research*, 263, 108071, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108071>.
- Santé Canada. 2008. [Rapport concernant les ventes de produits antiparasitaires en 2007 et 2008](https://publications.gc.ca/collections/collection_2014/sc-hc/H111-3-2008-fra.pdf), Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire (ARLA) de Santé Canada, https://publications.gc.ca/collections/collection_2014/sc-hc/H111-3-2008-fra.pdf.
- Santé Canada. 2020. [Rapport sur les ventes de produits antiparasitaires pour 2020](https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-consommation/reports-publications/pesticides-pest-management/corporate-plans-reports/pest-control-products-sales-report.html), Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire de Santé Canada, <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/securite-consommation/reports-publications/pesticides-pest-management/corporate-plans-reports/pest-control-products-sales-report.html>.

Santoro, M., Cartus, O. 2021. [ESA Biomass Climate Change Initiative \(Biomass cci\): Global datasets of forest above-ground biomass for the years 2010, 2017 and 2018 \(V3\)](#) [ensemble de données], NERC EDS Centre for Environmental Data Analysis, <http://dx.doi.org/10.5285/5f331c418e9f4935b8eb1b836f8a91b8>.

Sharp, R., Douglass, J., Wolny, S., Arkema, K., Bernhardt, J., Bierbower, W., Chaumont, N., Denu, D., Fisher, D., Glowinski, K., Griffin, R., Guannel, G., Guerry, A., Johnson, J., Hamel, P., Kennedy, C., Kim, C.K., Lacayo, M., Lonsdorf, E., Mandle, L., Rogers, L., Silver, J., Toft, J., Verutes, G., Vogl, A. L., Wood, S., et Wyatt, K. 2020. [InVEST 3.12.0](#), The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy et Fonds mondial pour la nature. <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>

Sheffield, C. S., Heron, J., Gibbs, J., Onuferko, T. M., Oram, R., Best, L., deSilva, N., Dumesht, S., Pindar, A. et Rowe, G. 2017. [Contribution of DNA barcoding to the study of the bees \(Hymenoptera: Apoidea\) of Canada: Progress to date](#), *The Canadian Entomologist*, 149(6), p. 736-754, <https://doi.org/10.4039/tce.2017.49>.

Sindelar, M. 2015. [Soils Clean and Capture Water](#), <https://www.soils.org/files/ssa/iys/april-soils-overview.pdf> (site consulté le 26 octobre 2022).

Sirami, C., Gross, N., Baillod, A. B., Bertrand, C., Carrié, R., Hass, A., Henckel, L., Miguet, P., Vuillot, C., Alignier, A., Girard, J., Batáry, P., Clough, Y., Violle, C., Giralt, D., Bota, G., Badenhausser, I., Lefebvre, G., Gauffre, B... Fahrig, L. 2019. [Increasing crop heterogeneity enhances multitrophic diversity across agricultural regions](#), *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(33), p. 16442-16447, <https://doi.org/10.1073/pnas.1314788111>.

Smukler, S. 2019. [Managing Canadian Croplands to Maximize Carbon Sequestration and Minimize Other Ecosystem Service Trade-Offs](#), https://capi-icpa.ca/wp-content/uploads/2019/04/2019-02-21-CAPI-land-use-dialogue_Smukler-Paper-WEB-4.pdf.

[Soil BON](#). 2022. <https://geobon.org/bons/thematic-bon/soil-bon/> (site consulté le 14 octobre 2022)..

Sothe, C., Gonsamo, A., Arabian, J., Kurz, W. A., Finkelstein, S. A. et Snider, J. 2022. [Large soil carbon storage in terrestrial ecosystems of Canada](#), *Global Biogeochemical Cycles*, 36, <https://doi.org/10.1029/2021GB007213>.

Statistique Canada. (2022c). [Enquête sur la gestion des fermes](#), https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV_f.pl?Function=getSurvey&SDDS=5044 (site consulté le 20 octobre 2022).

Statistique Canada. (2022d). [Programme d'évaluation de l'état des cultures \(PEEC\)](#), Application cartographique interactive, <https://geoprod.statcan.gc.ca/peec/fr/index> (site consulté le 20 octobre 2022).

Statistique Canada. 2001. [Fermes classées selon les produits certifiés biologiques produits, par province, par région agricole de recensement \(RAR\) et par division de recensement \(DR\) et par subdivision de recensement unifiée \(SRU\), 2001](#), <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/95f0302x/2001001/t/html/01001/4181864-fra.htm> (site consulté le 5 avril 2023).

Statistique Canada. 2021a. [Comptabiliser les changements écosystémiques au Canada, L'activité humaine et l'environnement](#), <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/16-201-x/16-201-x2021001-fra.htm> (site consulté le 8 mars 2022).

Statistique Canada. 2021b. [Enquête financière sur les fermes](#), Enquêtes et programmes statistiques, https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV_f.pl?Function=getSurvey&SDDS=3450 (site consulté le 26 octobre 2022).

Statistique Canada. 2022a. [Recensement de l'agriculture de 2021 du Canada : Une histoire sur la transformation de l'industrie agricole et l'adaptabilité des exploitants agricoles canadiens](#), *Le Quotidien*, <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/220208/dq220208d-fra.htm> (site consulté le 26 octobre 2022).

Statistique Canada. 2022b. [Recensement de l'agriculture : Données spatiales agroenvironnementales \(DSAE\)](#) [ensemble de données], <https://open.canada.ca/data/fr/dataset/83096e57-6584-4a8c-9854-59a49e57fb28> (site consulté le 14 décembre 2022).

Statistique Canada. [Tableau 32-10-0034-01 Estimations de la superficie, des ventes et des reventes de gazon](#) [ensemble de données], <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210003401> (site consulté le 10 novembre 2022).

Statistique Canada. [Tableau 32-10-0153-01 Bétail et volaille sélectionnés, données historiques du Recensement de l'agriculture](#) [ensemble de données], <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210015301> (site consulté le 10 novembre 2022).

Statistique Canada. [Tableau 32-10-0155-01 Certains types de bétail et volailles, données chronologiques du Recensement de l'agriculture](https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210015501&request_locale=fr) [ensemble de données], https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210015501&request_locale=fr (site consulté le 10 novembre 2022).

Statistique Canada. [Tableau 32-10-0162-01 Données historiques du Recensement de l'agriculture](https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210016201) [ensemble de données], <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210016201> (site consulté le 10 novembre 2022).

Statistique Canada. [Tableau 32-10-0212-01 Superficie, production et valeur à la ferme des fruits et légumes biologiques commercialisés](https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210021201) [ensemble de données], <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210021201> (site consulté le 10 novembre 2022).

Statistique Canada. [Tableau 32-10-0244-01 Plan de relève pour l'exploitation agricole, Recensement de l'agriculture, 2021](https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210024401&request_locale=fr) [ensemble de données], https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210024401&request_locale=fr (site consulté le 10 novembre 2022).

Statistique Canada. [Tableau 32-10-0359-01 Estimation de la superficie, du rendement, de la production, du prix moyen à la ferme et de la valeur totale à la ferme des principales grandes cultures, en unités métriques et impériales](https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210035901) (tableau 32-10-0359-01) [ensemble de données], <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210035901> (site consulté le 10 novembre 2022).

Statistique Canada. [Tableau 32-10-0363-01 Produits biologiques, Recensement de l'agriculture, 2021](https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210036301) [ensemble de données], <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210036301> (site consulté le 10 novembre 2022).

Statistique Canada. [Tableau 32-10-0364-01 Superficie, production et valeur à la ferme des légumes commercialisés](https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210036401) [ensemble de données] Extrait le 10 novembre 2022 de <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210036401> (site consulté le 10 novembre 2022).

Statistique Canada. [Tableau 32-10-0365-01 Superficie, production et valeur à la ferme des légumes commercialisés](https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210036501&request_locale=fr) [ensemble de données], https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210036501&request_locale=fr (site consulté le 10 novembre 2022).

Statistique Canada. [Tableau 32-10-0368-01 Produits appliqués sur les terres, fumier et irrigation, Recensement de l'agriculture, 2021](https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210036801) [ensemble de données], <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210036801> (site consulté le 10 novembre 2022).

Statistique Canada. [Tableau 32-10-0414-01 Produits biologiques, Recensement de l'agriculture, 2011 et 2016, inactif](https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210041401&pickMembers%5B0%5D=1.2&cubeTimeFrame.startYear=2011&cubeTimeFrame.endYear=2016&referencePeriods=20110101%2C20160101) [ensemble de données], <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210041401&pickMembers%5B0%5D=1.2&cubeTimeFrame.startYear=2011&cubeTimeFrame.endYear=2016&referencePeriods=20110101%2C20160101> (site consulté le 10 novembre 2022).

Statistique Canada. [Tableau 32-10-0452-01 Estimations de la superficie, la production et les ventes des fleurs coupées cultivées en plein champ](https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210045201&request_locale=fr) [ensemble de données], https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210045201&request_locale=fr (site consulté le 10 novembre 2022).

Swinton, S. M., Lupi, F., Robertson, G. P., Hamilton, S. K. 2007. [Ecosystem Services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.09.020), *Ecological Economics*, 64(2), p. 245-252, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.09.020>.

Tamburini, G., Aguilera, G. et Öckinger, E. 2022. [Grasslands enhance ecosystem service multifunctionality above and below-ground in agricultural landscapes](https://doi.org/10.1111/1365-2664.14302), *Journal of Applied Ecology*, 59(12), p. 3061-3071, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14302>.

Thierry, H., Parrott, L. et Robinson, B. 2021. [Next steps for ecosystem service models: integrating complex interactions and beneficiaries](https://doi.org/10.1139/facets-2020-0116), *FACETS*, 6(1), p. 1649-1669, <https://doi.org/10.1139/facets-2020-0116>.

Thiery, W., Davin, E. L., Lawrence, D. M., Hirsch, A. L., Hauser, M. et Seneviratne, S. I. 2017. [Present-day irrigation mitigates heat extremes](https://doi.org/10.1002/2016JD025740), *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(3), p. 1403-1422, <https://doi.org/10.1002/2016JD025740>.

Tiemann, L. K., Grandy, A. S., Atkinson, E. E., Marin Spiotta, E. et McDaniel, M. D. 2015. [Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem](https://doi.org/10.1111/ele.12453), *Ecology Letters*, 18(8), p. 761-771, <https://doi.org/10.1111/ele.12453>.

- Tripathi, D., Singh, V., Chauhan, D., Prasad, S., Dubey, N. 2014. [Role of Macronutrients in Plant Growth and Acclimation: Recent Advances and Future Prospective](#), dans Ahmad, P., Wani, M., Azooz, M., Phan Tran, LS (eds.), *Improvement of Crops in the Era of Climatic Changes*, p. 197-216, Springer, https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8824-8_8.
- U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service 2005. [National Soil Survey Handbook, title 430-VI. Soil Properties and Qualities \(Part 618\), Available Water Capacity](#) (618.6), <https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/national-soil-survey-handbook>.
- U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 2008. [Soil respiration](#), https://cropwatch.unl.edu/documents/USDA_NRCS_respiration_guide.pdf.
- Vallecillo Rodriguez, S., La Notte, A., Kakoulaki, G., Kamberaj, J., Robert, N., Dottori, F., Feyen, L., Rega, C. et Maes, J. 2019. Ecosystem services accounting. [Part II-Pilot Accounts for Crop and Timber Provision, Global Climate Regulation and Flood Control, 165](#), Office des publications de l'Union européenne. <https://doi.org/10.2760/631588>
- Van Vooren, L., Reubens, B., Ampoorter, E., Broekx, S., Pardon, P., Van Waes, C. et Verheyen, K. 2018. [Monitoring the impact of hedgerows and grass strips on the performance of multiple ecosystem service indicators](#), *Environmental management*, 62(2), p. 241-259. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1043-4>.
- Vandermeer, J. H. 2009. *The ecology of agroecosystems*, Jones & Bartlett Publishers.
- Villa, F., Bagstad, K. J., Voigt, B., Johnson, G. W., Portela, R., Honzák, M. et Batker, D. 2014. [A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment](#), *PloS one*, 9(3), e91001. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091001>.
- Wagg, C., Bender, S.F., Widmer, F. et Van Der Heijden, M.G. 2014. [Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality](#), *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(14), p. 5266-5270 <https://doi.org/10.1073/pnas.1320054111>.
- Wall, G.J., D.R. Coote, E.A. Pringle et I.J. Shelton (eds.). 2002. *RUSLE-CAN – Équation universelle révisée des pertes de sol pour application au Canada : Manuel pour l'évaluation des pertes de sol causées par l'érosion hydrique au Canada*, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, numéro de contribution AAFC/AAC2244F.
- Wang, S. 2008. [Simulation of evapotranspiration and its response to plant water and CO₂ transfer dynamics](#), *Journal of Hydrometeorology*, 9(3), p. 426-443. <https://doi.org/10.1175/2007JHM918.1>
- Weier, J. et Herring, D. 2000. [Measuring Vegetation \(NDVI & EVI\)](#), <https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation> (site consulté le 20 octobre 2022).
- Wilson, L. M. et Hardestry, L. H. 2006. [Targeted Grazing with Sheep and Goats in Orchard Settings](#), dans Launchbaugh, K. (eds.). *Targeted Grazing: A natural approach to vegetation management and landscape enhancement*, American Sheep Industry Association, https://www.webpages.uidaho.edu/rx-grazing/Handbook/Chapter_11_Targeted_Grazing.pdf.
- Yang, J.Y., DeJong, R., Drury, C.F., Huffman, E.C., Kirkwood, V. et Yang, X.M. 2007. [Development of a Canadian Agricultural Nitrogen Budget \(CANB v2.0\) model and the evaluation of various policy scenarios](#), *Canadian Journal of Soil Science*, 87 (numéro special), p. 153-165, <https://doi.org/10.4141/S06-063>.