

Rapport final réalisé dans le cadre du programme Prime-Vert,
Volet 11 – Appui à la Stratégie phytosanitaire

**TITRE DU PROJET : Évaluation de l'effet du glyphosate sur
l'incidence de la fusariose de l'épi chez le blé et l'orge en
parcelles expérimentales**

NUMÉRO DU PROJET : CERO-1-SPP-06-030

Réalisé par :
Madame Sylvie Rioux

DATE : juillet 2009

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport émanent de l'auteur ou des auteurs et n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.

Évaluation de l'effet du glyphosate sur l'incidence de la fusariose de l'épi chez le blé et l'orge en parcelles expérimentales

Sylvie Rioux¹, Anne Vanasse², Yves Dion¹ et Gilles Tremblay¹

Durée : 04/2007 – 04/2009

FAITS SAILLANTS (Résumé du projet)

Des essais de blé et d'orge, réalisés pendant deux ans et menés sous trois modes de travail de sol, conventionnel, en travail réduit et en semis direct, constituaient six essais implantés chacun à deux stations expérimentales. Deux traitements herbicides, glyphosate (G) ou non-glyphosate (NG), ont été appliqués sur du soya *Round-up Ready* (RR) l'année précédant la céréale. Dans chacun des essais, trois cultivars de blé ou d'orge ayant des degrés différents de sensibilité à la fusariose ont été ensemencés dans les grandes parcelles traitées avec l'un ou l'autre des herbicides.

En 2007, quel que soit l'essai, il n'y a eu aucune interaction *herbicide cultivar*, de même qu'aucun effet significatif de l'herbicide sur la contamination des grains par la toxine désoxynivalénol (DON), toxine produite par le *Fusarium graminearum* (*Fg*). En d'autres mots, aucune différence significative du contenu en DON n'a été observée selon que le glyphosate ou un autre herbicide ait été appliqué sur la culture de soya en 2006. En 2008, seul l'essai orge en travail réduit à Saint-Augustin a montré un effet faiblement significatif ($P = 0,046$) de l'herbicide sur le contenu en DON; ce dernier était plus élevé pour le traitement glyphosate (1,5 ppm vs 1,1 pour NG). Dans cet essai, cependant, la quantité de spores de *Fg* viables provenant des résidus, de même que la verse, étaient plus élevées (bien que non significatif) pour le traitement sans glyphosate et non pour le traitement glyphosate. Ces résultats apparemment contradictoires portent à croire que l'effet significatif de l'herbicide pour cet essai serait un artefact ou que d'autres facteurs non expliqués interviendraient.

L'ensemble des résultats indique, que sous les conditions de culture du Québec, l'utilisation de glyphosate sur un précédent de soya ne cause pas d'augmentation de l'incidence de la fusariose chez le blé et l'orge peu importe le travail de sol utilisé. Les conditions climatiques, le cultivar, la date de semis et la verse semblent avoir davantage d'impact sur le développement de cette maladie.

OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE OU DÉMARCHE

L'étude réalisée à la station du CÉROM à Saint-Mathieu-de-Beloeil (Beloeil) et à la station de l'Université Laval à Saint-Augustin-de-Desmaures visait à vérifier l'effet du glyphosate appliqué sur un précédent soya sur l'incidence de la fusariose de l'épi du blé et de l'orge sous trois différents modes de travail de sol. Le dispositif expérimental pour chacun des six essais (espèce de céréale - travail de sol) était un dispositif en parcelles partagées (*split-plot*) à deux niveaux, ayant en parcelles principales (grandes parcelles) les traitements « herbicides » (glyphosate et non-glyphosate) appliqués sur du soya RR l'année précédant l'établissement en sous-parcelles de trois différents cultivars.

Les variables mesurées étaient la couverture des résidus au sol, l'intensité des symptômes sur épi (blé), la verse, le pourcentage de grains fusariés (blé), le contenu des grains en DON, le poids spécifique, le poids de 1000 grains et le rendement. La détermination de la quantité de spores de *Fg* provenant des résidus, quant à elle, a été réalisée aux deux sites plutôt qu'à un seul site grâce à une subvention reçue du Programme de soutien à l'innovation en agroalimentaire (PSIA) du MAPAQ. Deux boîtes de Pétri ouvertes vers le bas contenant le milieu sélectif PCNB favorisant les *Fusarium*, ont été installées dans chaque grande parcelle pendant la période critique d'infection. Une boîte ouverte vers le haut a aussi été installée dans le but d'évaluer l'inoculum exogène aux parcelles.

¹ Centre de recherche sur les grains (CÉROM); ² Département de phytologie, Université Laval

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE OU POUR LA DISCIPLINE

Pour les besoins de ce rapport, seuls les résultats du contenu en DON sont présentés pour chacun des six essais par année et par station (tableaux 1, 2, 3 et 4).

En 2007, dans tous les essais, aucune différence significative du contenu en DON n'a été observée entre le traitement glyphosate et le traitement non-glyphosate (tableaux 1 et 2). En 2008 (tableaux 3 et 4), une interaction *herbicide x cultivar* faiblement significative a été observée dans l'essai orge-semis direct de Beloeil ($P = 0,021$) et celui de Saint-Augustin ($P = 0,046$). Le contenu en DON était plus élevé pour le glyphosate dans le cas d'un cultivar et plus élevé pour le non-glyphosate dans le cas d'un autre cultivar, de sorte qu'en moyenne il n'y a pas eu de différence entre les traitements herbicides pour ces deux essais. Pour quatre autres essais, il n'y a pas eu non plus d'effet significatif de l'herbicide, alors que pour l'essai orge-travail réduit de Saint-Augustin le contenu en DON était significativement ($P = 0,046$) plus élevé pour le traitement glyphosate (tableau 4). La quantité de spores de *Fg* (tableau 5) de même que la verse (non présentée) n'étaient cependant pas significativement différentes entre les traitements herbicides, même qu'elles étaient en moyenne plus élevées pour le traitement non-glyphosate. Ces résultats non concordants entre le contenu en DON et la quantité de spores de *Fg* et la verse, ainsi que le faible degré de signification nous portent à croire que l'effet significatif de l'herbicide pour cet essai était un artéfact. Pour ce qui est des symptômes sur épis ou sur grains chez le blé (données non présentées), aucun effet herbicide n'a non plus été observé quel que soit l'essai. L'ensemble des résultats indique que le glyphosate n'a pas d'effet ou un effet négligeable sur l'incidence de la fusariose lorsque celui-ci est appliqué sur une culture RR l'année précédente.

Tableau 1. Contenu des grains en DON (ppm) – Beloeil 2007

Essai / Trait. herbicide	Blé			Moyenne herbicide	Orge			Moyenne herbicide
	AC Barrie	Orléans	SS Fundy		Océanik	Raquel	Perseis	
Conventionnel :								
G	7,7	8,0	15,1	10,2 a	7,2	10,3	13,1	10,2 a
NG	7,8	8,8	13,3	10,0 a	7,8	10,7	11,2	9,9 a
Moy. cultivar	7,7 z	8,4 z	14,2 y		7,5 z	10,5 y	12,1 y	
Travail réduit :								
G	6,6	6,9	10,5	8,0 a	2,7	5,3	7,4	5,1 a
NG	6,1	7,2	12,9	8,7 a	4,6	8,0	10,0	7,5 a
Moy. cultivar	6,3 z	7,0 z	11,7 y		3,6 z	6,6 y	8,7 x	
Semis direct :								
G	3,0	3,5	8,1	4,9 a	1,5	4,6	5,7	3,9 a
NG	3,0	4,1	7,8	5,0 a	1,6	4,6	5,2	3,8 a
Moy. cultivar	3,0 z	3,8 y	7,9 x		1,6 z	4,6 y	5,5 x	

Interaction *herbicide x cultivar* non significative au seuil 5 % dans les six essais. Pour chacun des six essais, les moyennes de chaque effet simple *herbicide* ou *cultivar* ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil 5 %.

Tableau 2. Contenu des grains en DON (ppm) – Saint-Augustin 2007

Essai / Trait. herbicide	Blé			Moyenne herbicide	Orge			Moyenne herbicide
	AC Barrie	Orléans	SS Fundy		Océanik	Raquel	Perseis	
Conventionnel :								
G	0,10	0,13	0,51	0,25 a	0,15	0,23	0,29	0,22 a
NG	0,13	0,16	0,83	0,37 a	0,12	0,23	0,26	0,20 a
Moy. cultivar	0,12 z	0,14 z	0,67 y		0,13 z	0,23 y	0,28 y	
Travail réduit :								
G	0,18	0,27	0,60	0,35 a	0,14	0,21	0,23	0,19 a
NG	0,19	0,26	1,01	0,48 a	0,12	0,18	0,20	0,17 a
Moy. cultivar	0,18 z	0,26 z	0,80 y		0,13 z	0,20 y	0,22 y	
Semis direct :								
G	0,05	0,08	0,14	0,09 a	0,13	0,23	0,23	0,20 a
NG	0,10	0,06	0,15	0,10 a	0,13	0,17	0,20	0,17 a
Moy. cultivar	0,08 z	0,07 z	0,14 z		0,13 z	0,20 y	0,21 y	

Interaction *herbicide x cultivar* non significative au seuil 5 % dans les six essais. Pour chacun des six essais, les moyennes de chaque effet simple *herbicide* ou *cultivar* ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil 5 %.

Tableau 3. Contenu des grains en DON (ppm) – Beloeil 2008

Essai / Trait. herbicide	Blé			Moyenne herbicide	Orge			Moyenne herbicide
	AC Barrie	Orléans	SS Fundy		Océanik	Raquel	Perseis	
Conventionnel :								
G	5,1	5,4	13,8	8,1 a	1,4	2,2	2,8	2,1 a
NG	5,4	5,8	14,1	8,4 a	1,7	2,3	2,5	2,1 a
Moy. cultivar	5,3 z	5,6 z	13,9 y		1,6 z	2,2 y	2,6 x	
Travail réduit :								
G	5,2	7,3	13,1	8,5 a	2,3	3,2	4,0	3,2 a
NG	5,8	6,0	12,7	8,2 a	2,3	3,7	4,1	3,4 a
Moy. cultivar	5,5 z	6,6 z	12,9 y		2,3 z	3,4 y	4,0 x	
Semis direct :								
G	4,7	6,1	12,1	7,6 a	1,6 b	3,1 a	3,0 b	2,6
NG	5,7	5,2	13,1	8,0 a	1,7 b	2,9 b	3,9 a	2,8
Moy. cultivar	5,2 z	5,6 z	12,6 y		1,6	3,0	3,4	

Interaction *herbicide x cultivar* significative au seuil 5 % pour l'essai orge-semis direct. Pour chacun des cinq autres essais, les moyennes de chaque effet simple ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil 5 %.

Tableau 4. Contenu des grains en DON (ppm) – Saint-Augustin 2008

Essai / Trait. herbicide	Blé			Moyenne herbicide	Orge			Moyenne herbicide
	AC Barrie	Orléans	SS Fundy		Océanik	Raquel	Perseis	
Conventionnel :								
G	2,9	5,3	4,6	4,3 a	0,8	1,3	2,0	1,4 a
NG	2,7	5,7	4,7	4,4 a	1,0	1,5	2,6	1,7 a
Moy. cultivar	2,8 z	5,5 x	4,6 y		0,9 z	1,4 y	2,3 x	
Travail réduit :								
G	2,8	5,5	3,2	3,8 a	0,9	1,1	2,5	1,5 a
NG	2,9	4,5	3,3	3,6 a	0,7	0,9	1,7	1,1 b
Moy. cultivar	2,9 z	5,0 y	3,2 z		0,8 z	1,0 z	2,1 y	
Semis direct :								
G	3,1	4,0	6,9	4,6 a	1,1 b	2,4 a	1,0 b	1,5
NG	3,4	4,7	7,4	5,2 a	2,0 a	0,8 b	1,6 b	1,5
Moy. cultivar	3,3 z	4,3 z	7,1 y		1,5	1,6	1,3	

Interaction *herbicide x cultivar* significative au seuil 5 % pour l'essai orge-semis direct. Pour chacun des cinq autres essais, les moyennes de chaque effet simple ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil 5 %.

L'effet du cultivar, quant à lui, a été significatif dans presque tous les essais pour le contenu en DON (tableaux 1 à 4). En général, AC Barrie était le cultivar de blé le moins affecté et SS Fundy, le plus affecté. Chez l'orge, Océanik était le cultivar le moins affecté, alors que Perseis était le plus affecté. Ces résultats concordent avec le degré de résistance connu de ces cultivars.

Tableau 5. Spores viables (propagules) de *F. graminearum* recueillies par boîte de Pétri (ouverture vers le bas) pendant les 11 jours critiques d'infection

Essai / Trait. herbicide	2007				2008			
	BE (10 au 12 juillet)		SA (1 au 11 juillet)		BE (5 au 15 juillet)		SA (4 au 14 juillet)	
	Blé	Orge	Blé	Orge	Blé	Orge	Blé	Orge
Conventionnel :								
G	102 a	81 a	14 a	6 a	52 a	25 a	75 a	37 a
NG	103 a	69 a	10 a	8 a	43 a	19 a	98 a	75 a
Travail réduit :								
G	78 a	39 a	12 a	9 a	17 a	14 a	35 a	79 a
NG	96 a	67 a	17 a	6 a	30 a	14 a	21 a	105 a
Semis direct :								
G	73 a	52 a	7 a	8 a	30 a	23 a	34 b	25 a
NG	68 a	45 a	6 a	9 a	25 a	13 a	81 a	57 a

Période critique : ~ 5 jours avant et après le stade 59 pour l'orge et le stade 65 pour le blé. Les données de chaque paire G-NG ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil 5 %.

On remarque également que, pour le même essai (espèce - travail de sol), le contenu en DON était plus élevé à Beloeil qu'à Saint-Augustin (tableaux 1 à 4). En 2007, cette différence s'explique facilement par la quantité de spores de *Fg* plus élevée à Beloeil qu'à Saint-Augustin pendant la période critique (tableau 5). On a d'ailleurs observé à Saint-Augustin que les émissions de spores de *Fg* avaient commencé à être plus abondantes juste après la période critique, ce qui confirme que certaines années un semis hâtif (avant le 10 mai) permet d'éviter l'infection. En 2008, par contre, la quantité de spores de *Fg* était un peu plus élevée à Saint-Augustin qu'à Beloeil (tableau 5), ce qui montre que la quantité de spores de *Fg* provenant des résidus de la parcelle n'est pas le seul facteur à considérer dans le développement de la maladie et la production de DON. La température, la pluviométrie de même que la quantité de spores diffuses dans l'atmosphère sont également à considérer. D'ailleurs, le nombre de spores de *Fg* provenant des boîtes à ouverture vers le haut était trois à quatre fois plus élevé à Beloeil qu'à Saint-Augustin pendant les deux années de l'étude (données non présentées).

Bien que le dispositif ne nous permette pas de comparer statistiquement les différents modes de travail du sol, on ne peut passer sous silence le contenu en DON et la quantité d'inoculum des essais en travail conventionnel beaucoup plus élevés que ceux des essais en semis direct à la station de Beloeil en 2007 (tableaux 1 et 5). On peut expliquer ces résultats par la verse (données non présentées) qui était plus élevée dans les essais en travail conventionnels que dans les essais en semis direct. La verse contribue à garder le sol et les épis plus humides, ce qui favorise la production d'inoculum en provenance des résidus de culture ainsi que la progression du *Fusarium* dans l'épi et sa production de toxines.

Considérant les résultats obtenus dans cette étude, nous arrivons à la conclusion que l'utilisation de glyphosate sur un précédent de soya n'augmente pas l'incidence de la fusariose de l'épi chez le blé et l'orge (contenu en DON et symptômes), ni la production d'inoculum de *F. graminearum*, peu importe le mode de travail de sol pratiqué. Sous les conditions de culture du Québec, d'autres facteurs, tels que les conditions climatiques, le cultivar utilisé, la date de semis ou le degré de verse, semblent avoir davantage d'impact sur le développement de la maladie et la production de toxine.

APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE ET/OU SUIVI À DONNER

Cette étude a permis de faire la lumière sur un facteur potentiel d'augmentation de l'incidence de la fusariose qui est l'application de glyphosate dans les 12 mois précédant l'établissement d'une céréale. La présente étude réalisée sous les conditions de culture du Québec n'a pas révélé d'effet de l'application du glyphosate sur la fusariose de l'épi des céréales. Ces résultats concordent avec ceux de travaux réalisés depuis 2006 par l'équipe d'Agriculture et Agroalimentaire Canada de Normandin (Pageau *et al.*, 2007, 2008), mais ne concordent pas avec les conclusions d'enquêtes menées en Saskatchewan par Fernandez *et al.* (2005, 2007). Ces derniers ont observé, pour les champs en travail réduit seulement, un lien entre l'application de glyphosate dans les 18 mois précédant une récolte de blé ou d'orge et une plus grande incidence de la fusariose. Le climat plus pluvieux qui prévaut au Québec comparativement à celui de la Saskatchewan peut expliquer cette divergence de résultats en supposant que le glyphosate présent dans les résidus de la culture ayant été traitée au glyphosate puisse être délogé par les pluies. Un cas de dégâts sur fraisiers causés par du glyphosate qui provenait du paillis déposé sur les plantes avant l'hiver (Michel Lacroix, MAPAQ, comm. pers.) rend notre hypothèse plausible. Le paillis en question était de la paille d'une céréale qui avait reçu une application de glyphosate peu avant la récolte. À moins d'une année très sèche entre l'application de glyphosate et l'établissement de la céréale, les producteurs de céréale du Québec n'ont pas trop à se soucier de l'application de glyphosate pour leurs cultures de céréale.

La présente étude n'a pas permis de comparer l'effet du travail du sol sur l'incidence de la fusariose puisqu'il s'agissait d'essais distincts. Par ailleurs, les modes de travail de sol que nous avons qualifiés de semis direct ou de travail réduit n'étaient pas de « vrais » semis direct ou travail réduit puisqu'ils ont été pratiqués une seule année. Il serait vraiment intéressant d'évaluer l'effet du travail du sol sur l'incidence de la fusariose à partir de parcelles soumises pendant plusieurs années au même mode de travail de sol. La présente étude a aussi permis de recueillir passablement de données sur la quantité de spores provenant des résidus et de l'extérieur des parcelles. Un examen plus approfondi de ces données mérite d'être fait afin d'en connaître davantage sur l'épidémiologie de la maladie.

POINT DE CONTACT POUR INFORMATION

Nom du responsable du projet : Sylvie Rioux

Téléphone : 418-528-7896

Télécopieur : 418-644-6855

Courriel : sylvie.rioux@cerom.qc.ca

AUTRES TRAVAUX OU RÉFÉRENCES SUR LE MÊME SUJET

Fernandez, M.R., Selles, F., Gehl, D., DePauw, R.M., and Zentner, R.P. 2005. Crop production factors associated with fusarium head blight in spring wheat in eastern Saskatchewan. *Crop Science* 45, 1908-1916.

Fernandez, M.R., Zentner, R.P., DePauw, R.M., Gehl, D., and Stevenson, F.C. 2007. Impacts of crop production factors on fusarium head blight in barley in eastern Saskatchewan. *Crop Science* 47, 1574-1584.

Pageau, D., J. Lafond, J. Lajeunesse et Marc Savard. 2007. Précédent cultural, fertilisation azotée, application de glyphosate...et le contenu en désoxynivalénol chez l'orge. 99^e Réunion annuelle de la Société de protection des plantes du Québec, Rivière-du-Loup, 31 mai-1^{er} juin (*Résumé*).

Pageau, D., J. Lafond, J. Lajeunesse et Marc Savard. 2008. Comment le précédent cultural, la fertilisation azotée et l'application de glyphosate affectent le contenu en désoxynivalénol (DON) chez l'orge. Journée d'information scientifique – Grandes cultures. Comité céréales et Comité maïs et plantes oléoprotéagineuses du CRAAQ, Drummondville, 21 février.

Communications issues de la présente étude :

Bérubé, M.-E., S. Rioux, N. Bourget, G. Tremblay, Y. Dion, and A. Vanasse. 2008. Glyphosate and tillage system effects on fusarium head blight in wheat and barley. « Plants & Soils Montreal '08 » Congress, Canadian Society of Agronomy, McGill University, Montreal, July 13-16. (*Affiche*).

Bérubé, M.-È. et S. Rioux. 2008. Modélisation du risque d'infection des épis de céréales par le *Fusarium* et effet du glyphosate sur l'incidence de la fusariose chez le blé et l'orge. Journée phytoprotection, CRAAQ-CÉROM, Saint-Mathieu-de-Beloeil, 23 juillet.

Bérubé, M.-È. A. Vanasse, S. Rioux, G. Bourgeois, N. Bourget, G. Tremblay et Y. Dion. 2008. Effet du glyphosate et des conditions climatiques sur la production d'inoculum de *Fusarium graminearum* et *Fusarium avenaceum*. Réunion annuelle conjointe SPPQ-SEQ : La phytoprotection, 100 ans de découvertes : un tremplin vers l'avenir!, Québec, 20-21 novembre. (*Résumé*)

Bérubé, M.-È., S. Rioux, N. Bourget, G. Tremblay, Y. Dion, and A. Vanasse. 2008. Glyphosate and tillage system effects on fusarium head blight in wheat and barley. Canadian Weed Science Society / Société canadienne de malherbologie Annual Meeting, Banff, Nov. 25-27. (*Résumé*)

Bérubé, M.-È., A. Vanasse, S. Rioux, G. Bourgeois, N. Bourget, G. Tremblay et Y. Dion. 2009. Effet du glyphosate et du travail du sol sur l'incidence de la fusariose de l'épi chez le blé et l'orge. Journée d'information scientifique – Grandes cultures. Comité céréales et Comité maïs et plantes oléoprotéagineuses du CRAAQ, Drummondville, 19 février.

REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS

Ce projet a été réalisé dans le cadre du programme Prime-Vert, volet 11 - Appui à la Stratégie phytosanitaire avec une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, sans lequel le projet n'aurait pu se concrétiser.