



INSTITUT DE RECHERCHE
ET DE DÉVELOPPEMENT
EN AGROENVIRONNEMENT
ИИ ВСВОЕИЛІВОИИЕИИ
ET DE DÉVELOPPEMENT

RAPPORT DE CONSULTATION AUPRÈS DES PRODUCTEURS DE GRAINS BIOLOGIQUES DU QUÉBEC

EFFETS DES ALÉAS CLIMATIQUES SUR LA DISPONIBILITÉ DE L'AZOTE DES ENGRAIS ORGANIQUES



Responsable scientifique et co-auteur : Marc-Olivier GASSER, chercheur

Auteur : Zonlehoua COULIBALI

Coauteurs : Gilles TREMBLAY, Lotfi KHIARI

Rapport présenté au : Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec

Date : 18 octobre 2016

www.
irda.
qc.ca

L'IRDA a été constitué en mars 1998 par quatre membres fondateurs, soit le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et le ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations (MEIE).

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement est une corporation de recherche à but non lucratif qui travaille chaque année sur une centaine de projets de recherche en collaboration avec de nombreux partenaires du milieu agricole et du domaine de la recherche.

Notre mission

L'IRDA a pour mission de réaliser des activités de recherche, de développement et de transfert en agroenvironnement visant à favoriser l'innovation en agriculture, dans une perspective de développement durable.

Notre vision

Être reconnu à l'échelle canadienne comme un chef de file en recherche, développement et transfert en agroenvironnement. L'IRDA se démarque par son approche intégrée et par le dynamisme de ses partenariats qui lui permettent d'anticiper les problèmes et de proposer des solutions novatrices répondant aux besoins des agriculteurs et de la société.

Pour en savoir plus

www.irda.qc.ca

PARTENAIRES DU PROJET



Rapport de consultation auprès des producteurs de grains biologiques du Québec sur les effets des aléas climatiques et la disponibilité de l'azote des engrais organiques

Présenté au :

Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec

3800, boul. Casavant Ouest, Saint-Hyacinthe (Québec) CANADA J2S 8E3

Préparé par :

Marc-Olivier Gasser, agr., Ph.D.

IRDA

Zonlehoua Coulibali, stagiaire en maîtrise

Université Laval

Gilles Tremblay, agr., M. Sc.

CEROM

Lotfi Khiari, Ph. D.

Université Laval

LE RAPPORT PEUT ÊTRE CITÉ COMME SUIT :

Coulibali, Z., M.-O. Gasser, G. Tremblay et L. Khiari. 2016. Les effets des aléas climatiques sur la disponibilité de l'azote des effluents d'élevage. Rapport d'enquête auprès des producteurs de grains biologiques du Québec. IRDA et partenaires. 19 pages + Annexe

© Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA)

ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET

- Responsable scientifique : Marc-Olivier Gasser, Ph. D., IRDA
- Chargé de projet : Zonlehoua Coulibali, Université Laval

ÉQUIPE DE RÉDACTION DU RAPPORT

- Zonlehoua Coulibali, stagiaire en Maîtrise, Université Laval
- Marc-Olivier Gasser, agr., Ph. D., IRDA

COLLABORATEURS

- Gilles Tremblay, agr., M. Sc., CEROM
- Lotfi Khiari, Ph. D., Université Laval
- Simon P. Guertin, Ph.D., IRDA
- Christine Landry, agr., biologiste, Ph.D., IRDA

Les lecteurs qui souhaitent commenter ce rapport peuvent s'adresser à :

Marc-Olivier Gasser

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 643-2380, poste 650

Courriel : marc-o.gasser@irda.qc.ca

REMERCIEMENTS

Ce projet de recherche a été réalisé grâce à une aide financière accordée par le MAPAQ et AAC dans le cadre de l'entente Cultivons l'Avenir 2. Des remerciements s'adressent également aux administrateurs et aux producteurs agricoles membres du Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec et des Producteurs de grain du Québec qui ont participé à la consultation, de même que son personnel de soutien et en particulier Éliane Bergeron-Piette. Nous remercions également Les Producteurs de grain du Québec et le conseiller Salah Zoghلامي pour sa contribution au projet. Les auteurs reconnaissent également l'appui technique fourni par le personnel de recherche et de soutien de l'IRDA, notamment Josée Breton, responsable des communications et Annie Côté, graphiste.

RÉSUMÉ

La production de grains biologiques connaît un essor remarquable au Québec, comme ailleurs dans le monde. Sans recours aux engrais de synthèse en régie biologique, la fertilité du sol et l’approvisionnement des cultures en nutriments dépendent davantage des précédents cultureux, des amendements organiques et de l’activité biologique du sol, régulés par les pratiques culturales et les aléas climatiques. L’approvisionnement en azote peut néanmoins devenir limitant lorsque les processus de minéralisation de la matière organique et les prélèvements des cultures sont désynchronisés et, plus particulièrement, lors d’évènements climatiques défavorables. Observant des déficiences nutritionnelles récurrentes dans les cultures de grains de ses membres, le Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec a voulu s’enquérir de la situation auprès de ses membres afin de mieux connaître les contextes de déficits en azote liés à la gestion des engrais de fermes et aux aléas climatiques. Sur 75 questionnaires envoyés aux producteurs de grains biologiques à l’été 2015, 16 ont été retournés et ont permis de tracer un portrait sommaire de la situation, d’entrevoir des éléments de solutions ou de tracer des orientations de recherche visant l’amélioration de la disponibilité de l’azote à ces cultures. Le plan de rotation des cultures est variable selon les régions, mais plusieurs producteurs ont déclaré cultiver le maïs, le soya et les céréales en intégrant des engrais verts et le plus souvent le trèfle en culture associée. Plus de la moitié des répondants étaient en production animale, bénéficiant ainsi de leurs propres engrais de ferme pour fertiliser les cultures. L’usage de fumier de poules pondeuses en vrac ou granulé est aussi très répandu. La contrainte de la saturation des sols en phosphore apparaissait comme une contrainte importante pour la moitié des répondants tandis qu’elle était négligeable pour l’autre. Les producteurs interrogés en 2015 ont déclaré ne pas avoir observé de diminution importante de l’efficacité fertilisante des engrais de ferme ces dernières années, ni d’effet remarquable des conditions climatiques sur cette efficacité. Mais ils accordaient une importance relativement importante en général aux effets climatiques, à la pression des mauvaises herbes, à la santé des sols et aux types de rotation et d’engrais verts sur l’efficacité de ces engrais de ferme. Essayer d’autres engrais verts, rechercher d’autres sources d’azote organique et introduire de nouvelles cultures apparaissaient comme étant les solutions à favoriser pour améliorer l’efficacité de la fertilisation azotée. Suite à cette consultation, un projet de recherche a été initié pour comparer l’efficacité des engrais verts de légumineuses de pleine saison à fournir de l’azote aux cultures subséquentes en conditions défavorables, par rapport aux légumineuses associées ou cultivées après des céréales.

TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction.....	1
2	Méthodologie	3
3	Résultats	4
3.1	Répartition régionale des répondants.....	4
3.2	Intégration culture - élevage	4
3.3	Cultures et superficies déclarées pour l'année 2015	5
3.4	Caractérisation des rotations pratiquées	5
3.5	Engrais verts utilisés	6
3.6	Prairies et jachères	6
3.7	Les effluents d'élevage (engrais de ferme) utilisés	7
3.8	Les pratiques liées à la fertilisation organique.....	7
3.9	L'intensité de travail de sol.....	9
3.10	Appréciation des niveaux de carences en azote, de l'efficacité des engrais de ferme et de l'impact des conditions météorologiques.....	9
3.11	Appréciation des facteurs influençant l'efficacité de la fertilisation azotée.....	10
3.12	Quelques pratiques envisagées pour optimiser la fertilisation azotée.....	11
3.13	Orientations pour améliorer la fertilisation azotée des sols en cultures de grains biologiques.....	12
3.14	Pratiques proposées par les producteurs.....	13
4	Discussion	14
5	Conclusion	17
	Références.....	18
	Annexe A.....	22

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Répartition des répondants selon les régions administratives	4
Tableau 2 Proportions des répondants pratiquant un élevage.....	4
Tableau 3 Cultures et superficies déclarées pour l'année 2015.....	5
Tableau 4 Rotations types pratiquées en culture de grains biologiques	5
Tableau 5 Les engrais verts utilisés	6
Tableau 6 Utilisation des prairies et jachères	7
Tableau 7 Les effluents d'élevage utilisés	7
Tableau 8 Appréciation des carences en azote et de l'efficacité des engrais de ferme	9
Tableau 9 Appréciation des variations climatiques.....	10
Tableau 10 Niveaux d'importance de facteurs influençant l'efficacité de la fertilisation azotée.....	11
Tableau 11 Pratiques d'optimisation de la fertilisation azotée.....	12
Tableau 12 Appréciation des pratiques proposées.....	13

1 INTRODUCTION

L'agriculture biologique a émergé durant les années 1924-1970 et connaît depuis 1990 une croissance remarquable (Ma et Sauerborn, 2006). Le marché des aliments et autres produits biologiques a atteint 64 milliards de dollars dans le monde en 2012 (Sohata, 2014). À la fin de 2012, près de 37,5 millions d'hectares (ha) étaient dédiés aux fins de la production biologique dans 164 pays à travers le monde (Willer et al., 2014). L'Amérique du Nord se situe en 5^e position avec 3 millions d'ha en cultures biologiques, étant précédée par l'Océanie (12,2 millions d'ha), par l'Europe (11,2 millions d'ha), par l'Amérique latine (6,8 millions d'ha) et par l'Asie (3,2 millions d'ha). Au Québec, depuis quelques années, l'agriculture biologique connaît également une croissance importante. De 2006 à 2015, le nombre de fermes certifiées biologiques est passé de 855 à 1 249, représentant une hausse de l'ordre de 46% (<http://www.portailbioquebec.info/>). En 2015, 352 entreprises opéraient en production de céréales et oléagineux biologiques, soit une augmentation de 30% par rapport à 2006. Au Québec, ce secteur de production biologique est celui qui occupe la plus grande part de marché par rapport à la production conventionnelle. Dans la province, 5% des grains consommés sont issus de la production biologique.

L'agriculture biologique exploite fondamentalement la complémentarité entre le sol, les cultures et l'élevage. La présence d'un troupeau de ruminants sur une exploitation est un atout. En effet, les effluents d'élevage sont des sources de fertilisants pour les cultures, tandis que l'inclusion de prairies dans la rotation favorise la lutte aux mauvaises herbes et le maintien de la fertilité du sol (ITAB, 2011). Ces deux derniers aspects sont des enjeux majeurs dans les systèmes de culture en régie biologique (Askegaard et al., 2011; Fontaine et al., 2012; ITAB, 2011). Alors que l'agriculture conventionnelle utilise des engrais de synthèse seuls ou en combinaison avec les engrais de ferme pour améliorer le rendement, les agriculteurs en régie biologique sont restreints à l'utilisation d'engrais « naturels » au sens du respect strict des liens et équilibres naturels entre le sol, les plantes et les animaux (Forge, 2004). La fertilité et l'activité biologique du sol doivent être maintenues et augmentées par une succession variée de cultures qui inclut des engrais verts, des légumineuses, des cultures dérobées ou des plantes à enracinement profond de même que par des apports d'amendements organiques d'origine animale ou végétale, tirés autant que possible de la production biologique (ONGC, 2006). Des baisses de performances sont rapportées en comparaison à la régie conventionnelle, mais sont en général compensées par une meilleure valorisation des produits récoltés et une meilleure marge de profil (Drogoul et al., 2004).

La productivité des cultures est particulièrement affectée par le climat, par sa fluctuation et par des conditions climatiques défavorables (Ouranos, 2014). Les études sur le climat canadien ont démontré des changements climatiques récents et à venir. La température moyenne annuelle, depuis 1971 aurait augmenté dans le sud du Québec de 0,2°C à 0,4°C par décennie avec un réchauffement plus important pour les températures minimales particulièrement en hiver (Ouranos, 2014). Les précipitations annuelles auraient augmenté d'environ 5 % à 35 % sur la même période avec les plus fortes augmentations en hiver (Ouranos, 2014). Dans le futur, le climat se réchaufferait sur l'ensemble du territoire québécois, et de façon plus marquée en hiver qu'en été. Une augmentation des précipitations est aussi prévue, mais surtout en saison hivernale.

Les excès d'eau ont un impact direct sur les cultures et indirect sur le lessivage des nutriments. Le ruissellement de surface et l'érosion des sols favorisent le transfert d'éléments nutritifs vers les eaux de surfaces et/ou les

nappes souterraines (Michaud et al., 2012; Gasser et al., 2002; Guertin et al. 2000). Toutefois, peu d'études permettent de comparer en conditions réelles l'impact des changements climatiques sur la disponibilité de l'azote aux cultures. Certaines études simulant ces changements climatiques rapportent d'ailleurs des effets nuls sur les pertes de nitrates où l'augmentation des rendements et du prélèvement de l'azote, engendrée par la hausse de la température du sol et la minéralisation de l'azote, aurait contrecarré l'effet de la hausse des précipitations sur le lessivage des nitrates (Patil et al., 2010). Tremblay et al. (2012) ont étudié, dans une méta-analyse à l'échelle nord-américaine, les effets croisés des propriétés du sol et des conditions météorologiques (les unités thermiques maïs cumulées, les précipitations cumulées et leur répartition 30 jours avant et 15 jours après l'application d'azote en post-levée) sur la réponse du maïs à la fertilisation azotée. Le régime des précipitations aurait eu un effet plus marqué sur la réponse à l'azote dans les sols à texture fine, avec une augmentation importante des rendements dans des conditions de pluies abondantes et bien réparties.

Certains membres du Syndicat des producteurs de grains biologiques du Québec (SPGBQ) ont observé des carences récurrentes en azote au cours des dernières saisons (2012-2013-2014) au point de remettre en question l'efficacité fertilisante des engrais de ferme sous l'influence de conditions climatiques défavorables. La présente étude avait donc pour objectif de s'enquérir de la situation auprès de producteurs de grains biologiques afin d'établir un portrait de la situation et d'identifier des axes de recherche visant l'amélioration de la fertilisation azotée dans les systèmes de production de grains biologiques. De façon spécifique, cette étude menée à l'aide d'un questionnaire devait permettre :

- de décrire les systèmes de production actuels, en matière de cultures, d'engrais verts, de sources d'engrais et d'autres pratiques de fertilisation chez les producteurs de grains biologiques ;
- de faire ressortir les circonstances sous lesquelles la fertilisation azotée et l'efficacité des engrais de ferme sont limitées, et plus particulièrement sous l'effet de conditions climatiques défavorables;
- de relever les solutions déjà employées chez les producteurs en plus d'examiner avec eux l'acceptabilité d'autres solutions pour atténuer l'effet des conditions climatiques défavorables;
- de faire ressortir des axes de recherche pouvant améliorer l'efficacité de l'azote en régie biologique, sur la base des résultats de la consultation.

2 MÉTHODOLOGIE

La consultation a été menée auprès de producteurs de grains en régie biologique. La démarche visait à adresser un questionnaire au plus grand nombre de producteurs répartis dans les différentes régions agricoles du Québec durant l'été et l'automne 2015. Le choix des répondants a été laissé aux soins du secrétariat du Syndicat des producteurs de grains biologiques au Québec (SPGBQ). Cent quarante-quatre (144) producteurs sont enregistrés à l'Union des producteurs agricoles (UPA) à titre de producteurs biologiques en cultures commerciales. Le questionnaire en formulaire PDF a été envoyé par courriel via le secrétariat du syndicat à 75 de ces producteurs, dont 65 étaient membres du SPGBQ en 2015. Les réponses ont été collectées par courrier ou par télécopieur. Une page du questionnaire de consultation est présentée à l'Annexe 1 en exemple. Les questions visaient principalement à :

- faire une typologie des principales cultures en agriculture de grains biologiques au Québec;
- catégoriser les fermes par la présence ou non d'un élevage, du type d'élevage s'il y a lieu, les différents types d'engrais de ferme utilisés, qu'ils soient produits à la ferme ou importés ;
- définir les différentes rotations pratiquées et les engrais verts associés ;
- décrire les modes et périodes d'épandage des engrais de ferme et apprécier la perception de leur efficacité;
- décrire les modes de gestion des engrais verts : modes et périodes d'enfouissement ;
- apprécier sommairement le niveau d'intensification du travail du sol par le type de labour et la gestion des mauvaises herbes, qui influencent la mise en disponibilité de l'azote ;
- sonder la perception des producteurs quant à l'impact des effets climatiques sur l'efficacité des engrais de ferme et des solutions à préconiser pour réduire cet impact ou augmenter la disponibilité de l'azote aux cultures.

3 RÉSULTATS

Sur les 75 questionnaires envoyés aux producteurs, 16 ont été complétés et retournés au Syndicat, pour un taux de participation de 21,3 %. Vu le nombre restreint de répondants (16), l'enquête a été analysée de manière qualitative avec peu d'inférences statistiques. Les informations recueillies ont été croisées avec certains principes fondamentaux de l'agriculture biologique, soit le renoncement aux engrais de synthèse et la gestion raisonnée des techniques agronomiques dans la conduite de la fertilisation. La synthèse des informations recueillies devrait néanmoins conduire à dégager quelques axes de recherche.

3.1 RÉPARTITION RÉGIONALE DES RÉPONDANTS

Le Tableau 1 fait état de la répartition régionale des producteurs participants. Une forte proportion des répondants se situait dans les régions administratives de la Montérégie et du Centre du Québec (10/16).

Tableau 1 - Répartition des répondants selon les régions administratives

Région administrative	Nombre de répondants
Bas-Saint-Laurent	1
Saguenay-Lac-Saint-Jean	1
Mauricie	1
Lanaudière	1
Laurentides	2
Montérégie	6
Centre-du-Québec	4
TOTAL	16

3.2 INTÉGRATION CULTURE - ÉLEVAGE

Neuf producteurs sur 16 étaient des éleveurs (Tableau 2). Six d'entre eux étaient des producteurs de bovins laitiers ou de boucherie ayant des prairies dans leurs rotations pour leur approvisionnement en fourrages.

Tableau 2 - Proportion des répondants pratiquant un élevage

Espèce animale	Nombre et proportion des répondants		Localisation
	Nombre	Proportion	
Bovins laitiers	4	25,00 %	Laurentides
			Saguenay-Lac-Saint-Jean
			Montérégie (2)
Bovins de boucherie	2	12,50 %	Centre-du-Québec
			Bas-Saint-Laurent
Porcs	1	6,25 %	Montérégie
Poules pondeuses et poulettes	2	12,50 %	Lanaudière, Montérégie
TOTAL	9	56,25 %	

3.3 CULTURES ET SUPERFICIES DÉCLARÉES POUR L'ANNÉE 2015

La question portant sur les principales cultures en place pour la saison 2015, et les superficies correspondantes et les engrais verts associés a permis de lister les différentes cultures annuelles exploitées pour la plupart à des fins commerciales (Tableau 3). À noter que les surfaces en prairie des producteurs de bovins n'ont pas été déclarées.

Tableau 3 - Cultures et superficies déclarées pour l'année 2015

Cultures	Nombre de répondants	Superficies cultivées (ha)
Maïs-grain	10	385
Soya	10	530
Blé (printemps et automne)	5	232
Épeautre de printemps	4	277
Avoine	4	148
Sarrasin	3	79
Chanvre	1	97
Brocoli/Chou-fleur	1	20
Céréale d'automne (non précisée)	1	25
Grains mélangés (avoine + blé + pois)	5	203
Orge	3	36
Seigle (automne et hiver)	4	106
Engrais vert (non spécifié)	1	33

En cumulant le nombre de producteurs et les superficies déclarées par culture, il apparaît que le soya, le maïs-grain et les diverses céréales – épeautre de printemps, blé, grains mélangés (avoine + blé + pois) – avoine et seigle étaient les principales cultures d'intérêt au printemps 2015. Ces mêmes cultures apparaissent aussi le plus fréquemment dans les rotations déclarées.

3.4 CARACTÉRISATION DES ROTATIONS PRATIQUÉES

Les producteurs ont déclaré pratiquer des rotations de trois ans et plus, la plupart du temps selon une succession maïs-grain – soya – céréales et avec une fréquence parfois plus élevée de soya (Tableau 4).

Tableau 4 - Rotations types pratiquées en culture de grains biologiques

Durée	Succession de cultures	Observation
3 ans	Maïs – Soya – Céréales	Sans élevage de ruminants
4 ans	Maïs – Soya – Soya – Céréales	Sans élevage de ruminants
5 ans et +	Maïs – Soya – Soya – Céréales (sous ensemencées ou non) suivie de la prairie (3 ans et plus)	Avec élevage de ruminants

Les producteurs de bovins laitiers et de boucherie avaient les cycles de rotation les plus longs chez ces derniers, la prairie est habituellement établie après la céréale et suivie du maïs après son enfouissement. Un producteur est passé d'une rotation Soya – Soya – céréales (3 ans) à une rotation de quatre ans : Maïs – Soya – Soya – Céréales en raison de la saturation des sols en phosphore. Un autre a substitué le Soya dans la rotation Blé – Épeautre – Soya – Avoine par du Sarrasin (Blé – Épeautre – Sarrasin – Avoine) pour permettre un meilleur contrôle des mauvaises herbes. Même si le soya prend de l'expansion dans la rotation en régie biologique, rappelons qu'il y a toujours avantage à alterner cette culture avec d'autres ou de limiter sa fréquence dans la rotation afin de réduire l'incidence des maladies et soutenir la qualité des sols.

3.5 ENGRAIS VERTS UTILISÉS

Lors de la déclaration des cultures et des rotations, les producteurs devaient également préciser les engrais verts utilisés, soit en culture intercalaire, à la dérobée ou cultivés en plein champ à l'année (Tableau 5). Tous les producteurs cultivaient un ou plusieurs engrais verts. L'engrais vert de trèfle était le plus souvent utilisé.

Tableau 5 - Les engrais verts utilisés

Engrais verts	Nombre de répondants
Raygrass	3
Pois	1
Avoine + Pois	2
Radis fourrager + moutarde	1
Trèfle rouge ou blanc	9
Seigle	1
Avoine + Radis huileux	1
Mélange prairie (Trèfle + Mil + Luzerne)	2

3.6 PRAIRIES ET JACHÈRES

Nous définissons la prairie comme une culture de plantes fourragères, principalement composée de graminées et de légumineuses, destinée à être pâturée ou fauchée. Une jachère (annuelle) plantée d'un engrais vert peut être assimilée à une prairie sauf que, à défaut d'un contrat de vente à un éleveur, sa biomasse est destinée à être enfouie. Quatre des six éleveurs de bovins ont déclaré inclure la prairie dans leur rotation avec les cultures annuelles de grains.

Un seul producteur a déclaré cultiver une jachère annuelle de trèfle. Les onze autres producteurs cultivent d'une façon ou d'une autre soit une demi-jachère sans engrais vert (1 producteur) ou avec un engrais vert de fin de saison (8), soit une jachère accidentelle pour contrôler les mauvaises herbes (2) (Tableau 6). Les demi-jachères sont généralement réalisées dans les petites céréales. Les engrais verts sont semés en intercalaire ou à la dérobée et croissent après le battage des céréales jusqu'à leur enfouissement, avec un travail du sol à l'automne.

Tableau 6 - Utilisation des prairies et jachères

	Nombre de répondants
Prairie	4
Jachère annuelle de trèfle	1
Demi-jachère morte	1
Demi-jachère vive (ou verte)	8
Jachère occasionnelle	2

3.7 LES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE (ENGRAIS DE FERME) UTILISÉS

Dix producteurs sur 16 ont rapporté utiliser des engrais de ferme de poules pondeuses (Tableau 7), huit producteurs utilisent des effluents de bovins et sept utilisent ceux de poulets de chair. Les lisiers de porc étaient les moins souvent utilisés (4). Les effluents de poules pondeuses et de volailles sont probablement les plus souvent importés en raison de leur efficacité fertilisante élevée. Plusieurs producteurs ont également déclaré utiliser des fientes séchées et cubées de poules pondeuses (ex. Actisol 5-3-2), ce qui explique la prédominance d'utilisation de ces engrais de ferme.

Tableau 7 - Les effluents d'élevage utilisés

Type	Nombre de producteurs par catégorie			
	Bovins	Porcs	Volailles à chair et poulettes	Poules pondeuses
Toute forme confondue	8	4	7	10
Qui en importent	2	3	6	8
Lisier	4	4		
Fumier frais	4		7	
Fumier composté	3			
Fientes fraîches				5
Fientes séchées				5
Entreposé en amas	1*		4	4

3.8 LES PRATIQUES LIÉES À LA FERTILISATION ORGANIQUE

La majorité des producteurs (15 sur 16) ont recours à un service-conseil pour réaliser leur plan agroenvironnemental de fertilisation (PAEF). Huit parmi eux limitent leurs doses d'épandage sous la contrainte de la saturation du sol en phosphore. Cinq sont limités par la quantité d'engrais de ferme disponible, au nombre desquels deux répartissent les apports au prorata des surfaces à fertiliser. Le besoin dans ce cas peut ne pas être couvert par les quantités apportées. Les périodes d'épandage seraient fréquemment perturbées par les conditions météorologiques (11/16). Onze producteurs (11/16) déterminent leurs doses d'épandage après la caractérisation (analyse) des effluents alors que trois se réfèrent seulement aux valeurs de références publiées

par le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). Treize parmi eux (13/16) affirment que la révision des coefficients d'efficacité des effluents par CRAAQ n'a eu aucune influence sur leurs doses d'épandage. Quatorze producteurs (14/16) épandent des engrais de ferme à l'automne précédent la saison de culture, souvent après le battage des céréales. Sept producteurs épandent au printemps avant le semis et dix déclarent épandre après la levée dans le maïs, les céréales ou les prairies. Un producteur donné peut cependant épandre ses engrais de ferme à différentes périodes selon les cultures et le type d'engrais de ferme (maïs, soya, céréales de printemps ou d'automne).

La période d'épandage a un impact sur la valeur fertilisante en azote des engrais de ferme, qui elle dépend aussi du type d'engrais de ferme et de la culture visée. Par exemple, les fumiers contenant de la litière et une forte proportion de leur azote sous forme organique doivent être épandus tôt en saison et même tôt à l'automne l'année précédente pour que cet azote soit minéralisé dans le sol et rendu disponible au moment où la culture est en pleine croissance (N'dayegamiye et al., 2004). À l'inverse, les engrais à teneur élevée en azote ammoniacal (minéral) comme les lisiers de porc et parfois les fientes de poules pondeuses ou les fumiers de volailles doivent être épandus en tentant de se rapprocher davantage des périodes intensives de prélèvement, pour limiter les pertes d'azote, dues au lessivage du nitrate entre autres. À cet effet, les épandages de lisier de porc (ou à forte concentration d'azote ammoniacal) sont considérés les plus efficaces en post levée des cultures les plus exigeantes comme le maïs et les moins efficaces lorsqu'ils sont épandus à l'automne et d'une efficacité intermédiaire lorsqu'ils sont appliqués en présemis (CRAAQ, 2013). En revanche, il existerait des différences quant à l'efficacité des épandages de lisiers réalisés plus tardivement à l'automne par rapport à ceux qui sont réalisés plus tôt, notamment après la récolte des céréales (OAG, 2011). Les épandages tardifs permettraient de limiter le lessivage du nitrate avec la réduction de la température et de l'activité biologique du sol, par rapport à des épandages plus hâtifs où l'azote serait minéralisé, nitrifié et exposé aux pluies automnales et à la fonte des neiges. À cet effet, plusieurs producteurs ont mentionnés l'importance de mettre en place des engrais verts à l'automne pour capter tout excès d'azote et certains enfouissent même les pailles de céréales pour immobiliser l'azote. Quoi qu'il en soit, peu importe le moment d'épandage à l'automne, l'efficacité des engrais organiques, dont l'azote est sous forme minérale ou facilement minéralisable, serait plus élevée s'ils sont épandus l'année même de la culture. Toutefois, les épandages dans des bonnes conditions au printemps avant le semis ou en post levée de la culture demeurent souvent un défi. Un projet est actuellement en cours à l'IRDA pour comparer l'efficacité de différentes périodes d'épandages (printemps, automne tôt et tard) du lisier de porc au niveau des prélèvements et des pertes dans l'eau et l'atmosphère (Girard, 2014).

Certains modes d'épandage et une incorporation rapide des fumiers et des lisiers au sol peuvent aussi améliorer l'efficacité fertilisante de l'azote en réduisant les émissions ammoniacales et en favorisant la minéralisation de l'azote organique. Quatre producteurs ont déclaré incorporer simultanément les engrais de ferme au sol pendant leur épandage, six les incorporent le jour même et quatre le jour suivant. Quatre producteurs ont rapporté le faire dans un intervalle de deux à sept jours après l'épandage. Rappelons que les pertes d'azote par émissions ammoniacales sont les plus intensives dans les premières minutes suivant l'épandage et décroissent de manière exponentielle durant les premières 24 heures, d'où l'importance d'incorporer très rapidement les lisiers après l'épandage. La majorité des producteurs ont déclaré enfouir les engrais verts à l'automne (octobre ou novembre) tandis que trois ont déclaré les enfouir au printemps. Le sarclage répété du sol a également été

mentionné par quatre producteurs comme autre pratique favorisant la mise en disponibilité de l'azote dans le sol.

3.9 L'INTENSITÉ DE TRAVAIL DE SOL

La plupart des producteurs estiment que la qualité de leur sol est bonne (11 réponses), d'autres ont répondu qu'elle est moyenne (3) ou très bonne (4). En ce qui a trait au type de travail de sol, neuf producteurs déclarent faire du travail conventionnel, tandis que quatre autres pratiquent le travail minimum du sol. Le travail primaire est encore réalisé par plusieurs à la charrue à versoirs annuellement ou de façon plus occasionnelle, seulement après la récolte du maïs. Mais les outils de travail primaire et secondaire sont autrement relativement diversifiés (chisel, herse déportée («Offset»), déchaumeuse, cultivateur lourd, herse rotative, rotobèche et vibroculteur) et doivent dépendre du type de sol et de la culture visée. Huit producteurs ont aussi déclaré utiliser la sous-soleuse occasionnellement, après le nivellement des terres notamment, tandis que deux autres l'utilisent plus fréquemment aux deux ou trois ans. Trois producteurs rapportent que leur travail de sol est très intense. Ces derniers correspondent à ceux ayant signalé des problèmes de compaction de leur sol. Le travail du sol conditionne les processus microbiens de minéralisation de l'azote (Chaussod, 1996), mais ne devrait pas être trop intensif au risque de trop pulvériser le sol, de diminuer la proportion des macropores (>30 µm) et, par conséquent, de provoquer un mauvais drainage et une faible circulation d'air dans le sol, limitant ainsi la croissance et l'activité des microorganismes pour la minéralisation de l'azote (N'Dayegamiye, 2007).

3.10 APPRÉCIATION DES NIVEAUX DE CARENCES EN AZOTE, DE L'EFFICACITÉ DES ENGRAIS DE FERME ET DE L'IMPACT DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES

La problématique des carences en azote n'a pas concerné tous les producteurs pour la saison 2015. Huit producteurs rapportent ne pas observer de carences en azote dans leurs cultures ou alors ces carences seraient d'une importance négligeable. Sept autres trouvent ces carences importantes. Pour les engrais de ferme, ils sont presque unanimes que ces derniers demeurent toujours efficaces, car seulement trois parmi eux rapportent une perte d'efficacité (Tableau 8).

Tableau 8 - Appréciation des carences en azote et de l'efficacité des engrais de ferme

Observations	Nombre	Proportion
N'observe pas de carences en azote	1	6,25 %
Carences peu importantes	7	43,75 %
Carences importantes	7	43,75 %
Les engrais de ferme sont toujours efficaces	13	81,25 %
Les engrais de ferme sont de moins en moins efficaces	3	18,75 %

Ces producteurs ont dans l'ensemble été plus nombreux (plus de 50 %) à estimer que la pluviométrie et les températures sont demeurées globalement favorables (normales) au cours de ces dernières saisons (2012, 2013, 2014) (Tableau 9). Mais des précipitations très abondantes et des températures trop basses après la levée des cultures et durant la saison de croissance auraient le plus grand impact sur l'efficacité des engrais.

On constate ainsi que le niveau d'efficacité des engrais de ferme et les impacts potentiels des variations climatiques en cours sur la productivité de leurs cultures, particulièrement l'efficacité de la fertilisation azotée, ne semblent pas préoccuper ces producteurs à un haut niveau, malgré la problématique soulevée au départ par certains producteurs. Les meilleurs rendements obtenus en 2015 par les producteurs, malgré un printemps relativement pluvieux, pourraient avoir atténué cette perception de l'influence des effets climatiques sur l'efficacité fertilisante des engrais organiques.

Tableau 9 - Appréciation des variations climatiques

Période	Pluviométrie			Température		
	Trop faible	Normale	Très abondante	Trop basse	Normale	Trop élevée
À l'automne précédent la saison	-	12	1	2	10	-
Pendant ou à la suite de l'épandage des engrais de ferme	-	11	1	3	8	-
Après la levée de la culture	1	8	5	5	8	1
Durant la période de pleine croissance de la culture	1	8	3	2	9	2

3.11 APPRÉCIATION DES FACTEURS INFLUENÇANT L'EFFICACITÉ DE LA FERTILISATION AZOTÉE

Interrogés sur le niveau d'importance qu'ils accordent à certains facteurs qui peuvent réduire l'efficacité fertilisante des engrais de ferme, les producteurs devaient pondérer leurs réponses sur une échelle de 1 à 5, (1 = très peu important, 2 = peu important, 3 = important, 4 = assez important et 5 = très important) (Tableau 10).

Les appréciations portées sur les différents facteurs varient d'un producteur à l'autre. Mais en combinant par groupe de côte (très important + assez important + important = important, et peu important + très peu important = peu important), on peut relever certaines tendances. Ainsi, huit producteurs sur 14 pensent que les exigences du cahier de charge relativement à l'usage des engrais de ferme en agriculture biologique ne limitent pas nécessairement l'efficacité des engrais. L'auteur de la côte 5 a souligné que ces exigences sont indispensables en agriculture biologique et sont nécessaires pour le label. Les avis sont également partagés sur la contrainte de la saturation des sols en phosphore. Neuf producteurs estiment que cette contrainte réduit l'efficacité des engrais de ferme alors que sept autres trouvent cette contrainte peu importante. Parmi les neuf producteurs trouvant la contrainte importante, on remarque que huit limitent leurs doses d'épandage sous cette contrainte (section 3.8). Cette contrainte à l'épandage des engrais de ferme est donc dichotomique pour certains, elle est très importante, pour d'autres pas.

La révision à la hausse des coefficients d'efficacité des nutriments (CRAAQ; 2013) aurait pu entraîner une diminution des quantités d'engrais organiques appliquées. Les producteurs avaient un avis partagé sur l'effet de cette révision. Huit ont perçu une baisse importante d'efficacité attribuée à cette révision tandis que sept l'ont perçu moins importante. Toutefois, les producteurs sont presque unanimes sur l'effet du type de sol et de son

état de santé (compaction) (12 contre 3), de même que sur l'effet des conditions défavorables du sol ou du terrain au moment des travaux (12 contre 3) sur l'efficacité de la fertilisation azotée. Les producteurs s'accordent encore davantage (14 contre 1) sur l'effet des conditions climatiques défavorables (trop ou pas assez d'eau et températures trop basses ou trop élevées) sur l'efficacité fertilisante des engrais de ferme. Quatorze producteurs (14 contre 1) ont également noté l'importance de la pression et du contrôle des mauvaises herbes. Pour onze producteurs (11 contre 4), l'espèce d'engrais vert est également reconnue importante sur l'efficacité de la fertilisation azotée. La longueur du cycle de la rotation et la succession des cultures sur la parcelle sont aussi reconnues comme étant des facteurs importants pour le recyclage de l'azote dans le système (10 contre 5). Aux yeux des producteurs, l'absence de jachère ne semble pas affecter l'efficacité de la fertilisation azotée (9 contre 5 trouvent la jachère peu importante) alors que l'absence de prairie dans la rotation pourrait avoir son importance (10 contre 6 trouvent ça important). Enfin, les producteurs ne semblent pas attribuer une importance particulière aux types d'engrais de ferme utilisés, sauf les fumiers en amas et compostés qui auraient une moins grande efficacité fertilisante en azote.

Tableau 10 - Niveaux d'importance de facteurs influençant l'efficacité de la fertilisation azotée

Facteurs	Niveau d'importance				
	5	4	3	2	1
Les exigences du cahier de charge en agriculture biologique pour l'application des fumiers et lisiers	1	3	2	2	6
La contrainte de la saturation des sols en phosphore	5	1	3	3	4
Les coefficients d'efficacité des nutriments révisés du CRAAQ (2013)	2	3	3	3	4
Le type de sol et son état de santé, compaction	5	3	4	2	1
Les conditions du sol (de terrain) défavorables pour les travaux	6	3	3	3	0
Les conditions climatiques défavorables (trop ou très peu d'eau, température trop basse ou élevée)	6	6	2	0	1
La pression des mauvaises herbes	6	5	3	1	0
Le type d'engrais verts	3	3	5	1	3
Le type de rotation (longueur du cycle et cultures)	4	5	1	4	1
L'absence de jachère	2	2	1	1	8
L'absence de prairie	3	2	5	2	4
Le type d'effluent : - Lisier	2	2	3	1	2
- Fumier frais	2	3	2	2	2
- Fumier en amas	1	1	1	1	5
- Fumier composté	1	1	2	1	5

3.12 QUELQUES PRATIQUES ENVISAGÉES POUR OPTIMISER LA FERTILISATION AZOTÉE

En complément à la question précédente, il a été demandé aux producteurs de proposer des pratiques qu'ils préconiseraient pour optimiser la fertilisation azotée dans leurs systèmes face aux aléas climatiques (Tableau 11). Un producteur a préconisé l'usage de fumiers de volailles et de lisiers de porcs comme source

d'azote efficace. Pour éviter les accumulations d'eau localisées, un autre a proposé d'améliorer le drainage souterrain et le nivellement de surface dans les endroits problématiques. Un autre producteur conseille l'épandage de fumier après le battage des céréales suivi d'un semis d'engrais verts de pois + avoine enfoui à l'automne comme source d'azote efficace pour la saison suivante. Un autre producteur préconise la combinaison de 8 t/ha de fumier en amas et de 1 t/ha de fientes de poules granulées. Cinq autres producteurs préconisent l'épandage de fumier de poules granulé appliqué en bande près des rangs de maïs. Trois producteurs proposent l'adoption de la prairie (jachère annuelle). Cinq producteurs proposent la culture sur billons et le sarclage répété pour les cultures qui le permettent ce qui améliorerait le taux de minéralisation de l'azote. Six producteurs ont précisé ne pas épandre le fumier à l'automne s'il n'y a pas de cultures vivantes sur le champ.

Tableau 11 - Pratiques d'optimisation de la fertilisation azotée

Pratiques	Nombre
Utilisation accrue de fumier de volailles et de lisier de porcs	1
Drainage souterrain et nivellement de surface dans les endroits problématiques	1
Fumier de poulet après le battage de céréales, semis d'avoine + pois à enfouir à l'automne	1
Combinaison fumier en amas + fientes de poules granulées (8 + 1 t/ha respect.)	1
Ne pas appliquer de fumier quand la température du sol est inférieure à 10°C	2
De longues périodes de prairies (jachères vertes)	3
La culture sur billons	4
Fientes de poules déshydratées et granulées en bande le long des rangs	5
Ne pas appliquer de fumier à l'automne s'il n'y a pas de culture vivante	6

3.13 ORIENTATIONS POUR AMÉLIORER LA FERTILISATION AZOTÉE DES SOLS EN CULTURES DE GRAINS BIOLOGIQUES

Appeler à juger des axes de recherche proposés pour optimiser la fertilisation azotée en grandes cultures de grains biologiques, les répondants devaient pondérer leur réponse sur une échelle de 1 à 5 (1 = très peu important, 2 = peu important, 3 = important, 4 = assez important et 5 = très important). Le Tableau 12 présente les résultats cumulés (cote 1+2 = moins important, cote 3+4+5 = plus important).

Si le manque de prairie dans la rotation est reconnu par plusieurs producteurs (10 contre 6) comme un des facteurs responsables de la baisse d'efficacité de la fertilisation azotée (Tableau 10), l'option de la jachère annuelle semée d'un engrais vert leur semble également acceptable (11 contre 4). Si cette jachère annuelle est une option, il serait pertinent d'étudier les différents engrais verts ou combinaisons d'engrais verts de type annuel ou vivace qui amènent le plus d'avantages en ce sens. Il pourrait s'agir entre autres de rallonger la demi-jachère instaurée après le battage des céréales en une jachère annuelle. Les producteurs préconisent aussi des essais d'introduction de nouvelles cultures (14 producteurs) de même que d'autres sources d'azote organique (14 producteurs) pour améliorer la fertilisation azotée et pour augmenter la matière organique du sol. Quatorze producteurs (14/16) ont appuyé la proposition de réviser les restrictions d'épandage en situation de sols saturés en phosphore et celle de réviser les coefficients d'efficacité des nutriments de ces engrais. Ils estiment aussi

qu'il est très important de développer un outil d'estimation en temps réel de la valeur fertilisante des effluents d'élevage (10 contre 6). Enfin, bien que, pour la majorité, les variations climatiques en cours ne sont pas inquiétantes (cf. Tableau 9), neuf producteurs contre sept pensent qu'il est très important de les considérer pour estimer les paramètres d'efficacité fertilisante des engrais de ferme en cours de saison. Finalement, sept producteurs contre cinq préconisent le sarclage répété qui en plus de lutter contre les mauvaises herbes, ameublisse le sol puis favorise l'activité microbienne et la minéralisation de l'azote.

Tableau 12 - Appréciation des pratiques proposées

Axes de recherche	Plus important	Moins important
Allonger le cycle de rotation avec :		
- l'instauration d'une jachère morte travail du sol, ou	5	8
- l'instauration d'une jachère avec engrais vert à incorporer	11	4
Essayer d'autres ou des combinaisons d'engrais verts	15	1
Rechercher d'autres sources d'azote organique	14	2
Essayer l'introduction de nouvelles cultures	14	2
Réviser les restrictions des quantités à épandre par rapport à la saturation du sol en phosphore	11	5
Réviser les coefficients d'efficacité des nutriments des effluents d'élevage	11	5
Développer un outil d'estimation en temps réel de la valeur fertilisante des effluents d'élevage	10	6
Considérer les indicateurs météorologiques dans l'estimation des coefficients d'efficacité des nutriments des engrais de ferme	9	7
Adapter le nombre de sarclages en fonction du type d'engrais de ferme et du type de sol	7	5

3.14 PRATIQUES PROPOSÉES PAR LES PRODUCTEURS

Les producteurs avaient également l'occasion de faire des suggestions quant aux pratiques qui pourraient améliorer l'efficacité de la fertilisation azotée pour les grandes cultures de grains biologiques. Les propositions les plus marquantes se résument ainsi :

- *Faire le point sur les systèmes les plus gagnants en fertilisation azotée, peu importe les variations climatiques.* En effet, différents exemples de rotations au Québec et ailleurs en Amérique du Nord ont été présentés dans la revue de Duval et al. (2014) sur des études en station de recherche et au champ où l'on tente de remplacer ou de combler l'azote venant des apports de fumier par des engrais verts de légumineuses, dont celle de N'Dayegamiye et al. (2014) ;
- *Rechercher d'autres plantes plus fixatrices d'azote et des modes de culture plus efficaces des engrais vert.* Cette recommandation complète la proposition *Essayer d'autres ou des combinaisons d'engrais verts* au Tableau 12, pour laquelle les producteurs sont les plus favorables;

- *Faire une foire à succès en tenant compte de la région, du sol et des cultures.* Les producteurs pourraient ainsi s'inspirer de cas vécus pour adapter et améliorer leurs systèmes de production ;
- Un producteur suggère d'évaluer l'activité microbienne du sol qui conditionne la mise en disponibilité des éléments nutritifs aux plantes. En effet, certaines activités enzymatiques comme l'uréase et la phosphatase alcaline du sol ou certaines populations cibles de microorganismes dans le sol révélées par de nouvelles techniques de séquençage de gènes (métagénomique), pourraient être de bons indicateurs de l'activité microbienne liée à l'agrégation du sol ou à la minéralisation de l'azote organique (Jeanne et Hogue, 2016) ;
- *La recherche de meilleurs inocula pour les différentes céréales (bactéries fixatrices des éléments nutritifs et symbiotes des graines cultivées)* qui peuvent constituer une source substantielle d'azote complémentaire (Hodge et Fitter, 2010). L'application d'inoculants commerciaux à base d'*Azospirillum* notamment est une solution connue pour pallier aux carences en azote, mais n'a pas fait ses preuves au Québec, comparativement à plusieurs pays en voie de développement où le potentiel de la biotechnologie permet d'augmenter le rendement des cultures ;
- Enfin, des essais sur l'efficacité de la culture sur billons en conditions de températures plus fraîches au printemps. Les billons seraient aussi une assurance contre les excès de pluie ;
- D'autres ont souligné l'importance de réduire les problèmes de compaction ou d'augmenter la teneur en matière organique des sols pour pallier aux conditions climatiques extrêmes qui pourraient prévaloir dans le futur.

4 DISCUSSION

Le plan de rotation général dégagé est une succession de cultures dans l'ordre maïs-grain – soya – céréales, incluant parfois une prairie. Cette pratique est conforme à celle décrite dans la littérature préconisant de mettre en tête de rotation et après la prairie (s'il en existe), la culture la plus exigeante en azote. La prairie met à la disposition du maïs en tête de rotation l'azote organique enfoui avec la biomasse. La légumineuse (soya) qui suit reconstitue un stock pour la petite céréale de l'année d'après (Petit et Jobin, 2005). À défaut de la prairie, les engrais verts sont intensivement utilisés pour renforcer la couverture du besoin en azote. Les demi-jachères, qui surviennent après le battage des céréales où la légumineuse poursuit son développement jusqu'à son enfouissement avec le travail du sol, recyclent l'azote des résidus de récolte et de l'engrais vert et assurent à la fois le contrôle des mauvaises herbes avec cette jachère de fin de saison.

Dans la pratique de la fertilisation, tous ces producteurs bénéficient d'un suivi conseil dans l'application du PAEF (15/16), ce qui témoigne de la conformité de leurs pratiques de fertilisation vis-à-vis les normes de protection de l'environnement. Les avis sont dichotomiques sur la contrainte de la saturation des sols en phosphore. Huit parmi eux limitent leurs doses d'épandage sous cette contrainte qu'ils trouvent très importante comparé à ceux (7) qui ne subissent pas ce facteur limitant. La disponibilité des engrais de ferme peut aussi limiter leur usage dans d'autres régions. Les huit producteurs aux sols saturés en phosphore sont donc plus enclins à rechercher des voies alternatives de couverture du besoin azoté avec le déficit qu'ils ne peuvent pas combler

avec des engrais de synthèse (Cabrera et Gordillo, 1995; Petit et Jobin, 2005). Il était donc prévisible que ces derniers trouvent cette contrainte très importante.

Quant à la période, au mode d'épandage et à l'enfouissement ou non des engrais de ferme, tous ces producteurs semblent conscients des pertes importantes d'éléments nutritifs qui surviennent lorsque l'engrais n'est pas enfoui. En effet, les coefficients d'efficacité sont tributaires de différents facteurs au nombre desquels la durée entre l'épandage et l'enfouissement est importante (CRAAQ, 2013). Quatre producteurs l'incorporent pendant l'application, six le jour de l'épandage et quatre le font entre 2 et 7 jours après; ces derniers pouvant connaître des pertes plus importantes.

Les producteurs sont presque unanimes (12 contre 3 au Tableau 10) sur l'effet du type de sol et de son état de santé (compaction) sur l'efficacité de la fertilisation azotée. La mise en disponibilité optimale de l'azote aux cultures dépend effectivement de la capacité du sol à minéraliser l'azote présent dans le sol ou apporté sous forme organique, et le type de sol et son état structural y jouent un rôle important (N'Dayegamiye, 2007). Bien que, en majorité, ils soutiennent que la pluviométrie et les températures sont demeurées globalement favorables au cours des dernières saisons (2012-2014), ils accordent une importance relativement élevée (14/16 au Tableau 10) à l'effet d'un sol trop humide ou trop sec et aux températures trop basses ou trop élevées sur la baisse d'efficacité des engrais de ferme. Plusieurs travaux ont démontré l'influence des conditions climatiques sur la disponibilité de l'azote des engrais de ferme (Griffin et Honeycutt, 2000; Liorca et Dendooven, 1991; Mkhabela et al., 2009). La prise en compte des conditions météorologiques pour établir les doses d'épandage serait éventuellement une option (9/16 au Tableau 12). Tel que rapportée, la pression des mauvaises herbes est aussi une contrainte majeure en agriculture biologique où le recours aux herbicides de synthèse est proscrit. Les mauvaises herbes entrent en concurrence avec les cultures dans l'utilisation des ressources (Bond et Grundy, 2001) et nuisent ainsi à la valorisation des engrais par les cultures.

Le choix de l'espèce d'engrais vert est également reconnu pour avoir une importance (11 contre 4 au Tableau 10) dans l'efficacité de la fertilisation azotée et l'essai de nouveaux engrais verts ou de mélanges serait la première piste à favoriser en recherche (15 contre 1 au Tableau 12). Des essais récents comparant l'efficacité de différents engrais verts ont permis à N'Dayegamiye et al. (2014) de positionner la vesce velue comme culture de pleine saison fournissant le plus d'azote au sol, suivie par le mélange trèfle rouge/trèfle ladino. Aucun répondant n'a toutefois rapporté utiliser la vesce velue. Les producteurs n'avaient peut-être pas encore pris connaissance de ce résultat de recherche, n'en étaient pas convaincus ou encore n'étaient pas en mesure de l'intégrer dans leur rotation. Quant à l'importance accordée (10 contre 5) à la longueur du cycle de rotation et la succession des cultures sur le recyclage de l'azote dans le système, Pouleur et Comeau (2011) ont affirmé que les rotations trop courtes pourraient expliquer une partie des baisses de rendements observés. Crookston et al. (1991) ont proposé une séquence d'au moins trois cultures dans la rotation. Petit et Jobin (2005) ont aussi conseillé de respecter un délai de retour des cultures sur une même parcelle.

Les producteurs semblent bien conscients du rôle que peut jouer une prairie sur l'accumulation de l'azote dans le sol et de sa capacité à fournir de l'azote aux cultures subséquentes, mais voient peu d'intérêt dans une jachère annuelle sans culture pérenne (10 contre 6 au Tableau 10). La majorité des répondants voient dans la jachère une immobilisation de parcelle durant une année sans revenu. Les producteurs optent habituellement pour la demi-jachère d'engrais verts qui se développe en fin de saison pour contrôler les mauvaises herbes et

apporter de l'azote au sol. Toutefois, en prolongeant cette demi-jachère en une prairie l'année suivante, on améliore les conditions du sol, on augmente la disponibilité de l'azote et la productivité des cultures subséquentes devraient rentabiliser la décision de l'inclure dans la rotation. Un projet a été initié en ce sens à la Plate-forme d'innovation en agriculture biologique de Saint-Bruno afin de comparer la performance de différents engrais verts de pleine saison, associés aux céréales ou implantés en fin de saison et leur contribution éventuelle en azote à la culture subséquente (Michaud, 2016). Trois autres projets combinant diverses formes d'engrais verts et d'engrais de ferme en production de grains biologiques sont également en cours à cette Plate-forme (Côté et N'Dayegamiye, 2014; Côté, 2015; N'Dayegamiye et Landry, 2015).

Par ailleurs, il est connu que le choix des cultures est essentiellement guidé par le marché du producteur et les conditions climatiques qui prévalent selon les localités. La croissance et le développement du maïs ou du soya sont par exemple limités par le manque de chaleur dans les régions périphériques plus fraîches alors que l'orge ou le blé y sont mieux adaptés (Bootsma et al., 2005). Les producteurs (14/16) préconisent cependant des essais d'introduction de nouvelles cultures de même que d'autres sources d'azote organiques (14/16) pour améliorer la fertilisation azotée, pour augmenter la matière organique du sol et pour éventuellement retirer d'autres sources de revenu.

La minéralisation de l'azote est favorisée dans un sol bien aéré et bien drainé (Chaussod, 1996; N'Dayegamiye, 2007). Le sarclage répété apparaît comme une pratique qui, en plus de lutter contre les mauvaises herbes, ameublisse le sol et favorise l'activité microbienne et la minéralisation de l'azote. Un émiettement excessif du sol favorisant une trop grande dégradation de la matière organique peut toutefois conduire à la dégradation de la structure et amener la compaction du sol. Les travaux de Gilbert et al. (2009) sur les effets de 3 à 4 passages de sarcler en loam argileux et en loam limoneux ont produit des résultats variables sur la teneur en nitrate dans le sol en cours de saison (tantôt de la minéralisation ou de l'immobilisation de l'azote), une légère diminution dans la stabilité de agrégats, mais n'ont pas produit de différences de rendement dans le blé. La recherche pourrait cependant conduire à une adaptation du nombre de sarclages en fonction du type d'engrais de ferme épandu et du type de sol pour prévenir un émiettement excessif du sol. Le recours à des engrais verts de pleine saison ou des prairies devrait aussi faire l'objet d'études en matière d'adaptation du travail de sol et de sarclage pour optimiser la mise en disponibilité de l'azote tout en offrant une meilleure résistance des sols face à la dégradation de leur structure.

5 CONCLUSION

Sans recours aux engrais de synthèse, la production de grains en régie biologique connaît certaines contraintes pour garantir un apport suffisant d'azote aux cultures exigeantes et plus particulièrement dans le contexte où le recours aux engrais de ferme est parfois limité et les conditions climatiques extrêmes interfèrent. Les techniques agronomiques employées pour améliorer la productivité des cultures en régie biologique sont multiples, allant du mode de travail du sol au choix des rotations de cultures et d'engrais verts associés pour favoriser un recyclage optimal de l'azote dans le système. Différentes combinaisons de cultures et d'engrais verts sont pratiquées à travers le Québec chez les producteurs et certaines sont évaluées en station de recherche. Le trèfle est fréquemment utilisé comme engrais vert dans les céréales, mais d'autres combinaisons de cultures et d'engrais verts seraient à essayer. Bien que le choix des cultures soit guidé par l'orientation du marché et les conditions environnementales locales, certaines d'entre elles méritent d'être expérimentées dans d'autres localités avec des adaptations en fonction de chaque région. Les conditions climatiques ont des effets directs sur les cultures, mais aussi de par leurs impacts sur les propriétés du sol et sur l'activité des microorganismes qui contribuent à rendre les éléments disponibles aux plantes. Il ressort de cette consultation que les producteurs interrogés en 2015 étaient sensibles aux effets des extrêmes climatiques sur la disponibilité de l'azote à leur culture, mais ils n'ont pas perçu de diminution importante de l'efficacité fertilisante des effluents d'élevage qu'ils ont utilisés ces dernières années, ni même d'effet important de conditions climatiques défavorables. Ils sont toutefois sensibles à l'effet des conditions de santé de leurs sols sur l'efficacité des engrais. Les producteurs montraient cependant de l'intérêt pour continuer à améliorer l'efficacité de la fertilisation azotée dans la production de grains biologiques, de même que pour les conditions de santé de leurs sols qui affectent selon eux l'efficacité des engrais.

Plusieurs pistes de solution ont été proposées par les producteurs pour améliorer l'efficacité de la fertilisation azotée en culture de grains biologiques. La réintroduction de prairies à base de légumineuses dans ce système nous apparaît comme étant la plus prometteuse, à la fois pour augmenter l'apport en azote au système et pour améliorer les conditions de sol. Malgré les pertes de revenu occasionnées par une année sans culture de grains, il est possible qu'une amélioration des conditions de sols et de la productivité des cultures subséquentes puisse compenser une partie de ces pertes et justifier du point de vue économique cette pratique. Des projets de recherche sont d'ailleurs en cours pour le vérifier.

RÉFÉRENCES

- Askegaard, M., Olesen, J. E., Rasmussen, I. A., et Kristensen, K. 2011. Nitrate leaching from organic arable crop rotations is mostly determined by autumn field management. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 142(3-4), 149-160.
- Bond, W., et Grundy, A. C. 2001. Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Research*, 41(5), 383-405.
- Bootsma, A., Gameda, S., et McKenney, D. W. 2005. Potential impacts of climate change on corn, soybeans and barley yields in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Soil Science*, 85(2), 345-357.
- Cabrera, M. L., et Gordillo, R. M. 1995. Nitrogen release from land-applied animal manures. Paper presented at the The 1995 Georgia Water Resources Conference, The University of Georgia, Athens, Georgia.
- Chaussod, R. 1996. La qualité biologique des sols : évaluation et implications. *Étude et Gestion des Sols*, 3, 4, numéro spécial, 261-278.
- Côté, C. et N'Dayegamiye, A. 2014. Effet des légumineuses, des fumiers et du compost sur la dynamique de l'azote et la diversité microbienne du sol en production biologique. Projet Innov'Action en cours 2014-2017. [En ligne] <http://www.irda.qc.ca/fr/projets/effet-des-legumineuses-des-fumiers-et-du-compost-sur-la-dynamique-de-l-azote-et-la-diversite-microbienne-du-sol-en-production-biologique/>
- Côté, C. 2015. Impacts agronomiques et environnementaux de divers types d'engrais organiques et d'engrais verts en production biologique de grandes cultures. Projet Cultivons l'Avenir 2 en cours 2015-2018. [En ligne] <http://www.irda.qc.ca/fr/projets/impacts-agronomiques-et-environnementaux-de-divers-types-d-engrais-organiques-et-d-engrais-verts-en-production-biologique-de-grandes-cultures/> (consultée le 10 août 2016).
- CRAAQ. 2013. Chapitre 10. Les engrais de ferme et les matières résiduelles fertilisantes organiques. In CRAAQ (Éd.), Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec. Guide de référence en fertilisation (3^e éd., (version électronique) pp. 289-344.
- Crookston, R. K., Kurle, J. E., Copeland, P. J., Ford, J. H., et Lueschen, W. E. 1991. Rotational cropping sequence affects yield of corn and soybean. *Agronomy Journal*, 83(1), 108-113.
- Drogoul, C., Gadoud, R., Joseph, M. M., Jussiau, R., Lisberney, M. M., Mangeol, B., Montméas, L., et Tarrit, A. 2004. Nutrition et alimentation des animaux d'élevage : Tome 1 (Educagri ed.).
- Duval, J., Weill, A., et N'Dayegamiye, A. (2014). Remplacer l'azote venant des apports de fumier par des engrais verts de légumineuses ; des exemples au Québec et ailleurs en Amérique du Nord. [En ligne] Adresse: http://www.cetab.org/system/files/publications/remplacer_lazote_venant_des_apports_de_fumier_par_des_engrais_verts_de_legumineuses_2.pdf (consultée le 12 août 2015).
- Fontaine, L., Fourrié, L., Garnier, J. F., Mangin, M., Colomb, B., Carof, M., Aveline, A., Prieur, L., Quirin, T., Chareyron, B., Maurice, R., Glachant, C., et Gouraud, J. P. 2012. Connaître, caractériser et évaluer les rotations en systèmes de grandes cultures biologiques. *Innovations Agronomiques*, 25, 27-40.

- Forge, F. 2004. Organic Farming in Canada: An Overview. Parliament of Canada, Science and Technology Division. [En ligne] Adresse: <http://www.parl.gc.ca/content/lop/researchpublications/prb0029-e.htm> (consultée le 10 mai 2015).
- Gasser, M. O., Laverdière, M. R., Lagacé, R. et Caron, J. 2002. Impact of potato-cereal rotations and slurry applications on nitrate leaching and nitrogen balance in sandy soils. *Can. J. Soil Sci.* 82: 469–479.
- Gilbert, P.A., Vanasse, A. et Angers, A. 2009. Harrowing for weed control: Impacts on mineral nitrogen dynamics, soil aggregation and wheat production. *Soil and Tillage Res.* 103: 373–380.
- Girard, M. 2014. Optimisation de la date d'épandage du lisier de porc pour améliorer le rendement des cultures et protéger la qualité du sol, de l'eau et de l'air. Projet Innov'Action en cours 2014-2017. [En ligne] Adresse: <http://www.irda.qc.ca/fr/projets/optimisation-de-la-date-d-epandage-du-lisier-de-porc-pour-ameliorer-le-rendement-des-cultures-et-proteger-la-qualite-du-sol-de-l-eau-et-de-l-air/> (consultée le 10 juillet 2016).
- Griffin, T. S., et Honeycutt, C. W. 2000. Using growing degree days to predict nitrogen availability from livestock manures. *Soil Science Society of America Journal*, 64(5), 1876-1882.
- Guertin, S.P., G.M. Barnett, M. Giroux, A.F. MacKenzie, A. Pesant, et L.E. Parent. 2000. Effet des pratiques culturales dans la culture de maïs, en terrain vallonné, sur les risques de contamination des eaux de ruissellement et de drainage. *Agrosol* 11: 107-113.
- Hodge, A., et Fitter, A. H. 2010. Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(31), 13754-13759.
- ITAB. 2011. Rotations en grandes cultures biologiques sans élevage. RotaB. Institut Technique de l'agriculture Biologique, Paris, France. [En ligne] Adresse: <http://www.itab.asso.fr/downloads/rotab/rotab-cas-types-avril2011.pdf> (consultée le 10 juillet 2015).
- Jeanne, T. et R. Hogue. 2016. Comment évaluer les effets des régies de cultures sur la diversité microbienne des sols à l'aide des nouvelles technologies de séquençage en agriculture. Fiche de transfert. [En ligne] Adresse: http://www.irda.qc.ca/assets/documents/lab/LEM_NTehcSequancage_WEB.pdf (consultée le 16 août 2016).
- Liorca, R., et Dendooven, L. 1991. Temperature and moisture effects on N-mineralization of a poultry manure amended soil. *Invest. Agr.: Prod., Prot, veg.*, 6(3), 243-251.
- Ma, S., et Sauerborn, J. 2006. Review of history and recent development of organic farming worldwide. *Agricultural Sciences in China*, 5(3), 169-178.
- Michaud, A., Gombault, C., Cyr, J. F., et Côté, H. 2012. Implications des scénarios climatiques futurs sur la gestion des sols et de l'eau à la ferme. [En ligne] Adresse: https://www.craaq.qc.ca/documents/files/Comites/COMAGR/PAGR0106_FINAL.pdf (consultée le 10 juillet 2015).
- Michaud, A. 2016. Comparaison de la culture annuelle à la culture en fin de saison d'engrais vert de légumineuses pour augmenter la résilience du sol et fournir un apport suffisant d'azote. Projet Innov'Action en cours 2016-2019. [En ligne] <http://www.irda.qc.ca/fr/projets/comparaison-de-la-culture-annuelle-a-la-culture->

en-fin-de-saison-d-engrais-vert-de-legumineuses-pour-augmenter-la-resilience-du-sol-et-fournir-un-apport-suffisant-d-azote/ (consultée le 10 août 2016).

Mkhabela, M. S., Gordon, R., Burton, D., Smith, E., et Madani, A. 2009. The impact of management practices and meteorological conditions on ammonia and nitrous oxide emissions following application of hog slurry to forage grass in Nova Scotia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 130(1-2), 41-49.

N'Dayegamiye, A. 2007. La contribution en azote du sol liée à la minéralisation de la matière organique : facteurs climatiques et régies agricoles influençant les taux de minéralisation de l'azote. CRAAQ-OAQ, Colloque sur l'azote. [En ligne] Adresse: http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/NDayegamiye_A_resume_PPT.pdf (consultée le 15 juillet 2015).

N'Dayegamiye, A. et Landry, C. 2016. Développement d'une régie de fertilisation combinant des engrais verts, complétés de démarreur d'engrais de ferme, permettant de combler les besoins en azote d'une rotation blé/maïs-grain/soya tout en limitant les apports de P en production biologique. Projet Cultivons l'Avenir 2 en cours 2015-2018. [En ligne] <http://www.irda.qc.ca/fr/projets/developpement-d-une-regie-de-fertilisation-azotee-basee-sur-les-engrais-verts-complementes-d-un-demarreur-d-engrais-de-ferme-pour-la-production-de-grains-biologiques/> (consultée le 10 août 2016).

N'Dayegamiye, A., Grenier, M., Weill, A., Drapeau, A., et Duchênes, P. 2014. Gestion efficace et intégrée des rotations, du travail du sol, des fumiers et des composts pour une rentabilité accrue en agriculture biologique. Rapport final de recherche IRDA. 20 p. [En ligne] Adresse: IRDA: http://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/ndaye-et-al-2014_rapport_rotations_travail_fumiers_composts_bio.pdf (consulté le 10 août 2015).

N'Dayegamiye, A., M. Giroux et R. Royer. 2004. Épandage d'automne et de printemps de divers fumiers et boues mixtes de papetières : coefficient d'efficacité et nitrates dans le sol. *Agrisol* 15(2) : 97-106.

OAQ. 2011. Ligne directrice de l'OAQ sur les épandages post-récoltes des déjections animales. 29 août 2011. [En ligne]

ONGC. 2006. Systèmes de production biologique, Principes généraux et normes de gestion. Gatineau, Canada: Office des normes générales du Canada [En ligne] Adresse: <http://www.tpsgc-pwgsc.gc.ca/ongc-cgsb/programme-program/normes-standards/internet/bio-org/principes-principles-fra.html> (consulté le 11 août 2015).

Ouranos. 2014. Vers l'adaptation : Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Partie 2 : Vulnérabilités, impacts et adaptation aux changements climatiques (CC). [En ligne] Adresse: http://www.ouranos.ca/fr/synthese2014/doc/Partie_2.1.2_Agriculture.pdf (consultée le 15 juillet 2015).

Patil, R. H., Laegdsmand, M., Olesen, J. E., et Porter, J. R. 2010. Effect of soil warming and rainfall patterns on soil N cycling in Northern Europe. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 139(1-2), 195-205.

Petit, J., et Jobin, P. 2005. La fertilisation organique des cultures : Les bases. Fédération d'agriculture biologique du Québec, Longueuil. [En ligne] Adresse: <https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/la-fertilisation-organique-des-cultures-les-bases/p/PEDI0038> (consultée le 10 août 2015).

Pouleur, S., et Comeau, A. 2011. Effet des rotations et des travaux de sol sur les maladies des racines de différentes cultures commerciales, phases I et II. Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec.

Sohata, A. 2014. The global market for organic food and drink. In FIBL-IFOAM (Ed.), The world of organic agriculture, statistics and emerging trends 2014. FiBL-IFOAM report (pp. 125-132).

Tremblay, N., Bouroubi, Y. M., Belec, C., Mullen, R. W., Kitchen, N. R., Thomason, W. E., Ebelhar, S., Mengel, D. B., Raun, W. R., Francis, D. D., Vories, E. D., et Ortiz-Monasterio, I. 2012. Corn Response to Nitrogen is Influenced by Soil Texture and Weather. *Agronomy Journal*, 104(6), 1658-1671.

Willer, H., Lernoud, J., et Schlatter, B. 2014. Current statistics on organic agriculture worldwide: organic areas, producers and markets. In FIBL-IFOAM (Ed.), The world of organic agriculture: statistics and emerging trends 2014. FiBL-IFOAM report (pp. 34 - 124).

ANNEXE A



(Suite 4.3)

4.3.2. la température aurait été trop basse, normale ou trop élevée ?

(la température est qualifiée de normale si elle ne vous a pas semblé défavorable au moment indiqué)

	Trop basse	Normale	Trop élevée
A l'automne précédent			
Suite à l'épandage de l'engrais de ferme (<i>peu importe la période d'épandage</i>)			
Durant la phase post-levée			
Durant la phase de la pleine croissance			
Autre :			
.....			

4.4. Si vous devez évaluer les facteurs expliquant la baisse d'efficacité des engrais de ferme, quel ordre d'importance donneriez-vous aux facteurs suivants (de moins important « 1 » – à très important « 5 ») ?

Facteurs (moins important « 1 » à très important « 5 »)	Niveau d'importance					Commentaires
	1	2	3	4	5	
Les exigences d'application des fumiers et lisiers du cahier de charges en production biologique de grains						
La contrainte de la saturation de vos sols en phosphore						
Les coefficients d'efficacité des nutriments des effluents du guide de référence en fertilisation du CRAAQ						
Votre type de sol et son état de santé (la qualité de votre sol)						
Les conditions de sol ou de terrain défavorables pour les travaux aux moments propices (trop humide)						
Problème de main-d'œuvre						
Les facteurs climatiques (trop, ou très peu d'eau, température trop basse ou élevée)						
La pression des mauvaises herbes						
Le type d'engrais verts						
Le type de rotation (choix réduit de cultures)						
L'absence de jachère						