



# PCAA

## Programme canadien d'adaptation agricole

### *Rapport final*

Intégration d'engrais verts d'automne dans les régions de la pomme de terre

Titre du projet

**6440**

Numéro du projet

**Institut de recherche et de développement en agroenvironnement**

Nom du demandeur

Avril 2010 à 31 mai 2012

Période couverte par le rapport

Rédigé par Adrien N'Dayegamiye, chargé de projet

Nom et fonction du rédacteur

30 mai 2012

*Le rapport final, transmis au CDAQ en version papier et Word, doit inclure :*

*X les biens livrables décrits à l'annexe C de la convention de contribution financière;*

*X les pièces justificatives, numérotées et inscrites dans le document Plan de financement et conciliation des dépenses;*

*X les copies des documents de diffusion produits faisant mention de la contribution du PCAA selon les règles de visibilité du programme.*

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) s'est engagé à travailler avec des partenaires de l'industrie. Les opinions exprimées dans le présent document sont celles du demandeur et ne sont pas nécessairement partagées par AAC et le CDAQ.

# Table des matières

<b>1. OBJECTIFS</b> .....	4
<b>1.1. Objectif général</b> .....	4
<b>1.2. Objectifs spécifiques</b> .....	4
<b>2. RÉSULTATS ET ANALYSE</b> .....	4
<b>2.1. Résultats obtenus et analyse</b> .....	4
<b>2.2. Diffusion des résultats</b> .....	7
<b>3. CONCLUSIONS</b> .....	9
<b>4. SOMMAIRE DES ACCOMPLISSEMENTS DU PROJET</b> .....	10
<b>5. PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES</b> .....	Erreur ! Signet non défini.

# OBJECTIFS

## 1.1. Objectif général

Choisir les meilleurs engrais verts d'automne pour la culture de pomme de terre et déterminer leur valeur fertilisante en azote pour ajuster les doses d'engrais azotés.

## 1.2. Objectifs spécifiques

- Évaluer les meilleures espèces d'engrais verts d'automne pour la production de pomme de terre.
- Déterminer les quantités d'azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium résiduelles des engrais, et récupérées par les différentes engrais verts.
- Connaître la valeur fertilisante azotée des différents engrais verts, et déterminer les doses optimales d'engrais azoté pour une culture de pomme de terre suivante.
- Évaluer les effets des engrais verts d'automne sur les rendements et la qualité des tubercules de pomme de terre.
- Déterminer la teneur en eau du sol au stade bouton (début de floraison), qui est une période critique pour la pomme de terre, ainsi que les teneurs en C et en N.

## 2. RÉSULTATS ET ANALYSE

---

### 2.1. Résultats obtenus et analyse

**Décrire les activités réalisées en fonction des biens livrables listés à l'Annexe C de la convention de contribution financière et du calendrier de réalisation.**

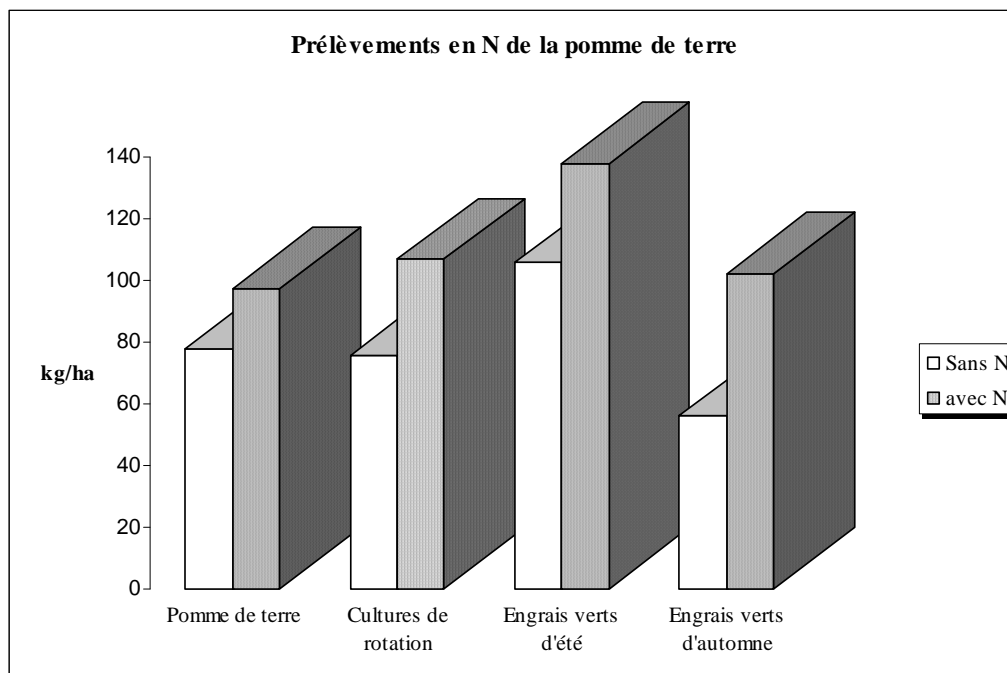
L'étude a débuté au mois de mai 2010 à la station de recherche de l'IRDA à Deschambault. Les engrais verts d'automne ont été comparés aux cultures de rotation conventionnelle (maïs, blé, orge) pour la pomme de terre, aux engrais verts d'été (moutarde jaune, millet japonais et millet perlé) et enfin à la pomme de terre en continu sans rotation. Les engrais verts d'automne qui ont été établis après la récolte de la pomme de terre étaient le blé, l'avoine, la moutarde jaune, le seigle et le millet perlé. Le millet perlé a été semé au mois de juin et fauché au mois d'août. Cette culture a repoussé et poursuivi sa croissance en automne.

Contrairement aux cultures conventionnelles de rotation et aux engrais verts d'été, les engrais verts d'automne n'ont pas été fertilisés, en considérant qu'ils peuvent valoriser les éléments nutritifs résiduels dans le sol. Afin d'évaluer les bénéfices de ces précédents de culture sur la production de la pomme de terre et l'efficacité de l'azote du sol et de l'engrais, les parcelles ont reçu cinq doses d'engrais azoté en 2011 (0, 50, 100 et 150 et 200 kg N/ha) pour la pomme de terre. Le traitement sans engrais azoté (0 kg N/ha) a permis de déterminer la contribution en azote pour la culture suivante (pomme de terre) des engrais verts appliqués au sol en 2010. Les autres doses de l'engrais azoté ont permis de calculer les coefficients d'utilisation de l'azote de l'engrais apporté, les coefficients d'efficacité (quantité de pomme de terre produite par kg d'engrais azoté) et les doses optimales pour la culture.

- **Décrire les changements à la réalisation du projet par rapport à ce qui avait été prévu.** *Aucun changement*

Cette étude a été conduite sur le même site pendant quatre ans (2008 à 2011) afin d'intégrer les conditions climatiques qui influencent la croissance et le développement des engrais verts d'été ou d'automne. Les facteurs climatiques déterminent également les effets des engrais verts sur la croissance et la nutrition de la culture suivante, et par conséquent sur les niveaux et la qualité de la récolte. Ainsi, des cultures conventionnelles de rotation et des engrais verts d'été et d'automne ont été établis en 2008 et 2010. Pour étudier leurs effets comme précédents culturaux sur la productivité du sol et la nutrition azotée, la pomme de terre a été cultivée en 2009 et en 2011. Ces régies de rotation ont été comparées à une culture continue de pommes de terre pendant 4 ans. Ainsi, cette étude a porté sur deux cycles d'expérimentation. La première partie de cette recherche (2008 et 2009) a été financée par le MAPAQ, et la subvention du CDAQ a permis de poursuivre ces essais en 2010 et 2011, en mettant plus d'emphase sur les engrais verts d'automne.

- **Présenter les résultats obtenus en 2011 et 2012.**
- Les quantités de biomasses végétales produites et enfouies dans le sol ont été environ quatre fois plus élevées pour les engrais verts d'été, en comparaison avec les engrais verts d'automne.
- Les engrais verts d'automne ont valorisé de plus faibles quantités d'éléments nutritifs du sol (N, P, K, Ca et Mg), en comparaison avec les engrais verts d'été. Cependant, ceux-ci ont en moyenne recyclé 30% de l'engrais azoté résiduel après la récolte de la pomme de terre.
- Malgré leur courte saison de croissance en 2010, les prélèvements en engrais résiduels dans le sol par les engrais verts semblent tout de même importants. Ces résultats indiquent que les engrais verts d'automne peuvent recycler les éléments nutritifs résiduels dans le sol lorsqu'ils sont semés tôt après les récoltes hâtives de pomme de terre.
- En comparaison avec la pomme de terre en continu, les cultures de rotation et les engrais verts d'été ont accru de 20 à 51 % respectivement les rendements de pomme de terre en 2011. Les sols qui avaient été cultivés en engrais verts d'automne en 2010 ont en moyenne produit des rendements plus faibles de pomme de terre.
- Les engrais verts d'été et les cultures conventionnelles de rotation ont significativement réduit la propagation de la gale commune de la pomme de terre, en comparaison avec la pomme de terre en continu. En comparaison avec les engrais verts d'été, l'indice de la gale commune était plus élevé sous les précédents d'engrais verts d'automne. Ces résultats indiquent que les engrais verts d'automne qui sont incorporés tard à l'automne dans le sol se décomposent au cours de la saison de végétation suivante. Pendant leur décomposition, les biomasses des engrais verts d'automne ont probablement stimulé les microorganismes du sol, ainsi que le pathogène relié à la gale commune.
- Les engrais verts d'été ont favorisé une meilleure nutrition en azote de la pomme de terre par rapport aux cultures conventionnelles de rotation et aux engrais verts d'automne (Figure 1).



**Figure 1. Quantités d'azote prélevées par la pomme de terre, selon les différents précédents de culture.**

L'analyse de la réponse de la pomme de terre à l'apport d'engrais azotés sous les différents précédents de culture (cultures conventionnelles de rotation et engrais verts d'été et d'automne) a indiqué un effet quadratique de la dose d'azote sur les rendements en pomme de terre. Ceci signifie que cette culture a utilisé seulement une partie des engrais azotés apportés, le reste étant comblé par l'azote dérivé du sol ou des engrais verts. Pour produire les rendements maximum de pomme de terre, les doses optimales d'engrais azoté ont en effet varié entre 50 et 71 kg N/ha pour les précédents de millet perlé et de moutarde jaune comme engrais verts d'été, et d'avoine et seigle comme engrais verts d'automne. Les doses optimales ont varié entre 140 et 152 kg N/ha pour le millet japonais et la moutarde jaune, comme engrais vert d'été et d'automne respectivement. La dose optimale nécessaire pour produire des rendements maximum de pomme de terre ont été de 200 kg N/ha pour les précédents d'avoine et d'orge comme cultures conventionnelles de rotation et pour la pomme de terre en continu. Ces résultats montrent que sous la plupart de précédents de cultures, les doses optimales d'engrais azoté étaient beaucoup inférieures à celles qui sont recommandées pour la pomme de terre (150 kg N/ha). Quatre précédents d'engrais verts ont permis des réductions de 50% d'engrais azoté.

- L'intégration de cultures conventionnelles de rotation et d'engrais verts dans la région de production de la pomme de terre a amélioré significativement l'utilisation de l'azote du sol, permettant ainsi une réduction des doses nécessaires de l'engrais azoté pour cette culture, tout en augmentant en même temps la quantité et la qualité des tubercules.
- Les meilleurs engrais verts d'été ont été le millet perlé, la moutarde jaune et le millet japonais, tandis que le blé et le seigle ont été les meilleurs engrais verts d'automne.

- **Diffusion des résultats**

## DIFFUSION DES RÉSULTATS

<i>Activités prévues de l'ANNEXE A</i>	<i>Activités réalisées</i>	<i>Description (thème, titre, endroit, etc.)</i>	<i>Date de réalisation</i>	<i>Nombre de personnes rejointes</i>	<i>Visibilité accordée au PCAA (logo, mention)</i>
Journée de champ	Journée de visite pour chercheurs de l'IRDA (5) et partenaires (Groupe Gosselin) avec 3 grands producteurs de pomme de terre de Pont Rouge	Visite des essais et présentation des objectifs du projet	À la fin de Septembre 2010	9	Mention du CDAQ et du programme PCAA
Journée de champ	Visite des essais avec les partenaires du projet (chercheurs de l'IRDA et un agronome de Groupe Gosselin)	Réponse à l'azote selon les précédents de culture; visite des parcelles, observations des carences et suffisance en azote; observations de maladies	25 juillet 2011	5	Mention du CDAQ et du programme PCAA
Rédaction d'un article de synthèse- Fiche technique	Fiche technique sur le Web IRDA et Agri-Réseau-MAPAQ	Présentation des cycles de rotation des cultures incluant les engrais verts entre 2008 et 2010, et discussion de résultats	2012	Une large clientèle	Mention du CDAQ et du programme PCAA
Articles dans revues spécialisées	Revue Producteur plus	Engrais verts d'été et d'automne-	Zoom Pomme de terre, 2011	Une large clientèle	Mention du CDAQ et du programme PCAA



### **3. CONCLUSIONS**

---

Les engrais verts d'été ont produit plus de biomasses végétatives et prélevé des quantités plus importantes d'éléments nutritifs, en comparaison avec les engrais verts d'automne. Seules les espèces graminées (blé, seigle, avoine, et millet perlé) utilisées comme engrais verts d'automne ont eu une bonne croissance en automne, en comparaison avec les familles des crucifères (moutarde). Les semis des engrais verts d'automne à la fin du mois d'août est primordial pour permettre une meilleure croissance et une bonne valorisation des nutriments résiduels de l'engrais après la récolte de la pomme de terre.

En comparaison avec la pomme de terre en continu, les cultures conventionnelles de rotation et les engrais verts d'été ont accru de 20 à 51 % respectivement les rendements totaux et vendables de pomme de terre en 2011. Par ailleurs, sous la plupart de précédents de cultures, les doses optimales d'engrais azoté étaient beaucoup inférieures à celles qui sont recommandées pour la pomme de terre (150 kg N/ha). Les engrais verts d'été et d'automne et les cultures de rotation ont enrichi les sols en azote facilement minéralisable et disponible à la culture suivante.

Les engrais verts d'été et les cultures conventionnelles de rotation ont significativement réduit la propagation de la gale commune de la pomme de terre, en comparaison avec la pomme de terre en continu et les engrais verts d'automne.

- **Résumer les retombées prévues à court terme, moyen terme (suite au projet) et à long terme sur le secteur.**

Cette étude a comparé les engrais verts d'été et d'automne. Aux yeux de certains producteurs, l'utilisation d'engrais verts d'été peut représenter la perte d'une saison complète en pomme de terre. Cependant, les résultats obtenus ont clairement démontré que les rotations qui intègrent les engrais verts d'été peuvent accroître rapidement la qualité et la productivité des sols, tout en diminuant l'incidence des maladies de la pomme de terre.

Même si la présente étude ne porte que sur deux années de rotation et de culture d'engrais verts, ces régies peuvent substantiellement améliorer les propriétés du sol et réduire la propagation de maladies, assurant ainsi de meilleurs rendements vendables lors d'années subséquentes. Ainsi, les engrais verts représentent un moyen intéressant pour le producteur qui désire augmenter la rentabilité de ses opérations tout en améliorant la qualité de ses sols. Car évidemment, l'objectif de toute pratique culturale est de générer des profits pour l'entreprise à moyen et à long terme. Les producteurs de pomme de terre sont déjà sensibilisés aux bénéfices qu'ils peuvent tirer de l'implantation des engrais verts en rotation. Notre étude aura donc permis de confirmer la pertinence de cette pratique, de la chiffrer scientifiquement et d'établir des recommandations sur le choix des espèces d'engrais verts.

- **Inscrire les recommandations découlant des résultats.**

Les engrais verts peuvent rapidement accroître les rendements de la pomme de terre et améliorer l'efficacité des engrais azotés. Il est toutefois recommandé de les intégrer régulièrement dans les rotations afin d'obtenir des effets durables à moyen et à long terme. Le choix de l'espèce de l'engrais vert déterminera ces bénéfices et il doit être basé sur la croissance des espèces choisies et sur les quantités de biomasses produites. En ce sens, la moutarde jaune et le millet perlé sont les meilleurs engrais verts d'été, tandis que le blé, l'avoine

et le seigle présentent une bonne croissance automnale si semés à la fin du mois d'août ou au début de septembre.

## **4. SOMMAIRE DES ACCOMPLISSEMENTS DU PROJET**

Les demandes de producteurs de pomme de terre concernent surtout les systèmes de rotation avec les engrais verts d'automne pour réduire les pertes de sol et de nitrates après les récoltes. Contrairement aux engrais verts d'été, on ne dispose pas de connaissances sur les régies et les bénéfices des engrais verts d'automne.

Cette étude a proposé de nouvelles cultures de rotations dans la production de la pomme de terre, afin d'accroître les rendements et la qualité de la pomme de terre, réduire les maladies pour cette culture et améliorer les propriétés du sol. Le projet visait aussi à permettre le choix d'engrais verts d'automne qui valoriseront plus efficacement les engrais résiduels (N, P, K et Mg) après la récolte de pomme de terre et les restituer à la culture de l'année suivante. Les régies étudiées peuvent enrichir les sols en azote, et permettre ainsi des réductions importantes d'engrais azoté pour la culture suivante.

Dans cette étude effectuée en 2010 et 2011, trois engrais verts d'été (millet perlé, moutarde jaune et millet japonais) et quatre engrais verts d'automne (avoine, blé, moutarde jaune et seigle) ont été comparés à trois cultures de rotation conventionnelles (maïs, orge et avoine) et à la pomme de terre en culture continue. Dans les sols cultivés avec ces différentes cultures en 2010, des apports d'engrais azotés (0, 50, 100, 150 et 200 kg N/ha) ont été appliqués en 2011 à la pomme de terre afin d'évaluer la réponse aux apports d'engrais azotés (niveaux de rendements) sous ces différents précédents de culture, et déterminer l'efficacité de l'engrais azoté et les doses optimales.

En comparaison avec la pomme de terre en continu, les cultures conventionnelles de rotation et les engrais verts d'été ont accru de 20 à 51% en moyenne les rendements de pomme de terre. Ces régies ont également augmenté le poids spécifique des tubercules et les prélèvements en azote, ainsi que l'efficacité de l'engrais azoté appliqué. Par ailleurs, les engrais verts d'été et les cultures conventionnelles de rotation ont aussi réduit significativement l'incidence de maladies dans la pomme de terre, et ceci a conduit à une meilleure croissance et nutrition de la culture. Malgré leur courte saison de végétation, les engrais verts d'automne ont valorisé d'importantes quantités d'éléments résiduels dans le sol, cependant leurs effets sur les rendements de pomme de terre ont été plus faibles en comparaison avec les engrais verts d'été. L'incidence de la gale était élevée dans les sols qui avaient été continuellement cultivés en pomme de terre, ou en pomme de terre suivie d'un engrais vert d'automne.

Sous la plupart des précédents de culture étudiés (cultures conventionnelles de rotation et d'engrais verts), les doses optimales nécessaires pour produire des rendements maximum ont été beaucoup inférieures (50 à 140 kg N/ha) à celles qui sont recommandées pour la pomme de terre (150 kg N/ha). Quatre précédents d'engrais verts ont permis des réductions de 50% d'engrais azoté.

Les résultats de cette étude montrent que la moutarde jaune, le millet perlé ainsi que le millet japonais ont été de bons engrais verts d'été qui ont accru la production et la qualité de la pomme de terre. Les meilleurs engrais verts d'automne ont été le blé et le seigle. Afin de permettre une bonne croissance et une valorisation maximale d'éléments nutritifs résiduels dans le sol, les engrais verts d'automne doivent être semés en fin août ou au début de septembre.

**Cette recherche à été réalisée grâce au support financier du CDAQ (programme PCAA) et de l'IRDA.**

**PROGRAMME CANADIEN D'ADAPTATION AGRICOLE (PCAA)**

**RAPPORT DE RECHERCHE**

**Projet No 6440**

# **INTÉGRATION D'ENGRAIS VERTS DANS LA RÉGIE DE LA POMME DE TERRE**

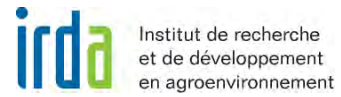
Adrien N'Dayegamiye<sup>1</sup>, Anne Drapeau<sup>1</sup> et Michèle Grenier<sup>1</sup>.

**Collaborateur** : Guy Roy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

<sup>2</sup> Groupe Gosselin Production Fg inc.

## LISTE DES PARTENAIRES



## RÉSUMÉ

L'intégration d'engrais verts d'été et d'automne dans la rotation de la pomme de terre peut accroître la productivité des sols. Dans cette étude effectuée en 2010 et 2011, trois engrais verts d'été (millet perlé, moutarde jaune et millet japonais) et quatre engrais verts d'automne (avoine, blé, moutarde jaune et seigle) ont été comparés à trois cultures conventionnelles de rotation (maïs, orge et avoine) et à la pomme de terre en culture continue. Dans les sols cultivés avec ces différentes cultures en 2010, des apports d'engrais azotés (0, 50, 100, 150 et 200 kg N/ha) ont été appliqués en 2011 à la pomme de terre afin d'évaluer la réponse de cette culture aux apports d'engrais azotés (niveaux de rendements) sous ces différents précédents de culture, et déterminer l'efficacité de l'engrais azoté et les doses optimales.

En comparaison avec la pomme de terre en continu et les engrais verts d'automne, les cultures conventionnelles de rotation et les engrais verts d'été ont accru de 20 à 51 % en moyenne les rendements de pomme de terre. Ces régies agricoles ont également augmenté le poids spécifique des tubercules et les prélèvements en azote, ainsi que l'efficacité de l'engrais azoté appliqué. Par ailleurs, les engrais verts d'été et les cultures conventionnelles de rotation ont aussi réduit significativement l'incidence de maladies de la pomme de terre, et ceci a conduit à une meilleure croissance et nutrition de la culture.

Les engrais verts d'automne ont en moyenne recyclé 30% de l'engrais azoté résiduel après la récolte de la pomme de terre, cependant leurs effets sur les rendements de pomme de terre ont été plus faibles en comparaison avec les engrais verts d'été.

Sous la plupart des précédents de culture étudiés (cultures conventionnelles de rotation et engrais verts), les doses optimales nécessaires pour produire des rendements maximum ont été beaucoup inférieures (50 à 140 kg N/ha) à celles qui sont recommandées pour la pomme de terre (150 kg N/ha). Les cultures de rotation et les engrais verts ont enrichi le sol en azote facilement disponible à la culture suivante, ce qui pourrait justifier ces réductions d'engrais azotés. Quatre précédents d'engrais verts ont permis des réductions de 50% d'engrais azoté pour la pomme de terre.

Les résultats de cette étude montrent que la moutarde jaune, le millet perlé ainsi que le millet japonais ont été de bons engrais verts d'été qui ont accru la production de la pomme de terre. Les meilleurs engrais verts d'automne ont été le blé et le seigle. Afin de permettre une bonne croissance et une valorisation maximale d'éléments nutritifs résiduels dans le sol, les engrais verts d'automne doivent être semés en fin août ou au début de septembre.

# 1. INTRODUCTION

Dans la production de la pomme de terre, la rotation des cultures constitue une régie majeure pour conserver la qualité et la fertilité des sols. En effet, il a été démontré que l'introduction d'une rotation dans cette production permet de protéger le sol de l'érosion, de lui fournir de la matière organique et de limiter le transfert des nitrates vers les eaux souterraines. L'introduction d'engrais verts dans les rotations de la pomme de terre présente des avantages agronomiques, tels que la valorisation des éléments nutritifs résiduels dans le sol, l'amélioration de la structure et de l'activité microbienne du sol, et l'interruption des cycles des pathogènes et des mauvaises herbes.

Il existe actuellement un intérêt marqué chez les producteurs de pomme de terre pour une rotation intégrant les engrais verts. Beaucoup d'espèces de plantes peuvent servir comme engrais verts en saison estivale. Ces derniers sont ainsi introduits de temps en temps dans les cycles de rotation agricole, dans le but de contrôler les mauvaises herbes et les maladies et de restaurer la qualité et la fertilité des sols. Il est également possible d'établir des engrais verts après les cultures de pomme de terre récoltées hâtivement. Sous des conditions favorables de croissance, ces derniers peuvent valoriser l'azote résiduel provenant de la fertilisation de la pomme de terre et le rendre disponible aux cultures de l'année suivante suite à la minéralisation des biomasses produites. Contrairement aux engrais verts d'été, il existe encore peu d'études reliées aux régies et aux bénéfices des engrais verts d'automne dans la culture des pommes de terre.

Cette étude avait pour objectif de déterminer les bénéfices des cultures conventionnelles de rotation (orge, blé, maïs), des engrais verts d'été (millet perlé, millet japonais et moutarde jaune) et des engrais verts d'automne (blé, avoine, millet japonais, seigle et moutarde jaune) sur la production et la qualité des pommes de terre, ainsi que sur l'efficacité de l'engrais azoté et l'incidence de certaines maladies.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1. PROPRIÉTÉS DU SOL EN 2010

L'expérience a été conduite à la Station de recherche de l'IRDA à Deschambault. Elle était située sur un sol de la série Batiscan dont les propriétés physico-chimiques sont présentées aux tableaux 1 et 2. Sa texture était un loam sableux fin avec 21 % d'argile, 30 % de limon et 49 % de sable. Le sol avait un pH de 6,3 et une teneur en azote total et en matière organique de 0,19 et 3,8 %, respectivement. Les teneurs du sol en P, K, Ca et Mg étaient respectivement de 81,3, 40,5, 1 349 et 46,8 mg/kg.

**Tableau 1. Propriétés physico-chimiques du sol.**

Sites d'échantillonnage	pH	M.O.	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	Texture			Classe texturale
					Sable	Limon	Argile	
					-----%-----			
1	5,9	4,0	2,0	15,2	57	21	22	Loam sablo-argileux
2	6,2	3,1	1,2	13,2	60	21	19	Loam sableux-fin
3	6,5	4,1	1,2	12,8	37	38	25	Loam
4	6,5	2,5	2,4	11,4	55	28	17	Loam sableux fin
5	6,4	4,4	1,2	16,7	47	31	22	Loam
6	6,4	4,9	2,1	15,8	39	39	22	Loam
Moyenne	6,3	3,8	1,7	14,2	49	30	21	
Écart-type	0,2	0,9	0,5	2,0	9,7	7,9	2,8	

**Tableau 2. Teneur du sol en azote total et en éléments majeurs.**

Sites d'échantillonnage	N total	P	K	Ca	Mg
	-----mg/kg-----				
	--%--				
1	0,20	95	34	942	88
2	0,16	98	53	1 022	42
3	0,21	73	38	1 649	47
4	0,13	111	37	1 097	25
5	0,22	60	45	1 766	44
6	0,23	52	36	1 618	35
Moyenne	0,19	81	40	1 349	47
Écart-type	0,04	23	7	367	22

## 2.2. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET RÉGIE DES CULTURES EN 2010

Cette étude a été conduite sur le même site pendant quatre ans (2008 à 2011) afin d'intégrer le facteur climatique qui influence la croissance et le développement des engrais verts d'été ou d'automne. Ainsi, des cultures conventionnelles de rotation (orge, blé, maïs) et des engrais verts d'été (millet perlé, millet japonais et moutarde jaune) et d'automne (blé, avoine, millet japonais, seigle et moutarde jaune) ont été établis en 2008 et 2010. Pour étudier leurs effets comme précédents culturaux sur la productivité du sol et la nutrition azotée, la pomme de terre a été cultivée en 2009 et en 2011. Ces rotations ont été comparées à une culture continue de pomme de terre pendant 4 ans (2008 à 2011).

Au printemps 2010, douze cultures ont ainsi été implantées sur des parcelles de 180 m<sup>2</sup> (6 m x 30 m). Les traitements consistaient en trois engrais verts d'été (moutarde jaune, millet perlé et millet japonais) et cinq engrais verts d'automne précédés par la culture de la pomme de terre (avoine, moutarde jaune, millet japonais, blé, seigle). Ces systèmes de culture avec les engrais verts ont été comparés à trois cultures conventionnelles de rotation (avoine, orge, maïs-grain). Une parcelle de pomme de terre en continu constituait le témoin. Chaque traitement était répété 3 fois pour un total de 36 parcelles expérimentales.

Les parcelles avec la pomme de terre en continu ou celles avec la pomme de terre suivie d'engrais verts d'automne ont été semées au mois de mai avec la variété Norland. Une fertilisation de 115 kg N, 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 200 kg K<sub>2</sub>O a été apportée dans les parcelles de pomme de terre avant la plantation ainsi que dans les parcelles de maïs. Les cultures d'avoine et d'orge ainsi que les engrais verts d'été ont reçu une fertilisation de 50 kg N, 20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 75 kg K<sub>2</sub>O. Les engrais verts d'été ont été semés au début du mois de juin. Les engrais verts d'automne ont été semés la deuxième semaine du mois de septembre, après la récolte de la pomme de terre. Ces cultures n'ont pas reçu de fertilisation afin de valoriser les engrais résiduels (N, P et K) après la récolte de pomme de terre. Les différentes régies pour ces cultures sont indiquées au tableau 3.

**Tableau 3. Régie des cultures étudiées en 2010.**

CULTURE	Fertilisation (kg/ha)	Taux de semis	Date de semis	Date de récolte/fau-chage	Variété ou hybride
Pomme de terre	115 N - 150 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 200 K <sub>2</sub> O	44 000 pl/ha	17 mai	25 août	Norland
Avoine	50 N - 20 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 75 K <sub>2</sub> O	120 kg/ha	14 mai	17 août	Rigodon
Orge	50 N - 20 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 75 K <sub>2</sub> O	150 kg/ha	14 mai	17 août	Myriam
Maïs grain	150 N - 50 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 185 K <sub>2</sub> O	88 000 pl/ha	20 mai	3 novembre	DK 33-69
Moutarde jaune	50 N - 20 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 75 K <sub>2</sub> O	21 kg/ha	21 mai	21 juillet	n.d.
Millet japonais	50 N - 20 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 75 K <sub>2</sub> O	25 kg/ha	25 mai	11 août	n.d.
Millet perlé (fourrager)	50 N - 20 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 75 K <sub>2</sub> O	20 kg/ha	27 mai	11 août	PP-102M
Pomme de terre/	115 N - 150 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 200 K <sub>2</sub> O	44 000 pl/ha	17 mai	25 août	Norland
Avoine	Aucune fertilisation	120 kg/ha	16 sept	8 nov	Rigodon
Pomme de terre/	115 N - 150 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 200 K <sub>2</sub> O	44 000 pl/ha	17 mai	25 août	Norland
Moutarde	Aucune fertilisation	15 kg/ha	16 sept	8 nov	n.d.
Pomme de terre/	115 N - 150 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 200 K <sub>2</sub> O	44 000 pl/ha	17 mai	25 août	Norland
Blé	Aucune fertilisation	160 kg/ha	16 sept	8 nov	Brio
Pomme de terre/	115 N - 150 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 200 K <sub>2</sub> O	44 000 pl/ha	17 mai	25 août	Norland
Millet japonais	Aucune fertilisation	25 kg/ha	16 sept	--*	n.d
Pomme de terre/	115 N - 150 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 200 K <sub>2</sub> O	44 000 pl/ha	17 mai	25 août	Norland
Seigle d'automne	Aucune fertilisation	140 kg/ha	16 sept	8 nov	n.d



Après la récolte des cultures conventionnelles de rotation (avoine, orge et maïs), la paille des céréales a été ramassée, tandis que les tiges du maïs ont été laissées au sol. Les engrais verts d'été ont été récoltés pendant la période de floraison avec une fourragère motorisée. Les biomasses récoltées sur une superficie de 5,4 m<sup>2</sup> ont été pesées et un sous-échantillon prélevé afin de déterminer la matière sèche et les teneurs en éléments majeurs. Puis les biomasses ont été laissées au sol puis incorporées avec une herse à disques. Après sa récolte au mois d'août, le millet perlé a repoussé et poursuivi sa croissance en automne.

Les engrais verts d'automne et le millet perlé ont été récoltés à la main le 15 novembre sur une superficie de 1 m<sup>2</sup>, puis pesés et échantillonnés. Cette opération était répétée trois fois dans chaque parcelle pour obtenir trois sous-échantillons. Par la suite, les engrais verts d'automne ont été incorporés avec le labour. Malgré une germination rapide et uniforme du millet japonais, sa biomasse n'a pas pu être récoltée car les conditions fraîches et pluvieuses des mois de septembre et octobre 2010 ont limité la croissance de cette culture.

Les teneurs en azote et en carbone des biomasses des engrais verts d'été et d'automne ont été déterminées par combustion LECO et les teneurs en P, K, Ca, Mg par digestion sulfurique Kjeldhal suivie d'un dosage par colorimétrie Technicon. Les prélèvements en azote et en éléments majeurs des cultures ont été obtenus en multipliant leurs poids en matière sèche (kg/ha) par leurs concentrations (%) en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium.

### **2.3. ESSAI DE POMME DE TERRE EN 2011**

Les parcelles ayant comme précédents culturaux les engrais verts d'été, d'automne et les cultures conventionnelles de rotation installées en 2010, ont été subdivisées en sous-parcelles en 2011 et ont reçu des doses croissantes d'azote, soit 0, 50, 100, 150, 200 kg/ha sous forme de nitrate d'ammonium calcique (CAN). En même temps, une fertilisation uniforme en phosphore et en potassium a été effectuée selon les grilles de fertilisation du CRAAQ. La pomme de terre, c.v. Snowden, a été semée.

Deux renchaussages ont été effectués avant la floraison. Durant la saison, les traitements phytosanitaires ont été effectués pour contrôler la présence des doryphores de la pomme de terre et les maladies fongiques, principalement le mildiou (*Phytophthora infestans*) et l'alternariose (*Alternaria solani*).

Les parcelles de pomme de terre ont été récoltées à la fin du mois de septembre. Pour évaluer le rendement total en pommes de terre de chacune des parcelles, la récolte a été faite sur le rang central de la parcelle sur une distance de 10 mètres. Les tubercules récoltés ont été pesés et criblés. La portion vendable de la récolte a été déterminée selon le poids des tubercules dont le diamètre était compris entre 47 et 114 mm (2 po et 4½ po).

Des sous-échantillons ont été prélevés pour déterminer le poids spécifique, la teneur en matière sèche des tubercules et les prélèvements en azote. Les maladies de la pomme de terre (le mildiou (*Phytophthora infestans*) et alternariose (*Alternaria solani*)) ont été identifiées sur les parties aériennes par une évaluation visuelle.

Pour l'évaluation des indices de gale (*Streptomyces* spp), les symptômes ont été observés sur l'épiderme de 25 tubercules prélevés au hasard. Les tubercules ont été classifiés selon trois types de lésions (superficielles, pustules et creux profonds) et cinq classes de recouvrement (moins de 1 %, entre 1 et 5 %, entre 5 et 10 %, entre 10 et 25 %, entre 25 et 50 % et 50 % et plus). Le poids des tubercules pour chacun des types de lésion et classe de recouvrement a été multiplié par un facteur qui mesure l'impact sur la gravité de l'infection. Ce calcul a permis de déterminer un indice global d'infection, celui-ci pouvant varier entre 0 (exempt de gale) et 5 (infection très sévère).

Un échantillonnage du sol a été effectué au printemps 2011 avant la plantation des pommes de terre, à une profondeur de 0-20 cm. Ces échantillons de sol ont permis de mesurer les teneurs en carbone et en azote total sous les différents précédents de cultures de rotation et d'engrais verts. Les teneurs en carbone et en azote solubles à l'eau ont été également déterminées sur ces mêmes échantillons. Les sols ont à nouveau été échantillonnés au stade bouton (début de floraison) afin de déterminer les teneurs en eau du sol en cette période critique pour la pomme de terre au point de vue physiologique. En effet, le régime hydrique du sol en cette période de croissance de la pomme de terre est déterminant pour la croissance de la pomme de terre. Des conditions hydriques optimales permettent une meilleure tubérisation ainsi qu'une absorption optimale des éléments nutritifs.

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1. ENGRAIS VERTS ET PRÉLÈVEMENTS EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Les rendements en matière sèche des engrais verts d'été ont varié de 5 à 9 tonnes/ha et de 1,2 à 2 tonnes/ha pour les engrais verts d'automne (Tableau 4). Les rendements en matière sèche étaient donc environ quatre fois plus élevés pour les engrais verts d'été, en comparaison avec les engrais verts d'automne. Le millet perlé et le millet japonais ont produit plus de 8 tonnes/ha de biomasse. Le millet japonais cultivé comme engrais vert d'automne n'a pas produit suffisamment de matière sèche pour être évalué.

**Tableau 4. Quantités de biomasse (matière sèche, t/ha) et prélèvements en éléments majeurs (kg/ha) des engrais verts d'été et d'automne en 2010.**

	Matière sèche t/ha	N	P	K	Ca	Mg
		-----kg/ha-----				
<b>Engrais verts d'été</b>						
Millet perlé	8,8	133,0	20,4	181,2	48,9	28,2
Moutarde jaune	5,3	130,9	13,5	124,4	97,4	8,3
Millet japonais	9,0	137,6	20,6	211,1	70,9	48,2
<b>Engrais verts d'automne</b>						
Avoine	1,2	48,0	5,5	40,2	11,2	2,0
Blé	1,2	52,8	5,1	34,9	12,0	2,2
Moutarde	1,2	47,4	3,4	28,6	17,5	1,9
Millet japonais	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Seigle	1,3	53,2	6,7	37,9	7,4	2,0

Les prélèvements en éléments nutritifs par les engrais verts d'été et d'automne sont présentés au tableau 4. En moyenne, les engrais verts d'été ont prélevé 134 kg N, 18 kg P et 172 kg K/ha. Par contre, ils ont été fertilisés, à raison de 50 kg N, 9 kg P et 62 kg par hectare. Ainsi, les prélèvements nets d'éléments disponibles dans le sol par les engrais verts d'été ont été de 94, 9 et 110 kg/ha de N, P et K, respectivement.

En comparaison, les engrais verts d'automne ont prélevé en moyenne 50, 5 et 35 kg ha de N, P et K respectivement provenant exclusivement d'éléments disponibles dans le sol. Contrairement aux engrais verts d'été, les sols cultivés en engrais verts d'automne n'ont pas reçu de fertilisation, en tenant compte que ceux-ci peuvent valoriser les engrais résiduels (NPK). La faible croissance des engrais verts d'automne n'a pas permis une absorption maximale des éléments nutritifs du sol. En effet, les engrais verts d'été ont été récoltés à pleine floraison, soit après 60 à 90 jours de croissance selon les espèces (Tableau 4), tandis que les engrais verts d'automne, semés vers le 15 septembre, ont été récoltés et enfouis au sol au début du mois de novembre, soit après moins de 50 jours de croissance. De plus, les conditions plus froides d'automne n'ont pas permis une croissance optimale des engrais verts et une absorption élevée en éléments nutritifs. Toutefois, on observe que les engrais verts d'automne ont en moyenne recyclé 30% de l'engrais azoté résiduel après la récolte de la pomme de terre (50,5 kg N prélevé /150 kg de l'engrais N apporté).

Malgré leur courte saison de croissance en 2010, les prélèvements en engrais résiduels dans le sol par les engrais verts semblent tout de même importants. Ces résultats indiquent que les engrais verts d'automne peuvent recycler les éléments nutritifs résiduels dans le sol lorsqu'ils sont semés tôt après les récoltes hâtives de pomme de terre.

Les teneurs en C et en N des engrais verts d'été et d'automne ont varié entre 37 et 42 % et 1,20 à 3,9 % respectivement, selon les espèces (Tableau 5). Les teneurs en carbone étaient similaires entre les engrais verts d'été et d'automne. À cause de la dilution de l'azote selon les quantités de biomasses produites, les teneurs en azote étaient plus faibles pour les biomasses des engrais verts d'été et élevées pour ceux d'automne. Le millet japonais et le millet perlé avaient des teneurs plus faibles en azote, ce qui justifie leurs rapports C/N plus élevés. Les engrais verts d'automne avaient des teneurs plus élevées en azote par rapport aux engrais verts d'été, et par conséquent, des rapports C/N plus faibles.

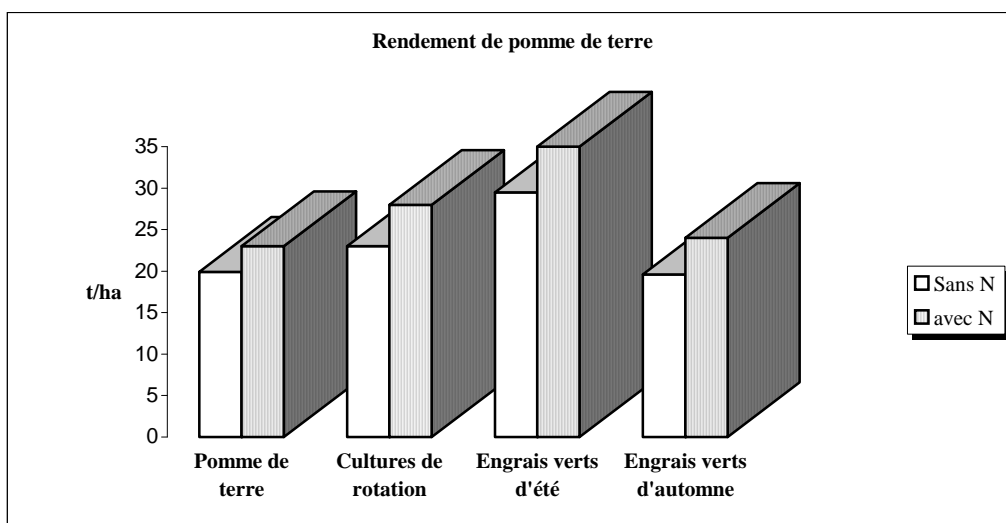
**Tableau 5. Caractéristiques des engrais verts d'été et d'automne (2010).**

	% C	% N	C/N
<b>Engrais verts d'été</b>			
Millet perlé	40	1,5	26
Moutarde jaune	39	2,5	16
Millet japonais	39	1,5	26
<b>Engrais verts d'automne</b>			
Avoine	42	4,0	11
Blé	42	4,5	9
Moutarde jaune	37	3,6	10
Millet japonais	n.d.	n.d.	n.d.
Seigle	43	4,0	10

- Les quantités de biomasses végétaives produites ont été environ 4 fois plus élevées pour les engrais verts d'été, en comparaison avec les engrais verts d'automne.
- Les engrais verts d'automne ont valorisé de plus faibles quantités d'éléments nutritifs résiduels (N, P, K, Ca et Mg) dans le sol après la récolte de pomme de terre, en comparaison avec les engrais verts d'été. Toutefois, ceux-ci ont recyclé en moyenne 30% de l'engrais azoté résiduel après la récolte de la pomme de terre

### 3.2. EFFET DES PRÉCÉDENTS DE CULTURE SUR LES RENDEMENTS ET LE POIDS SPÉCIFIQUE DE LA POMME DE TERRE ET SUR L'INCIDENCE DE LA GALE COMMUNE

Les niveaux de rendements totaux et vendables de pomme de terre obtenus en 2011 sont présentés à la figure 1. En comparaison avec la pomme de terre en continu, les cultures conventionnelles de rotation et les engrais verts d'été ont accru de 20 à 51 % les rendements totaux et vendables de pomme de terre en 2011. Les sols qui avaient été cultivés en engrais verts d'automne en 2010 ont en moyenne produit des quantités plus faibles de pomme de terre par rapport aux engrais verts d'été et aux cultures conventionnelles de rotation (Figure 1). De façon générale, les rendements totaux et vendables de pomme de terre étaient les plus élevés dans les sols qui avaient comme précédents le millet perlé et la moutarde jaune. (Tableau 6).



**Figure 1 :** Rendements vendables de pomme de terre (moyenne) obtenus en 2011 avec ou sans engrais minéral azoté sous les différents types de rotation.

**Tableau 6. Effet des cultures de rotation (précédents culturaux) en 2010 sur les rendements et la qualité des pommes de terre produites en 2011.**

Précédents	Rend. total	Rend. vendable	Poids spécifique	Indice de gale commune
	-----t/ha-----		-----kg/kg-----	
Pdt* en continu	29,6	23,1	1,0916	3,49
Avoine	32,1	28,4	1,0915	0,64
Orge	30,6	26,4	1,0917	0,16
Maïs-grain	32,8	28,7	1,0945	0,13
Millet perlé	37,8	35,4	1,0934	0,07
Millet japonais	37,3	32,4	1,0924	0,42
Moutarde jaune	42,3	38,4	1,0922	0,60
Pdt / avoine	23,2	18,9	1,0878	2,00
Pdt / blé	33,4	28,2	1,0930	2,00
Pdt / moutarde	28,3	22,4	1,0850	2,17
Pdt / seigle	33,4	29,2	1,0880	1,83

\* : Pdt = pomme de terre

Les résultats d'analyse de variance (Tableau 7) montrent des effets significatifs des précédents culturaux et des doses d'azote sur les rendements total et vendable de la pomme de terre. Les résultats montrent aussi une interaction entre l'effet de la dose et du précédent cultural sur ces paramètres de production. On peut donc en déduire que seul l'azote dérivé des engrais verts ne pouvait combler les besoins de la pomme de terre en cet élément.

**Tableau 7. Analyse de variance de l'effet des cultures de rotation (précédents culturaux) en 2010 sur les rendements et la qualité des pommes de terre produites en 2011.**

Analyse de variance	Rendement total	Rendement vendable	Poids spécifique	Indice de gale
	<b>Valeur F</b>			
Effet précédent cultural	11,04**	13,94**	4,44**	30,04**
Effet de la dose d'azote	21,58**	19,10**	2,74*	1,68
Précédent*dose	2,05**	1,82*	1,55*	2,56
Effet linéaire de la dose d'azote	70,78**	59,50**	7,66**	0,80
Effet quadratique de la dose d'azote	11,66**	12,49**	1,65	0,31
<b>Contrastes</b>	<b>Pr&gt;  t </b>			
Engrais verts d'été vs engrais verts d'automne	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0452
Engrais verts d'été vs rotations conventionnelles	<0,0001	<0,0001	0,9241	0,5157
Engrais verts d'automne vs rotations conventionnelles	0,0292	0,0032	0,0001	0,0543
Engrais verts + rotations vs pomme de terre en continu	0,0705	0,0045	0,6440	0,3150

\* et \*\* significatif à P < 0,05 et P < 0,01, respectivement

L'analyse des contrastes (Tableau 7) indique un effet quadratique de la dose d'azote sur les rendements en pomme de terre, ce qui indique que cette culture a utilisé seulement une partie des engrais azotés apportés, le reste étant comblé par l'azote dérivé du sol ou des engrais verts. Par ailleurs, les engrais verts étudiés étaient constitués de céréales et de crucifères qui ne sont pas fixatrices d'azote. Ainsi, les quantités d'azote apportées n'étaient pas assez importantes pour pouvoir soutenir à elles seules la nutrition azotée de la pomme de terre. Enfin, les analyses de contrastes montrent que les sols avec les engrais verts d'été et les cultures conventionnelles de rotation (maïs-grain ou céréales) ont produit des rendements significativement élevés par rapport aux engrais verts d'automne et à la pomme de terre en continu. Ces analyses montrent aussi que les bénéfices des engrais verts d'été sur les niveaux de rendements ont été plus importants par rapport à ceux des cultures de rotation.

Les résultats reliés au poids spécifique de la pomme de terre sont présentés au tableau 6. Le poids spécifique a varié entre 1,085 et 1,091, indiquant que la pomme de terre produite en 2011 sur ce site était en général de bonne qualité. L'analyse de variance montre que les engrais verts d'été et les cultures conventionnelles de rotation ont accru de façon significative le poids spécifique de la pomme de terre en comparaison avec la pomme de terre en continu et les engrais verts d'automne. Le poids spécifique de la pomme de terre obtenu avec les engrais verts d'été n'était pas différent de celui obtenu avec les cultures conventionnelles de rotation.

Les précédents culturaux ont significativement réduit la propagation de la gale commune de la pomme de terre (Tableaux 6 et 7), en comparaison avec la pomme de terre en continu. En effet, l'indice de la gale commune a été plus faible sous les précédents de cultures de rotation et des engrais verts d'été (0,13-2,0), par rapport à la pomme de terre en continu (3,49). En comparaison avec les engrais verts d'été et les cultures conventionnelles de rotation, l'indice de la gale commune était plus élevé sous les précédents d'engrais verts d'automne. Ces résultats indiquent que les engrais verts d'automne qui sont incorporés tard à l'automne dans le sol se décomposent au cours de la saison de végétation suivante. Pendant leur décomposition, les biomasses des engrais verts d'automne ont probablement stimulé les microorganismes du sol, ainsi que le pathogène relié à la gale commune.

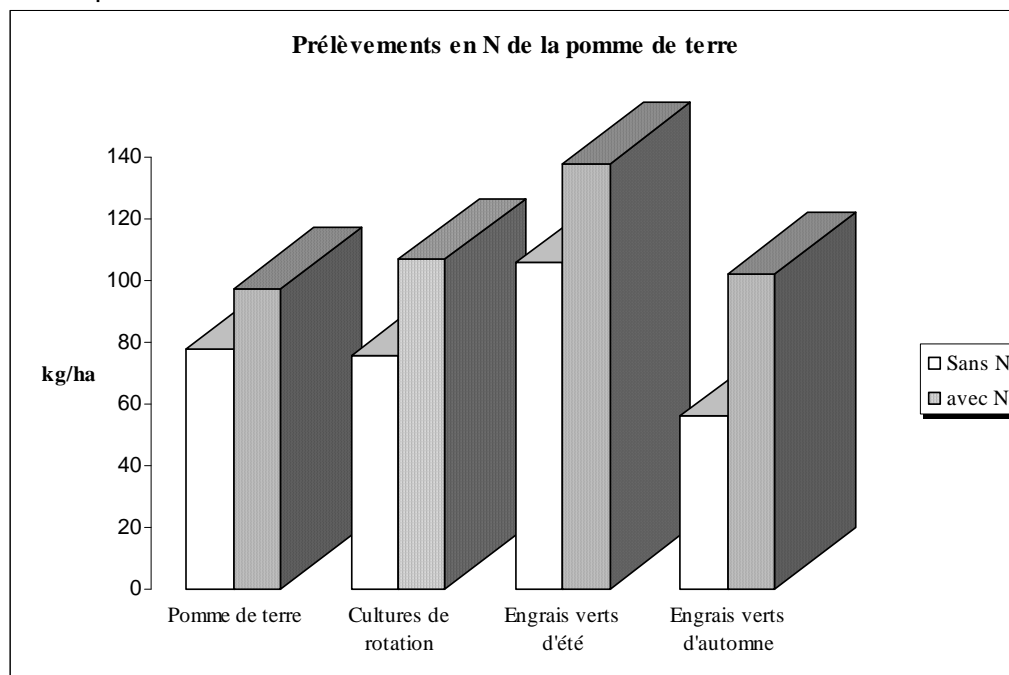
### **3.3. EFFICACITÉ DE L'AZOTE**

#### **3.3.1. PRÉLÈVEMENT EN AZOTE**

Les prélèvements de la pomme de terre en azote ont varié de 82 à 152 kg N/ha et étaient en moyenne de 106,9, 138,0 et 102,3 kg N/ha sous les précédents de cultures de rotation, d'engrais verts d'été et ceux d'automne, respectivement (Tableau 8). Les résultats d'analyse de variance montrent des effets significatifs à  $P < 0,01$  pour les différents précédents culturaux et les doses d'azote en comparaison avec le témoin (pomme de terre en continu) (Tableau 9). L'interaction entre les précédents culturaux et les doses d'azote n'était pas significative. Ces résultats signifient que les quantités d'azote prélevées par la pomme de terre ont été augmentées par les précédents culturaux et aussi par des apports d'engrais azotés. Comme pour les rendements en pomme de terre, les apports d'engrais azotés ont augmenté de façon quadratique les prélèvements en azote de la culture, ce qui montre une fourniture importante de l'azote du sol pour la pomme de terre. Les analyses de contrastes montrent que les prélèvements en azote de la pomme de terre étaient significativement plus élevés avec les

engrais verts d'été, par rapport aux cultures conventionnelles de rotation et aux engrais verts d'automne (Figure 2).

D'autre part, les cultures conventionnelles de rotation n'ont pas significativement accru les prélèvements en azote de la pomme de terre par rapport aux engrais verts d'automne. Ces résultats montrent que les différents précédents culturaux ont pu améliorer quelques propriétés du sol qui ont favorisé la disponibilité de l'azote ou de l'engrais ainsi que la nutrition optimale de l'azote par la culture.



**Figure 2 :** Prélèvements en N de la pomme de terre (moyenne) obtenus en 2011 avec ou sans engrais minéral azoté pour les différents types de rotation.

**Tableau 8.** Effet des précédents culturaux sur les prélèvements en azote, les coefficients apparents d'utilisation (CAUN) et d'efficacité de l'azote (CEN) de la pomme de terre en 2011.

Précédents	Prélèvements N kg N/ha	CAUN %	CEN kg pdt/kg N
Pdt* en continu	97,5	29	89
Avoine	116,7	34	92
Orge	105,6	29	87
Maïs-grain	98,4	48	102
Millet perlé	137,0	41	109
Millet japonais	124,0	56	106
Moutarde jaune	152,9	50	119
Pdt / avoine	82,4	57	84
Pdt / blé	120,7	40	92
Pdt / moutarde	82,3	54	97
Pdt / seigle	124,6	46	96

\* : Pdt = pomme de terre

**Tableau 9. Analyse de variance des effets des précédents culturaux sur les prélèvements en azote et les coefficients apparents d'utilisation (CAUN) et d'efficacité de l'azote (CEN) de la pomme de terre en 2011.**

<b>Analyse de variance</b>	<b>Prélèvements N</b>	<b>CAUN</b>	<b>CEN</b>
	<b>Valeur F</b>		
Effet précédent	7,82**	4,35**	6,62**
Effet de la dose	25,51**	17,54**	359,46**
Précédent*dose	1,34	2,36**	1,50
Effet linéaire de la dose	99,72**	42,59**	954,39**
Effet quadratique de la dose	5,78**	4,58*	152,02**
<b>Contrastes</b>	<b>Pr &gt;   t  </b>		
Engrais verts d'été vs engrais verts d'automne	<0,0001	0,1222	<0,0001
Engrais verts d'été vs rotations conventionnelles	0,0002	0,0426	0,0011
Engrais verts d'automne vs rotations conventionnelles	0,4862	0,0032	0,0325
Engrais verts + rotations vs pomme de terre en continu	0,0483	0,0408	0,3881

\*, \*\* significatif à  $P > 0,05$  et  $P > 0,01$ , respectivement.

### 3.3.2. COEFFICIENTS APPARENTS D'UTILISATION DE L'ENGRAIS AZOTÉ

Les coefficients apparents d'utilisation de l'azote de l'engrais mesurés pour la dose de 150 kg N/ha, dose recommandée pour la pomme de terre, sont présentés au tableau 8. Les valeurs des coefficients apparents d'utilisation de l'engrais azoté appliqué ont varié de 29 à 57%, étant en moyenne de 37% pour les cultures de rotation et de 49% pour les engrais verts d'été et ceux d'automne. Ils étaient de seulement 29% dans les parcelles cultivées en pomme de terre continuellement depuis quatre ans, probablement à cause de la détérioration des propriétés du sol.

L'analyse de variance montre que les différents précédents culturaux et les doses de l'engrais azoté (0 à 200 kg/ha) ont significativement influencé les coefficients apparents d'utilisation d'azote par rapport à la pomme de terre en continu. Les coefficients d'utilisation de l'azote de l'engrais ont diminué proportionnellement aux doses d'azote apportées à la culture (données non présentées). Les analyses de contrastes indiquent également qu'il y avait un effet quadratique des doses d'azote sur les coefficients apparents d'utilisation. Ces résultats signifient que les coefficients apparents d'utilisation d'azote n'ont pas augmenté proportionnellement avec les doses croissantes d'engrais azoté, démontrant ainsi que la fourniture du sol était importante sous les différents précédents de culture.



### **3.3.3. COEFFICIENTS D'EFFICACITÉ DE L'AZOTE (CEN)**

Les coefficients d'efficacité de l'engrais apporté sont exprimés en kg de pommes de terre produites par kg d'azote de l'engrais apporté et ils indiquent l'efficacité physiologique de l'absorption de l'azote par la culture. Les coefficients d'efficacité ont varié entre 69,8 et 119,2 kg de pomme de terre par kg d'engrais N (Tableau 8). De façon générale, les précédents culturaux ont accru les coefficients d'efficacité de l'azote par rapport à la pomme de terre en continu. Les coefficients d'efficacité de l'engrais étaient plus élevés dans les sols avec les engrais verts d'été par rapport aux précédents de cultures conventionnelles de rotation et d'engrais verts d'automne.

L'analyse de variance montre que les différents précédents culturaux et les doses d'azote ont significativement accru ( $P < 0,01$ ) les coefficients d'efficacité de l'engrais N. L'interaction entre les précédents culturaux et les doses d'azote n'était pas significative. Les analyses des contrastes montrent que les engrais verts d'été sont ceux qui ont le plus accru l'efficacité de l'azote par rapport aux cultures conventionnelles de rotation et aux engrais verts d'automne. Ces résultats montrent une utilisation plus efficace de l'azote de l'engrais sous les différents précédents de culture, en comparaison avec la pomme de terre en continu. Ceci démontre que ces rotations ont amélioré certaines propriétés du sol qui ont ainsi favorisé une meilleure croissance et nutrition de la pomme de terre.

### **3.3.4. DOSE OPTIMALE D'ENGRAIS AZOTÉ**

L'analyse de la réponse de la pomme de terre à l'apport d'engrais azoté sous les différents précédents de culture (cultures conventionnelles de rotation et engrais verts d'été et d'automne) indique un effet quadratique de la dose d'azote sur les rendements en pomme de terre (Tableau 10). Ceci signifie que cette culture a utilisé seulement une partie des engrais azotés apportés, le reste étant comblé par l'azote dérivé du sol ou des engrais verts. Pour produire les rendements maximum de pomme de terre, les doses optimales d'engrais azoté ont en effet varié entre 50 et 71 kg N/ha pour les précédents de maïs grain, de millet perlé, de moutarde jaune comme engrais verts d'été, et d'avoine et de seigle comme engrais verts d'automne. Elles ont varié entre 140 et 152 kg N/ha pour le millet japonais et la moutarde, comme engrais verts d'été et d'automne respectivement. La dose optimale nécessaire pour produire des rendements maximum de pomme de terre ont été de 200 kg N/ha pour les précédents d'avoine et d'orge comme cultures conventionnelles de rotation et pour la pomme de terre en continu.

**Tableau 10. Réponse de la pomme de terre aux apports d'engrais azotés sous différents précédents de culture.**

Précédents	Effet de la dose	Effet linéaire de la dose	Effet quadratique de la dose	Paramètres de régression**			R <sup>2</sup>	Rend. max.	Dose N optimale
				a	b	c			
		Pr > F		-----kg/ha-----				-----kg/ha-----	
Pdt* en continu	0,1229	0,0237	0,5858	17521	55,10	---	0,3633	28541	200
Avoine	0,1180	0,0622	0,8702	24935	33,07	---	0,2447	31549	200
Orge	0,0450	0,4182	0,1317	24384	20,03	---	0,0271	28390	200
Maïs-grain	0,0470	0,0214	0,0247	17780	572,24	-5,7171	0,5102	32099	50
Millet perlé	0,8314	0,9191	0,5121	36110	-65,71	0,6031	0,0564	34320	55
Millet japonais	0,0003	<0,0001	0,0062	20606	229,02	-0,7684	0,8470	37672	149
Moutarde jaune	0,0124	0,0053	0,0614	33993	164,83	-1,1547	0,4192	39874	71
Pdt/avoine	0,0013	0,0009	0,0555	7286	616,26	-6,1578	0,5948	22704	50
Pdt/blé	0,0895	0,0177	0,1496	20516	139,77	-0,4333	0,4914	31821	162
Pdt/moutarde	0,0568	0,0417	0,3468	9959	168,18	-0,5542	0,5707	22719	152
Pdt/seigle	0,4595	0,3412	0,5253	25674	206,07	-2,0600	0,1364	30828	50

\* Pdt = pomme de terre; \*\* Équation de régression obtenue qui est utilisée pour calculer la dose optimale et le rendement maximal ( $a + bx + cx^2$ ).

- Les cultures de rotation et les engrais verts d'été ont accru les niveaux de rendements, l'efficacité de l'azote de l'engrais, et réduit les doses d'azote nécessaires pour une production maximale. Les bénéfices des engrais verts d'automne sur la production de pomme de terre ont été plus faibles par rapport aux engrais verts d'été.

### 3.4. EFFET DES CULTURES DE ROTATION ET DES ENGRAIS VERTS SUR QUELQUES PROPRIÉTÉS DU SOL

Des échantillons de sol ont été prélevés en 2011 afin de mesurer les effets des différents précédents de cultures de rotation et d'engrais verts sur la rétention en eau et les teneurs en carbone et en azote total. Les incorporations de résidus des cultures de rotation et des engrais verts pourraient augmenter le pouvoir de rétention en eau des sols, évitant ainsi le dessèchement des sols pendant les périodes critiques de croissance, de floraison et de tubérisation de la pomme de terre. De façon générale, les applications des amendements organiques du sol (fumier solide de bovins ou autres sources de matières organiques) améliorent très rapidement le pouvoir de rétention en eau des sols. Les résultats obtenus dans notre étude indiquent que les cultures de rotation et les engrais verts d'été ou d'automne en 2010 n'ont pas augmenté de façon significative la teneur en eau du sol au stade bouton de la pomme de terre en 2011 (Tableau 11), en comparaison avec le traitement de la pomme de terre en continu. Les résidus organiques des engrais verts ou des cultures de rotation ont été probablement peu élevés et ceci pourrait justifier leurs faibles effets sur ce paramètre. De plus, les fortes précipitations encourues durant cette période de végétation en 2011 ont pu saturer les

sols en eau dans tous les traitements et ainsi empêcher qu'une amélioration de la capacité de rétention en eau du sol puisse se manifester.

Par ailleurs, deux cultures d'engrais verts d'été et d'automne successives en 2008 et en 2010 n'ont pas accru significativement les teneurs du sol en carbone et en azote en 2011 (Tableau 11). D'autres études ont déjà démontré que les teneurs en carbone et en azote total augmentent dans le sol seulement après plusieurs applications de fumiers ou d'autres sources de matières organiques. Toutefois, les résultats obtenus ont démontré que les incorporations de résidus organiques des engrais verts et des cultures de rotation ont accru significativement les teneurs du sol en carbone et en azote solubles à l'eau, en comparaison avec la pomme de terre en continu. Ces résultats démontrent une augmentation significative de la matière organique facilement minéralisable associée à une meilleure nutrition en azote des cultures suivantes. En effet, les rendements en pomme de terre et les prélèvements en azote ont été significativement plus élevés en 2011 dans les sols cultivés en engrais verts ou en cultures de rotation, en comparaison avec la pomme de terre en continu. (Tableaux 6 à 9).

**Tableau 11. Effet des cultures de rotation et des engrais verts sur la teneur en eau du sol, le carbone et l'azote total du sol et le carbone et l'azote soluble à l'eau du sol en 2011.**

Précédents	Teneur en eau du sol	C	N	C soluble à l'eau	N soluble à l'eau
Pdt en continu	29,4	2,1	0,16	0,011	0,0016
Avoine	29,8	2,3	0,17	0,014	0,0022
Orge	30,6	2,3	0,18	0,013	0,0024
Maïs-grain	30,0	2,2	0,18	0,013	0,0020
Millet perlé	27,3	2,3	0,18	0,013	0,0018
Millet japonais	27,6	2,1	0,18	0,012	0,0020
Moutarde jaune	31,0	2,3	0,19	0,012	0,0020
Pdt /avoine	30,5	2,3	0,18	0,014	0,0017
Pdt /blé	28,9	2,2	0,18	0,014	0,0017
Pdt/ moutarde	29,3	2,3	0,19	0,012	0,0018
Pdt/ seigle	30,5	2,3	0,18	0,012	0,0021
<b>Analyse de variance</b>				<b>Valeur de F</b>	
Effet des précédents	0,17	1,27	2,12	4,57**	5,07**
Engrais verts d'été vs engrais verts d'automne	0,28	0,89	1,64	1,90	0,96
Engrais verts d'été vs rotations conventionnelles	0,23	0,74	0,98	0,86	0,71
Engrais verts d'automne vs rotations conventionnelles	0,48	1,35	0,79	0,96	3,10*
Engrais verts + rotations vs pomme de terre en continu	0,67	0,91	0,61	2,35*	0,54

\*, \*\* significatif à  $P < 0,05$  et  $P < 0,01$  respectivement. NS : non significatif.

A court terme, les bénéfices des engrais verts sur la production en pomme de terre peuvent être attribuables aux quantités d'azote facilement minéralisable apportées au sol, qui ont amélioré la nutrition azotée de la culture.

### **3.4. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS OBTENUS DURANT LES DEUX CYCLES DE ROTATION (2008-2011)**

Cette étude a été conduite sur le même site pendant quatre ans (de 2008 à 2012) afin d'intégrer les conditions climatiques variables qui influencent la croissance et la nutrition des engrais verts et de la pomme de terre. Les différentes cultures de rotation et les engrais verts ont été cultivés en 2008 et 2010. Pour évaluer les bénéfices de ces cultures sur la production de pomme de terre, cette dernière a été semée en 2009 et 2011. En 2008, les engrais verts d'automne ont été semés tôt pendant la dernière semaine du mois d'août. Leur croissance était optimale et ils ont produit des quantités élevées de biomasse. Les engrais verts d'été ainsi que les cultures conventionnelles de rotation ont accru les rendements de la pomme de terre et les quantités d'azote prélevées en 2009 et 2011, en comparaison avec la pomme de terre en continu.

En 2009, les bénéfices des engrais verts d'automne sur les rendements et la qualité de la pomme de terre produite ont été similaires à ceux des engrais verts d'été (N'Dayegamiye et al., 2010). Les engrais verts d'automne semés durant la deuxième semaine de septembre en 2010 ont produit de faibles quantités de biomasse et ils ont par conséquent eu de faibles effets sur les rendements de pomme de terre en 2011, en comparaison avec les engrais verts d'été.

La plupart des engrais verts étudiés étaient des céréales (millet perlé et millet japonais) et une crucifère (moutarde blanche) qui ne fixent pas l'azote de l'air comme les légumineuses. Cependant, la décomposition de leur biomasse a enrichi le sol en azote facilement disponible. Par conséquent, les bénéfices observés des engrais verts et des cultures conventionnelles de rotation sur la production de pomme de terre sont probablement attribuables à l'amélioration des conditions du sol ou à la diminution des maladies qui ont favorisé une meilleure croissance et nutrition azotée de la culture. En effet, les cultures de rotation et les engrais verts d'été ont diminué l'incidence des maladies de la pomme de terre en 2009 (N'Dayegamiye et al., 2010) ainsi qu'en 2011. De faibles rendements et prélèvements en azote ont été obtenus dans les sols cultivés en pomme de terre en continu depuis quatre ans (2008 à 2011) probablement à cause de la détérioration des propriétés du sol ou l'augmentation des maladies de la pomme de terre, tel qu'observé dans cette présente étude.

## 4. CONCLUSIONS

En comparaison avec la pomme de terre en continu, les cultures conventionnelles de rotation et les engrais verts d'été ont accru de 20 à 51 %, respectivement, les rendements en pomme de terre en 2011. Les sols qui avaient été semés en engrais verts d'automne en 2010 ont en moyenne produit des rendements plus faibles de pomme de terre par rapport aux engrais verts d'été.

Les engrais verts d'été et les cultures conventionnelles de rotation ont significativement réduit la propagation de la gale commune de la pomme de terre, en comparaison avec la pomme de terre en continu et les engrais verts d'automne. Ainsi, leurs effets bénéfiques sur la production de la pomme de terre et sa nutrition en azote pourraient être attribuables à la réduction de l'incidence des maladies et à l'enrichissement du sol en azote facilement minéralisable et disponible à la culture. La moutarde jaune, le millet perlé ainsi que le millet japonais ont été de bons engrais verts d'été qui ont accru la production de la pomme de terre. Les meilleurs engrais verts d'automne ont été le blé et le seigle.

Les engrais verts d'automne ont connu une faible croissance en 2010 qui a été causée par un semis tardif dû aux abondantes précipitations survenues à la fin août et au début de septembre de 2010. Par conséquent, leurs bénéfices sur la production et la nutrition en azote de la pomme de terre ont été plus faibles. Sous nos conditions, les engrais verts d'automne devraient être semés au plus tard à la fin du mois d'août ou au tout début de septembre.

Cette étude a démontré les engrais verts d'été et les cultures conventionnelles de rotation ont significativement accru la production et la qualité de pommes de terre produites l'année suivante et ont en même temps amélioré la nutrition en azote de cette culture. Les bénéfices de ces régies agricoles peuvent être attribuables à la réduction de l'incidence de maladie pour la culture, mais aussi à une amélioration des conditions de sol qui ont favorisé une meilleure croissance et nutrition de la pomme de terre.

### Référence :

- N'Dayegamiye, A.; Laverdière, M.R.; Nyiraneza, J; Roy, G. et G. Gilbert. 2010. Bénéfices des engrais verts d'été et d'automne pour la production de pomme de terre. Rapport de recherche, MAPAQ. 40 pages.