

# Principales constatations

## Réseau de recherche 4B



Amélioration de la rentabilité et  
de la durabilité environnementale



Agriculture and  
Agri-Food Canada

Agriculture et  
Agroalimentaire Canada



FERTILISANTS CANADA

## Principales constatations du Réseau de recherche 4B

**Fertilisants Canada** représente les fabricants, les distributeurs grossistes et de détail d'engrais azotés, potassés, phosphatés et soufrés. L'industrie des engrais joue un rôle essentiel dans l'économie canadienne; elle génère 23 milliards de dollars par année et au-delà de 76 000 emplois. L'association s'engage à appuyer l'industrie des engrais dans le cadre de recherches et programmes novateurs tout en défendant la durabilité, la gérance, la sûreté et sécurité par le biais de normes et Codes de pratiques. Veuillez consulter [fertilisantscanada.ca](http://fertilisantscanada.ca)

Juin 2018

Les versions électroniques des rapports finals sont disponibles en ligne sur [fertilisantscanada.ca](http://fertilisantscanada.ca)

### Remerciements

- Fertilisants Canada remercie l'International Plant Nutrition Institute (IPNI) pour sa participation au projet du Réseau de recherche 4B.
- Le financement du Réseau de recherche 4B a été fourni par le Programme Agri-innovation d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (Cultivons l'avenir 2), la contribution d'entreprises membres de Fertilisants Canada au Fonds de recherche nord-américain 4B et au programme de Grappes scientifiques de Fertilisants Canada.

# Résumé

Nous vivons à un tournant important de l'histoire mondiale. Nous faisons face à deux défis simultanés : d'une part, les changements climatiques et la dégradation environnementale et, d'autre part, la sécurité alimentaire mondiale et l'alimentation de la population mondiale croissante.

Pour les Canadiens, il est important de faire preuve de leadership pour relever ces deux défis. D'un côté, qu'il s'agisse de son engagement à l'égard des objectifs de développement durable des Nations Unies ou de son plan visant à s'acquitter de ses responsabilités envers l'Accord de Paris de 2015 au moyen du Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques, le Canada est déterminé à assurer la durabilité environnementale. D'un autre côté, comme le souligne le rapport Barton, le Canada a le potentiel de passer du cinquième au deuxième rang mondial des exportateurs de produits agricoles et d'assumer sa position de chef de file mondial dans la production d'aliments sains, nutritifs et durables pendant une bonne partie du XXI<sup>e</sup> siècle.

Afin d'atteindre ces deux objectifs, Fertilisants Canada a travaillé avec ses partenaires du gouvernement fédéral, des gouvernements provinciaux, de l'industrie et du milieu universitaire pour établir un ensemble de pratiques de gestion bénéfiques (PGB) durables pour l'application d'engrais, connu sous le nom de Gérance des nutriments 4B (bonne source, bonne dose, bon moment, bon endroit®). Des pommes de terre de l'Île-du-Prince-Édouard au blé des Prairies, ces pratiques se rapportent à la production de plusieurs cultures différentes dans diverses régions du Canada. Cette innovation canadienne est également reconnue à l'échelle internationale, y compris à l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, pour son potentiel de relever le double défi de réduire l'empreinte écologique des fermes partout dans le monde tout en augmentant leur productivité.

Le présent rapport vise à présenter les constatations du Réseau canadien de recherche 4B (aussi appelé « Réseau de recherche 4B »). Après un projet de recherche indépendant de trois ans auquel ont participé neuf chercheurs de partout au pays, le Réseau de recherche 4B a fourni des données scientifiques fort nécessaires pour appuyer l'efficacité des PGB associées à la Gérance des nutriments 4B. Comme l'indiquent les pages qui suivent, la Gérance des nutriments 4B permet aux producteurs canadiens de toutes les régions du pays d'accroître la rentabilité de leurs fermes grâce à des rendements plus élevés ou à des gains d'efficacité économique, tout en améliorant leur durabilité environnementale en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, le lessivage de nutriments dans le sol ou les effets néfastes sur les ressources en eau environnantes.

« Il est clair que nous pouvons améliorer à la fois la qualité et la quantité de nos aliments pour nourrir la population mondiale, mais nous ne pourrions y parvenir sans prendre soin de nos précieuses ressources d'eau et nos inestimables sols. »

**L'honorable Lawrence MacAulay,**  
ministre de l'Agriculture et de l'Agroalimentaire

## Gérance des nutriments 4B

Afin d'assurer une fertilisation appropriée et de bénéficier d'une récolte abondante et saine, les professionnels devraient appliquer le programme de Gérance des nutriments 4B : **bonne source, bonne dose, bon moment, bon endroit**<sup>®</sup>. Ce cadre scientifique de gestion des nutriments est adaptable à l'échelle mondiale, tout en étant axé sur la production locale, ce qui permet aux agriculteurs d'adapter les engrais aux besoins particuliers de leurs champs et cultures.

En utilisant la bonne dose d'engrais provenant de la bonne source, au bon moment et au bon endroit, les producteurs peuvent s'assurer que les nutriments des engrais – azote, phosphate, potassium et soufre – sont absorbés efficacement par leurs cultures et ne sont pas emportés par l'eau ou absorbés dans l'air.

Conçu au Canada, ce système innovateur de gestion des nutriments permet aux producteurs d'augmenter le rendement agricole sur les terres agricoles existantes tout en atténuant les conséquences indésirables pour l'environnement – en créant un moyen véritablement durable de nourrir le monde. Les principes sous-jacents du cadre de Gérance des nutriments 4B peuvent être appliqués dans n'importe quel lieu géographique ou système d'exploitation agricole. Une gestion et une amélioration des sols efficaces et respectueuses de l'environnement sont cruciales pour accroître la production alimentaire et la durabilité des petits producteurs comme des fermes à grande échelle. La Gérance des nutriments 4B a été reconnue par les décideurs au Canada et dans le monde entier comme un système de PGB de premier plan pour la gestion des nutriments et la protection de l'environnement.



La **bonne source** signifie d'assurer un apport équilibré d'éléments nutritifs essentiels pour les plantes, y compris l'engrais granulaire, l'engrais liquide ou le fumier.



La **bonne dose** consiste à épandre une quantité tout juste suffisante d'engrais pour répondre aux besoins des plantes en tenant compte des nutriments déjà présents dans le sol.



Le bon moment consiste à épandre de l'engrais lorsque la plante en tire les plus grands avantages et à éviter de le faire lorsque l'engrais risque d'être rejeté inutilement dans la nature.



The bon endroit signifie d'épandre l'engrais où les plantes peuvent l'utiliser et où celui-ci est moins susceptible d'être dissipé dans l'eau ou l'air.

« Il existe un équilibre fragile entre la réduction des pertes de nutriments par la gestion des nutriments et le maintien ou l'amélioration du carbone dans le sol et, par conséquent, de la santé du sol. L'industrie des engrais travaille en partenariat avec des universités, des responsables des bassins hydrographiques et des organismes gouvernementaux pour accroître les données reliant le rendement agronomique et environnemental des pratiques 4B. »

**Terry Roberts,**  
Président de l'IPNI

## Réseau de recherche 4B

Le Réseau de recherche 4B est formé de neuf chercheurs canadiens de premier plan qui quantifient les retombées économiques, sociales et environnementales des systèmes avancés de gestion des fertilisants dans le cadre du programme de Gérance des nutriments 4B. Le projet met l'accent sur la collaboration entre les chercheurs universitaires, les conseillers professionnels, les producteurs, les ministères provinciaux de l'Agriculture et les chercheurs d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Leurs recherches portent sur de nombreux domaines d'intérêt environnemental, notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'ammoniac, les pertes de phosphore dans les eaux de surface et le lessivage des nitrates dans les eaux souterraines. Les activités portent sur les principales grandes cultures au Canada et ont été sélectionnées pour combler certaines lacunes dans l'adoption de pratiques, telles que les connaissances limitées en matière de PGB, l'évaluation des multiples voies d'écoulement de pertes de nutriments comme l'azote et le phosphore, l'évaluation des PGB en fonction des divers types de sols, conditions météorologiques et systèmes de culture au

Canada, et les outils de prise de décisions afin d'adapter les PGB aux conditions et aux besoins locaux.

Le cadre de Gérance des nutriments 4B fournit aux producteurs canadiens l'information dont ils ont besoin pour accroître leur compétitivité et leur productivité et mieux s'adapter aux besoins du marché, tout en tenant compte de l'intensification durable de l'agriculture. Cette initiative de recherche renforce la science qui soutient les principes de Gérance des nutriments 4B. Le résultat donne lieu à une démonstration scientifique des avantages des 4B pour les décisions des producteurs qui peuvent améliorer la situation économique des fermes, nourrir une population mondiale croissante et protéger l'environnement.

# Points saillants

## Gérance des nutriments 4B:

- Il s'agit d'un cadre scientifique de gestion des fertilisants conçu au Canada et reconnu à l'échelle internationale.
- Le programme de Gérance des nutriments 4B est en voie de protéger 20 millions d'acres, soit 25 % de la production agricole canadienne d'ici 2020.
- Il a déjà été démontré que les PGB de l'azote dans le programme de Gérance des nutriments 4B réduisent les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'au moins 25 % et augmentent les profits des producteurs de jusqu'à 87 \$ l'acre ‡.
- L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture a déjà reconnu les 4B comme étant un cadre de PGB utile pour les collectivités agricoles du monde entier.

## Réseau de recherche 4B

- Le Réseau fait appel à neuf chercheurs canadiens situés dans des universités, des instituts et des organismes gouvernementaux partout au Canada, dont la recherche a déjà produit 11 manuscrits universitaires, 8 articles publiés, 108 présentations orales et 24 ateliers. Dans l'ensemble, le Réseau de recherche 4B a rejoint environ 10 000 professionnels.
- Des recherches indépendantes de trois ans mettent l'accent sur la collaboration avec plus de 80 chercheurs universitaires, conseillers professionnels, producteurs, ministères provinciaux de l'Agriculture et chercheurs d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC).
- Il a reçu un financement combiné de 2,2 millions de dollars d'AAC et des entreprises membres de Fertilisants Canada qui ont contribué au programme de Grappes scientifiques et au Fonds de recherche nord-américain 4B.
- Les recherches portent sur des domaines d'intérêt environnemental, notamment la réduction des émissions de GES et d'ammoniac, les pertes de phosphore dans les eaux de surface et le lessivage des nitrates dans les eaux souterraines.
- Le Réseau a établi dix PGB pour permettre aux producteurs d'accroître leur rentabilité tout en améliorant la durabilité environnementale.

« Le programme 4B – la bonne dose d'engrais provenant de la bonne source, au bon moment et au bon endroit – fournit un cadre utile pour guider l'application d'engrais dans le bassin du lac Érié et au-delà. Les 4B peuvent être efficaces pour réduire l'exportation des nutriments des champs, tout en répondant aux besoins nutritionnels des plantes et en maximisant ainsi le rendement des cultures. »

Rapport de la CMI de 2014 – *Un régime santé pour le lac Érié : Réduction des charges de phosphore et des proliférations d'algues nuisibles* et Rapport d'étape des Parties 2016



‡ Mussell, A. et Heaney, D. "An Economic Analysis of Farming4RLand program in Alberta", mai 2013. Téléchargeable à [www.fertilisantscanada.ca](http://www.fertilisantscanada.ca)

## Contexte mondial et national

### La sécurité alimentaire et la population mondiale :

- À mesure que la population mondiale continue de croître, pour atteindre un seuil prévu de neuf milliards d'habitants d'ici 2050, le secteur agricole doit doubler les niveaux de production actuels pour répondre à la demande
- Dans les pays en développement, 75 % de la croissance de la production alimentaire doit provenir d'une augmentation des rendements, qui ne peut être réalisée qu'à l'aide d'engrais, et le Canada, qui est le premier exportateur mondial d'engrais, sera de plus en plus sollicité pour répondre à la demande croissante.

### L'agriculture et les changements climatiques :

- Le secteur agricole contribue à environ 14 % des émissions de GES dans le monde, et on craint que cette proportion n'augmente à mesure que la production alimentaire s'accroît pour répondre à la demande mondiale.
- Dans le contexte de la Conférence de Paris sur le climat (COP21) de 2015, des objectifs de développement durable des Nations Unies et du Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques de 2017, les 4B peuvent aider le Canada à atteindre ses objectifs de durabilité environnementale sans compromettre la sécurité alimentaire, en rendant l'agriculture plus durable, plus productive et plus résiliente.

## Principales constatations du Réseau de recherche 4B

### Les constatations scientifiques du Réseau de recherche 4B fournissent d'autres preuves que les PGB des 4B augmentent tant la rentabilité que la durabilité environnementale :

- L'application des 4B à la production de maïs en Ontario peut accroître les rendements de près de 20 %, réduire les émissions de GES de 75 % et réduire les pertes de phosphore par ruissellement de 60 %.
- L'application des 4B à la production de blé au Manitoba peut réduire les émissions de GES de jusqu'à 55 %.
- L'application des 4B à la production de pommes de terre à l'Île-du-Prince-Édouard peut réduire le lessivage des nitrates dans le sol de jusqu'à 32 %.
- L'application des 4B au fil du temps peut compenser les coûts initiaux de leur adoption.

## Alberta – Production de cultures de blé et de canola

### L'épandage d'engrais azotés au bon endroit réduit les émissions de GES tout en augmentant la rentabilité :

- Peu importe la source d'engrais, les producteurs peuvent réduire les émissions de GES et accroître le rendement des cultures en appliquant des bandes d'engrais aussi près que possible de la rangée de semis et plus profondément que celle-ci pour s'assurer que les cultures accèdent à la fertilisation azotée au début de la saison de croissance.

### L'application de la bonne dose au bon moment augmente la rentabilité et réduit les émissions de GES :

- Les fermes seront plus efficaces sur le plan économique et durables sur le plan environnemental si les producteurs évitent l'épandage de doses excessives d'engrais azotés au moment de l'ensemencement, car elles dépassent les besoins des jeunes pousses et ne font qu'augmenter le risque d'augmentation des émissions de GES.
- À des doses intermédiaires d'azote, la fertigation fractionnée a réduit les émissions cumulatives de  $N_2O$  comparativement à tous les engrais azotés épandus avant l'ensemencement.
- L'utilisation de soufre dans le cadre de traitements de NPK équilibrés à long terme est efficace pour accroître le rendement et l'absorption d'azote par les cultures et réduire les émissions d'oxyde nitreux ( $N_2O$ ) par unité de rendement de culture. Dans ce cas, l'oxyde nitreux a été réduit de jusqu'à 50 %, ce qui a donné les rendements les plus élevés. Le bilan azoté dépend également de la rotation.



## Saskatchewan – Production de blé, de canola et de soya

### L'application de la bonne dose d'engrais phosphatés au bon endroit réduit le ruissellement tout en augmentant la rentabilité :

- L'épandage à la volée sans incorporation peut accroître considérablement le risque de ruissellement de phosphore lors de la fonte des neiges. Il s'agit d'une observation particulièrement importante pour les producteurs de grandes superficies des Prairies qui pourraient avoir tendance à adopter des méthodes d'épandage à la volée.
- En appliquant le phosphore dans le sol, en doses appropriées, les producteurs peuvent réduire considérablement le ruissellement du phosphore (jusqu'à 75 %) dans les eaux de surface et souterraines, tout en augmentant l'efficacité économique de leurs fermes.

## Manitoba – Production de blé

### L'application de la bonne source d'engrais azotés réduit les émissions de GES

- L'application d'engrais à efficacité accrue (en rangées intermédiaires) peut aider les producteurs à réduire les émissions de GES de jusqu'à 55 %.

### L'application d'engrais azotés au bon moment réduit les émissions de GES :

- Peu importe la source d'engrais, les producteurs peuvent réduire les émissions de GES de 20 % en épandant l'engrais azoté au printemps plutôt qu'à l'automne.

## Ontario – Production de maïs

### L'application de la bonne source d'engrais azotés au bon moment réduit les émissions de GES :

- L'utilisation d'engrais à base de nitrate d'ammonium et d'urée (NAU) en combinaison avec des inhibiteurs de nitrification et d'uréase au stade de croissance à huit feuilles du maïs permet aux producteurs de réduire les émissions de GES de 75 %.
- L'application de sources combinées (urée ou NAU, avec inhibiteurs d'uréase) peut permettre aux producteurs de réduire les émissions de GES de 40 à 60 % selon les conditions météorologiques.

### L'application de la bonne source d'engrais azotés au bon endroit améliore la durabilité environnementale et augmente la rentabilité :

- L'injection d'engrais azotés dans le sol permet aux producteurs d'augmenter le rendement du maïs de jusqu'à 7 % et élimine totalement la perte d'ammoniac néfaste dans le sol.
- La combinaison de ce type d'application avec l'engrais NAU peut améliorer le rendement du maïs de près de 20 % par rapport à l'épandage à la volée

### L'application d'engrais phosphatés au bon moment et au bon endroit réduit la contamination de l'eau :

- L'application d'engrais phosphatés en bandes souterraines, par opposition à l'épandage à la volée, permet aux producteurs de réduire le ruissellement de 60 %.

## Île-du-Prince-Édouard – Production de pommes de terre

### L'application de la bonne dose d'engrais azotés au bon moment réduit les émissions de GES et le lessivage nocif de nitrates dans le sol tout en augmentant la rentabilité :

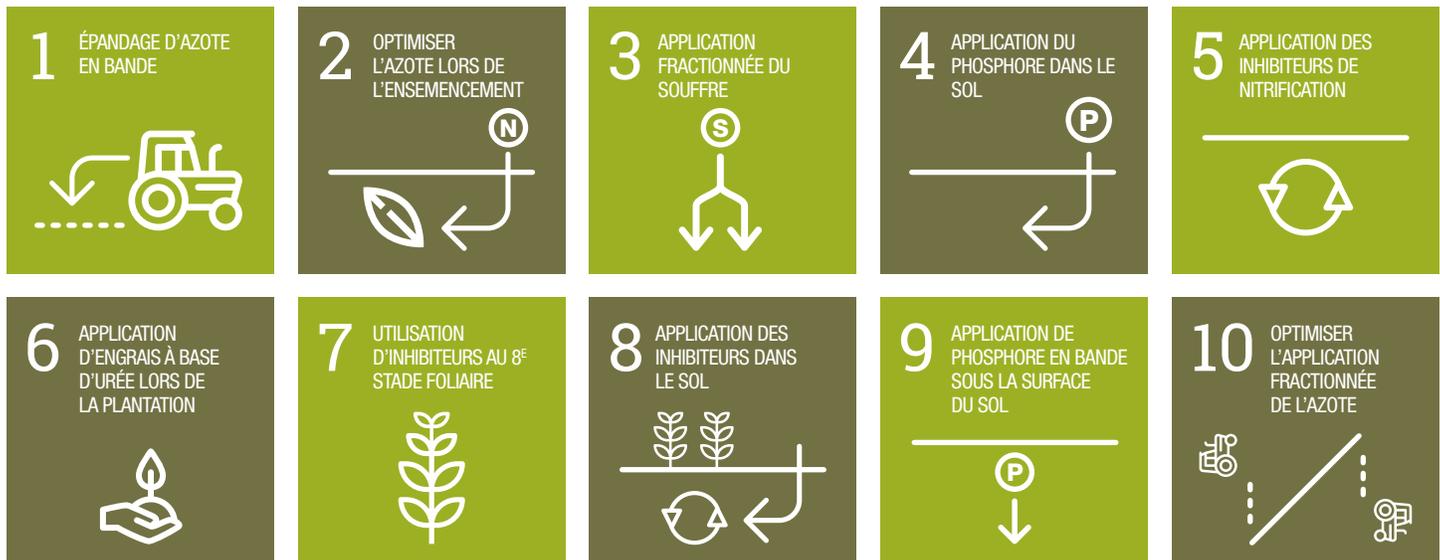
- L'application fractionnée d'engrais azotés, 60 % à l'ensemencement et 40 % en saison sous forme d'urée foliaire, produit le même rendement des cultures en optimisant les doses et réduit les émissions de GES, ce qui augmente à la fois l'efficacité économique et la durabilité environnementale.
- La mise en œuvre de pratiques 4B a également réduit le lessivage des nitrates dans le sol de jusqu'à 32 %.
- Il est important d'analyser le sol pour déterminer la bonne dose d'engrais azotés à utiliser. Il est possible d'optimiser les doses (dans ce cas particulier, il a fallu 25 % moins d'azote) sans réduire le rendement en tenant compte de la quantité d'azote dans le sol.



## 10 PGB du programme 4B couvrant le paysage canadien

Le cadre 4B est un cadre universellement applicable, mais à orientation locale de principes interdépendants qui encourage les agriculteurs à tenir compte non seulement de leur source d'engrais, mais de la quantité, du moment et de l'endroit où l'appliquer dans le champ. Les PGB du programme 4B ne sont pas des solutions autonomes à la gestion des nutriments, mais elles devraient être considérées comme une suite de pratiques qui travaillent en parallèle pour parvenir au but consistant à améliorer l'efficacité de l'utilisation des nutriments et à réduire leurs pertes.

Il a été prouvé scientifiquement que les 10 PGB suivantes accroissent la production agricole tout en minimisant les nutriments perdus dans l'environnement. Pendant trois ans, neuf chercheurs éminents du Réseau de recherche 4B ont mené des projets afin de mettre à l'épreuve diverses pratiques basées sur la Source, la Dose, le Moment et l'Endroit de cultures répandues au Canada : blé, canola, soya et pomme de terre.



1. Dans la production de blé et de canola en Alberta, l'application d'engrais azotés en bandes aussi près que possible de la rangée de semis et plus profondément que celle-ci (**bon endroit**) réduit les émissions de gaz à effet de serre tout en augmentant la rentabilité.
2. Dans la production de blé en Alberta, l'optimisation de l'application d'azote (**bonne dose**) pendant l'ensemencement (**bon moment**) augmente la rentabilité et réduit les émissions de GES.
3. Dans la production de blé en Alberta, l'intégration de soufre dans une nutrition macronutritive équilibrée (**bonne source**) et une application fractionnée au moyen de la fertigation sur culture (**bon moment**) entraîne une plus grande absorption des nutriments par la plante et une réduction des émissions de GES.
4. Dans la production de cultures de blé, de canola et de soya en Saskatchewan, l'application d'engrais phosphatés dans le sol (**bon endroit**) selon la dose recommandée (**bonne dose**) réduit le ruissellement tout en augmentant la rentabilité.
5. Dans la production de blé au Manitoba, l'application d'inhibiteurs de nitrification avec l'urée (**bonne source**) réduit les émissions de GES pendant les années humides.
6. Dans la production de blé au Manitoba, l'application d'urée au printemps lors de l'ensemencement (**bon moment**) réduit davantage les émissions de GES que l'application à l'automne.
7. Dans la production de maïs en Ontario, l'application d'engrais à base d'urée ou à base de nitrate d'ammonium et d'urée avec des inhibiteurs de nitrification et d'uréase (**bonne source**) au stade de croissance à huit feuilles (**bon moment**) réduit les émissions de GES de 40 à 60 %.
8. Dans la production de maïs en Ontario, l'injection dans le sol (**bon endroit**) d'une combinaison d'engrais azotés avec un inhibiteur de nitrification et d'uréase (**bonne source**) augmente le rendement du maïs de près de 20 %, réduit les émissions d'oxyde nitreux de 40 % et élimine pratiquement les pertes d'ammoniac par volatilisation dans l'atmosphère.
9. Dans le cas de la production de maïs en Ontario, l'application d'engrais phosphatés en bandes souterraines (**bon endroit**) réduit le ruissellement du phosphore dans les eaux de jusqu'à 60 %, comparativement à l'épandage à la volée.
10. Dans la production de pommes de terre à l'Île-du-Prince-Édouard, l'application fractionnée (**bon moment**) d'engrais azotés selon une dose optimisée (**bonne dose**) réduit les émissions de GES et le lessivage nocif de nitrates dans le sol, tout en augmentant la rentabilité.



**Miles Dyck, Ph. D.**  
Université de l'Alberta



**Craig Drury, Ph. D.**  
Agriculture et Agroalimentaire  
Canada, Harrow



**David Burton, Ph. D.**  
Université de Dalhousie



**Mario Tenuta, Ph. D.**  
Université du Manitoba



**Claudia Wagner-Riddle, Ph. D.**  
Université de Guelph

## Les 4B et l'azote

### Production de pommes de terre à l'Î.-P.-É.:

Le Canada est un chef de file mondial dans la production de pommes de terre, le Canada atlantique étant à l'origine de près de 40 % de la production nationale totale, évaluée à environ 1 milliard de dollars, et une grande partie de cette production se fait à l'Île-du-Prince-Édouard, qui s'est mérité le surnom d'« île de la pomme de terre ».

Sur un site très fertile de la station de recherche d'Harrington d'AAC, 120 kilogrammes d'azote par hectare produisaient le même niveau de rendement de cultures que des doses d'azote plus élevées et réduisaient les émissions de GES, ce qui augmentait à la fois l'efficacité économique et la durabilité environnementale. Sur le même site, l'application foliaire d'urée en saison a accru l'efficacité de l'utilisation de l'azote. L'application fractionnée de 60 kilogrammes d'azote par hectare au moment de l'ensemencement et de 30 autres kilogrammes d'azote plus tard en de multiples applications d'urée foliaire a donné des rendements très similaires à l'application de 180 kilogrammes d'azote à l'ensemencement.

Lors d'essais menés en parallèle dans les champs des producteurs, on a constaté que les PGB du programme 4B entraînaient une réduction de 32 % du lessivage des nitrates – la perte de nutriments pour les végétaux dans le sol – et donc une augmentation de l'efficacité.

Une étude sur la capacité d'apport en azote de 26 champs de pommes de terre de l'Î.-P.-É. a montré que l'apport du sol variait de 30 à 110 kilogrammes d'azote par hectare pendant une saison de croissance de 130 jours. Cela démontre l'importance d'évaluer la capacité d'apport en azote du sol pour déterminer la bonne dose d'engrais azotés à appliquer afin de mieux utiliser l'azote et de réduire les répercussions sur l'environnement.

### Production de maïs en Ontario :

Le Canada se classe au 11<sup>e</sup> rang mondial pour la production de maïs et 66 % de cette production se fait en Ontario. Bien que les conditions météorologiques aient un effet sur l'évaluation de l'incidence des 4B, il est prouvé que l'application de la bonne source, en particulier si le fait au bon moment, peut réduire l'empreinte écologique du secteur. La combinaison du bon endroit et de la bonne source peut aussi améliorer la rentabilité d'une ferme tout en réduisant au minimum son empreinte écologique.

La combinaison de l'application de la bonne source – dans ce cas-ci, un engrais à base d'urée ou à base de nitrate d'ammonium et d'urée (NAU) avec des inhibiteurs de nitrification et d'uréase – au bon moment – au stade de croissance à huit feuilles – a une incidence directe sur la réduction des émissions de GES de 75 %. L'application de ces combinaisons a une incidence considérable sur la réduction des émissions de GES de 40 à 60 % selon les conditions météorologiques. Ces résultats concordent avec ceux d'autres régions du Canada et des États-Unis. Dans une étude complémentaire, lorsque des inhibiteurs étaient épandus à la volée avec des sources d'azote (urée et NAU), le rendement des cultures de maïs augmentait de 5 à 7 %.

« Le fait de comprendre quels sols présentent un risque de perte de nutriments dans la province peut aider les producteurs agricoles de l'île à gérer les nutriments de façon plus efficace et à protéger l'environnement. La modification de la source de nutriments des cultures, ainsi que de la dose, du moment et de la méthode d'application peut grandement réduire le risque de pertes de nutriments. »

**David Burton, Ph. D.**  
Université de Dalhousie

Cependant, en combinant l'injection avec les inhibiteurs – dans ce cas-ci, l'azote uréique avec des inhibiteurs de nitrification et d'uréase –, on peut aussi augmenter le rendement du maïs de près de 20 % par rapport à l'épandage à la volée. De plus, cela a réduit les émissions d'oxyde nitreux de 40 % et a pratiquement éliminé les pertes d'ammoniac. En d'autres termes, cette combinaison de la bonne source et du bon endroit a un effet positif sur l'environnement tout en améliorant la rentabilité pour les producteurs.



### Production de blé au Manitoba :

Du tournesol au canola, en passant par le soya et le blé, le Manitoba compte plus de 12 % des terres cultivées au Canada. Des études montrent que l'application de la **bonne source** – dans ce cas-ci, des engrais à efficacité accrue – permet aux producteurs de réduire leurs émissions de jusqu'à 55 %. Elle réduit également de moitié l'intensité des émissions par rapport à l'utilisation de l'urée seule. Peu importe la source d'engrais, les producteurs peuvent réduire les émissions de GES de 20 % en épandant l'engrais azoté au **bon moment**, c'est-à-dire au printemps plutôt qu'à l'automne.

### Production de blé et de canola en Alberta :

Le Canada s'est taillé une réputation en tant que « grenier du monde » et l'Alberta représente près de 10 % de la production canadienne de blé. L'Alberta contribue également de façon importante à la production d'oléagineux au Canada en enregistrant une récolte record de canola de près de 7 millions d'acres en 2017.

Quel que soit le type d'engrais, les producteurs peuvent réduire les émissions et accroître le rendement des cultures en appliquant l'engrais au **bon endroit** – en bandes aussi près que possible de la rangée de semis et plus profondément que celle-ci pour s'assurer que les cultures accèdent à la fertilisation azotée au début de la saison de croissance. De plus, les traitements de fertigation fractionnée ont réduit les émissions cumulatives de  $N_2O$  comparativement à tous les engrais azotés appliqués avant l'ensemencement.

Lorsque les producteurs appliquent la **bonne source** au **bon moment** – soit l'intégration de soufre dans une nutrition de NPK équilibrée et l'application fractionnée d'azote au moyen de la fertigation sur culture –, ils peuvent être efficaces pour réduire les émissions de GES dans les bonnes conditions météorologiques. Dans ce cas-ci, les émissions de GES ont été réduites de jusqu'à 50 %. Les rendements les plus élevés ont également été observés dans ce cas. Les producteurs peuvent être plus efficaces sur le plan économique et durables sur le plan environnemental en appliquant la **bonne dose** (optimisation des niveaux d'azote), au **bon moment** (pendant la période d'ensemencement).

« Le public tient beaucoup à consommer des produits cultivés de façon écologique. Nous pensons que ce type de recherche répond à ces préoccupations. Au bout du compte, non seulement disposerons-nous de chiffres pour quantifier les répercussions de la perte d'azote, mais nous pourrons aussi examiner ce que les agriculteurs peuvent faire pour atténuer ces répercussions. Cela accroît la confiance des consommateurs. »

**Claudia Wagner-Riddle , Ph. D.**  
Université de Guelph



**Jeff Schoenau, Ph. D.**  
Université de la Saskatchewan



**Ivan O'Halloran, Ph. D.**  
Université de Guelph

## Les 4B et le phosphore

### Production de blé, de canola et de soya en Saskatchewan :

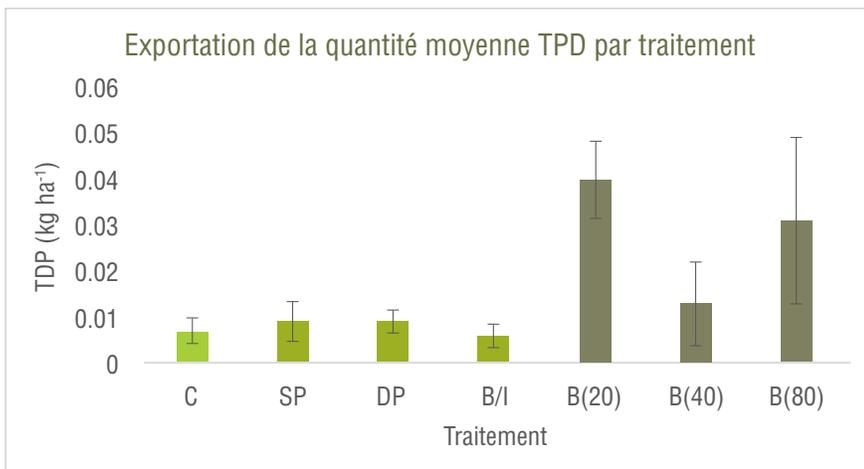
La Saskatchewan compte certaines des plus grandes fermes du Canada, la superficie la plus grande produisant la majorité des cultures de canola, de blé, d'orge et de légumineuses au Canada. En même temps, on s'inquiète de plus en plus de la qualité de l'eau de certaines des grandes rivières de la province qui traversent le pays.

En appliquant la **bonne dose** recommandée d'engrais phosphatés au **bon endroit** – dans le sol –, les producteurs peuvent réduire considérablement le ruissellement du phosphore dans les eaux de surface et souterraines tout en augmentant l'efficacité économique de leurs fermes. Lors de la comparaison des méthodes d'épandage à la volée et d'application dans le sol, on a mesuré une différence de jusqu'à 75 % dans la quantité de ruissellement du phosphore.

### Production de maïs en Ontario :

Le Canada possède l'une des plus grandes sources d'eau douce renouvelable au monde, avec environ 9 % des ressources totales, y compris les Grands Lacs. L'agriculture est un élément socioéconomique important dans la région des Grands Lacs de l'Ontario, mais elle contribue également aux problèmes environnementaux, notamment le ruissellement du phosphore.

Des études réalisées dans cette région montrent que, lorsque les producteurs utilisent le **bon endroit** pour l'application du phosphore – dans ce cas-ci, l'application en bandes souterraines par opposition à l'épandage à la volée –, les pertes par ruissellement sont généralement réduites de 60 %. Par ailleurs, cette application plus efficace entraîne le même niveau de rendement et de rentabilité des cultures pour leurs fermes. De plus, la majeure partie de la perte de phosphore a eu lieu au cours du premier ruissellement de la saison de croissance, ce qui a une incidence sur le **bon moment** en ce qui concerne les effets des précipitations et la compréhension de la façon dont il change les niveaux de nutriments dans le sol.



■ Contrôle non fertilisé ■ Épandage dans le sol ■ Épandage à la volée

### L'épandage dans le sol empêche la perte d'engrais dans les eaux de ruissellement (Saskatchewan)

Exportation de la quantité moyenne totale de phosphore dissous (TPD) en fonction de la méthode d'application d'engrais P et de la dose à la suite d'une expérience de ruissellement de la fonte des neiges simulé. Les barres d'erreurs représentent l'erreur normalisée des quatre répétitions de chaque traitement. Les moyennes (n=4) indiquées par différentes lettres sont sensiblement différentes (HSD de Tukey, P<0.05). Voici une description des traitements : C: Contrôle (aucun P); SP: Graine épandue (20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>); DB: Bande profonde (20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>); B/I: À la volée avec incorporation (20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>); B(20): À la volée (20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>); B(40): À la volée (40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) et B(80): À la volée (80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>).



**Alison Eagle, Ph. D.**  
Duke's Nicholas Institute for  
Environmental Policy Solutions



**Nicolas Tremblay, Ph. D.**  
Agriculture et Agroalimentaire Canada

# Grands effets économiques, environnementaux et sociaux des 4B

## Les systèmes d'aide à la décision peuvent aider les producteurs à déterminer la bonne dose en fonction des ensembles de données sur le sol, la température et le marché

L'agriculture a été à l'avant-garde des progrès technologiques récents, en particulier l'agriculture de précision, en ce qui concerne l'automatisation, l'utilisation de drones, l'imagerie satellitaire et d'autres technologies de détection. À l'heure actuelle, elle entre dans une ère d'intelligence artificielle, de stockage de données en nuage et d'autres innovations en matière de mégadonnées. Bien que les 4B représentent une innovation importante dans les pratiques agricoles, ils ont le potentiel d'avoir une incidence encore plus marquée lorsqu'ils sont combinés à d'autres nouvelles technologies dans les logiciels de calcul et d'extraction de données.

Il peut être très difficile de déterminer la dose optimale d'engrais à appliquer, car elle est influencée par les conditions de croissance associées à l'endroit, au moment et aux systèmes de gestion agricole, ainsi que par les conditions du marché contemporain. Ce défi se complique davantage par le fait que la réaction des cultures à la fertilisation demeure incertaine en raison de nombreux facteurs imprévisibles, comme les anomalies météorologiques, la microbiologie du sol et la qualité du rendement des outils agricoles, entre autres.

Dans cette optique, un système d'aide à la décision – un programme de calcul qui tire parti des ensembles de données – a été élaboré pour aider les producteurs, les conseillers en cultures agréés et les détaillants agricoles à mieux prévoir et déterminer la bonne dose qui réduit au minimum les risques associés à l'utilisation d'engrais, y compris les possibilités de gaspillage et de perte de rendement. Connu sous le nom de NumericAg, ce prototype de cadre a été développé pour améliorer l'application d'azote sur le maïs au Québec et dans l'Est de l'Ontario, et son succès rapide auprès des utilisateurs démontre le potentiel de la prochaine génération de systèmes d'aide à la décision pour améliorer davantage la durabilité de l'agriculture tout en augmentant l'efficacité et la rentabilité.

Le projet porte sur les risques et les possibilités sur le terrain en ce qui concerne la température et ses interactions avec les sols et d'autres facteurs de gestion. Le but de ce projet consistait à quantifier l'influence des facteurs économiques, des conditions du sol et des conditions météorologiques (c. à d. température, précipitations, texture et teneur en matières organiques) qui ont été observées pendant les essais de fertilité antérieurs, dans le contexte de scénarios de production de cultures possibles.

L'outil évalue la rentabilité attendue pour différentes doses d'azote en fonction des précipitations avant et entourant le moment de l'application en bandes latérales. Cet outil, qui combine les approches de la bonne dose et du bon moment, a permis d'améliorer davantage la rentabilité de l'utilisation d'azote sur le maïs. On s'attend à ce que l'outil aide les producteurs et les conseillers en cultures non seulement à choisir la dose d'application la plus rentable, mais aussi à gérer les risques associés à l'application excessive ou insuffisante.

## Les répercussions des 4B sur les résultats en matière de durabilité

La gestion des nutriments 4B réduit les déperditions dans l'environnement et accroît la rentabilité des exploitations agricoles. Elle permet de s'assurer que les engrais et tous les autres nutriments ajoutés soient conservés dans les sols, améliorant ainsi la qualité des terres et des plantes qui y sont cultivées. La gestion durable des nutriments basée sur les 4B pousse les producteurs agricoles à réfléchir à leur utilisation des engrais et à s'assurer qu'ils en appliquent la bonne source et la bonne dose, au bon

moment et au bon endroit. L'adoption de pratiques de gestion 4B permet donc d'optimiser les investissements en engrais, puisqu'il devient possible de produire plus de récoltes par kilogramme de fertilisant épandu. De plus, les chercheurs du Réseau de recherche 4B s'étendant à travers le Canada ont déterminé que les pratiques de gestion 4B entraînent une réduction globale des pertes d'azote et de phosphore, ce qui entraîne à son tour une amélioration de la qualité de l'air et de l'eau tant au sein de l'exploitation agricole qu'au-delà de ses frontières.

### Dans les exploitations agricoles

Les agriculteurs qui veillent à appliquer la bonne source et la bonne dose de fertilisants à base d'azote (N) et de phosphore (P), évaluées en fonction des besoins des plantes, s'assurent que chaque kilogramme d'engrais utilisé soit converti en la meilleure valeur productive possible. Le choix des sources, des endroits et des moments les mieux adaptés contribue à cette optimisation de leur efficacité, laquelle se traduit par un rendement des récoltes supérieur ou encore par une meilleure évaluation des besoins totaux en engrais. Diverses études ont révélé que l'adoption d'une nouvelle gestion des nutriments constitue un excellent investissement, puisqu'elle peut entraîner des gains de rendement pouvant s'élever jusqu'à 20 % (étude de Drury), en une réduction de l'épandage excessif de l'ordre de 25 % (étude de Burton) et en une hausse de 5 % de la teneur en protéine de blé au printemps (étude de Tenuta). Dans le cas d'une culture de maïs en Ontario, par exemple, une simple amélioration du rendement des récoltes de l'ordre de 10 % (environ 16 boisseaux/acre de plus que la récolte moyenne) correspondrait à une valeur à la ferme d'environ 76 \$/acre. L'optimisation des doses de fertilisants azotés en fonction des besoins des cultures de patates dans l'est du Canada entraînerait quant à elle des économies sur les dépenses en engrais d'environ 22 \$/acre. Comme le prouvent de nombreuses études économiques, les économies ainsi réalisées par les exploitations agricoles pourraient donc excéder les coûts engendrés par l'adoption de pratiques de gestion améliorées.

S'il s'agit là des possibles avantages dont pourraient tirer parti les exploitations agricoles, il faut toutefois noter qu'il existe d'importantes lacunes en ce qui concerne les informations disponibles relatives aux coûts et aux efforts nécessaires à la réalisation de la transition. Les exploitations agricoles qui cherchent à améliorer leur gestion des nutriments varient grandement sur le plan de la taille, du système de culture et de plusieurs autres caractéristiques. Cela se traduit par une égale variation des besoins en matière d'équipements, de matériaux et de main-d'œuvre nécessaires à l'épandage d'engrais pendant la croissance des plantes (**bon moment**), à l'utilisation

d'un engrais plus efficace (**bonne source**) ou à l'épandage/l'injection d'engrais sous la surface (**bon endroit**). Plus encore, l'évaluation des coûts réels liés au changement (apprentissage, expérimentation, risques encourus, pression sociale, temps consacré à la gestion) est particulièrement difficile. En raison de cette grande variabilité et du manque de données disponibles, les modèles économiques ont tendance à négliger ces coûts au profit d'une analyse économique partielle qui ne tient compte que du prix de l'engrais et des avantages sur le plan du rendement des récoltes.

Par conséquent, l'adoption de meilleures pratiques de gestion de l'azote au sein des exploitations agricoles est encore restreinte, et ce, même si elle permet d'augmenter le rendement des investissements en engrais, d'améliorer les récoltes et d'améliorer la qualité des cultures. Ce faible taux d'adoption pourrait en pousser certains à croire à tort que le processus décisionnel des agriculteurs ne repose pas sur une approche holistique de la gérance des nutriments. Si l'on ne s'arrête qu'aux données disponibles en matière d'économies d'engrais ou de gains de rendement, on pourrait même en venir à penser que les mesures d'incitation au changement n'ont pas de raison d'être. Ce sont cependant les obstacles et les coûts les moins apparents (pression sociale, coûts de l'équipement et modification du travail) qui sont les plus susceptibles de freiner la transition. C'est pourquoi il est primordial de s'y attaquer, et plus particulièrement lors des périodes d'adaptation initiales. C'est grâce au soutien des services de vulgarisation, des programmes de subventions incitatives et des autres initiatives mises sur pied que les agriculteurs pourront faire l'essai de nouvelles pratiques sans encourir de risques, pourront apprendre à réaffecter leurs travailleurs et auront ainsi la chance d'obtenir des résultats positifs.

Les coûts afférents aux nouvelles sources d'engrais et aux additifs, tout comme ceux liés aux modifications des calendriers d'épandage ou des pratiques de travail seront permanents. Il convient cependant de noter que tous les autres frais liés aux modifications de la gestion de l'exploitation agricole ont tendance à être engendrés lors des premières étapes de la transition vers de nouvelles pratiques, c'est-à-dire lors de la formation et de l'éducation, de l'achat d'équipements et de la mise à l'essai du nouveau système (risques de pertes de récoltes accrus). Après la période de transition initiale, les pratiques 4B entraînent cependant des gains de rendement continus et des économies de coûts d'engrais qui s'avèrent suffisamment élevés pour justifier la réduction et même l'abandon de mesures incitatives extérieures.

### Au-delà de l'exploitation agricole

À l'aide de nos modèles conceptuels conçus à cet effet, nous avons documenté les avantages environnementaux découlant des pratiques 4B à l'échelle de l'exploitation agricole et des acteurs évoluant dans son sillage. Les agriculteurs ayant modifié leurs modes de gestion peuvent constater une baisse de leurs dépenses en engrais, une augmentation du rendement des récoltes et d'autres économies de coûts, mais ils doivent composer avec l'utilisation de sources d'engrais plus onéreuses, l'achat de nouvel équipement ou l'embauche d'une main-d'œuvre plus qualifiée. C'est pourquoi il est important de déterminer comment le grand public, les villes en aval et les autres acteurs impliqués pourraient soutenir les efforts des agriculteurs en matière d'amélioration des retombées environnementales. De plus en plus d'exploitations agricoles pourraient être enclines à adopter des pratiques améliorées si les coûts de mise en place initiaux étaient couverts par des mesures incitatives ou des paiements pour services environnementaux versés par les acteurs de la chaîne d'approvisionnement, les administrations locales ou toute autre partie prenante qui jouissent de l'amélioration des résultats environnementaux.

### L'exemple de l'oxyde nitreux

Des études sur le terrain ont démontré que les pratiques 4B pourraient réduire les émissions d'oxyde nitreux ( $N_2O$ ) des sols agricoles canadiens dans une mesure allant de 40 à 75 %. Ces pratiques impliquent cependant l'utilisation de fertilisants certes plus efficaces, mais aussi plus onéreux, ainsi que de nouveaux ou différents équipements d'épandage. Comme les gains de rendements et la réduction des doses requises pourraient ne pas toujours justifier les dépenses engendrées par la modification des pratiques, il devient intéressant de se pencher sur la valeur mercantile des réductions d'émissions (par le biais d'incitatifs offerts aux agriculteurs).

Dans le cas d'un champ de maïs dont le niveau d'émission de référence serait de 2,6 kg  $N-N_2O$ /ha/année, une réduction des émissions de 50 % se traduirait par une réduction de 1,3 kg  $N-N_2O$ /ha/année, soit 2 kg de  $N_2O$  (1 kg  $N = 1,57$  kg  $N_2O$ ). De telles réductions d'émissions équivalraient à environ 10 \$ CA/ha/année sur le marché du carbone (si elles pouvaient être garanties, et si elles pouvaient être négociées sur les marchés du carbone existants avec de faibles coûts de transaction), puisqu'une telle quantité de  $N_2O$  possède un potentiel de réchauffement de la planète 265 fois supérieur à celui d'une valeur égale de  $CO_2$ , et correspondrait donc à 540,9 kg  $CO_2$  eq/ha/année. La valeur sociale de ces réductions d'émissions de GES pourrait même s'avérer plus élevée encore à l'heure où les estimations du coût social du carbone sont deux fois plus élevées que ce qui a été observé sur les marchés existants.

### L'exemple du nitrate

Des études sur le terrain ont démontré que les pratiques 4B pourraient réduire les pertes de  $NO_3$  par lessivage dans une mesure pouvant s'élever jusqu'à 32 %. Encore une fois, les économies réalisées

grâce à l'optimisation des doses d'engrais pourraient peut-être s'avérer suffisantes pour permettre aux agriculteurs de couvrir les frais liés à la main-d'œuvre et à l'achat d'équipement destiné à l'application fractionnée des engrais. Si ce n'est cependant pas le cas, il devient crucial de se pencher sur les possibilités pour les utilisateurs en aval et tous ceux qui jouissent de l'amélioration de la qualité de l'eau (p. ex. : la réduction de l'ampleur des zones mortes océaniques) d'offrir des incitatifs favorisant le changement.

Dans le cas d'un champ de maïs dont les pertes normales de  $NO_3$  par lessivage équivalent à 25 kg  $N-NO_3$ /ha/année, une réduction des pertes de 32 % permettrait d'éviter une déperdition s'élevant à 8 kg  $N-NO_3$ /ha/année. En protégeant ainsi les sources d'eau en aval, il serait possible de constater une diminution des dépenses entraînées par la purification de l'eau destinée à la consommation (élimination du  $NO_3$  ou des algues et des toxines qui résultent de trop fortes teneurs en nutriments dans les lacs, par exemple). Les frais liés à l'élimination de l'excès de  $NO_3$  dans l'eau potable varient grandement en fonction de la taille des installations de la concentration initiale de l'eau en nitrates, mais selon les estimations américaines, les coûts liés au traitement des eaux s'élevaient à 0,16 \$/kg N, ce qui signifie que la valeur moyenne d'une réduction de 8 kg par année serait de 1,28 \$/ha/année. La création de marchés actifs d'échanges de droits d'émissions de nutriments dans l'eau en Ontario, en Caroline du Nord et en Ohio, pour ne nommer que ceux-là, prouve que les utilisateurs en aval des exploitations agricoles reconnaissent la valeur de la qualité de l'eau et sont prêts à indemniser les agriculteurs de leurs frais d'adoption de nouvelles pratiques. La protection des zones de pêches, des zones de loisirs et de la santé humaine (par le biais de l'eau potable destinée à la consommation) ne fait qu'ajouter encore plus de valeur à la réduction du lessivage du  $NO_3$  sur le terrain.

L'accent mis sur la réduction du lessivage des nutriments représente enfin une excellente occasion d'approfondir nos connaissances des cultures de couverture et des avantages que présente leur utilisation.

Les avantages tirés des pratiques 4B varieront grandement selon les régions, les bassins versants et les principaux enjeux environnementaux les affectant (p. ex. : répercussions des changements à climatiques, présence de phosphore dans les eaux de ruissellement ou d'azote dans les nappes d'eau souterraine). Cela signifie que les motivations à l'origine du lancement des réformes des pratiques agricoles différeront elles aussi d'un endroit à l'autre. Un ensemble commun de modèles et d'indicateurs encadrera toutefois la création et la mise en œuvre des programmes de planification, de recherche et de contrôle, puisque l'uniformité des mesures et des opérations de transition permettra d'augmenter considérablement la crédibilité des résultats obtenus. Comme ces efforts se concentreront également sur les enjeux sociaux et économiques de la gérance des nutriments, les décideurs et la société dans son ensemble disposeront de plus d'informations cruciales à la prise de décisions éclairées.

## La voie de l'avenir

Les travaux réalisés par le Réseau de recherche 4B démontrent clairement que l'application des 4B – la bonne source à la bonne dose, au bon moment et au bon endroit – permet de réduire les émissions de gaz à effets de serre des terres cultivées. L'adoption de pratiques de gestion 4B exemplaires adaptées aux régions permet également de réduire l'infiltration de phosphore dans les eaux de ruissellement, l'entraînement de l'azote dans les eaux souterraines et les eaux de surface ainsi que les pertes d'ammonium. Ces importantes retombées environnementales ont été constatées à travers un vaste éventail de systèmes de culture du Canada Atlantique aux Prairies, prouvant ainsi le caractère universel de la Gérance des nutriments 4B. Bien qu'il faille encore cerner les contours exacts de cette approche, les résultats des recherches confirment que ce sont généralement les combinaisons des bonnes sources, des bonnes doses, des bons moments et des bons endroits – plutôt que la prise en compte d'un seul de ces facteurs – qui permettent d'optimiser les retombées environnementales positives.

De façon tout aussi importante, le Réseau de recherche 4B canadien a également conclu que les pratiques de gestion exemplaires visant à réduire les répercussions de l'agriculture sur l'environnement présentent aussi des avantages économiques. En réduisant les pertes, il est possible de s'assurer que les engrais soient conservés dans les sols où poussent les cultures qui en tirent profit, ce qui entraîne des rendements équivalents ou supérieurs, en une amélioration de la qualité des cultures et en une optimisation des doses d'engrais utilisées. Selon les recherches, il serait ainsi possible d'obtenir de meilleurs résultats en appliquant de plus faibles doses d'engrais aux prix cependant plus prohibitifs. Les agriculteurs devront donc trouver un juste équilibre à l'heure où ils tentent d'atteindre leurs objectifs environnementaux sans compromettre la productivité, la rentabilité et la durabilité économique de leurs exploitations agricoles.

Les avantages économiques dont peuvent tirer profit les exploitations agricoles permettent d'amortir une bonne partie des coûts associés à la transition vers des pratiques de gestion 4B exemplaires. Pourquoi ces pratiques 4B améliorées ne remplacent-elles donc pas plus rapidement les pratiques agricoles actuellement nuisibles à l'environnement ? Cela s'explique par l'absence d'un catalyseur de changement immédiat. Chaque exploitation est unique sur les plans de l'équipement, de la tolérance au risque, de la main-d'œuvre et des ressources financières disponibles. L'amélioration des pratiques requiert souvent de nouveaux équipements, dont l'achat doit être planifié et intégré au calendrier de remplacement du matériel agricole. Elle demande également beaucoup de temps, une ressource qui se fait particulièrement rare lors des périodes critiques comme l'ensemencement. Ces obstacles jouent donc un rôle important dans la lenteur avec laquelle sont adoptés les 4B, et ce, même si ces pratiques présentent des avantages environnementaux et économiques indéniables. La mise en œuvre des 4B améliore non seulement la santé des écosystèmes, mais se traduit également en d'avantageuses retombées économiques qui profitent à l'ensemble de la société. On constate cependant souvent un écart entre ces avantages extérieurs à l'exploitation agricole et la réalité des défis que représente la production de récoltes dans un marché concurrentiel aux ressources limitées. Dans certaines régions, des politiques économiques visant l'amélioration de la qualité de l'eau et la réduction des émissions de gaz à effet de serre concourent à accroître la valeur à la ferme des récoltes produites de la façon la plus respectueuse de l'environnement qui soit.

La promotion de l'adoption des 4B requerra un effort concerté de la part du milieu de la recherche, des industries agroalimentaires et du public dans son ensemble. La poursuite des recherches axées sur une meilleure compréhension des interactions complexes entre les pratiques, la production agricole et les mécanismes de pertes permettra de définir les combinaisons 4B se soldant le plus régulièrement en une optimisation des avantages environnementaux au sein des différents systèmes de culture. Plus encore, l'intégration des nouvelles technologies numériques et de nouveaux outils influera sur les retombées environnementales et jouera un grand rôle dans l'avenir de l'industrie. La technologie et les analyses économiques permettront aux producteurs de mieux cerner l'ampleur des frais d'exploitation, des coûts associés à la transition et des avantages que présente le changement. Des politiques et des programmes de soutien aux agriculteurs devront également être mis sur pied afin d'amortir en partie les coûts liés à la transition vers de nouvelles pratiques. Ces derniers pourraient se présenter sous la forme de programmes de biens et de services écologiques tels que des compensations carbone ou de liens avec des chaînes d'approvisionnement durables qui aident les producteurs à accéder à de nouveaux marchés. Dans les faits, les avantages qui découleront de ces programmes seront en partie réinvestis dans l'exploitation agricole. Grâce aux récents travaux du Réseau de recherche 4B, nous disposons d'une solide base de connaissances à partir de laquelle il sera possible d'approfondir notre compréhension des enjeux agricoles et de promouvoir l'adoption à grande échelle des pratiques de gérance 4B exemplaires.

