

Ce chapitre est un extrait du rapport du CAC intitulé *Solutions climatiques basées sur la nature*. Des informations sur la charge, le comité d'experts, le sponsor, les autres écosystèmes et les références sont disponibles dans le [rapport complet](#).

Agriculture et prairies

- 4.1 Possibilités de renforcer la séquestration et de réduire les émissions dans les systèmes agricoles et prairiaux
- 4.2 Gestion autochtone de l'agriculture et des prairies
- 4.3 Ampleur du potentiel de séquestration et de réduction des émissions
- 4.4 Stabilité et permanence
- 4.5 Faisabilité
- 4.6 Cobénéfices et compromis
- 4.7 Conclusion



Constatations du chapitre

- La gestion des terres cultivées et la conversion évitée des prairies offrent le plus grand potentiel de séquestration du carbone dans l'agriculture et les prairies. Les incertitudes liées à l'estimation du potentiel d'atténuation découlent principalement de considérations de faisabilité, l'adoption des SCBN étant affectée par les coûts, les politiques publiques et les obstacles comportementaux qui sont à même de modifier radicalement la superficie potentielle de leur mise en œuvre.
- Pour réaliser le potentiel de la séquestration et de la réduction des émissions de l'agriculture et des prairies, il faudrait investir dans un effort de gestion continu, sans oublier une planification à long terme et des incitatifs politiques pour éviter toute régression.
- La gestion des nutriments est importante non seulement pour réduire les émissions au niveau de l'exploitation, mais aussi pour atténuer l'eutrophisation et les émissions de GES qui y sont liées dans les systèmes aquatiques adjacents et en aval.
- L'engagement avec les communautés autochtones et la reconnaissance de leurs connaissances comme de leurs pratiques de gestion sont essentiels pour assurer le succès à long terme de certaines SCBN, notamment la réintroduction des buffles dans les prairies en tant que composante de la restauration et de la conservation de ces écosystèmes. De telles SCBN favoriseront également la réconciliation par la promotion de l'autodétermination des peuples autochtones.

Les terres agricoles et les prairies recèlent d'importants stocks de carbone dans leurs sols, et échangent des quantités considérables de carbone avec l'atmosphère. Il existe environ 47 Mha de terres cultivées au Canada, tandis que les prairies aménagées, utilisées comme pâturages ou parcours naturels, occupent environ 6,2 Mha. L'étendue exacte des prairies naturelles au Canada est actuellement inconnue (ECCC, 2022b). Dans les prairies canadiennes, les espèces herbacées constituent la forme dominante de végétation. On les trouve principalement dans les régions des prairies du sud de l'Alberta et de la Saskatchewan, ainsi que dans les vallées montagneuses intérieures et sèches de la Colombie-Britannique. Les écosystèmes prairiaux absorbent et libèrent du carbone en réponse aux conditions environnementales et aux pratiques de gestion des terres, ce qui offre un éventail de possibilités pour améliorer la séquestration du carbone ou réduire les émissions de GES.

4.1 Possibilités de renforcer la séquestration et de réduire les émissions dans les systèmes agricoles et prairiaux

Les SCBN agricoles et prairiales sous-entendent la séquestration de carbone supplémentaire ou une réduction des émissions de GES : CO₂, CH₄ et N₂O. La majeure partie du carbone est stockée dans la matière organique du sol (MOS), bien que la biomasse végétale aérienne et souterraine contribue également aux stocks de carbone dans le cas des SCBN agroforestières. Le carbone présent dans les sols est évalué par les niveaux de carbone organique du sol (COS) et est libéré dans l'atmosphère sous forme de CO₂ ou de CH₄ (Hristov *et al.*, 2018; Paustian *et al.*, 2019). Du carbone est ajouté aux sols par le biais du fumier, des résidus de culture et des exsudats racinaires (liquides émis par les racines des plantes), pour être éliminé par l'érosion (susceptible également de redistribuer le carbone), ainsi que par la décomposition microbienne.

Les pratiques SCBN visant à séquestrer du carbone supplémentaire dans les sols permettent soit d'augmenter le taux d'apport de carbone, soit de réduire les taux de renouvellement du carbone déjà présent dans le sol (Paustian *et al.*, 2019). Au-delà de la séquestration du carbone, la limitation des émissions d'autres GES (N₂O en particulier) est également un objectif poursuivi. Le N₂O a en effet un potentiel de réchauffement planétaire 298 fois supérieur à celui du CO₂; il s'agit d'une composante majeure des systèmes agricoles, libérée comme sous-produit de l'apport d'azote dans les sols (GIEC, 2012; Équiterre et Greenbelt Foundation, 2020). En 2020, on a estimé que les sols agricoles du Canada émettaient en moyenne 21 Mt éq CO₂ en N₂O, comparativement à un puits de carbone net des terres cultivées estimé à 9,6 Mt éq CO₂ (ECCC, 2022b)¹⁸. Les émissions de GES provenant des prairies sont également présentes, mais restent mineures en comparaison, représentant moins de 0,05 Mt éq CO₂ en 2020 (ECCC, 2022b)¹⁹. Ces émissions sont dues, en grande partie, à l'occurrence de feux naturels, dirigés ou provoqués par l'homme (ECCC, 2022b).

Les tableaux 4.1 et 4.2 présentent les SCBN pour l'agriculture et les prairies qui pourraient être mises en œuvre au Canada. Bon nombre de ces SCBN (parfois appelées « pratiques de gestion agricole bénéfiques ») ont fait l'objet de recherches approfondies, qui ont abouti à un certain nombre de recommandations clés en vue d'une mise en œuvre à grande échelle au Canada (Groupe AGÉCO *et al.*, 2020; Équiterre et Greenbelt Fondation, 2020; Drever *et al.*, 2021; Meadowcroft, 2021).

18 Pour convertir les gaz autres que le CO₂ en éq CO₂, ECCC (2022b) a utilisé les valeurs du système GWP100 du GIEC (2012), où le CH₄ = 25 et le N₂O = 298.

19 Ibid.

Tableau 4.1 SCBN agricoles

Définition de la SCBN	Mécanisme
Gestion des cultures	
<p>Les cultures de couverture sont plantées pendant la saison de jachère ou entre les rangs de cultures primaires pour servir de couverture protectrice, maintenir des racines vivantes et augmenter l'apport de carbone dans les sols.</p>	<p>L'apport supplémentaire de biomasse au sol augmente le taux de séquestration du carbone, tandis que la couverture du sol réduit l'érosion (Équiterre et Greenbelt Foundation, 2020).</p> <p>Les cultures de couverture mises en place pendant l'intersaison ou l'hiver maintiennent plus longtemps des racines vivantes dans le sol, ce qui augmente encore le carbone séquestré.</p> <p>Si les cultures sont des légumineuses, elles réduisent la nécessité d'appliquer des engrais, ce qui diminue les émissions de N₂O (Yanni <i>et al.</i>, 2018; Drever <i>et al.</i>, 2021).</p>
<p>La diversification des cultures comprend le recours aux rotations de cultures (dont certaines sont des cultures de couverture), aux cultures intercalaires et aux systèmes de cultures pérennes (pérennisation) pour s'éloigner des monocultures.</p> <p>La rotation des cultures consiste à varier les types de cultures pratiquées dans un même champ au cours de saisons de croissance successives (ou pendant l'intersaison ou l'hiver dans le cas des cultures de couverture), tandis que la culture intercalaire vise à faire pousser plus d'une culture commerciale simultanément.</p> <p>Les stratégies de cultures pérennes comprennent le remplacement des cultures annuelles par des cultures pérennes (p. ex. fruits, noix, foin, céréales pérennes).</p>	<p>La diversification des rotations de cultures annuelles pour inclure des cultures pérennes et de légumineuses augmente l'apport de carbone (plantes pérennes) ou réduit les besoins en engrais azotés (légumineuses) (McDaniel <i>et al.</i>, 2014).</p> <p>Les cultures pérennes ont des systèmes racinaires étendus, qui augmentent la teneur en matières organiques, ajoutent une couverture du sol pour réduire l'érosion et éliminent le besoin de travailler le sol, préservant ainsi le carbone qui s'y trouve (AAC, 2008).</p> <p>Les cultures pérennes diminuent les émissions de GES en réduisant la nécessité de travailler le sol (ce qui réduit également les émissions des machines), tout en réduisant les taux d'application des engrais et en amenant une plus grande efficacité dans le cycle des nutriments (Yanni <i>et al.</i>, 2018).</p> <p>L'augmentation du pourcentage de cultures de légumineuses réduira le besoin total de fertilisation azotée externe, évitant ainsi les émissions de N₂O et de CO₂.</p>
Gestion des sols	
<p>Les pratiques sans labour ou de travail réduit du sol consistent à arrêter complètement ou à réduire le renouvellement du sol par le travail du sol.</p>	<p>La culture sans labour évite de perturber le sol et laisse les résidus de culture en surface, ce qui réduit la décomposition par les microorganismes du sol et augmente ainsi la séquestration du carbone (Équiterre et Greenbelt Fondation, 2020; Drever <i>et al.</i>, 2021).</p>
<p>Le biocharbon est produit en convertissant des résidus de culture ou d'autres apports organiques (p. ex. des os) en carbone récalcitrant (p. ex. du charbon de bois), qui est ensuite ajouté aux sols.</p>	<p>Le carbone récalcitrant du biocharbon résiste à la décomposition et est donc stable sur de longues périodes (Lehmann, 2007; Song <i>et al.</i>, 2016); l'amendement des sols agricoles avec du biocharbon augmente donc le stockage du CO₂ (Drever <i>et al.</i>, 2021).</p>

Définition de la SCBN	Mécanisme
Gestion de l'azote	
<p>On désigne les pratiques prometteuses pour réduire les quantités d'azote par l'acrostiche 4B : limiter le taux (« Bonne dose ») d'application de l'azote pour qu'il corresponde mieux aux besoins des cultures; ajuster le moment (« Bon moment ») de l'application en fonction du moment où une culture est en pleine croissance et absorbe l'azote; varier l'emplacement de l'engrais (« Bon endroit ») en termes de profondeur (injection); et/ou choisir des types d'engrais de recharge (« Bonne source ») qui retardent la libération ou recourent à des inhibiteurs qui empêchent une transformation rapide (De Laporte <i>et al.</i>, 2021a).</p>	<p>L'application des pratiques des 4B peut diminuer la quantité d'azote disponible dans le sol sujette à la perte par (dé)nitriification, ou par lixiviation et volatilisation, réduisant ainsi immédiatement les émissions de GES. Certaines pratiques, comme la « Bonne source », permettent aux plantes d'accéder plus facilement à l'azote (De Laporte <i>et al.</i>, 2021a).</p>
Agroforesterie	
<p>La culture en bandes (également connue sous le nom de culture intercalaire d'arbres) permet de séquestrer du CO₂ supplémentaire grâce à la plantation d'arbres entre les cultures en rangs et les prairies de fauche.</p>	<p>Le carbone est stocké dans la biomasse aérienne et souterraine, notamment par l'augmentation de la litière et des exsudats racinaires (Baah-Acheamfour <i>et al.</i>, 2017). La variabilité des estimations du stockage du carbone dépend du type d'arbre sélectionné pour la plantation, de la densité de plantation et de la variété de culture de commerciale (dans le cas de la culture en bandes) (Baah-Acheamfour <i>et al.</i>, 2015; Drever <i>et al.</i>, 2021).</p>
<p>Les brise-vent sont des rangées d'arbres et d'arbustes annuels ou pérennes qui servent traditionnellement de coupe-vent. Plus récemment, on a constaté qu'ils séquestrent aussi le carbone dans les sols et dans la biomasse aérienne et souterraine.</p>	
<p>La plantation d'arbres riverains augmente la séquestration en éq CO₂ « lorsqu'elle est effectuée dans des zones tampons de 30 m autour de tous les plans d'eau dans les zones agricoles, là où les forêts constituent la couverture terrestre naturelle » (Drever <i>et al.</i>, 2021).</p>	
<p>Les systèmes sylvopastoraux impliquent l'intégration d'arbres dans les pâturages; ils bénéficient simultanément au pâturage du bétail, au fourrage et aux cultures d'arbres (Drever <i>et al.</i>, 2021).²⁰</p>	

²⁰ Aux fins du présent rapport, le comité a choisi de se concentrer sur l'expansion du sylvopastoralisme par la plantation d'arbres dans les pâturages existants. Cette pratique peut également englober la végétation pastorale de sous-étage dans les zones arborées existantes (voir p. ex. Baah-Acheamfour *et al.*, 2014), mais l'expansion du sylvopastoralisme dans ces zones n'a pas été modélisée par Drever *et al.* (2021) et n'a donc pas été incluse dans les calculs du potentiel d'atténuation.

Tableau 4.2 SCBN prairiales

Définition de la SCBN	Mécanisme
Maintien et restauration des prairies	
La conversion évitée des prairies préserve le COS et la biomasse aérienne et souterraine.	En réduisant la superficie des prairies converties en terres cultivées chaque année, on peut réduire les émissions associées au défrichage et au travail du sol, maintenir les stocks actuels de carbone du sol et éviter les émissions dues à l'oxydation du carbone.
Restauration des prairies sur des terres agricoles marginales et moins productives.	On a observé que le stockage du carbone augmente avec le temps en raison de l'accumulation de la masse racinaire, les prairies comportant des masses racinaires plus importantes ayant tendance à accumuler le COS à des taux plus élevés (voir p. ex. Jones et Donnelly, 2004; Soussana <i>et al.</i> , 2004; Lorenz, 2018; Yang <i>et al.</i> , 2019). Le carbone du sol est également accru par le dépôt de matériaux délestés par les racines des plantes (Soussana <i>et al.</i> , 2004; Lorenz, 2018).
Amélioration de la gestion prairiale	
L'amélioration de la gestion du pâturage comprend le pâturage en rotation (décrit dans la littérature récente sous le nom de pâturage adaptatif à enclos multiples) et l'introduction du bison dans les écosystèmes prairiaux. Le pâturage adaptatif fait appel à des périodes de repos plus longues entre les pâturages et l'arrêt du pâturage pendant la récupération des plantes, maximisant ainsi le temps de croissance active (Prescott <i>et al.</i> , 2021).	L'amélioration de la gestion du pâturage (pour n'importe quel animal de pâturage) peut influencer sur le cycle du carbone de nombreuses façons, notamment par la modification de la communauté végétale (Lyseng <i>et al.</i> , 2018), l'activité enzymatique dans la litière végétale (Chuan <i>et al.</i> , 2020), l'amélioration de l'infiltration de l'eau (Döbert <i>et al.</i> , 2021) et la production d'un excès de carbone par les exsudats racinaires (Prescott <i>et al.</i> , 2021). L'introduction de bisons dans les écosystèmes prairiaux a le potentiel de modifier l'absorption du carbone par les espèces végétales indigènes (Knapp <i>et al.</i> , 1999; McMillan <i>et al.</i> , 2019).
Les producteurs peuvent introduire des légumineuses dans les pâturages en les incluant dans les mélanges d'espèces lors des semis.	Les légumineuses augmentent la production de fourrage dans les prairies, ce qui entraîne des apports supplémentaires de carbone souterrain et un accroissement de l'azote du sol — d'où une plus grande production de MOS par les microbes et une fertilité améliorée, réduisant ainsi le besoin d'engrais (et donc les émissions de N ₂ O) (Conant <i>et al.</i> , 2001; Bolinder <i>et al.</i> , 2007; Fornara <i>et al.</i> , 2016; Drever <i>et al.</i> , 2021; Prescott <i>et al.</i> , 2021).
Les pâturages peuvent être ensemencés avec des mélanges de semences visant à améliorer la sélection des espèces de graminées , dans le but de renforcer les apports de carbone dans le sol.	L'optimisation des espèces de graminées en présence accroît le COS en rehaussant la production par le biais d'une meilleure adaptation au climat local. On observe également une résilience accrue au pâturage et à la sécheresse, de même qu'une fertilité accrue du sol grâce aux taux élevés de production de biomasse et aux systèmes d'enracinement profonds (Jones et Donnelly, 2004; Conant, 2012).

4.2 Gestion autochtone de l'agriculture et des prairies

Les peuples autochtones sont les gardiens des prairies et des terres actuellement utilisées pour l'agriculture depuis des temps immémoriaux. La diversité des communautés végétales et animales, de même que leur répartition en Amérique du Nord, ont été influencées par l'intendance autochtone à long terme (Turner, 2020). De plus, les peuples autochtones ont toujours développé et pratiqué des pratiques agricoles, notamment sous la forme de jardins forestiers dans le nord-ouest du Pacifique (Armstrong *et al.*, 2021; Fox, 2021) et de l'utilisation généralisée de la polyculture par le biais de la plantation des « Trois Sœurs » (maïs, haricots et courges), cette dernière étant encore étudiée et pratiquée de nos jours (AAC, 2021). Ces traditions sont les précurseurs de certaines des SCBN abordées dans ce chapitre. La polyculture des Trois Sœurs, par exemple, est une forme de diversification et de rotation des cultures. L'inclusion de légumineuses apporte de l'azote au sol, tandis que le maïs et la courge fournissent un soutien structurel, un contrôle des mauvaises herbes et une protection contre l'érosion (Mt. Pleasant, 2016; Hill, 2020; Ngapo *et al.*, 2021).

En 2016, les exploitants agricoles autochtones représentaient 2,6 % de la population agricole nationale, mais le ratio agriculteurs/locateurs de terres agricoles est inconnu (Gauthier et White, 2019). Des données ont déjà démontré que la majorité des terres appartenant aux Premières Nations dans les Prairies sont louées à des agriculteurs non autochtones (Pratt, 2004). Toutefois, leur nombre pourrait être sous-estimé en raison de la diminution du nombre global d'exploitations agricoles familiales à travers le pays (Arcand *et al.*, 2020; Sommerville, 2021).

La réintroduction du bison dans les plaines est une occasion de favoriser la réconciliation et de restaurer les écosystèmes des prairies

« Les perspectives autochtones englobent la gestion des stocks comme des flux de carbone et ces activités en sont pour ainsi dire indissociables, le tout reliant de manière holistique la santé humaine et la santé écologique » (McCarthy *et al.*, 2018). *Wahkohtowin*, le mot cri désignant le concept de parenté, décrit cette relation — il s'agit d'une vision du monde fondée sur l'idée que toute créature (y compris les humains, les plantes et les animaux) est dotée d'un esprit et est interconnectée (Wildcat, 2018) (voir section 2.4). « Les aînés avaient l'habitude de dire que nous entretenions un échange permanent avec le royaume spirituel qui réside dans les plantes, le sol, les animaux et l'eau. En vivant de cette façon depuis des millénaires, notre peuple avait fini par étendre ce code d'accès spirituel qui guidait désormais notre gouvernance et la façon dont nous nous conduisions. » (Philip Brass, communication personnelle)

Le *Wahkohtowin* englobe à la fois les lois naturelles des écosystèmes et la manière dont les peuples autochtones comprenaient la conscience des écosystèmes qu'ils habitaient et dont ils faisaient partie. Pour les peuples des plaines, la relation avec le bison est un exemple de cette conscience :

Nous sommes devenus des chasseurs de bisons dans la prairie, et c'est l'esprit du bison qui nous guidait. Suivre le bison nous menait à l'eau potable, aux remèdes, et nous servait de guide dans le monde de la prairie. La vie, ainsi que notre survie et notre capacité à prospérer sur nos terres, dépendaient des bisons. Nous les avons transhumés pour qu'ils broutent l'herbe des prairies pendant des milliers d'années, créant ainsi un puits de carbone massif dans les grandes plaines.

Philip Brass (communication personnelle)

Le massacre généralisé des bisons au 19^e siècle et l'expansion de l'agriculture ont entraîné la détérioration de l'écosystème des prairies et, avec elle, la relocalisation des Premières Nations dans des réserves sur des terres marginales — l'équivalent de quelques fragments de leurs terres traditionnelles (Corntassel et Woons, 2019). Les efforts visant à réintroduire le bison dans les Prairies sont en cours et représentent une occasion cruciale de réconciliation et de restauration de l'écosystème prairial, et notamment de la relation des peuples autochtones des plaines avec cet animal (voir section 4.6.2).

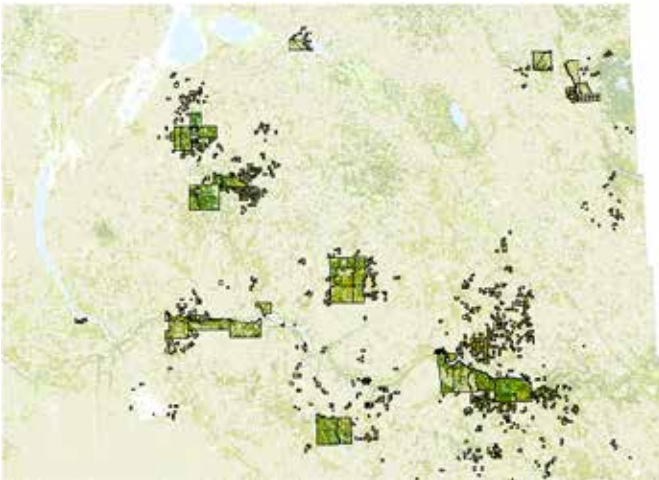
La couverture végétale pérenne est liée aux terres des Premières Nations dans toutes les provinces

On a constaté que la conversion des prairies en terres cultivées libère de grandes quantités de carbone dans l'atmosphère, ce qui réduit considérablement les stocks naturels de carbone (Janzen *et al.*, 1998). Toutefois, il est à noter qu'un grand nombre des fragments restants de prairies et de tremblais ayant survécu sont associés aux terres de réserve des Premières Nations dans les Prairies. La figure 4.1 met en évidence la nature fragmentée de la couverture végétale pérenne dans la région et la corrélation de ces zones avec les terres gérées par les Premières Nations dans les provinces des Prairies.

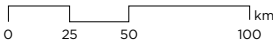
N.-O



S.-E



- Forêts
- Arbustes
- Prairies
- Terres cultivées
- Jachères
- Pâturages/ Fourrages
- Réserves des Premières Nations



Source des données : GC (2021h, 2022a)

Figure 4.1 Relation entre les terres pérennes et les réserves des Premières Nations en Saskatchewan

Cette figure illustre la répartition de la couverture terrestre dans le nord-ouest (panneau de gauche) et le sud-est (panneau de droite) des régions des prairies et de forêt-parc à trembles de la Saskatchewan. Les deux panneaux couvrent la plupart des terres de réserve des Premières Nations dans la région céréalière de la Saskatchewan. Les données sur la couverture terrestre proviennent du GC (2021h), tandis que les limites des terres des Premières Nations proviennent de GC (2022a).

Bien qu'il existe actuellement peu de données probantes sur les raisons pour lesquelles les terres de réserve des Premières Nations sont si étroitement associées à la couverture végétale pérenne, le comité croit que le succès continu de la conservation des prairies-parcs sur les terres des Premières Nations est probablement attribuable à des éléments sociopolitiques. L'histoire complexe de l'utilisation des terres dans ces régions est peut-être un facteur clé de la préservation de la couverture végétale pérenne. Les traités numérotés qui s'étendent sur les régions agricoles contemporaines de l'Alberta et de la



« La reconnaissance de la conservation liée à ces communautés est cruciale pour comprendre non seulement comment de telles pratiques peuvent être mises en œuvre à plus grande échelle, mais aussi à quel point de nombreuses SCBN sont intrinsèquement autochtones — c'est-à-dire liées aux connaissances autochtones et aux pratiques traditionnelles employées par les communautés depuis des générations. »

Saskatchewan comportaient des dispositions relatives à l'agriculture et incluait des terres de réserve pouvant servir à l'établissement de l'agriculture (p. ex. le traité no 4 de 1874 et le traité no 6 de 1876). Au départ, de nombreuses Premières Nations se sont lancées dans l'agriculture et ont défriché les terres de réserve à cette fin. Cependant, les obstacles historiques à la participation des Premières Nations au secteur agricole (voir p. ex. Buckley, 1992; Carter, 2019), combinés à la forte proportion de terres marginales dans les réserves, ont probablement contribué à la conservation et au retour de certaines terres cultivées à une couverture pérenne. Les agriculteurs autochtones continuent de faire face à des obstacles institutionnels et structurels qui entravent la mise en œuvre et la croissance des entreprises agricoles sur leurs terres, mais qui peuvent également contribuer à la préservation des prairies (Pratt, 2006; Natcher *et al.*, 2011; Arcand *et al.*, 2020). Les agriculteurs autochtones sont en effet moins en mesure de soutenir la production agricole à long terme par eux-mêmes et seraient donc incités à laisser les terres en l'état. Le comité reconnaît toutefois que les écosystèmes des prairies naturelles font partie

intégrante de nombreuses communautés des Premières Nations des plaines, et que leur conservation peut aussi être liée à la protection et à la perpétuation de la culture (voir p. ex. LeBourdais, 2016).

Cependant, il est probable qu'aucun facteur à lui seul ne puisse expliquer la relation de corrélation qui existe entre l'aménagement des terres des Premières Nations et la couverture végétale pérenne des prairies conservées. Le comité estime qu'il s'agit plus probablement du résultat d'une combinaison de

facteurs — notamment ceux mentionnés ci-dessus — qui changent et évoluent au sein des cultures et des contextes de chaque nation et communauté. Néanmoins, cette relation observée montre clairement qu'il existe un besoin permanent de reconnaissance et de soutien des Premières Nations dans la mise en œuvre des SCBN. La reconnaissance de la conservation liée à ces communautés est cruciale pour comprendre non seulement comment de telles pratiques peuvent être mises en œuvre à plus grande échelle, mais aussi à quel point de nombreuses SCBN sont intrinsèquement autochtones — c'est-à-dire liées aux connaissances autochtones et aux pratiques traditionnelles employées par les communautés depuis des générations (Townsend *et al.*, 2020).

Le comité note également qu'il est nécessaire de soutenir activement les efforts de conservation des communautés des Premières Nations, afin de s'assurer qu'un développement économique négatif ne soit pas privilégié. Les paysages pérennes des Prairies représentent des stocks de carbone qui risquent de devenir des sources si les terres sont (re)converties en terres cultivées. Les pressions en faveur d'un développement économique accru, y compris l'augmentation des aides gouvernementales aux agriculteurs des Premières Nations, pourraient inciter à la conversion des prairies natives, libérant ainsi du carbone dans l'atmosphère. Dans les Prairies, le changement d'affectation des terres a un impact important sur la séquestration du carbone et la réduction des émissions, et on ne peut négliger la possibilité que « le carbone soit perdu pour de l'argent ». Cependant, tout engagement des Autochtones doit respecter les droits d'autodétermination des communautés en matière de prise de décision sur les terres, en veillant à ce que les SCBN ne finissent pas par déposséder les Premières Nations de leurs terres ou de leurs connaissances.

4.3 Ampleur du potentiel de séquestration et de réduction des émissions

Pour évaluer la quantité de carbone supplémentaire pouvant être séquestrée grâce aux SCBN agricoles ou prairiales — ou la quantité d'émissions de GES qui peut être évitée — il faut d'abord comprendre les impacts des changements dans les pratiques de gestion ou d'utilisation des terres sur les flux de carbone et d'autres GES dans une zone donnée. De tels impacts ont été largement étudiés dans le contexte de l'amélioration de la productivité et de la durabilité de l'agriculture, bien qu'il existe une variation substantielle selon les conditions environnementales et les caractéristiques du sol, et donc des variations régionales à travers le Canada.

4.3.1 Flux de GES dans les terres cultivées

La variabilité des conditions régionales et des caractéristiques des cultures détermine le potentiel de certaines SCBN agricoles

La détermination du potentiel d'atténuation nationale pour la plupart des SCBN est une tâche difficile en raison de la variabilité considérable inhérente aux paysages agricoles. La myriade de combinaisons de types de cultures et de sols, de conditions climatiques et de pratiques de gestion entraîne de grandes incertitudes dans l'estimation de l'accumulation du COS et des émissions de GES (Hristov *et al.*, 2018; Bradford *et al.*, 2019). Même les SCBN promues en tant que meilleures pratiques de gestion, comme les cultures de couverture, sont soumises à des incertitudes et à des limites associées à leur adéquation à certains climats. Bien que les estimations mondiales et américaines de la séquestration du carbone pour la mise en œuvre des cultures de couverture se situent autour de 0,3 t C/ha/an, les valeurs pour le Canada (ajustées en fonction du climat et du moment de la récolte de la culture commerciale précédente) varient de 0,025 à 0,64 t éq CO₂/ha/an — les valeurs les plus faibles se trouvant dans l'ouest et les plus élevées, dans l'est (Eagle *et al.*, 2012; Poeplau et Don, 2015; Drever *et al.*, 2021). Par exemple, les courtes saisons de croissance et l'apport en eau limité ont historiquement empêché la mise en œuvre généralisée des cultures de couverture dans les Prairies, bien que cette tendance commence lentement à changer, sous l'effet de l'adoption de cette pratique dans les États américains voisins et dans l'est du Canada (Morrison et Lawley, 2021).

De même, les pratiques de travail réduit du sol ou du sans labour (également connu sous le nom de travail de conservation du sol) ont été largement employées au Canada (et en particulier dans les Prairies), ce qui a entraîné des augmentations mesurables des apports de carbone aux sols (ECCC, 2022b). Ainsi, les terres dévolues au travail de conservation ont augmenté de 18 Mha entre 1990 et 2020 (ECCC, 2022b). Malgré les succès remportés ailleurs, des incertitudes importantes subsistent quant aux effets des pratiques de travail réduit du sol ou du sans labour dans l'est du Canada, où les impacts se sont révélés incohérents et dépendant fortement du climat comme de la texture du sol (Liang *et al.*, 2020). Une synthèse des expériences à long terme a révélé que le sans labour a entraîné une augmentation de la séquestration de 0,14 t C/ha/an dans l'Ouest canadien sur une moyenne de 23 ans, alors qu'une augmentation de seulement 0,06 t C/ha/an a été enregistrée dans l'est du Canada sur une moyenne de 18 ans (VandenBygaart *et al.*, 2008).

Les mécanismes du carbone et de l'azote du sol sont liés; ils peuvent s'influencer mutuellement et affecter le biote du sol

Les cycles du carbone et de l'azote dans les sols sont intimement liés par ensemble d'interactions complexes (Guenet *et al.*, 2021). Par conséquent, toute intervention visant à augmenter le COS dans les systèmes agricoles peut également affecter le cycle de l'azote et les émissions subséquentes de N_2O . Ces interactions et effets sont nombreux : les processus de transformation de l'azote minéral dépendent en effet du COS, tandis que la production de matière sèche des plantes est limitée par la disponibilité de l'azote, le renouvellement de la MOS étant quant à lui déterminé par la disponibilité de l'azote pour les microorganismes (Guenet *et al.*, 2021). Les microbes, qui contribuent de manière substantielle au COS comme l'ont déterminé les chercheurs, dépendent enfin de la disponibilité de l'azote pour stimuler l'augmentation de la biomasse microbienne et générer ainsi la MOS (Kogel-Knabner, 2017; Liang *et al.*, 2019; Kopittke *et al.*, 2020). L'équilibre chimique du carbone et de l'azote dans les sols est donc une considération essentielle pour la mise en œuvre des SCBN, car il a été démontré que des teneurs élevées en COS sont corrélées à des émissions plus élevées de N_2O (Stehfest et Bouwman, 2006; Henault *et al.*, 2012). Voilà qui se révèle particulièrement pertinent pour la gestion des nutriments, où le taux d'application de l'azote aux sols doit tenir compte de cette relation.

Le type de culture peut également influencer les flux de GES

Les interactions entre le carbone et l'azote dans les sols dépendent également des caractéristiques des cultures elles-mêmes. Par exemple, l'utilisation de légumineuses dans la rotation des cultures a été présentée comme une méthode permettant de réduire les émissions de N_2O en raison de leur capacité à fixer l'azote de l'atmosphère, réduisant ainsi les besoins en engrais. Des tests portant sur quatre types de légumineuses ont révélé que seuls deux d'entre elles (pois et féverole) réduisaient les émissions de N_2O comparativement aux cultures de blé en continu, tandis que d'autres (pois chiche et lentille) augmentaient en fait les émissions de N_2O (Liu *et al.*, 2021). Le choix du type de culture de couverture peut également avoir un impact sur les émissions de N_2O , dont l'ampleur dépend de plusieurs facteurs — notamment le rapport carbone/azote, les taux de décomposition, les pratiques de travail du sol et les apports supplémentaires d'engrais (Guenet *et al.*, 2021). Un faible ratio carbone/azote dans la variété de plantes de couverture (comme dans le cas des légumineuses) augmente la disponibilité de l'azote dans le sol pour les réactions microbiennes, ce qui conduit à un surplus d'azote dans le sol si toute la biomasse de légumineuses est incorporée (et si tout apport supplémentaire d'azote n'est pas correctement ajusté). Néanmoins, une méta-analyse de Guenet *et al.* (2021) a révélé que si,

en moyenne, les émissions de N_2O des cultures de couverture ne compensent pas complètement les gains réalisés au niveau du COS, les effets globaux peuvent être très spécifiques au site et constituent une considération importante lors de la mise en œuvre de SCBN qui augmentent le COS.

Les incertitudes découlent également de la complexité des techniques et du manque de données

Certaines interventions, comme la diversification des cultures, sont difficiles à étudier en raison du nombre de variables en jeu lors des expériences. Par exemple, des espèces pérennes peuvent être introduites en tant que composante des rotations culturales, compliquant ainsi l'établissement de conclusions définitives sur la capacité de l'une ou l'autre de ces stratégies à séquestrer du carbone supplémentaire, et l'attribution des changements de flux à des SCBN individuelles. Un examen de la littérature effectué par Yanni *et al.* (2018) a conclu que peu d'études ont porté sur les effets des rotations et de la diversification des cultures sur la séquestration du carbone et les émissions de GES en Ontario, bien que — selon le comité — cette lacune s'étende également à d'autres régions du Canada. Les expériences dont on dispose révèlent que la rotation des cultures commerciales (p. ex. le maïs) avec d'autres cultures (p. ex. la luzerne, l'avoine) réduisait bien les émissions de N_2O , même lorsqu'elles sont mises à l'échelle du rendement (Drury *et al.*, 2014).

Bien que les systèmes agroforestiers soient largement utilisés au Canada, l'étendue précise des différents types de systèmes reste incertaine. Ce manque d'information contribue à l'incertitude entourant la superficie potentielle (c.-à-d. la zone sur laquelle une pratique peut être mise en œuvre de manière faisable) pour l'adoption accrue de ces SCBN (Baah-Acheamfour *et al.*, 2017). En outre, peu d'études rendent compte des capacités de stockage du carbone de ces systèmes (An *et al.*, 2022). Bien qu'il ait été démontré à plusieurs reprises que les SCBN agroforestières génèrent une teneur en carbone du sol plus élevée que les terres cultivées adjacentes (voir p. ex. Baah-Acheamfour *et al.*, 2014; Lim *et al.*, 2018), le type d'arbre et la SCBN elle-même influent sur la capacité de stockage du carbone (Baah-Acheamfour *et al.*, 2015). Par exemple, Baah-Acheamfour *et al.* (2015) ont constaté que l'utilisation d'essences d'arbres du genre *Populus* entraînait la plus grande augmentation du COS lorsqu'elles étaient utilisées en sylvopastoralisme, tandis que les essences du genre *Picea* étaient mieux utilisées comme brise-vent. Cette variabilité contribue aux incertitudes associées à l'ampleur du potentiel de séquestration des SCBN agroforestières au Canada, tout comme la distribution régionale.

4.3.2 Flux de GES dans les prairies

Le potentiel de séquestration du carbone découlant de l'amélioration de l'aménagement des prairies est incertain, tout comme les mécanismes sous-jacents liés à l'amélioration du pâturage

Comme pour les systèmes agricoles, les flux de carbone dans les prairies sont influencés par les stratégies d'aménagement des terres, ainsi que par des facteurs environnementaux, comme la température moyenne et les précipitations (Ma *et al.*, 2021). L'amélioration de l'aménagement est l'intervention la plus largement reconnue en ce qui touche le carbone du sol pour les prairies; cependant, ses effets nets sur la séquestration font l'objet de débats (Liu *et al.*, 2011; Lorenz, 2018; Bengtsson *et al.*, 2019; Iravani *et al.*, 2019; Ma *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021a). Le pâturage en rotation — reconnu par le gouvernement du Canada comme une solution climatique agricole (GC, 2022b) — a été associé à une augmentation de la productivité et de la séquestration du carbone dans le sol (Lorenz, 2018), tout comme le pâturage modéré en général (Wang *et al.*, 2014; Hewins *et al.*, 2018; Bork *et al.*, 2020). Cependant, des travaux récents portant sur tous les flux de GES — effectués Ma *et al.* (2021) — n'ont trouvé aucune relation positive entre le pâturage en rotation et la réduction des émissions globales de GES. Au contraire, on a constaté que les flux de carbone étaient influencés par des conditions spécifiques, telles que « le taux de chargement du bétail, l'historique des cultures, la teneur en humidité du sol et la densité apparente » (Ma *et al.*, 2021). Ces résultats sont corroborés par les conclusions similaires auxquelles sont arrivés Iravani *et al.* (2019) et Wang *et al.* (2021a).

Ces résultats contradictoires découlent peut-être du large éventail de choix effectués par les éleveurs lors de la mise en œuvre du pâturage. Ces choix portent notamment sur les taux de chargement et les densités, ainsi que le schéma de pâturage (déterminé par le moment, l'intensité, la durée de la période de récupération) (Teague *et al.*, 2013; Bork *et al.*, 2021). De plus, les pâturages sont aussi généralement broutés de manière inégale, avec des schémas dictés par la proximité de ressources recherchées comme l'eau ou les minéraux (les sels), ce qui peut affecter les mesures (Wang *et al.*, 2021a). Les limites écologiques, telles que la saison de croissance et les changements climatiques, ont un impact sur l'efficacité des SCBN de pâturage (pensons par exemple à l'augmentation ou à la diminution de l'intensité du pâturage) (Eldridge *et al.*, 2016; Ma *et al.*, 2021). Comme le soulignent Wang *et al.* (2021a), « le temps de récupération des plantes [nécessaire pour réduire les émissions de carbone] dans le contexte du pâturage en rotation dépend des conditions environnementales, comme la saison de l'année ».

Le mécanisme précis reliant les pratiques de pâturage améliorées à l'augmentation de la séquestration du carbone (comme le pâturage en rotation ou pâturage adaptatif à enclos multiples) est encore inconnu. Il a été démontré que le pâturage a des effets positifs sur le carbone du sol en stimulant la productivité des plantes, en particulier des racines (Frank *et al.*, 2002). Des recherches plus récentes ont également montré que le pâturage modifie la composition des communautés végétales (Lyseng *et al.*, 2018), influe sur l'activité des enzymes libérées par les racines et les cellules microbiennes (Chuan *et al.*, 2020) et augmente l'infiltration d'eau (Döbert *et al.*, 2021). Le fait d'accorder un temps de récupération adéquat entre les pâturages (un principe clé du pâturage en rotation/adaptatif à enclos multiples) permet d'augmenter la productivité — des périodes de récupération plus longues entre les broutages, associées à une interdiction de pâturage pendant le temps de récupération, maximisent le temps consacré croissance active (Prescott *et al.*, 2019). On suppose que l'augmentation du carbone du sol qui en résulte est le produit de l'exsudation et de la production d'un excès de carbone pendant les périodes de repos, mais Prescott *et al.* (2019) ont noté que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour comprendre pleinement ce processus. Tous ces mécanismes, ainsi que des facteurs externes comme l'humidité en présence et la température, peuvent affecter la capacité de séquestration du carbone des prairies pâturées.

L'introduction de bisons à la place de bovins domestiques pourrait également présenter des avantages en matière de séquestration du carbone, mais cette hypothèse est également sujette à de grandes incertitudes. Bien qu'il y ait des différences notables dans les modes de recherche de nourriture entre le bétail et le bison, il existe un manque de données comparatives évaluant les effets à long terme du pâturage, dans un contexte où les pratiques de gestion restent constantes (Knapp *et al.*, 1999).

4.3.3 Estimation du potentiel national de séquestration et de réduction des émissions

À l'échelle mondiale, Roe *et al.* (2021) ont produit des estimations de l'ampleur du potentiel de séquestration au Canada relativement à plusieurs SCBN agricoles et prairiales, sous les angles de la faisabilité technique et de la rentabilité (c.-à-d. réalisables sous la barre des 100 \$/t éq CO₂) (voir tableau 4.3). Toutefois, les valeurs sont fondées sur des ensembles de données mondiales et ont été établies à partir d'hypothèses qui ne s'appliquent probablement pas au contexte canadien. Ainsi, certaines estimations révèlent un potentiel très élevé (p. ex. pratiques associées au sans labour, à l'application de biocharbon) ou très faible (p. ex. gestion des éléments nutritifs).

Tableau 4.3 Potentiel annuel de séquestration au Canada, 2020-2050

SCBN	Ampleur du potentiel de séquestration (Mt éq CO ₂ /an) jusqu'en 2050	
	Faisabilité technique	Rentabilité
Gestion des nutriments	1,9	1,5
Cultures de couverture + sans labour^a	27,6	24,9
Amélioration de l'aménagement des prairies^b	12,7	7,6
Agroforesterie	44,8	9
Biocharbon	35,1	27,6

Toutes les valeurs ont été extraites des informations supplémentaires fournies par Roe *et al.* (2021).

- a Le sans labour est désigné par l'expression *séquestration du carbone dans le sol – terres cultivées* dans le document original.
- b L'amélioration de l'aménagement des prairies est désignée par l'expression *séquestration du carbone dans le sol – prairies* dans le document original.

Dans l'étude de Roe *et al.* (2021), le potentiel de séquestration des pratiques agroforestières sur le plan de la faisabilité technique impliquait la plantation d'arbres à côté des cultures sur la superficie totale des terres utilisées. Il s'agit toutefois d'un scénario peu probable dans certaines régions du Canada, en raison de l'utilisation requise de grosses machines et des difficultés connexes liées au contournement des arbres. De plus, la croissance des arbres est inhibée dans la plupart des régions des Prairies. Cela dit, le potentiel de rentabilité réduit la superficie des terres cultivées à 20 % du total, et l'absorption potentielle à seulement 10 %, ce qui est peut-être plus raisonnable pour le contexte canadien (voir le tableau 4.4 à titre de comparaison). Les estimations de l'ampleur du potentiel du sans labour et de la culture de couverture sont aussi probablement surestimées — en effet, cette pratique est déjà largement en usage au Canada, mais son expansion est limitée par des contraintes climatiques et techniques. La mise en œuvre de la culture de couverture est quant à elle entravée par des contraintes climatiques, et l'hypothèse d'une adoption à 90 % dans toutes les terres cultivées d'ici 2050 est peu probable. Ces disparités montrent que la superficie potentielle est un facteur déterminant de l'ampleur totale du potentiel de séquestration, la première étant à son tour influencée par des facteurs techniques et socioéconomiques (voir section 4.5).

De l'avis du comité, des estimations plus réalistes — tenant compte de plus de détails environnementaux et régionaux, ainsi que des contraintes supplémentaires à la mise en œuvre des SCBN — se trouvent dans Drever *et al.* (2021) (voir tableau 4.4). Les valeurs auxquelles ces chercheurs sont arrivés ont été obtenues en calculant la superficie potentielle pertinente au Canada, ainsi que les flux de GES dans divers systèmes de cultures et de prairies. Leurs estimations sont généralement beaucoup plus faibles que celles présentées par Roe *et al.* (2021). Le potentiel d'atténuation a été calculé à partir de diverses hypothèses, tout en tenant compte de plusieurs zones d'incertitude pour chaque SCBN : la productivité (mise à l'échelle pour s'assurer qu'il n'y a pas de réduction du rendement des cultures), l'adoption (linéaire, en tenant compte des erreurs reflétant la surestimation et la sous-estimation), la régionalité (reflétant les caractéristiques du climat et du sol), l'additionnalité (à partir d'un scénario de statu quo), les compromis d'albédo (appliqués aux SCBN agroforestières), la logistique (contraintes techniques) et les émissions connexes (effets en amont et simultanés sur les émissions).

Tableau 4.4 Potentiel de séquestration des SCBN agricoles et prairiales, tel qu'estimé par Drever *et al.* (2021), et échelle de confiance du comité

Ampleur du potentiel de séquestration (Mt éq CO ₂ /an)		Confiance du comité à l'horizon 2030		
SCBN	De maintenant à 2030	2030 à 2050	Flux	Superficie potentielle
Cultures de couverture	9,78 (7,6 à 12,1)	9,78 (7,6 à 12,1)	Modérés	Faible-moderée
Diversification des cultures ^a	2,6 (2,4 à 2,8)	2,6 (2,4 à 2,8)	Modérés	Modérée
Pratiques de gestion des cultures : TOTAL	12,38	12,38	Modérés	Modérée
Travail réduit ou sans labour	0,9 (0,7 à 1,1)	0,6 (0,5 à 0,8)	Élevés	Élevée
Application de biocharbon	6,9 (3,2 à 10,6)	6,9 (3,2 à 10,6)	Modérés	Faible
Pratiques de gestion des sols : TOTAL	7,8	7,5	Modérés	Faible-moderée
Gestion de l'azote (4Bs)	6,3 (5,0 à 7,6)	6,3 (5,0 à 7,6)	Élevés	Modérée-élevée
Culture en bandes	3,9 (0,5 à 14,4)	3,9 (0,5 à 14,4)	Modérés	Faible
Sylvopastoralisme	2,8 (0,8 à 7,0)	2,8 (0,8 à 7,0)	Faibles	Faible
Plantation d'arbres riverains	0,7 (-0,9 à 2,3)	1,6 (0,6 à 3,5)	Faibles	Faible
Conversion évitée des brise-vent	0,2 (0,0 à 0,4)	-	Modérés	Modérée
Agroforesterie : TOTAL	7,6	8,3	Faibles	Faible
Conversion évitée des prairies	12,7 (2,2 à 41,3)	4,1 (0,2 à 20,2)	Faibles	Modérée
Restauration des prairies	0,7 (-0,1 à 1,5)	0,4 (0,0 à 1,8)	Faibles	Faible
Amélioration de l'aménagement des prairies ^b	0,22 (0,19 à 0,25)	0,22 (0,19 à 0,25)	Faibles	Modérée
Prairies : TOTAL	13,62	4,72	Faibles	Faible

Source des données : Drever *et al.* (2021)

Ce tableau présente le potentiel de séquestration annuelle des SCBN agricoles et prairiales au Canada jusqu'en 2030, ainsi qu'au cours de la période 2030-2050. Le comité a indiqué son niveau de confiance dans ces estimations en attribuant des cotes à la fois pour les flux de GES comme la superficie potentielle utilisés par Drever *et al.* (2021) pour calculer le potentiel d'atténuation. Voir l'annexe pour l'échelle de confiance du comité.

- a Bien que cette catégorie comprenne les rotations de cultures, les stratégies de cultures pérennes et les cultures de légumineuses, la valeur indiquée ici ne reflète que l'ampleur du potentiel de séquestration pour les cultures de légumineuses, car les estimations pour les rotations de cultures et les stratégies de cultures pérennes n'ont pas été prises en compte par Drever *et al.* (2021).
- b Plusieurs stratégies sont incluses dans cette SCBN, mais les valeurs indiquées ne représentent que les émissions de N₂O évitées par l'augmentation des légumineuses dans les pâturages, telles que dérivées des travaux de Drever *et al.* (2021). Il n'y a pas assez d'informations sur la superficie potentielle pour les autres stratégies.

Dans l'ensemble, les estimations des émissions et des taux de séquestration de Drever *et al.* (2021) reflètent les connaissances actuelles sur l'état de ces SCBN, bien que les incertitudes associées à la superficie potentielle utilisée pour calculer le potentiel d'atténuation total au Canada soient sous-représentées. L'étendue des terres cultivées et des pâturages est relativement bien connue en raison du caractère aménagé de ces régions, de sorte que la superficie potentielle pour la mise en œuvre de la plupart des SCBN agricoles est basée sur des considérations de faisabilité (à la fois techniques et économiques, en tenant compte des obstacles politiques et comportementaux). L'incertitude liée à la superficie potentielle pour l'évitement de la conversion des prairies est particulièrement élevée, certains comptes rendus indiquant une conversion continue des prairies natives au Canada et aux États-Unis, tandis que d'autres montrent que, au moins dans certaines régions, les prairies ne sont pas converties à un rythme rapide (WWF, 2021; CAPI, 2022; Raven *et al.*, 2022). Cette incertitude est encore plus grande si l'on tient compte des futures pressions du marché liées aux pénuries alimentaires mondiales, car elles entraîneront probablement l'augmentation la conversion des prairies en terres cultivées (voir section 4.4). En outre, la confiance du comité dans les estimations de flux pour les SCBN prairiales est faible, ce qui reflète le manque relatif de données sur les flux de GES et l'incertitude élevée par rapport aux SCBN appliquées aux terres cultivées.

L'une des limites des données ci-dessus concerne l'hypothèse selon laquelle l'adoption de ces pratiques serait linéaire au lieu de suivre une courbe en S, plus réaliste, qui caractérise généralement l'adoption des innovations (Rogers, 1962; Pratt *et al.*, 2021). Drever *et al.* (2021) partent du principe que, tant qu'il est prouvé qu'une SCBN est économique, aucun autre incitatif n'est nécessaire pour promouvoir sa mise en œuvre. En déterminant les coûts des cultures de couverture, Drever *et al.* (2021) ont constaté que l'adoption maximale était rentable, quel que soit le prix du carbone; or, si c'est bien le cas, des obstacles supplémentaires doivent être pris en compte (voir section 4.5.2) pour expliquer pourquoi l'adoption n'a pas encore eu lieu. De même, il existe peu de détails sur les incitatifs qui motivent l'adoption de divers niveaux de gestion par les 4B, ce qui rend difficile l'évaluation de la validité de l'ampleur de la réduction des émissions.

De l'avis du comité, les estimations de Drever *et al.* (2021) constituent une base de référence utile pour éclairer les décisions stratégiques futures sur les SCBN agricoles au Canada. De grandes incertitudes subsistent toutefois, et d'autres travaux seront nécessaires pour comprendre la longévité de telles activités (voir section 4.4) — de même que la meilleure façon de surmonter les obstacles sociaux, économiques et techniques à leur mise en œuvre (voir section 4.5).

4.4 Stabilité et permanence

Les sols terrestres ont une limite par rapport à leur capacité de stockage du carbone

La conversion des forêts naturelles et des prairies en terres agricoles a entraîné une perte historique de carbone dans le sol au Canada, ce qui rend ces zones propices à l'ajout de carbone grâce à de meilleures pratiques de gestion. Cependant, une fois ces pratiques mises en œuvre, les stocks et les flux atteindront un état d'équilibre après quelques décennies, et plus aucun COS ne s'accumulera (Paustian, 2014; NASEM, 2019; Groupe AGÉCO *et al.*, 2020) — comme le démontrent les taux d'accumulation décroissants dans les systèmes de cultures réduites et sans labour. Liang *et al.* (2020) ont constaté que les systèmes sans labour dans l'ouest du Canada

ont séquestré 0,74 t C/ha/an de 3 à 10 ans après la mise en œuvre, 0,26 t C/ha/an de 11 à 20 ans après la mise en œuvre, et 0,1 t C/ha/an à très long terme (> 20 ans après la mise en œuvre). Cette limitation s'étend aux écosystèmes prairiaux, qui ne peuvent pas rester des puits à perpétuité (Smith, 2014).



« Si les stocks de carbone du sol peuvent rester stables (à moins d'une perturbation naturelle ou anthropique), la fonction de puits des prairies ne peut être considérée comme étant indéfiniment durable. »

L'analyse de Smith (2014) a permis d'établir que, suite à la conversion de l'utilisation des terres ou à des changements dans les régimes d'aménagement, les prairies absorberont bien du carbone dans le sol, mais qu'un équilibre sera atteint après une certaine période, après quoi de nouvelles augmentations des stocks de carbone ne pourront plus se poursuivre. Cet équilibre est le résultat d'un déclin régulier de l'absorption du carbone du sol après une séquestration rapide dans les années suivant immédiatement le

changement observé (Smith, 2014). Si les stocks de carbone du sol peuvent rester stables (à moins d'une perturbation naturelle ou anthropique), la fonction de puits des prairies ne peut être considérée comme étant indéfiniment durable.

L'ajout de biocharbon au sol peut surmonter cette limitation, car ce dernier résiste à la décomposition microbienne et, en moyenne, demeure dans les sols pendant des centaines d'années ou plus, ce qui en fait un véhicule de stockage du carbone à long terme (Santos *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2016). Cependant, bien qu'un équilibre du COS puisse être atteint dans les systèmes agricoles, les interventions visant à réduire les émissions de gaz autres que le CO₂, comme le N₂O, peuvent quant à elles continuer à cumuler indéfiniment des avantages en matière d'atténuation des GES (Paustian *et al.*, 2016).

Les changements climatiques au Canada peuvent à la fois favoriser et entraver l'efficacité des SCBN

Les changements climatiques à venir, notamment en matière de réchauffement et de précipitations, auront une incidence sur le COS dans les systèmes agricoles et prairiaux. Des incertitudes importantes subsistent quant aux caractéristiques précises des réservoirs de carbone du sol dans les prairies, ainsi que sur l'étendue de l'effet du réchauffement futur sur les tendances de séquestration du carbone dans ces sols (Jones et Donnelly, 2004). La température et les taux de précipitation jouent un rôle important dans les processus du sol et, à mesure que le climat change, ces variables affecteront le taux comme la quantité de carbone séquestré. Le réchauffement risque même de provoquer une augmentation de la respiration microbienne, entraînant une perte de carbone dans le sol à court terme. Cependant, le réchauffement pourrait également stimuler la productivité primaire, augmentant ainsi la quantité de carbone du sol à long terme (Jones et Donnelly, 2004).

Les scénarios de changements climatiques futurs pourraient également exacerber la déstabilisation du carbone du sol — par exemple si l'on considère que l'assèchement induit par la sécheresse, couplé à des événements de précipitations extrêmes, est à même d'entraîner une perturbation des agrégats et des fluctuations de l'oxydoréduction du sol (réactions chimiques impliquant à la fois l'oxydation et la réduction) (Bailey *et al.*, 2019). Le réchauffement pourrait prolonger la saison de croissance de certaines cultures et devrait augmenter la respiration des écosystèmes (Hristov *et al.*, 2018), tandis que la fertilisation induite par le CO₂ renforcera potentiellement la croissance de certaines espèces cultivées, entraînant ainsi un apport accru de carbone dans les sols. Le réchauffement affectera aussi le métabolisme microbien, favorisant encore la déstabilisation des sols et les émissions élevées de CO₂ (Bailey *et al.*, 2019). L'augmentation des précipitations pourrait enfin entraîner une augmentation de la séquestration du carbone dans les sols, tandis que la réduction des précipitations pourrait limiter la productivité des plantes et mener à une sécheresse.

En 2019, il n'existait pas d'études pancanadiennes portant sur les prévisions de sécheresse, bien que les modèles indiquent généralement que la probabilité de sécheresse est plus élevée dans le sud des Prairies canadiennes et l'intérieur de la Colombie-Britannique (Bonsal *et al.*, 2019). Les conditions sèches ont déjà entravé l'adoption des cultures de couverture dans les Prairies, 27 % des agriculteurs interrogés dans le cadre d'une enquête récente ayant signalé des problèmes d'établissement causés par le manque d'humidité à l'automne (Morrison et Lawley, 2021). L'augmentation du réchauffement et de l'assèchement des régions prairiales risque également de contribuer à une plus grande probabilité de conditions

d'incendie extrêmes et d'incendies de forêt (Cohen *et al.*, 2019). Bien que les émissions associées à la destruction par le feu de la biomasse des prairies au Canada soient faibles ($< 0,05 \text{ Mt } \text{éq CO}_2/\text{an}$)²¹, il existe une incertitude associée à l'estimation de la superficie brûlée par an, ainsi qu'à la charge moyenne de combustible par hectare et à l'efficacité de combustion des différentes zones (ECCC, 2022b).

Les SCBN doivent s'appuyer sur des efforts soutenus de la part des propriétaires fonciers et des producteurs si l'on veut que les avantages en matière de séquestration et d'émissions perdurent

Les SCBN impliquant des pratiques de gestion nécessitent des efforts continus pour maintenir à la fois la séquestration du carbone et la réduction des émissions. Pour en soutirer ces avantages, il faut une mise en œuvre soutenue, répétée et souvent saisonnière des SCBN, comme la plantation de cultures de couverture et de légumineuses, le maintien du sans labour, l'application de pratiques de fertilisation azotée des 4B et la gestion du pâturage. Si les pratiques de gestion entraînant une accumulation de carbone retournent au statu quo (p. ex. en reprenant le travail intensif du sol), le carbone stocké sera perdu, annihilant ainsi les efforts précédents. En revanche, la réduction des émissions de N_2O résultant de la mise en œuvre de la méthode des 4B n'est pas annulée; au contraire, ces émissions n'augmentent que l'année où les pratiques sont inversées. Toutefois, même ainsi, le maintien d'une tendance à la réduction des émissions exige une application soutenue de la méthode des 4B. Les politiques ou les fonds visant à encourager l'adoption des SCBN devraient donc être maintenus et appliqués à long terme (Paustian *et al.*, 2019).

De l'avis du comité, les menaces à l'utilisation continue des SCBN comprennent l'augmentation des coûts d'entretien, l'achèvement des contrats avec les propriétaires fonciers et l'évolution des pressions du marché — autant de facteurs difficiles à prévoir et qui s'appliquent donc aux calculs du potentiel d'atténuation pour l'avenir. Les incertitudes du marché sont en outre liées aux pressions futures sur la sécurité alimentaire. C'est ainsi que la demande pour des terres cultivables peut entrer directement en conflit avec les efforts d'atténuation des changements climatiques et entraîner une demande supplémentaire pour la conversion des terres marginales, notamment des prairies et des zones humides (Hasegawa *et al.*, 2018; Ma *et al.*, 2022).

21 Pour convertir les gaz autres que le CO_2 en éq CO_2 , ECCC (2022b) a utilisé les valeurs du système GWP100 du GIEC (2012), où le $\text{CH}_4 = 25$ et le $\text{N}_2\text{O} = 298$.

4.5 Faisabilité

De nombreuses SCBN agricoles, comme le sans labour et la culture de couverture, sont déjà largement pratiquées dans certaines régions du Canada. Les obstacles associés à leur mise en œuvre sont bien documentés, et le secteur possède une expérience comme une connaissance appréciables des approches permettant de les surmonter. Les bases de connaissances pour d'autres SCBN sont pour leur part en constante évolution. Par exemple, l'adoption de la stratégie des 4B dans tout le Canada est un sujet important sur le plan de la recherche et des politiques publiques; ses avantages, qui s'étendent au-delà de la réduction des émissions, étant largement connus (comme la réduction de la pollution des cours d'eau, dont il est question à la section 4.6.1). Il sera donc probablement plus facile d'étendre ces SCBN que celles qui ont été moins bien étudiées. Lorsqu'on examine la faisabilité de la mise en œuvre de ces SCBN, il est important de noter que la plupart des terres agricoles sont des propriétés privées et que, par conséquent, les coûts et les politiques associés à leur mise en œuvre doivent mettre en équilibre les coûts privés pour les propriétaires fonciers et les avantages, qui sont principalement d'ordre public. Comme nous l'avons vu à la section 2.3.2., toutes les options de politiques ne conviendront pas à toutes les situations, et un examen attentif des incitatifs comme de la réglementation sera essentiel pour maintenir un équilibre.

4.5.1 Coûts des SCBN agricoles et prairiales

Les coûts de mise en œuvre des SCBN agricoles varient en fonction du climat, des caractéristiques du sol et des types de cultures

En raison de la variabilité inhérente au climat, au type de culture, aux caractéristiques du sol et au choix des méthodes agricoles, l'ampleur des coûts de mise en œuvre des SCBN agricoles peut varier considérablement au Canada. Par exemple, les différents types de cultures de couverture diffèrent dans leur capacité à séquestrer le carbone, ce qui a une incidence sur les coûts par tonne de carbone séquestré, avec des différences précises entre les graminées et les légumineuses (De Laporte *et al.*, 2021b). Sur la base d'une enquête portant sur les études relatives aux cultures de couverture menées aux États-Unis et au Canada, De Laporte *et al.* (2021b) ont constaté que, lorsque le travail du sol, les semences, la plantation et la cessation d'activité sont pris en compte — sans oublier les économies d'engrais, le compactage et les avantages liés au contrôle des mauvaises herbes et de l'érosion — les coûts dépassent les avantages dans les cultures non légumineuses (soit une valeur moyenne de -86 \$/ha, allant de -314 \$/ha à 44 \$/ha pour les cultures de couverture de seigle), tandis que le crédit d'azote apporte un avantage

net dans les cultures de légumineuses (soit une valeur moyenne de 66 \$/ha, allant de -107 \$/ha à 255 \$/ha). Ces fourchettes reflètent les incertitudes entourant le prix des semences, les crédits d'azote et la valeur de la lutte contre les mauvaises herbes dans le temps (De Laporte *et al.*, 2021b). En plus des cadres temporels limités pour l'établissement, de telles variations des coûts peuvent aussi dissuader dès le départ les producteurs de mettre en œuvre des cultures de couverture (Schipanski *et al.*, 2014; CTIC, 2020).

En outre, les gains économiques plus élevés tirés de la monoculture dissuadent les agriculteurs de se tourner vers certains types de rotation de cultures — par exemple, le remplacement à court terme des cultures commerciales annuelles par du foin de graminées ou de légumineuses pérennes (NASEM, 2019). Bien que l'inclusion du blé d'hiver dans les rotations de maïs et de soja se soit avérée rentable à long terme, les coûts initiaux élevés et les rendements de départ plus faibles peuvent décourager la mise en œuvre (De Laporte *et al.*, 2022). Sur la base des calculs de Drever *et al.* (2021), Cook-Patton *et al.* (2021) ont estimé que le coût marginal de réduction (CMR) moyen pour l'adoption de cultures de couverture était de 63,01 \$/t éq CO₂. Cette estimation repose sur les données de 2011 du Recensement de l'agriculture de Statistique Canada; elle sera donc affectée par la variation des coûts des semences, des engrais et de la lutte contre les mauvaises herbes, tant au niveau régional que dans l'avenir.

Le type de végétation a également une incidence sur les coûts d'utilisation du biocharbon comme additif au sol pour rehausser sa teneur en carbone. Drever *et al.* (2021) ont constaté que, sur le plan de la rentabilité, ce n'était pas tous les résidus de culture qu'on pouvait utiliser dans la création de biocharbon. Ainsi, le blé et l'avoine/orge (qui représentent collectivement ~70 % des résidus disponibles) ont été estimés à 88 \$ et 92 \$ par t éq CO₂ en 2050, respectivement, ce qui est inférieur au seuil couramment utilisé pour une atténuation rentable de 100 \$/t éq CO₂. Cependant, le CMR moyen calculé par Cook-Patton *et al.* (2021) s'établit à 150 \$/t éq CO₂ pour 2030, ce qui met en évidence la variabilité du type de culture et l'importance des considérations temporelles pour les SCBN relativement nouvelles comme le recours au biocharbon.

Bien que l'agriculture sans labour soit déjà relativement bien présente dans certaines régions du Canada, Drever *et al.* (2021) ont supposé que les signaux du marché seraient favorables à l'adoption du travail réduit du sol, à l'accroissement du travail sans labour (même si le niveau d'adoption déjà élevé), et au maintien de ce niveau élevé. Cela se reflète par un CMR moyen relativement haut de 74,44 \$/t éq CO₂ (Cook-Patton *et al.*, 2021). En raison de l'adoption inégale du sans labour à travers le pays, la régionalité sera un déterminant clé des coûts pour encourager et mettre en œuvre ces techniques ou pour maintenir les niveaux actuels d'adoption.

Les coûts de mise en œuvre de la réduction de l'azote dépendent de l'intensité de l'adoption

Les coûts annuels de surveillance de l'azote ont été estimés à une fourchette de 3 à 18 \$/ha pour les scénarios de base et les scénarios avancés — où la surveillance passe du simple au détaillé, du niveau du champ au sous-champ, et de la simple correspondance de l'approvisionnement en nutriments au choix judicieux du moment comme du type d'engrais (Drever *et al.*, 2021). La gestion avancée des éléments nutritifs, mise en œuvre à un niveau supérieur aux pratiques standard, se traduit par un CMR de 55,79 \$/t éq CO₂ (Cook-Patton *et al.*, 2021). De plus, les hypothèses concernant le niveau d'adoption des pratiques des 4B peuvent avoir des répercussions importantes sur le coût. Une étude comparant deux scénarios — l'un dans lequel 90 % des engrais étaient gérés selon les principes des 4B d'ici 2030 (mais avec un pourcentage plus faible d'utilisation avancée) et l'autre où seulement 70 % des engrais étaient gérés selon les principes des 4B d'ici 2030 (avec un pourcentage plus élevé d'utilisation avancée) — a révélé que les coûts de ce dernier étaient près de trois fois plus élevés, sur la base du coût par tonne, que ceux du premier, pour des résultats pourtant presque identiques. L'écart s'explique par les coûts élevés des engrais à efficacité accrue utilisés dans le scénario avancé (Burton *et al.*, 2021).

Bien qu'il ait été démontré que les pratiques des 4B sont mutuellement bénéfiques pour l'agriculture comme pour l'environnement, les agriculteurs ne les adoptent pas encore à large échelle (De Laporte *et al.*, 2021a). Par exemple, l'application excessive d'engrais se poursuit, probablement en raison du désir de maximiser les rendements les bonnes années et de s'assurer qu'il y a toujours suffisamment d'azote disponible pour les cultures (Rajsic et Weersink, 2008; De Laporte *et al.*, 2021a). De l'avis du comité, cela démontre que les coûts sont probablement plus élevés que ce que révèlent calculs financiers directs — même dans les cas où les pratiques sont rentables, les agriculteurs hésitent à s'y engager en raison de la perception d'une réduction des risques grâce aux applications d'engrais plus élevées, des avantages perçus de taux d'utilisation plus élevés au-delà de la rentabilité, sans négliger les facteurs culturels (voir section 4.5.2).

Les SCBN agroforestières peuvent être déployées à un coût relativement faible au-delà des zones riveraines

Les estimations moyennes du CMR pour l'ajout ou le maintien d'arbres sur les terres agricoles varient selon l'espèce d'arbre choisie, la densité de plantation et les stratégies de gestion : 11,15 \$ pour la culture en bandes, 6,36 \$ pour la perte évitée des brise-vent et 3,58 \$ pour le sylvopastoralisme (Cook-Patton *et al.*, 2021; Drever *et al.*, 2021). Toutefois, le comité estime que le CMR pour le sylvopastoralisme peut être une sous-estimation. Drever *et al.* (2021) ont supposé

une adoption à coût nul pour le premier tiers de la superficie potentielle estimée, et seulement le coût des arbres pour le deuxième tiers. Drever *et al.* (2021) ont également supposé que les coûts d'établissement de la sylviculture dépendaient principalement du prix des arbres et des dépenses d'établissement connexes, et que l'adoption pouvait être encouragée par une compensation financière partielle ou totale. La plupart des coûts de l'agroforesterie étant peu élevés, la faiblesse actuelle de l'adoption laisse penser que des considérations autres que les coûts contribuent à la rareté relative de l'établissement (voir section 4.5.2).

Les estimations pour la plantation d'arbres dans les zones riveraines (dans les milieux humides ou le long des berges des ruisseaux ou des rivières) sont quant à elles considérablement plus élevées, aucune opportunité n'étant inférieure à 100 \$/t éq CO₂ (Drever *et al.*, 2021), le CMR moyen s'établissant à 3 873,90 \$ (Cook-Patton *et al.*, 2021). Ceci comprend les coûts d'achat et de plantation des arbres, la préparation du site, l'application d'herbicides (estimés à 3 920 \$/ha) et les coûts d'entretien (451 \$/ha/an), ainsi que les coûts de remplacement à long terme associés au retrait des terres de la production agricole. Les coûts de renonciation contribuent de manière appréciable au coût total, en particulier lorsque des cultures de grande valeur sont abandonnées et qu'une compensation financière directe aux propriétaires fonciers se révèle nécessaire (Drever *et al.*, 2021).

Les coûts de restauration et de conservation des prairies sont difficiles à estimer

Pour la conversion évitée des prairies, Drever *et al.* (2021) ont estimé que la majorité du potentiel d'atténuation ne serait accessible qu'à plus de 100 \$/t éq CO₂, moyennant un CMR de 144,31 \$ tel que calculé par Cook-Patton *et al.* (2021). De l'avis du comité, l'utilisation des valeurs foncières provenant de Drever *et al.* (2021) risque d'entraîner une surestimation des coûts, puisque ces valeurs devraient aussi refléter la différence de rendement entre les types d'utilisation des terres. En revanche, une étude économique réalisée par De Laporte *et al.* (2021b) a révélé que le fait d'éviter la conversion des pâturages en terres cultivées générerait en fait des rendements positifs par rapport à leur conversion en cultures en rangs, surtout dans les Prairies. Cette étude partait du principe qu'un pâturage quelconque serait de toute façon de moindre qualité, et que toute terre convertie aurait donc un rendement inférieur. Après avoir pris en compte le coût des terres, les auteurs ont constaté que l'avantage net du maintien des pâturages dans les Prairies varie entre 229,35 \$ et 331,90 \$/ha (De Laporte *et al.*, 2021b). Ces résultats contrastés mettent en évidence les problèmes liés à l'additionnalité et à la détermination de la véritable superficie potentielle pour la conversion évitée des pâturages. Si les

coûts obtenus par Drever *et al.* (2021) sont surestimés, alors la conversion évitée des prairies pourrait être une option plus rentable. Toutefois, si la conversion en terres cultivées — comme le proposent De Laporte *et al.* (2021b) — recèle une valeur limitée, alors cette option peut ne pas se révéler véritablement additionnelle.

Dans le même ordre d'idées, Drever *et al.* (2021) ont analysé les coûts associés à la restauration des prairies dans les zones riveraines canadiennes et ont finalement déterminé que 60 % du potentiel d'atténuation global de cette SCBN (0,4 Mt éq CO₂/an sur un total de 0,7 Mt éq CO₂/an) serait accessible à un coût inférieur à 100 \$/t éq CO₂. Le CMR moyen calculé par Cook-Patton *et al.* (2021) se situe juste au-dessus de ce seuil, soit à 102 \$. Cette estimation se limite toutefois à la restauration des prairies dans les zones riveraines, les coûts de la restauration des prairies dans d'autres zones n'ayant pas été estimés.

Les stratégies d'aménagement des prairies peuvent avoir des effets tant négatifs que positifs sur les bénéfices, selon la stratégie et la région

Étant donné l'existence de nombreuses options d'aménagement des prairies et la possibilité de mettre en œuvre plusieurs stratégies à la fois, il est difficile de déterminer comment les coûts de mise en œuvre initiaux interagissent avec les bénéfices potentiels à long terme. Par exemple, De Laporte *et al.* (2021b) ont trouvé que, malgré les coûts initiaux d'installation des clôtures et des sources d'eau, le pâturage en rotation conférerait un bénéfice net, avec une variation annuelle du rendement net allant de 3,54 à 47,95 \$/ha. Cette variation reflète le niveau d'adoption et sa relation avec le nombre d'animaux par unité — plus on a recours au pâturage en rotation, plus le nombre d'animaux sur chaque hectare de terre est élevé et donc, plus le bénéfice est important (Burton *et al.*, 2021).

Cook-Patton *et al.* (2021) ont estimé que l'ajout de légumineuses aux pâturages était associé à un CMR moyen de 40 \$, ce qui est relativement rentable par rapport à certaines autres SCBN agricoles. Toutefois, d'autres études ne s'entendent pas sur le fait que l'utilisation de légumineuses dans les pâturages pour fixer l'azote et réduire la dépendance aux engrais pourrait entraîner un avantage ou un coût net. Ainsi, De Laporte *et al.* (2021b) ont constaté que l'augmentation de la quantité de légumineuses dans les pâturages entraînait un rendement net moyen de 34,65 \$/ha dans les Prairies, mais de -29,73 \$/ha dans le reste du Canada. Le fait que le rendement se révèle positif ou négatif dépend de la variation régionale du coût des engrais : un rendement positif est corrélé à des coûts d'engrais élevés, car on économise davantage en n'achetant pas d'engrais dans un contexte de non-application.

Le maintien des rendements des cultures ou la compensation financière des pertes de rendement sont des considérations importantes lors de la mise en œuvre des SCBN

L'ajout de rotations supplémentaires de cultures comme le blé d'hiver dans des systèmes de culture continue — p. ex. les rotations de maïs et de maïs-soja, courantes en Ontario — est à même d'entraîner des rendements plus élevés comme une réduction de la variabilité de ceux-ci (Yanni *et al.*, 2018). On a également constaté que l'ajout de rotations produisait des rendements nets annuels plus élevés dans les systèmes de culture du maïs (Deen *et al.*, 2006a, 2006b). Une fois établis, les systèmes sans labour n'entraînant aucune réduction du rendement peuvent comporter des coûts économiques inférieurs à ceux des zones de travail intensif du sol, en réduisant les coûts de main-d'œuvre et d'équipement comparativement à d'autres pratiques (Sørensen et Nielsen, 2005; Derpsch *et al.*, 2010). La réduction du travail du sol ne se traduit généralement pas par des rendements plus élevés, et peut générer une plus grande variabilité sur ce plan dans certains sols (Beyaert *et al.*, 2002; Dam *et al.*, 2005; Vetsch *et al.*, 2007; Munkholm *et al.*, 2013; Vanhie *et al.*, 2015). De même, les décisions visant à réduire



« Une plus grande stabilité et des récompenses plus avantageuses seraient à même d'inciter les agriculteurs à participer davantage aux systèmes de crédits de carbone. »

l'utilisation d'engrais azotés doivent être étudiées attentivement afin de ne pas réduire les rendements des cultures. En effet, si la gestion des apports azotés dans les sols contribue à réduire les émissions de N₂O, elle est également à même d'entraîner une réduction de la séquestration du carbone dans les sols (Groupe AGÉCO *et al.*, 2020) (voir section 4.3.1).

Les impacts des SCBN sur la rentabilité peuvent être incertains et varient en fonction des changements climatiques, des conditions du sol et des demandes du marché. Il peut donc être difficile de déterminer à l'avance si certaines SCBN auront une incidence quelconque sur les bénéfices. Dans une enquête récente portant sur l'utilisation des cultures de couverture dans les Prairies, environ 47 % des

répondants ont été incapables de déterminer les impacts des cultures de couverture sur les bénéfices de l'exploitation agricole (Morrison et Lawley, 2021). Notons toutefois que 24 % des agriculteurs ont constaté une augmentation de leurs bénéfices, 24 % n'ont constaté aucun changement, et que seulement 4 % ont enregistré une baisse (Morrison et Lawley, 2021). Une telle variabilité souligne la difficulté de prescrire une approche unique dans le calcul de la faisabilité des SCBN au niveau de l'exploitation.

Les terres marginales à faible rendement se révèlent comme étant les plus intéressantes pour la plantation de végétation pérenne ou d'arbres. Une fois les arbres arrivés à maturité, ils peuvent être récoltés et utilisés de diverses manières, notamment comme bioénergie pour remplacer les combustibles fossiles, ou pour des produits plus traditionnels comme la pâte à papier, le papier et les matériaux de construction (Drever *et al.*, 2021) (voir section 3.3.2). La composition des espèces retenues dépendra du climat, de la topographie et du type de sol; on sélectionnera le tout en vue de fournir une variété d'autres cobénéfices, comme la production de fruits ou de noix. Par contre, si les terres sont productives sur le plan agricole et occupées par des cultures de grande valeur, leur remplacement par des zones tampons arborées entraînera des pertes économiques pour les propriétaires fonciers. Une compensation financière pour l'établissement des arbres serait alors essentielle pour promouvoir l'adoption (Drever *et al.*, 2021). Cependant, des stratégies telles que la culture en bandes peuvent encore conférer des avantages, et réduiront en plus l'érosion dans les terres cultivées (Yanni *et al.*, 2018).

4.5.2 Défis politiques et réglementaires

Les politiques visant à encourager l'adoption des SCBN agricoles peuvent comporter des « carottes » (p. ex. des subventions ou des compensations financières à ceux qui mettent en œuvre les SCBN) ou des « bâtons » (p. ex. par voie de pénalités ou de règlements). Le Canada a surtout eu recours à des programmes agroenvironnementaux volontaires qui offrent des incitatifs monétaires pour l'atteinte d'objectifs environnementaux, alors que le recours à la réglementation a été considéré comme « un dernier recours politiquement peu attrayant » (Baylis *et al.*, 2022). L'examen des politiques existantes pour encourager ou rendre obligatoire l'adoption des SCBN ne fait pas partie du présent mandat, mais le comité souligne ci-dessous quelques incertitudes et obstacles d'importance relativement à la mise en œuvre.

L'instabilité et une compensation inadéquate peuvent entraver la participation aux systèmes de crédits de carbone agricoles

Le seul système de crédit de carbone agricole opérationnel au Canada se trouve en Alberta. Il comporte 19 protocoles de compensation, comme la gestion des nutriments 4B, et a déjà inclus la réduction du travail du sol dans le cadre de la culture de conservation (Gouv. de l'Alb., 2022b; Lokuge et Anders, 2022). Les agriculteurs ont cependant été réticents à participer à ce programme, en raison d'une compensation inadéquate par le biais des incitatifs et de l'instabilité du marché du carbone (Lokuge et Anders, 2022). Une revue de la littérature sur les systèmes de crédit de carbone dans l'agriculture a révélé que, « en raison d'un historique de risques réglementaires, le secteur agricole a vu la révocation de

l'admissibilité au crédit de carbone pour certaines pratiques, les crédits invalidés pouvant entraîner des pertes financières importantes pour les agriculteurs » (Lokuge et Anders, 2022). La recherche indique que les projets de travail réduit du sol et de labour direct courent le plus grand risque d'être invalidés par les changements apportés au système de compensation de l'Alberta, ce qui s'est vérifié avec la fermeture du flux de crédits pour le travail de conservation du sol en décembre 2021 (Tarnoczi, 2017; Gouv. de l'Alb., 2022b). Afin de renforcer le système de crédits de carbone en Alberta, Lokuge et Anders (2022) ont suggéré de mettre l'accent sur d'autres gains d'efficacité associés aux activités d'accumulation de crédits de carbone (p. ex. les cobénéfices associés aux 4B), et de ne pas se concentrer uniquement sur les gains financiers potentiels associés à la participation aux programmes de crédits de carbone. Une plus grande stabilité et des récompenses plus avantageuses seraient à même d'inciter les agriculteurs à participer davantage aux systèmes de crédits de carbone.

La mise en œuvre efficace des SCBN agricoles dépend souvent de la sensibilisation des agriculteurs aux avantages potentiels, ainsi que des incitatifs et des soutiens politiques pertinents

La mise en œuvre des SCBN agricoles et prairiales peut être ralentie par un manque de sensibilisation aux SCBN particulières et aux relations environnementales pertinentes (Dessart *et al.*, 2019; Prokopy *et al.*, 2019; Groupe AGÉCO *et al.*, 2020). Par exemple, une enquête menée auprès des producteurs de la Saskatchewan a révélé que beaucoup d'entre eux n'étaient pas conscients de l'avantage financier de conserver les brise-vent; lorsque certains avantages étaient reconnus, ils étaient perçus comme étant non économiques, et n'étaient donc pas inclus dans les décisions de gestion (Rempel *et al.*, 2017). Voilà qui souligne l'importance d'améliorer la compréhension des agriculteurs des coûts et avantages réels des brise-vent. Les SCBN agroforestières sont également sujettes à des considérations tournant autour de la réversibilité. En effet, les agriculteurs peuvent être réticents à investir dans des interventions de caractère permanent, ou dont l'inversion coûte cher, comme toutes les SCBN qui sous-entendent la plantation d'arbres (Yemshanov *et al.*, 2015). Or, les coûts associés à la réversibilité sont rarement inclus dans les calculs de coûts basés sur la valeur actuelle nette (voir p. ex. Drever *et al.*, 2021), ce qui entraîne une sous-estimation supplémentaire.

L'accent mis sur les réseaux au niveau des exploitations agricoles peut être crucial pour soutenir l'adoption de ces SCBN, car l'interaction entre les agriculteurs (à la fois de manière informelle dans des cadres sociaux et de manière formelle au sein des organisations du secteur) est corrélée à un taux d'acceptation accru des pratiques de gestion modifiées (Prokopy *et al.*, 2019; Groupe AGÉCO *et al.*, 2020). Les initiatives de sensibilisation visant à informer les agriculteurs et les propriétaires fonciers sur des pratiques telles que l'agroforesterie, ainsi que la fourniture d'expertise ou d'équipements d'entretien (Drever *et al.*, 2021), peuvent aussi favoriser une sensibilisation et des connaissances accrues au sein du secteur, influençant la probabilité d'acceptation et de mise en œuvre à long terme des SCBN. Cependant, une sensibilisation accrue aux SCBN ne se traduit pas toujours par une optimisation des résultats. Dans le cas de la gestion de l'azote selon les 4B, une enquête citée par Burton *et al.* (2021) a révélé que les producteurs de maïs de l'Ontario qui connaissaient les 4B ont appliqué 28 % plus d'engrais en moyenne que ceux qui ne les connaissaient pas. Le comité note que, dans ce type de cas, l'investissement dans le soutien technique et la formation peut contribuer à l'obtention des avantages escomptés.

L'amélioration de la gestion de l'azote et l'augmentation de l'utilisation des cultures de couverture sont des priorités pour le gouvernement fédéral, qui les a incluses dans les projets cibles du programme Solutions agricoles pour le climat (AAC, 2022). La valeur de la conservation des arbres existants dans les exploitations agricoles (y compris les brise-vent et les zones tampons riveraines) a également été reconnue par le gouvernement fédéral, cette pratique bénéficiant d'un soutien financier de 60 millions de dollars provenant du Fonds des solutions climatiques axées sur la nature (GC, 2021d). Ces initiatives reflètent la volonté des gouvernements de soutenir les interventions SCBN lorsqu'elles sont connues pour avoir des cobénéfices environnementaux ou économiques. D'autres décisions politiques visant à réduire la conversion des prairies pourraient inclure des mesures telles qu'un moratoire sur la conversion future des prairies natives à des fins agricoles, la création d'incitatifs pour éviter la conversion des prairies en terres cultivées et l'expansion des aires protégées dans les zones prairiales (Nature Canada, s.d.).

Les politiques et programmes actuels visant à réduire les risques supportés par les entreprises agricoles peuvent être incompatibles avec les SCBN

Les risques liés à la production des cultures (notamment le rendement et le prix de vente) ont été associés à des taux d'application d'azote sous-optimaux (Pannell, 2017). Pour faire court, disons que les politiques destinées à réduire les risques pour les agriculteurs (comme l'assurance récolte) sont « susceptibles d'entraîner une augmentation de l'utilisation des engrais azotés dans l'ensemble, car elles permettent aux agriculteurs d'adopter des stratégies d'application d'azote plus risquées sans supporter toutes les conséquences de ces risques accrus » (Pannell, 2017). Dans certains cas, cette stratégie se révèle payante : l'application d'un excès d'engrais pour stimuler les gains au cours des bonnes années se révèle relativement rentable par rapport au coût d'une sous-application (Rajacic et Weersink, 2008). Cependant, les programmes d'assurance récolte peuvent également inciter à la conversion d'écosystèmes intacts comme les prairies et les milieux humides, ce qui augmente d'autant plus les émissions (FCS, 2022).

Les SCBN associées au changement d'utilisation des terres agricoles (p. ex. l'agroforesterie et la restauration/conservation des zones humides à sol minéral; voir le chapitre 5) ont été découragées par les programmes agricoles de gestion des risques de l'entreprise (GRE) existants. Une étude de Jeffrey *et al.* (2017) a démontré que les gains ou les pertes nets associés à la mise en œuvre de certaines SCBN étaient amplifiés par la participation à des programmes de GRE. Par exemple, les avantages associés à l'utilisation de légumineuses ou de cultures de couverture augmentaient lorsqu'ils étaient associés à la participation aux programmes de GRE, tandis qu'à l'inverse, le coût net de mise en œuvre (dissuasif à l'adoption) pour les bandes tampons et la restauration des zones humides augmentait. Par conséquent, « la participation à des programmes publics de GRE peut entraîner une réduction de l'adoption de nombreuses pratiques de production ou de changements d'utilisation des terres respectueux de l'environnement (p. ex. les bandes tampons ou les brise-vent) si leur adoption se révèle coûteuse pour les producteurs » (Jeffrey *et al.*, 2017). On a également constaté que la participation à des programmes de GRE augmentait l'utilisation d'engrais et de pesticides, ce qui influe négativement sur les écosystèmes comme les objectifs environnementaux (Eagle *et al.*, 2016).

L'un des moyens de traiter cette question repose sur notion d'« écoconformité », autrement dit « le lien entre les conditions environnementales et les compensations financières de soutien agricole » (Rude et Weersink, 2018). Essentiellement, pour recevoir un soutien au revenu, les agriculteurs doivent s'assurer qu'un objectif environnemental est atteint; le succès dépend alors de la

combinaison du soutien au revenu et des programmes environnementaux, ce qui augmente l'efficacité. Cependant, il est peu probable que l'écoconformité soit applicable à l'ensemble actuel de programmes de GRE du Canada, les avantages offerts aux agriculteurs étant inférieurs aux coûts de conformité, ce qui entraîne une participation volontaire limitée (Rude et Weersink, 2018).

Les facteurs comportementaux constituent une incertitude majeure dans l'évaluation de l'adoption des SCBN

Même lorsque les SCBN démontrent des avantages nets ou comportent des coûts relativement faibles, elles ne sont pas uniformément acceptées et mises en œuvre par les agriculteurs partout au pays. En l'absence d'obligations légales, la décision d'un propriétaire foncier de mettre en œuvre les SCBN reste individuelle, en grande partie influencée par ses croyances et ses caractéristiques comportementales (Groupe AGÉCO *et al.*, 2020). Par exemple, Dessart *et al.* (2019) ont constaté que les facteurs cognitifs, y compris la connaissance des SCBN par les agriculteurs et les perceptions des résultats possibles associés à ces pratiques, étaient les plus directement liés à l'adoption et à la mise en œuvre de pratiques améliorées d'aménagement des terres. La plupart des modélisations économiques portant sur l'adoption des meilleures pratiques de gestion (y compris certaines SCBN) supposent que la maximisation du profit est le principal facteur de motivation des agriculteurs. Ce n'est toutefois pas le seul — les influences sociales et la sensibilisation aux effets environnementaux pouvant également influencer sur l'adoption (Weersink et Fulton, 2020).



« En l'absence d'obligations légales, la décision d'un propriétaire foncier de mettre en œuvre les SCBN reste individuelle, en grande partie influencée par ses croyances et ses caractéristiques comportementales. »

Pour mieux comprendre l'influence des caractéristiques comportementales sur les pratiques agricoles, Huber-Stearns *et al.* (2017) ont entrepris une analyse des conditions favorables, c'est-à-dire des « facteurs qui augmentent la probabilité d'un changement prévu dans [...] le régime de gestion », relativement à la mise en œuvre réussie des programmes de compensation

financière pour les services écosystémiques. Ils ont constaté que, parallèlement aux conditions biophysiques, économiques et de gouvernance, les conditions socioculturelles (p. ex. la confiance et la transparence, la communication entre les parties prenantes, la proximité d'une communauté avec d'autres acteurs partageant les mêmes idées) étaient nécessaires au succès de la politique et à l'évitement de la création d'obstacles politiques supplémentaires (Huber-Stearns *et al.*, 2017). Chaque

décision concernant les SCBN agricoles est prise en fonction d'une variété d'influences externes : âge, expérience et expertise de l'agriculteur; son attitude vers les considérations environnementales et la tolérance/aversion au risque; ainsi que les caractéristiques de l'exploitation elle-même — y compris la taille, le mode de faire-valoir et la vulnérabilité de la terre (Groupe AGÉCO *et al.*, 2020). La nature contextuelle de la prise de décision individuelle entraîne une incertitude considérable. Ainsi, même si de nombreuses SCBN peuvent receler un potentiel technique et économique élevé, rien ne garantit des taux d'adoption élevés en raison de ces éléments socio-comportementaux. La conception de mécanismes politiques efficaces bénéficierait donc de la prise en compte de ces facteurs comportementaux.

On a également constaté que l'adoption de certaines SCBN était affectée par le fait que les terres sont possédées ou louées, et par la durée prévue des locations. Une étude sur la mise en œuvre du travail de conservation du sol et des cultures de couverture dans le sud de l'Ontario a révélé que les activités recelant des avantages à court terme, comme le travail de conservation du sol, étaient tout aussi susceptibles d'être mises en œuvre sur des terres possédées que louées (Deaton *et al.*, 2018). Les cultures de couverture, pour lesquelles les avantages nets positifs prennent plus de temps à s'accumuler, étaient 9,9 % moins susceptibles d'être mises en œuvre sur des terres louées que sur des terres en propriété, probablement parce que les agriculteurs sont plus réticents à investir au départ s'il y a un risque de ne pas récolter des avantages à moyen terme. Voilà qui s'applique également à l'horizon temporel des terres louées. En effet, les agriculteurs ayant conclu des accords de location à long terme étaient tout aussi susceptibles de planter des cultures de couverture sur les terres louées que sur les terres en propriété, alors que les agriculteurs ayant loué à court terme ne l'étaient pas (Deaton *et al.*, 2018). Ainsi, la facilité de mise en œuvre de certaines SCBN dépendra de la structure de propriété foncière au moment où l'on estime que les avantages se présenteront.

4.5.3 Suivi et comptabilité

La détermination des stratégies optimales pour la mise en œuvre des SCBN nécessite des informations locales et régionales

Bien que certaines SCBN agricoles soient bien établies, la reconnaissance de stratégies optimales pour chaque exploitation nécessite une connaissance détaillée des conditions environnementales, de la composition du sol, de la topographie et de l'historique de l'utilisation des terres (Groupe AGÉCO *et al.*, 2020). Il n'existe pas de stratégie unique pouvant être appliquée universellement,

l'investissement dans la recherche qui surveille et suit les changements dans les stocks et les émissions pouvant aider à cibler les interventions dans une variété de régions différentes (Meadowcroft, 2021). Ce besoin a été relevé dans les entretiens menés par le Groupe AGÉCO *et al.* (2020), qui ont noté :

Les informations sur les sols au niveau régional et au niveau des exploitations sont complémentaires et nécessaires pour gérer efficacement la santé des sols. Pourtant [...] on manque de telles informations sur l'état actuel de la santé des sols. Ce manque de données est problématique pour les chercheurs (ainsi que pour les décideurs et les producteurs), car il limite la capacité à comprendre, cerner, gérer et suivre les améliorations au fil du temps.

Des défis similaires s'appliquent aux pâturages. En raison des incertitudes entourant les pratiques de pâturage et l'aménagement des prairies, de nombreux chercheurs préconisent des mesures du pâturage propres à chaque site (par opposition aux données spatiales à plus grande échelle) afin de suivre avec précision la complexité et la variance des pratiques de gestion (Bork *et al.*, 2021). Bien qu'elles aient des mérites pour ce qui est de la précision (Smith *et al.*, 2012; Bork *et al.*, 2021), les données spécifiques à un site entraînent souvent des problèmes d'interopérabilité. Par exemple, Maillard *et al.* (2017) ont noté que « la profondeur d'échantillonnage recommandée pour la mesure du COS varie en fonction des objectifs du projet, des préférences institutionnelles, [et] de l'utilisation des terres » et que, par conséquent, les données étaient souvent impossibles à comparer. En outre, les changements annuels touchant le COS des prairies sont de faible amplitude, et la résultante cumulative n'est statistiquement détectable qu'après plusieurs années (Maillard *et al.*, 2017). Mentionnons toutefois qu'il peut être difficile de mesurer ces changements en raison de la nature à court terme des projets de recherche, susceptibles de ne pas saisir toute l'ampleur des changements dans un écosystème sur les échelles de temps requises.

Le Canada ne suit pas et ne comptabilise pas les changements dans le carbone du sol ou les émissions de GES associés à certaines SCBN

Bien que la surveillance soit essentielle pour comprendre l'efficacité des SCBN, il existe des lacunes importantes dans les connaissances relatives au suivi des changements des stocks de carbone entourant certaines SCBN agricoles et prairiales. Par exemple, il n'existe pas de ventilation spécifique au Canada des taux de séquestration du carbone total et des impacts des stratégies de gestion améliorée des prairies. Comme l'a souligné Viresco Solutions Inc. (2020), ce

manque de données entraîne l'hypothèse potentiellement inexacte du *Rapport d'inventaire national* du Canada, selon laquelle « l'aménagement des prairies n'a pas été considérablement modifié depuis 1990 et on ne peut donc lui attribuer une modification quelconque des stocks de COS dans cet écosystème en raison de la gestion ou d'un changement climatique ». Le gouvernement du Canada est maintenant tenu de combler cette omission, mais les données nécessaires pour le faire n'existent pas actuellement (Viresco Solutions Inc., 2020). Par conséquent, une incertitude importante demeure quant aux avantages propres à chaque région des différents modes de gestion des terres dans les prairies du Canada. De même, le Rapport d'inventaire national ne fait pas le suivi de l'adhésion à la méthode 4B de gestion de l'azote (et donc des résultats de cette méthode). Bien qu'on évalue les émissions liées à l'apport d'azote (synthétique et organique), l'absence de données sur d'autres pratiques de gestion spatialement explicites et leur évolution dans le temps (p. ex. le moment de l'épandage des engrais) signifie que le potentiel de ces pratiques à l'endroit des émissions est négligé (ECCC, 2022b). De l'avis du comité, il s'agit pourtant d'un élément essentiel pour encourager l'adoption des SCBN et évaluer leur efficacité.

4.6 Cobénéfices et compromis

Les SCBN agricoles et prairiales présentent des cobénéfices et des compromis distincts; ceux-ci peuvent tous varier dans le temps et dépendent souvent du climat régional, de la topographie locale, des espèces cultivées, des caractéristiques du sol et des conditions du marché, qui peuvent tous varier dans le temps. Certaines interventions proposées pour séquestrer le carbone dans les sols ont fait l'objet d'études approfondies et ont été déployées au Canada (p. ex. le travail réduit du sol ou le sans labour), tandis que d'autres ont été employées à l'origine principalement pour d'autres avantages, comme les brise-vent pour protéger le sol contre l'érosion éolienne (Mayrinck *et al.*, 2019; ECCC, 2022b). La plupart des compromis dans la mise en œuvre de ces SCBN sont associés aux coûts et aux changements dans l'utilisation des terres; en tant que tels, ils sont largement abordés ci-dessus dans la section 4.5, tandis que la discussion suivante concerne principalement les cobénéfices. Ces derniers peuvent également être répartis selon l'application, soit dans le domaine privé (s'appliquant au propriétaire ou au gestionnaire des terres), soit dans le domaine public. La discussion dans cette section englobe les deux; cependant, idéalement, les bénéfices du domaine privé seraient pris en compte dans les calculs du CMR.

4.6.1 Santé des sols et des écosystèmes

Des niveaux plus élevés de carbone présentent des avantages pour la santé globale des sols

Les cultures de couverture confèrent d'autres avantages que le stockage du carbone et la réduction des émissions — notamment la résistance à la sécheresse, la réduction de l'érosion et du lessivage (conduisant à la rétention des nutriments du sol), une gestion moins coûteuse des mauvaises herbes et des ravageurs, et une structure améliorée du sol (Morton *et al.*, 2006; Roesch-McNally *et al.*, 2018; Bergtold *et al.*, 2019). La santé du sol est également améliorée par un accroissement de la diversité et de la biomasse microbiennes, ainsi que par une meilleure rétention de l'eau et un cycle optimisé des nutriments (Hristov *et al.*, 2018). Les cultures de couverture peuvent également réduire les pertes indirectes de N₂O en captant l'azote excédentaire après la récolte de la culture commerciale et en réduisant le taux d'application d'azote requis; toutefois, des recherches supplémentaires s'imposent sur l'applicabilité de ce cobénéfice (Yanni *et al.*, 2018). Tous ces avantages peuvent compenser les coûts initiaux de mise en œuvre (Roth *et al.*, 2018).

La santé du sol peut également bénéficier de changements dans l'intensité du travail aratoire. Ainsi, les pratiques sans labour atténuent les effets de l'érosion, augmentent la rétention d'eau et améliorent la santé du sol en général (Meadowcroft, 2021). La pratique connexe du labour d'inversion, effectué en profondeur et en une fois, pourrait également servir à enterrer les couches de sol de surface riches en carbone à 60–80 cm de profondeur, ralentissant ainsi la décomposition (Paustian *et al.*, 2019). Cette pratique se révèle plus efficace dans les régions humides et subhumides dont les sols sont mal drainés. Cependant, on a constaté que l'expansion des pratiques sans labour, avec les hausses associées de résidus de culture, augmente le ruissellement du phosphore (qui contribue à l'eutrophisation) — en particulier dans les Prairies, où les cycles de gel-dégel y contribuent également. L'incorporation de cycles de travail du sol occasionnels pour fractionner la couche arable a permis de réduire le ruissellement; cependant, cela annule les gains positifs découlant du sans labour pour la rétention du carbone et de l'azote (Messiga *et al.*, 2010).

L'ajout de biocharbon aux sols peut stimuler la productivité des plantes, ce qui, en retour, rehausse l'apport de carbone au sol par le biais des résidus végétaux, bien que cet effet dépende fortement du sol et des variétés de plantes ainsi que des pratiques de gestion (Crane-Droesch *et al.*, 2013; Subedi *et al.*, 2017). Un inconvénient potentiel du biocharbon est le risque que des composés toxiques (notamment des métaux lourds) soient également ajoutés au sol (Subedi *et al.*, 2017). En général, les SCBN agricoles qui augmentent les stocks de COS ont également pour effet d'améliorer la résistance à la sécheresse des cultures, ce qui pourrait se révéler de plus en plus bénéfique à mesure que le climat du Canada change (Banwart *et al.*, 2014; Bush et Lemmen, 2019; Oldfield *et al.*, 2019).

Les arbres plantés sur les terres agricoles piègent la neige et favorisent la biodiversité comme la santé animale

Dans certains scénarios, les stratégies agroforestières peuvent augmenter le rendement des cultures, améliorer la qualité des sols et contribuer à la conservation de la biodiversité (Kort, 1988; Jose, 2009; Schoeneberger *et al.*, 2012). L'ajout d'arbres dans les zones riveraines peut stabiliser les berges des cours d'eau et limiter le ruissellement des nutriments (Schoeneberger, 2009). Au-delà de la séquestration du carbone, les brise-vent protègent les cultures et le bétail du vent comme de la neige et peuvent favoriser la biodiversité dans certaines régions (Schoeneberger, 2009; Mayrinck *et al.*, 2019). Les brise-vent aménagés le long des routes peuvent retenir la neige soufflée par le vent, rendant ainsi les conditions de conduite plus sûres et réduisant le besoin d'entretien des routes (AAC, 2009). L'eau provenant de la neige piégée est ensuite redistribuée au sol au printemps, ce qui contribue à la rétention de l'humidité du sol (AAC, 2009). Le sylvopastoralisme contribue à fournir un habitat à la faune et un abri au bétail (Baah-Acheamfour *et al.*, 2017). Cependant, le remplacement des pâturages ou des terres cultivées par des arbres peut réduire l'albédo (Drever *et al.*, 2021), ce qui doit être pris en compte lors de l'évaluation des avantages dérivés de la séquestration du carbone.

Les prairies intactes réduisent l'érosion, préservent la qualité de l'eau et favorisent la biodiversité

La végétation des prairies est source de multiples avantages au-delà de la séquestration du carbone, notamment sur le plan de la prévention du ruissellement et de l'érosion des sols par son effet de stabilisation (Duran Zuazo et Rodriguez Pleguezuelo, 2008; Bengtsson *et al.*, 2019) et de filtration des polluants présents dans l'eau (DUC, 2006). L'amélioration de la qualité de l'eau est également susceptible de profiter aux produits de l'élevage, car la qualité comme la quantité de la biomasse végétale servant de fourrage jouent un rôle important dans la production de viande et de produits laitiers (Bengtsson *et al.*, 2019). En outre, les écosystèmes de prairie intacts soutiennent la biodiversité en régulant des services comme la pollinisation (Bengtsson *et al.*, 2019; Viresco Solutions Inc., 2020). Nature Canada (s.d.) a signalé que, depuis 1970, les populations d'espèces dépendant des prairies natives ont chuté de 87 %, alors qu'en Alberta, la majorité des espèces ayant été identifiées comme étant en péril se trouvent dans les régions prairiales (CPAWS, s.d.). De plus, la couverture des prairies offre aux espèces pollinisatrices un milieu de vie non perturbé, ce qui profite aux champs agricoles avoisinants (CPAWS, 2011).

La réduction des apports azotés dans les sols agricoles a des effets positifs en aval

Le ruissellement des engrais provenant des terres cultivées provoque l'eutrophisation des masses d'eau (Schindler, 2006). La disponibilité accrue de nutriments entraîne une plus grande productivité des algues, qui consomment de l'oxygène dans la colonne d'eau et génèrent des conditions anoxiques (pauvres en oxygène) dans les eaux profondes et les sédiments. Or, dans des conditions anoxiques, le passage d'une respiration aérobie (consommant de l'oxygène) à une respiration anaérobie (ne consommant pas d'oxygène) mène à la production de CH_4 , qui augmente à son tour le potentiel de réchauffement de ces écosystèmes (Beaulieu *et al.*, 2019; Deemer et Holgerson, 2021). On observe également que les zones humides des régions agricoles, comme la région des fondrières des Prairies, émettent des niveaux élevés de N_2O en raison du ruissellement des terres cultivées (Bedard-Haughn *et al.*, 2006; Pennock *et al.*, 2010; Tangen *et al.*, 2015). Ces émissions ont été liées aux périodes d'inondation provoquées en grande partie par la fonte des neiges et le ruissellement au printemps (Pennock *et al.*, 2010).

De tels impacts se reflètent également dans les prix de l'immobilier et les pertes de bénéfices liés aux activités récréatives. On a ainsi constaté que la présence d'efflorescences d'algues toxiques entraînait des pertes en capital de 11 à 17 % pour les résidences situées à proximité des lacs de l'Ohio, avec une perte de 22 % pour les propriétés adjacentes aux lacs (Wolf et Klaiber, 2017). Les estimations des dommages récréatifs basées sur les permis de pêche mensuels pour le lac Érié ont démontré une baisse de 10 à 13 % associée aux concentrations d'algues nuisibles (Wolf *et al.*, 2017). Ainsi, la lutte contre l'eutrophisation des eaux de surface par la réduction de l'apport en nutriments peut avoir des avantages économiques démontrables, en plus de la réduction des émissions de CH_4 .

La réduction de l'utilisation d'engrais par la gestion des 4B pourrait contribuer à contrecarrer, voire à inverser, l'eutrophisation des masses d'eau en limitant la quantité d'azote réactif pouvant être transporté par le ruissellement et l'infiltration des eaux souterraines (Beaulieu *et al.*, 2019; Groupe AGÉCO *et al.*, 2020). Voilà qui est associé au concept plus large d'*aménagement des bassins versants*, où les décisions tournant autour de l'utilisation des terres prennent en compte tous les effets en aval pour les rivières, les lacs et les zones humides. Bien que l'aménagement des bassins versants ne soit pas considéré comme une SCBN dans le présent rapport, il s'agit d'un cobénéfice crucial de la gestion des nutriments.

4.6.2 Impacts culturels

Le maintien des prairies est associé à des avantages culturels

Les services socioculturels que fournissent les prairies sont principalement axés sur le tourisme, les loisirs et le patrimoine culturel (Bengtsson *et al.*, 2019). Les travaux réalisés par la Société pour la nature et les parcs du Canada (CPAWS, 2011) ont souligné comment, « pendant des décennies, les prairies ont fourni aux résidents [de l'Alberta] leur moyen de subsistance tout en leur permettant de profiter de la nature par le biais de diverses activités récréatives ». Ces activités, combinées à la valeur esthétique de l'écosystème immense des prairies, constituent également un attrait pour les touristes, ce qui procure des avantages économiques aux collectivités locales (CPAWS, 2011).

La reconnaissance du rôle des Premières Nations dans l'intendance et la conservation des systèmes de prairies est une forme de justice décoloniale

Le maintien des prairies est associé à la réconciliation, à la justice décoloniale et au bien-être des personnes comme des communautés autochtones : voilà autant d'avantages culturels essentiels à considérer. Par exemple, les bisons sont lentement réintroduits dans les Prairies après avoir été chassés jusqu'au point de quasi-extinction à la fin des années 1800 (Cecco, 2020; Tait, 2021). Cet effort a été entrepris non seulement comme un moyen d'accroître la stabilité écologique des plaines, mais aussi comme un « effort pour amender les relations [...] entre les animaux et la terre » et entre les communautés autochtones et l'État (Mamers, 2021). Pour de nombreux peuples autochtones des plaines, le bison est au cœur des modes d'existence et de connaissance; il est « intimement lié à des fils de réciprocité, de moralité, de relations de parenté et de souveraineté » (Hisey, 2021). Le bison incarne « toutes mes relations » (voir section 2.4), un principe fondamental où l'interrelation de toute chose est respectée, conservée et perpétuée (Buffalo Treaty, 2014). À ce titre, leur réintroduction représente également un changement ontologique vers la relation « humain-crédation » (Hisey, 2021). C'est ainsi que le Buffalo Treaty, qui se concentre explicitement sur le retour des bisons sur les terres grâce à une collaboration avec les gouvernements fédéral et provinciaux/territoriaux, est au cœur de ce changement (Buffalo Treaty, 2014). Signé par onze nations autochtones, le traité représente une vision de l'avenir — une vision où la réconciliation n'est pas simplement une reconnaissance du passé, mais une motivation pour un avenir meilleur (Mamers, 2021).

4.7 Conclusion

Bon nombre des SCBN abordées dans ce chapitre ont été bien étudiées et déjà été mises en œuvre dans le passé (ou sont actuellement encouragées), ce qui confère un avantage par rapport à leur utilisation plus répandue au Canada. Bien que des incertitudes subsistent quant aux taux de séquestration du COS ou de réduction des émissions pour certaines SCBN, la question plus critique de l'estimation de l'ampleur du potentiel de séquestration à n'importe quelle échelle est liée à la détermination de la superficie potentielle — sujette à des variations régionales. Les coûts, les politiques, de même que les obstacles comportementaux et techniques peuvent tous affecter la mise en œuvre des SCBN; ils nécessitent une analyse et une considération minutieuses afin d'améliorer les prédictions portant sur les SCBN les plus prometteuses en vue d'une utilisation généralisée au Canada. Parallèlement, il existe des opportunités de favoriser la réconciliation en faisant progresser l'autodétermination et la souveraineté sur les terres, tout en conservant ou en restaurant les écosystèmes des prairies natives, en faisant appel à des experts autochtones et en reconnaissant leurs connaissances traditionnelles. Au-delà de la mise en œuvre des SCBN, il est crucial de réfléchir à la manière de maintenir leur utilisation continue, surtout pour celles qui nécessitent des efforts soutenus pour continuer à générer des avantages (p. ex. la gestion de l'azote, les pratiques sans labour). Des initiatives, des politiques et des programmes de financement à long terme, ainsi que des réseaux de surveillance étendus, seront des éléments décisionnels importants pour maximiser le potentiel de ces SCBN dans les zones agricoles et prairiales du Canada.