

Le seigle d'automne (SA) comme plante intercalaire sarclée ou comme paillis dans le maïs-grain en régie biologique : Effet sur le rendement du maïs et potentiel du système au Québec

Estevez¹, B. et S. Giard²

¹ Agronome du Club Agroenvironnemental du CDA (Centre de Développement d'Agrobiologie) (b.estevez@sympatico.ca)

² Producteur du CAE du CDA, Ferme Giarmic, 1710, rang 4, St-Hugues, JOH 1N0

Résumé, Estevez¹, B., et S. Giard². Le seigle d'automne (SA) comme plante intercalaire sarclée ou comme paillis dans le maïs-grain en régie biologique : Effet sur le rendement et potentiel du système au Québec.

Cette étude a été réalisée sur une ferme en régie biologique de la Montérégie dans le sud-est du Québec en 2002 et 2003 dans le cadre d'un projet financé par le CDAQ et le CAE du CDA. Nous avons évalué l'effet du seigle d'automne enfoui ou non sur le rendement du maïs en sol lourd et en système de billons. En 2002 nous avons trois traitements (AC, SC et ST) sans répétition et en 2003 six traitements (AC, SC, AC6, SC6, AT et ST) (A pour absence de sarclage = paillis; S pour sarclage; T pour témoin; C pour 2 rangs de SA dans l'entre-rang de maïs; C6 pour 4 rangs de SA). Le dispositif expérimental était en blocs aléatoires (3). En 2003, le seigle a été semé soit à deux rangs dans l'entre-rang du maïs (AC et SC) soit à quatre rangs (AC6 et SC6), en localisant un autre rang de seigle à environ 15 cm de chaque rang de maïs. Nous avons comparé deux modes de gestion du SA, soit l'enfouissement au premier sarclage (SC et SC6), soit sans sarclage pour évaluer l'effet paillis. Deux témoins sans SA, sarclé (ST) et non sarclé (AT), ont complété les traitements afin de déterminer l'effet de la présence du SA et des mauvaises herbes sur le rendement du maïs.

Le 16 juin 2003, soit moins d'un mois après le semis, nous avons constaté un début d'interférence du seigle d'automne sur le maïs. La biomasse de 4 rangs de SA a été 37 % supérieure qu'avec 2 rangs de SA. L'apport azoté potentiel a été de 13 et 18 kg Nha⁻¹ respectivement pour 2 et 4 rangs de SA.

Le sarclage a permis de réduire de manière significative la biomasse de mauvaises herbes dans les traitements avec SA mais l'effet a été plus grand dans le traitement à 2 rangs de SA qu'avec 4 rangs. Dans les témoins, le sarclage a permis de réduire de huit fois la biomasse des mauvaises herbes.

Le SA comme paillis a eu un effet négatif sur le rendement du maïs. En fait en 2003, le SA n'a pas réduit la présence de mauvaises herbes lorsque l'on cumule la biomasse des MH et du paillis. Les résultats de l'effet du seigle sur le rendement du maïs en 2002 n'ont pas démontré de grandes différences entre les trois traitements comparés (SA enfoui ou non et un témoin sarclé) comparativement aux résultats de 2003.

En 2003, les rendements de maïs par ordre décroissant étaient les suivants : ST>AT>SC>SC6>AC>AC6, ST n'étant pas significativement plus élevé que AT. Les biomasses de mauvaises herbes et de paillis de SA nous indiquent que le maïs a été plus affecté par la présence du SA que par les mauvaises herbes puisque le témoin non sarclé (AT) avait une biomasse de MH plus élevée que celle de ST alors que son rendement était plus élevé.

L'article discute les différences de résultats entre les deux années de l'étude en fonction des pratiques agricoles et des conditions climatiques. Ces essais révèlent les limites de cette pratique à partir desquelles nous abordons le potentiel de l'utilisation du seigle d'automne comme plante intercalaire dans le maïs en régie biologique au Québec.

Mots clés : seigle d'automne, maïs, culture intercalaire, paillis, sarclage, semis sur billons

Abstract, Estevez¹, B., et S. Giard². **Winter rye (WR) as intercrop tilled or as mulch in organic corn production : Effect on yield and potential of the system in Quebec.**

This study has been done on an organic farm in the area of Montérégie south-east of Quebec in 2002 and 2003. The project has been financed by CDAQ and a farmer group (CAE of CDA). We have evaluated the effect of winter rye seeded with corn and tilled on not tilled on corn yield in heavy soil and on ridge tillage. In 2002 we had three treatments (AC, SC and ST) without replication. In 2003, we had six treatments (AC, SC, AC6, SC6, AT and ST) (A for no tillage = mulch; S for tillage; T for control; C for 2 rows of WR intercropped with corn; C6 for 4 rows of WR). The experiment design was by random blocks (3). In 2003, winter rye has been seeded as 2 rows (AC and SC) or 4 rows (AC6 and SC6) as intercrop treatments. For the last one, one row was at 15 centimeters of the corn. We have managed winter rye in two ways : tilled or not so to evaluate the effect of the mulch on weeds and corn. We had two control without rye, one tilled (ST), the other not (AT) for the evaluation of weeds on corn.

On June 16th 2003, then less than one month after sowing, rye interference on corn growth has been stated. The biomass of 4 rye rows was 37 % more than with 2 rows. Nitrogen potential of

rye tilled was 13 and 18 N ha^{-1} respectively for 2 and 4 rows of rye. Weeding reduced weeds biomass significantly in WR treatments, better with 2 rows than 4 rows. Comparing the controls, weeding showed reduction of weed biomass by 8 times.

WR as mulch had a detrimental effect on corn yield. In fact, WR did not result in less weeds when we took in consideration weeds plus WR biomass as mulch. In 2002, corn yield has been almost the same in the three treatments (SC, AC and ST). In 2003, corn yield showed yielded as follow : ST>AT>SC>SC6>AC>AC6, ST being non statistically different than AT. Biomass of weeds plus WR showed that corn has been more affected by WR than weeds because the control AT had more weeds than SC and higher yield.

The article discuss the differences of data between the two years of the study in respect of agricultural practices and climatic conditions. Although that the study shows the limits of using rye as intercrop in corn, we discuss its potential in organic farming in Quebec.

Keywords : Winter rye, corn, intercropping, mulch, mechanical weeding, ridge tillage

Introduction

Les deux défis majeurs de l'agriculture biologique sont la synchronisation de la disponibilité des nutriments du sol et les besoins de la culture ainsi que le contrôle des mauvaises herbes. Il est reconnu que la rotation des cultures et donc sa diversification, permet de minimiser l'impact négatif des mauvaises herbes sur les cultures (USDA/ARS, 2003). Le maïs fait partie de la rotation traditionnelle (maïs-soya-blé) que ce soit en régie conventionnelle ou biologique. Le maïs est peu compétitif avec les adventices en début de saison. Par contre, le seigle d'automne est reconnu pour concurrencer les mauvaises herbes en partie à cause de son effet allélopathique et de sa croissance rapide au printemps. Ainsi, l'introduction du seigle d'automne lors du semis du maïs permettrait de diversifier le système agricole tout en contribuant à différents objectifs : apport d'une matière organique facile à minéraliser lors de sa destruction; contrôle des mauvaises herbes dans l'entre rang, protection du sol en début de saison ou après la récolte comme paillis.

Le CDA (Centre de Développement d'Agrobiologie) a publié une brochure d'information et de promotion de ce type de cultures suite à de nombreux essais (Jobin et Douville, 1997). Les résultats de l'utilisation du seigle d'automne au printemps dans le maïs ont été encourageants (Jobin, 1995). Cependant, nous ne connaissons aucune étude québécoise qui ait expérimenté des paillis vivants dans le maïs.

Le MAPAQ a également abordé la problématique des cultures intercalaires dans le maïs. Cependant, toutes leurs études ont été réalisées dans un contexte de lutte chimique des mauvaises herbes et dans le cadre d'une fertilisation essentiellement minérale (Vézina et Tremblay (1994, 1995); Vézina et al. (1998)a, 1998b).

Vézina et Tremblay (1994) ont étudié l'influence des cultures intercalaires de légumineuses dans le maïs-grain. Bien qu'en général ces plantes intercalaires n'aient pas eu d'influence négative sur le rendement, mis à part une année avec la luzerne, l'effet sur les mauvaises herbes n'a pas été répressif, quand bien même ces légumineuses aient été semées en même temps que le maïs. Dans la même perspective, ces auteurs ont ensuite étudié l'effet d'une graminée comme plante intercalaire, le ray-grass vivace (*Lolium perenne*) (Vézina et Tremblay, 1995). Deux années sur trois, le ray-grass a limité de développement d'adventices de graminées annuelles de manière significative. Semé à pleine planche ou seulement dans l'entre-rang, le ray-grass n'a pas affecté le rendement du maïs-grain comparativement avec les parcelles sans culture intercalaire. Cependant, même semée tôt, cette plante se développe trop lentement pour concurrencer efficacement les mauvaises herbes à feuilles larges.

Vézina et al. (1998a) ont abordé les effets des cultures intercalaires sur les propriétés d'une argile lourde Ste-Rosalie. Bien que le trèfle rouge ait eu un effet bénéfique sur la stabilité structurale, il a aussi concurrencé le maïs-grain lorsque semé à pleine planche comparativement à un semis se limitant à l'entre-rang.

Comme plante intercalaire dans le maïs-grain, le trèfle rouge (*Trifolium pratense* L) a le potentiel de réduire la fertilisation azotée d'un blé qui suit le maïs-grain (Vézina et al. 1998b). Dans le cadre de cette expérience, les auteurs ont calculé un arrière-effet azoté d'environ 50 kg/ha par tonne de matière sèche. Cependant en sols légers, la croissance du blé est trop rapide pour bien utiliser l'azote provenant de la minéralisation de la biomasse du trèfle. Il pourrait en être tout autrement en sols lourds ou avec une culture comme le maïs qui a une longue saison de végétation. Dans cette étude, les auteurs ont conclu que la rentabilité économique à très court terme n'a pas été démontrée. Cependant, les auteurs sont d'avis qu'une évaluation à long terme de cette pratique et son influence sur les propriétés physiques et biologiques du sol et leur productivité pourrait modifier ces résultats.

Ces différentes études québécoises démontrent les contraintes qu'il nous faut lever ou atténuer pour rendre plus opérationnelle l'introduction de cultures intercalaires dans le maïs. Nous pouvons résumer ainsi les résultats de ces études :

1) Comme cultures intercalaires dans le maïs, les légumineuses ne semblent pas altérer le rendement lorsqu'elles sont semées dans l'entre-rang et peuvent être une bonne source d'azote pour la culture suivante, particulièrement une culture ayant une saison de végétation longue. Cependant, leur effet sur le contrôle des adventices paraît nul.

2) Comme graminée, le ray-grass vivace ne semble pas concurrencer le maïs lorsqu'il est semé à pleine surface le printemps, probablement parce qu'il se développe lentement. Bien qu'il ait quelque peu une incidence négative sur les mauvaises herbes de types graminées annuelles, il est trop lent à se développer pour bien concurrencer les mauvaises herbes à feuilles larges.

Dans une perspective d'optimisation des cultures intercalaires en régie biologique, il faut penser à intégrer différentes plantes afin d'atteindre des objectifs complémentaires (recyclages des nutriments, contrôle des mauvaises herbes, etc.) (Jobin 1995, 1996). Pour le contrôle des mauvaises herbes, la plante doit germer et s'installer rapidement tout en produisant un feuillage abondant. **Le seigle d'automne (*Secale sp.*)** nous paraissait être un bon candidat puisqu'il répond à ces caractéristiques recherchées. Ses vertus allélopathiques sont reconnues (Barnes et Putnam, 1983) et il peut servir de couverture du sol. En effet, comme tous les cultivars d'automne, le seigle d'automne doit passer par une période de vernalisation pour monter en graines. Ainsi, lorsque le seigle d'automne est semé au printemps, il reste végétatif toute la saison au cours de laquelle il développe son système racinaire. En se développant ainsi, la concurrence avec la culture principale devrait être minimisée lorsqu'il est détruit au premier sarclage ce que Jobin (1995) avait constaté en sol limoneux.

Cette étude visait donc à répondre aux questions suivantes dans le cadre d'une régie biologique en sols lourds et en système de billons : Quels sont les impacts du seigle d'automne semé le printemps, enfoui ou comme paillis sur le rendement du maïs-grain et la pression des mauvaises herbes ?

Méthodologie

Dispositif expérimental

Cet essai a été réalisé dans le cadre d'un projet de transfert technologique en agriculture biologique financé par le CDAQ et le Club agro-environnemental du CDA (Estevez, 2004) à la ferme Giarmic à St-Hugues (Montrégie-est).

La ferme est totalement certifiée biologique depuis 2002. Traditionnellement en production laitière, elle est désormais en grandes cultures sur billons. La superficie cultivable est de 100 hectares et la rotation est actuellement la suivante : 2 ans de prairie, maïs-grain, soya, blé. Le sol est une argile de la série St-Urbain. Les contenus du sol en P, K, de Ca, de Mg étaient respectivement de 135, 211, 4960, 622 kg ha⁻¹ en 2002. Le taux d'aluminium était de 841 ppm, le pH eau de 6,4 et le taux de matière organique de 4 %.

Nous avons abordé l'utilisation du seigle d'automne comme culture intercalaire de printemps dans le maïs en 2002 en implantant des bandes de la manière suivante : Seigle au semis du maïs (sarclé et non sarclé : effet du paillis) et un témoin sans seigle et sarclé. Mentionnons qu'il n'y a pas eu de répétitions et donc d'analyses statistiques.

Suite aux résultats de 2002 qui étaient encourageants, nous avons voulu évaluer de nouveau l'effet du SA comme culture intercalaire sur le rendement du maïs de façon plus expérimentale. En 2002, le contrôle des mauvaises herbes (MH) était très efficace dans l'entre-rang où il y avait

du SA, par contre, elles levaient abondamment entre le SA et le rang de maïs. Nous avons alors pensé d'ajouter un rang de SA à 6 pouces du maïs pour essayer de mieux contrôler les MH proches du rang.

En 2003, nous avons donc utilisé un plan expérimental en blocs aléatoires (trois) qui comprenait les six traitements suivants :

1) SA semé au printemps et enfoui par le sarclage (2 traitements)

- (SC) SA semé dans l'entre-rang (2 rangs)
- (SC6) SA semé au centre de l'entre-rang (2 rangs) et à 6 pouces de chaque rang de maïs : total 4 rangs de SA

2) SA semé au printemps et non enfoui (2 traitements) : effet paillis

- (AC) SA semé dans l'entre-rang (2 rangs)
- (AC6) SA semé au centre de l'entre-rang (2 rangs) et à 6 pouces de chaque rang de maïs : total 4 rangs de SA

3) 2 témoins :

1. (TS) Témoin sans SA et sarclé
2. (AT) Témoin sans SA et non sarclé (Effet des mauvaises herbes)

Les parcelles comprenaient six rangs de maïs et mesuraient 15 mètres de long. Chaque bloc était séparé par une zone non cultivée de 4,5 m, avec implantation de ray-grass et de trèfle vers la fin juillet.

En 2002 et 2003, le précédent cultural était une prairie qui a été déchaumée. L'application d'environ $36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de lisier de porc d'engraissement a précédé le semis d'un engrais vert d'avoine (50 kg ha^{-1}) et de moutarde noire (10 kg ha^{-1}).

En 2002 et 2003, le semis a eu lieu le 22 mai avec le cultivar NK 2555 autour de $79\,600 \text{ gr ha}^{-1}$, le seigle d'automne a été semé au taux de 50 kg ha^{-1} .

En 2003, le travail du sol au printemps a consisté en deux passages de vibroculteur réalisés les 19 et 20 mai.

Pour le traitement de quatre rangs de SA nous avons dû procéder en deux passages :

- 1) Semis de deux rangs au centre de l'entre-rang
- 2) Régler la distance des disques pour semer un rang de SA à six pouces du rang de maïs. Cependant, l'obstruction du cadre métallique qui maintenait les disques ne nous a pas permis d'être aussi précis sur un côté du semis. Soit que le semis était plus proche ou plus loin de six pouces du rang de maïs selon la direction du semis.

Contrairement à 2002, il n'y a pas eu de passage de peigne en prélevée pour le contrôle des mauvaises herbes en 2003. Le 1^{er} sarclage lourd a été réalisé le 25 juin (un mois après le semis) et le second sarclage (sans billonnage) a été réalisé le 17 juillet.

L'application de lisier de porc d'engraissement en postlevée a eu lieu le 1^{er} juillet à un taux de $32 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, le maïs était alors entre les stades 8 feuilles et début 9^{ème}.

Prise de données et analyses

Le rendement du maïs a l'hectare a été évalué en tenant compte qu'il y avait 134 rangs de maïs sur 100 mètres. Pour le calcul de la biomasse des plantes intercalaires et des mauvaises herbes, nous avons donc considéré 133 entre-rangs sur 100 mètres.

Printemps

Nous avons évalué la biomasse du SA le 23 juin en prenant un échantillon dans l'entre-rang de maïs sur un mètre de long et ce trois fois par parcelle. Les échantillons ont été séchés à l'air.

La pression des MH (mauvaises herbes) dans les témoins a été évaluée par la méthode de pourcentage de recouvrement des MH (Douville et Coulombe, 2000) à l'aide d'un quadrat (20 cm de large et 50,5 cm de long) à trois reprises par parcelle.

Automne

La biomasse des MH et du SA a été évaluée le 20 octobre dans l'entre-rang sur deux mètres et trois fois par parcelle. Le rendement du maïs a été évalué le 24 octobre par un échantillonnage des plants sur les deux mêmes mètres utilisés pour les mauvaises herbes et ce trois fois par parcelle. Les biomasses de MH et de SA ont été séchées à l'air. Pour l'évaluation du rendement du maïs, nous avons procédé de la manière suivante : Après séchage à l'air, les épis ont été égrainés mécaniquement. Pour chaque échantillon, nous avons pesé le poids des grains et de la rafle. Le taux d'humidité du grain et de la rafle ont été calculés à partir d'échantillons séchés au CEROM pendant 72 heures à la température de 103⁰C. L'analyse de la protéine du grain de maïs a été réalisée par le CEROM et l'analyse de l'azote du seigle par le laboratoire Agri-direct.

Analyses statistiques

Les données ont été soumises à des analyses de variance selon un dispositif expérimental en blocs aléatoires en utilisant le logiciel SAS (SAS Institute Inc., 1996). Les données ont été transformées au besoin. Les analyses ont été considérées significatives à partir d'un $p < 0,05$. Nous avons utilisé les tests de contrastes pour déterminer les différences entre les traitements. Lorsque les contrastes n'étaient pas pertinents, nous avons substitué le test Waller-Duncan.

Résultats

Printemps

Suivi du maïs, du seigle d'automne (SA) et des mauvaises herbes(MH) avant le sarclage

Cinq jours après le semis (22 mai), le maïs était germé et le SA était proche de sortir de terre. Le quatre juin, le maïs pointait de façon irrégulière alors que le stade du SA variait de 1 à 2 feuilles. Nous n'avons pas constaté de fils blancs dans le sol, la température du sol était à 17⁰C à cinq centimètres (14⁰C à 10 cm).

Le 13 juin le maïs était au stade 2 feuilles et le SA tallait. Le maïs ne semblait pas encore affecté par la présence du SA. Dans une certaine mesure, le SA jouait un rôle de brise-vent, un peu comme l'utilisation de l'orge en compagnonnage avec la carotte ou l'oignon en sol organique. La pression des mauvaises herbes était faible (chénopode, amarante, tabouret, crucifères). La température ponctuelle du sol était autour de 22⁰C à cinq centimètres (20⁰C à 10 cm). Le 16 juin (plus de trois semaines après le semis), le maïs qui était alors au stade début 3 feuilles présentait des différences selon les témoins et les traitements avec SA, les 4 rangs notamment (AC6 et SC6). Lors de l'échantillonnage printanier, le 23 juin, ces différences s'étaient accrues. Le stade du maïs était alors à 5 feuilles.

Les mauvaises herbes présentes avant le premier sarclage sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Diversité des mauvaises herbes le 23 juin 2003 (en caractère gras, espèces dominantes)

Types de mauvaises herbes (MH)	Espèces	Nom latin
Dicotylédones annuelles	Chénopode blanc Amarante à racine rouge Tabouret des champs Liseron des champs, renouée persicaire et bourse-à-pasteur	<i>Chenopodium album</i> <i>Amaranthus retroflexus</i> <i>Thlaspi arvense</i> <i>Covulvulus arvensis</i> , <i>Polygonum persicaria</i> , <i>apsella bursa-pastoris</i>
Monocotylédones annuelles	Sétaire géante et Pied de coq	<i>Setaria faberii</i> , <i>Echinochloa crusgalli</i>
Dicotylédone vivace	Pissenlit	<i>Taraxacum officinale</i>
Monocotylédone vivace	Chiendent	<i>Agropyron repens</i>

Les résultats statistiques sont affichés dans le tableau 2. Nous avons comparé le pourcentage de recouvrement des MH dans les témoins avant le sarclage. Le recouvrement des MH était supérieur dans ST mais non significatif selon le test Waller-Duncan (tableau 2).

Tableau 2. Statistiques des données du printemps

Traitements	d.l.	(F) Mauvaises herbes ^{1,2}	d.l.	(F) Seigle ³
Modèle	3	3,13	5	3,50
Bloc	2	3,32	2	1,82
Traitements	1	2,76	3	4,62
Erreur	2		6	

*, ** significatif à P < 0,05, 0,01

¹ % de recouvrement

² Test Waller-Duncan non significatif : AT : 15, 33 % vs ST : 20,33 %

³ Kg m.s./ha

Comme en 2002, les mauvaises herbes ont été peu abondantes dans l'entre-rang du maïs où il y avait du SA. Cependant, entre le SA et le maïs, le champ était libre pour leur établissement. L'effet de placer un rang de SA proche du maïs n'a pas réduit les MH sur le bord de rang sauf si le SA était très proche du maïs.

Le 24 juin, la température ponctuelle dans l'entre-rang d'un témoin était de 33° C à 5 cm de profondeur (26° C à 10 cm) alors que dans le SA proche du rang de maïs la température était de 28° C à 5 cm (25° C à 8 cm). Le sol commençait à être sec et des fissures étaient présentes.

Biomasse du SA enfoui et apport azoté potentiel

La différence de biomasse entre 2 et 4 rangs de SA est non significative (tableaux 2 et 3), bien que les traitements avec 4 rangs (AC6 et SC6) ont produit 37 % plus de biomasse qu'avec 2 rangs (AC et SC). Compte tenu du doublement de rang de SA, la différence de biomasse entre 2 et 4 rangs de SA est plutôt faible. Ce constat, nous permet d'émettre l'hypothèse qu'il serait éventuellement stratégique d'envisager un autre positionnement des deux rangs de SA pour en augmenter la biomasse à enfouir et ce par un écart plus grand entre les rangs.

Tableau 3. Biomasse du SA selon le nombre de rang par traitement (kg m.s. ha⁻¹) le 25 juin 2003 : moyennes et test de Waller-Duncan

Traitements	Biomasse de SA
AC	325 b
SC	349 b
AC6	488 a
SC6	438 ab

La teneur en azote total du SA était de 3,9 %. Les biomasses enfouies correspondaient à un potentiel azoté de 13 et 18 kg N ha⁻¹ avec 2 rangs et 4 rangs de SA respectivement. Cette quantité était faible par rapport à l'année 2002 où nous avons alors une teneur en azote de 5,8 %, une biomasse à enfouir de 992 kg ha⁻¹ et un apport azoté potentiel de 56 kg N ha⁻¹.

Suivi du maïs, du seigle d'automne (SA) et des mauvaises herbes (MH) à partir du sarclage

Le sarclage a été réalisé le 25 juin, le stade du maïs variait alors entre 4 et 6 feuilles. Les racines latérales du maïs avaient une longueur de 12-15 cm dans l'entre-rang. Le SA avait des racines allant jusqu'à 23 cm de profondeur. L'enfouissement du SA a été réalisé par un sarclage lourd dont muni de pattes d'oie de 20 pouces en sol très sec, mais un orage était prévisible en fin de journée. Le sarclage a bien détruit le SA mais renversait mal les touffes, permettant un grand contact des racines avec le sol. L'orage a épargné St-Hugues et le SA a pu sécher rapidement. Cependant, une bonne pluie aurait probablement permis une repousse du seigle. Les quatre rangs de SA ont été plus difficiles à détruire car parfois, le semis du SA avait été fait trop proche du rang de maïs. Certains reliquats de SA ont survécu. Lors du premier sarclage et ce pour mieux détruire le SA, il serait peut-être préférable d'utiliser les pattes inversées afin de ramener le SA vers l'intérieur de l'entre-rang ce qui permettrait de renverser les touffes. Ensuite, au second sarclage, le SA pourrait être mieux enfoui.

Le 30 juin, dans le traitement avec quatre rangs de SA, les feuilles du maïs étaient vert pâle et sa croissance était ralentie. Dans le témoin sarclé le maïs était bien vert.

Le lisier a été appliqué le 1^{er} juillet, soit 5 semaines après le semis alors que le maïs était en général au stade (6-7 feuilles). Nous n'avons pas utilisé les sarclages pour enfouir le lisier car la biomasse du SA était encore présente en surface et pouvait ainsi éponger le liquide.

Lors de notre visite du 14 juillet, les différences entre les traitements étaient très bien marquées. Dans le traitement non sarclé avec 4 rangs de SA (AC6) le maïs était retardé (7 feuilles), de couleur pâle, sa hauteur n'était que de 35-40 cm, alors que dans le témoin non sarclé (AT), le maïs avait 10 feuilles et mesurait 75 cm. Dans le témoin sarclé (ST) du bloc 1, le maïs était vigoureux (12 feuilles et 90 cm à 1,10m de haut). En général, le maïs avec SA était retardé. L'interférence était plus grande avec 4 rangs de SA et sans sarclage. Des problèmes techniques nous ont empêché de bien semer le SA à 15 cm du plant de maïs. Parfois le semis était très proche du rang de maïs. Déjà en 2002, nous avons constaté que lorsque le SA poussait près du maïs, l'interférence était très négative sur le rendement de la culture. Le SA (2 rangs dans l'entre-rang) ne permettait pas de contrôler les MH sur le bord du rang de maïs. Dans les parcelles avec SA, la pollinisation a été déficiente surtout avec 4 rangs et sans sarclage. En fait, le maïs semblait être moins affecté par les MH que par la présence du SA. Sur un retour de prairie déchaumée suivie d'un engrais vert, la flore adventice était surtout composée de dicotylédones annuelles (chénopode et amarante). Bien que le 1^{er} sarclage a été fait tard, le contrôle des mauvaises herbes a été efficace dans l'entre-rang.

Le second sarclage a eu lieu tardivement, le 17 juillet. Le 19 août, nous avons constaté une mauvaise pollinisation très sévère dans le traitement AC6. Dans les témoins, les épis étaient

normaux. Seul le traitement avec 2 rangs de SA et sarclé (SC) était le traitement avec SA le moins affecté.

Automne

Le tableau 4 présente les résultats statistiques dont les tests de contrastes et le tableau 5 les moyennes des traitements et les résultats du test Waller-Duncan.

Tableau 5. Résultats statistiques (automne 2003)

Traitements	d.l.	(F) Mauvaises herbes ¹	d.l.	(F) Seigle ¹	d.l.	(F) Rendement grains ¹
Modèle	7	5,88**	3	9,96	7	16,82****
Bloc	2	0,22	2	4,4	2	0,81
Traitements	5	8,15**	1	21,09*	5	23,23****
Erreur	10		2		10	
Contrastes						
AT vs ST	1	24,10***	--	---	1	3,29
SC vs ST	1	8,91*	--	---	1	5,04*
AC+SC vs AT+ST	1	6,74*	--	---	1	23,20***
AC6+SC6 vs AT+ST	1	7,12*	--	---	1	74,48****
AC+AC6 vs SC+SC6	1	5,66*	--	---	1	37,93****

*, **, ***, **** significatif à P < 0,05, 0,01, 0,001, 0,0001

¹ kg m.s./ha

Tableau 5. Moyennes et résultats du test Waller-Duncan (automne 2003)

Traitements	Mauvaises herbes ¹	Seigle ¹	Rendement en grains ¹
AT	1326 ab	--	12 175
AC	1569 a	138 b	7 850
AC6	1167 ab	767 a	5 089
ST	166 c	--	13 891
SC	566 b	--	11 766
SC6	893 ab	--	9 421

¹ kg m.s./ha

Biomasse des mauvaises herbes (MH)

Le chénopode et l'amarante étaient les deux MH principales. De nombreux plants, surtout sur le bord du rang de maïs, pouvaient mesurer les ¾ de la hauteur du maïs. D'ailleurs, quel que soit le traitement, la biomasse des MH était surtout le fait de plants gigantesques. Comme MH secondaires, les pissenlits ont surtout réapparu après le second sarclage mais ne constituaient qu'une biomasse négligeable.

Étant donné que le maïs a été affecté par le SA, il semble ne pas avoir été aussi haut en 2003 qu'en 2002. Il aurait ainsi laissé passer davantage de lumière ce qui a permis à certains reliquats de SA non enfoui de rester vert. Définitivement, dans le témoin sarclé, les tiges de maïs étaient plus grosses et les épis plus grands et plus gros. Nous y avons aussi constaté moins de pissenlits.

Malgré la présence d'un rang de SA à 6 pouces du maïs, cela n'a pas forcément réduit les MH sur le bord du rang. En effet, quel que soit le traitement, la plupart des MH en fin de saison étaient localisées près du rang de maïs. Notre hypothèse qu'un rang de SA à 6 pouces du rang de maïs pouvait réduire la pression des MH n'a donc pas été confirmée. Lorsque le SA était très

proche du maïs (problème technique pour bien positionner le semis à 6 pouces du maïs), les MH étaient plutôt absentes mais l'interférence du SA a été très négative sur le développement du maïs (tableaux 4 et 5).

L'effet du sarclage dans les traitements de SA a été significatif et a produit en moyenne deux fois moins de biomasse de MH qu'en l'absence de sarclage (tableaux 4 et 5). C'est aussi le cas dans les témoins où le sarclage a réduit considérablement les MH puisque la biomasse était 8 fois moindre. Le sarclage a aussi été plus efficace dans le SC que dans SC6 car il a été difficile de bien détruire le SA proche du maïs (tableau 5). Des reliquats de SA encore verts faisaient alors partie de la biomasse des MH dans le traitement SC6. En comparant AC et AC6, la présence de 4 rangs de SA a bien réduit la biomasse des MH sans que ce soit significatif (tableau 5). Cependant, comme paillis, le traitement AC6 a stressé le maïs au point de réduire drastiquement le rendement en grains (tableaux 4 et 5). Le traitement à 4 rangs de SA ne peut donc être recommandé dans les conditions de cette étude.

Le seigle d'automne (SA) comme paillis et son effet sur les mauvaises herbes

La différence de biomasse de SA à l'automne selon le nombre de rangs est significative (tableaux 4 et 5). En fait, AC6 a produit plus de 5,5 fois de biomasse que AC, alors qu'au printemps la différence de biomasse était de 37 % (tableau 4). Cela s'est bien traduit par une baisse de biomasse des MH (tableau 6). Effectivement, lorsque le SA est bien implanté, peu de MH s'installent. Cependant, en comparant AT et AC (tableaux 4 et 5) le SA ne réduit pas la biomasse des MH en fin de saison dans les conditions de cet essai. De plus, lorsque l'on cumule la biomasse des MH et celle du SA comme paillis (tableau 6), la biomasse totale devient plus élevée avec 4 rangs de SA (AC6). Ainsi, la réduction de la biomasse des MH avec 4 rangs de SA n'est que relative car la présence du SA se traduit par une interférence très négative sur le rendement du maïs (tableaux 4 et 5).

En 2002, le paillis s'est étioilé à mesure que le maïs produisait de l'ombre et en fin de saison on pouvait observer l'enfouissement des résidus par les vers de terre. En 2003, le maïs paraissait moins haut et laissait passer assez de lumière à certains endroits au point que certains plants de SA étaient restés verts lorsque nous avons échantillonné vers la fin octobre.

Tableau 6. Cumul de la biomasse de SA et de MH selon les traitements non sarclés (kg m.s.ha⁻¹)

Traitements	Biomasse du SA	Biomasse des MH	Biomasse totale
AC	138	1569	1707
AC6	767	1167	1934
AT		1326	1326

Le rendement du maïs

Le rendement moyen du maïs par ordre croissant selon les traitements est le suivant : ST>AT>SC>SC6>AC>AC6 (tableaux 4 et 5).

La différence de rendements entre les témoins ST et AT n'est pas significative (Tests de contrastes, tableaux 4 et 5). La différence entre AT et SC n'est que de 409 kg ha⁻¹ (tableau 5). Cependant, le témoin AT avait une biomasse plus de deux fois plus élevée que dans le traitement SC (tableau 5). Ces résultats nous indiquent que l'interférence du SA sur le maïs a été plus dommageable que les mauvaises herbes et ce probablement davantage en début de croissance du maïs. Le sarclage a amélioré de manière significative le rendement du maïs avec SA (Test de contrastes, tableaux 4 et 5). Le sarclage dans le témoin a été significatif puisqu'il a réduit de 8 fois la biomasse des MH. Cependant, malgré une différence de 1716 kg ha⁻¹ de grains entre ST et AT, l'analyse statistique n'était pas significative (tableaux 4 et 5).

Le rendement de maïs, les mauvaises herbes (MH) et le seigle d'automne (SA)

Le sarclage a eu un effet positif général sur le rendement de maïs et un effet négatif sur la biomasse des mauvaises herbes (tableaux 4 et 5). Cependant, la biomasse des mauvaises herbes n'est pas une donnée indicatrice suffisante pour expliquer le rendement de maïs lorsqu'une culture intercalaire est utilisée comme paillis vivant comme c'est le cas des traitements AC et AC6. Il faut donc cumuler la biomasse des MH et celle du SA (tableau 6), ce qui permet de constater une relation entre la biomasse totale et le rendement. Moins cette biomasse est importante plus le rendement est élevé (tableaux 5 et 6). Cette même relation s'établit avec les traitements sarclés et avec des biomasses bien inférieures que dans les traitements non sarclés. Par contre, la comparaison des deux traitements de SA sarclés (SC et SC6) avec le témoin non sarclé (AT) nous interpelle. Les rendements des traitements avec SA sont non seulement inférieurs au témoin AT, mais avec une biomasse de MH de 43 et 67 % de celle du témoin AT respectivement pour SC et SC6. Ces résultats nous confirment l'effet d'interférence du SA sur le maïs. Selon nos observations et les stades physiologiques les plus sensibles du maïs, l'interférence aurait probablement commencé dans la première période critique du maïs, probablement après le stade 3 feuilles (stade V3 des américains) (Wyffels, 2000) ce qui correspondait aux alentours du 16 juin soit trois semaines après le semis.

La comparaison entre les témoins est aussi instructive. Malgré une différence significative de rendement de 1 716 kg ha⁻¹ à l'avantage du ST, la biomasse des MH du traitement AT était huit fois plus élevée que celle de ST et ce de façon très significative (tableaux 4 et 5). La biomasse des MH ne nous paraît donc pas être une donnée suffisante pour expliquer l'impact que peut avoir les MH sur le rendement du maïs.

Le taux de protéine du maïs

En 2002, nous avons pris une analyse de la protéine du maïs afin de voir si l'utilisation du seigle d'automne pouvait avoir un effet sur cette donnée (tableau 7). Nous avons constaté que l'enfouissement du seigle ou son mal enfouissement et sa repousse près du plant de maïs pouvaient réduire le taux de protéine mais notre échantillonnage n'était pas suffisant pour parler de tendance.

Les données de 2003 ne sont pas non plus assez nombreuses pour identifier une tendance d'autant plus que l'analyse du traitement avec 2 rangs de SA (AC et SC) diverge énormément des autres (tableau 7). Nous aurions pu croire que la présence du SA proche du rang (AC6 et SC6) aurait pu créer un stress qui se serait traduit par une baisse de protéine du maïs. Ce ne semble pas être le cas. Il y aurait lieu d'analyser ce phénomène plus en profondeur afin d'évaluer globalement l'utilisation du seigle comme plante intercalaire dans le maïs.

Tableau 8 : Taux de protéine (%) selon les traitements ¹ en 2002 et 2003

Traitements	Taux de protéine (%)
2002	
SA enfoui	7,5
SA non enfoui	7,9
SA mal enfoui	7,3
Témoin sans SA et sarclé	7,9
2003	
AT	8,1
AC	6,2
AC6	8,7
ST	8,4
SC	6,5
SC6	8,2

¹ L'échantillon en 2003 est un composé des trois blocs en 2003

Différences de rendement entre les années 2002 et 2003

Étant donné le manque d'information sur l'utilisation du seigle comme plante intercalaire dans le maïs au Québec et malgré une méthodologie différente pour évaluer ce système de culture entre les deux années, il nous semble important de se pencher sur les différents facteurs qui ont différé pour mieux comprendre les variations dans les résultats.

En 2002 nous avons comparé différents traitements en bande sans répétition et le rendement du traitement avec seigle sarclé avait été légèrement plus élevé que le témoin sans SA et sarclé (tableau 9). Bien qu'il y ait eu une différence de rendement de 1153 kg ha⁻¹ entre les deux années pour le traitement de SA avec 2 rangs et sarclé (SC), par contre, pour le témoin sarclé, la différence a été très importante, soit 3 653 kg ha⁻¹ de plus en 2003 (tableau 8). Alors qu'il y avait une tendance d'un meilleur rendement dans le traitement avec SA en 2002 comparativement au témoin sarclé, cette situation a non seulement été inversée en 2003, mais avec une très grande différence. Lorsque le SA a été utilisé comme paillis, le rendement en 2003 a été de 2193 kg ha⁻¹ moins élevé qu'en 2002 (tableau 8).

Plusieurs facteurs associés aux pratiques agricoles et aux conditions climatiques peuvent contribuer à la compréhension de ces différences de rendement selon les traitements comparés dans cette étude.

Tableau 8. Rendement du maïs, biomasse des MH et du SA selon les traitements¹ en 2002 et 2003 (kg ha⁻¹)

Traitements	2002			2003		
	Maïs	MH	SA	Maïs	MH	SA
SA enfoui	10 613	599	992	11 766	566	349
SA non enfoui ²	10 043	565	559	7 850	1569	
SA mal enfoui ³	5 903					
Témoin sans SA et sarclé	10 238	219		13 891	166	

¹Traitements avec seigle : deux rangs de SA dans l'entre-rang de maïs

² Biomasse de SA à l'automne

³ En 2002 nous avons estimé le rendement dans une zone où le seigle n'avait pas été bien détruit par le sarclage. La plante avait donc survécu dans une zone où la lumière était plus importante par un manque de maïs à proximité.

Les pratiques agricoles

Remarquons tout d'abord que les biomasses de MH n'ont été très différentes que pour le traitement du SA non enfoui pour lequel la biomasse a été près de trois fois supérieure en 2003, pouvant ainsi expliquer en partie la réduction du rendement de maïs dans le traitement avec 2 rangs de SA (AC) (tableau 8).

Démarreur du maïs, biomasse du SA et sa teneur en azote

Un des facteurs qui peuvent expliquer un rendement plus élevé du SA enfoui comparativement au témoin sarclé en 2002 est l'absence de démarreur dans le témoin, une erreur de planification (tableau 9). Cependant, malgré qu'en 2002, la biomasse de SA enfouie ainsi que sa teneur en azote total étaient plus élevés (tableau 9), cela ne s'est pas traduit par un meilleur rendement par rapport à 2003 (tableau 8).

La différence entre les rendements de maïs du témoin sarclé en fonction des années

Comme nous l'avons souligné précédemment, le témoin sarclé n'a pas eu de démarreur en 2002. De plus la fertilisation en postlevée a été très différente entre les deux années. En 2002, l'agriculteur avait utilisé du fumier de poules pondeuses alors qu'en 2003, c'était du lisier de porc d'engraissement. Ainsi, non seulement l'apport azoté net était presque trois fois plus élevé en 2003, mais aussi sous une forme plus disponible (tableau 9). De plus, les résultats du site d'essais des cultivars de maïs à la station du MAPAQ à St-Bruno ont démontré un meilleur rendement moyen de 1 t ha^{-1} en 2003 comparativement à 2002 (Gilles Tremblay, CEROM, comm. Pers.).

Tableau 9. Date des travaux agricoles en 2002 et 2003 : les différences marquantes sont en caractère gras

2002	2003
22 mai : semis Poulet cubé au démarreur : 50 kg N ha^{-1} (sauf témoin sarclé)	22 mai : semis
17 juin : peigne lourd en prélevée	25 juin : Maïs : 6-7 feuilles; destruction du SA : 1 ^{er} sarclage lourd
4 juillet : destruction du SA : 1 ^{er} sarclage lourd : pattes inversées ramenant le SA vers le centre de l'entre-rang	Biomasse et analyse du SA : 3,9 %; $349\text{ kg ha}^{-1} = 14\text{ kg N ha}^{-1}$
Biomasse et analyse du SA : 5,8 %; $992\text{ kg ha}^{-1} = 58\text{ kg N ha}^{-1}$	1^{er} juillet : maïs 8-9 feuilles.; lisier de porc d'engraissement à la dose de $32\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ (sans sarcler) (apports nets : $66\text{-}64\text{-}74\text{ kg ha}^{-1}\text{ N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$)
5 juillet : application de fumier de poules pondeuses au taux de $13,4\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ (apports nets : $24\text{-}66\text{-}64\text{ kg ha}^{-1}\text{ N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$)	17 juillet : 2 ^{ème} sarclage (pas de billonnage) maïs 1-1,20m de haut, 11 feuilles
14 juillet : billonnage	

Les conditions climatiques

Malgré une même date de semis, en 2002, le SA et le maïs ont sorti de terre deux jours plus vite qu'en 2003. La durée de végétation du SA était de 42 jours en 2002 et de 34 jours en 2003. Malgré une présence plus courte, l'effet de la présence du SA sur le maïs a été drastique en 2003. De visu, le maïs a été plus haut en 2002 et il n'a jamais montré les signes de stress quelle que soit la gestion du SA enfoui ou non comme en 2003 (tableau 10).

Il est intéressant de constater les différences dans les précipitations et les UTM entre les deux années dans la période critique du développement du maïs pour essayer de mieux comprendre ce phénomène sur le rendement du maïs (Tableaux 11 et 12). Dans les différences météorologiques entre 2002 et 2003, la pluviométrie est le facteur le plus marqué. En effet, entre le 24 avril et le 3 octobre, il y a eu 30,21 mm de plus en 2002 qu'en 2003 alors que le cumul des UTM étaient plus élevé de 73 UTM en 2003.

Au niveau des précipitations, la saison 2002 a débuté avec un déficit hydrique par rapport à la saison 2003, soit autour de 20 mm à la fin mai. En effet, le printemps 2003 a été froid et pluvieux. Par contre, le reste de la saison 2002 a bénéficié d'un meilleur état hydrique que celle de 2003, alors que la situation a été inversée au niveau des UTM (tableaux 11 et 12).

Des conditions hydriques plus favorables qu'en 2003 et des UTM satisfaisantes pour la culture du maïs en sol lourd sont des facteurs qui contribueraient à expliquer le peu de différence entre les traitements en 2002. Par contre, les conditions de la saison 2003 comparativement à celle de 2002 conjugueraient deux facteurs importants : un manque d'eau et davantage d'UTM ce qui expliquerait en partie les différences de rendement du maïs entre les traitements par un stress plus élevé avec le SA comme plante intercalaire, particulièrement avec 4 rangs. Nous avons

constaté cet état vers la fin juin. Le maïs a été moins affecté avec deux rangs de SA enfoui, mais suffisamment pour une réduction du rendement de maïs comparativement aux témoins.

La période critique du développement du maïs commence après le stade cinq vraies feuilles selon le système américain (V5) (Wyffels, 2000). Nous estimons qu'en début de saison 2003 et en fonction des relevés climatiques, la période la plus critique se serait situé entre le 17 juin et le 14 juillet, ce qui correspond aux pratiques agricoles réalisés après le semis. Au cours de cette période, non seulement il y a eu un déficit hydrique par rapport à 2002, mais aussi un cumul de 234 UTM de plus en 2003 (tableau 12). Il est ainsi fort probable que l'interférence du SA sur le maïs a été plus dramatique en 2003, expliquant la différence de rendement entre les témoins et les traitements avec SA. Cependant, les conditions climatiques n'expliquent pas à elles seules les meilleurs rendements en 2003 comparativement à 2002. Il est probable que l'influence conjuguée d'une meilleure fertilisation en postlevée comme nous l'avons mentionné précédemment et des UTM plus élevées soit en cause.

Tableau 10. Stades de développement du maïs en 2002 et 2003

2002	2003	commentaires
1 ^{er} juin : maïs pointe et le SA mesure autour de 4 cm	27 mai : maïs germé 4 juin : maïs pointait et SA 1-2 feuilles (pas de pression de MH) 13 juin : maïs 2 feuilles et SA tallé 16 juin ; maïs 3 feuilles (légère différence avec SA) 23 juin : 5 feuilles (différences accrues) 30 juin : maïs 6-7feuilles 14 juillet : maïs 10 feuilles	ST déjà plus avancé (2003) AC6 accusait du retard. Maïs chétif pâle, 25-40 cm (2003)

Tableau 11. Les conditions météorologiques des années 2002 et 2003 (données prises au CEROM, St-Bruno, Gilles Tremblay)

Dates	2002			2003		
	UTM cumul	Précipitation ² (mm)	Précipitation Cumul (mm)	UTM cumul	Précipitation (mm)	Précipitation Cumul (mm)
22 mai	0	92,4	92,4	26	108,2	108,2
1 ^{er} juin	126	56,1	148,5	158	44,1	152,3
17 juin	386	72	220,5	456	48,7	201
4 juillet	843	29,9	250,4	918	8,4	209,4
14 juillet	1088	4	254,4	1177	8,1	217,5
1 ^{er} août	1546	56,4	310,8	1639	58,2	275,7
1er septembre	2316	36,1	346,9	2433	66,2	341,9
3 octobre ¹	2941	100,3	447,2	3014	74,09	416,99

¹ Fin de la prise de données

² Cumul d'une date à l'autre

Tableau 12. Différences dans les précipitations et les UTM entre 2002 et 2003

	Précipitation totale ¹ (mm)		UTM
	2002	2003	
22 mai		+ 15,8	
1 ^{er} juin		+ 3,8	+ 22
17 juin	+ 19,5		+ 70
4 juillet	+ 41		+ 75
14 juillet	+ 36,5		+ 89
1 ^{er} août	+ 35,1		+ 93
1 ^{er} septembre	+ 5		+ 117
3 octobre ²	+30,21		+ 73

¹ Cumul total par date

² Fin de la prise de données

Discussion

Les mauvaises herbes et le rendement du maïs

En 2003, le traitement où le rendement a été le plus élevé est aussi celui qui a eu la biomasse de mauvaises herbes la plus faible à la récolte (ST). Cependant, la relation entre la biomasse des MH à la récolte et le rendement de maïs n'est pas aussi simple à établir. En effet, avec le seigle comme plante intercalaire, il nous faut cumuler les biomasses de MH et de SA pour avoir un meilleur indicateur de l'interférence sur le rendement du maïs. De plus, dans le cas extrême du traitement à 4 rangs de SA non enfoui (AC6), l'interférence en début de saison a affecté le développement du maïs au point de réduire considérablement le rendement, le paillis et les mauvaises herbes n'ont qu'augmenté le stress printanier. Mais aussi, la biomasse des MH est insuffisante pour établir une corrélation avec le rendement. En effet dans notre essai, la biomasse des mauvaises herbes à l'automne dans les parcelles a surtout été le fait de quelques plants mal contrôlés près du rang de maïs qui ont pu exprimer leur plein potentiel de croissance. En fait, les mauvaises herbes annuelles peuvent atteindre la même hauteur que la culture ou même la dépasser. Ce phénomène est relié à la grosseur de la semence, celle des mauvaises herbes étant souvent plus petite que celle de la culture. Il en résulte que le rythme de croissance relative des mauvaises herbes est supérieur à celui des cultures et que leur taux de croissance décroît moins rapidement dans le temps (Mohler, 1996).

Dans une série d'essais de plantes intercalaires au semis du maïs en sol limoneux, Jobin (1995) mentionne une réduction de rendement de 332 kg ha⁻¹ avec des biomasses de mauvaises herbes allant de 698 à 910 kg ha⁻¹. Nos résultats en sol lourd en 2003 pour les traitements ST vs SC nous indiquent une différence de rendement de 2 125 kg ha⁻¹ avec seulement 411 kg ha⁻¹ de biomasse de MH de plus pour SC. Les conditions météorologiques en 2003 ont probablement contribué à accroître l'interférence du SA sur le maïs en début de saison.

L'interférence du SA sur la culture : les facteurs limitants

L'effet allélopathique du seigle est bien documenté (Barnes et Putnam, 1983). Cet effet est généralement plus important sur les cultures dont la semence est petite comme en maraîchage (les tomates notamment) et moins sur les cultures en rangs comme le soya dont la semence est plus grosse. Toutefois, le maïs est reconnu pour être plus sensible que le soya lorsque le seigle est enfoui ou brûlé par herbicide peu avant le semis (Raimbault et al., 1991). Cependant, les auteurs ont démontré qu'en dégageant les résidus de seigle de la zone de semis, la levée était meilleure et le rendement supérieur avec le semis direct comparativement au labour, au semis direct sans tasse résidus et au zone-till. Dans notre essai, le seigle positionné très proche du rang de semis de maïs (AC6 et SC6) a probablement créé un stress hydrique et azoté ce qui

s'est traduit par un effet négatif sur la croissance du maïs bien que nous n'avions pas constaté visuellement de différence dans l'évolution du maïs jusqu'au stade trois feuilles.

Au Minnesota, des recherches sur l'utilisation du SA dans le maïs et le soya ont démontré que lorsque l'eau est un facteur limitant, le rendement des cultures en présence du SA est réduit (Warnes, 1988). Une ancienne étude (Kurtz et al. 1952) qui traitait de l'utilisation de différentes plantes intercalaires dont le seigle dans le maïs semé aux 40 pouces démontrait que les deux facteurs limitant le rendement du maïs étaient l'azote et l'humidité. Les variations environnementales peuvent influencer la biomasse du seigle et les changements au niveau du microenvironnement ce qui a été le cas en 2003 avec les différences de pluviométrie et d'UTM entre les deux années (tableaux 11 et 12). En effet, les résidus de culture peuvent modifier la température et l'humidité du sol ainsi que les populations microbiennes et ainsi réduire le rendement de la culture (Scott et al., 1987). Nos résultats témoignent de l'effet négatif de ce type d'interférence du seigle sur le maïs notamment avec 4 rangs. Le sarclage du seigle a eu un effet positif, surtout avec deux rangs de seigle, probablement parce que le stress sur le maïs en début de croissance avait été moindre qu'avec 4 rangs.

L'enfouissement du SA et son impact sur le rendement du maïs

En 2002, nous avons observé une chute de rendement à un endroit du champ où le seigle avait été mal coupé lors du sarclage. Le seigle avait donc continué de pousser sur le bord du rang de maïs. Les épis étaient non seulement plus petits, mais aussi courbés ce qui s'est traduit par une forte baisse du rendement (tableau 8). En 2003, ce genre de risque a été plus grand pour le traitement avec quatre rangs de SA, surtout à partir des rangs de SA qui étaient très proches du maïs. Ce phénomène a contribué à une baisse drastique du rendement dans ce traitement. Dans l'étude de Jobin (1995), le seigle d'automne n'a pas eu d'effet négatif sur le rendement du maïs peu importe qu'il ait été sarclé hâtivement ou tardivement, ce qui correspondait à nos résultats de 2002. Il est alors probable que dans les essais de Jobin (1995), les conditions climatiques ont été favorables comme ce fut le cas dans notre essai en 2002.

L'intérêt d'utiliser le seigle d'automne comme culture intercalaire dans le maïs est de trois ordres : la conservation du sol en début de saison, la réduction des mauvaises herbes et l'enfouissement d'une matière végétale facile à décomposer tout en épongeant le lisier appliqué en postlevée, contribuant ainsi à la fertilisation de la culture. Pour ce faire, la biomasse de seigle doit être suffisante, un aspect conditionnel aux conditions climatiques. Nos résultats de l'année 2002 nous ont indiqué que cette contribution pouvait être assez élevée au point de réduire la dose de lisier en postlevée dans l'avenir. Des études américaines ont démontré ce potentiel (cover-crop database L winter rye). Au Nebraska, Kessavalou et Walters (1999) ont étudié l'effet du seigle d'automne comme couvre sol sur le niveau résiduel des nitrates au printemps avant le semis du maïs. En présence de seigle, deux années sur trois, le niveau des nitrates au printemps était réduit de 18 à 33 % comparativement au système sans seigle. La biomasse du seigle à enfouir totalisait 42 à 48 kg Nha⁻¹. Il est alors important de prendre en compte la disponibilité de cet azote dans la fertilisation du maïs sinon, les risques de lessivage des nitrates pourraient être plus élevés en fin de saison.

Les limites du système

Des essais sur billons en Iowa ont démontré des phénomènes intéressants. L'objectif était de comparer l'effet du seigle semé le printemps tôt (deux rangs sur les billons puis détruit au décapage) à un témoin ayant des mauvaises herbes avant le décapage (Wallace Institute, 1993). Les deux traitements n'ont eu qu'un passage de houe rotative en post-émergence. Le traitement avec seigle a eu un rendement supérieur de 4,7 boisseaux par acre comparativement au témoin. Il est intéressant de constater que dans cet essai, le maïs sur retour de seigle avait été moins grand au début de la saison. De plus, les mauvaises herbes à feuilles larges étaient significativement plus élevées en début de saison ce qui aurait pu infliger une baisse de rendement. La sortie des soies et la pollinisation ont été aussi retardées dans le seigle

comparativement au témoin de mauvaises herbes. Malgré ces différences, l'analyse des tissus n'a pas révélé de différence entre les traitements. Les conditions de culture ont probablement été optimales cette année-là. Dans notre essai en 2002, nous n'avions pas constaté de comportements de stress du maïs en présence de SA. Cependant, en 2003, les résultats ont démontré clairement que l'interférence du SA et des conditions climatiques plus stressantes en début de saison qu'en 2002 se sont traduites par de grandes différences entre les traitements. La comparaison de nos résultats entre les saisons 2002 et 2003 nous confrontent aux limites de l'utilisation du seigle comme plante intercalaire dans le maïs, lesquelles limites pourraient être éventuellement diminuées par une gestion plus fine de ce système de culture que la recherche pourrait déterminer. D'ailleurs, ce type de recherche servirait à tout système de polyculture avec le maïs.

Le seigle d'automne comme culture intercalaire dans le maïs : quel potentiel au Québec ?

En 2003, le meilleur rendement a été dans le témoin sarclé (tableau 5) alors qu'en 2002 le traitement de SA sarclé était légèrement supérieur au témoin sarclé (tableau 8). En connaissance de cause des facteurs qui ont pu influencer les résultats très différents entre les saisons 2002 et 2003, il n'est peut-être pas impossible de rendre plus productif la production du maïs avec le seigle d'automne comme plante intercalaire en régie biologique, un système de conservation des sols en début de saison.

À l'avenir, les efforts de recherche devraient porter sur les différentes étapes du parcours technique suivantes : sélectionner les cultivars de maïs généralement adaptés à la polyculture, particulièrement au seigle d'automne. Un cultivar hâtif serait-il moins stressé par la présence du seigle en début de saison qu'un cultivar tardif ? Le choix du cultivar de seigle (une espèce plus fourragère couvrirait mieux le sol tout en produisant une biomasse plus importante). Étant donné que le seigle sortait plus vite de terre que le maïs et qu'il avait ainsi deux feuilles alors que le maïs pointait, n'aurait-il pas temporairement un effet de brise-vent pour le maïs ? Le taux de semis du SA et le positionnement des deux rangs : Il s'agit d'optimiser la couverture du sol et la biomasse produite avec un minimum de stress pour le maïs. Mais aussi, le mélange avec une légumineuse, notamment le pois, permettrait d'avoir un effet plus grand sur les mauvaises herbes (Akemo et al. 2000) tout en augmentant l'apport d'azote à enfouir. Le sarclage avec le peigne ou la houe rotative devrait être évalué en prélevée et en postlevée. À notre avis, l'impact sur le seigle serait négligeable, ce que Jobin (1995) avait déjà remarqué. Ce sarclage léger pourrait faire la différence quant au contrôle des mauvaises herbes sur le rang du maïs. De plus, si le passage du peigne est efficace, le sarclage lourd pourrait être retardé au besoin. La période d'enfouissement du seigle est critique surtout en période de déficit hydrique. Serait-il possible d'envisager un mode de gestion de l'intercalaire à partir du cumul des précipitations et des UTM pour intervenir adéquatement afin de minimiser le stress sur le maïs ? La période de fertilisation en postlevée est elle aussi une étape critique car il faut minimiser la concurrence autour des éléments nutritifs. Étant donné la couverture du sol par le seigle, on pourrait envisager l'application de lisier dès que le maïs a atteint trois feuilles. La dose serait aussi à considérer et ce à la hausse éventuellement mais en s'assurant qu'une couverture végétale épongera les éventuels surplus en fin de saison, tout en sachant que cette stratégie est un défi dans le cadre du REA. Enfin, le système sur billons exige le billonnage. Il y aurait lieu de vérifier son effet sur les mauvaises herbes sur le bord du rang de maïs et le rendement.

Mais aussi, proposer une nouvelle pratique agricole exige une évaluation globale du système. Il nous paraît alors primordial d'étudier l'impact sur le taux de protéine du maïs ainsi que le risque de verse et notamment la sensibilité ou la résistance à la pyrale du maïs. Du point de vue économique, le système doit être aussi évalué dans son ensemble, c'est à dire non seulement les coûts de production mais aussi, les effets positifs potentiels sur le sol (physique, chimique et biologique) et l'environnement (pollution diffuse notamment).

Conclusion

Le seigle d'automne comme plante intercalaire dans le maïs a été évalué durant deux années dans le cadre d'une recherche à la ferme en régie biologique. Alors qu'un essai en bandes sans répétition en 2002 avait conduit à des rendements peu différents par rapport au témoin sarclé, une étude en dispositif expérimental en 2003 a permis de constater les limites de cette pratique en sol lourd et dans des conditions stressantes en début de saison, notamment pour les traitements avec 4 rangs de SA.

La biomasse des mauvaises herbes entre les deux traitements de seigle n'est pas significativement différente malgré une biomasse de SA supérieure avec 4 rangs au lieu de deux. Par contre, lorsque l'on compare les traitements avec 4 rangs de SA aux témoins, la biomasse des MH est significativement moins élevée avec le seigle. Cependant, lorsque l'on cumule les biomasses de SA et de MH la situation est inversée. En 2003, l'interférence du seigle a été très forte, particulièrement avec 4 rangs de SA, ce qui s'est traduit par une baisse drastique du rendement de maïs. Les rendements de maïs par ordre décroissant ont été les suivants : ST>AT>SC>SC6>AC>AC6. La différence de rendement de maïs entre les témoins est non significative, cependant la biomasse des MH était près de huit fois plus grande dans le témoin non sarclé (AT). Celui-ci avait un rendement supérieur de 409 kg ha⁻¹ par rapport à celui de SC tout en ayant une biomasse de MH plus de deux fois supérieure. Ainsi, l'interférence du SA tôt en début de saison a été plus négatif sur le rendement du maïs que la biomasse des MH.

L'évaluation des pratiques agricoles et des conditions climatiques entre les deux années nous permettent de mieux comprendre les résultats contradictoires entre les deux saisons et de cerner ainsi les limites de la pratique étudiée. Néanmoins, l'utilisation du seigle d'automne comme culture intercalaire dans le maïs a un certain potentiel en agriculture biologique au Québec que seul un effort de recherche supplémentaire pourra réellement déterminer.

Remerciements

Nous tenons à remercier tous les partenaires qui ont soutenu ce projet ainsi que les chercheurs Éric Lucas (UQAM), Gilles Tremblay (CEROM), Daniel Cormier (IRDA) pour les analyses statistiques ainsi que mes collègues du club agroenvironnemental du CDA. Ce travail n'aurait pu être réalisé sans la contribution financière du CDAQ et du club agroenvironnemental du CDA.

Références bibliographiques

Akemo, M.C., E.E. Regnier and M.A. Bennett. 2000. Weed suppression in spring-sown Rye (*Secale cereale*) - Pea (*Pisum sativum*) cover crop mixes. *Weed Technology*, Vol.(14) : 545-549.

Barnes, J.P. and A.R. Putnam. 1983. Rye residues contribute weed suppression in no-tillage cropping systems. *Journal of Chemical Ecology*, Vol.9 (8) : 1045-1057.

Cover crop database. UC SAREP Online. www.Sarep.ucdavis.edu/cgi-bin/ccrop

Douville, Y et A.M. Coulombe. 2000. Le dépisteur céréales. *Phyto Contrôle et CDA*.

Estevez, B. 2004. Diversification des cultures en régie biologique par l'intégration de plantes intercalaires dans le soya et le maïs à des fins multiples. No : 497-06-011025. Rapport final, pp 95. CDAQ/CAE du CDA

Jobin, P. 1995. Évaluation à la ferme de cultures intercalaires de début de saison dans la culture de maïs. *Centre de développement d'agrobiologie*. 42p.

- Jobin, Pet Y. Douville. 1997. La culture des engrais verts au Québec. 21p. Centre de développement d'agrobiologie.
- Kessavalou, A. and D. T. Walters. 1999. Winter rye cover crop following soyabean under conservation tillage : residual soil nitrate. *Agronomy J.* Vol.91 : 643-649.
- Kurtz, T. S.W. Melsted and R. Bray. T 1952. The importance of nitrogen and water in reducing competition between intercrops and corn. *Agron. J.* pp. 13-17.
- Mohler, C. L. 1996. Ecological bases for the cultural control of annual weeds. *J. Prod. Agric.* 9 : 468-474.
- Raimbault, B.A., T.J. Vyn and M. Tollenaar. 1991. Corn response to rye cover crop, tillage methods, and planter options. *Agron. J.* 83: 287-290.
- SAS Institute. 1996. SAS users guide : statistics version 6.12. Statistical Analysis Systems Inc., Cary, NC, USA.
- Scott, T. W., J. Mt. Pleasant, R.F. Burt, and D.J. Otis. 1987. Contributions of ground cover, dry
- USDA/ARS. 2003. Weed seedbank dynamics in organic and conventional long-term cropping systems. Summary. www.ars-usda.gov/research/publications
- Vézina, L, et G. Tremblay. 1994. Influences de cultures intercalaires de légumineuses fourragères sur la production u maïs-grain en relation avec le désherbage chimique. *Agrosol*, Vol. 7 (2) : 47-54.
- Vézina, L, et G. Tremblay. 1995. Influences d'une culture intercalaire de ray-grass vivace (*Lolium perenne*) sur la production du maïs-grain et le développement de populations de mauvaises herbes. *Agrosol*, Vol. 8(1) : 36-42.
- Vézina, L, A. Marcoux, M. Trudelle, D. Côté, A. Mailloux et G. Tremblay. 1998a. Influences de cultures intercalaires établies avec divers modes de semis sur la productivité du maïs-grain et les propriétés d'une argile lourde Sainte-Rosalie. *Agrosol*, Vol.10(2) : 41-49.
- Vézina, L, A. Marcoux, M. Trudelle, D. Côté, A. Mailloux et G. Tremblay. 1998b. Effet résiduel de l'apport azoté du trèfle rouge (*Trifolium pratense* L.) cultivé comme plante intercalaire dans le maïs-grain sur la production du blé de printemps. *Agrosol*, Vol.10(2) : 57-63.
- Wallace Institute. 1993. Thompson on-farm research report. 9pp.
- Warnes, D.D. 1988. Effect of precipitation of a winter rye cover crop systems for soyabean production in Minnesota. *Proc. North Center. Weed Sci. Soc.* 43 : 42.
- Wyffels. 2000. Early corn development. Wyffels Hybrids Inc. Web page.

