



Impact des changements climatiques sur la contamination de l'eau de ruissellement par les pesticides

P. Gagnon¹, C. Sheedy¹, A.N. Rousseau², G. Bourgeois¹, G. Chouinard³, P. Lafrance²

¹Agriculture et Agroalimentaire Canada

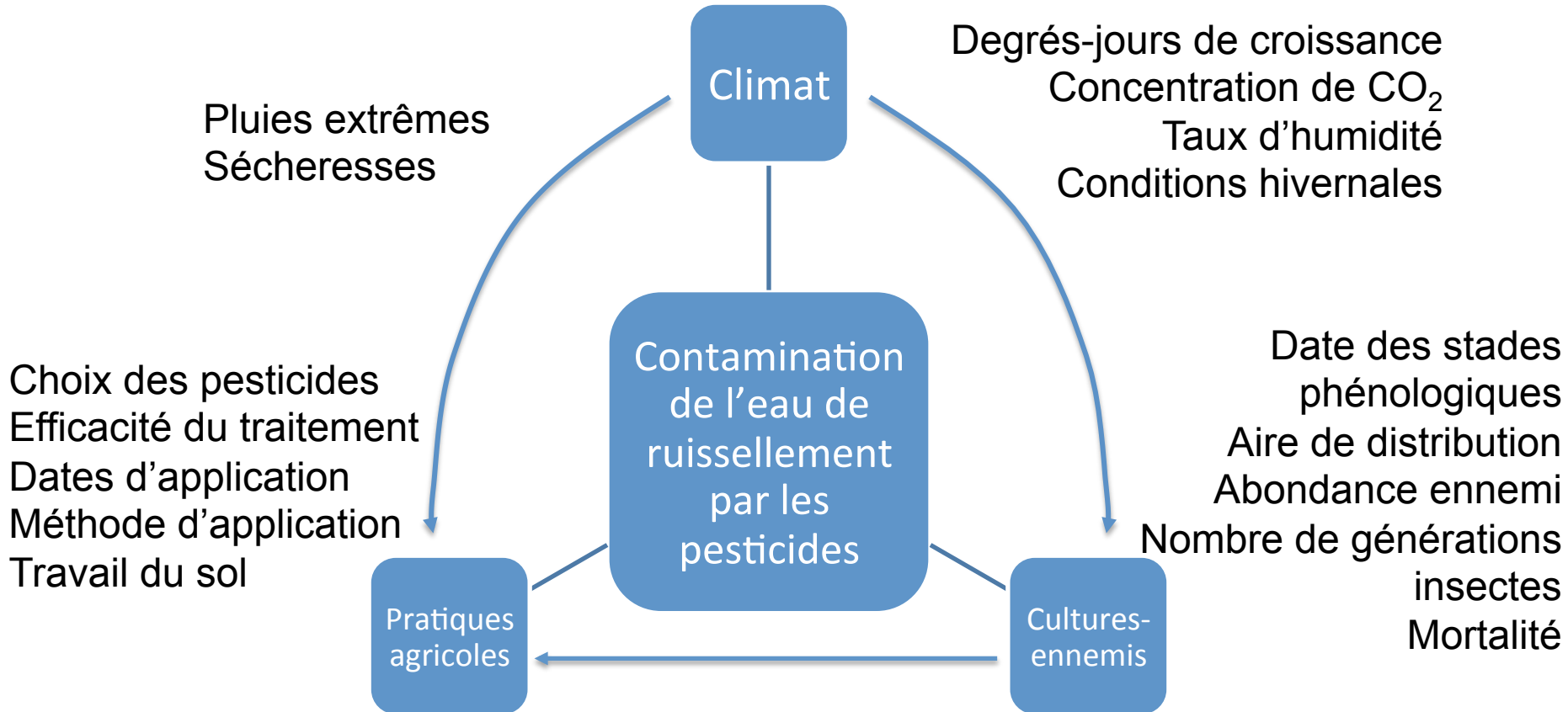
²Institut National de la Recherche Scientifique, Centre Eau Terre Environnement

³Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement

6e symposium Ouranos, Centre des Congrès de Québec, Québec

Le jeudi 4 décembre 2014

Contexte



Contexte

Sud du Québec, Horizon 2050 :

↑ Max annuel (Mailhot *et al.*, 2012)

≈ Débits 2 et 20 ans (CEHQ, 2013)

Pluies extrêmes?

Sécheresses

Climat

**Changements
climatiques (CC)**

GIEC (2007, 2013)

Degrés-jours de croissance

Concentration de CO₂

Taux d'humidité

Conditions hivernales

Choix des pesticides
Efficacité du traitement

Dates d'application

Méthode d'application

Travail du sol



Pratiques
agricoles

Contamination
de l'eau de
ruissellement
par les
pesticides

Cultures-
ennemis

Date des stades
phénologiques
Aire de distribution
Abondance ennemi

**Nombre de générations
insectes**

Mortalité



Devancement pour :

Tavelure du pommier, feu bactérien et
carpocapse de la pomme (Bourgeois
et al., 2004; Hirschi *et al.*, 2012)

↑ Pour le carpocapse de la pomme
(Luedeling *et al.*, 2011; Juszczyk *et al.*, 2013)

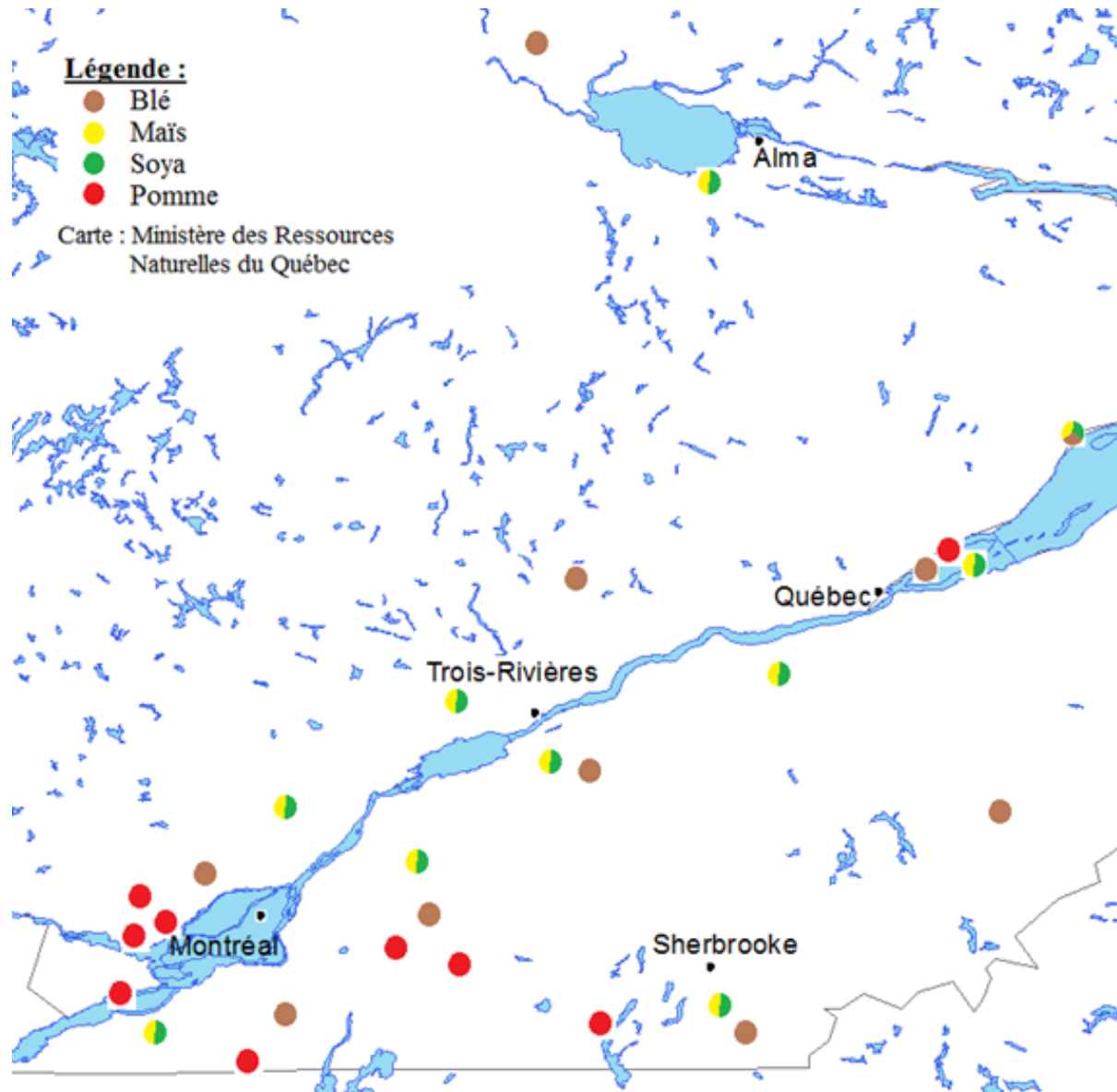
Objectif

Prédire l'impact des CC sur l'évolution de la contamination de l'eau de ruissellement de surface par les produits phytosanitaires pour la période 1981-2040 pour les cultures et ennemis suivants :

- Mais grain ou ensilage (*Zea mays*), soya (*Glycine max*) et blé (*Triticum aestivum*) : mauvaises herbes
- Pomme (*Malus pumila*) : trois insectes (charançon de la prune (*Conotrachelus nenuphar*), mouche de la pomme (*Rhagoletis pomonella*), carpocapse de la pomme (*Cydia pomonella*)) et deux maladies (feu bactérien (*Erwinia amylovora*), tavelure du pommier (*Venturia inaequalis*))



Méthode : Sites sélectionnés



Méthode : Scénarios d'application

Culture	Ennemi (Nombre d'ingrédients actifs)	Fenêtre d'application (degrés-jours (DJ) après semis^a)
Blé	Mauvaises herbes (5)	178-758 DJ base 0°C (postlevée)
Maïs	Mauvaises herbes (2)	1-61 DJ base 10°C (prélevée)
Maïs	Mauvaises herbes (1)	62-220 DJ base 10°C (postlevée)
Soya	Mauvaises herbes (4)	149-457 DJ base 10°C (postlevée)
Pomme	Insectes (4)	App 1 : 371 DJ base 5°C App 2 : 273-374 DJ base 10°C App 3 : 793-865 DJ base 10°C
Pomme	Tavelure du pommier (3)	Dépend de la température et de l'humidité (Carisse et Jobin, 2006)
Pomme	Feu bactérien (1)	Dépend essentiellement de la température (Smith, 2010)

^a Degrés-jours (DJ) calculés selon la méthode sinus simple (Baskerville et Emin, 1969). Fenêtres définies à partir de SAgE pesticides (2014) et de CIPRA (Plouffe *et al.*, 2014).

Méthode : Schéma global

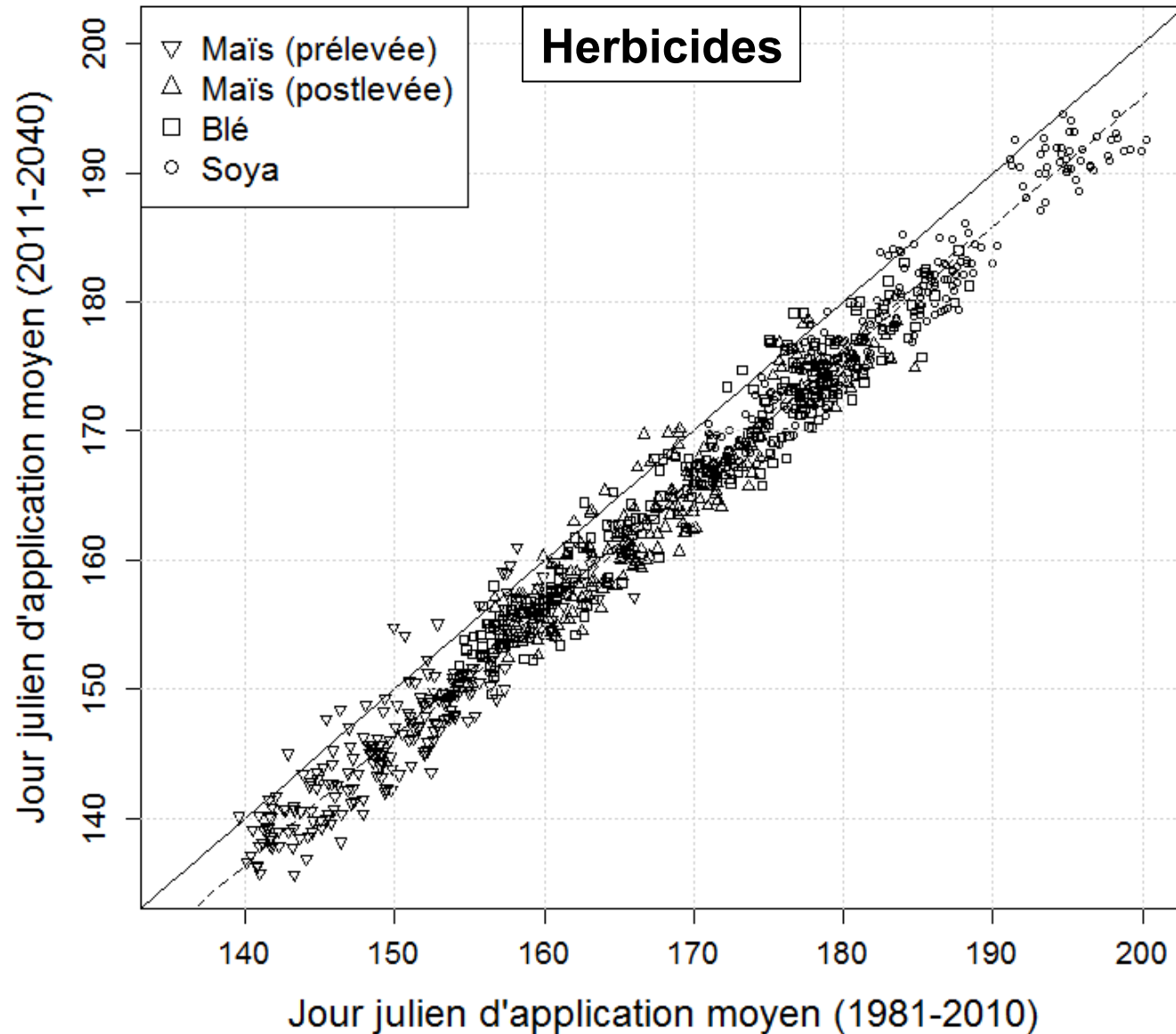
Données journalières 23 simulations climatiques corrigées (Tmin, Tmax, pcp; 1981-2040)

Résultats

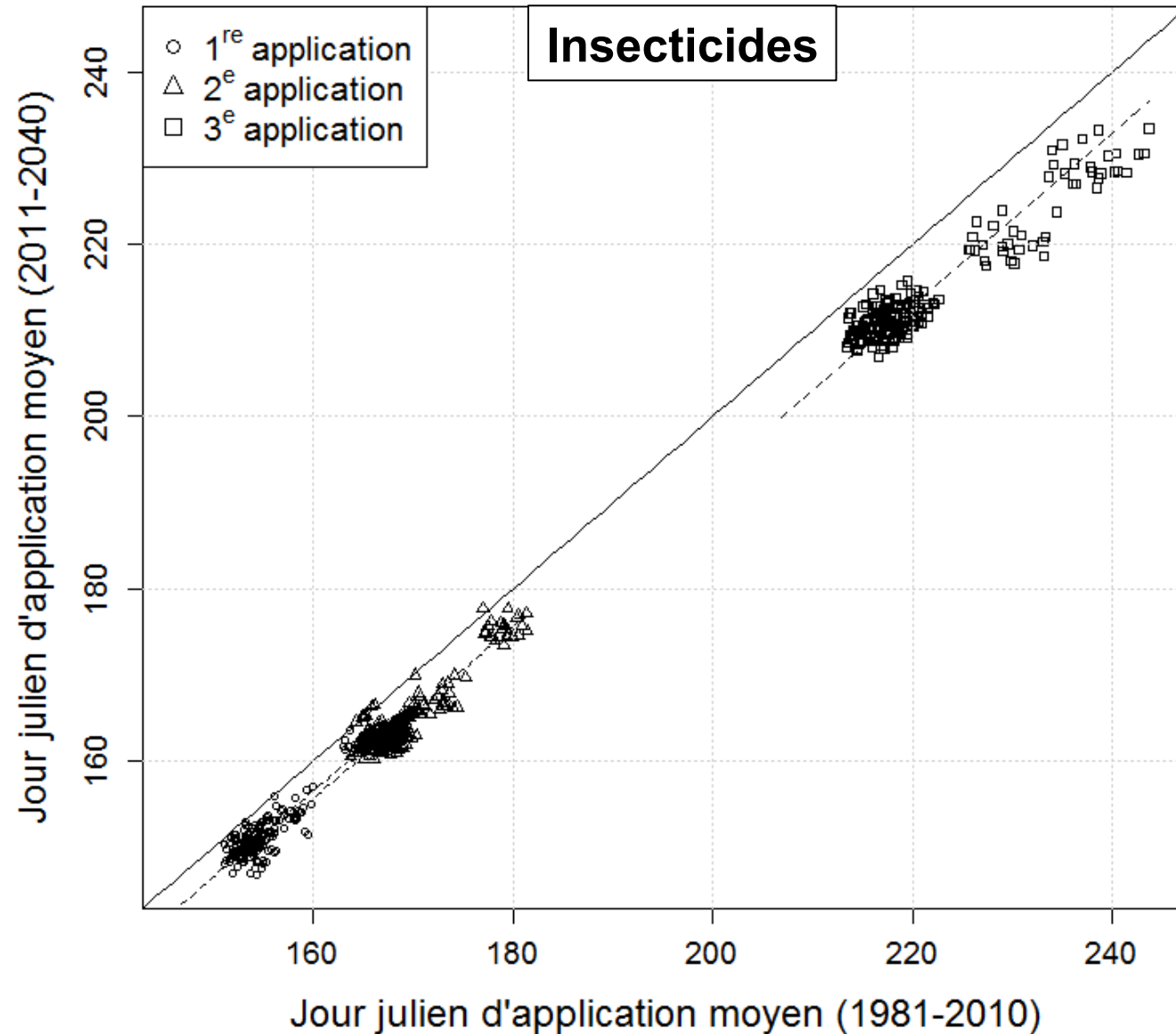
Impact des CC sur :

- Dates d'applications
- Nombre d'applications contre les maladies
- Pluies journalières maximales durant les fenêtres d'application
- Charges de pesticides transportées

Résultats : Dates d'applications

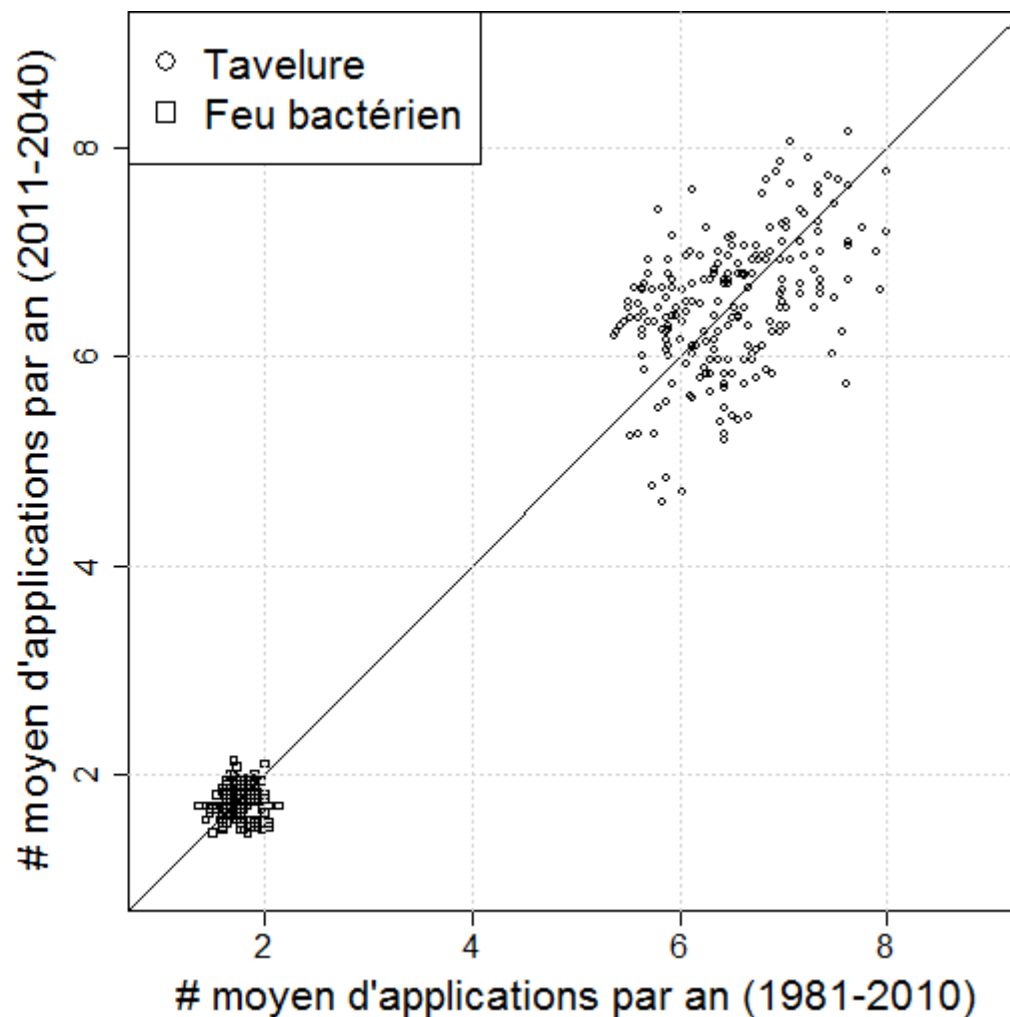


Résultats : Dates d'applications

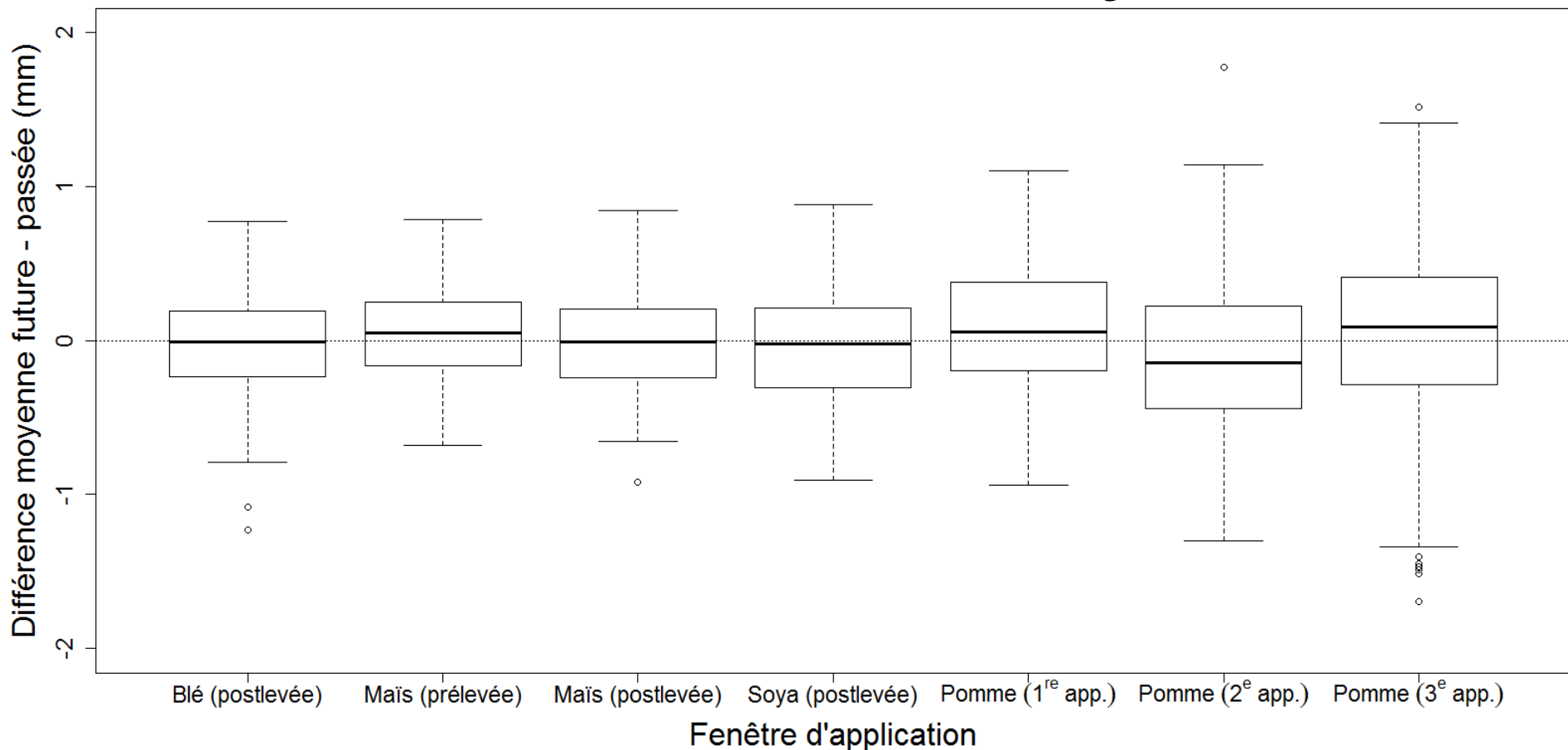


Résultats : Nombre d'applications

Fongicides/Bactéricides



Résultats : Pluie maximale journalière



Diagrammes en boîte des **différences moyennes** entre les périodes **passée (1981-2010)** et **future (2011-2040)** pour la **pluie journalière maximale** durant les fenêtres d'application. Les diagrammes sont construits à partir de toutes les combinaisons site/simulation climatique pour une culture donnée (207 pour la pomme, 230 pour les autres cultures).

Résultats : Charges transportées

Changement annuel moyen de la charge (1981-2010 vs 2011-2040) et variabilité

Traitement	Ingrédient actif	Changement annuel moyen		Écart-types (g/ha)		
		(g/ha)	(%)	Inter-sites	Inter-réalisations	Inter-simulations climatiques
Herbicide Blé (postlevée)	Bromoxynil	+0.0001	+0.8	0.0007	0.0022	0.0040
	Pyrasulfotole	-0.002	-1.6	0.003	0.004	0.022
	Fenoxaprop-p-éthyl	+0.00002	+2.2	0.00003	0.00032	0.00026
	Thifensulfuron-méthyle	-0.00002	-0.4	0.00017	0.00040	0.00128
	Tribenuron-méthyle	-0.00005	-0.9	0.00014	0.00028	0.00117
Herbicide Maïs (prélevée)	Atrazine	-0.001	-0.1	0.046	0.030	0.281
	Mésotrione	-0.0001	-0.1	0.0065	0.0044	0.0370
Herbicide Maïs (postlevée)	Glyphosate	+0.007	+0.5	0.050	0.056	0.344
Herbicide Soya (postlevée)	Bentazone	-0.023	-2.5	0.039	0.031	0.242
	Quizalofop-P-éthyl	-0.0003	-2.6	0.0007	0.0014	0.0037
	Thifensulfuron-méthyle	-0.026	-1.1	0.083	0.159	0.691
	Glyphosate	-0.058	-3.1	0.095	0.067	0.472
Insecticide Pomme	Phosmet	+0.005	+1.0	0.094	0.030	0.149
	Thiaclopride	+0.015	+5.5	0.031	0.012	0.062
	Spinétorame	+0.001	+1.7	0.004	0.002	0.016
Fongicide Tavelure du pommier	Acétamipride	-0.0001	-0.2	0.0093	0.0028	0.0152
	Mancozèbe	+0.0004	+8.2	0.0009	0.0004	0.0018
	Métiram	+0.023	+11.5	0.054	0.024	0.072
Bactéricide	Captane	+0.132	+9.2	0.184	0.122	0.452
	Sulfate de	+0.011	+1.1	0.148	0.015	0.268

Résumé des constats

- Impact des CC sur les dates d'application : Devancement variant de 2 à 8 jours en moyenne sur 30 ans (1981-2010 vs 2011-2040)
- Impact des CC sur le nombre d'applications non significatif
- Impact des CC sur les pluies maximales non significatif :
 - Grande variabilité « naturelle » des extrêmes
 - Période relativement courte (1981-2040)
- Impact des CC sur la charge de pesticides transportés non significatif :
 - Grande variabilité entre les simulations climatiques (pluie maximale)
 - Tavelure : augmentation de 10 % en moyenne, mais non significative

Recommandations

- Pratique :
 - Attention particulière aux traitements contre la tavelure du pommier
 - Éviter l'application avant une pluie forte : Valide aussi dans un contexte de CC
- Recherche :
 - Reprendre la méthodologie développée pour d'autres ennemis : en particulier, maladies ou insectes avec nouvelles générations possibles
 - Mieux comprendre l'interaction entre le climat et certains facteurs importants : notamment l'abondance de l'ennemi et la dégradation des ingrédients actifs

Remerciements



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



- Collaborateurs

René Audet, AAC

Anne Blondlot, Ouranos

Blaise Gauvin St-Denis, Ouranos

Danielle Bernier, MAPAQ

Pierre-Antoine Thériault, MAPAQ

Marie-Hélène April, MAPAQ

Isabelle Giroux, MDDELCC

Jean-Thomas Denault, MDDELCC

Julie Corriveau, MDDELCC

- Données/informations pertinentes

Jean-François Martineau, FADQ

Roland Joannin, Agropomme

Isabelle Beaudin, IRDA

Vincent Pillion, IRDA

Références

- Baskerville GL, Emin P. 1969. Rapid estimation of heat accumulation from maximum and minimum temperatures. *Ecology* 50(3): 514-517.
- Bourgeois G, Bourque A, Deaudelin G. 2004. Modelling the impact of climate change on disease incidence: a bioclimatic challenge. *Can J Plant Pathol* 26: 284-290.
- Carisse O, Jobin T. 2006. La tavelure du pommier : mieux comprendre pour mieux intervenir - Agriculture et Agroalimentaire Canada. [En ligne] www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/publications-scientifiques-et-ressources/fiches-techniques/la-tavelure-du-pommier-mieux-comprendre-pour-mieux-intervenir (consulté le 13 février 2014).
- CEHQ. 2013. Atlas hydroclimatique du Québec méridional – Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d’étéage et d’hydraulicité à l’horizon 2050. Québec (QC), 2013, 51 p.
- GIEC. 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d’évaluation du Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et A. Reisinger]. GIEC, Genève, Suisse, 103 pages.
- GIEC. 2013. Summary for Policymakers. Dans Stocker *et al.* (éds) : Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 27 pages.
- Hirschi M, Stoeckli S, Dubrovsky M, Spirig C, Calanca P, Rotach MW, Fischer AM, Duffy B, Samietz J. 2012. Downscaling climate change scenarios for apple pest and disease modeling in Switzerland. *Earth Sys Dynam* 3: 33-47.
- Juszczak R, Kuchar L, Leśny J, Olejnik J. 2013. Climate change impact on development rates of the codling moth (*Cydia pomonella* L.) in the Wielkopolska region, Poland. *Int J Biometeo* 57: 31-44.
- Luedeling E, Steinmann KP, Zhang M, Brown PH, Grant J, Girevetz EH. 2011. Climate change effects on walnut pests in California. *Glob Change Biol* 17: 228-238.
- Mailhot A, Beaugregard I, Talbot G, Caya D, Biner S. 2012. Future changes in intense precipitation over Canada assessed from multi-model NARCCAP ensemble simulations. *Int J Climatol*, 32(8): 1151-1163.
- Plouffe, D., G. Bourgeois, N. Beaudry, G. Chouinard, et D. Choquette, 2014 : CIPRA - Centre Informatique de Prévion des Ravageurs en Agriculture. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Publication No. 12147F. 138 p. [En ligne] http://www.agrireseau.qc.ca/documents/Document_88744.PDF (consulté le 28 novembre 2014).
- SAGe pesticides. 2014. SAGe pesticides - Utilisation rationnelle des produits et traitements phytosanitaires contre ravageurs. [En ligne] <http://www.sagepesticides.qc.ca/> (consulté le 17 février 2014).
- Smith TJ. 2010. CougarBlight 2010. Washington State University Extension. [En ligne]. http://county.wsu.edu/chelan-douglas/agriculture/treefruit/Pages/Cougar_Blight_2010.aspx (consulté le 13 février 2014).
- Suarez, LA. 2005. PRZM-3, A model for predicting pesticide and nitrogen fate in the crop root and unsaturated soil zones: User’s manual for release 3.12.2. EPA/600/R-05/111. Athens (GA), USA: USEPA, National Exposure Research Laboratory, Ecosystems Research Division. [En ligne] <http://www.epa.gov/athens/publications/reports/Suarez600R05111PRZM3.pdf> (consulté le 16 avril 2012).

Annexe : Objectifs spécifiques

Objectifs spécifiques :

- (i) Développer une méthodologie intégrant les **interactions** entre le climat, la phénologie des cultures et des ennemis, les applications de pesticides et les processus chimiques et physiques liés au transport et devenir des pesticides dans le sol et dans l'eau de ruissellement, ainsi que les différentes **sources d'incertitude**.
- (ii) Estimer de manière **objective** (statistique) l'impact des CC sur l'évolution de la contamination de l'eau de ruissellement de surface par les produits phytosanitaires pour la période 1981-2040 pour les combinaisons culture-ennemis sélectionnées à l'**échelle du champ ou du verger**.
- (iii) Estimer de manière objective l'impact de mesures d'adaptation visant à atténuer la contamination de l'eau de ruissellement de surface par les produits phytosanitaires.

Annexe : Simulations climatiques

Modèle global	Modèle régional	Mise à l'échelle statistique	Scénarios GES ⁴
MCCG3 ¹ #4	MRCC version 4.2 (Caya et Laprise, 1999; Paquin, 2010); domaine AMNO		A2
MCCG3 #5			A2
ECHAM5 ² #1			A2
ECHAM5 #3			A2
MCCG3 #1	-	<p>Nom de la méthode : <i>Daily translation</i> (Mpelasoka et Chiew, 2009)</p> <p>Données observées de référence : Grille météorologique à résolution 0,1°C de Ressources naturelles Canada (1961-2000; Hutchinson <i>et al.</i>, 2009; Hopkinson <i>et al.</i>, 2011)</p>	A1B
MCCG3 #2			A1B
MCCG3 #3			A1B
MCCG3 #4			A1B
MCCG3 #5			A1B
MCCG3 #1			A2
MCCG3 #2			A2
MCCG3 #3			A2
MCCG3 #4			A2
MCCG3 #5			A2
MCCG3 #1			B1
MCCG3 #2			B1
MCCG3 #3			B1
MCCG3 #4			B1
MCCG3 #5			B1
Mk3.5 ³ #1			A1B
Mk3.5 #1			A2
Mk3.5 #1			B1
ECHAM5 #4			A1B

¹MCCG version 3 (Flato *et al.*, 2000; Scinocca *et al.*, 2008)

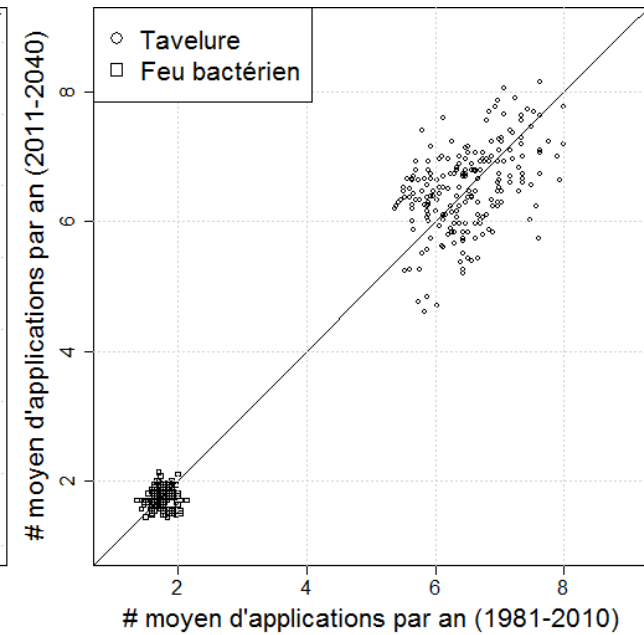
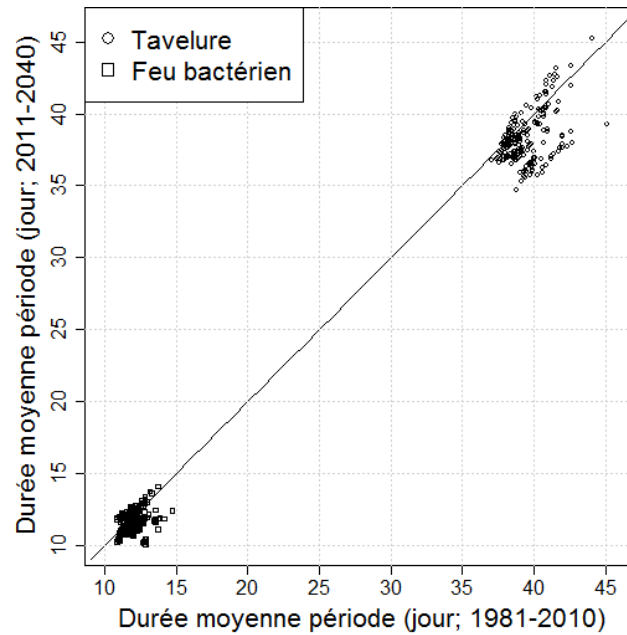
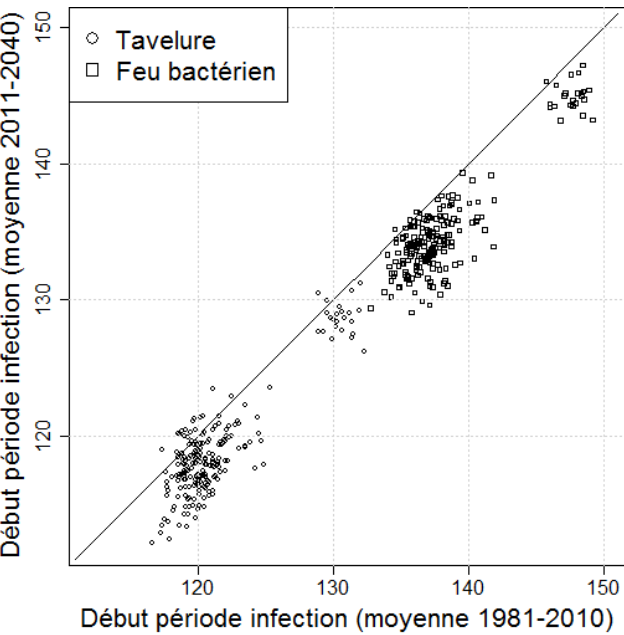
²ECHAM version 5 (Jungclaus *et al.*, 2006)

³Mk version 3.5 (Gordon *et al.*, 2002, 2010)

⁴(Nakicenovic et Swart, 2000)

Annexe: Résultats maladies

Fongicides/Bactéricides



Annexe: Résultats charges transportées

Charge annuelle moyenne (1981-2040) et variabilité

Traitement	Ingrédient actif	Charge annuelle moyenne (g/ha)	Écarts-types (g/ha)		
			Inter-sites	Inter-réalisations	Inter-simulations climatiques
Herbicide Blé (postlevée)	Bromoxynil	0,014	0,020	0,015	0,001
	Pyrasulfotole	0,129	0,144	0,103	0,012
	Fenoxaprop-p-éthyl	0,001	0,002	0,002	0,000
	Thifensulfuron-méthyle	0,005	0,006	0,003	0,000
	Tribenuron-méthyle	0,005	0,005	0,003	0,001
Herbicide Maïs (prélevée)	Atrazine	1,350	1,188	1,167	0,141
	Mésotrione	0,158	0,141	0,126	0,017
Herbicide Maïs (postlevée)	Glyphosate	1,262	1,838	1,219	0,161
Herbicide Soya (postlevée)	Bentazone	0,914	0,711	0,652	0,117
	Quizalofop-P-éthyl	0,011	0,017	0,012	0,001
	Thifensulfuron-méthyle	2,311	1,704	1,674	0,269
	Glyphosate	1,877	2,743	1,763	0,238
Insecticide Pomme	Phosmet	0,529	0,715	0,490	0,092
	Thiaclopride	0,269	0,312	0,165	0,039
	Spinétorame	0,072	0,129	0,053	0,010
Fongicide Tavelure du pommier	Acétamipride	0,054	0,068	0,040	0,009
	Mancozèbe	0,004	0,007	0,007	0,001
	Métiram	0,202	0,501	0,226	0,038
	Captane	1,443	2,170	1,657	0,216
Bactéricide Feu bactérien	Sulfate de streptomycine	1,032	1,469	0,825	0,196

Annexe : Limitations

Éléments non considérés :

- Autres ennemis problématiques au Québec pour les cultures considérées
- Toxicité des adjuvants et métabolites
- Impact du climat sur les propriétés des ingrédients actifs
- Impact du climat sur les taux d'application
- Arrivée potentielle de nouveaux cultivars et/ou produits phytosanitaires
- Impact des CC sur :
 - Arrivée de nouveaux ennemis
 - Augmentation des superficies cultivées
 - Augmentation de la résistance
 - Conditions hivernales (survie des ennemis)
 - Proportion des événements de pluie sous forme convective

Annexe: Références – Simulations climatiques

- Caya D, Laprise R. 1999. A semi-implicit semi-lagrangian Regional Climate Model: The Canadian RCM. *Mon Weather Rev* 127: 341-362.
- Flato GM, Boer GJ, Lee WG, McFarlane NA, Ramsden D, Reader MC, Weaver AJ. 2000. The Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis Global Coupled Model and its Climate. *Clim Dynam* 16: 451-467.
- Gordon HB, Rotstayn LD, McGregor JL, Dix MR, Kowalczyk EA, O'Farrell SP, Waterman LJ, Hirst AC, Wilson SG, Collier MA, Watterson IG, Elliot TI. 2002. The CSIRO Mk3 Climate System Model. CSIRO Atmospheric Research Technical Paper No. 60.
- Gordon HB, O'Farrell SP, Collier MA, Dix MR, Rotstayn LD, Kowalczyk EA, Hirst T, Watterson IG. 2010. The CSIRO Mk3.5 Climate Model. Centre for Australian Weather and Climate Research Technical Report No. 021.
- Hopkinson RF, McKenney DW, Milewska EJ, Hutchinson MF, Papadopol P, Vincent LA. 2011. Impact of Aligning Climatological Day on Gridding Daily Maximum-Minimum Temperature and Precipitation over Canada. *J Appl Meteor and Climatol* 50: 1654-1665.
- Hutchinson MF, McKenney DW, Lawrence K, Pedlar JH, Hopkinson RF, Milewska EJ, Papadopol P. 2009. Development and Testing of Canada-Wide Interpolated Spatial Models of Daily Minimum-Maximum Temperature and Precipitation for 1961-2003. *J Appl Meteor and Climatol* 48: 725-741.
- Jungclaus JH, Botzet M, Haak H, Keenlyside N, Luo JJ, Latif M, Marotzke J, Mikolajewicz U, Roeckner E. 2006. Ocean circulation and tropical variability in the AOGCM ECHAM5/MPI-OM. *J Clim* 19(16): 3952-3972.
- Mpelasoka FS, Chiew FHS. 2009. Influence of Rainfall Scenario Construction Methods on Runoff Projections, *J Hydromet* 10: 1168-1183.
- Nakicenovic N, Swart R (eds.). 2000. IPCC special report on emissions scenarios: a special report of Working Group III of the IPCC. Cambridge, UK, 599 p.
- Paquin D. 2010. Évaluation du MRCC4 en passé récent (1961-1999). Rapport interne No 15: Ouranos, Équipe Simulations climatiques.
- Scinocca JF, McFarlane NA, Lazare M, Li J, Plummer D. 2008. Technical Note: The CCCma third generation AGCM and its extension into the middle atmosphere. *Atmos Chem Phys* 8: 7055-7074.