

GROUPE CSA[MC]

RECHERCHE SUR LES NORMES

Agriculture régénérative au Canada : considérations relatives à la normalisation

janvier 2025

Auteurs

Karina Lopez Ivich, M. Sc., M.A., Institut pour l'IntelliProspérité

Elizabeth Daigle, M. Sc., Institut pour l'IntelliProspérité

Olivia Richardson, M.A., Institut pour l'IntelliProspérité

Ryan Tougas-Cooke, M. Sc., Institut pour l'IntelliProspérité

Michael Twigg, M. Sc., Institut pour l'IntelliProspérité

Grace Kamba, B. Sc. biomed. et B. A. Ps., Institut pour l'IntelliProspérité

Comité consultatif

Asim Biswas, Université de Guelph

Bryan Gilvesy, ALUS Canada

Emma Holmes, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de la Colombie-Britannique

Jordan Sinclair, ALUS Canada

Jury Gualandris, Université de Western Ontario

Ross MacDonald, Régénération Canada

Ana-Maria Tomlinson, Groupe CSA

Rocío Morales Rayas, Groupe CSA

Catherine Tays, Groupe CSA (chargée de projet)

Clause de non-responsabilité

Cette étude a été produite par les auteurs et appartient à l'Association canadienne de normalisation. Elle vise à fournir des renseignements de nature générale sur le sujet traité. Les opinions exprimées dans cette publication sont celles des auteurs et des participants à l'étude. Les auteurs et l'Association canadienne de normalisation ne sauraient être responsables d'aucune perte ni d'aucun dommage pouvant résulter de votre utilisation du contenu de cette publication.

Table des matières

Sommaire 4

1. Introduction 6

2. Méthodes 7

3. Résultats et discussion 8

3.1 Définitions et principes 8

3.1.1 Définitions 8

3.1.2 Principes appliqués à l'exploitation agricole 9

3.1.3 Autres principes de production 11

3.1.4 Principes et concepts à caractère social 13

3.2 Pratiques courantes de l'agriculture régénérative 15

3.2.1 Mise en œuvre régionale au Canada 17

3.3 Résultats courants de l'agriculture régénérative 17

3.3.1 Réduire au minimum les perturbations du sol, maintenir le sol couvert et améliorer la biodiversité des cultures 19

3.4. Évaluation du rendement des principes de l'agriculture régénérative 22

3.4.1 Quantification des effets 25

3.5 Changement de pratiques vers l'agriculture régénérative 25

3.6.1. Obstacles 27

3.6.2 Conditions favorables 30

3.6.3 Mobiliser tous les intervenants dans la transition vers une agriculture régénérative 33

3.7 Normes, protocoles et certifications 35

3.7.1 Lacunes et défis en matière de normalisation 37

4. Conclusion et recommandations 42

Références 45

Annexe A. Pratiques et effets de l'agriculture régénérative au Canada 62

Sommaire

L'agriculture régénérative a le potentiel de stimuler la croissance économique dans le secteur agroalimentaire canadien tout en procurant des avantages environnementaux, économiques et sociaux considérables. Cependant, l'agriculture régénérative reste mal définie au Canada, et son adoption ainsi que son impact sont limités par rapport à d'autres domaines. Sans une définition claire, il est difficile d'élaborer un programme de transition pour l'agriculture régénérative qui comprend un ensemble adéquat de mesures de soutien financier et social ainsi qu'en matière de connaissances. Dans le but de respecter la diversité des pratiques de gestion et des systèmes de production, l'agriculture régénérative est mieux définie par un ensemble de principes qui aident à orienter sa mise en œuvre et ses objectifs.

À partir d'une revue de la littérature et de groupes de discussion réunissant des agriculteurs, des représentants gouvernementaux, des universitaires, des organisations agricoles et d'autres intervenants, ce rapport fait état d'un consensus autour des cinq grands principes de l'agriculture régénérative dans le contexte canadien :

1. Réduire au minimum les perturbations du sol.
2. Maintenir le sol couvert toute l'année.
3. Maintenir des plantes et des racines vivantes dans le sol.
4. Améliorer la biodiversité au-dessus et en dessous du sol.
5. Intégrer les animaux d'élevage. .

Les recherches menées pour ce rapport ont également permis de mettre en lumière les principes et les concepts émergents de l'agriculture régénérative suivants, qui gagnent en popularité, mais qui n'ont pas encore atteint le même niveau de consensus que les cinq principes clés :

- Utilisation efficace des intrants et réduction des intrants synthétiques ;
- Conservation et protection de l'eau ;
- Compréhension du contexte agricole ;
- Amélioration et restauration des paysages naturels ;
- Respect de la vie humaine et non humaine ainsi que de l'environnement.

La recherche a également révélé un débat en cours sur l'inclusion des principes et des concepts à caractère social suivants comme déterminants de l'agriculture régénérative :

- Soutien aux moyens de subsistance des agriculteurs et à la résilience des systèmes alimentaires ;
- Revitalisation, santé et autonomisation des communautés ;
- Renforcement des capacités et transfert des connaissances ;
- Promotion de l'égalité, de la sécurité au travail et des pratiques commerciales équitables.

Ces principes à caractère social sont considérés comme émergents dans le contexte canadien et plus courants sur le plan international. Cependant, le soutien aux moyens de subsistance des agriculteurs et à la résilience des systèmes alimentaires a été mentionné plus fréquemment dans les programmes d'agriculture régénérative nationaux et internationaux. Les partisans de l'inclusion des principes et des concepts à caractère social les ont définis comme faisant partie intégrante de l'agriculture régénérative et ont reconnu leur valeur dans la transition vers un nouveau système alimentaire. D'autres ont estimé que ces principes relevaient de l'agroécologie et ont souligné qu'il était essentiel de mettre l'accent sur les principes liés à la santé des sols pour catalyser les mesures visant à aider les producteurs à mettre en place des systèmes de production dynamiques et régénérateurs. Étant donné que les principes à caractère social sont présents dans les cadres internationaux d'agriculture régénérative, il est important d'examiner leur rôle et leur impact dans une perspective d'harmonisation, compte tenu de la nature exportatrice du secteur agricole canadien et de la nécessité de naviguer entre les terminologies, les normes, les certifications et les cadres internationaux concurrents en matière d'agriculture durable.

Le présent rapport formule cinq recommandations à l'intention des divers organismes qui cherchent à faire progresser un système agroalimentaire régénératif au Canada :

1. **Investir dans des réseaux de partage des connaissances pour faciliter les transitions :** mettre en place des réseaux régionaux diversifiés d'agriculteurs pairs qui partagent leurs ressources.
2. **Élargir l'accès à l'éducation et aux ressources :** accroître l'accès aux services de vulgarisation de l'agriculture régénérative et élaborer des projets de démonstration ou d'autres ressources pratiques.
3. **Explorer des mécanismes de financement novateurs :** atténuer les risques financiers et réviser les programmes de gestion des risques existants pour éliminer les obstacles à la transition vers des pratiques régénératives.
4. **Mettre en œuvre des programmes axés sur les résultats :** élaborer des programmes, assortis de processus appropriés et simplifiés de mesure, de notification et de vérification (MNV), qui rémunèrent les agriculteurs pour les services écosystémiques qu'ils fournissent lorsqu'ils ont recours à des pratiques régénératives.
5. **Promouvoir des normes flexibles et inclusives :** continuer de faire progresser l'accord sur les principes régénératifs grâce à de vastes consultations, notamment avec les agriculteurs, les communautés autochtones et les chaînes de valeur, qui explorent les différences régionales ou entre les systèmes de production et les processus d'amélioration continue.



« Des efforts concertés visant à soutenir le changement des systèmes dans l'ensemble du secteur agroalimentaire sont essentiels pour les systèmes de production à travers le Canada. »

1. Introduction

Au milieu du XX^{e} siècle, la révolution verte a transformé les systèmes agricoles, remodelant les paysages, les économies et les sociétés à travers le monde grâce à l'utilisation de technologies qui ont considérablement accru la productivité agricole [1]. Les systèmes de production sont devenus dépendants des engrais chimiques et des pesticides, des systèmes d'irrigation et des machines, ainsi que de pratiques telles que le labour, les grandes monocultures et les systèmes d'élevage intensif [1], [2]. Ces pratiques et ces technologies agricoles industrielles sont encore courantes au Canada. Elles ont permis d'augmenter la production alimentaire pour une population croissante, de réduire les coûts pour les consommateurs, de créer des occasions d'emploi et d'améliorer la disponibilité des aliments [2]. Malgré ces résultats importants, la révolution verte a également eu des impacts environnementaux imprévus. Les pratiques et les technologies de production industrielle popularisées pendant cette période ont été associées à l'épuisement du capital naturel (p. ex. : les zones boisées, les zones humides et les prairies), à la perte de biodiversité, au ruissellement de produits agrochimiques dans les cours d'eau, à la réduction des habitats naturels et à la dégradation de la santé des sols [2], [3], [4]. La production intensive a également entraîné une augmentation des émissions de gaz à effet de serre (GES) et de l'utilisation d'engrais ; la consommation d'engrais au Canada passant de 1,2 Mt en 1990 à plus de 2,8 Mt en 2022 [5]. Les effets imprévus des pratiques industrielles ont également été largement signalés. L'utilisation de pesticides à large spectre et persistants dans l'environnement, d'herbicides et d'engrais inorganiques a été associée à la pollution et à la perte de biodiversité [1]. Les systèmes de monoculture et les écosystèmes agricoles trop simplifiés manquent de résilience, ce qui les rend vulnérables aux ravageurs, aux maladies et aux changements climatiques [6]. Les machines lourdes et les perturbations répétitives du sol exacerbent le compactage, l'érosion ainsi que la perte de la couche arable, et libèrent du dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère [1], [4]. Le tableau 1 présente certaines des principales pratiques utilisées par l'agriculture industrielle et leurs conséquences involontaires sur l'environnement et la faune sauvage [1]-[6].

Les agriculteurs, les gouvernements et les chaînes de valeur alimentaires ont déjà commencé à travailler pour contrer l'incidence de l'agriculture industrielle au Canada. En guise d'exemples, l'adoption généralisée de pratiques dont l'objectif est la réduction et l'abandon du labour dans les Prairies [5] ainsi que l'augmentation des fonds publics et des fonds provenant de la chaîne de valeur alimentaire destinés à soutenir les agriculteurs dans l'adoption et le maintien de pratiques durables [7]. Des efforts concertés visant à soutenir le changement des systèmes dans l'ensemble du secteur agroalimentaire sont essentiels pour les systèmes de production à travers le Canada.

Pour relever certains des défis environnementaux auxquels le système agroalimentaire canadien est

Tableau 1. Pratiques agricoles industrielles et effets environnementaux potentiels [1]-[6].

Pratiques agricoles industrielles	Effets environnementaux potentiels
Labour	Érosion du sol, compactage du sol, libération de carbone
Engrais synthétiques	Émissions de GES, ruissellement, biodiversité du sol
Pesticides et herbicides chimiques	Pollution, ruissellement, biodiversité
Systèmes de monoculture	Résilience, santé des sols
Élevage intensif/alimentation animale en confinement	Pollution, ruissellement, bien-être animal
Conversion des zones humides en terres agricoles	Perte d'habitat, émissions de GES, résilience
Conversion des zones boisées en terres agricoles	Perte d'habitat, émissions de GES, résilience

confronté, un appel a été lancé en faveur d'une transformation vers un modèle plus durable et plus équitable. De nombreuses approches d'agriculture durable ont vu le jour, mettant également l'accent sur les effets environnementaux et socio-économiques, notamment l'agriculture régénérative, l'agriculture biologique, l'agriculture de conservation des sols, l'intensification durable et l'agroécologie [8]. La transition vers l'agriculture régénérative pourrait soutenir la résilience des écosystèmes et peut répondre à des préoccupations comme l'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de leurs effets [9], [10]. En outre, l'agriculture régénérative pourrait apporter des avantages économiques, comme une gestion optimisée des ressources et des moyens de subsistance durables, tout en respectant les systèmes alimentaires autochtones qui adoptent une approche intégrée pour vivre de manière durable sur les terres [11]. Dans le contexte canadien, la transition vers l'agriculture régénérative pourrait également soutenir la souveraineté alimentaire autochtone, la revitalisation des pratiques alimentaires autochtones et le partage des connaissances autochtones. Bon nombre des principes de l'agriculture régénérative découlent des pratiques agricoles et alimentaires autochtones, et une transition nationale vers l'agriculture régénérative pourrait promouvoir des relations éthiques entre les Autochtones et les non-Autochtones fondées sur la solidarité et la responsabilité [1], [12].

L'absence d'une définition et d'un cadre clairs pour l'agriculture régénérative au Canada crée une confusion et laisse les parties concernées s'interroger sur la manière de soutenir ce type de systèmes ou d'y investir. Par exemple, la vaste portée de l'agriculture régénérative soulève des questions quant aux exigences minimales nécessaires ou aux facteurs déterminants (p. ex., les effets à la ferme, tels que ceux liés à la santé des sols) et aux avantages relatifs. Cette confusion a conduit de nombreux acteurs du secteur privé et du gouvernement à donner la priorité aux pratiques régénératives ayant des effets environnementaux sans tenir compte de la manière dont les politiques et les programmes pourraient également contribuer à des moyens de subsistance durables ainsi qu'au bien-être de la société [9]. Par conséquent, l'objectif principal du présent rapport était de clarifier la portée des principes, des effets et des pratiques de l'agriculture régénérative afin d'éclairer l'élaboration de plans de transition, de stimuler une adoption plus large [13] ainsi que le transfert de connaissances, et de faire progresser l'inclusion des effets régénératifs dans les modèles d'entreprise existants [14]. Le présent rapport explore également le potentiel d'élaboration d'une norme pour l'agriculture régénérative au Canada et passe en revue les principales considérations.

2. Méthodes

La recherche menée dans le cadre du présent rapport comprenait une revue de la littérature et deux groupes de discussion. La revue de la littérature a exploré l'étendue des principes, des effets, des pratiques, des obstacles, des politiques et des outils internationaux et canadiens en matière de mesure, de notification et de vérification (MNV) dans le domaine de l'agriculture régénérative, en veillant à ce que tous les articles internationaux répondent aux critères d'applicabilité

au Canada (p. ex. : région, type de production, contexte politique). La revue a commencé par une analyse initiale de 45 programmes et publications issus de la littérature grise afin de cibler des mots clés. À partir de ces mots clés, une liste de références appropriées a été obtenue en effectuant une recherche dans des bases de données particulières (c.-à-d., Web of Science, SCOPUS, Geobase, CAB Abstracts, CABI Reviews). Une fois cette liste de références obtenue, un processus de sélection systématique a été effectué pour choisir les documents en fonction de critères d'inclusion et d'exclusion prédéfinis. Les documents publiés à partir de 2003 ont été sélectionnés aux fins de la revue. Les données sur les effets produits par des pratiques régénératives particulières (voir l'annexe A) proviennent principalement d'études canadiennes, avec quelques inclusions provenant des États-Unis si les articles répondaient aux critères d'applicabilité pour le Canada. Des critères d'inclusion supplémentaires ont été déterminés à partir d'une analyse des systèmes de production et des conditions climatiques à travers le Canada afin de cibler des systèmes et des emplacements contextuellement similaires aux États-Unis. Les autres zones géographiques n'ont pas été prises en compte dans l'évaluation des effets relatifs à l'adoption de pratiques régénératives afin de garantir que les résultats restent applicables au Canada.

La revue de la littérature a été contextualisée à l'aide de deux groupes de discussion organisés entre mars et mai 2024. Le premier groupe de discussion a réuni sept agriculteurs canadiens et s'est concentré sur la manière dont les producteurs agricoles définissent l'agriculture régénérative, leurs opinions sur la normalisation et les obstacles auxquels ils sont confrontés lorsqu'ils s'engagent dans cette avenue. Ce groupe de discussion a fourni des informations précieuses sur le processus d'adoption et a mis en évidence les occasions de mieux soutenir les agriculteurs dans la transition vers des systèmes agroalimentaires régénératifs. Le deuxième groupe de discussion, composé de 18 représentants du gouvernement, du milieu universitaire, de groupes d'agriculteurs, d'agriculteurs et d'autres groupes pertinents, s'est concentré sur la validation et a demandé aux participants s'ils étaient d'accord avec la portée des principes mis en lumière à travers la revue de la littérature et le premier groupe de discussion. Après avoir discuté des principes avec le groupe, les participants ont engagé une discussion sur les principaux obstacles à l'adoption de l'agriculture régénérative, suivie d'un échange axé sur les solutions à mettre en œuvre pour catalyser l'adoption et l'utilisation durable de l'agriculture régénérative au Canada.

3. Résultats et discussion

3.1 Définitions et principes

3.1.1 Définitions

Au moment de rédiger le présent rapport, l'agriculture régénérative reste définie de manière ambiguë. Il n'existe pas de définition claire et universellement acceptée dans la littérature universitaire ou grise (p. ex. : normes, documents gouvernementaux, notes d'information d'associations et autres rapports) [15], [16]. Cependant, certaines définitions sont plus courantes, comme l'une des premières définitions de l'agriculture régénérative, élaborée dans les années 1980 par Robert Rodale, qui décrit ce concept comme une approche holistique de la gestion agricole où le rendement augmente avec le temps et où la couche arable s'épaissit [17]. D'autres aspects courants de cette définition mettent l'accent sur les améliorations environnementales et sociales, et stipulent que la production devrait avoir peu ou pas d'impact sur l'environnement au-delà des limites de l'exploitation ou du champ [2], [15], [18], [19]. Une autre définition courante dans la littérature est celle de Schreefel et coll., qui ont mené l'une des premières revues universitaires sur l'agriculture régénérative [20] et qui ont proposé une approche commençant par la conservation du sol et évoluant au fil du temps vers la fourniture de nombreux services écosystémiques régulateurs et de soutien, qui améliorent la production alimentaire. Bien que cette définition se limite à la production alimentaire, d'autres définitions prennent en compte la production de fibres, les aliments sains et l'énergie propre [15], [16]. Certaines définitions universitaires ont des interprétations similaires de la réflexion sur le plan des systèmes et de la progression au fil du temps, comme Gremmen [3], qui a évoqué la nature systémique de l'agriculture régénérative et sa capacité à encourager l'innovation continue pour le bien-être environnemental, social, économique et spirituel. La littérature souligne également la pertinence d'intégrer les connaissances des propriétaires



« L'agriculture régénérative vise à produire des aliments d'une manière qui améliore les processus terrestres et naturels. »

fonciers locaux et des communautés autochtones aux connaissances scientifiques établies, en donnant la priorité aux valeurs socioculturelles et relationnelles [1], [16]. À ce titre, Jayasinghe et coll. ont proposé que l'agriculture régénérative soit une *« transdisciplinary approach that integrates local and Indigenous knowledge of landscapes, as well as their management, with established scientific knowledge. It combines a range of adoptable principles with context-specific practices, focusing on soil conservation as the initial step to restore soil health, enhance ecosystem functions, and promote improved socioeconomic outcomes* (approche transdisciplinaire qui intègre les connaissances locales et autochtones des paysages, ainsi que leur gestion, aux connaissances scientifiques établies. Elle combine une série de principes adaptables à des pratiques spécifiques au contexte, en mettant l'accent sur la conservation du sol comme première étape pour en restaurer la santé, améliorer les fonctions des écosystèmes et promouvoir de meilleurs effets socio-économiques) » [16].

Les participants du groupe de discussion des agriculteurs ont défini l'agriculture régénérative comme une agriculture et un élevage en harmonie avec la nature et les quatre processus écosystémiques (réparation, reconstruction, revitalisation et restauration), commençant par la vie dans le sol et s'étendant à toute la vie au-dessus du sol au fil du temps. Cette définition a mis en évidence le fait que l'agriculture régénérative commence par un objectif et s'étend au fil du temps à un système de gestion intégré, certains participants présentant l'agriculture régénérative comme un parcours d'amélioration progressive au fil du temps. D'autres participants ont indiqué que toute définition devrait souligner que l'agriculture régénérative vise à produire des aliments d'une manière qui améliore les processus terrestres et naturels. Les participants des groupes de discussion se sont également demandé si l'agriculture régénérative était fondamentalement différente de l'agriculture durable. Certains ont mentionné que la distinction entre « régénératif » et « durable » risquait de nuire aux progrès dans les deux domaines. Ils ont suggéré que la recherche d'intérêts communs ou l'unification de ces deux mouvements pourrait catalyser l'action.

3.1.2 Principes appliqués à l'exploitation agricole

Il est important de noter que les principes diffèrent des pratiques dans la mesure où les principes offrent des généralisations de plus haut niveau, qui orientent les activités agricoles vers certains objectifs. La revue de la littérature a révélé que les principes directeurs les plus courants pour la mise en œuvre et l'adoption de l'agriculture régénérative étaient les suivants :

1. **Réduire au minimum les perturbations du sol :** cela nécessite l'absence de machines agricoles lourdes, généralement en réduisant ou en éliminant le labour ou le semis direct [2], [18]. Ce principe vise à améliorer la distribution et le cycle des nutriments dans le sol et est essentiel pour en améliorer la santé, la structure, l'activité biologique,

la teneur en matière organique et la séquestration du carbone [1], [4], [16]. Réduire au minimum les perturbations pourrait également limiter l'érosion hydraulique ainsi que celle du sol, ce qui pourrait réduire les coûts et favoriser la résilience lors de conditions météorologiques difficiles [4], [6].

2. **Maintenir le sol couvert toute l'année :** cela implique d'utiliser des plantes, des résidus de culture, des cultures de couverture ou des paillis qui créent une couche protectrice sur le sol [2], [4], [18]. Ce principe a été associé à l'amélioration de la santé du sol, à l'augmentation du carbone et de la matière organique dans le sol [4], à l'amélioration de la fertilité du sol, à la restauration de la biodiversité et à la promotion de la conservation de l'eau [21], [22]. En outre, ce principe améliorera sans doute les fonctions des écosystèmes, notamment en réduisant le compactage, en attirant les insectes utiles, en supprimant les mauvaises herbes, en régulant la température du sol et en augmentant l'infiltration de l'eau [2], [4].
3. **Maintenir des plantes vivantes et des racines vivantes dans le sol :** est réalisable soit en plantant des cultures de couverture après la récolte, en semant des cultures commerciales, soit en utilisant des cultures pérennes qui maintiendront la couverture du sol tout au long de la saison [4]. Ce principe est lié à l'amélioration des fonctions écosystémiques, telles que l'amélioration de la disponibilité des nutriments, la réduction du compactage, l'augmentation du carbone dans le sol, la suppression des mauvaises herbes, la régulation de la température du sol et l'augmentation de la percolation de l'eau [1], [4], [16].
4. **Améliorer la biodiversité au-dessus et en dessous du sol :** c'est le nombre et la fréquence de toutes les formes de vie se trouvant au-dessus et en dessous du sol, y compris les plantes, les insectes, les animaux, les champignons et les micro-organismes [1], [2], [16], [40]. Un exemple courant d'amélioration de la biodiversité est la rotation de cultures diversifiées, qui présente de multiples avantages liés au fonctionnement du sol, tels qu'une résistance et une résilience accrues face aux perturbations, une amélioration de la fertilité du sol, une réduction de l'utilisation des pesticides, une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau et des nutriments ainsi qu'une amélioration des résultats de la production agricole [2], [4], [18], [20].
5. **Intégrer les animaux d'élevage :** consiste à combiner l'élevage avec la culture et l'agroforesterie dans le même paysage. Cela pourrait augmenter le carbone dans le sol, améliorer la santé du sol et diversifier les sources de revenus des producteurs qui adoptent cette pratique [4]. En outre, ce principe implique d'élever les animaux dans des pâturages, de les laisser se déplacer librement et de leur donner une alimentation naturelle [2], [4]. L'élevage industriel est connu pour contribuer aux émissions de méthane, mais il existe également des preuves que le pâturage est préférable du point de vue environnemental (c.-à-d. par rapport à la réduction des émissions et à l'amélioration de la santé du sol) et du bien-être animal [2], [4]. Les agriculteurs ont également constaté que l'adoption de ces types de pratiques permettait de réduire les problèmes de parasites internes et externes [1].

Ces cinq principes ont également fait l'objet d'un large consensus parmi les participants des groupes de discussion, tant lors de la séance consacrée aux agriculteurs que lors de la séance sectorielle plus large. Ces principes sont généralement associés à ceux de la santé des sols, ce qui souligne le lien entre cet aspect et l'agriculture régénérative. À titre d'exemple concret, le *Farm Commitment and Verification Standard* est une norme de la Soil and Climate Initiative (programme de transition vers l'agriculture régénérative), qui comprend les piliers de l'agriculture régénérative suivants [24] :

- Réduire au minimum les perturbations du sol.
- Maintenir des racines vivantes dans le sol toute l'année.
- Maintenir le sol couvert toute l'année.
- Maximiser la diversité au-dessus et en dessous du sol.
- Assurer une intégration appropriée du bétail.
- Réduire les intrants synthétiques.

Le tableau 2 présente quelques exemples d'entreprises et d'organisations canadiennes qui ont adopté les cinq principes et pratiques de l'agriculture régénérative dont il est question dans la présente section.

Tableau 2. Entreprises et organisations qui intègrent les principes et les pratiques de l'agriculture régénérative.

Principe	Programme	Exemples de pratiques
Réduire au minimum les perturbations du sol	▪ Producteurs laitiers du Canada [25] ▪ Regenerative Alberta Living Lab [26] ▪ McCain [27]	▪ Réduction du labour ▪ Aucun labour ▪ Culture pérenne
Maintenir le sol couvert toute l'année	▪ Producteurs laitiers du Canada [25] ▪ Gouvernement de la Saskatchewan [28] ▪ Biological Carbon Canada [29]	▪ Cultures de couverture ▪ Gestion des résidus de culture
Maintenir des plantes vivantes et des racines vivantes dans le sol	▪ General Mills Canada [30] ▪ Regenerative Alberta Living Lab [26] ▪ Biological Carbon Canada [29]	▪ Cultures pérennes et prairies ▪ Cultures de couverture
Améliorer la biodiversité au-dessus et en dessous du sol	▪ Gouvernement de la Saskatchewan [28] ▪ Regenerative Alberta Living Lab [26] ▪ McCain [27]	▪ Rotation des cultures ▪ Culture intercalaire ▪ Cultures de couverture multiespèces ▪ Habitat pour les insectes utiles ▪ Agroforesterie
Intégrer les animaux d'élevage	▪ Producteurs laitiers du Canada [25] ▪ General Mills Canada [30] ▪ McCain [27]	▪ Pâturage ▪ Sylvopastoralisme

3.1.3 Autres principes de production

La recherche a également permis de cerner d'autres principes et concepts associés à l'agriculture régénérative, tant au Canada qu'à l'échelle internationale, dont certains sont de plus en plus courants dans le domaine de l'agriculture régénérative. Bien que les principes émergents suivants n'aient pas fait l'objet d'un consensus aussi large que les cinq principes présentés à la section 3.1.2, il est important d'en tenir compte dans la définition de l'agriculture régénérative :

- **Utilisation efficace des intrants et réduction des intrants synthétiques :** il s'agit de rechercher des solutions naturelles aux problèmes liés aux ravageurs et aux engrais [2], et d'utiliser les intrants de la manière la plus efficace possible lorsque des intrants synthétiques sont nécessaires. L'agriculture régénérative privilégie souvent le fumier animal plutôt que les engrais synthétiques ainsi que la lutte naturelle contre les ravageurs plutôt que les produits chimiques [16]. Limiter l'usage des produits agrochimiques et des pesticides est bénéfique pour le système de production et l'environnement, car cela réduit la contamination des eaux souterraines et de surface, améliore l'efficacité des nutriments, réduit les émissions de GES et améliore la biodiversité et la santé des sols [2].
- **Conservation et protection de l'eau :** ce concept est décrit de nombreuses façons différentes, certaines se rapportant à la capacité du sol à retenir l'eau [31] et d'autres mentionnant la capacité de l'agriculture régénérative à soutenir des effets plus larges relativement à l'eau, tels que la conservation et la régulation [32], [33], ou l'amélioration du cycle de l'eau [18]. Landers et coll. ont indiqué que l'amélioration ou la conservation des ressources en eau était l'une des cinq raisons principales d'adopter l'agriculture régénérative, ce qui témoigne d'un niveau élevé de sensibilisation et de responsabilité à l'égard de ce résultat parmi les praticiens [18]. Du côté de l'industrie, McCain classe l'optimisation de l'utilisation de l'eau au sixième rang de son cadre d'agriculture régénérative et donne des exemples tels que la protection des cours d'eau et la réduction de la pollution des eaux souterraines ou de surface [27].



- **Compréhension du contexte agricole :** il s'agit de déterminer les besoins d'une exploitation agricole dans le contexte régional et du système de production. Ce principe reconnaît que la transition de l'agriculture classique vers l'agriculture régénérative implique de répondre à des demandes concurrentes en matière d'effets environnementaux et économiques dans les systèmes d'utilisation des terres [16], et qu'il est nécessaire de maximiser les synergies et de réduire au minimum les compromis entre les services écosystémiques au sein de l'exploitation agricole et, plus largement, dans le paysage [34].
- **Amélioration et restauration des paysages naturels :** il s'agit de préserver ou de créer des atouts naturels qui pourraient profiter à l'exploitation agricole et à l'écosystème dans son ensemble. Ce principe tient compte du fait que les pratiques agricoles régénératives pourraient contribuer à la régénération de paysages entiers pour favoriser les ressources naturelles, telles que les milieux humides, les zones boisées, les prairies ainsi que les corridors fauniques [40]. Les avantages, qui comprennent la résilience des paysages et l'amélioration de la biodiversité, sont partagés par les agriculteurs et les communautés de la région. Ce type de perspective à l'échelle du paysage intègre différentes stratégies de gestion des terres pour traiter les multiples produits issus de la terre, notamment les aliments, l'énergie, le bois et les services écosystémiques. Cette approche intégrée pourrait faire progresser de nouvelles stratégies visant à améliorer la rentabilité et le rendement environnemental des terres [35]. Ce principe souligne également que les exploitations agricoles s'inscrivent dans des paysages ou des bassins versants et ne sont pas isolées, ce qui signifie que les activités de gestion ont besoin de respecter les limites environnementales [36] et de déterminer les synergies qui favorisent la prestation de multiples services écosystémiques dans un paysage donné [37].
- **Respect de la vie humaine et non humaine ainsi que de l'environnement :** la mise en œuvre de ce principe est possible grâce à l'amélioration du bien-être animal, qui consiste à élever les animaux au pâturage, à les laisser se déplacer librement, à leur donner accès à des espaces extérieurs naturels, à leur permettre de consommer leur régime alimentaire naturel et, d'une manière générale, à les traiter avec humanité [2], [4], [38].

Bon nombre de ces principes émergents font référence aux effets souhaités de l'agriculture régénérative et s'orientent vers une approche plus holistique de la gestion agricole. Le tableau 3 présente quelques exemples d'entreprises et d'organisations qui ont intégré certains de ces principes et concepts émergents dans leurs programmes d'agriculture régénérative.

Tableau 3. Entreprises et organisations intégrant les principes et pratiques de l'agriculture régénérative émergente.

Principe émergent	Programme	Exemples de pratiques
Utilisation efficace des intrants et réduction des intrants synthétiques	▪ Regenerative Alberta Living Lab [26] ▪ McCain [27] ▪ Cargill [23]	▪ Ajout de matière organique ▪ Optimisation des intrants synthétiques ou chimiques ▪ Utilisation de légumineuses
Conservation et protection de l'eau	▪ McCain [27] ▪ Unilever [39]	▪ Cultures de couverture ▪ Cours d'eau et zones tampons gazonnées ▪ Clôtures autour des cours d'eau
Compréhension du contexte agricole	▪ Producteurs laitiers du Canada [25] ▪ Gouvernement de la Saskatchewan [28] ▪ General Mills Canada [30]	▪ Évaluation des besoins spécifiques à l'exploitation ▪ Différenciation régionale
Amélioration et restauration des paysages naturels	▪ Nestlé [40] ▪ McCain [27]	▪ Agroforesterie ▪ Restauration des habitats ▪ Bandes pollinisatrices ▪ Zones tampons de conservation
Respect de la vie humaine et non humaine ainsi que de l'environnement	▪ *Regenerative Organic Certified*® [41] ▪ A Greener World [42]	▪ Garantir la santé et le bien-être des animaux ▪ Élever les animaux au pâturage ▪ Laisser les animaux se déplacer librement ▪ Favoriser les régimes alimentaires naturels

3.1.4 Principes et concepts à caractère social

Le présent rapport a également permis de cerner un ensemble de principes et de concepts à caractère social liés à l'agriculture régénérative, qui étaient plus novateurs que les principes examinés aux sections 3.1.1 et 3.1.2, et qui ont été principalement relevés dans le contexte international. Bien que les principes à caractère social suivants soient moins courants au Canada, ils sont importants pour faciliter une transition équitable et juste dans les systèmes agroalimentaires et devraient être pris en considération dans la perspective de leur harmonisation et d'un accès aux marchés :

- **Soutien aux moyens de subsistance des agriculteurs et à la résilience des systèmes alimentaires :** ce résultat a souvent été retenu comme un effet souhaité de l'agriculture régénérative, mais il était moins courant de considérer ce concept comme un principe. Dans le contexte canadien, le Regenerative Alberta Living Lab (projet de collaboration continue entre agriculteurs, éleveurs et scientifiques de l'Alberta) définit la résilience en termes d'incertitude climatique, tandis que McCain cite la garantie de la résilience des exploitations agricoles comme le premier principe de son *Regenerative Agriculture Framework* (cadre pour une agriculture régénérative) [26], [27]. Aux États-Unis, Field to Market fournit du contenu lié aux moyens de subsistance des agriculteurs et inclut le fait de garantir la viabilité de la production agricole dans sa définition de l'agriculture régénérative [43]. Sur le plan mondial, Sustainable Agriculture Initiative Platform (plateforme d'initiative pour une agriculture durable) inclut le rendement parmi les principes et pratiques clés qui ont inspiré son Global Framework for Regenerative Agriculture (cadre général pour une agriculture régénérative) [44].
- **Revitalisation, santé et autonomisation des communautés :** ce principe a été mis en œuvre de différentes manières dans le domaine de l'agriculture régénérative. Aux États-Unis, Lexicon of Food inclut le soutien au capital humain et social dans ses principes d'agriculture régénérative et met en avant des pratiques telles qu'un plus grand engagement communautaire, la fourniture d'aliments nutritifs pour soutenir des communautés saines et la valorisation du développement de systèmes alimentaires locaux [45]. De même, au Royaume-Uni, Unilever inclut le fait de permettre aux communautés locales

de protéger et d'améliorer leur environnement et leur bien-être comme deuxième principe de son programme d'agriculture régénérative [39]. D'autres recherches soulignent l'importance de créer une plus grande harmonie entre les intervenants de la chaîne de valeur et de promouvoir les liens entre la terre et son patrimoine, ainsi que l'importance d'autonomiser les communautés [46], [47].

- **Renforcement des capacités et transfert des connaissances :** il s'agit de fournir des occasions d'apprentissage, du mentorat ou un soutien au développement de communautés de pratique. Aux États-Unis, Lexicon of Food met cela en œuvre dans le cadre de son principe visant à soutenir le capital humain et social, et offre des possibilités d'éducation et de formation [45], tandis que la Soil and Climate Initiative inclut l'apprentissage continu comme sixième principe de son programme, qui est mis en œuvre par l'intermédiaire d'un programme de mentorat dans le cadre duquel des agriculteurs ayant obtenu des niveaux de certification plus élevés sont jumelés à des agriculteurs plus récents afin de partager leurs expériences et leurs connaissances [24]. Ces deux approches soutiennent le développement de communautés de pratique, une recommandation clé d'Obregon et coll. [46], qui s'appuient sur des réseaux sociaux locaux où les agriculteurs ont la possibilité de partager entre eux les meilleures pratiques en matière d'agriculture régénérative. L'idéal est qu'elles soient organisées par des agriculteurs locaux et soutenues par des réseaux d'acteurs multiples existants afin de stimuler le partage de connaissances et les discussions sur l'agriculture régénérative [46].
- **Promotion de l'égalité, de la sécurité au travail et des pratiques commerciales équitables :** comme dans de nombreux secteurs, ce principe a également fait son apparition dans le domaine de l'agriculture régénérative. Sur le plan international, Danone et le programme de certification *Regenerative Organic Certified*® (ROC, agriculture biologique régénérative) incluent tous deux des principes et des indicateurs concernant les travailleurs agricoles et le travail agricole, qui se traduisent par des conditions de travail positives dans les exploitations agricoles, notamment en matière d'horaires de travail, de santé et de sécurité, d'égalité salariale et de rémunération [41], [48]. Au Canada, le rapport du gouvernement de la Colombie-Britannique sur l'agriculture régénérative et la technologie agricole inclut la santé et le bien-être des agriculteurs, des éleveurs et des travailleurs agricoles dans la portée des objectifs de l'agriculture régénérative. [49]. De plus, le ROC contient des normes à l'intention des acheteurs de produits, qui leur imposent de négocier de manière transparente, de conclure des contrats et de prévoir des paiements équitables ainsi que de soutenir le renforcement des capacités (p. ex., des possibilités de développement des compétences pour les petits producteurs) [41].

L'inclusion de principes à caractère social a été débattue tant au sein des groupes de discussion composés d'agriculteurs que dans ceux représentant l'ensemble du secteur. Si plusieurs participants ont apprécié cette portée inclusive et ont reconnu l'importance de ces principes dans l'agriculture régénérative, ils ont également fait remarquer que les principes à caractère social n'étaient généralement pas intégrés dans les définitions de l'agriculture régénérative. D'autres participants ont indiqué que les effets sociaux n'entraient pas dans la portée, qu'ils étaient trop larges et que leur inclusion signifiait que l'agriculture régénérative essayait d'être trop de choses pour trop de gens. Un sentiment important également est ressorti des discussions : même si certains agriculteurs peuvent être intéressés par les composantes sociales de l'agriculture régénérative, ils ne contrôlent pas toujours les effets sociaux après la sortie de la ferme. La flexibilité et la compréhension des capacités sont essentielles pour garantir que les principes à caractère social ne dissuadent pas ceux qui estiment que ces effets sont hors de leur contrôle de participer à l'agriculture régénérative.

Le tableau 4 présente quelques exemples d'entreprises et d'organisations qui ont intégré certains de ces principes et concepts à caractère social émergents dans leurs programmes d'agriculture régénérative.

Les principes de l'agriculture régénérative ne sont pas statiques, et Gualandris et coll. ont proposé trois nouveaux principes : la proportionnalité, la réciprocité et la polyrythmicité [47]. Ces principes visent à démontrer les changements de paradigme systémiques nécessaires pour assurer une transition efficace vers un

Tableau 4. Entreprises et organisations intégrant des pratiques et des principes à caractère social dans leurs programmes. d'agriculture régénérative.

Principe émergent	Programme	Exemples de pratiques
Soutien aux moyens de subsistance des agriculteurs et à la résilience des systèmes alimentaires	▪ Kering [50] ▪ Danone [51] ▪ Sustainable Agriculture Initiative Platform [44]	▪ Renforcement de la productivité et de la rentabilité ▪ Création de systèmes agricoles résilients
Revitalisation, santé et autonomisation des communautés	▪ Lexicon of Food [45] ▪ One Planet Business for Biodiversity [52] ▪ Unilever [39]	▪ Création d'emplois dans l'agriculture ▪ Localisation des systèmes alimentaires ▪ Production d'aliments nutritifs et salubres
Renforcement des capacités et transfert des connaissances	▪ Soil and Climate Initiative [24] ▪ Lexicon of Food [45] ▪ *Regenerative Organic Certified*® [41]	▪ Mentorat ▪ Communautés de pratiques ▪ Création de réseaux d'agriculteurs
Promotion de l'égalité, de la sécurité au travail et des pratiques commerciales équitables	▪ *Regenerative Organic Certified*® [41] ▪ Danone [51] ▪ A Greener World [42]	▪ Sécurité au travail ▪ Salaires équitables ▪ Pratiques commerciales équitables ▪ Transparence dans les négociations

système agroalimentaire régénératif au Canada, et ils contribuent à orienter le développement de systèmes socio-écologiques et de chaînes d'approvisionnement qui vont au-delà d'une approche de préjudice minimal. Plus précisément [47] :

- La **proportionnalité** encourage les chaînes d'approvisionnement à rétablir les espèces indigènes dans des sites particuliers et à veiller à ce que les activités de production et de consommation soient tolérables pour les systèmes socio-écologiques.
- La **réciprocité** propose un nouveau type de système alimentaire où les interactions entre les membres de la chaîne d'approvisionnement, les communautés locales et la nature sont conçues pour bénéficier à de multiples acteurs humains et non humains au sein d'une communauté.
- La **polyrythmicité** met l'accent sur la nécessité de prendre en compte et de caractériser les tendances au sein des systèmes socio-écologiques et de les intégrer dans la prise de décision (p. ex., les décisions en matière de gestion concernant l'efficacité, l'établissement et le maintien des relations avec les communautés locales).

Dans l'ensemble, ces trois principes soulignent l'importance de rétablir les communautés agricoles régionales qui partagent des ressources (p. ex., les intrants de production, l'équipement, la main-d'œuvre, le bétail et les connaissances) afin de faciliter la transition vers une agriculture plus régénérative et plus inclusive [47].

3.2 Pratiques courantes de l'agriculture régénérative

En s'appuyant sur les principes énoncés à la section 3.1, la recherche a permis de dresser une liste de plus de 80 pratiques agricoles différentes qui pourraient être associées aux divers principes de l'agriculture régénérative. Le tableau 5 regroupe ces pratiques en 12 catégories. La gestion des intrants, la gestion du bétail et des pâturages ainsi que la réduction des perturbations du sol au minimum étaient les pratiques régénératives les plus courantes, suivies par des activités plus générales de restauration ou de gestion à l'échelle du paysage et par la lutte antiparasitaire. Les participants aux groupes de discussion composés d'agriculteurs ont convenu que bon nombre des pratiques qu'ils associaient à l'agriculture régénérative figuraient dans le tableau 5. L'analyse dans le présent rapport portera sur certaines des pratiques les plus courantes, notamment la réduction du labour, les cultures de couverture, la rotation des cultures, le pâturage, l'utilisation efficace des intrants, l'utilisation du fumier et l'agroforesterie.

Tableau 5. Pratiques courantes de l'agriculture régénérative soutenant les principes régénératifs.

Catégorie	Pratiques	
Gestion des intrants [17], [53]	▪ Ajout de matière organique ▪ Réduction des intrants synthétiques ou chimiques	▪ Engrais verts ▪ Approche 4B dans la gestion des nutriments (bonne source, bonne dose, bon moment et bon endroit)
Gestion du bétail et des pâturages [17], [54]	▪ Intégration du bétail ▪ Pâturage tournant ▪ Santé et bien-être des animaux	▪ Sylvopastoralisme ▪ Production fourragère
Réduction des perturbations du sol au minimum [2], [16]	▪ Réduction du labour ▪ Semis direct/semis sans labour	▪ Aucun labour ▪ Cultures pérennes (moins de labour)
Diversification des cultures, des plantes et des graminées [1], [55], [56]	▪ Diversité des cultures/plantes ▪ Cultures relais ▪ Culture intercalaire	▪ Rotation des cultures ▪ Cultures associées
Couverture du sol [14], [56]	▪ Couverture du sol ▪ Cultures de couverture	▪ Conservation des chaumes ▪ Couverture végétale
Intégration d'arbres [16], [17], [56]	▪ Culture intercalaire associée aux arbres ▪ Sylvopastoralisme ▪ Brise-vent	▪ Bandes brise-vent ▪ Haies
Maintien des racines vivantes [1], [16]	▪ Cultures pérennes ▪ Graminées pérennes	▪ Couverture permanente
Gestion sur le plan des systèmes [17], [55]	▪ Gestion holistique ▪ Agroécosystèmes ▪ Agriculture écologique	▪ Permaculture ▪ Imitation de la nature
Éléments paysagers favorables [16], [17]	▪ Habitat faunique ▪ Bandes pollinisatrices ▪ Diversité des écosystèmes	▪ Terres marginales pour les insectes utiles ▪ Zones tampons de conservation
Gestion des ravageurs et des maladies [17], [57]	▪ Cultures résistantes aux agrophages ▪ Rotation des cultures	▪ Lutte intégrée contre les ravageurs ▪ Pesticides naturels
Gestion de l'eau [2], [17]	▪ Cultures de couverture (infiltration) ▪ Conservation de l'eau	▪ Utilisation optimisée de l'eau ▪ Préservation du cycle de l'eau
Autres [2], [14], [16]	▪ Vers de terre ▪ Irrigation solaire ▪ Séchage au soleil ▪ Énergie solaire ▪ Biocharbon	▪ Sélection des cultures ▪ Réduction de l'utilisation des ressources non renouvelables ▪ Pratiques éthiques ▪ Travail équitable et sécurité au travail

3.2.1 Mise en œuvre régionale au Canada

La recherche a révélé que bon nombre des définitions et des principes relatifs à la santé des fermes et du sol étaient cohérents entre les différentes organisations provinciales ou spécifiques à un système de production au Canada. Bien que les principes de l'agriculture régénérative n'aient pas changé de manière notable d'une province à l'autre, leur mise en œuvre différait en fonction de la durée de la saison de croissance, du type de système de production et d'autres facteurs, tels que le type de sol et le climat. Le tableau 6 présente des considérations générales relatives à la mise en œuvre d'un ensemble commun de pratiques régénératives et met en évidence les limites potentielles de la fonction ou de l'applicabilité des pratiques dans différentes régions ou différents systèmes de production au Canada.

3.3 Résultats courants de l'agriculture régénérative

Compte tenu de la nature intégrée de l'agriculture régénérative, il pourrait être difficile de déterminer par où commencer, ou quelles pratiques contribueront à obtenir le résultat souhaité. De plus, le fait de travailler dans un système naturel pourrait entraîner des résultats très variables (voir l'annexe A). Chacun des principes de l'agriculture régénérative peut profiter à une exploitation agricole de différentes manières ou à des degrés divers, selon le système de production et l'emplacement. De plus, l'agriculture régénérative nécessite de combiner plusieurs pratiques et principes pour obtenir les effets souhaités, et il est important de comprendre les coûts et les avantages de l'ensemble du système pour évaluer les résultats avec la plus grande précision possible [88].

Tableau 6. Mise en œuvre régionale des principes régénératifs et limites pertinentes, les Prairies désignant le Manitoba, la Saskatchewan et l'Alberta.

Pratiques et principes régénératifs	Exemples de mise en œuvre au Canada	Exemples de limites pratiques et régionales
Cultures de couverture **Principes :** *Maintenir le sol couvert* *Maintenir des racines vivantes dans le sol*	**Ontario :** cultures de couverture de légumineuses dans les rotations de maïs-soja-blé [58]. **Île-du-Prince-Édouard :** seigle d'automne ou blé après les pommes de terre [59]. **Colombie-Britannique :** cultures de couverture multiespèces de céréales et de légumineuses dans les systèmes de culture de bleuets [60]. **Nouvelle-Écosse :** cultures de couverture fourragères utilisées en pâturage [61].	L'utilisation de cultures de couverture pourrait être limitée par les contraintes de la saison de croissance, le moment de la récolte et les conditions météorologiques : ▪ Dans les Prairies, la brièveté des saisons de croissance et la variabilité des conditions météorologiques contribuent au scepticisme à l'égard de l'utilisation des cultures de couverture [62]. ▪ Les cultures récoltées plus tard dans la saison (p. ex., les pommes de terre) limitent les types d'espèces de cultures de couverture qui pourraient être plantées et établies [59].
Réduction du labour **Principes :** *Réduire les perturbations du sol au minimum* *Maintenir le sol couvert*	**Prairies :** succès notable au Canada de l'adoption généralisée du non-labour et de la réduction du labour, en particulier dans les exploitations céréalières et oléagineuses [5].	La pertinence de la réduction du labour dépend du type de sol, de l'humidité, de la culture et de la température [63] : ▪ Les régions du Manitoba qui connaissent un excès d'humidité et des températures de sol fraîches ou les régions qui ont un sol argileux peuvent ne pas être propices à la réduction du labour [64]. ▪ Certaines cultures nécessitent un labour pour être récoltées, ce qui rend difficile l'adoption du non-labour dans les systèmes de production de pommes de terre ou de betteraves sucrières [64].

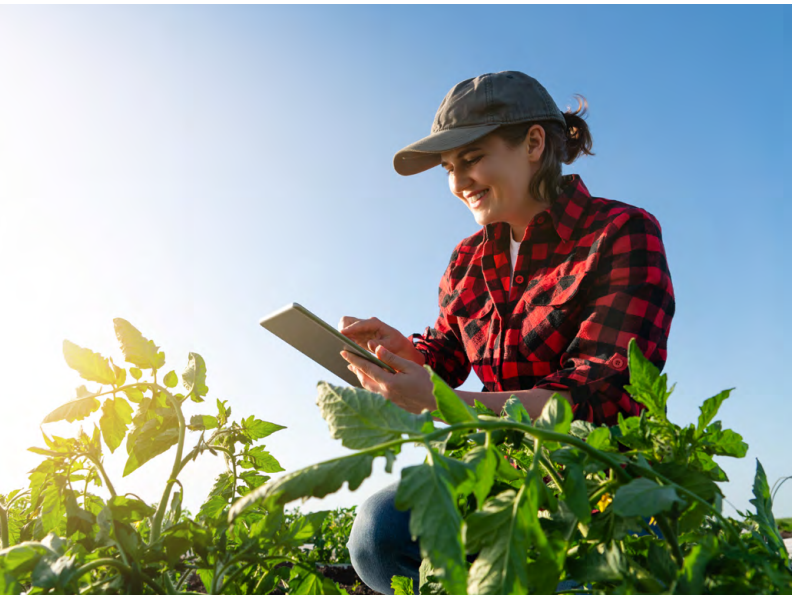
Pratiques et principes régénératifs	Exemples de mise en œuvre au Canada	Exemples de limites pratiques et régionales
Diversité des cultures **Principe :** *Améliorer la biodiversité*	**Pommes de terre :** en rotation avec des cultures fourragères et céréalières [65]. **Maïs :** en rotation avec le soja et le blé [51]. **Canola :** en rotation avec des céréales et des légumineuses [66].	▪ La rotation des cultures est très courante au Canada [67], mais elle présente des limites liées à des considérations économiques concernant la réduction de la prévalence des cultures à forte valeur ajoutée [68] ou à l'incompatibilité avec les systèmes pérennes : la rotation des cultures n'est souvent pas applicable aux vergers, aux vignobles et à d'autres systèmes pérennes ou permanents, dont plusieurs sont courants en Colombie-Britannique, au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse.
Utilisation de fumier **Principes :** *Utiliser efficacement les intrants* *Intégrer les animaux d'élevage*	**Manitoba :** systèmes de culture du maïs, de l'avoine ou de la luzerne avec des amendements à base de fumier [69]. **Alberta :** systèmes de culture du canola, des pois et de l'orge avec des amendements à base de fumier [70].	On estime actuellement que l'utilisation du fumier est peu répandue au Canada, mais que sa faisabilité est élevée [71]. Les contraintes courantes sont liées à l'accès au fumier (p. ex. : transport, quantité suffisante, nuisance) [72], à la salinisation ou au lessivage [73] ou encore à la réglementation sur l'épandage du fumier : ▪ L'accès au fumier pourrait être limité dans les régions où le bétail est présent en faible densité, comme celles où prédomine la production de céréales et d'oléagineux (p. ex. : la région de Peace River en Colombie-Britannique, les basses terres du Saint-Laurent, au Québec et en Ontario, ainsi que les régions urbaines et suburbaines) [74], [75], et la nécessité de transporter le fumier sur de longues distances pourrait rendre cette pratique peu rentable [72]. ▪ L'Alberta a établi des règles d'épandage du fumier qui régissent les distances de recul par rapport aux cours d'eau, les contraintes relatives à la période d'épandage et les exigences relatives à l'analyse du sol pour éviter la salinisation du sol ou des niveaux élevés de nitrates dans le sol [76].
Gestion des éléments nutritifs **Principe :** *Utiliser efficacement les intrants*	**Ontario, Manitoba et Saskatchewan :** engagement à promouvoir l'approche 4B dans tous les systèmes de production : taux variable, planification de la gestion des éléments nutritifs, utilisation plus efficace des engrais et application fractionnée [77]..	Les pratiques de gestion des éléments nutritifs sont applicables à tout système qui en utilise, mais imposent des limites pratiques en fonction du type d'éléments nutritifs utilisés et des besoins en équipement : ▪ Les pratiques de gestion des éléments nutritifs impliquant des intrants synthétiques ne sont pas utilisées dans les systèmes d'agriculture biologique. ▪ Certaines pratiques de gestion des éléments nutritifs, comme l'application à taux variable, sont limitées par la nécessité de recourir à de nouveaux équipements ou d'utiliser des quantités importantes de données agricoles pour générer des cartes de prescription [78].

Pratiques et principes régénératifs	Exemples de mise en œuvre au Canada	Exemples de limites pratiques et régionales
Pâturage du bétail **Principe :** *Intégrer les animaux d'élevage* *Améliorer et restaurer les paysages naturels*	**Nouvelle-Écosse :** cultures de couverture fourragères utilisées en pâturage [61]. **Ontario et Saskatchewan :** amélioration de la gestion du pâturage soutenue par le Programme de paysages agricoles résilients [7], [79], [80], [81].	La mise en œuvre d'un nouveau plan de pâturage dépend de la superficie, de la densité de peuplement prévue, des taux de repousse du fourrage, de la qualité des pâturages et de la disponibilité en eau [82] : ▪ Le programme de l'Ontario exige un minimum de 10 acres et 4 enclos réservés au pâturage tournant pour être admissible au financement [79], et les Producteurs laitiers du Canada recommandent que les périodes de pâturage soient espacées d'au moins 30 jours pour faciliter une repousse suffisante du fourrage [83]. Ces facteurs peuvent limiter la participation de certains petits exploitants agricoles. ▪ La disponibilité en eau dans les enclos pourrait limiter la faisabilité de la pratique et un financement est souvent nécessaire pour gérer les coûts initiaux des infrastructures, tels que les clôtures et les sources d'eau [84].
Agroforesterie **Principes :** *Intégrer les animaux d'élevage* *Maintenir des racines vivantes dans le sol* *Améliorer la biodiversité* *Améliorer et restaurer les paysages naturels*	**Manitoba et Alberta :** utilisation importante de brise-vent et de pare-vent [85]. **Ontario et Québec :** systèmes de culture intercalaire associée aux arbres [86]. **Colombie-Britannique :** sylvopastoralisme sur des terres utilisées pour la gestion forestière et pastorale [87].	L'utilisation de brise-vent est largement répandue au Canada, mais des pratiques plus intégrées, telles que la culture intercalaire associée aux arbres, pourraient être limitées à certaines régions : ▪ La culture intercalaire associée aux arbres est moins applicable dans les Prairies en raison de la taille moyenne plus grande des exploitations agricoles et de l'utilisation d'équipements agricoles plus imposants, difficiles à manœuvrer entre les rangées d'arbres [86].

3.3.1 Réduire au minimum les perturbations du sol, maintenir le sol couvert et améliorer la biodiversité des cultures

Bien que de nombreuses études canadiennes aient évalué les effets des pratiques conformes aux principes régénératifs, elles n'ont pas toujours utilisé la terminologie régénérative pour décrire leurs efforts. Par exemple, Mueller et coll. [89] ont évalué les pratiques consistant à utiliser des rotations diversifiées, à semer des légumineuses en couverture végétale et à réduire l'intensité du labour, qui sont conformes aux principes régénératifs visant respectivement à améliorer la biodiversité des cultures, à maintenir le sol couvert et à réduire au minimum les perturbations du sol. Leurs résultats en Ontario ont montré que la rotation continue du maïs produisait le rendement le plus faible sur un cycle de quatre ans, tandis que la diversification de la rotation incluant le soja augmentait le rendement d'environ 9 %, quelle que soit la méthode de labour [89]. Leurs résultats ont également montré que le rendement pouvait être augmenté de 2 % supplémentaires si l'on diversifiait davantage la rotation (p. ex., en ajoutant du blé d'hiver sous un semis de trèfle rouge), mais cette augmentation ne persistait pas en l'absence de labour. De plus, l'étude a révélé que les rotations maïs-soja-blé sans labour avec sous-semis de trèfle réduisaient le rendement de 4 % par rapport aux mêmes rotations avec labour régulier et qu'en général, les rotations sans labour avaient des rendements inférieurs à celles avec labour classique. Cependant, les rotations maïs-soja-blé sans labour avec sous-semis de trèfle ont donné des rendements supérieurs de 5 % à la culture continue du maïs, ce qui indique que l'adoption d'un ensemble de principes régénératifs pourrait être bénéfique pour la productivité par rapport au statu quo [89].

Malgré les réductions potentielles de rendement liées à la réduction ou à l'absence de labour, il existe plusieurs autres raisons d'envisager de réduire au minimum



« Une enquête menée auprès d'agriculteurs de l'Ontario a révélé que les principales raisons de l'adoption de pratiques de gestion, telles que le semis direct, les cultures de couverture et la rotation des cultures étaient l'amélioration de la santé des sols, la réduction de l'érosion ou du ruissellement ainsi que l'amélioration des rendements. »

les perturbations du sol en conjonction avec d'autres principes régénératifs. Une enquête menée auprès d'agriculteurs de l'Ontario a révélé que les principales raisons de l'adoption de pratiques de gestion, telles que le semis direct, les cultures de couverture et la rotation des cultures étaient l'amélioration de la santé des sols, la réduction de l'érosion ou du ruissellement ainsi que l'amélioration des rendements [90].

L'adoption des principes visant à réduire au minimum les perturbations du sol, à le maintenir couvert et à maximiser la biodiversité s'est également avérée efficace pour améliorer la séquestration du carbone dans le sol. Dans les Prairies, on a estimé que la réduction du labour permettait de séquestrer entre 0,43 t et 0,71 t supplémentaire de carbone par hectare et par an [91], tandis qu'en Ontario, la teneur en carbone du sol était estimée en moyenne 12 % plus élevée dans les parcelles sans labour que dans les parcelles labourées de manière classique [92]. De plus, l'étude ontarienne a révélé que l'incorporation d'une couverture végétale (sous forme de trèfle rouge) dans une rotation maïs-avoine-orge augmentait la teneur totale en carbone de 11 % par rapport à la même rotation sans culture de couverture [92].

Toutes les études n'ont pas rapporté des résultats positifs à la suite de l'adoption de certains de ces principes. Par exemple, en ce qui concerne le maintien d'une couverture végétale, les résultats en matière d'émissions de GES risquent de varier, et des recherches supplémentaires sont probablement nécessaires. Certaines études ont montré que l'utilisation de cultures de couverture augmentait la matière organique et le carbone présents dans le sol [92], [93], [94] et réduisait les émissions d'oxyde nitreux dans l'est du Canada [94]. En revanche, Hung et coll. [95] ainsi que Gao et coll. [96] ont constaté que les cultures de couverture au Québec et en Ontario, respectivement, avaient très peu d'effet sur les émissions d'oxyde nitreux ou les augmentaient. Une variabilité similaire des émissions d'oxyde nitreux a été signalée avec les pratiques de réduction du labour [91].

En ce qui concerne l'amélioration de la biodiversité des cultures, les effets positifs sur le rendement ou le rendement net total peuvent ne pas être constants dans toutes les rotations diversifiées. À mesure que les rotations de cultures s'allongent et se diversifient, les cultures commerciales à forte valeur ajoutée deviennent moins importantes dans la rotation, ce qui pourrait réduire le rendement net du système [68] et, dans certains cas, pourrait avoir peu ou pas d'effet positif sur le rendement des cultures commerciales [97]. Néanmoins, les rotations diversifiées qui comprennent des légumineuses pourraient être bénéfiques du point de vue de la disponibilité de l'azote [98], et les coûts de production supplémentaires (p. ex. : semences et gestion) liés à l'intégration de légumineuses ou d'engrais verts dans les rotations pourraient être compensés par les économies subséquentes sur les coûts d'intrants grâce à la réduction des dépenses en engrais et liées à la lutte contre les mauvaises herbes [97].

3.3.2 Intégrer les animaux d'élevage

L'utilisation efficace des intrants, la réduction des intrants synthétiques et l'intégration des animaux d'élevage sont quelques-uns des principes régénératifs présentés dans une étude de cas réalisée par Lynch et coll. [99] portant sur une ferme laitière de 75 vaches située en Nouvelle-Écosse, qui a diversifié ses systèmes de culture et de pâturage existants avec des petites céréales et des légumineuses, mis en œuvre un nouveau système de pâturage contrôlé, abordé la gestion des nutriments par la consommation alimentaire des animaux et adopté une approche systématique pour l'analyse du sol. En 10 ans, la ferme a signalé une augmentation significative de la production laitière, sans effet négatif sur les caractéristiques du lait, telles que la teneur en protéines et en matière grasse [99]. De plus, la ferme a pu éliminer l'achat d'engrais synthétiques en gérant plus efficacement les légumineuses dans la rotation et les pâturages, et en comptant davantage sur le fumier de bovins laitiers pour fournir les nutriments nécessaires, ce qui lui a permis d'économiser jusqu'à 10 000 $ par an et de réduire considérablement les coûts de nourriture par unité de lait produite [99]. Bien que les résultats de cette étude de cas aient été positifs, plusieurs points d'incertitude sont apparus au début de la transition, ce qui met en évidence les risques que pourraient courir les agriculteurs qui tentent d'adopter une approche plus régénérative. Par exemple, après la mise en œuvre du système de pâturage, la production laitière a diminué de 3 à 10 % pendant quatre ans. Parallèlement, l'exploitation a dû augmenter sa superficie de 19 %, car les systèmes fourragers à base de légumineuses ne permettent pas d'élever autant de bovins que ceux fertilisés avec des engrais azotés synthétiques [99]. Ces effets transitoires soulignent la nécessité de nouveaux instruments financiers ou programmes de soutien pour aider les agriculteurs pendant cette période de risque accru.

L'intégration d'animaux d'élevage a fait l'objet de plusieurs autres études canadiennes, dont certaines ont fait état d'effets positifs sur le rendement et la productivité des fourrages, ainsi que d'une augmentation des nutriments disponibles pour les plantes lorsque les animaux paissaient sur des terres cultivées ou dans des herbages. Par exemple, Jungnitsch et coll. [100] ont signalé des augmentations significatives des rendements fourragers (de 2 à 6 fois plus élevés) en Saskatchewan lorsque le bétail paissait pendant l'hiver dans les pâturages, par rapport à l'épandage de fumier provenant d'un parc d'engraissement sur les pâturages. En revanche, Alemu et coll. [101] ont constaté que les augmentations du rendement fourrager étaient compensées par une réduction de la qualité des pâturages (p. ex., teneur en nutriments digestibles), ce qui a entraîné une réduction de 18 % du gain de poids quotidien des animaux. Dans les systèmes de production biologique du Manitoba, le pâturage du bétail a augmenté de 25 % l'apport en azote, comparativement aux parcelles non pâturées, ce qui a bénéficié aux cultures de grains subséquentes, sans que cela n'ait d'incidence négative sur les niveaux de rendement ou la qualité des récoltes [102], [103].

Du point de vue environnemental, les pratiques de gestion du bétail et des pâturages influencent de nombreux aspects des effets liés à la terre, à l'eau et à la biodiversité. Deux aspects de la santé des sols, à savoir la matière organique et le carbone, pourraient être améliorés grâce à l'utilisation de plantes fourragères pérennes, dont les racines contiennent jusqu'à trois fois plus de carbone que les graminées annuelles [104]. De plus, les pratiques de pâturage ont la capacité d'avoir un effet positif similaire sur l'accumulation de carbone dans le sol (dans une plage de 0,23 t à 0,34 t par hectare chaque année [101]) et intégrer le bétail dans les paysages a la capacité d'augmenter l'humidité du sol et la teneur en autres matières organiques [101], [104]. Cependant, lorsque l'intensité du pâturage ou son taux de chargement sont trop élevés, ces facteurs ont tendance à augmenter le compactage du sol ou à en faciliter l'érosion [104].

Dans les Prairies, le pâturage à haute intensité a également le potentiel de nuire à la dynamique de l'eau en augmentant le ruissellement lorsque la couverture végétale est épuisée et en diminuant l'infiltration de l'eau lorsque le sol est compacté [104]. Pour protéger la qualité des bassins versants, il est possible pour les agriculteurs de mettre en place des plans de pâturage tournant qui prévoient l'installation de clôtures d'exclusion et des zones tampons autour des cours d'eau. Une étude menée en Alberta a montré que la

mise en œuvre d'un plan de pâturage tournant limitant l'accès du bétail aux cours d'eau réduisait la teneur en azote et en phosphore de l'eau et augmentait la diversité végétale le long des berges [105].

3.4. Évaluation du rendement des principes de l'agriculture régénérative

Il est essentiel que tout effort de normalisation intègre une certaine souplesse pour respecter les différences contextuelles et les divers objectifs de gestion agricole, étant donné la multitude de façons de mettre en œuvre les principes de l'agriculture régénérative. Des organisations telles que McCain, Danone, Regenerative Organic Alliance et General Mills ont fourni un point de départ pour retenir des indicateurs clés de performance, car elles démontrent qu'il existe différentes façons de mettre en œuvre chaque principe de l'agriculture régénérative. Le tableau 7 résume quelques exemples de la manière dont chaque principe est mis en œuvre et évalué dans ces programmes.

Tableau 7. Exemples d'indicateurs de l'agriculture régénérative.

Promoteur de projet	Description de l'indicateur	Indicateurs clés de performance
Principe : réduire au minimum les perturbations du sol		
McCain [27]	Chaque cas de labour intensif est appelé « événement », et les événements devraient être réduits au minimum tout au long du cycle de rotation.	**Cultures de pommes de terre :** ▪ **Engagé :** réduire le labour d'un événement. ▪ **Avancé :** réduire le labour de deux événements. ▪ **Chef de file :** réduire le labour de trois événements. **Cultures de rotation :** ▪ **Engagé :** réduire le labour de 10 %. ▪ **Avancé :** réduire le labour de 25 %. ▪ **Chef de file :** réduire le labour de 50 %.
Danone [48]	Pourcentage de terres cultivées non labourées par an.	**Niveau 1 :** 30 à 59 % **Niveau 2 :** 60 à 90 % **Niveau 3 :** Plus de 90 %
Principe : maintenir le sol couvert toute l'année		
McCain [27]	Les champs de la ferme sont couverts de plantes vivantes avec un indice de végétation normalisé (une mesure de la verdure) moyen supérieur à 0,25, et au moins 30 % de la surface du sol est couverte de cultures vivantes ou de résidus tout au long de l'année.	**Engagé :** 90 jours par année **Avancé :** 180 jours par année **Chef de file :** 270 jours par année
Regenerative Organic Certified [41]	Les opérations viseront à recouvrir le sol d'une couverture végétale vivante tout au long de l'année. Sinon, des résidus de culture ou du paillis sont nécessaires lorsque la préparation du sol ou la plantation n'est pas en cours.	**Bronze :** maintenir une couverture végétale tout au long de l'année sur 25 à 50 % de toutes les terres cultivées. **Argent :** maintenir une couverture végétale tout au long de l'année sur 50 à 75 % de toutes les terres cultivées. **Or :** maintenir une couverture végétale tout au long de l'année sur 75 à 100 % de toutes les terres cultivées et utiliser au moins une culture de couverture fixatrice d'azote dans chaque rotation complète des cultures.
Principe : maintenir des plantes vivantes et des racines vivantes dans le sol		
General Mills [38]	Des racines vivantes sont présentes dans le sol des champs.	**Niveau 1 :** pendant au moins 130 jours **Niveau 2 :** pendant au moins 200 jours **Niveau 3 :** pendant au moins 300 jours
Regenified [106]	Nombre de jours dans l'année pendant lesquels des racines vivantes actives provenant de cultures principales, de cultures de couverture ou de pâturages sont présentes.	**Niveaux 2 et 3 :** 50 à 70 % de l'année **Niveaux 4 et 5 :** 70 à 90 % de l'année

Promoteur de projet	Description de l'indicateur	Indicateurs clés de performance
Principe : améliorer la biodiversité au-dessus et en dessous du sol		
General Mills [38]	Augmenter la diversité des cultures et des plantes sur une période de trois ans.	**Niveau 1 :** les champs comprennent au moins trois espèces végétales différentes, y compris des graminées et des plantes à feuilles larges. **Niveau 2 :** les champs comprennent au moins quatre espèces végétales différentes appartenant à au moins trois des quatre catégories suivantes : graminées de saison chaude, graminées de saison froide, plantes à feuilles larges non légumineuses, légumineuses. **Niveau 3 :** les champs comprennent au moins cinq espèces végétales différentes issues des quatre catégories énumérées au niveau 2.
McCain [27]	Au cours des quatre dernières années, y compris la saison en cours, des cultures de différentes espèces sont cultivées pour offrir une gamme variée de cycles de croissance, d'architectures végétales et de types de racines.	**Engagé :** quatre espèces cultivées, y compris des graminées. **Avancé :** six espèces cultivées issues de trois familles végétales différentes, y compris une graminée et une légumineuse. **Chef de file :** huit espèces de cultures issues de quatre familles de plantes différentes, dont une graminée, une légumineuse et deux cultures pérennes.
Principe : intégrer les animaux d'élevage		
General Mills [38]	Intégration du pâturage planifié du bétail dans les systèmes de culture.	Le producteur intègre le bétail dans la zone de culture et au moins 30 % des résidus de culture et/ou de la végétation vivante restent dans le champ après le pâturage. Le niveau 3 exige également un plan de pâturage holistique, prescrit ou adaptatif écrit.
Regenerative Organic Certified [41]	Le pâturage tournant est pratiqué dans les exploitations d'élevage commercial.	Requis pour tous les niveaux. Les animaux, à l'exception des bisons et des porcs, sont utilisés en forte concentration pendant de courtes périodes et les pâturages sont divisés en enclos, les animaux étant déplacés régulièrement.
Principe : utilisation efficace des intrants et réduction des intrants synthétiques		
McCain [27]	Les produits phytosanitaires sont sélectionnés de manière à réduire leur incidence sur l'environnement, les personnes et les consommateurs, et sont évalués à l'aide du quotient d'impact environnemental (QIE) des intrants utilisés.	**Engagé :** 800 QIE/hectare ou moins. Tous les intrants sont appliqués à l'aide d'outils d'aide à la décision ou des conseils d'experts reconnus en matière de culture. Le GPS est utilisé. **Avancé :** 500 QIE/hectare ou moins. Respecte le niveau « Engagé » et 15 % des besoins nutritifs des cultures sont fournis par des sources biologiques (plantes/fumier). **Chef de file :** 200 QIE/hectare ou moins. Respecte le niveau « Engagé » et 30 % des besoins nutritifs des cultures sont fournis par des sources biologiques (plantes/fumier).
General Mills [38]	Améliorer les pratiques de gestion des nutriments en adoptant l'approche 4B et en utilisant des sources biologiques de nutriments.-	**Niveau 1 :** l'application des nutriments respecte les 4B de la gestion responsable des nutriments. **Niveau 2 :** respecte les exigences de base des pratiques 4B et au moins 25 % de tous les nutriments appliqués (en poids) sont mis à la disposition des plantes par décomposition. **Niveau 3 :** respecte les exigences de base des pratiques 4B et au moins 75 % des nutriments appliqués (en poids) sont mis à la disposition des plantes par décomposition.

Promoteur de projet	Description de l'indicateur	Indicateurs clés de performance
Principe : conservation et protection de l'eau		
Regenerative Organic Certified [41]	Les opérations ne rejettent pas directement les eaux usées non traitées générées par l'exploitation dans les cours d'eau naturels ou le sol, et ne détournent pas les eaux usées pour contourner le traitement. Les eaux usées industrielles sont soumises à un traitement primaire et secondaire (sur site ou hors site).	Requis pour tous les niveaux. Les installations produisant plus de 50 mètres cubes d'eaux usées par jour doivent fournir à l'autorité compétente la preuve de leur conformité.
Danone [48]	Pourcentage des cours d'eau agricoles entourés de zones tampons.	**Niveau 1 :** 25 à 34 % **Niveau 2 :** 35 à 50 % **Niveau 3 :** Plus de 50 %
Principe : amélioration et restauration des paysages naturels		
Regenerative Organic Alliance [41]	Les exploitations mettent en œuvre des pratiques régénératives supplémentaires (au-delà de celles requises par le programme National Organic Program du ministère de l'Agriculture des États-Unis) pour améliorer la santé globale de l'écosystème et la productivité des exploitations.	Ces pratiques peuvent inclure l'agroforesterie ; la production de fourrage et de biomasse ; les voies d'eau engazonnées ; l'intégration des cultures et des animaux ; le paillage ; la culture de plantes pérennes ; les habitats pour pollinisateurs, les bandes insectariennes ou les habitats pour la faune sauvage ; la réduction des intrants extérieurs à l'exploitation et le recyclage de la biomasse de l'exploitation ; la restauration des bandes riveraines ; la mise en œuvre du sylvopastoralisme ; la plantation d'arbres ou d'arbustes ; la conservation de l'eau et la restauration des milieux humides ; la mise en place de brise-vent et de pare-vent. **Bronze :** trois des pratiques sont utilisées. **Argent :** quatre des pratiques sont utilisées. **Or :** cinq pratiques ou plus sont utilisées.
McCain [27]	Amélioration de la biodiversité agricole et écosystémique, y compris la promotion de petits habitats naturels et d'éléments paysagers naturels. De petits habitats naturels se trouvent à proximité des limites des champs et des zones tampons riveraines sont présentes.	**Engagé :** 1 % des terres non cultivées sont consacrées à des habitats naturels. **Avancé :** 5 % des terres non cultivées sont consacrées à des habitats naturels. **Chef de file :** 8 % des terres non cultivées sont consacrées à des habitats naturels.
Principe : respect de la vie humaine et non humaine ainsi que de l'environnement		
General Mills [38]	Les cinq libertés du bien-être animal : 1. Liberté de ne pas ressentir la faim ni la soif 2. Liberté de ne pas ressentir d'inconfort 3. Liberté de ne pas être blessé ou malade 4. Liberté de ne pas avoir peur ou d'être en détresse 5. Liberté d'exprimer un comportement normal	**Niveau 1 :** le producteur adhère aux cinq libertés du bien-être animal et les animaux ont accès à l'extérieur pendant au moins 100 jours par année. **Niveau 2 :** respecte le niveau 1 et les animaux ont accès à l'extérieur pendant au moins 180 jours par année. **Niveau 3 :** respecte le niveau 1, les animaux ont accès à l'extérieur pendant au moins 300 jours par année et l'exploitation est certifiée par l'un des organismes suivants : Global Animal Partnership, Animal Welfare Approved, Certified Humane, Beef Quality Assurance ou Pork Quality Assurance.

3.4.1 Quantification des effets

Si les effets agroenvironnementaux sont parfois difficiles à quantifier, il existe plusieurs outils, modèles et méthodes pour soutenir l'évaluation, la notification et la vérification des activités à l'échelle de l'exploitation agricole. Bien qu'ils n'aient pas nécessairement été élaborés pour l'agriculture régénérative, il est possible de les utiliser pour évaluer les résultats dans le contexte de la durabilité du sol, des cultures, de l'eau, de la biodiversité et de l'ensemble de l'exploitation agricole. Le tableau 8 présente une synthèse des outils, des modèles et des méthodes d'évaluation recensés dans le présent rapport, qui constituent un point de départ pour trouver des analogues canadiens ou des possibilités d'adaptation.

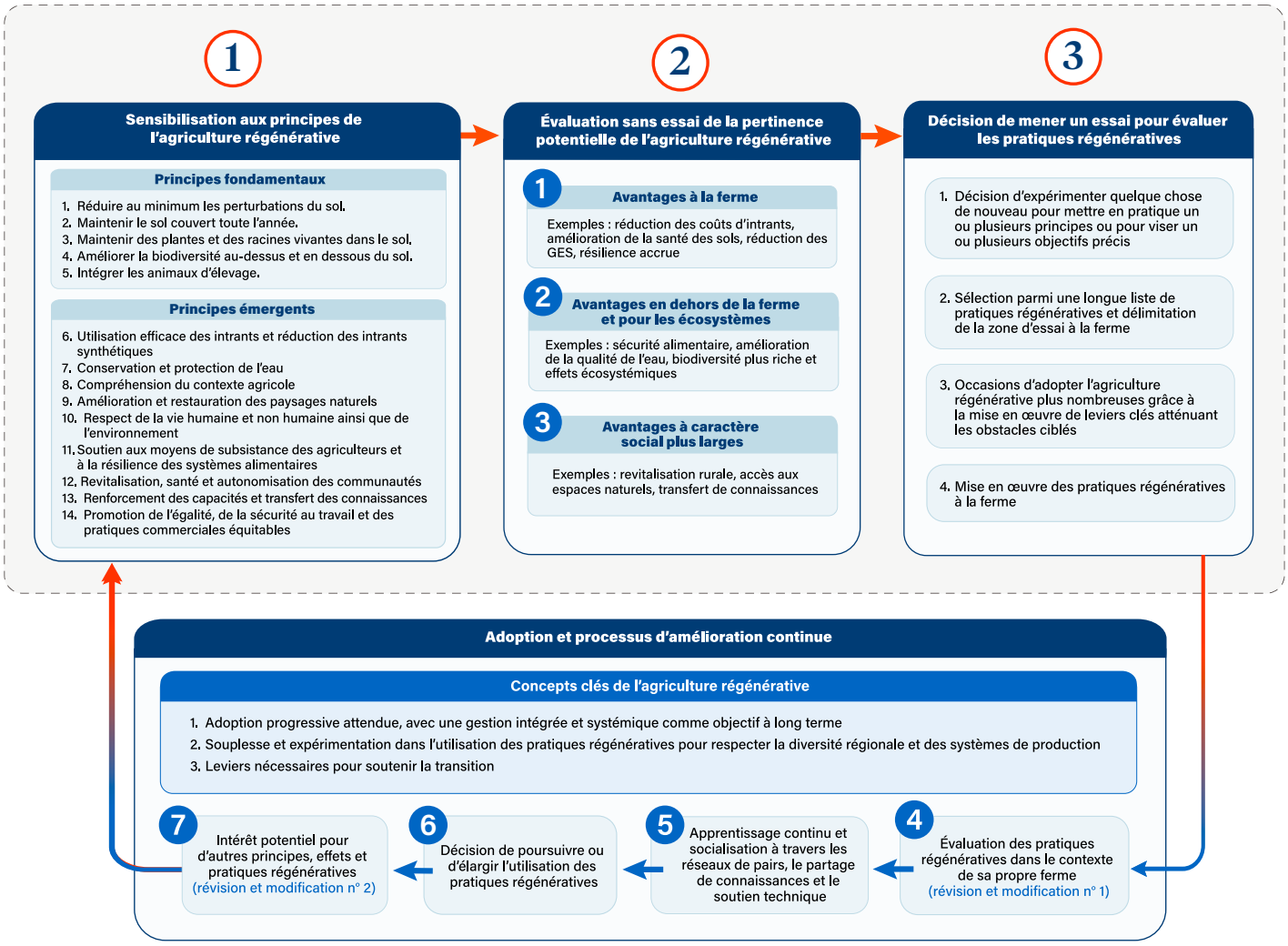
3.5 Changement de pratiques vers l'agriculture régénérative

Cette section présente un cadre qui décrit le processus d'adoption des pratiques agricoles régénératives à un niveau élevé. Afin de s'aligner sur les commentaires des groupes de discussion, un élément clé de ce cadre consistait à visualiser l'agriculture régénérative comme un parcours d'amélioration continue. La structure du cadre présenté à la figure 1 est basée sur l'encadrement des processus d'adoption développés par Pannell et coll. [111] et par Oca Munguia et coll. [112], et a été adaptée au contexte de l'agriculture régénérative. L'utilisation de ce format pour discuter des résultats de la recherche pourrait éclairer l'élaboration de normes en démontrant

Tableau 8. Outils potentiels pour évaluer les effets courants de l'agriculture régénérative.

Effet	Paramètre	Outils/modèles/méthodes d'évaluation
Émissions/santé des sols	Séquestration de carbone	DayCent, CropSyst, CQESTR, COMET-Farm [107]; RothC, spectrométrie dans le visible et l'infrarouge proche ou moyen [17]
Émissions	Dioxyde de carbone, oxyde nitreux, méthane	Dénitrification-décomposition (DNDC) [108]
Santé des sols	Humidité du sol	Réflectance dans le domaine temporel [17]
Santé des sols	Densité apparente	Pénétromètre enregistreur [17]
Santé des sols	Conductivité électrique	Capteurs de sol [17]
Santé des sols	Texture/profil du sol	Spectrométrie gamma [17]
Santé des sols	Érosion du sol	Outil intégré d'estimation de l'érosion : programme de prévision de l'érosion hydrique et service de prévision de l'érosion éolienne [109]
Productivité/ biodiversité	Végétation et croissance	Spectrométrie dans le visible et l'infrarouge proche, indice de végétation par différence normalisée (NDVI) [17]
Vérification des pratiques	Cultures de couverture, réduction du labour, rotation des cultures	Données satellitaires OpTIS et données de terrain au moyen d'applications de levés [108]
Biodiversité	Capacité à soutenir la diversité des plantes/ animaux	Indice de potentiel d'habitat [109]
Qualité de l'eau	Risque de perte de nutriments	Outil de gestion pour le rendement environnemental [109]
Durabilité globale	Évaluation globale de la ferme	Cool Farm Tool, Field to Market, COMET-Farm [110]; MOTIFS et SALCAsustain [16]

Figure 1. Cadre des principes de l'agriculture régénérative (d'après [111] et [112]).



comment les utilisateurs finaux interagissent avec le système et en mettant en évidence les domaines dans lesquels les incitations, les politiques, les ressources en matière de connaissances ainsi que les autres aides seraient les plus influentes pour soutenir les différentes étapes du processus d'adoption (p. ex., cibler les ressources en matière de connaissances pour la phase d'évaluation préalable à l'essai afin de soutenir l'apprentissage ou cibler les nouvelles possibilités de financement pour la phase d'évaluation de l'essai). Aux fins du présent rapport, l'essai désigne le stade d'adoption où un agriculteur teste une nouvelle pratique afin d'évaluer si elle est adaptée au contexte de sa ferme.

La première étape du cadre est la sensibilisation, qui représente l'exposition d'un agriculteur à l'ensemble des principes de l'agriculture régénérative énumérés dans l'encadré 1 de la figure 1. Lorsque la sensibilisation se transforme en intérêt ou en curiosité pour les effets potentiels de l'agriculture régénérative, les agriculteurs passent à la phase d'évaluation sans essai, où la collecte de données et la socialisation deviennent essentielles pour comprendre si l'agriculture régénérative est adaptée au contexte de l'agriculteur.

Au cours des échanges du groupe de discussion des agriculteurs sur les obstacles, les participants ont souligné l'influence des perceptions de leurs voisins sur

leurs décisions concernant l'agriculture régénérative et la valeur des informations obtenues auprès de groupes de pairs. Les agriculteurs ont indiqué que les ressources en matière de connaissances et les possibilités de développer des compétences relatives aux concepts de l'agriculture régénérative étaient limitées, et ont suggéré qu'une approche entre pairs serait leur méthode préférée pour en apprendre davantage sur ces concepts. Certains participants aux groupes de discussion ont indiqué qu'ils avaient lu des documents supplémentaires pour recueillir plus d'informations, tandis que d'autres ont mentionné YouTube ou d'autres sources en ligne pour approfondir leurs connaissances. Certains ont également mentionné qu'ils préféraient les occasions d'apprentissage qui leur donnaient un sentiment d'autonomie, ce qui les encourageait à envisager un essai à petite échelle comme première étape. Toutes ces voies facilitent la phase d'évaluation sans essai, qui est représentée dans l'encadré 2 de la figure 1.

Une fois que les agriculteurs ont recueilli suffisamment de données, ils peuvent décider de procéder à la première évaluation de l'essai, comme le montre l'encadré 3 de la figure 1, et d'adopter une nouvelle pratique de production ou de modifier une pratique existante, à condition que les obstacles pertinents aient été atténués grâce à la mise en œuvre d'un ensemble de facteurs favorables appropriés. Les participants aux groupes de discussion avec les agriculteurs ont noté que les essais commençaient généralement à petite échelle et s'étendaient à des parcelles plus grandes au fil du temps si les effets restaient positifs. Une fois l'essai mis en œuvre, le processus d'amélioration continue commence par la première phase d'examen et de modification (encadré 4), au cours de laquelle l'agriculteur examine l'incidence des changements de pratique sur les résultats dans son propre contexte, puis décide de les conserver, d'étendre l'échelle de l'essai ou de les abandonner (encadré 6). Pour ceux qui choisissent d'adopter pleinement ou d'étendre l'essai, il existe une deuxième composante du processus, dans laquelle un agriculteur qui a adhéré à l'agriculture régénérative à la suite d'un premier essai peut décider de revoir les principes directeurs et d'intégrer une autre pratique de production à des fins d'évaluation (encadré 7). Si la décision est prise de continuer à adopter de nouvelles pratiques régénératives, le cycle se répète ; toutefois, les individus peuvent commencer à différentes étapes de leur deuxième cycle (p. ex., ils connaissent déjà les principes et l'adéquation, ils recherchent donc simplement une nouvelle pratique et passent directement à l'encadré 3).

3.6 Faciliter la transition vers une agriculture régénérative au Canada

3.6.1. Obstacles

La mise en œuvre d'un système agroalimentaire régénératif dans le contexte canadien nécessite un examen des principaux obstacles auxquels se heurtent les agriculteurs et les autres praticiens dans la promotion et l'adoption des principes et des pratiques de l'agriculture régénérative, notamment :

- **les obstacles opérationnels et biophysiques :** les éléments qui influencent la façon dont l'exploitation agricole est gérée et les contraintes régionales imposées par le type de sol, le climat ou d'autres facteurs [113] ;
- **les obstacles financiers :** les préoccupations concernant le coût des pratiques, l'accès au financement ou la pertinence ainsi que la charge administrative des programmes incitatifs existants, y compris le paiement des services écosystémiques et d'autres programmes de compensation [14], [35], [107], [114] ;
- **les obstacles liés aux connaissances et au soutien :** les préoccupations concernant le manque de soutien technique, la réduction des capacités de recherche, la complexité perçue, les possibilités limitées de développer ses compétences et la disponibilité réduite des ressources en matière de connaissances ou de données sur les essais spécifiques au contexte [107] ;
- **les obstacles sociaux et culturels :** les préoccupations liées aux changements de mentalité, à l'acceptation sociale, au manque de soutien de la part du milieu entrepreneurial agricole, aux normes et aux menaces pour le statu quo [35], [115] ;
- **les obstacles liés au risque financier :** les préoccupations concernant la période de transition lors de la mise en œuvre de pratiques d'agriculture régénérative, qui pourraient être exacerbées par l'assurance récolte et les conditions du marché [14], [107].



Ces obstacles sont complexes et évolutifs, et se surgissent souvent simultanément, ce qui donne lieu à un enchevêtrement d'enjeux auxquels il faut répondre [113].

3.6.1.1 Obstacles opérationnels et biophysiques

Les pratiques agricoles régénératives ont tendance à influencer la façon dont une exploitation agricole est gérée et à introduire de nouvelles exigences relatives à la main-d'œuvre, à la machinerie, aux calendriers de plantation et de récolte, ainsi qu'à l'échelle de production. Ces pratiques peuvent être considérées comme incompatibles avec les structures et les ressources existantes en matière de gestion agricole, car les agriculteurs peuvent ne pas disposer de main-d'œuvre supplémentaire, et les nouvelles pratiques ou les nouveaux systèmes peuvent interférer avec l'utilisation des machines existantes ou nécessiter l'achat de nouveaux équipements. Certaines pratiques régénératives peuvent également nuire à la plantation et à la récolte des cultures commerciales, obligeant les agriculteurs à élaborer de nouveaux plans agricoles ou à modifier leurs priorités en matière de culture. En raison de ces incompatibilités opérationnelles, les pratiques régénératives peuvent également être considérées comme difficiles à mettre en œuvre à l'échelle des produits de base et comme demandant une gestion intensive, en particulier dans les Prairies. Les changements opérationnels dans les systèmes de production peuvent être perçus comme un obstacle intimidant pour les producteurs, car ils nécessitent une planification importante et des changements dans leurs activités [113].

Outre les incompatibilités opérationnelles, les facteurs biophysiques peuvent constituer une autre contrainte pour les agriculteurs qui adoptent des pratiques agricoles régénératives. Certaines pratiques peuvent être inappropriées pour des types de sol particuliers ou moins efficaces dans différents climats, ce qui souligne l'importance des campagnes d'adoption régionales et celle de recherches supplémentaires sur les effets régionaux des pratiques régénératives à travers le Canada [113]. Les préoccupations agronomiques sont également courantes dans le domaine de l'agriculture régénérative, telles que l'augmentation des ravageurs et des mauvaises herbes ainsi que l'interférence avec la production de cultures commerciales. Les agriculteurs et les praticiens auront besoin d'informations supplémentaires sur la manière de gérer ces résultats et de mettre en œuvre des solutions régénératives. Enfin, à mesure que les phénomènes météorologiques extrêmes et les changements climatiques, en particulier les précipitations, deviennent plus fréquents, les producteurs peuvent se montrer plus réticents à essayer de nouvelles pratiques, surtout si les effets peuvent entraîner des pertes pendant les années de transition [113].

3.6.1.2 Obstacles financiers

En général, les obstacles financiers relevés dans le cadre du présent rapport découlent du besoin de capitaux supplémentaires et de programmes de financement ou de prêt [107], [114]. Les agriculteurs participants ont mentionné les programmes de financement comme un type de mesure incitative attrayant pour promouvoir l'agriculture régénérative, dont la mise en œuvre

est perçue comme coûteuse. Dans certains cas, les participants ont laissé entendre que des prêts étaient nécessaires pour gérer ces coûts initiaux.

Selon les groupes de discussion et la littérature, les programmes de soutien financier à l'agriculture régénérative au Canada et ailleurs sont limités et, lorsqu'ils sont offerts, leur accès est considéré comme fastidieux pour les agriculteurs [35]. Un autre obstacle financier souvent mentionné était la période de transition, qui est relative aux pratiques régénératives qui peuvent entraîner une réduction du rendement ou de la productivité à court terme [14], [99] ainsi qu'aux pratiques demandant l'achat de nouvel équipement ou des changements dans la gestion de l'exploitation agricole qui ont une incidence sur la rentabilité de la production [113]. Dans le contexte du cadre (figure 1), ces contraintes pourraient empêcher les agriculteurs d'atteindre la phase d'évaluation de l'essai en raison des coûts de transition insurmontables, et pourraient également entraver leur capacité à adopter plusieurs pratiques au fil du temps et à s'engager dans un processus d'amélioration continue.

3.6.1.3 Obstacles liés aux connaissances et au soutien

Outre les préoccupations financières, les conclusions de la revue de la littérature et des groupes de discussion indiquent que les agriculteurs sont confrontés à des enjeux techniques et à des obstacles liés aux connaissances lorsqu'ils adoptent l'agriculture régénérative, ce qui influe sur les étapes de sensibilisation, d'évaluation sans essai et de collecte de données, ainsi que sur l'étape d'évaluation des essais s'inscrivant dans le cadre (figure 1). Ces obstacles sont principalement dus à un manque d'accès au soutien technique ainsi qu'à des possibilités ou à des ressources limitées pour l'apprentissage, la planification et l'évaluation des pratiques [107]. Le nombre limité de recherches accessibles sur les effets agronomiques et économiques des pratiques régénératives dans le contexte canadien, en particulier en termes de santé des sols et de rendement du capital investi, contribue également à ce problème [113].

La réduction de la capacité des services de vulgarisation au Canada au fil des ans a également été décrite comme un obstacle à l'adoption de nouvelles pratiques de gestion plus durables, ce qui est probablement exacerbé par les commentaires des groupes de discussion suggérant que davantage de groupes de pairs sont nécessaires pour partager plus efficacement l'information et mettre en relation les agriculteurs [107], [116]. L'absence de consensus sur les définitions et les principes de l'agriculture régénérative aggrave encore la situation, car elle laisse les agriculteurs et les autres acteurs dans l'incertitude quant aux effets et aux pratiques liés à l'agriculture régénérative [18].

3.6.1.4 Obstacles sociaux et culturels

Les obstacles socioculturels, tels que l'acceptation sociale, les pratiques de production ancrées dans la culture, la démographie agricole, la méfiance envers le gouvernement et les institutions ainsi que la perception de l'agriculture par rapport aux systèmes naturels, ont également été identifiés comme des obstacles à la transition vers des pratiques agricoles régénératives. Ces questions sociales et culturelles peuvent nuire à la sensibilisation aux principes régénératifs et influencer le contexte dans lequel les données sur l'agriculture régénérative sont interprétées par les agriculteurs. Ces obstacles peuvent également empêcher la mise en œuvre d'un essai ou l'utilisation durable des principes régénératifs au fil du temps lorsque les agriculteurs estiment que les facteurs culturels ou les normes sociales génèrent un malaise ou un isolement par rapport à leur communauté. Certaines pratiques agricoles peuvent être importantes sur le plan culturel ou profondément ancrées dans les systèmes de production, ce qui nécessite des changements culturels plus larges pour que les producteurs abandonnent les processus de production traditionnels. De plus, certaines pratiques régénératives nécessitent une gestion plus intensive, ce qui donne l'impression d'un changement de mode de vie ou d'un abandon des approches de gestion traditionnelles [113]. Ces perceptions soulignent la nécessité d'un changement de mentalité, tant sur le plan individuel que sur le plan communautaire, pour faciliter une transition à grande échelle vers l'agriculture régénérative [115]. Cela pourrait, par exemple, inclure un changement fondamental dans la façon d'envisager les relations entre les humains et l'environnement pour garantir que ces relations soient fondées sur la réciprocité et le partage plutôt que sur la préservation.

Les commentaires des groupes de discussion ont confirmé que les agriculteurs peuvent avoir du mal à adopter les principes et les pratiques de l'agriculture régénérative, car ils craignent que cela les éloigne de leurs pairs, ce qui exacerbe leurs inquiétudes quant à l'acceptation sociale de nouvelles approches. Le vieillissement de la population agricole peut également influencer la lenteur de l'adoption de nouvelles pratiques agricoles, car certains agriculteurs peuvent hésiter à investir dans de nouvelles pratiques de gestion à l'approche de la retraite [113]. La méfiance à l'égard du gouvernement et des prestataires de services agricoles peut également freiner l'adoption de pratiques régénératives, car certains agriculteurs se sentent déconnectés des décideurs politiques et des conseillers, ou estiment que les pratiques peuvent être biaisées ou liées à des agendas économiques ou politiques [113].

3.6.1.5 Obstacles liés au risque financier

Le risque financier a été décrit comme un obstacle majeur auquel les agriculteurs sont confrontés lorsqu'ils adoptent et testent de nouveaux principes d'agriculture régénérative [35]. Il est exacerbé par la couverture limitée de l'assurance récolte pour l'agriculture régénérative, les conditions du marché et les attentes de la société à l'égard des agriculteurs pour qu'ils amorcent cette transition et apportent des avantages environnementaux et sociaux [107], [113]. Lorsque les agriculteurs décident d'essayer de nouvelles pratiques régénératives, cela accroît leur exposition au risque, et ils peuvent être pénalisés par une réduction ou par une suppression de la couverture de l'assurance récolte, ce qui rend moins attrayante l'expérimentation de nouvelles pratiques régénératives. Par rapport aux conditions du marché, comme les agriculteurs sont des preneurs de prix, l'incertitude quant à leur avenir financier peut limiter l'expérimentation et la mise en œuvre de nouvelles pratiques, car les ressources en capital peuvent devoir être conservées pour les saisons moins rentables. Dans l'ensemble, on s'attend à ce que les agriculteurs assument la majeure partie du risque inhérent à la transition relatif à l'agriculture régénérative et acceptent la valeur marchande pour leurs produits, même si la portée des avantages régénératifs offerts s'étend bien au-delà des champs qu'ils exploitent.

3.6.2 Conditions favorables

Bien que les obstacles à l'agriculture régénérative soient nombreux, les possibilités de les surmonter et de promouvoir une transition régénérative au Canada ne manquent pas. La recherche a permis de cerner plusieurs facteurs favorables et d'importants leviers de transition, notamment :

- Promouvoir le développement de réseaux de pairs ou de communautés de pratique qui créent un sentiment d'appartenance à une communauté, modifient les normes culturelles en matière d'agriculture régénérative et favorisent la diffusion de nouvelles perspectives agricoles.
- Améliorer la disponibilité des services de vulgarisation ou des ressources en matière de connaissances pour promouvoir le partage des connaissances, l'apprentissage et le sentiment d'appartenance à une communauté [33], [117], [118], [119].
- Donner accès à de nouveaux programmes de financement, tels que des prêts renouvelables ou d'autres mesures incitatives financières, qui aident à gérer les coûts de transition et d'adoption [14], [107], [118].
- Passer à des programmes axés sur les résultats ou sur le paiement des services écosystémiques, assortis d'un ensemble approprié d'outils de MNV, pour reconnaître toute l'étendue des avantages offerts par l'agriculture régénérative [18], [34], [120].
- Créer des propositions de valeur solides qui attirent les investissements, entre autres, en tirant profit de la demande existante (p. ex., l'intérêt pour les réductions d'émissions au sein de la chaîne de valeur) ou en générant de nouvelles occasions qui sont mutuellement avantageuses pour investir dans l'agriculture régénérative.
- Œuvrer à une plus grande normalisation ou certification pour faciliter l'accès au capital, alimenter la demande et communiquer les avantages aux chaînes de valeur et aux utilisateurs finaux (c.-à-d. les consommateurs) [18], [31], [121].

Promus simultanément, ces facteurs favorables pourraient accroître la sensibilisation aux pratiques agricoles régénératives, à leur expérimentation ainsi qu'à leur adoption durable, et pourraient favoriser l'engagement d'un large éventail d'acteurs pour concevoir et mettre en œuvre de nouvelles solutions.

3.6.2.1 Réseaux de pairs et communautés de pratique

Les réseaux de pairs, le mentorat et les communautés de pratique sont des approches clés pour surmonter les obstacles socioculturels, les lacunes en matière de connaissances et de compétences dans la transition vers l'agriculture régénérative. Les réseaux de pairs sont considérés comme l'approche privilégiée pour le partage des connaissances entre agriculteurs lors des groupes de discussion. Ces réseaux sont attrayants, car ils permettent des essais collaboratifs, le partage des connaissances et des données, le mentorat, le partage d'expériences ainsi que le soutien social ou technique, ce qui contribue globalement à accroître la sensibilisation, l'intérêt et la confiance dans les essais [20], [107], [113], [117]. Le renforcement de ces réseaux sociaux pourrait également réduire le sentiment d'isolement ou rendre le processus d'essai de nouvelles pratiques moins intimidant [33].

Les réseaux de pairs régionaux ou spécifiques à une production sont préférables, car ils mettent en relation des agriculteurs de localités similaires ou ayant des intérêts opérationnels similaires [119], mais ces réseaux devraient également être élargis pour favoriser la socialisation entre différents groupes. Reconnaissant que les réseaux de pairs et le mentorat sont essentiels pour sensibiliser et améliorer les connaissances sur les pratiques régénératives, les communautés de pratique devraient inclure des participants issus du gouvernement, des milieux de la recherche, des organisations d'agriculteurs, des organismes sans but lucratif et des entreprises dans le but de promouvoir l'action collective, le partage des ressources et les synergies entre les acteurs. Certains réseaux de pairs et certaines communautés de pratique ont reçu le soutien d'organismes comme ALUS et Ontario Soil Network, et sont mis en œuvre en mettant en relation des producteurs et d'autres acteurs ayant des objectifs communs pour catalyser l'action et le partage des connaissances [122]. Toutefois, la création de plus de réseaux et de communautés diversifiés devrait rester une priorité dans tout le Canada. La mise en lumière des meilleures pratiques pour établir, coordonner et maintenir des réseaux de pairs ou des communautés de pratique reste un domaine susceptible de faire l'objet de recherches supplémentaires.

3.6.2.2 Ressources en matière de connaissances, développement des compétences et soutien technique

Le partage des connaissances, la formation professionnelle, la recherche et l'accès aux services de vulgarisation sont également des facteurs favorables essentiels à la transition vers une agriculture régénérative, car ces interventions fournissent aux agriculteurs et aux autres acteurs les informations, le soutien et les compétences nécessaires pour mener des évaluations non expérimentales, tester des pratiques et développer des systèmes agricoles régénératifs au fil du temps. Comme mentionné à la section 3.6.2.1, le partage des connaissances, que ce soit entre pairs, au sein de communautés de pratique ou au moyen d'initiatives de recherche accessibles, est une méthode permettant de sensibiliser et de fournir des informations sur les applications et les meilleures pratiques [33].

D'autres possibilités de formation formelle sur l'agriculture régénérative pourraient inclure le soutien à l'expérimentation et à l'évaluation des principes régénératifs en fournissant aux agriculteurs les compétences nécessaires pour planifier et surveiller l'adoption des pratiques [117]. Les fermes de démonstration ont également été mentionnées dans les groupes de discussion comme une occasion d'impliquer des agriculteurs régénératifs établis afin d'exposer différentes méthodes de production aux producteurs traditionnels. Les fermes de démonstration offrent également des possibilités d'apprentissage par l'expérience, créent un espace pour le partage d'histoires et ouvrent la voie à des conseils pratiques en matière de régénération, qui sont indépendants du marketing agricole, des produits ou des objectifs gouvernementaux [113].

Le développement des connaissances et des compétences pourrait également être réalisé en améliorant la disponibilité des services de vulgarisation [123], [124]. À cet égard, le gouvernement pourrait revitaliser les services de vulgarisation grâce à de nouveaux investissements ou en tirant parti des enveloppes de financement existantes pour élargir les possibilités de projets de démonstration [18]. Par exemple, l'Initiative des laboratoires vivants a été mise en avant comme étant un exemple réussi de sites de démonstration multipartites dirigés par des agriculteurs qui favorisent l'apprentissage de différentes méthodes

de production. L'approche des laboratoires vivants représente une occasion importante d'approfondir la recherche dans des domaines clés, tels que l'évaluation des résultats agronomiques et économiques des pratiques agricoles régénératives dans divers contextes canadiens pour réduire l'incertitude dans le processus d'adoption. Les préoccupations relatives à la rentabilité des pratiques régénératives pourraient être dissipées grâce à des analyses coûts-avantages spécifiques à chaque région et à chaque pratique, qui tiennent compte des marchés émergents et de l'évaluation des services écosystémiques relatifs aux pratiques régénératives. L'accès à ce type de connaissances et de recherches peut également stimuler l'engagement des entreprises et des institutions financières, en les aidant à réaliser une analyse de rentabilité pour mettre sur pied des initiatives basées sur les chaînes de valeur, des leviers commerciaux et des mécanismes de financement flexibles, qui favorisent la transition vers l'agriculture régénérative.

3.6.2.3 Outils de financement et mesures visant à contrer les conséquences imprévues

Il est essentiel de proposer des possibilités de financement novatrices pour aider les agriculteurs à surmonter les obstacles financiers auxquels ils font face lorsqu'ils essaient des pratiques agricoles régénératives, et pour les rémunérer pour les services écosystémiques et les avantages connexes plus larges qu'ils fournissent grâce à l'agriculture régénérative. Plusieurs programmes de financement novateurs ont été proposés à l'échelle mondiale, et bon nombre d'entre eux sont applicables au Canada, comme les prêts renouvelables à faible taux d'intérêt [18], les surprix pour les agriculteurs en transition ou ayant effectué la transition [13], [118], la réduction des risques financiers à travers l'intervention de fondations ou des gouvernements ainsi que les obligations vertes. Tous ces outils créent des canaux monétaires pour les agriculteurs et pourraient soutenir l'expérimentation, l'adoption et l'engagement durable à l'égard des principes régénératifs au fil du temps.

Le présent rapport a également ciblé les polices d'assurance récolte comme un obstacle potentiel. Les participants aux groupes de discussion ont indiqué que l'assurance récolte n'était parfois pas disponible lorsqu'ils utilisaient des pratiques régénératives, car celles-ci n'étaient pas compatibles avec les exigences relatives à cette garantie. Pour atténuer cet obstacle, les participants aux groupes de discussion ont suggéré que les programmes de gestion des risques commerciaux existants devraient être réévalués pour offrir aux producteurs la souplesse nécessaire afin d'expérimenter sans compromettre leur admissibilité. Certaines études ont suggéré que l'assurance récolte pour les pratiques régénératives devrait être mise à disposition pour assurer les terres en transition vers l'agriculture régénérative et réduire les risques liés à ce processus [113]. Dans l'ensemble, les programmes de gestion des risques commerciaux devraient garantir aux agriculteurs régénératifs un accès au moins égal à la couverture, compte tenu notamment des avantages publics substantiels qu'ils apportent en adoptant ces principes.

3.6.2.4 Programmes basés sur les résultats et processus de MNV associés

Les programmes axés sur les résultats, les crédits pour services écosystémiques et les programmes de paiement pour services écosystémiques constituent une autre occasion de proposer des mesures incitatives novatrices qui pourraient catalyser la transition [18], [34], [35], [120]. Ces programmes généreraient de nouvelles sources de revenus pour les producteurs régénératifs au Canada à différentes échelles, ce qui permettrait une participation flexible dans différentes régions et différents systèmes de production [34], [35]. La revue de la littérature et les groupes de discussion ont proposé l'élaboration de processus de MNV comme facteur favorable d'une transition vers une agriculture régénérative à l'échelle du système, car ces processus et les systèmes de comptabilité qui permettent de quantifier les émissions de carbone, la séquestration du carbone, la rétention et la filtration de l'eau, les nutriments alimentaires et la multitude d'autres avantages régénératifs permettront la monétisation et créeront de nouvelles sources de revenus pour les producteurs qui adoptent ces pratiques. Les systèmes de MNV qui quantifient les effets bénéfiques de l'agriculture régénérative pourraient favoriser l'accès au financement [53], inciter les entreprises à investir dans des programmes d'agriculture régénérative et permettre la mise en place de leviers commerciaux, tels que des surprix et des contrats à prime [34], [110]. Les processus de MNV et les outils de vérification relatifs aux effets régénératifs pourraient également catalyser l'engagement des agriculteurs, car ces outils pourraient



« Les acteurs importants qui facilitent la mise en place de systèmes agroalimentaires régénératifs comprennent les réseaux universitaires et de recherche, les entreprises, les gouvernements, les organisations non gouvernementales, les groupes de producteurs, les services de vulgarisation, les institutions financières, les groupes autochtones et défavorisés. »

les aider à élaborer un dossier commercial clair en faveur de l'adoption et fournir des outils d'aide à la décision pour cibler les pratiques efficaces à tester [32]. Afin de catalyser l'utilisation généralisée des systèmes de MNV, il est nécessaire de développer des outils et des systèmes de surveillance rentables, simplifiés et complets, accessibles aux agriculteurs [113]. L'assouplissement des exigences relatives au suivi ou à la simplification de la collecte et de la production de rapports pourrait aider à surmonter les difficultés administratives auxquelles les agriculteurs sont confrontés dans le cadre de certains de ces programmes, mais la question de l'élaboration d'indicateurs de MNV qui préservent la flexibilité et réduisent la charge découlant de la déclaration des données en agriculture reste difficile, en particulier avec le concept actuel très large de l'agriculture régénérative. Collaborer avec les producteurs afin d'élaborer des définitions et des résultats qui font consensus pour les systèmes de MNV pourrait soutenir l'adhésion et la promotion des agriculteurs [113].

3.6.3 Mobiliser tous les intervenants dans la transition vers une agriculture régénérative

Pour soutenir les facteurs favorables, l'engagement et l'action de tous les intervenants de la chaîne de valeur agroalimentaire canadienne seront nécessaires. Pour mobiliser ces importants acteurs du changement, il faut mieux comprendre le rôle qu'ils pourraient jouer dans la transition, les obstacles auxquels ils se heurtent et les interventions dont ils ont besoin pour créer des conditions systémiques signifiantes et propices à la sensibilisation, à l'évaluation (avec ou sans essai) et à l'adoption durable des principes de l'agriculture régénérative. Les acteurs importants qui facilitent la mise en place de systèmes agroalimentaires régénératifs comprennent les réseaux universitaires et de recherche, les entreprises, les gouvernements, les organisations non gouvernementales, les groupes de producteurs, les services de vulgarisation, les institutions financières, les groupes autochtones et défavorisés. Ces différents intervenants pourraient jouer un rôle dans l'encadrement et catalyser l'engagement des agriculteurs en :

1. fournissant des connaissances, des recherches et des possibilités de développement des compétences qui aident les praticiens à se familiariser avec l'agriculture régénérative et à essayer de nouvelles pratiques ;
2. fournissant du financement et d'autres mesures liées au marché ou à la réduction des risques pour soutenir l'expérimentation et l'évaluation des pratiques de production ;
3. établissant des canaux de communication et des partenariats pour encourager des relations équitables et réciproques, ainsi que l'apprentissage continu et le soutien par les pairs.

Les rôles de chaque intervenant et les obstacles potentiels à la promotion d'une transition vers l'agriculture régénérative au Canada sont résumés dans le tableau 9.

Tableau 9. Rôles des intervenants du système alimentaire dans la transition vers une agriculture régénérative au Canada.

Intervenant	Rôle	Obstacles	Facteurs favorables
Milieu universitaire et réseaux de recherche	Diriger des recherches multidisciplinaires; diffuser les connaissances; sensibiliser; cocréer et consulter; élaborer des systèmes de MNV.	Effets spécifiques au contexte; financement limité; peu de projets pilotes pour l'évaluation sans essai [125], [126]	Accès à des fonds neutres; mandats de recherche à l'échelle nationale; établissement de partenariats pour la sensibilisation et l'expérimentation [17], [125], [126]
Organisations non gouvernementales et groupes agricoles	Mener et diffuser des recherches pour des évaluations expérimentales et non expérimentales; organiser des réunions; élaborer et mettre en œuvre des programmes; représenter les intérêts des producteurs.	Financement limité; accent mis sur les interventions spécifiques au contexte; terminologie et objectifs peu clairs [13], [127]	Financement flexible; cocréation d'un cadre et établissement de coalitions; divers canaux de communication; modèles hybrides de gouvernance [9], [13], [20]
Gouvernement	Élaborer des politiques et des programmes; déterminer des objectifs et les normes requises; déployer des fonds pour la sensibilisation, les essais et l'évaluation.	Politiques fragmentaires; recherche limitée; modèles de gouvernance prohibitifs; mosaïque de normes [13], [123], [125], [126]	Recherche et création de réseaux; élaboration de mandats et de normes; modèles de gouvernance hybrides [123], [125], [126]
Industrie	Développer des leviers et des programmes commerciaux; appliquer des normes; fixer des objectifs ambitieux et progresser vers leur réalisation.	Investissements unidimensionnels; analyse de rentabilité et reddition de comptes limitées pour les effets régénératifs [9], [126], [128]	Cadre et paysage politique clairs; recherche exhaustive sur les effets; demande de la chaîne d'approvisionnement; programmes axés sur les résultats [16], [126]
Services de vulgarisation	Soutenir l'adoption, l'essai et l'évaluation des pratiques; diffuser les connaissances et les compétences.	Financement réduit; accès limité à de nouvelles formations; capacité inconnue à soutenir l'agriculture régénérative [128]	Formation et développement des compétences; création de réseaux; participation à des programmes et à l'élaboration de normes [16], [125]
Institutions financières	Financer la recherche et l'adoption; innover en matière de mécanismes de financement.	Analyse de rentabilité et orientation politique peu claires; mesures incitatives limitées pour développer des mécanismes de financement renouvelables [13], [126]	Application du cadre; inclusion dans des partenariats stratégiques; soutien au financement social [121], [126]
Groupes défavorisés et groupes autochtones	Promouvoir la solidarité, la réciprocité et la justice sociale; accroître l'inclusion et la représentation; préserver et revitaliser les pratiques alimentaires; soutenir les droits fonciers et l'accès à la terre.	Financement insuffisant; voix et gouvernance limitées; persistance d'un lourd héritage colonial; recherche et transfert de connaissances limités sur les pratiques alimentaires autochtones [1], [12], [128]	Cocréation; réévaluation des politiques coloniales; gouvernance autochtone; intégration des connaissances autochtones [1], [12], [118]

Tout comme les agriculteurs, les acteurs du système alimentaire peuvent également se heurter à des obstacles financiers, sociaux, liés aux connaissances ou à la perception lorsqu'ils tentent de mettre en place un système agroalimentaire régénératif au Canada. La détermination de ces obstacles dans le contexte des rôles des parties intéressées favorise l'élaboration de conditions favorables et de recommandations globales, générant ainsi la capacité à l'échelle du système d'assurer la transition vers une production agroalimentaire régénérative. Par exemple, l'industrie, les gouvernements et les institutions financières bénéficieraient de l'établissement de partenariats stratégiques et de normes globales pour l'agriculture régénérative, qui faciliteraient leur capacité à soutenir les agriculteurs dans leur transition vers l'agriculture régénérative [16], [126], [128]. D'autres intervenants, comme les universités et les réseaux de recherche, les organisations non gouvernementales et les groupes de producteurs, voient l'intérêt d'un financement souple et impartial pour soutenir les efforts de recherche, l'élaboration de programmes, les sites de démonstration et les possibilités de formation qui fournissent au secteur des ressources en matière de connaissances de haute qualité adaptées au contexte [16], [17], [126], [129]. Ces leviers sont essentiels pour garantir que les agriculteurs et les autres acteurs disposent des informations, des compétences et des capacités nécessaires pour s'informer sur l'agriculture régénérative et essayer de nouvelles pratiques. L'exploration des rôles, des obstacles et des conditions favorables à tous les acteurs pour soutenir la transition vers un système agroalimentaire régénératif au Canada offre une occasion de poursuivre les recherches afin de garantir que les normes, les politiques et les programmes encouragent l'ensemble des praticiens à agir en faveur des systèmes régénératifs.

3.7 Normes, protocoles et certifications

Les participants des deux groupes de discussion ont suggéré que les normes en matière d'agriculture régénérative pourraient :

- contribuer à clarifier la définition de l'agriculture régénérative ;
- servir de base à des initiatives visant à communiquer la valeur de l'agriculture régénérative aux utilisateurs finaux ou aux consommateurs (p. ex., au moyen de certifications) ;
- servir de mécanisme pour accéder au capital ou à l'investissement et instaurer la confiance en réduisant au minimum l'écoblanchiment grâce à des directives claires en matière de collecte et d'évaluation des données ;
- empêcher une autre entité de définir et d'imposer sa définition de l'agriculture régénérative aux agriculteurs et aux chaînes de valeur canadiennes.

Les organismes de normalisation ont un rôle important à jouer dans la sensibilisation aux principes de l'agriculture régénérative tout au long de la chaîne de valeur agroalimentaire. En codifiant les principes généraux et émergents dans un cycle d'amélioration continue, la normalisation pourrait aider à clarifier la définition la plus appropriée de l'agriculture régénérative au Canada. Cela enverrait un message clair au secteur sur la manière dont l'agriculture régénérative devrait être mise en œuvre et garantirait aux agriculteurs canadiens une norme adaptée à leur région et à leur contexte pour leurs systèmes. Cela aiderait également les programmes de l'industrie relatifs à l'agriculture régénérative à s'aligner sur une norme et pourrait aider les investisseurs à cibler des initiatives de haute qualité dans lesquelles investir. Dans l'ensemble, une sensibilisation et une clarification accrues de l'agriculture régénérative grâce à la normalisation pourraient déboucher sur de nouvelles possibilités de financement, qui permettraient à un plus grand nombre d'agriculteurs d'essayer l'agriculture régénérative pour la première fois ou aux précurseurs d'étendre leurs pratiques régénératives.

La normalisation a également un rôle à jouer dans la phase d'examen et de modification du cadre, car une norme permettrait de déterminer ce qui a besoin d'être évalué et comment le faire sans imposer de charge excessive aux agriculteurs, tout en renforçant la confiance des investisseurs dans la validité des résultats. La durabilité devenant de plus en plus le prix à payer pour accéder aux marchés, une approche plus concrète de l'évaluation des effets régénératifs permettra aux agriculteurs et aux chaînes de valeur de faire valoir leur durabilité, d'éviter l'écoblanchiment et, potentiellement, de conquérir de nouvelles parts de marché.

Le tableau 10 présente un aperçu non exhaustif des normes existantes qui devraient être prises en considération lors de l'élaboration d'une norme canadienne pour l'agriculture régénérative. Bien

qu'aucun organisme mondial de normalisation n'ait élaboré de norme officielle pour l'agriculture régénérative, plusieurs d'entre eux élaborent actuellement des normes connexes dans les domaines de l'agriculture durable [130], des agroécosystèmes [131] et de la santé des sols [132]. D'autres initiatives, telles que les normes sur les systèmes de production biologique de l'Office des normes générales du Canada (CAN/CGSB-32.310 et CAN/CGSB-32.311) [133], [134] et l'outil Tool for Agroecology Performance Evaluation (TAPE) [135], devraient également être prises en considération dans la conception d'une norme pour une approche systémique comme l'agriculture régénérative. Compte tenu du débat en cours sur la terminologie, l'analyse de ces normes offre l'occasion de favoriser l'harmonisation et de créer des points de connexion avec d'autres normes. Il convient de noter la norme CSA W218, qui définit les spécifications relatives à l'inventaire d'actifs naturels et qui pourrait s'appliquer au principe de l'amélioration et de la restauration des paysages naturels [136]. Bon nombre des services écosystémiques fournis par les pratiques régénératives pourraient être évalués à l'aide des lignes directrices énoncées dans la norme CSA W218. En outre, l'annexe A ainsi que les normes de MNV relatives à l'évaluation des services écosystémiques pourraient être utiles pour évaluer les effets et communiquer la valeur des pratiques agricoles régénératives aux investisseurs, aux gouvernements et à d'autres acteurs sur la scène internationale [136].

Tableau 10. Efforts actuels de normalisation et de certification pertinents pour l'agriculture régénérative.

Organisation	Portée et exemples de pratiques	Applicabilité à l'agriculture régénérative	Limites
Office des normes générales du Canada	Les normes CAN/CGSB-32.310 et CAN/CGSB-32.311 énoncent les principes, les normes de gestion et les substances autorisées dans la production biologique [133], [134]. Comprend les substances autorisées pour la production alimentaire, le labour, la gestion du fumier, l'irrigation, l'alimentation du bétail et le bien-être des animaux.	Élaborée au Canada, applicable à l'élaboration de normes de gestion holistique pour les systèmes de production agricole. Fournit des lignes directrices pour plusieurs pratiques qui seraient également considérées comme régénératives.	N'est pas spécifique à l'agriculture régénérative et fonctionne selon des principes différents.
Association canadienne de normalisation	La norme CSA W218 décrit les spécifications pour l'élaboration d'un inventaire des actifs naturels [136]. Comprend les exigences minimales relatives aux inventaires d'actifs naturels, à la collecte et au traitement des données, à la structure de l'inventaire et à la documentation.	Élaborée au Canada, applicable à des principes tels que l'amélioration et la restauration des paysages naturels. Les spécifications des services écosystémiques et les normes de MNV sont alignées sur les effets souhaités de l'agriculture régénérative et pourraient servir de point de départ pour l'adaptation au contexte agricole.	Pertinence limitée pour les pratiques de gestion agricole et la manière dont elles devraient être mises en œuvre ou évaluées pour s'aligner sur les principes de l'agriculture régénérative.
Regenerative Organic Alliance	Le programme *Regenerative Organic Certified*® favorise la gestion holistique, régénérative et biologique des terres agricoles [41]. Comprend la couverture végétale, la rotation des cultures, le pâturage, la plantation d'arbres, la conservation de l'eau, la réduction des intrants synthétiques et le bien-être des animaux.	Fournit des indicateurs et des mesures de rendement adaptés au contexte de l'agriculture régénérative, donne un exemple de la manière de mettre en œuvre l'amélioration continue et a une large portée qui inclut des principes économiques, environnementaux et sociaux.	Non spécifique au contexte canadien, comprend des exigences biologiques qui ne sont pas courantes dans l'agriculture régénérative (p. ex., utilisation d'OGM).

Organisation	Portée et exemples de pratiques	Applicabilité à l'agriculture régénérative	Limites
A Greener World	Le programme *Certified Regenerative* favorise la gestion régénérative du sol, de l'eau, de l'air et de la biodiversité [42]. Comprend la diversité et la rotation des cultures, la réduction de l'utilisation d'intrants synthétiques, le bien-être des animaux et l'amélioration des écosystèmes et des habitats.	Fournit des indicateurs et des mesures de rendement adaptés au contexte de l'agriculture régénérative, donne un exemple de la manière de mettre en œuvre l'amélioration continue et a une large portée qui inclut des principes économiques, environnementaux et sociaux.	Non spécifique au contexte canadien.
Comité européen de normalisation	La norme CWA 17898 définit une méthodologie pour évaluer la santé des sols et l'effet des processus agricoles sur les indicateurs de santé des sols [131]. Comprend les processus mécaniques, l'utilisation d'intrants, l'eau et les émissions.	Présente une méthode normalisée pour évaluer la qualité des sols et les effets pertinents de la production agricole.	Limitée aux résultats en matière de qualité des sols, elle n'évalue donc pas toute la portée des effets régénératifs et n'est pas spécifique au contexte canadien.
ANSI et American Society of Agricultural and Biological Engineers	La norme ANSI/ASABE S629 évalue la durabilité des systèmes de production agricole dans le monde [130]. Comprend les pratiques agricoles et d'élevage.	De portée générale, la norme évalue les dimensions sociales et environnementales de la durabilité, saisit les indicateurs de performance et les processus d'amélioration continue, et reconnaît le potentiel des changements contextuels qui influencent la mise en œuvre et les processus de MNV.	La portée générale n'est pas spécifique au contexte de l'agriculture régénérative et n'est pas spécifique au contexte canadien.
Organisation internationale de normalisation	La norme ISO 23992 établit un cadre pour l'évaluation des propriétés du sol liées à l'utilisation des terres et aux pratiques de gestion du sol [132]. Comprend les pratiques de gestion du sol et l'accumulation de carbone dans le sol.	Possibilité de l'utiliser pour évaluer la durabilité de l'agriculture. L'accent mis sur la qualité des sols indique un chevauchement important avec les principes de l'agriculture régénérative.	Limitée aux résultats en matière de qualité des sols, elle n'évalue donc pas toute la portée des effets régénératifs et n'est pas spécifique au contexte canadien.

3.7.1 Lacunes et défis en matière de normalisation

3.7.1.1 Préoccupations sectorielles concernant l'élaboration de normes

Afin de faire avancer la discussion sur les normes en agriculture régénérative, les deux groupes de discussion ont été invités à donner leur avis sur les possibilités et les enjeux liés aux efforts de normalisation. En général, les participants des deux groupes de discussion ont indiqué qu'il était important qu'une norme permette une certaine souplesse, intègre les principes d'amélioration continue et réduise au minimum les exigences administratives. Le groupe de discussion des agriculteurs s'est montré plus hésitant à l'égard de normes, soulignant que des normes prescriptives limiteraient l'autonomie et que, pour être couronnée de succès, une norme permettrait idéalement aux agriculteurs de prendre les décisions qui conviennent le mieux à leur exploitation à chaque cycle de production (p. ex., lorsque les conditions de la saison de croissance empêchent la plantation de cultures de couverture, les agriculteurs ne devraient pas être pénalisés). Bien que toutes les normes accréditées soient volontaires dès leur publication, certains agriculteurs ont exprimé des inquiétudes quant à la charge administrative que

représenterait la participation à une norme ou à un programme de certification basé sur une norme. Ces inquiétudes ont parfois été tempérées par le fait que les normes pourraient être bénéfiques dans le contexte des produits de base en vrac et contribueraient à articuler l'éventail des avantages environnementaux que les agriculteurs apportent à la société. Dans l'ensemble, il a été suggéré que tout effort d'élaboration de normes devrait inclure une consultation approfondie des agriculteurs.

Le groupe de discussion sectoriel a appuyé l'élaboration de normes et les a présentées comme un catalyseur du changement dans le secteur. Toutefois, ce groupe de discussion a exprimé des préoccupations concernant l'inclusion et l'évaluation des effets sociaux. Certains participants ont fait remarquer que l'élaboration d'indicateurs pour certains effets sociaux serait très difficile et pourrait nécessiter la collaboration d'experts, tels que des sociologues de l'environnement. Les préoccupations concernant les indicateurs et l'évaluation s'étendent à l'ensemble des effets relatifs à l'agriculture régénérative, plusieurs participants suggérant qu'une norme devrait être rigoureuse et représenter plus qu'un simple sceau pour se donner bonne conscience. L'élaboration d'indicateurs rigoureux et de normes de MNV pour chaque principe ou effet était perçue comme une entreprise importante pour un organisme de normalisation.

3.7.1.2 Absence d'une terminologie et d'une portée définies

L'absence d'une définition normalisée ou de principes définis pour l'agriculture régénérative a été régulièrement signalée comme un obstacle à son adoption par les exploitations agricoles, mais aussi pour accéder au capital, alimenter la demande ainsi que pour communiquer les avantages du changement de pratiques aux chaînes de valeur, aux gouvernements et aux utilisateurs finaux (c.-à-d. les consommateurs) [18], [31], [113], [121]. De plus, le terme « agriculture régénérative » continue de polariser certains intervenants, car il implique que quelque chose a besoin d'être dégradé pour se régénérer, ce qui est susceptible de donner une image négative des agriculteurs. Un débat est également en cours sur le chevauchement entre l'agriculture régénérative et d'autres formes d'agriculture durable, comme les initiatives visant à améliorer la santé des sols ou l'agroécologie [9]. Les participants aux groupes de discussion ont indiqué que la santé des sols était une composante importante de l'agriculture régénérative, certains suggérant que l'agriculture régénérative n'est rien d'autre qu'une initiative visant à améliorer la santé des sols. Il y avait un certain consensus sur l'inclusion des principes fondamentaux de la santé des sols dans l'agriculture régénérative, mais certains participants aux groupes de discussion et une partie de la littérature comprennent ce terme de manière plus holistique, y compris des considérations économiques et sociales [24], [39]. Plusieurs programmes et certains ouvrages ont inclus des principes à caractère social et économique aux côtés des principes relatifs à la santé des sols, ce qui peut brouiller la frontière entre l'agriculture régénérative et l'agroécologie, une forme similaire d'agriculture qui met l'accent sur le travail avec la nature [9]. Plusieurs des principes à caractère social sont plus courants sur la scène internationale et, compte tenu de la nature exportatrice du secteur agricole canadien, ils devraient être pris en compte lors de l'élaboration des normes pour maximiser l'accès aux marchés.

Les participants aux groupes de discussion ont soulevé des préoccupations quant à l'inclusion de principes à caractère social dans l'agriculture régénérative en raison de leur potentiel d'exclusion ou de surcharge des participants. Bon nombre des principes relatifs à la santé des sols et d'autres principes régénératifs à la ferme (p. ex. : conservation de l'eau, travail équitable et sécuritaire) abordés dans le présent rapport relèvent du contrôle des agriculteurs, mais il serait inapproprié d'exiger des effets sociaux au-delà de la ferme (p. ex. : revitalisation communautaire, transfert des connaissances). Par conséquent, les principes à caractère social émergents abordés dans le présent rapport devraient être encouragés par les gouvernements, les acteurs de la chaîne de valeur et d'autres organisations dans le cadre de leurs initiatives en matière d'agriculture régénérative, étant donné que le renforcement des capacités, le soutien technique et l'accès à des réseaux de pairs pourraient être facilités dans les limites de leurs programmes. Cela pourrait se traduire par deux normes différentes pour l'agriculture



régénérative, la première visant les principes sur le plan de l'exploitation agricole et la seconde portant sur les effets sociaux et les agents de mise en œuvre des programmes.

Malgré le débat en cours sur la terminologie et la portée, tant la littérature que les participants aux groupes de discussion ont souligné qu'une surabondance d'efforts concurrents en matière d'agriculture durable entrave les progrès en semant la confusion chez les consommateurs et les investisseurs [18]. Au lieu de chercher des occasions de différencier complètement l'agriculture régénérative des autres initiatives, la normalisation pourrait rechercher des synergies et des possibilités d'harmonisation, et envisager l'établissement de ponts ou de points de connexion avec des normes, des terminologies ou des programmes similaires qui permettraient aux producteurs de passer plus facilement d'une terminologie à l'autre. Bien que de nombreuses initiatives d'agriculture durable (p. ex. : agriculture régénérative, agriculture biologique, agriculture de conservation, intensification durable et agroécologie) aient vu le jour, chacune avec sa propre histoire et avec des partisans et des catalyseurs différents au fil du temps, elles partagent de nombreux objectifs et proposent souvent un ensemble de pratiques similaires, voire identiques [8].

Il sera essentiel de trouver des points de convergence et de créer des liens avec d'autres terminologies, tant à l'échelle nationale qu'internationale, étant donné le rôle du Canada comme exportateur mondial de produits agricoles de haute qualité, obligatoirement admissibles à des programmes de durabilité similaires pour maximiser leur accès aux marchés. Dans l'ensemble, les participants aux groupes de discussion ont estimé que l'harmonisation des terminologies similaires favoriserait une action plus concertée en vue de la réalisation de l'objectif commun d'une chaîne agroalimentaire plus durable et plus résiliente.

3.7.1.3 Absence d'indicateurs définis

Même avec une terminologie appropriée et une portée claire, les efforts de normalisation pourraient se heurter à des difficultés lorsqu'il s'agit de concilier la manière dont chaque programme met en œuvre et évalue les effets de chaque principe (p. ex., la variabilité dans la manière de maintenir le sol couvert et d'assurer la rigueur dans les différentes mises en œuvre d'un même principe). Bien qu'il soit utile de disposer de différentes modalités de mise en œuvre pour chaque principe, car cela permet de reconnaître l'hétérogénéité des différents systèmes de production au Canada, cela crée également une certaine complexité lorsqu'on tente d'élaborer une norme unifiée qui facilite les comparaisons entre des éléments similaires. Des différences d'interprétation apparaissent également entre l'approche fondée sur les effets et l'approche fondée sur les pratiques pour la vérification des programmes, et ces deux options ont des implications sur le type de processus de MNV nécessaires [32].

L'un des enjeux consiste à respecter le fait que chaque système de production peut mettre en œuvre les principes régénératifs de différentes manières (p. ex. : les cultures de couverture sont moins attrayantes dans les Prairies, un type de rotation des cultures ne convient pas forcément à toutes les régions, la réduction du labour est plus difficile à adopter pour la culture de la pomme de terre) [62], [64]. Cela signifie qu'il est possible de se concentrer sur la normalisation sur le plan des principes, tout en laissant aux agents responsables de la mise en œuvre des programmes le soin d'interpréter les principes en fonction du système de production et de la région. Du point de vue de la MNV, les participants aux groupes de discussion ont souligné que l'élaboration de normes pour chaque pratique ou effet de l'agriculture régénérative serait une entreprise de grande envergure. Dans cette structure, les organismes d'élaboration de normes ont un rôle important à jouer en apportant de la rigueur aux programmes d'agriculture régénérative, en établissant les exigences minimales nécessaires (p. ex., le point de départ pour être considéré comme régénératif et le processus pour s'engager davantage au fil du temps) et en veillant à ce que la norme limite l'écoblanchiment et la mise en œuvre inefficace des programmes qui ne soutiennent pas l'autonomie des agriculteurs.

Une autre difficulté consiste à élaborer des normes de MNV qui reconnaissent à la fois les indicateurs fondés sur les pratiques et ceux fondés sur les effets, et à normaliser les processus de MNV pour ces deux types d'indicateurs. Le Regenerative Agriculture Framework de McCain est un exemple d'application d'indicateurs fondés à la fois sur les pratiques et sur les effets [27]. Dans le cadre de ce programme, l'augmentation de la matière organique du sol et de la toxicité des pesticides est évaluée à l'aide d'indicateurs axés sur les effets, et les autres principes sont évalués en fonction de la manière dont une pratique est mise en œuvre (p. ex., réduction du nombre d'opérations de labour afin de réduire la perturbation du sol et plantation d'un nombre minimal de cultures en rotation pour améliorer la biodiversité) [27]. Le programme comporte également différents niveaux et récompenses qui encouragent les agriculteurs à étendre et à améliorer leurs pratiques au fil du temps afin d'obtenir de meilleurs effets environnementaux [27]. Dans cet exemple, des normes de MNV seraient nécessaires pour vérifier à la fois la mise en œuvre annuelle des pratiques (p. ex., autodéclaration, surveillance par satellite ou contrôles de conformité aléatoires) et les effets régénératifs (p. ex. : établissement d'une base de référence pour le carbone dans le sol, exigences relatives à la surveillance et au processus de vérification). Les normes de MNV pour la vérification et la surveillance des pratiques sont probablement plus simples à mettre en œuvre, et les normes de MNV pour les effets en matière de santé des sols et d'application d'intrants ou de nutriments constitueraient un bon point de départ pour la normalisation de l'agriculture régénérative. Même si les normes de vérification des pratiques peuvent être plus faciles à élaborer, les participants aux groupes de discussion et la littérature indiquent que les effets régénératifs constituent la véritable valeur ajoutée de l'adoption de ces pratiques de production et que la démonstration d'effets quantifiables met concrètement en évidence la valeur de l'agriculture régénérative pour les investisseurs, les gouvernements et le secteur dans son ensemble [53].

Les participants aux groupes de discussion ont également suggéré qu'une norme sur l'agriculture régénérative devrait tenir compte de sa conformité avec les exigences relatives à la production de rapports sur les émissions de GES (p. ex., pour les crédits de carbone ou les efforts de réduction des émissions de la chaîne de valeur, comme les cibles d'émissions de la portée 3) et déterminer si elle soutiendrait une initiative de certification de produits vérifiés. Dans ces cas, l'organisme d'élaboration de la norme aurait besoin d'envisager des efforts de normalisation supplémentaires pour les programmes de réduction des GES, tels que la norme ISO 14040, *Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre,* et la norme ISO 14067, *Gaz à effet de serre — Empreinte carbone des produits — Exigences et lignes directrices pour la quantification* [31]. Il a également été suggéré que les promoteurs d'une norme sur l'agriculture régénérative pourraient tirer de nombreux enseignements du domaine biologique et éviter ainsi de se heurter aux mêmes difficultés (p. ex., coûts de certification élevés et charge administrative importante pour les producteurs qui souhaitent participer).

3.7.1.4 Absence d'une approche d'amélioration continue

Les groupes de discussion ont indiqué que les agriculteurs perçoivent l'agriculture régénérative comme un processus d'amélioration continue au fil du temps, et que la flexibilité nécessaire pour essayer de nouvelles choses ou mettre en œuvre des principes de différentes manières est essentielle. Ce sentiment a des implications pour l'élaboration de normes de MNV et souligne la nécessité de deux éléments clés :

1. Un cycle d'amélioration continue ou par étapes ;
2. Une définition du seuil ou du point de départ pour la transition vers l'agriculture régénérative.

Tout au long de l'élaboration d'une norme et des processus de MNV relatifs, il faudrait inclure une évaluation du compromis entre la flexibilité de la mise en œuvre et la complexité de l'ENV, en particulier lorsque ceux-ci ont une incidence sur la charge administrative et le coût de la certification pour les participants [137]. En général, plus la flexibilité augmente, plus la complexité de l'ENV augmente, car la mise en place de programmes plus individualisés et adaptés au contexte nécessite l'élaboration d'indicateurs détaillés et flexibles.

Une norme de MNV qui soutient l'amélioration continue est intéressante, car elle favorise des changements positifs au fil du temps, permet à tous les individus de participer, quel que soit leur point de départ, et offre la flexibilité nécessaire pour gérer l'exploitation agricole en fonction des priorités de chacun. Les approches d'amélioration continue pourraient être définies comme des exigences de plus en plus strictes relatives aux pratiques et aux effets, ou comme l'extension progressive de la superficie soumise à une gestion régénérative.

Exiger l'adoption simultanée d'un ensemble de pratiques pourrait être difficile pour les agriculteurs qui souhaitent les mettre en œuvre ; cette difficulté pourrait être atténuée en exigeant que seul un pourcentage de la superficie soit converti à la fois et en augmentant progressivement la superficie requise dans le temps. Ce type d'approche basée sur la superficie correspond à l'approche d'adoption progressive mentionnée dans les groupes de discussion, dans laquelle les agriculteurs ont tendance à tester d'abord les nouvelles pratiques sur de petites parcelles, puis à les étendre à de nouvelles parcelles la saison suivante si l'essai répond à leurs besoins et à leurs attentes. Toutefois, le présent rapport n'a pas trouvé de consensus à ce sujet parmi les agriculteurs, certains suggérant une approche fondée sur la superficie pour classer les exploitations agricoles comme régénératives, tandis que d'autres suggéraient qu'au moins deux ou trois principes devraient être respectés pour qu'une exploitation soit considérée comme régénérative. D'autres ont suggéré qu'une approche simplifiée serait préférable, dans laquelle les exploitations agricoles seraient classées comme régénératives dès lors que les changements de pratiques entraînent une augmentation des services écosystémiques et des avantages connexes.

Dans le Regenerative Agriculture Framework de McCain, le point de départ est une phase d'intégration qui initie l'agriculteur aux concepts sans lui imposer trop de nouvelles exigences [27]. Pour être considérés comme un agriculteur « intégré », les participants ont besoin de suivre une formation sur l'agriculture régénérative, réaliser une première évaluation de la santé des sols et cibler un indicateur ou un paramètre. Lorsque l'agriculteur est prêt à passer au niveau « engagé », il est possible pour lui d'avoir un maximum de 90 jours de sol nu (p. ex., en mettant en œuvre des pratiques de protection du sol) et il s'engage dans des activités répondant à au moins cinq des sept indicateurs définis par McCain [27]. Ce modèle de progression est intéressant, car il respecte la phase d'engagement et d'apprentissage précoce, et favorise l'amélioration par étapes tout en offrant aux agriculteurs la souplesse nécessaire pour atteindre les objectifs qui sont les plus pertinents pour eux.

3.7.1.5 Impressions et compréhension du processus d'élaboration des normes

Bien que les groupes de discussion et la littérature aient reconnu les aspects bénéfiques des normes, des hésitations ont été exprimées quant à la manière dont la normalisation serait mise en place, aux voix qui

seraient entendues et à la manière dont la participation serait assurée par la suite. Un désir clair d'une approche ascendante et participative de la normalisation a été exprimé, et les agriculteurs ont souligné la nécessité de tenir compte des perspectives sur le terrain. D'autres estimaient qu'un exercice d'élaboration des normes pourrait constituer une occasion importante d'apprentissage et d'engagement pour le secteur, et ont souligné le potentiel d'adhésion substantielle que représenterait la participation du secteur au processus.

3.7.1.6 Mobilisation des communautés autochtones

La définition et la promotion de l'agriculture régénérative présentent un lien direct avec les pratiques autochtones et préindustrielles. Il est donc essentiel de comprendre comment les différentes définitions et les divers principes régénératifs s'alignent sur les connaissances et les perspectives autochtones. Seulement quelques définitions et principes ont été recensés pour le présent rapport, ce qui pourrait ne pas refléter adéquatement les connaissances, les valeurs et les pratiques uniques des peuples autochtones de tout le Canada. Afin de mieux comprendre les points communs et les sources d'inspiration entre l'agriculture autochtone et les principes émergents de l'agriculture régénérative au Canada, il serait essentiel d'établir des partenariats significatifs avec les communautés autochtones et leurs dirigeants. Les groupes autochtones et défavorisés pourraient être des partenaires essentiels dans la transition vers l'agriculture régénérative au Canada, mais ils font face à des obstacles uniques. Bien que les pratiques régénératives aient été associées aux connaissances autochtones, celles-ci n'ont pas été intégrées dans les programmes [1]. Il existe une possibilité de mettre en place des programmes de normalisation et de certification pour remédier à ces problèmes et accroître la participation des groupes autochtones et défavorisés aux systèmes alimentaires locaux [138].

Les enjeux socioculturels persistants peuvent également réduire le partage des connaissances et les occasions de créer des liens intergénérationnels, ce qui entraîne une perte de culture et de connaissances [139]. Par rapport à d'autres groupes d'agriculteurs, les peuples autochtones et défavorisés ont un accès limité aux terres agricoles, au pouvoir foncier générationnel, au capital et à l'influence au sein du système agroalimentaire canadien, ce qui entraîne une inégalité d'accès à la production alimentaire et une participation réduite aux politiques et aux programmes susceptibles de façonner l'agriculture [1], [114], [139].

Il est nécessaire de poursuivre les consultations afin de mieux comprendre les obstacles auxquels font face les groupes autochtones et défavorisés, et de créer conjointement des conditions favorables à l'échelle locale, régionale et nationale pour garantir que leurs voix et leurs connaissances soient prises en compte dans la transition vers une agriculture régénérative. Il est essentiel de renforcer la collaboration avec les groupes autochtones et défavorisés afin de créer conjointement des modèles de gouvernance dynamiques, d'accroître l'équité dans les systèmes agricoles et de soutenir la souveraineté alimentaire et l'autodétermination pour assurer la transition vers une agriculture régénérative [1], [114], [138].

4. Conclusion et recommandations

Le principal objectif du présent rapport était de clarifier les principes, les pratiques, les effets relatifs à l'agriculture régénérative pour que des mesures puissent être prises pour élaborer des programmes de transition qui stimulent une adoption plus large, diversifient les sources de revenus des agriculteurs et favorisent le transfert des connaissances. Afin de respecter la diversité des pratiques de gestion et des systèmes de production, l'agriculture régénérative est mieux définie par un ensemble de principes qui aident à orienter sa mise en œuvre et ses objectifs. Le présent rapport a permis de dégager un consensus autour de cinq principes clés de l'agriculture régénérative dans le contexte canadien :

1. Réduire au minimum les perturbations du sol ;
2. Maintenir le sol couvert toute l'année ;
3. Maintenir des plantes vivantes et des racines vivantes dans le sol ;
4. Améliorer la biodiversité au-dessus et en dessous du sol ;
5. Intégrer les animaux d'élevage.



« Afin de respecter la diversité des pratiques de gestion et des systèmes de production, l'agriculture régénérative est mieux définie par un ensemble de principes qui aident à orienter sa mise en œuvre et ses objectifs. »

Ce rapport a également mis en lumière les principes émergents suivants de l'agriculture régénérative, qui n'ont pas encore fait l'objet d'un consensus, bien que certains soient inclus dans plusieurs programmes d'agriculture régénérative de premier plan :

- Utilisation efficace des intrants et réduction des intrants synthétiques ;
- Conservation et protection de l'eau ;
- Compréhension du contexte agricole ;
- Amélioration et restauration des paysages naturels ;
- Respect de la vie humaine et non humaine ainsi que de l'environnement.

En plus des pratiques de production, ce rapport a révélé un débat en cours sur l'inclusion des principes à caractère social suivants dans l'agriculture régénérative :

- Revitalisation des communautés et santé ;
- Renforcement des capacités et transfert des connaissances ;
- Promotion de l'égalité, de la sécurité au travail et des pratiques commerciales équitables ;
- Soutien aux moyens de subsistance des agriculteurs et à la résilience des systèmes alimentaires.

Ces principes étaient alors naissants dans le contexte canadien, mais plus courants sur la scène internationale. Cependant, le soutien aux moyens de subsistance des agriculteurs et à la résilience des systèmes alimentaires a été mentionné plus fréquemment dans les programmes d'agriculture régénérative nationaux et internationaux.

Ce rapport a révélé que certains intervenants estiment qu'un ensemble plus large de principes s'apparente davantage à l'agroécologie et que le fait de se concentrer uniquement sur les principes de la santé des sols catalyserait l'action en faveur de l'agriculture régénérative sans diluer le terme ni créer une charge excessive pour les producteurs. À l'inverse, d'autres estiment que les composantes sociales sont un élément important de l'agriculture régénérative et reconnaissent leur valeur dans la transition vers un système alimentaire durable. En raison de leur présence à l'échelle internationale, il est important de tenir compte de ces principes à caractère social dans une perspective d'harmonisation, compte tenu de la nature exportatrice du secteur agricole canadien et de la nécessité de naviguer entre les terminologies, les normes, les certifications et les cadres internationaux concurrents en matière d'agriculture durable.

Bien qu'un engagement supplémentaire, des recherches et une plus grande diversité de voix soient nécessaires pour amorcer une transition globale vers des systèmes agroalimentaires régénératifs au Canada, le présent rapport formule les recommandations suivantes à l'intention de l'industrie, des dirigeants

autochtones et des gouvernements qui souhaitent faire progresser un système agroalimentaire régénératif au Canada :

1. Investir dans des réseaux de partage des connaissances pour faciliter les transitions : mettre en place des réseaux agricoles diversifiés et régionaux qui partagent les ressources et favorisent le développement communautaire, la transmission d'histoires, le développement des compétences et l'intégration des connaissances autochtones.
2. Élargir l'accès à l'éducation et aux ressources : accroître l'accès aux services de vulgarisation relatifs à l'agriculture régénérative et développer des projets de démonstration ou d'autres ressources pratiques pour renforcer la confiance dans les résultats et promouvoir l'apprentissage par l'expérience.
3. Explorer des mécanismes de financement novateurs : atténuer les risques financiers et réviser les programmes de gestion des risques existants pour éliminer les obstacles à la transition vers des pratiques régénératives.
4. Mettre en œuvre des programmes axés sur les résultats : élaborer des programmes, assortis de processus de MNV appropriés et simplifiés, qui rémunèrent les agriculteurs pour les services écosystémiques qu'ils fournissent lorsqu'ils ont recours à des pratiques régénératives. La capacité à communiquer clairement les avantages liés à l'adoption de principes régénératifs permettra de mieux défendre le soutien à l'agriculture régénérative.
5. Promouvoir des normes flexibles et inclusives : continuer à faire progresser l'accord sur les pratiques et les principes régénératifs grâce à de vastes consultations avec les agriculteurs, les communautés autochtones et les chaînes de valeur pour élaborer une norme qui reflète leurs réalités. Plus précisément, un effort de normalisation devrait :
   a. permettre une certaine souplesse relativement au point de départ ou au seuil pour devenir régénératif ;
   b. reconnaître les différences entre les régions ou les systèmes de production dans la mise en œuvre ;
   c. permettre l'expérimentation de nouvelles pratiques ;
   d. encourager l'amélioration continue dans le temps.

Sur ces questions, et sur bien d'autres, des efforts concertés avec un large éventail d'acteurs seront nécessaires. Il est clair que chaque intervenant du système agroalimentaire a un rôle à jouer dans la promotion des principes de l'agriculture régénérative, et le présent rapport tente de faire un premier pas vers l'établissement d'un consensus sur la portée et sur les principales mesures à prendre, qui est nécessaire dans le contexte canadien. Bien qu'il reste beaucoup à faire, il existe des perspectives prometteuses pour faire progresser un système agroalimentaire régénératif au Canada grâce à diverses interventions collaboratives et multidisciplinaires qui profitent aux agriculteurs, aux chaînes de valeur et à la société dans son ensemble.

Références

[1] B. Sands, M. R. Machado, A. White, E. Zent et R. Gould. "Moving towards an anti-colonial definition for regenerative agriculture," *Ag. Hum. Values,* vol. 40, p. 1697-1716, 2023. doi : 10.1007/s10460-023-10429-3.

[2] M. Karaca et A. G. Ince. "Revisiting sustainable systems and methods in agriculture," *Sustainable Agriculture and the Environment,* M. Farooq, N. Gogoi et M. Pisante, éditeurs, Academic Press, Londres, Royaume-Uni, 2023, p. 195-246. doi : 10.1016/B978-0-323-90500-8.00004-X.

[3] B. Gremmen. "Regenerative agriculture as a biomimetic technology," *Outlook on Agriculture,* vol. 51, n° 1, p. 39-45, 2022. doi : 10.1177/00307270211070317.

[4] R. Khangura, D. Ferris, C. Wagg et J. Bowyer. "Regenerative agriculture—A literature review on the practices and mechanisms used to improve soil health," *Sustainability,* vol. 15, n° 3, art. n° 2338, 2023. doi : 10.3390/su15032338.

[5] Environnement et Changement climatique Canada. *« Rapport d'inventaire national : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada. »,* Environnement et Changement climatique Canada, Gatineau (Québec), Canada, 2024. [En ligne]. Disponible : https://publications.gc.ca/site/fra/9.502402/publication.html

[6] J. R. T. Martens, M. H. Entz et M. D. Wonneck. "Review: Redesigning Canadian prairie cropping systems for profitability, sustainability, and resilience," *Can. J. Plant Sci.,* vol. 95, n° 6, p. 1049-1072, 2015. doi : 10.4141/cjps-2014-173.

[7] Agriculture et Agroalimentaire Canada. « Partenariat canadien pour une agriculture durable ». [En ligne]. Disponible : https://agriculture.canada.ca/fr/ministere/initiatives/partenariat-canadien-agriculture-durable (Consulté le 9 septembre 2024)

[8] A. Bless, F. Davila et R. Plant. "A genealogy of sustainable agriculture narratives: Implications for the transformative potential of regenerative agriculture," *Agric. Hum. Values,* vol. 40, n° 4, p. 1379-1397, 2023. doi : 10.1007/s10460-023-10444-4.

[9] P. Tittonell, V. El Mujtar, G. Felix, Y. Kebede, L. Laborda, R. Luján Soto et J. de Vente. "Regenerative agriculture—Agroecology without politics?" *Front. Sustain. Food Syst.,* vol. 6, art. n° 844261, 2022. doi : 10.3389/fsufs.2022.844261.

[10] S. Wiltshire et B. Beckage. "Soil carbon sequestration through regenerative agriculture in the U.S. state of Vermont," *PLOS Climate,* vol. 1, n° 4, art. n° e0000021, 2022. doi : 10.1371/journal.pclm.0000021.

[11] R. S. Shahmohamadloo, C. M. Febria, E. D. Fraser et P. K. Sibley. "The sustainable agriculture imperative: A perspective on the need for an agrosystem approach to meet the United Nations Sustainable Development Goals by 2030," *IEAM.,* vol. 18, n° 5, p. 1199-1205, 2021. doi : 10.1002/ieam.4558.

[12] C. Keske. "Boreal agriculture cannot be sustainable without food sovereignty," *Front. Sustain. Food Syst.,* vol. 5, art. n° 673675, 2021. doi : 10.3389/fsufs.2021.673675.

[13] M. Taylor. "Climate-smart agriculture: What is it good for?" *J. Peasant Stud.,* vol. 45, n° 1, p. 89-107, 2017. doi : 10.1080/03066150.2017.1312355.

[14] L. Schreefel, H. H. E. van Zanten, J. C. J. Groot, C. J. Timler, M. J. Zwetsloot, A. Pas Schrijver, R. E. Creamer, R. P. O. Schulte et I. J. M. de Boer. "Tailor-made solutions for regenerative agriculture in the Netherlands," *Agric. Syst.,* vol. 203, art. n° 103518, 2022. doi : 10.1016/j.agsy.2022.103518.

[15] M. Dudek et A. Rosa. "Regenerative agriculture as a sustainable system of food production: Concepts, conditions, perceptions and initial implementations in Poland, Czechia and Slovakia," *Sustainability,* vol. 15, n° 22, art. n° 15721, 2023. doi : 10.3390/su152215721.

[16] S. L. Jayasinghe, D. T. Thomas, J. P. Anderson, C. Chen et B. C. T. Macdonald. "Global application of regenerative agriculture: A review of definitions and assessment approaches," *Sustainability,* vol. 15, n° 22, art. n° 15941, 2023. doi : 10.3390/su152215941.

[17] H. Heesmans, C. Hendriks, L. Barbieri, F. van Egmond, J. van der Veer et K. Teuling. "Application and analyses of regenerative versus conventional agriculture in a case study in De Hoeksche Waard, the Netherlands," Wageningen Environmental Research, Wageningen, Pays-Bas, rapport n° 3251, 2023. doi : 10.18174/590704.

[18] J. N. Landers, P. L. de Freitas, M. C. de Oliveira, S. P. da Silva Neto, R. Ralisch et E. A. Kueneman. "Next steps for conservation agriculture," *Agronomy,* vol. 11, n° 12, art. n° 2496, 2021. doi : 10.3390/agronomy11122496.

[19] K. Brown, J. Schirmer et P. Upton. "Can regenerative agriculture support successful adaptation to climate change and improved landscape health through building farmer self-efficacy and wellbeing?" *CRSUST,* vol. 4, art. n° 100170, 2022. doi : 10.1016/j.crsust.2022.100170.

[20] L. Schreefel, R. P. O. Schulte, I. J. M. de Boer, A. Pas Schrijver et H. H. E. van Zanten. "Regenerative agriculture — the soil is the base," *Glob. Food Secur.,* vol. 26, art. n° 100404, 2020. doi : 10.1016/j.gfs.2020.100404.

[21] P. E. Dik, D. Walvoort, K. Teuling et M. Knotter. "A case study on the efficacy of regenerative agriculture: A comparative study in the Hoekse Waard, the Netherlands," Wageningen Environmental Research, Wageningen, Pays-Bas, rapport n° 3300, 2023. doi : 10.18174/641804

[22] P. Dik, F. van Egmond et L. Barbieri. "Exploration of the simulation of crop growth and water holding capacity for regenerative agriculture: Soil Heroes Foundation — Hoeksche Waard case study," Wageningen Environmental Research, Wageningen, Pays-Bas, rapport n° 3216, 2022. doi : 10.18174/582324

[23] Cargill. "Regenerative agriculture." [En ligne]. Disponible : https://www.cargill.com/sustainability/regenerative-agriculture (Consulté le 5 septembre 2024)

[24] Soil and Climate Initiative. "Farm verification standard." [En ligne]. Disponible : https://www.soilclimateinitiative.org/standards (Consulté le 25 may 2024)

[25] Producteurs laitiers du Canada. « L'agriculture régénératrice en production laitière au Canada ». [En ligne]. Disponible : https://producteurslaitiersducanada.ca/fr/lait-au-canada/lexcellence-laitiere/lagriculture-regeneratrice-en-production-laitiere-au-canada-transformer-les-pratiques-agricoles-pour-la-durabilite-et-la-resilience (Consulté le 25 mai 2024)

[26] Regenerative Alberta Living Lab. "Regenerative agriculture soil principles." [En ligne]. Disponible : https://www.regenlivinglab.org/resources (Consulté le 25 mai 2024)

[27] McCain Foods Limited. "McCain's Regenerative Agriculture Framework," McCain Foods Limited, Toronto (Ontario), Canada, janvier 2024, 7 p. [En ligne]. Disponible : https://www.mccain.com/media/4594/mccain_regenag_framework_2024.pdf

[28] Gouvernement de la Saskatchewan. "Regenerative agriculture practices on the Prairies." [En ligne]. Disponible : https://www.saskatchewan.ca/business/agriculture-natural-resources-and-industry/agribusiness-farmers-and-ranchers/farm-business-management/regenerative-agriculture-practices-on-the-prairies (Consulté le 5 septembre 2024)

[29] Biological Carbon Canada. "Regenerative agriculture 101." [En ligne]. Disponible : https://biologicalcarbon.ca/regenerative-ag/ (Consulté le 5 septembre 2024)

[30] General Mills Canada. "Regenerative agriculture." [En ligne]. Disponible : https://www.generalmills.ca/how-we-make-it/healthier-planet/environmental-impact/regenerative-agriculture (Consulté le 5 septembre 2024)

[31] A. B. Marks. "(Carbon) farming our way out of climate change," *Denver Law Review,* vol. 97, n° 3, p. 497-556, 2020. [En ligne]. Disponible : https://scholar.law.colorado.edu/faculty-articles/1294

[32] E. A. Davidson. "Is the transactional carbon credit tail wagging the virtuous soil organic matter dog?" *Biogeochemistry,* vol. 161, n° 1, p. 1-8, 2022. doi : 10.1007/s10533-022-00969-x.

[33] R. Luján Soto, M. Cuéllar Padilla et J. de Vente. "Participatory selection of soil quality indicators for monitoring the impacts of regenerative agriculture on ecosystem services," *Ecosyst. Serv.,* vol. 45, art. n° 101157, 2020. doi : 10.1016/j.ecoser.2020.101157.

[34] M. S. Reed et coll. "Integrating ecosystem markets to co-ordinate landscape-scale public benefits from nature," *PLOS One,* vol. 17, n° 1, art. n° e0258334, 2022. doi : 10.1371/journal.pone.0258334.

[35] H. Kwon, X. Liu, H. Xu et M. Wang. "Greenhouse gas mitigation strategies and opportunities for agriculture," *Agron. J.,* vol. 113, n° 6, p. 4639-4647, 2021. doi : 10.1002/agj2.20844.

[36] E. J. Dominati, F. J. F. Maseyk, A. D. Mackay et J. M. Rendel. "Farming in a changing environment: Increasing biodiversity on farm for the supply of multiple ecosystem services," *Sci.Total Environ.*, vol. 662, n° 20, p. 703-713, 2019. doi : 10.1016/j.scitotenv.2019.01.268.

[37] D. A. Landis. "Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services," *BAAE,* vol. 18, p. 1-12, 2017. doi : 10.1016/j.baae.2016.07.005.

[38] General Mills Canada. "General Mills regenerative agriculture self-assessment," Version 2.0, General Mills Canada, Mississauga (Ontario), Canada, 2019, 22 p. [En ligne]. Disponible : https://www.generalmills.ca/-/media/project/gmi/corporate/corporate-master/files/how-we-make-it/planet/gmi-ra-self-assessment-combo.pdf

[39] Unilever. "The Unilever regenerative agriculture principles with implementation guides," Unilever, Londres, Royaume-Uni, 2021, 88 p. [En ligne]. Disponible : https://www.unilever.com/files/92ui5egz/production/4894104423808129 07bc3d97be02ccda1a44ab4b.pdf

[40] Nestlé. "Regenerative agriculture." [En ligne]. Disponible : https://www.nestle.com/sustainability/nature-environment/regenerative-agriculture (Consulté le 5 septembre 2024)

[41] Regenerative Organic Alliance. "Framework for Regenerative Organic Certified®," Version 4.1, Regenerative Organic Alliance, 2023, 49 p. [En ligne]. Disponible : https://regenorganic.org/wp-content/uploads/2023/03/Regenerative-Organic-Certified-Framework.pdf

[42] A Greener World. "Certified Regenerative by AGW standards." [En ligne]. Disponible : https://agreenerworld.org/certifications/certified-regenerative/certified-regenerative-standards/ (Consulté le 5 septembre 2024)

[43] Field to Market. "Defining sustainable and regenerative agriculture." [En ligne]. Disponible : https://fieldtomarket.org/defining-sustainability/ (Consulté le 25 mai 2024)

[44] Sustainable Agriculture Initiative Platform. "Regenerating Together Programme: A global framework for regenerative agriculture." [En ligne]. Disponible : https://saiplatform.org/regenerating-together-programme/ (Consulté le 25 mai 2024)

[45] Lexicon of Food. "Ten principles." [En ligne]. Disponible : https://lexiconoffood.com/regen-ag/ten-principles/ (Consulté le 25 mai 2024)

[46] J.-F. Obregón, M. Aguanno, M. Brooking et D.-L. Arjaliès. *Advancing regenerative agriculture in Canada: Barriers, enablers, and recommendations,* Institute for Sustainable Finance, Ivey Business School, London (Ontario), Canada, 2023, 138 p. doi : 10.5206/iveypub.66.2023.

[47] J. Gualandris et coll. "Unchaining supply chains: Transformative leaps toward regenerating social-ecological systems," *J. Supply Chain Manag.,* vol. 60, n° 1, p. 53-67, 2024. doi : 10.1111/jscm.12314.

[48] Danone. "Danone Regenerative Agriculture Scorecard," Danone, Paris, France, 2022, 1 p. [En ligne]. Disponible : https://danoneregag.s3.eu-west-3.amazonaws.com/2022/07/Regenerative-Agriculture-Scorecard-2022.pdf

[49] Gouvernement de la Colombie-Britannique. *Regenerative agriculture and agritech can help B.C. achieve its sustainable agriculture goals,* Gouvernement de la Columbie-Britannique, Victoria (Colombie-Britannique), Canada, mai 2023, 33 p. [En ligne]. Disponible : https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/agriculture-and-seafood/regenerative-agriculture/regenerative_agriculture_and_agritech_can_help_bc_achieve_its_sustainable_agriculture_goals.pdf

[50] Kering. « Fonds Régénératif pour la Nature ». [En ligne]. Disponible : https://www.kering.com/fr/developpement-durable/preserver-la-planete/fonds-regeneratif-pour-la-nature/ (Consulté le 5 septembre 2024)

[51] Danone. *Assessment of regenerative agriculture practices: Social handbook,* Version 1, Danone, Paris, France, décembre 2022, 31 p. [En ligne]. Disponible : https://danoneregag.s3.eu-west-3.amazonaws.com/2023/01/Danone_Social_Handbook_2023.pdf

[52] One Planet Business for Biodiversity. *Scaling up regenerative agriculture — OP2B's contribution,* One Planet Business for Biodiversity, 2023, 4 p. [En ligne]. Disponible : https://www.wbcsd.org/wp-content/uploads/2023/10/OP2B-Regenerative-Agriculture-Leaflet.pdf

[53] P. Newton, N. Civita, L. Frankel-Goldwater, K. Bartel et C. Johns. "What is regenerative agriculture? A Review of scholar and practitioner definitions based on processes and outcomes," *Front. Sustain. Food Syst.,* vol. 4, art. n° 577723, 2020. doi : 10.3389/fsufs.2020.577723.

[54] M. W. Jordon, K. J. Willis, P. C. Bürkner et G. Petrokofsky. "Rotational grazing and multispecies herbal leys increase productivity in temperate pastoral systems — A meta-analysis," *Agric. Ecosyst. Environ.,* vol. 337, art. n° 108075, 2022. doi : 10.1016/j.agee.2022.108075.

[55] A. Leu. "An overview of global organic and regenerative agriculture movements," *Organic Food Systems: Meeting the Needs of Southern Africa,* R. Auerbach, éditeur, CABI, p. 21-31, 2020. doi : 10.1079/9781786399601.0021.

[56] L. Daverkosen, A. Holzknecht, J. K. Friedel, T. Keller, B. W. Strobel, A. Wendeberg et S. Jordan. "The potential of regenerative agriculture to improve soil health on Gotland, Sweden," *JPNSS,* vol. 185, n° 6, p. 901-914, 2022. doi : 10.1002/jpln.202200200.

[57] T. O'Donoghue, B. Minasny et A. McBratney. "Regenerative agriculture and its potential to improve farmscape function," *Sustainability,* vol. 14, n° 10, art. n° 5815, 2022. doi : 10.3390/su14105815.

[58] Gouvernement de l'Ontario. « Cultures couvre-sol : Types de cultures-abri ». [En ligne]. Disponible : https://www.ontario.ca/fr/page/cultures-couvre-sol-types-de-cultures-abri (Consulté le 9 septembre 2024)

[59] R. Barrett. "Keeping your soils covered: Environmental and economic benefit!" PEI Potato Agronomy, Île-du-Prince-Édouard, Canada, avril 2018, 4 p. [En ligne]. Disponible : https://peipotatoagronomy.com/wp-content/uploads/2018/04/Cover-Crop-Factsheet-Apr18.pdf

[60] BC Climate Agri-Solutions. "On-farm demonstration to promote cover cropping in blueberry production." [En ligne]. Disponible : https://bccaf.ca/on-farm-demo-blueberry-production/ (Consulté le 9 septembre 2024)

[61] C. Marshall. « Pâturage de cultures de couverture : vous pouvez utiliser votre culture de couverture et aussi la manger », *La Science du Bio au Canada,* vol. 4, 2022. [En ligne]. Disponible : https://organicfederation.ca/fr/ressource/la-science-du-bio-au-canada-printemps-2022/paturage-de-cultures-de-couvertures-vous-pouvez-utiliser-votre-culture-de-couverture-et-aussi-la-manger/ (Consulté le 9 septembre 2024)

[62] C. Morrison. *Cover cropping on the Prairies,* Canadian Agri-Food Policy Institute, Ottawa (Ontario), Canada, juin 2021, 18 p. [En ligne]. Disponible : https://capi-icpa.ca/wp-content/uploads/2021/06/2021-06-10-Callum-Morrison-Individual-Report-1-2.pdf

[63] P. Toner et W. Brown. *Evaluating tillage options for your farm,* Ministère de l'Agriculture, de l'Aquaculture et des Pêches, Fredericton (Nouveau-Brunswick), Canada, juillet 2020, 4 p. [En ligne]. Disponible : https://www.nbscia.ca/wp-content/uploads/2020/07/evaluating-tillage-options-for-your-farm.pdf

[64] Agriculture et Agroalimentaire Canada. « La souplesse de la culture sans travail et de la culture à travail réduit du sol garantit la réussite à long terme ». [En ligne]. Disponible : https://agriculture.canada.ca/fr/production-agricole/sols-terres/gestion-sols/souplesse-culture-travail-culture-travail-reduit-du-sol-garantit-reussite-long-terme (Consulté le 9 septembre 2024)

[65] Gouvernement de la Saskatchewan. "Potatoes." [En ligne]. Disponible : https://www.saskatchewan.ca/business/agriculture-natural-resources-and-industry/agribusiness-farmers-and-ranchers/crops-and-irrigation/horticultural-crops/potatoes (Consulté le 9 septembre 2024)

[66] Canola Council of Canada. "Crop rotation." [En ligne]. Disponible : https://www.canolacouncil.org/canola-encyclopedia/field-characteristics/crop-rotation/ (Consulté le 9 septembre 2024)

[67] Statistique Canada. « Enquête sur la gestion des fermes, 2021 ». [En ligne]. Disponible : https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/230217/dq230217f-fra.htm (Consulté le 9 septembre 2024)

[68] R. P. Zentner, C. A. Campbell, F. Selles, P. G. Jefferson et R. Lemke. "Effect of fallow frequency, flexible rotations, legume green manure, and wheat class on the economics of wheat production in the Brown soil zone," *Can. J. Plant Sci.,* vol. 86, n° 2, p. 413-423, 2006. doi : 10.4141/P05-081.

[69] Gouvernement du Manitoba. *Manure management facts: Prioritization and rotation of fields for manure application,* Gouvernement du Manitoba, Winnipeg (Manitoba), Canada, juillet 2014, 5 p. [En ligne]. Disponible : https://www.gov.mb.ca/agriculture/environment/nutrient-management/pubs/mmf-prioritization-rotation-factsheet.pdf

[70] Canola Council of Canada. "Strategies to reduce fertility inputs and improve soil health and carbon sequestration in mixed crop-livestock systems." [En ligne]. Disponible : https://www.canolacouncil.org/research-hub/strategies-to-reduce-fertility-inputs-and-improve-soil-health-and-carbon-sequestration-in-mixed-crop-livestock-systems/ (Consulté le 9 septembre 2024)

[71] Agriculture et Agroalimentaire Canada. « Document de discussion : Réduction des émissions découlant de l'application d'engrais dans le secteur agricole canadien ». [En ligne]. Disponible : https://agriculture.canada.ca/fr/ministere/transparence/recherche-opinion-publique-consultations/faites-connaitre-vos-idees-reduction-emissions-attribuables-aux-engrais/discussion (Consulté le 9 septembre 2024)

[72] Beef Cattle Research Council. "Cost of manure management." [En ligne]. Disponible : https://www.beefresearch.ca/blog/cost-of-manure-management/ (Consulté le 9 septembre 2024)

[73] Gouvernement de la Saskatchewan. "Managing manure as a fertilizer." [En ligne]. Disponible : https://www.saskatchewan.ca/business/agriculture-natural-resources-and-industry/agribusiness-farmers-and-ranchers/crops-and-irrigation/soils-fertility-and-nutrients/managing-manure-as-a-fertilizer (Consulté le 9 septembre 2024)

[74] Statistique Canada. « Recensement de l'agriculture, 2021 ». [En ligne]. Disponible : https://www.statcan.gc.ca/fr/recensement-agriculture (Consulté le 9 septembre 2024)

[75] Statistique Canada. « Estimations du bétail, 1er janvier 2023 ». [En ligne]. Disponible : https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/230228/dq230228e-fra.htm (Consulté le 9 septembre 2024)

[76] Gouvernement de l'Alberta. "Manure application." [En ligne]. Disponible : https://www.alberta.ca/manure-application (Consulté le 9 septembre 2024)

[77] Fertilisants Canada. « Les 4B au Canada ». [En ligne]. Disponible : https://fertilizercanada.ca/fr/notre-priorite/gerance/application-de-gerance-des-nutriments-4b-dans-lensemble-du-canada/ (Consulté le 9 septembre 2024)

[78] S. Mitchell, A. Weersink et N. Bannon. "Adoption barriers for precision agriculture technologies in Canadian crop production," *Can. J. Plant Sci.,* vol. 101, n° 3, p. 412-416, 2020. doi : 10.1139/cjps-2020-0234.

[79] Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario. « Systèmes de rotation des pâturages : Fonds d'action à la ferme pour le climat ». [En ligne]. Disponible : https://programguides.ontariosoilcrop.org/fr/program/systemes-de-rotation-des-paturages/ (Consulté le 9 septembre 2024)

[80] Gouvernement de la Saskatchewan. "Resilient Agricultural Landscapes Program (RALP)." [En ligne]. Disponible : https://www.saskatchewan.ca/business/agriculture-natural-resources-and-industry/agribusiness-farmers-and-ranchers/sustainable-canadian-agricultural-partnership/programs-for-farmers-and-ranchers/resilient-agricultural-landscapes-program (Consulté le 9 septembre 2024)

[81] BC Living Lab. "The BC Living Lab is underway!" [En ligne]. Disponible : https://bclivinglab.ca/the-bc-living-lab-is-underway/ (Consulté le 10 décembre 2024)

[82] Gouvernement du Manitoba. "Getting started with intensive grazing." [En ligne]. Disponible : https://www.gov.mb.ca/agriculture/crops/crop-management/forages/getting-started-with-intensive-grazing.html (Consulté le 9 septembre 2024)

[83] Dairy Farmers of Canada. *Net zero by 2050 BMP guide: Rotational grazing,* Dairy Farmers of Canada, Ottawa (Ontario), Canada, mars 2023, 1p. [En ligne]. Disponible : https://dairyfarmersofcanada.ca/sites/default/files/2023-03/BMP%20Guide%20-%20Rotational%20Grazing_0.pdf

[84] ALUS. *Success with ALUS enhanced grazing projects: How to establish and maintain adaptive multi-paddock grazing projects in ALUS' Western and Prairie hubs,* ALUS, Toronto (Ontario), Canada, 27 septembre 2021, 7 p. [En ligne]. Disponible : https://alus.ca/wp-content/uploads/2021/09/2021-09-27-ALUS-GRAZING-GUIDEBOOK-FINAL.pdf

[85] Statistique Canada. *Proportion des fermes ayant déclaré des cultures ou des pâturages qui utilisaient des brise-vent ou des coupe-vent selon les divisions de recensement (DR), 2015,* Statistique Canada, Ottawa (Ontario), Canada, 2015, 1 p. [En ligne]. Disponible : https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/pub/95-634-x/2017001/article/54903/pdf/m-c-247-fra.pdf?st=2cft6dFE

[86] C. R. Drever et coll. "Natural climate solutions for Canada [supplementary material]," *Science Advances,* vol. 7, art. n° eabd6034, 2021. doi : 10.1126/sciadv.abd6034.

[87] Gouvernment de la Colombie-Britannique. "Agroforestry." [En ligne]. Disponible : https://www2.gov.bc.ca/gov/content/industry/agriculture-seafood/agricultural-land-and-environment/agroforestry (Consulté le 9 septembre 2024)

[88] D. Lee et S. van Sice. *Polyface: The farm of many faces,* Harvard Business School, Boston, MA, Canada, cas d'utilisation n° 611-001, 6 octobre 2011, 22 p. [En ligne]. Disponible : https://store.hbr.org/product/polyface-the-farm-of-many-faces/611001?sku=611001-PDF-ENG

[89] L. Mueller, B. D. Kay, B. Deen, C. Hu, Y. Zhang, M. Wolff, F. Eulenstein et U. Schindler. "Visual assessment of soil structure: Part II. Implications of tillage, rotation and traffic on sites in Canada, China and Germany," *Soil Tillage Res.,* vol. 103, n° 1, p. 188-196, 2009. doi : 10.1016/j.still.2008.09.010.

[90] A. Shah, A. Weersink et R. Vyn. "Adoption of beneficial management practices to improve soil health," *Can. J. Soil Sci.,* vol. 102, n° 4, p. 825-834, 2022. doi : 10.1139/cjss-2021-0187.

[91] H. Asgedom et E. Kebreab. "Beneficial management practices and mitigation of greenhouse gas emissions in the agriculture of the Canadian Prairie: a review," *ASD,* vol. 31, n° 3, p. 433-451, 2011. doi : 10.1007/s13593-011-0016-2.

[92] A. Laamrani, P. R. Voroney, A. A. Berg, A. W. Gillespie, M. March, B. Deen et R. C. Martin. "Temporal change of soil carbon on a long-term experimental site with variable crop rotations and tillage systems," *Agronomy,* vol. 10, n° 6, art. n° 840, 2020. doi : 10.3390/agronomy10060840.

[93] G. H. Neilsen, D. T. Lowery, T. A. Forge et D. Neilsen. "Organic fruit production in British Columbia," *Can. J. Plant Sci.,* vol. 89, n° 4, p. 677-692, 2009. doi : 10.4141/CJPS08167.

[94] A. Meyer-Aurich, A. Weersink, K. Janovicek et B. Deen. "Cost efficient rotation and tillage options to sequester carbon and mitigate GHG emissions from agriculture in Eastern Canada," *Agric. Ecosyst. Environ.,* vol. 117, n° 2-3, p. 119-127, 2006. doi : 10.1016/j.agee.2006.03.023.

[95] C.-Y. Hung, L. Ejack et J. K. Whalen. "Fall-applied manure with cover crop did not increase nitrous oxide emissions during spring freeze-thaw periods," *Appl. Soil Ecol.,* vol. 158, art. n° 103786, 2021. doi : 10.1016/j.apsoil.2020.103786.

[96] Y. Gao, K. A. Borden, S. E. Brown et C. Wagner-Riddle. "Nongrowing season soil nitrous oxide emissions as influenced by cover crops and fall tillage termination," *Can. J. Soil Sci.,* vol. 103, n° 4, p. 527-537, 2023. doi : 10.1139/cjss-2023-0017.

[97] F. J. Larney, D. C. Pearson, R. E. Blackshaw et N. Z. Lupwayi. "Assessing legacy effects of a 12-year irrigated cropping systems study with a post-hoc bioassay," *AGE* vol. 4, n° 2, art. n° e20174, 2021. doi : 10.1002/agg2.20174.

[98] J. Li et coll. "Soil organic matter dynamics in long-term temperate agroecosystems: rotation and nutrient addition effects," *Can. J. Soil Sci.,* vol. 98, n° 2, p. 232-245, 2018. doi : 10.1139/cjss-2017-0127.

[99] D. H. Lynch, R. W. Jannasch, A. H. Fredeen et R. C. Martin. "Improving the nutrient status of a commercial dairy farm: An integrated approach," *Am. J. Alt. Ag.,* vol. 18, n° 3, p. 137-145, 2003. doi : 10.1079/AJAA200344.

[100] P. F. Jungnitsch, J. J. Schoenau, H. A. Lardner et P. G. Jefferson. "Winter feeding beef cattle on the western Canadian prairies: Impacts on soil nitrogen and phosphorus cycling and forage growth," *Agric. Ecosyst. Environ.,* vol. 141, n° 1-2, p. 143-152, 2011. doi : 10.1016/j.agee.2011.02.024.

[101] A. W. Alemu, R. Kröbel, B. G. McConkey et A. D. Iwaasa. "Effect of increasing species diversity and grazing management on pasture productivity, animal performance, and soil carbon sequestration of re-established pasture in Canadian prairie," *Animals,* vol. 9, n° 4, art. n° 127, 2019. doi : 10.3390/ani9040127.

[102] H. Cicek, J. R. Thiessen Martens, K. C. Bamford et M. H. Entz. "Effects of grazing two green manure crop types in organic farming systems: N supply and productivity of following grain crops," *Agric. Ecosyst. Environ.,* vol. 190, p. 27-36, 2014. doi : 10.1016/j.agee.2013.09.028.

[103] H. Cicek, J. R. Thiessen Martens, K. C. Bamford et M. H. Entz. "Forage potential of six leguminous green manures and effect of grazing on following grain crops," *Renew. Agric. Food Syst.,* vol. 30, n° 6, p. 503-514, 2015. doi : 10.1017/S1742170514000349.

[104] S. Pogue et coll. "Beef production and ecosystem services in Canada's prairie provinces: A review," *Agric. Syst.,* vol. 166, p. 152-172, 2018. doi : 10.1016/j.agsy.2018.06.011.

[105] B. M. Olson, A. R. Kalischuk, J. P. Casson et C. A. Phelan. "Evaluation of cattle bedding and grazing BMPs in an agricultural watershed in Alberta," *Water Sci. Technol.,* vol. 64, n° 2, p. 326-333, 2011. doi : 10.2166/wst.2011.637.

[106] Regenified. *6-3-4™ verification standard for regenerative agriculture,* Regenified, Dallas, TX, États-Unis, 2024, 24 p. [En ligne]. Disponible : https://s3.amazonaws.com/media.regenified.com/wp-content/uploads/2024/05/03204822/Regenified_6-3-4-Verification_Standard_4-10-2024.pdf

[107] D. L. Gelardi, D. Rath et C. E. Kruger. "Grounding United States policies and programs in soil carbon science: strengths, limitations et opportunities," *Front. Sustain. Food Syst.,* vol. 7, art. n° 1188133, 2023. doi : 10.3389/fsufs.2023.1188133.

[108] S. C. Hagen et coll. "Mapping conservation management practices and outcomes in the corn belt using the operational tillage information system (OpTIS) and the denitrification-decomposition (DNDC) model," *Land,* vol. 9, n° 11, art. n° 408, 2020. doi : 10.3390/land9110408.

[109] Field to Market. "Sustainability metrics." [En ligne]. Disponible : https://fieldtomarket.org/our-programs/sustainability-metrics/ (Consulté le 30 mai 2024)

[110] C. Skonberg et M. Thorbecke. "Applying environmental models in the food business context," *Food Systems Modelling,* C. Peters et D. Thilmany, éditeurs, Academic Press, Londres, Royaume-Uni, p. 307-327, 2022. doi : 10.1016/B978-0-12-822112-9.00009-6.

[111] D. J. Pannell, G. R. Marshall, N. Barr, A. Curtis, F. Vanclay et R. Wilkinson. "Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders," *Aust. J. Exp. Agric.,* vol. 46, n° 11, p. 1407-1424, 2006. doi : 10.1071/EA05037.

[112] O. M. de Oca Munguia, D. J. Pannell, R. Llewellyn et P. Stahlmann-Brown. "Adoption pathway analysis: Representing the dynamics and diversity of adoption for agricultural practices," *Agricultural Systems,* vol. 191, art. n° 1031732021. doi : 10.1016/j.agsy.2021.103173.

[113] Food Water Wellness Foundation. "Producer perspectives on barriers to the adoption of regenerative agriculture on the Canadian Prairies," Nature United, Toronto (Ontario), Canada, 2 mai 2024, 225 p. [En ligne]. Disponible : https://www.natureunited.ca/content/dam/tnc/nature/en/documents/Barriers-to-Adoption-Report.pdf

[114] S. Rotz. "They took our beads, it was a fair trade, get over it': Settler colonial logics, racial hierarchies and material dominance in Canadian agriculture," *Geoforum,* vol. 82, p. 158-169, 2017. doi : 10.1016/j.geoforum.2017.04.010.

[115] H. Gosnell, N. Gill et M. Voyer. "Transformational adaptation on the farm: Processes of change and persistence in transitions to 'climate-smart' regenerative agriculture," *Global Environmental Change,* vol. 59, art. n° 101965, 2019. doi : 10.1016/j.gloenvcha.2019.101965.

[116] Agriculture et Agroalimentaire Canada. Rapport *« Ce que nous avons entendu » – Réduction des émissions attribuables aux engrais.* [En ligne]. Disponible : https://agriculture.canada.ca/fr/ministere/transparence/recherche-opinion-publique-consultations/faites-connaitre-vos-idees-reduction-emissions-attribuables-aux-engrais/rapport-ce-que-nous-avons-entendu-reduction-emissions-attribuables-aux-engrais (Consulté le 9 septembre 2024)

[117] S. Mooney, A. Carter, P. Hynds, Á. Macken-Walsh, M. Henchion, E. Devereux et M. Markiewicz-Kęszycka. "On-farm pro-environmental diversification: A qualitative analysis of narrative interviews with Western-European farmers," *Agroecology and Sustainable Food Systems,* vol. 48, n° 1, p. 93-123, 2023. doi : 10.1080/21683565.2023.2269380.

[118] K. R. Wilson, R. L. Myers, M. K. Hendrickson et E. A. Heaton. "Different stakeholders' conceptualizations and perspectives of regenerative agriculture reveals more consensus than discord," *Sustainability,* vol. 14, n° 22, art. n° 15261, 2022. doi : 10.3390/su142215261.

[119] C. Conway. "Peer support model as catalyst for change," *Rural Extension and Innovation Systems Journal,* vol. 15, n° 1, p. 81-85, 2019, 5 p. [En ligne]. Disponible : https://www.apen.org.au/static/uploads/files/reis-2019-1501-p2-wfzqlhgasilu.pdf

[120] M. M. Al-Kaisi et R. Lal. "Aligning science and policy of regenerative agriculture," *Soil Science Society of America Journal,* vol. 84, n° 6, p. 1808-1820, 2020. doi : 10.1002/saj2.20162.

[121] P. Stephens. "Social finance investing for a resilient food future," *Sustainability,* vol. 13, n° 12, art. n° 6512, 2021. doi : 10.3390/su13126512.

[122] Ontario Soil Network. "Social networks for healthy soils," Ontario Soil Network, avril 2023, 7 p. [En ligne]. Disponible : https://ontariosoil.net/wp-content/uploads/2023/04/Social-Networks-for-Healthy-Soils-Report_2023_FINAL.pdf

[123] L. Ashton et B. Bradshaw. "Enabling conditions for scaling natural climate solutions in Canada's agriculture sector," *Nat. Based. Solu.,* vol. 3, art. n° 100071, 2021. doi : 10.1016/j.nbsj.2023.100071.

[124] Comité permanent Agriculture et forêts, Sénat du Canada. « Terrain critique : Pourquoi le sol est essentiel à la santé économique, environnementale, humaine, et sociale du Canada », juin 2024. [En ligne]. Disponible : https://sencanada.ca/fr/comites/AGFO/rapports/44-1#?filterSession=44-1 (Consulté le 14 janvier 2025)

[125] E. Vinco, N. Morrison, J. Bourassa et G. Lhermie. "Climate policy and Canadian crop production: A qualitative study of farmers' attitudes and perceptions towards nitrous oxide reductions," *Journ. Clean. Prod.,* vol. 418, art. n° 138108, 2023. doi : 10.1016/j.jclepro.2023.138108.

[126] R. Kröbel et coll. "Making farming more sustainable by helping farmers to decide rather than telling them what to do," *Environmental Research Letters,* vol. 16, n° 5, art. n° 055033, 2021. doi : 10.1088/1748-9326/abef30.

[127] A.-M. Codur et J. Watson. "Climate smart or regenerative agriculture? Defining climate policies based on soil health," GDAE Climate Policy Brief No. 9, Global Development and Environment Institute, Tufts University, Somerville, MA, États-Unis, avril 2018, 10 p. [En ligne]. Disponible : https://sites.tufts.edu/gdae/files/2019/10/ClimatePolicyBrief9.pdf

[128] E. Bowness, J. MacInnis, A. A. Desmarais et S. Oke. "Envisioning prairie agroecology: Farmer visual constructions of place-based ecological agriculture in Canada," *Elementa: Science of the Anthropocene,* vol. 12, n° 1, art. n° 00054, 2024. doi : 10.1525/elementa.2023.00054.

[129] M. S. Reza et G. Sabau. "Impact of climate change on crop production and food security in Newfoundland and Labrador, Canada," *J. Ag. Food Res.,* vol. 10, art. n° 100405, 2022. doi : 10.1016/j.jafr.2022.100405.

[130] American National Standards Institute. *Framework to Evaluate the Sustainability of Agricultural Production Systems,* ANSI/ASABE S629, American National Standards Institute, Washington, DC, États-Unis, 2021. [En ligne]. Disponible : https://webstore.ansi.org/standards/asabe/ansiasabes629jun2016r2021

[131] CEN-CENELEC. "New CWA 17898:2022 'Methodology to quantify the global agricultural crop footprint including soil impacts'," [En ligne]. Disponible : https://www.cencenelec.eu/news-and-events/news/2022/workshop/2022-06-28-cwa-17898-2022/ (Consulté le 9 septembre 2024)

[132] Organisation internationale de normalisation. *Qualité du sol – Cadre pour l'enregistrement détaillé et la surveillance des modifications des propriétés dynamiques du sol,* ISO 23992, Organisation internationale de normalisation, Genève, Suisse, 2022. [En ligne]. Disponible : https://www.iso.org/fr/standard/77569.html

[133] Office des normes générales du Canada. *Systèmes de production biologique : principes généraux et normes de gestion,* CAN/CGSB-32.310, Office des normes générales du Canada, Ottawa (Ontario) Canada, 2020. [En ligne]. Disponible : https://publications.gc.ca/site/fra/9.894378/publication.html

[134] Office des normes générales du Canada. *Systèmes de production biologique : Systèmes de production biologique : listes des substances permises,* CAN/CGSB-32.311, Office des normes générales du Canada, Ottawa (Ontario) Canada, 2020. [En ligne]. Disponible : https://publications.gc.ca/site/fra/9.894399/publication.html

[135] A. Mottet et coll. "Assessing transitions to sustainable agricultural and food systems: A Tool for Agroecology Performance Evaluation (TAPE)," *Front. Sustain. Food Syst.,* vol. 4, art. n° 579154, 2020. doi : 10.3389/fsufs.2020.579154.

[136] Association canadienne de normalisation. *Specifications for Natural Asset Inventories,* CSA W218, Association canadienne de normalisation, Toronto (Ontario), Canada, 2023. [En ligne]. Disponible : https://www.csagroup.org/store/product/2430709/

[137] W. Elrick, H. Luke et K. Stimpson. "Exploring opportunities and constraints of a certification scheme for regenerative agricultural practice," *Agroec. Sustain. Food Syst.,* vol. 46, n° 10, p. 1527-1549, 2022. doi : 10.1080/21683565.2022.2121950.

[138] Z. Matties. "Unsettling settler food movements: Food sovereignty and decolonization in Canada," *Cuizine,* vol. 7, n° 2, 2016. doi : 10.7202/1038478ar.

[139] A. Malli, H. Monteith, E. C. Hiscock, E. V. Smith, K. Fairman, T. Galloway et A. Mashford-Pringle. "Impacts of colonization on Indigenous food systems in Canada and the United States: a scoping review," *BMC Public Health,* vol. 23, art. n° 2105, 2023. doi : 10.1186/s12889-023-16997-7.

[140] J. J. Almaraz et coll. "Greenhouse gas fluxes associated with soybean production under two tillage systems in southwestern Quebec," *Soil Tillage Res.,* vol. 104, n° 1, p. 134-139, 2009. doi : 10.1016/j.still.2009.02.003.

[141] H. M. Beach, K. W. Laing, M. Van De Walle et R. C. Martin. "The current state and future directions of organic no-till farming with cover crops in Canada, with case study support," *Sustainability,* vol. 10, n° 2, art. n° 373, 2018. doi : 10.3390/su10020373.

[142] C. Halde, K. C. Bamford et M. H. Entz. "Crop agronomic performance under a six-year continuous organic no-till system and other tilled and conventionally-managed systems in the northern Great Plains of Canada," *Agric. Ecosyst. Environ.,* vol. 213, p. 121-130, 2015. doi : 10.1016/j.agee.2015.07.029.

[143] Z. Li, J. Y. Yang, C. F. Drury, X. M. Yang, W. D. Reynolds, X. Li et C. Hu. "Evaluation of the DNDC model for simulating soil temperature, moisture and respiration from monoculture and rotational corn, soybean and winter wheat in Canada," *Ecol. Modell.,* vol. 360, p. 230-243, 2017. doi : 10.1016/j.ecolmodel.2017.07.013.

[144] L. J. Munkholm, R. J. Heck et B. Deen. "Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield," *Soil Tillage Res.,* vol. 127, p. 85-91, 2013. doi : 10.1016/j.still.2012.02.007.

[145] J. K. Whalen, H. Benslim, Y. Jiao et B. K. Sey. "Soil organic carbon and nitrogen pools as affected by compost applications to a sandy-loam soil in Quebec," *Can. J. Soil Sci.,* vol. 88, n° 4, p. 443-450, 2008. doi : 10.4141/CJSS07077.

[146] M. J. Morrison, E. R. Cober, E. G. Gregorich, H. D. Voldeng, B. Ma et G. C. Topp. "Tillage and crop rotation effects on the yield of corn, soybean, and wheat in eastern Canada," *Can. J. Plant Sci.,* vol. 98, n° 1, p. 183-191, 2017. doi : 10.1139/cjps-2016-0407.

[147] I. Chahal, D. C. Hooker, B. Deen, K. Janovicek et L. L. Van Eerd. "Long-term effects of crop rotation, tillage, and fertilizer nitrogen on soil health indicators and crop productivity in a temperate climate," *Soil Tillage Res.,* vol. 213, art. n° 105121, 2021. doi : 10.1016/j.still.2021.105121.

[148] K. A. Congreves, A. Hayes, E. A. Verhallen et L. L. Van Eerd. "Long-term impact of tillage and crop rotation on soil health at four temperate agroecosystems," *Soil Tillage Res.,* vol. 152, p. 17-28, 2015. doi : 10.1016/j.still.2015.03.012.

[149] M. Sheng, R. Lalande, C. Hamel, N. Ziadi et Y. Shi. "Growth of corn roots and associated arbuscular mycorrhizae are affected by long-term tillage and phosphorus fertilization," *Agron. J.,* vol. 104, n° 6, p. 1672-1678, 2012. doi : 10.2134/agronj2012.0153.

[150] M. Sheng, R. Lalande, C. Hamel et N. Ziadi. "Effect of long-term tillage and mineral phosphorus fertilization on arbuscular mycorrhizal fungi in a humid continental zone of Eastern Canada," *Plant Soil,* vol. 369, p. 599-613, 2013. doi : 10.1007/s11104-013-1585-4.

[151] D. Abdi, B. J. Cade-Menun, N. Ziadi et L.-E. Parent. "Long-term impact of tillage practices and phosphorus fertilization on soil phosphorus forms as determined by ^{31}P nuclear magnetic resonance spectroscopy," *J. Environ. Qual.,* vol. 43, n° 4, p. 1431-1441, 2014. doi : 10.2134/jeq2013.10.0424.

[152] Q. Yang, G. A. Benoy, T. L. Chow, J.-L. Daigle, C. P.-A. Bourque et F.-R. Meng. "Using the soil and water assessment tool to estimate achievable water quality targets through implementation of beneficial management practices in an agricultural watershed," *J. Environ. Qual.,* vol. 41, n° 1, p. 64-72, 2012. doi : 10.2134/jeq2010.0250.

[153] K. D. Schneider, B. G. McConkey, A. Thiagarajan, J. A. Elliott et D. K. Reid. "Nutrient loss in snowmelt runoff: Results from a long-term study in a dryland cropping system," *J. Environ. Qual.,* vol. 48, n° 4, p. 831-840, 2019. doi : 10.2134/jeq2018.12.0448.

[154] L. R. Viana, P.-L. Dessureault, C. Marty, P. Loubet, A. Levasseur, J.-F. Boucher et M. C. Paré. "Would transitioning from conventional to organic oat grains production reduce environmental impacts? A LCA case study in North-East Canada," *J. Clean. Prod.,* vol. 349, art. n° 131444, 2022. doi : 10.1016/j.jclepro.2022.131344.

[155] R. E. Blackshaw. "Agronomic merits of cereal cover crops in dry bean production systems in western Canada," *Crop Prot.,* vol. 27, n° 2, p. 208-214, 2008. doi : 10.1016/j.cropro.2007.05.006.

[156] I. Chahal et L. Van Eerd. "Cover crops increase tomato productivity and reduce nitrogen losses in a temperate humid climate," *Nutr. Cycling Agroecosyst.,* vol. 119, n° 2, p. 195-211, 2021. doi : 10.1007/s10705-020-10105-6.

[157] K. A. O'Reilly, D. E. Robinson, R. J. Vyn et L. L. Van Eerd. "Weed populations, sweet corn yield, and economics following fall cover crops," *Weed Technol.,* vol. 25, n° 3, p. 374-384, 2011. doi : 10.1614/WT-D-10-00051.1.

[158] R. E. Blackshaw, L. J. Molnar et J. R. Moyer. "Suitability of legume cover crop-winter wheat intercrops on the semi-arid Canadian prairies," *Can. J. Plant Sci.,* vol. 90, n° 4, p. 479-488, 2010. doi : 10.4141/CJPS10006.

[159] S. P. Mooleki, Y. Gan, R. L. Lemke, R. P. Zentner et C. Hamel. "Effect of green manure crops, termination method, stubble crops, and fallow on soil water, available N, and exchangeable P," *Can. J. Plant Sci.,* vol. 96, n° 5, p. 867-886, 2016. doi : 10.1139/cjps-2015-0336.

[160] G. H. Somers et M. M. Savard. "Considerations for the mitigation of nitrate contamination: stable isotopes and insights into the importance of soil processes," *Water Sci. Technol.,* vol. 64, n° 6, p. 1254-1260, 2011. doi : 10.2166/wst.2011.719.

[161] B. J. Zebarth, M. C. Ryan, G. Graham, T. A. Forge et D. Neilsen. "Groundwater monitoring to support development of BMPs for groundwater protection: The Abbotsford-Sumas Aquifer case study," *Ground Water Monit.Remediat.,* vol. 35, n° 1, p. 82-96, 2015. doi : 10.1111/gwmr.12092.

[162] K. Shirriff, K. Bahadur et A. Berg. "Exploring the relationship between cover crop adoption and soil erosion severity: A case study from the Simcoe Watershed, Ontario, Canada," *Land*, vol. 11, n° 7, art. n° 988, 2022. doi : 10.3390/land11070988.

[163] P. Miele et coll. "Assessing the impact of BMPs on water quality and quantity in a flat agricultural watershed in Southern Ontario," *Resources,* vol. 12, n° 12, art. n° 142, 2023. doi : 10.3390/resources12120142.

[164] L. J. Munkholm, R. J. Heck, B. Deen et T. Zidar. "Relationship between soil aggregate strength, shape and porosity for soils under different long-term management," *Geoderma,* vol. 268, p. 52-59, 2016. doi : 10.1016/j.geoderma.2016.01.005.

[165] A. M. Walburger, R. H. McKenzie, K. Seward et K. Ulrich. "The economics of sustainable agriculture alternatives on the semiarid Canadian prairies: The case for legumes and organic amendments," *J. Sustain. Agric.,* vol. 24, n° 3, p. 51-69, 2004. doi : 10.1300/J064v24n03_05.

[166] M. Khakbazan, K. Liu, M. Bandara, J. Huang et Y. Gan. "Pulse-included diverse crop rotations improved the systems economic profitability: evidenced in two 4-year cycles of rotation experiments," *Agron. Sustain. Dev.,* vol. 42, art. n° 103, 2022. doi : 10.1007/s13593-022-00831-2.

[167] E. Maillard, B. G. McConkey, M. St. Luce, D. A. Angers et J. Fan. "Crop rotation, tillage system, and precipitation regime effects on soil carbon stocks over 1 to 30 years in Saskatchewan, Canada," *Soil Tillage Res.,* vol. 177, p. 97-104, 2018. doi : 10.1016/j.still.2017.12.001.

[168] R. Karimi, W. Akinremi et D. Flaten. "Nitrogen- or phosphorus-based pig manure application rates affect soil test phosphorus and phosphorus loss risk," *Nutr. Cycling Agroecosyst.,* vol. 111, p. 217-230, 2018. doi : 10.1007/s10705-018-9924-8.

[169] B. M. Shrestha, B. G. McConkey, W. N. Smith, R. L. Desjardins, C. A. Campbell, B. B. Grant et P. R. Miller, "Effects of crop rotation, crop type and tillage on soil organic carbon in a semiarid climate," *Can J. Soil Sci.,* vol. 93, n° 1, p. 137-146, 2013. doi : 10.4141/cjss2012-078.

[170] C. A. Campbell, A. J. VandenBygaart, R. P. Zentner, B. G. McConkey, W. Smith, R. Lemke, B. Grant et P. G. Jefferson. "Quantifying carbon sequestration in a minimum tillage crop rotation study in semiarid southwestern Saskatchewan," *Can. J. Soil Sci.,* vol. 87, n° 3, p. 235-250, 2007. doi : 10.4141/S06-018.

[171] W. He et coll. "Measuring and modeling soil carbon sequestration under diverse cropping systems in the semiarid prairies of western Canada," *J. Clean. Prod.,* vol. 328, art. n° 129614, 2021. doi : 10.1016/j.jclepro.2021.129614.

[172] T. Astatkie, A. A. Joseph et R. C. Martin. "A two-level unreplicated factorial experiment to determine the effect of organic and inorganic fertilizers on dry matter yield of permanent pasture," *Renew. Agri. Food Syst.,* vol. 21, n° 2, p. 106-113, 2006. doi : 10.1079/RAF2005133.

[173] G. Cambareri, C. Drury, J. Lauzon, W. Salas et C. Wagner-Riddle. "Year-round nitrous oxide emissions as affected by timing and method of dairy manure application to corn," *SSSAJ,* vol. 81, n° 1, p. 166-178, 2017. doi : 10.2136/sssaj2016.05.0160.

[174] S. S. Malhi, M. Nyborg, E. D. Solberg, M. F. Dyck et D. Puurveen. "Improving crop yield and N uptake with long-term straw retention in two contrasting soil types," *Field Crops Res.,* vol. 124, n° 3, p. 378-391, 2011. doi : 10.1016/j.fcr.2011.07.009.

[175] C. C. Roman-Perez, G. Hernandez-Ramirez, L. Kryzanowski, D. Puurveen et G. Lohstraeter. "Greenhouse gas emissions, nitrogen dynamics and barley productivity as impacted by biosolids applications," *Agric. Ecosyst. Environ.,* vol. 320, art. n° 107577, 2021. doi : 10.1016/j.agee.2021.107577.

[176] I. Agomoh, F. Zvomuya, X. Hao et M. Benke. "Modeling barley yield in a dark brown chernozem after discontinuation of long-term manure application," *SSSAJ,* vol. 82, n° 2, p. 392-401, 2018. doi : 10.2136/sssaj2017.08.0284.

[177] V. D. Zheljazkov, T. Astatkie, C. D. Caldwell, J. MacLeod et M. Grimmett. "Compost, manure, and gypsum application to timothy/red clover forage," *J. Environ. Qual.,* vol. 35, n° 6, p. 2410-2418, 2006. doi : 10.2134/jeq2005.0322.

[178] T. T. Watson, L. M. Nelson, D. Neilsen, G. H. Neilsen et T. A. Forge. "Soil amendments influence *Pratylenchus penetrans* populations, beneficial rhizosphere microorganisms, and growth of newly planted sweet cherry," *Applied Soil Ecology,* vol. 117–118, pp. 212–220, 2017, https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.04.014.

[179] A. A. Farooque, Q. Zaman, F. Abbas, H. M. Hammad, B. Acharya et T. Easu. "How can potatoes be smartly cultivated with biochar as a soil nutrient amendment technique in Atlantic Canada?" *Arab. J. Geosci.,* vol. 13, art. n° 336, 2020. doi : 10.1007/s12517-020-05337-3.

[180] K. R. Neufeld, S. J. Grayston, S. Bittman, M. Krzic, D. E. Hunt et S. M. Smukler. "Long-term alternative dairy manure management approaches enhance microbial biomass and activity in perennial forage grass," *Biol. Fertil. Soils,* vol. 53, n° 6, p. 613-626, 2017. doi : 10.1007/s00374-017-1204-2.

[181] T. E. Lychuk, A. P. Moulin, R. L. Lemke, R. C. Izaurralde, E. N. Johnson, O. O. Olfert et S. A. Brandt. "Modelling the effects of climate change, agricultural inputs, cropping diversity, and environment on soil nitrogen and phosphorus: A case study in Saskatchewan, Canada," *Agric. Water Manag.,* vol. 252, art. n° 106850, 2021. doi : 10.1016/j.agwat.2021.106850.

[182] B. M. Olson, D. R. Bennett, R. H. McKenzie, T. D. Ormann et R. P. Atkins. "Nitrate leaching in two irrigated soils with different rates of cattle manure," *J. Environ. Qual.,* vol. 38, n° 6, p. 2218-2228, 2009. doi : 10.2134/jeq2008.0519.

[183] D. Abalos, S. E. Brown, A. C. Vanderzaag, R. J. Gordon, K. E. Dunfield et C. Wagner-Riddle. "Micrometeorological measurements over 3 years reveal differences in N_2O emissions between annual and perennial crops," *Glob. Change Biol.,* vol. 22, n° 3, p. 1244-1255, 2016. doi : 10.1111/gcb.13137.

[184] K. A. Kariyapperuma, A. Furon et C. Wagner-Riddle. "Non-growing season nitrous oxide fluxes from an agricultural soil as affected by application of liquid and composted swine manure," *Can. J. Soil Sci.,* vol. 92, n° 2, p. 315-327, 2012. doi : 10.4141/cjss2011-059.

[185] M. T. Rashid et R. P. Voroney. "Recycling soil nitrate nitrogen by amending agricultural lands with oily food waste," *J. Environ. Qual.,* vol. 32, n° 5, p. 1881-1886, 2003. doi : 10.2134/jeq2003.1881.

[186] P. C. Wartman, K. E. Dunfield, K. Khosla, C. Loucks, R. C. Van Acker et R. C. Martin. "The establishment of apple orchards as temperate forest garden systems and their impact on indigenous bacterial and fungal population abundance in Southern Ontario, Canada," *Renew. Agric. Food Syst.,* vol. 32, n° 2, p. 157-168, 2017. doi : 10.1017/S1742170516000120.

[187] A. R. Michaud et M. R. Laverdière. "Cropping, soil type and manure application effects on phosphorus export and bioavailability," *Can. J. Soil Sci.,* vol. 84, n° 3, p. 295-305, 2004. doi : 10.4141/S03-014.

[188] E. Kebreab, K. Clark, C. Wagner-Riddle et J. France. "Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review," *Can. J. Animal Sci.Science,* vol. 86, n° 2, p. 135-157, 2006. doi : 10.4141/A05-010.

[189] A. D. Samarajeewa, S. M. Glasauer, J. D. Lauzon, I. P. O'Halloran, G. W. Parkin et K. E. Dunfield. "Bacterial contamination of tile drainage water and shallow groundwater under different application methods of liquid swine manure," *Can. J.Microbiol.,* vol. 58, n° 5, p. 668-677, 2012. doi : 10.1139/w2012-038.

[190] B. Muhammad, M. S. Diarra, M. R. Islam, D. Lepp, R. E. Mastin-Wood, E. Topp, S. Bittman et X. Zhao. "Effects of litter from antimicrobial-fed broiler chickens on soil bacterial community structure and diversity," *Can. J. Microbiol.,* vol. 68, n° 10, p. 643-653, 2022. doi : 10.1139/cjm-2022-0086.

[191] T. Pittman. "Too much fertilizer? An observational association between inputs at planting and crop yield on a Saskatchewan farming operation," *Can. J. Plant Sci.,* vol. 100, n° 4, p. 435-444, 2020. doi : 10.1139/cjps-2019-0223.

[192] R. P. Zentner, C. A. Campbell, F. Selles, R. Lemke, B. G. McConkey, M. R. Fernandez, C. Hamel et Y. T. Gan. "Economics of spring wheat production systems using conventional tillage management in the Brown soil zone — Revisited," *Can. J. Plant Sci.,* vol. 87, n° 1, p. 27-40, 2007. doi : 10.4141/P05-219.

[193] M. Khakbazan et coll. "Effects of alternative management practices on the economics, energy and GHG emissions of a wheat-pea cropping system in the Canadian prairies," *Soil Tillage Res.,* vol. 104, n° 1, p. 30-38, 2009. doi : 10.1016/j.still.2008.11.005.

[194] R. E. Karamanos, J. A. Robertson, D. Puurveen et K. W. Domier. "Assessment of phosphorus status in a long-term tillage and phosphorus placement experiment," *Commun. Soil Sci. Plant Anal.,* vol. 44, n° 1-4, p. 219-231, 2013. doi : 10.1080/00103624.2013.736309.

[195] T. L. Weber, X. Hao, C. D. Gross, K. A. Beauchemin et S. X. Chang. "Effect of manure from cattle fed 3-nitrooxypropanol on anthropogenic greenhouse gas emissions depends on soil type," *Agronomy,* vol. 11, n° 2, art. n° 371, 2021. doi : 10.3390/agronomy11020371.

[196] Y. Shi, R. Lalande, N. Ziadi, M. Sheng et Z. Hu. "An assessment of the soil microbial status after 17 years of tillage and mineral P fertilization management," *Appl. Soil Ecol.,* vol. 62, p. 14-23, 2012. doi : 10.1016/j.apsoil.2012.07.004.

[197] L. W. Bell, B. Sparling, M. Tenuta et M. H. Entz. "Soil profile carbon and nutrient stocks under long-term conventional and organic crop and alfalfa-crop rotations and re-established grassland," *Agric. Ecosyst. Environ.,* vol. 158, p. 156-163, 2012. doi : 10.1016/j.agee.2012.06.006.

[198] S. F. Yanni, H. H. Janzen, E. G. Gregorich, B. H. Ellert, F. J. Larney, B. M. Olson et F. Zvomuya. "Organic carbon convergence in diverse soils toward steady state: A 21-year field bioassay," *SSSAJ,* vol. 80, n° 6, p. 1653-1662, 2016. doi : 10.2136/sssaj2016.07.0214.

[199] M. Serajchi, M. P. Schellenberg, J. M. Mischkolz et E. G. Lamb. "Mixtures of native perennial forage species produce higher yields than monocultures in a long-term study," *Can. J. Plant Sci.,* vol. 98, n° 3, p. 633-647, 2018. doi : /10.1139/cjps-2017-0087.

[200] G. J. Scrimgeour et S. Kendall. "Effects of livestock grazing on benthic invertebrates from a native grassland ecosystem," *Freshw. Biol.,* vol. 48, n° 2, p. 347-362, 2003. doi : 10.1046/j.1365-2427.2003.00978.x.

[201] M. S. Sliwinski et N. Koper. "Managing mixed-grass prairies for songbirds using variable cattle stocking rates," *Rangel. Ecol. Manag.,* vol. 68, n° 6, p. 470-475, 2015. doi : 10.1016/j.rama.2015.07.010.

[202] E. N. Pipher, C. M. Curry et N. Koper. "Cattle Grazing Intensity and Duration Have Varied Effects on Songbird Nest Survival in Mixed-Grass Prairies," *Rangel. Ecol. Manag.,* vol. 69, n° 6, p. 437-443, 2016. doi : 10.1016/j.rama.2016.07.001.

[203] R. F. Grant, T. A. Kinch, R. L. Bradley, J. K. Whalen, A. Cogliastro, S. F. Lange, S. E. Allaire et W. F. J. Parsons. "Carbon sequestration vs. agricultural yields in tree-based intercropping systems as affected by tree management," *Can. J. Soil Sci.,* vol. 97, n° 3, p. 416-432, 2017. doi : 10.1139/cjss-2016-0115.

[204] M. Carrier, F.-A. Rhéaume Gonzalez, A. Cogliastro, A. Olivier, A. Vanasse et D. Rivest. "Light availability, weed cover and crop yields in second generation of temperate tree-based intercropping systems," *Field Crops Res.,* vol. 239, p. 30-37, 2019. doi : 10.1016/j.fcr.2019.05.004.

[205] M. Alam, A. Olivier, A. Paquette, J. Dupras, J.-P. Revéret et C. Messier. "A general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of tree-based intercropping systems," *Agrofor. Syst.,* vol. 88, n° 4, p. 679-691, 2014. doi : 10.1007/s10457-014-9681-x.

[206] D. Rivest, A. Cogliastro et A. Olivier. "Tree-based intercropping systems increase growth and nutrient status of hybrid poplar: A case study from two Northeastern American experiments," *JEM,* vol. 91, n° 2, p. 432-440, 2009, doi : 10.1016/j.jenvman.2009.09.013.

[207] K. Kim, E. J. Daly, T. K. Flesch, T. W. Coates et G. Hernandez-Ramirez. "Carbon and water dynamics of a perennial versus an annual grain crop in temperate agroecosystems," *Agric. For. Meteorol.,* vol. 314, art. n° 108805, 2022. doi : 10.1016/j.agrformet.2021.108805.

Annexe A. Pratiques et effets de l'agriculture régénérative au Canada

A.1. Réduction du labour (limitation des perturbations du sol, maintien de la couverture du sol)

La réduction du labour est la première catégorie de pratiques régénératives qui a été évaluée. Elle désigne un ensemble de méthodes qui visent à réduire ou à éliminer les techniques de travail du sol couramment utilisées en agriculture conventionnelle. Les méthodes traditionnelles de labour sont reconnues pour perturber la structure du sol et augmenter sa sensibilité au ruissellement de surface, à l'érosion, à la perte de matière organique et de biodiversité, ainsi qu'à la diminution de la fertilité. Le travail intensif du sol a également la capacité de perturber le cycle de l'eau et la capacité du sol à séquestrer les GES, ainsi qu'à réduire l'abondance des nutriments végétaux. Afin de mieux comprendre ces effets potentiels, la présente section examine des études portant sur la relation entre les pratiques de réduction du labour et les effets de l'agriculture régénérative.

A.1.1. Résultats économiques

La réduction du labour était souvent associée à une réduction des coûts, mais sur le plan de la rentabilité, le même nombre d'études suggéraient des effets économiques tant positifs que négatifs. Certaines études indiquaient des effets économiques négatifs associés à l'absence du labour, et ces effets se déployaient à long terme (p. ex., 10 ans ou plus) [89], [140], [141], [142], [143], [144], [145], [146]. La plupart des effets négatifs limitant la rentabilité ont été attribués à une baisse du rendement. Cependant, les études n'évaluaient pas toujours les changements dans la résilience découlant des améliorations de la santé des sols, ni la réduction des coûts agricoles pendant la production, ce qui signifie que ces effets ne sont pas nécessairement représentatifs de la rentabilité dans l'ensemble du système.

A.1.2. Résultats environnementaux

La littérature est généralement en accord pour reconnaître que la réduction du labour améliore la santé des sols, et que les pratiques de réduction ou d'élimination du labour sont liées à une augmentation de la biomasse dans le sol, à une augmentation de la biodiversité, ainsi qu'à des améliorations générales de la santé des sols [147], [148]. Mueller et coll. [89] ont également montré une corrélation entre une réduction des perturbations du sol et un compactage du sous-sol moins important en Ontario. Deux études menées par Sheng et coll. [149], [150] ont découvert que la réduction ou l'élimination du labour permettait aux réseaux de champignons et aux communautés bactériennes de prospérer dans l'Est du Canada. Halde et coll. [142] ont observé une richesse accrue des espèces de mauvaises herbes bénéfiques dans les parcelles sans labour dans les Grandes Plaines canadiennes.

La pratique de la réduction du labour a également été adoptée pour réduire l'érosion hydrique et éolienne au Québec et dans les provinces de l'Atlantique [151], [152]. Elle est associée à un ruissellement moins important généré par les précipitations dans la région de l'Atlantique et dans les Prairies [152], [153] et à une meilleure rétention des nutriments dans les Prairies [153]. Toutefois, les mêmes études ont montré que l'absence de labour

augmentait la quantité de phosphore inorganique soluble dans le sol, jusqu'à ce qu'elle entraîne des pertes plus importantes de phosphore par le ruissellement. En général, la réduction du labour aide les nutriments à rester dans le sol, où ils sont alors susceptibles d'être utiles aux cultures.

De plus, certaines études ont montré que la réduction du labour peut contribuer à des concentrations plus élevées de matière organique dans le sol ou avoir un effet positif sur la capacité du sol à séquestrer le carbone, dans les Prairies et en Ontario (p. ex., une augmentation moyenne de 12 % pour les parcelles sans labour par rapport aux parcelles labourées a été enregistrée lors d'une expérience d'une durée de 20 ans menée en Ontario) [91], [92]. Les perturbations du sol accélèrent directement la libération du CO_2 et d'autres GES, ce qui signifie qu'une pratique comme la réduction du labour, qui réduit les perturbations du sol, a la capacité d'aider le sol à retenir le CO_2 et les autres GES, les empêchant de se retrouver dans l'atmosphère [91]. En bref, la réduction ou l'élimination des perturbations du sol permet à la matière organique présente dans le sol de se décomposer plus lentement, augmente la biomasse, améliore la santé du sol et aide à lutter contre les changements climatiques par la séquestration des GES.

Comme nous l'avons déjà mentionné, une réduction du labour augmente les éléments nutritifs comme le phosphore et l'azote dans le sol, ce qui a également le potentiel d'augmenter le ruissellement. Viana et coll. [154] ont constaté que, lorsque le ruissellement s'infiltre dans les eaux douces par les ruisseaux et les lacs du Nord-Est du Canada, il a la capacité d'entraîner l'eutrophisation (p. ex., quantité excessive d'éléments nutritifs dans l'eau) d'algues et de plantes aquatiques, dont certaines sont nuisibles à la santé humaine. Les personnes qui participent à des activités récréatives dans des plans d'eau, ainsi que celles qui dépendent des ressources naturelles fournies par les plans d'eau, seraient plus exposées à ces risques.

A.2. Cultures de couverture (maintien de la couverture du sol, maintien des racines vivantes dans le sol)

Les cultures de couverture constituent une autre pratique régénérative courante : l'ensemencement a généralement lieu entre les récoltes ou pendant la croissance de la récolte pour maintenir la couverture du sol et les racines vivantes dans le sol. Différents types de cultures de couverture contribuent à divers effets souhaités. Ainsi, les couvertures de légumineuses contribuent à la fixation de l'azote et les couvertures de céréales servent à améliorer la teneur du sol en matière organique. Selon le présent rapport, le recours aux cultures de couverture est associé à différents effets régénératifs, y compris une amélioration de la santé des sols et des cultures, une réduction de l'utilisation des intrants, une meilleure gestion de l'eau et des avantages en matière de rendement. Aucun effet à caractère social n'a été trouvé dans la littérature.

A.2.1 Effets économiques

Les effets économiques associés aux cultures de couverture étaient généralement positifs. Blackshaw [155], dans l'Ouest du Canada, et Chahal et Van Eerd [156], Chahal et coll. [147] ainsi qu'O'Reilley et coll. [157], en Ontario, ont constaté que les cultures de couverture sont en mesure d'augmenter les rendements et la productivité des cultures. Selon O'Reilley et coll., même avec des coûts de production plus élevés, l'adoption de cultures de couverture a augmenté les marges de profit [157]. Cependant, tous les effets n'étaient pas positifs. Blackshaw et coll. [158] ont constaté que, dans les Prairies canadiennes, les pois semés à l'automne réduisaient le rendement du blé d'hiver de 23 à 37 %, mais la luzerne plantée en automne augmentait le rendement des cultures de canola subséquentes. Bien que la plupart des études au Canada décrivent les effets économiques positifs des cultures de couverture, elles ont réduit les rendements ou augmenté le coût de production dans certains cas.

La santé des cultures, grâce à la gestion des mauvaises herbes, constitue un autre effet fréquemment associé aux cultures de couverture. De nombreuses études ont montré que la plantation de cultures de couverture a supprimé les mauvaises herbes, ce qui a entraîné une réduction de la biomasse de mauvaises herbes et une diminution de la gestion des mauvaises herbes [93], [102], [141], [155], [158]. Encore une fois, O'Reilley et coll. n'ont pas observé d'effet positif constant des cultures de couverture sur la gestion des mauvaises herbes, suggérant plutôt que les cultures de couverture avaient un effet neutre sur la croissance des mauvaises herbes [157]. Neilsen et coll. ont découvert qu'en Colombie-Britannique, les cultures de couverture ont réduit la population de parasites, en plus de réduire la croissance des mauvaises herbes, en favorisant les insectes bénéfiques et les acariens prédateurs, la biodiversité, la santé des cultures et la croissance globale [93].

A.2.2. Effets environnementaux

Les avantages environnementaux de la pratique des cultures de couverture ont été abordés dans la littérature et bon nombre des résultats sont positifs. Plusieurs études canadiennes s'accordent généralement à reconnaître que les cultures de couverture sont bénéfiques pour la santé des sols, la biomasse, ainsi que pour la gestion et la qualité de l'eau [92], [97], [144], [147], [156]. Des études ont également porté sur la capacité des cultures de couverture à augmenter l'azote et sa disponibilité dans le sol [93], [102], [156], [158], [159], [160], [161]. Le contrôle de l'érosion est un autre avantage environnemental fréquemment souligné dans certaines études canadiennes [93], [153], [155], [162].

Une meilleure gestion et une meilleure qualité de l'eau ont été abordées, en ce qui concerne la réduction du lessivage et le ruissellement de l'azote et du phosphore [160], [161], [163]; mais une étude dans les Prairies a montré que les cultures de couverture avaient le potentiel d'augmenter les concentrations en nutriments, en particulier les nitrates, lors de la fonte des neiges au printemps de l'année suivante [153]. Outre le ruissellement et le lessivage, Moleki et coll. ont découvert que les cultures de couverture semées tôt en Saskatchewan ont la capacité d'améliorer la rétention de l'eau dans le sol, ce qui réduit les besoins en irrigation et améliore la résilience du sol aux phénomènes météorologiques extrêmes comme la sécheresse [159].

En ce qui concerne les effets relatifs au carbone et aux GES, les résultats étaient mitigés et il est probable que des travaux de recherche plus approfondis soient nécessaires. Certaines études ont montré que l'utilisation des cultures de couverture augmentait la quantité de matière organique et de carbone dans le sol [92], [93], [94] et réduisait les émissions d'oxyde nitreux dans l'Est du Canada [94], mais Hung et coll. ont constaté que les cultures de couverture avaient peu ou pas d'effet sur les émissions d'oxyde nitreux au Québec [95].

A.3. Diversification des cultures (amélioration de la biodiversité)

La diversification des cultures désigne un ensemble d'activités d'agriculture régénérative qui augmentent la diversité des espèces végétales dans le champ ou le pâturage. Elle comprend comme pratiques la rotation des cultures, la réduction de la jachère ainsi que la culture intercalaire (lorsque deux cultures ou plus sont cultivées simultanément). Karaca et Ince [2] ont découvert que la diversification des cultures avait la capacité d'améliorer la santé des sols, d'augmenter la résistance aux maladies et d'améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol. Selon le résultat souhaité, les agriculteurs adopteraient différentes approches qui ciblent les problèmes liés aux mauvaises herbes, aux maladies, aux insectes, aux parasites, à l'érosion du sol, à la diminution de la fertilité du sol et à la gestion des risques du marché.

A.3.1. Effets économiques

Certaines études ont examiné la viabilité économique de la diversification de la rotation des cultures. En général, la rotation diversifiée des cultures accroît la rentabilité en augmentant le rendement des cultures ou en réduisant le coût des intrants. Cependant, pour maximiser les avantages économiques, il est important de choisir la bonne diversification. En Ontario, un exemple courant de diversification consiste à remplacer la culture continue du maïs par une rotation maïs-soya-blé [94]. L'introduction de ces cultures dans la rotation permet de générer un « crédit » d'azote, ce qui signifie que les agriculteurs économisent de l'argent en réduisant leur apport en engrais azotés, grâce à l'azote naturel apporté au sol par les cultures [94]. Les crédits d'azote associés à des systèmes de rotation maïs-soya-blé varient de 10 à 50 kg par hectare sur quatre ans et, lorsqu'une culture de couverture de trèfle est incluse, le système permet d'augmenter le rendement net d'environ 100 $ par hectare par rapport à la culture continue du maïs [94]. D'autres études portant sur des rotations similaires en Ontario (p. ex., rotation maïs-céréale-soya, avec ou sans récolte de couverture) ont fait état d'un accroissement à long terme du rendement moyen allant de 8 à 20 % [144], [146], [147], [164].

De plus, Walburger et coll. ont constaté une augmentation du rendement net dans les Prairies à la suite de l'adoption d'une rotation incluant des légumineuses et du blé, grâce à la capacité des légumineuses à fixer l'azote, ce qui a réduit le coût des intrants [165]. Li et coll. ont également déterminé que l'introduction de légumineuses et de graminées pérennes dans les rotations en Alberta a amélioré la disponibilité de l'azote, ce qui a entraîné un taux de roulement plus rapide de la matière organique dans le sol, ainsi qu'une augmentation du rendement [98]. Enfin, Khakbazan et coll. ont découvert que, dans les Prairies, l'introduction de légumineuses sèches dans les rotations a eu un effet économique positif sur la productivité des cultures subséquentes sans ajout de telles légumineuses, et a réduit de 37 % les coûts liés à l'azote [166].

Plus généralement, Congreves et coll. [148], en Ontario, et Larney et coll. [97], en Alberta, ont établi que la diversification des rotations de cultures a eu une incidence positive sur plusieurs indicateurs de la santé des sols, qui ont ensuite été associés à des augmentations de rendement et à une meilleure résilience. Une étude similaire menée en Saskatchewan par Maillard et coll. a également mis en corrélation la diversification des cultures à l'augmentation du carbone organique dans le sol et a lié ce résultat à la productivité des cultures [167].

Les effets positifs sur le rendement ou le revenu net total peuvent ne pas être uniformes dans toutes les rotations diversifiées. Au fur et à mesure que les rotations de cultures se prolongent et se diversifient, les cultures commerciales de grande valeur deviennent moins importantes dans la rotation, ce qui réduit éventuellement le rendement net du système [68] et peut avoir peu ou pas d'effet positif sur le rendement de la culture commerciale [97]. Néanmoins, les rotations diversifiées, y compris les légumineuses, ont la capacité d'être bénéfiques du point de vue de la disponibilité de l'azote [98]. Dans certains cas, les coûts de production supplémentaires (p. ex., les semences et la gestion) associés à l'intégration de légumineuses ou de cultures d'engrais verts dans les rotations sont compensés par des économies subséquentes sur le coût des intrants, grâce à la réduction des dépenses liées aux engrais et au contrôle des mauvaises herbes [97].

A.3.2. Résultats environnementaux

Concernant la gestion de l'eau, les monocultures basées sur des cultures exigeantes en engrais ont la capacité d'entraîner la lixiviation des nutriments dans les ruisseaux, les rivières et les lacs, provoquant ainsi leur eutrophisation, mais la diversification des rotations de cultures avec des légumineuses, comme celles mentionnées à la section A.3.1, pourrait aider à contrer ce phénomène, grâce à leurs exigences moindres relativement à l'azote. Karimi et coll. ont également constaté qu'au Manitoba, la mise en œuvre d'une rotation des cultures facilitait la gestion de l'accumulation du phosphore dans le sol et le risque associé de la perte de phosphore causé par le ruissellement de surface [168].

La diversification des rotations de cultures a également des effets positifs sur les changements climatiques, car elle augmente la capture du carbone. Dans l'ensemble, les études s'accordaient à reconnaître que la diversification des rotations de cultures et le renoncement à la jachère ont accru la capacité du sol à séquestrer le carbone, et nombreuses sont celles qui ont observé une augmentation des stocks de carbone organique dans le sol, lors de l'intégration de céréales à petits grains, de cultures pérennes, de cultures de légumineuses sèches ou même de canola dans les rotations [98], [147], [167], [169], [170], [171]. Dans un exemple, le passage de la jachère à la culture continue en Saskatchewan a permis d'accroître la quantité de carbone organique du sol de 0,2 t par hectare [98], tandis que le passage de la culture continue à une rotation sur deux ans en Ontario a permis d'accroître la quantité de carbone organique dans le sol de 6 % [147]. En définitive, en Alberta, allonger la rotation de deux à cinq ou six ans a permis d'accroître progressivement la teneur en carbone organique du sol de 20 à 49 % [169]. En ce qui concerne les autres émissions de GES, Asgedom et Kebreab ont montré que, dans les Prairies, la réduction de l'usage d'engrais dans les systèmes de culture intégrant des légumineuses entraînait des émissions de GES plus faibles que celles associées aux monocultures [91].

Enfin, Khakbazan et coll. ont suggéré que les producteurs plus prudents peuvent préférer des rotations plus diversifiées, car cela permet de réduire le risque de mauvaises récoltes [166]. L'étude a également suggéré que la diversification des rotations de cultures est associée à une meilleure résilience dans l'ensemble du système.

A.4. Gestion du fumier et du compost (utilisation efficace des intrants et réduction des intrants synthétiques, intégration d'animaux d'élevage)

La gestion du fumier et du compost englobe un ensemble de pratiques régénératives qui consistent à encourager l'utilisation d'engrais naturels pour améliorer la croissance ou la gestion des cultures et des pâturages. Ce rapport a examiné les effets associés à ces pratiques, notamment les différentes applications du fumier d'animaux (injection ou diffusion, printemps ou automne, quantités appliquées), l'incorporation d'engrais verts et d'autres composts, l'utilisation de paillis et de copeaux de bois en bandes latérales ou au milieu des cultures ainsi que l'incorporation de chaume et de résidus de récolte. La revue de la littérature a montré que ces pratiques entraînent plusieurs effets régénératifs, comme l'amélioration de la santé et de la fertilité du sol, la réutilisation et le recyclage des intrants naturels, la lutte contre les changements climatiques et l'atténuation des émissions de GES, ainsi qu'une meilleure qualité de l'eau.

A.4.1. Résultats économiques

De nombreuses études canadiennes ont examiné les avantages économiques positifs découlant de l'utilisation du fumier ou du compost, comme l'augmentation du rendement et la diminution des coûts grâce à l'évitement de l'achat d'engrais chimiques [99], [172], [173], [174], [175], [176]. Il a été démontré que l'ajout de fumier, de compost et de chaume aux champs en combinaison avec d'autres engrais augmentait les rendements [172], [173], [174], [175], et certaines études ont montré que ces sources naturelles avaient la capacité d'éliminer complètement la nécessité de recourir à des intrants supplémentaires [99], [176]. Zheljazkov et coll. ont constaté qu'en Nouvelle-Écosse, les ajouts de compost ont produit la même quantité de fourrage que les engrais chimiques [177], ce qui renforce l'idée que dans certains cas, les intrants organiques permettent de remplacer les engrais chimiques sans perte de production.

D'autres études ont montré que l'ajout de compost et de fumier, à eux seuls, réduisait les rendements ou générait des coûts plus élevés que les autres intrants [165], [172], [178]. Par exemple, Walburger et coll. ont découvert que, dans les Prairies, les rotations de blé avec des traitements de fumier n'étaient pas aussi rentables que celles avec des traitements d'engrais chimiques [165], et Watson et coll. ont établi que l'application de paillis composés de compost et d'écorce coûte 3 000 $ de plus dans les parcelles de Colombie-Britannique, comparativement aux

intrants chimiques [178]. Bien qu'il existe certains exemples d'effets économiques, d'autres études et analyses des avantages économiques sont nécessaires pour tirer des conclusions plus concrètes sur cette forme de gestion des intrants dans les systèmes de culture partout au Canada.

A.4.2 Effets environnementaux

La plupart des études examinées pour cette section ont décrit les effets environnementaux positifs des pratiques de gestion du fumier et du compost, y compris l'amélioration de la santé et de la qualité des sols dans les régions de l'Atlantique, de l'Alberta et des Prairies [98], [104], [179]; l'augmentation des bactéries bénéfiques et des champignons en Alberta et en Colombie-Britannique [98], [180]; l'augmentation de la rétention d'eau et la réduction du lessivage en Alberta et en Saskatchewan [174], [181], [182]; des quantités accrues de matière organique dans le sol en Colombie-Britannique, dans les Prairies et au Québec [104], [145], [180]; la réduction des émissions de GES en Ontario [183], [184], [185]; l'amélioration de la santé des cultures en Colombie-Britannique et en Ontario [93], [178], [186] et l'amélioration de la fertilité des sols en Alberta, dans les Prairies et dans les provinces de l'Atlantique [165], [174], [177]. Les avantages environnementaux associés au fumier et au compost, en particulier ceux qui ont démontré des réductions d'émissions de GES, étaient généralement associés à des pratiques de gestion comme une meilleure disposition des nutriments et un meilleur calendrier d'application [173], [184].

Plusieurs études ont également examiné les éventuels impacts négatifs sur l'environnement résultant de la gestion du fumier et du compost, en particulier sur la qualité de l'eau au Manitoba et au Québec [168], [187]; sur les émissions partout au Canada [188] et sur la gestion des nutriments en Alberta et dans les provinces de l'Atlantique [175], [177]. Deux études suggèrent que l'application de fumier augmente le ruissellement du phosphore en surface au Manitoba et au Québec, en particulier si le fumier n'est pas incorporé dans le sol [168], [187]. Roman-Perez et coll. [175] ont conclu que la matière organique, à elle seule, ne répondait pas aux besoins nutritionnels de certaines cultures en Alberta, ce qui nécessitait des amendements d'engrais synthétiques pour maintenir la productivité. D'autres études ont rapporté des effets environnementaux neutres associés aux pratiques de gestion du fumier et du compost, comme des taux de fertilité du sol similaires dans les Prairies [100], des émissions comparables au Québec [95] et la lixiviation des éléments nutritifs, selon les combinaisons de pratiques de gestion en Ontario [189].

Bien que les amendements organiques soient généralement privilégiés pour des raisons environnementales, certaines études en Ontario suggèrent que l'application de fumier pourrait augmenter le niveau de contaminants humains et de maladies dans les cours d'eau. Par exemple, Samarajeewa et coll. [189] ainsi que Muhammed et coll. [190] ont découvert que les niveaux d'*E. coli* et de Salmonella dans les bassins hydrographiques augmentaient parfois lorsque du fumier était appliqué sur les terres cultivables. Plus précisément, Muhammed et coll. ont découvert que l'application de fumier de poule augmentait les taux d'*E. coli* [190]. Positivement, Samarajeewa et coll. ont suggéré qu'il était possible de modifier les niveaux d'*E. coli* et de *Salmonella* découlant de l'application de fumier en modifiant les pratiques de labour pour protéger la qualité de l'eau [189].

A.5. Gestion des intrants (utilisation efficace des intrants)

À part la gestion du fumier et du compost, la gestion des intrants fait référence aux pratiques associées aux intrants synthétiques et chimiques, comme les engrais chimiques, les herbicides, les fongicides et les pesticides. Les pratiques associées à la gestion des intrants incluent souvent le dosage, le calendrier et la disposition, ainsi que les différentes variétés et combinaisons d'entrées utilisées pour améliorer la production des cultures. Ce rapport a examiné les pratiques de gestion des intrants aux effets régénératifs, comme l'augmentation des rendements, la réduction de l'application des intrants chimiques, la réduction des émissions ainsi que des réseaux d'approvisionnement en eau plus sains.

A.5.1 Effets économiques

Les effets économiques de la gestion des intrants figurant dans la littérature étaient tous positifs, évoquant la réduction des coûts et l'augmentation de la rentabilité, grâce à l'application de quantités appropriées d'intrants et à une meilleure disposition des intrants. Pittman [191] ainsi que Zentner et coll. [192] ont constaté que, dans les Prairies, l'application variable au bon dosage des engrais a augmenté la rentabilité des activités. De même, Khakbazan et coll. ont suggéré que, dans les Prairies, il était possible d'obtenir un rendement net optimal avec des applications d'engrais plus efficaces et légèrement inférieures, et ont constaté que des applications plus élevées d'azote et de phosphore entraînaient des gains économiques minimes [193]. En ce qui concerne la disposition des éléments nutritifs, Karamanos et coll. ont conclu qu'en Alberta, l'application d'engrais phosphaté en rangée, plutôt qu'en bandes intermédiaires ou latérales, entraînait des rendements plus élevés [194].

A.5.2 Effets environnementaux

Les pratiques de gestion des intrants ont produit divers effets environnementaux se rattachant à la qualité de l'eau, à la santé des sols et des cultures, à la réduction des émissions et à la capture du carbone. Selon Lychuk et coll. [181] ainsi que Yang et coll. [152], une réduction des apports en azote et en phosphore diminuerait le lessivage et la perte de sédiments en Saskatchewan et dans les provinces de l'Atlantique, tandis qu'Olson et coll. [182] ont rapporté des résultats similaires en Alberta, affirmant que les zones ayant reçu n'importe quelle application d'azote présentent un risque accru de lessivage, ce qui est susceptible de compromettre la qualité de l'eau. Ainsi, dans des régions semblables, une réduction des intrants procurerait des avantages pour la qualité de l'eau.

Un autre effet environnemental positif de la gestion des intrants a été la réduction des émissions d'oxyde nitreux. Selon Lychuk et coll. [181] ainsi qu'Asgedom et Kebrab [91], dans les Prairies, la réduction du nombre d'applications et un dosage adéquat étaient les stratégies de gestion des intrants les plus efficaces pour réduire les émissions. Cependant, Weber et coll. ont montré que les effets associés aux émissions en Alberta variaient considérablement selon le type de sol [195].

La santé des sols est un autre aspect environnemental abordé dans les études, mais les résultats rapportés étaient plutôt neutres. Li et coll. [143] ont découvert que l'agriculture biologique favorisait un niveau de pH du sol plus neutre, mais le système ne répondait pas à tous les aspects d'une bonne qualité du sol. L'effet de la réduction des intrants sur les communautés fongiques et microbiennes n'était pas clair. Une étude canadienne n'a signalé aucun changement significatif [196] et une autre a indiqué que la colonisation fongique avait diminué [149]. Les effets de la gestion des intrants sur la santé des cultures n'ont pas été concluants, les études indiquant que l'application réduite de phosphore provoque à la fois une augmentation et une diminution des racines des cultures ainsi que de leur densité [143], [149].

Enfin, certaines études ont montré que les pratiques de gestion des intrants auraient des résultats négatifs sur la matière organique présente dans le sol et sur la capture du carbone, principalement en raison des réductions d'azote [197], [198]. Bell et coll. ont découvert que la gestion des cultures biologiques au Manitoba aurait pour effet de réduire le carbone organique du sol sans intrant supplémentaire en carbone, comme le compost [197]; Yanni et coll. ont découvert que les parcelles de culture en Alberta avec moins d'engrais azoté présentaient des pertes en carbone organique [198]. En bref, les effets environnementaux des pratiques de gestion des intrants varient, avec des avantages clairs en matière de qualité de l'eau et de réduction des émissions (selon le type de sol), des avantages incertains pour la santé des sols et des cultures, et des effets potentiellement négatifs pour la capture du carbone et la matière organique présente dans le sol.

A.6. Gestion du bétail et des pâturages (intégration des animaux d'élevage, amélioration de la biodiversité, amélioration des paysages naturels)

La catégorie de la gestion du bétail et des pâturages explore un autre thème clé de l'agriculture régénérative, celle de l'intégration du bétail. Elle désigne une vaste gamme d'activités agricoles régénératives qui soutiennent la productivité et la santé des animaux, ainsi que la gestion durable du fourrage, des prairies ou des pâturages. Plusieurs études canadiennes ont établi des liens entre l'intégration du bétail, la gestion durable des pâturages et les effets bénéfiques généralement recherchés en agriculture régénérative, grâce à des pratiques comme le pâturage en rotation, la diversification des plantations de pâturage, le pâturage hivernal ou de balles rondes ainsi que la restriction de l'accès aux cours d'eau.

A.6.1. Effets économiques

Certains des effets économiques les plus fréquemment signalés comprenaient un effet positif sur le rendement et la productivité du fourrage, comme plus de nutriments disponibles dans les plantes, lorsque les animaux pâturaient sur des terres cultivées ou dans les herbages. Certaines études canadiennes ont révélé une tendance à l'augmentation de l'azote disponible dans les plantes en réponse au pâturage des animaux, lequel a permis de maintenir ou d'accroître les niveaux de rendement subséquents. Par exemple, Jungnitsch et coll. [100] ont signalé des augmentations importantes des rendements en fourrage (p. ex., 2 à 6 fois plus élevés) en Saskatchewan lorsque les bovins pâturaient en hiver dans les pâturages, par opposition à la pratique consistant à distribuer la nourriture aux bovins dans les pâturages. En revanche, une autre étude sur le pâturage en rotation en Saskatchewan a révélé que l'augmentation du rendement en fourrage était compensée par une réduction de la qualité des pâturages (p. ex., teneur en éléments nutritifs digestibles), entraînant une réduction de 18 % du gain pondéral quotidien chez l'animal [101]. Dans les systèmes de production biologique au Manitoba, le pâturage du bétail a augmenté de 25 % l'apport en azote, comparativement aux parcelles non pâturées, ce qui a bénéficié aux cultures de grains subséquentes, sans que cela n'ait d'incidence négative sur les niveaux de rendement ou la qualité des récoltes [102], [103].

Un autre avantage économique de la gestion du bétail et des pâturages est l'effet positif de cette pratique sur le rendement et la résilience découlant de la diversification des pâturages ou des plantations fourragères ainsi que de l'utilisation d'espèces indigènes, dans la mesure du possible. Serajchi et coll. ont découvert que la plantation de pâturage avec un mélange d'espèces fourragères avait tendance à présenter des niveaux de rendement plus élevés comparativement à la monoculture. Ils ont également établi que les mélanges contenant des espèces fourragères indigènes à forte teneur en protéines (p. ex., l'agropyre de l'Ouest en Saskatchewan) et des légumineuses rendaient les pâturages particulièrement adaptés au pâturage et résistants aux contraintes météorologiques [199].

A.6.2. Effets environnementaux

Du point de vue environnemental, les pratiques de gestion du bétail et des pâturages influencent de nombreux aspects des effets liés à la terre, à l'eau et à la biodiversité. Il est possible d'améliorer deux aspects de la santé des sols, la matière organique et le carbone présents dans le sol, en utilisant des plantes fourragères pérennes, dont les racines contiennent jusqu'à trois fois plus de carbone que les graminées annuelles [104]. De plus, les pratiques de pâturage ont la capacité d'avoir un effet positif similaire sur l'accumulation du carbone dans le sol (dans une plage de 0,23 t à 0,34 t par hectare chaque année [101]) et l'intégration du bétail dans les paysages a la capacité d'augmenter l'humidité du sol et d'autres éléments de matière organique [101], [104]. Cependant, lorsque l'intensité du pâturage ou son taux de chargement sont trop élevés, ces facteurs ont tendance à augmenter le compactage du sol ou à en faciliter l'érosion [104].

Dans les Prairies, le pâturage à haute intensité a également le potentiel de nuire à la dynamique de l'eau en augmentant le ruissellement lorsque la couverture végétale est épuisée et en diminuant l'infiltration de l'eau dans le sol en cas de compactage [104]. Pour protéger la qualité des bassins hydrographiques, les agriculteurs pratiquant l'agriculture régénérative ont la possibilité de mettre en œuvre des plans de pâturage en rotation qui intègrent des clôtures d'exclusion et des zones tampons le long des cours d'eau. Une étude en Alberta a révélé que la mise en œuvre d'un plan de pâturage en rotation qui limite l'accès du bétail à un cours d'eau a permis de réduire les teneurs en azote et en phosphore, tout en augmentant la diversité de la végétation le long du cours d'eau [105]. Bien que la diversité de la végétation soit influencée positivement par la restriction de l'accès aux cours d'eau, d'autres études en Alberta ont conclu à l'absence d'incidence sur la diversité des espèces benthiques dans les cours d'eau [200].

En dehors de la biodiversité des cours d'eau, le pâturage en rotation et la gestion appropriée de l'intensité du pâturage ou de son taux de chargement ont la capacité de soutenir la diversité végétative et de produire des effets positifs pour certaines espèces d'oiseaux ou d'arthropodes [104], [105], [201], [202]. Pogue et coll. ont signalé que les sites de nidification des oiseaux des Prairies n'étaient généralement pas détruits pendant le pâturage des bovins et même que certaines espèces présentaient des taux de survie plus élevés dans des zones où le pâturage est plus intense [104]. De plus, certaines espèces d'arthropodes se sont révélées plus abondantes dans les pâturages et au sein de ces derniers, la diversité des espèces d'arthropodes a également augmenté [104]. D'autres études en Saskatchewan ont montré que la rotation ou différentes intensités de pâturage ont la capacité de bénéficier à différentes espèces d'oiseaux, ce qui suggère qu'une gamme d'intensités de pâturage pourrait favoriser les effets liés à la biodiversité dans les Prairies. Par exemple, des espèces comme le bruant à ventre noir et la sturnelle de l'Ouest tolèrent des conditions de pâturage plus intenses, voire sont plus abondantes dans de telles conditions, tandis que des espèces comme le bruant vespéral ou le bruant des prés sont généralement moins abondantes au-dessus de certains niveaux d'intensité [201], [202].

A.6.3. Effets sociaux

Bien que les études sur les effets sociaux de la gestion du bétail et des pâturages soient beaucoup moins répandues dans la littérature, quelques-unes proposent des avantages à caractère social dans le contexte canadien. Par exemple, Olson et coll. ont découvert que l'utilisation de plans de pâturage en rotation et de clôtures pour restreindre l'accès à un cours d'eau a réduit la quantité de bactérie *E. coli* dans le cours d'eau [105], ce qui est bénéfique tant du point de vue de la qualité de l'eau que de la santé humaine. Du point de vue de la qualité de l'air et des odeurs, le pâturage hivernal a été proposé dans les Prairies comme solution de rechange aux systèmes de production des parcs d'engraissement, afin de réduire les concentrations d'odeurs [104].

Dans certaines provinces, comme l'Alberta, la production de bœuf est devenue une partie importante de l'héritage culturel de la province et a conduit à la création d'événements agrotouristiques importants, tels que le Calgary Stampede [104]. Pogue et coll. ont analysé la croissance du secteur de l'agrotourisme dans les Prairies en 2018 et a noté que les fermes aux paysages pittoresques, aux espèces variées ou qui attirent généralement les visiteurs dans d'autres activités touristiques agricoles ont la capacité d'attirer des visiteurs et de générer de nouvelles sources de revenus [104]. Du point de vue de la gestion du bétail et des pâturages, l'engagement d'un agriculteur qui pratique l'agriculture régénérative à maintenir des terres biodiversifiées et saines a le potentiel d'attirer des touristes écologiques, comme des randonneurs et des passionnés de la faune, offrant à la fois une valeur esthétique et des expériences naturelles [104].

A.7. Intégration d'arbres et d'arbustes (amélioration de la biodiversité, maintien des racines vivantes dans le sol, incorporation d'animaux d'élevage, amélioration des paysages naturels)

La catégorie de l'intégration des arbres et des arbustes explore les effets régénératifs associés aux pratiques agroforestières. Elle désigne une vaste gamme d'activités visant à intégrer les arbres et les arbustes dans les paysages agricoles, dans le but d'accroître la fourniture de services écosystémiques à la ferme. Ce rapport a examiné le lien entre l'intégration des arbres et des arbustes, les effets bénéfiques généralement recherchés en agriculture régénérative et des pratiques comme la culture intercalaire associée aux arbres, les brise-vent, les haies et les bandes de végétation filtrantes.

A.7.1. Effets économiques

L'intégration des arbres et des arbustes dans les paysages agricoles a la capacité d'entraîner des effets économiques mixtes pour les agriculteurs qui adoptent ces types de systèmes, ce qui signifie que la maximisation de la rentabilité nécessite une planification minutieuse. Selon des études au Québec, la plantation d'arbres est plus difficile à justifier à la ferme parce qu'elle réduit les niveaux de rendement à proximité de la zone arborée; augmente le risque en réduisant le nombre d'acres admissibles à l'assurance récolte; rend la gestion des exploitations agricoles difficile ou peu pratique en introduisant des restrictions pour l'équipement ou en demandant des équipements de production différents, et ne procurent pas de bénéfices directs permettant à l'exploitant d'enregistrer un rendement du capital investi [203], [204], [205].

Les pertes de rendement dans les systèmes de culture intercalaire associée aux arbres sont généralement les plus importantes à proximité de la zone arborée (c.-à-d. de 0 à 2 mètres) en raison de l'ombrage et de la pression des mauvaises herbes, mais des études au Québec ont montré que les rendements augmentent ou se stabilisent davantage loin de la zone arborée [203], [204]. Selon l'une des études, les systèmes plus modernes de culture intercalaire associée aux arbres, c'est-à-dire ceux ayant des densités d'arbres plus faibles et adaptés aux besoins annuels de la production de cultures, produisent des rendements comparables à ceux des systèmes traditionnels non traités, même en tenant compte de la perte de rendement à proximité de la zone arborée [204]. D'autres études au Québec ont mis en évidence des avantages en matière de production, comme l'établissement de brise-vent, qui sont susceptibles d'augmenter le rendement de 3,5 à 20 %, et le potentiel de certaines espèces d'arbres (p. ex., des peupliers hybrides) de retourner de l'azote au sol par la biomasse des feuilles, réduisant ainsi les besoins d'engrais subséquents pour les cultures [205], [206].

Afin de maximiser la rentabilité de la culture intercalaire associée aux arbres, les agriculteurs auront besoin d'accéder à de nouvelles possibilités de revenus qui rendent intéressants leurs investissements dans la plantation d'arbres. Selon deux études au Québec, l'intégration des arbres créerait deux nouvelles occasions : la vente de produits de bois et la possibilité de participer au marché plus vaste des services écosystémiques [205], [206]. Plus précisément, Rivest et coll. [206] ont noté que les peupliers hybrides fonctionneraient bien dans des systèmes de culture intercalaire associée aux arbres au Québec, car ils poussent plus rapidement dans ce type de conditions, où de l'azote est appliqué, et génèrent des produits de bois de grande valeur. Par ailleurs, la vente de crédits de carbone au Canada, et potentiellement d'autres crédits de services écosystémiques susceptibles d'accompagner le développement de ces marchés, offre également une incitation financière en mesure d'accroître le rendement du capital investi d'un agriculteur [205].

A.7.2. Résultats environnementaux

La plantation d'arbres est souvent mentionnée comme un mécanisme de capture du carbone et de protection de la qualité de l'eau. Or, ce sont des objectifs clés de l'agriculture régénérative. Plusieurs études menées dans les Prairies

et au Québec ont indiqué que les systèmes agroforestiers constituent un meilleur puits de carbone que leurs homologues non traités [104], [203], [205]. Par exemple, en tenant compte de la biomasse au-dessus du sol et souterraine, ainsi que des émissions de carbone attendues dues à la lixiviation et à la respiration du sol, Alam et coll. ont rapporté que les systèmes de culture intercalaire associée aux arbres au Québec permettraient de séquestrer 2,26 t de carbone par hectare par an [205]. Cependant, le potentiel de capture du carbone varie considérablement entre les systèmes de culture intercalaire associée aux arbres, les bandes brise-vent et d'autres pratiques liées aux arbustes.

Du point de vue de la qualité de l'eau, l'adoption de systèmes agroforestiers permet de réduire considérablement l'impact environnemental du ruissellement et du lessivage pour s'assurer que les bassins hydrographiques agricoles demeurent sains et non pollués. Une réduction du potentiel de ruissellement pour l'azote a été obtenue au Québec en utilisant des essences d'arbres dans des systèmes de culture intercalaire qui absorbent rapidement l'excès d'azote du sol (p. ex., des peupliers hybrides) [206] et une réduction de 38 % du potentiel de ruissellement pour le phosphore a été obtenue en Ontario en aménageant des bandes riveraines composées d'arbres, d'arbustes ou de plantes herbacées le long des cours d'eau pour filtrer les produits agrochimiques avant qu'ils pénètrent dans l'eau [163].

D'autres avantages liés à l'eau, comme la réduction du lessivage, sont attribués au fait que les arbres ont un système racinaire beaucoup plus profond que les cultures annuelles, ce qui signifie qu'ils recueillent les nutriments qui ont été lixiviés sous les racines de la culture commerciale. Des études au Québec ont révélé que le lessivage des nitrates serait réduit de 28 à 55 % dans les systèmes de culture intercalaire associée aux arbres par rapport aux systèmes de culture traditionnels [203], [205]. Les systèmes agroforestiers ont également la capacité d'augmenter la disponibilité de l'eau pour les sols et les cultures, car des pratiques comme les bandes brise-vent emprisonnent la neige pendant les mois d'hiver dans les Prairies, ce qui contribue à réduire la perte d'humidité pendant l'hiver et à garantir que la fonte des neiges produit de l'humidité disponible pour la prochaine culture [104].

Les arbres agissent également comme un filtre qui élimine les contaminants en suspension dans l'air et les odeurs désagréables. Les bandes brise-vent sont un investissement précieux dans les zones proches ou entourant des parcs d'engraissement bovin, car elles absorbent les particules responsables des odeurs et purifient l'air environnant [104]. Cet aspect est bénéfique pour la communauté locale du point de vue de la gestion des odeurs et peut même contribuer positivement aux effets sur la santé humaine du point de vue respiratoire [104]. Selon une étude menée au Québec, un seul arbre a le pouvoir de réduire jusqu'à 1,67 kg la quantité de polluants par an en milieu urbain [205].

Comme pour la gestion du bétail et des pâturages (voir l'annexe A.6), l'incorporation des arbres et des arbustes est attrayante du point de vue de l'écotourisme. Les arbres sont reconnus pour leur valeur esthétique et leur habitat faunique [104], [205], ce qui signifie qu'une intégration minutieuse des arbres dans les paysages agricoles profiterait au secteur de l'écotourisme – en pleine croissance – ou aux passionnés de la faune lorsque les zones arborées sont conçues pour fournir un habitat aux espèces essentielles, menacées ou en voie de disparition.

A.8. Cultures pérennes et fourrages (limitation des perturbations du sol, maintien des racines vivantes dans le sol)

Le maintien des racines vivantes dans le sol a été établi comme un thème clé de l'agriculture régénérative, et le maintien de ces racines vivantes est réalisable par l'adoption des cultures pérennes et des fourrages. Ce rapport a examiné des publications qui ont lié l'intégration des cultures pérennes et des fourrages aux effets particuliers de l'agriculture régénérative au Canada, y compris des pratiques telles que les plantations pérennes et la diversification des rotations avec des cultures pérennes.

A.8.1. Effets économiques

Comme mentionné à la section A.3, l'élargissement et la diversification des rotations de cultures (p. ex., en y intégrant des cultures pérennes) nécessitent d'être envisagés selon le contexte pour assurer la mise en œuvre du système le plus efficace possible. Sans que cela soit spécifique aux systèmes pérennes, Zentner et coll. ont découvert, lorsque les cultures commerciales sont remplacées dans la rotation par des phases d'application d'engrais verts en Saskatchewan, qu'il est possible d'observer une réduction du rendement net du système dans son ensemble [68]. De plus, l'incidence sur le rendement varie selon le contexte et le système. Dans le contexte de la diversification des rotations, une étude en Ontario a rapporté une augmentation de 25 % de la production de maïs en réponse à une rotation diversifiée à long terme avec des plantes pérennes telles que la luzerne [147]. Toutefois, dans le cadre de la comparaison entre les cultures céréalières pérennes (p. ex., ivraie vivace) et leurs homologues annuelles, une étude réalisée en Alberta a rapporté une réduction de 33 % du rendement pour les grains d'ivraie vivace [207].

Les cultures pérennes sont potentiellement plus avantageuses pour les agriculteurs qui gèrent du bétail ou qui pratiquent le pâturage du bétail. Comme mentionné à l'annexe A.6, le choix des mélanges d'espèces fourragères diversifiées et indigènes a la capacité d'avoir un effet positif sur la productivité et la résilience [104]. De plus, les cultures pérennes nécessitent généralement moins d'engrais et se cultivent sur des terres marginales ou de qualité inférieure pour le pâturage ou l'alimentation animale [104]. Ces avantages rendent les cultures pérennes bien adaptées à ces systèmes.

A.8.2. Résultats environnementaux

La santé des sols et l'accumulation du carbone dans le sol sont les avantages environnementaux les plus importants associés à l'adoption des cultures pérennes et des fourrages. Les avantages pour la santé des sols sont très variés. Par exemple, les racines pérennes structurent davantage le sol, augmentent sa qualité ainsi que la capacité de l'eau à s'y infiltrer et réduisent également l'érosion du sol [98], [104]. La biomasse pérenne fournit des intrants accrus de matière organique dans le sol et entraîne une plus grande activité microbienne bénéfique [98], [147], [207]. En outre, une réduction ou une élimination du labour permet de garder le sol non perturbé [147], [207]. En ce qui concerne le carbone présent dans le sol, une étude de longue durée menée en Ontario a indiqué que des rotations diversifiées qui incluent des cultures pérennes, telles que la luzerne, augmentent la teneur en carbone organique du sol de 5 à 11 % [147]. Une étude semblable menée sur les rotations à long terme utilisant la luzerne comme culture pérenne en Alberta a révélé des gains importants en carbone organique (c.-à-d. une augmentation de 21 à 49 %), comparativement à la teneur en carbone organique du sol découlant d'une rotation sur deux ans [98].

Bien que le maintien des racines vivantes soit généralement considéré comme une pratique de gestion positive pour la santé des sols et le carbone présent dans le sol, les résultats sont mitigés en ce qui concerne les autres GES. Abalos et coll. ont constaté que les systèmes de culture de graminées pérennes et de légumineuses en Ontario émettent quatre fois moins d'oxyde nitreux que les systèmes de culture annuels comparativement à la monoculture annuelle du maïs [183]. Toutefois, cet avantage était considérablement plus faible en ce qui concerne les émissions comparées au rendement (p. ex., les émissions exprimées par unité de rendement de la récolte), se rapprochant d'une réduction de 5 % des émissions d'oxyde nitreux [183]. Inversement, des études menées sur une plus longue durée en Alberta, avec des systèmes semblables de culture de graminées pérennes et de légumineuses, ont révélé que les pertes cumulatives d'azote étaient presque six fois plus élevées que celles des systèmes annuels de culture céréalière [91]. Ces résultats soulignent la nécessité de gérer soigneusement les systèmes de cultures pérennes et suggèrent que, pour atténuer ces pertes, des pratiques de gestion des nutriments devraient être prises en compte conjointement.

Recherche du Groupe CSA

Dans le but de favoriser l'adoption de solutions normatives fondées sur le consensus afin d'accroître la sécurité et de favoriser l'innovation, le Groupe CSA soutient et effectue des recherches dans des domaines qui visent les industries nouvelles ou émergentes ainsi que sur des sujets et des questions qui touchent une vaste gamme de parties prenantes actuelles et potentielles. Les résultats de nos programmes de recherche étaieront l'élaboration de solutions normatives futures, ils offriront aux industries des directives provisoires sur la conception et l'adoption de nouvelles technologies et ils contribueront à démontrer notre engagement continu envers l'édification d'un monde meilleur, plus sécuritaire et plus durable.

GROUPE CSA[MC]

© 2026 Association canadienne de normalisation. Tous droits réservés.