

Colloque en
Agroclimatologie 

Outils disponibles et changements climatiques



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada 

Cette activité est réalisée grâce à l'appui financier d'Ouranos
en partenariat avec Ressources naturelles Canada

solutions

ASSURANCES
ET PROTECTION DU REVENU



**Une approche intégrée pour
mieux gérer les risques de votre entreprise**

1 800 749-3646 | www.fadq.qc.ca

**La Financière
agricole**

Québec 

Une référence
qui a la cote!



Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec

Un catalogue de
230 publications
comprenant des
ouvrages imprimés
et électroniques

Plus de 15 évènements
pour le secteur agricole et
agroalimentaire chaque
année

250 feuillets
technico-économiques
regroupés dans les
Références économiques

Plus de 15 services en
ligne comprenant
des répertoires et
plusieurs outils
d'information

32 banques
d'informations
spécialisées sur
Agri-Réseau

Un calendrier
électronique regroupant
l'ensemble des activités
du secteur agricole
et agroalimentaire

Avertissements

Il est interdit de reproduire, traduire ou adapter cet ouvrage, en totalité ou en partie, pour diffusion sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit, incluant la photocopie et la numérisation, sans l'autorisation écrite préalable du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ).

Les contenus publiés dans ce document n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs respectifs.

La publicité insérée dans ce document concrétise l'appui du milieu à l'évènement. Sa présence ne signifie pas que le CRAAQ en approuve le contenu ou cautionne les entreprises et organismes concernés.

Pour information et commentaires :

Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec
Édifice Delta 1
2875, boulevard Laurier, 9^e étage
Québec (Québec) G1V 2M2
Téléphone : 418 523-5411
Télécopieur : 418 644-5944
Courriel : client@craaq.qc.ca

© Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec, 2012

Publication PAGR0108

ISBN 978-2-7649-0276-9

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2012

Bibliothèque et Archives Canada, 2012



Ce document a été imprimé sur du papier contenant 100 %
de fibres recyclées postconsommation, certifié Éco-Logo
et Procédé sans chlore et fabriqué à partir d'énergie biogaz.



Le CRAAQ remercie ses...

...membres partenaires

**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**

Québec 

**Un partenaire
de premier plan !**



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

Canada

La Coop
 **féderée**

**La Financière
agricole**

Québec 



**L'Union des
producteurs
agricoles**



Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec

www.craaq.qc.ca • 1 888 535-2537

Le CRAAQ remercie ses...

...membres associés

Association des jardiniers maraîchers du Québec (AJMQ)

Association des médecins vétérinaires praticiens du Québec (AMVPQ)

Association des producteurs de fraises et framboises du Québec (APFFQ)

Association des technologues en agroalimentaire inc. (ATA)

Banque Nationale du Canada

Bureau de normalisation du Québec (BNQ)

Cain Lamarre Casgrain Wells

Centre d'études sur les coûts de production en agriculture (CECPA)

Centre d'expertise en gestion agricole (CEGA)

Centre d'insémination artificielle du Québec (CIAQ)

Centre de développement du porc du Québec (CDPQ)

Centre francophone d'informatisation des organisations (CEFRIO)

Citadelle, Coopérative de producteurs de sirop d'érable

Conseil canadien de la gestion d'entreprise agricole (CCGEA)

Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ)

Conseil québécois de l'horticulture (CQH)

Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation (FSAA) de l'Université Laval

Fédération de la relève agricole du Québec (FRAQ)

Fédération des groupes conseils agricoles du Québec (FGCAQ)

Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec (FPCCQ)

Fédération des producteurs de lait du Québec (FPLQ)

Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ)

Fédération des producteurs maraîchers du Québec (FPMQ)

Financement agricole Canada

Groupe Promutuel

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)

Ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE)

Mouvement Desjardins

Ordre des agronomes du Québec (OAQ)

RBC Banque Royale

Syndicat des producteurs de lapins du Québec (SPLQ)

Transformation Alimentaire Québec (TRANSAQ)

Université McGill-Campus Macdonald

Valacta



Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec

www.craaq.qc.ca • 1 888 535-2537

Comité organisateur

PRÉSIDENT

Gaétan Bourgeois, Ph.D., chercheur scientifique, bioclimatologie et modélisation, AAC, Saint-Jean-sur-Richelieu

Anne Blondlot, agronome, Impacts et Adaptation, Ouranos, Montréal

Patrice Mullier, agronome, Beaumont

Dominique Plouffe, B.Sc., assistante de recherche, AAC, Saint-Jean-sur-Richelieu

COORDINATION

Denise Bachand, M.Sc., chargée de projets, CRAAQ, Québec

Appui du CRAAQ

Karine Beaupré, responsable de la logistique

Guillaume Breton, responsable marketing et ventes

Dany Dion, responsable à l'administration

Jocelyne Drolet, agente de secrétariat

Sophie Fournier, agente de secrétariat

Hélène Grondines, directrice de la gestion des projets, des processus et des opérations

Danielle Jacques, chargée de projets à l'édition

Marie-Michèle Lapointe, agente d'information

Nathalie Nadeau, technicienne en infographie

Manon Paradis, responsable des partenariats et des communications

Agathe Turgeon, agente d'administration



Découvrez la multifonctionnalité de l'agriculture

La multifonctionnalité contribue à la qualité de vie des communautés par ses fonctions sociales, environnementales et économiques. Dans cet esprit, les projets qui s'en inspirent favorisent la biodiversité tout en façonnant des paysages humanisés et variés. Une belle façon de rendre les territoires attrayants et d'offrir un cadre de vie stimulant!

Emboîtez le pas :

www.mapaq.gouv.qc.ca/multifonctionnalite

Agriculture, Pêcheries
et Alimentation

Québec 

PROGRAMME

8 h **Le café de bienvenue est offert gracieusement par La Financière agricole du Québec**

8 h 50 **Mot d'ouverture**

Pierre-André Dubé, professeur retraité, Université Laval, Québec

APPLICATIONS CONCRÈTES DE L'AGROCLIMATOLOGIE

9 h **L'Atlas agroclimatique du Québec**

René Audet

9 h 30 **Mise à jour des unités thermiques maïs (UTM) au Québec**

Gaétan Bourgeois

10 h **Indices climatiques associés aux risques de dommages hivernaux aux plantes agricoles pérennes**

Gilles Bélanger

10 h 30 **Pause santé** 

11 h **Les modèles bioclimatiques utilisés en agriculture**

Dominique Plouffe

11 h 30 **Impacts des changements climatiques sur la pyrale du maïs**

Annie-Ève Gagnon

12 h **Dîner**

THÈME SUR L'EAU

13 h 30 **Impacts potentiels des changements climatiques sur les événements hydrologiques extrêmes : sévérité des étiages et risques de crues**

Jean-François Cyr

14 h **Outils agrométéorologiques pour la planification de l'irrigation des cultures**

Steeve Pépin et Gaétan Bourgeois

14 h 30 **Conception des ouvrages hydroagricoles dans un contexte de changements climatiques**

Aubert Michaud

15 h **Problématique des cultures horticoles face aux aléas climatiques de la saison 2011**

Normand Legault

15 h 30 **Période de questions et discussions avec les conférenciers**

16 h **Fin de la journée**

Plans MAJEURS :



Cahier du participant :





Le mercredi 7 mars 2012
Hôtel et Suites Le Dauphin
Drummondville

Résumés des conférences

L'Atlas agroclimatique du Québec



Auteur : René Audet, M.Sc., agrométéorologue, gestionnaire – Aide à la décision
Direction générale des services agroenvironnementaux
Agriculture et Agroalimentaire Canada, Québec

INTRODUCTION

Le secteur agricole est constamment confronté aux aléas du climat. Les conditions météorologiques et climatiques peuvent avoir des impacts multiples sur le plan de la ferme et des répercussions sur l'ensemble du secteur. L'intégration d'informations climatiques dans la planification des activités d'une entreprise agricole permet de mieux gérer les risques, de saisir les opportunités qui se présentent et d'améliorer la gestion agroenvironnementale.

Le secteur agricole a particulièrement besoin d'informations climatiques adaptées (ex. : risques de gel, cumuls thermiques, etc.) capables de mieux traduire l'impact du climat actuel et futur sur les cultures et les systèmes agricoles et ainsi faciliter la prise de décision pour, entre autres, mieux orienter les activités agricoles. Au Québec, de telles informations étaient soit désuètes, soit difficilement accessibles et cette situation était déplorée par le milieu (producteurs, conseillers, analystes).

Afin de pallier cette lacune, un projet a été lancé en 2010 par la Commission agrométéorologie du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), en partenariat avec plusieurs organisations, afin de développer un Atlas agroclimatique du Québec. Celui-ci intègre des informations sur divers indices agroclimatiques basés sur le climat actuel et sa variabilité, mais aussi sur son évolution future. Les résultats obtenus, présentés sous forme de cartes, seront diffusés à l'ensemble du secteur agricole québécois par l'entremise d'un site Internet convivial.

Le site Internet de l'Atlas agroclimatique du Québec sera dévoilé dans le cadre de cette conférence et les résultats des analyses sommairement présentés. Les participants au colloque qui voudront en savoir davantage pourront également tester l'outil au kiosque réservé à cet effet.

OBJECTIFS DU PROJET

Les objectifs visés par ce projet étaient les suivants :

- Mettre à jour le portrait de l'agroclimat actuel en analysant un ensemble d'indices agroclimatiques d'intérêt pour le secteur agricole québécois;
- Faire état de l'évolution de ces indices au cours du passé récent;

- Développer des scénarios climatiques futurs afin d'évaluer les changements attendus de ces indices pour la période 2041-2070;
- Intégrer et diffuser l'ensemble de ces informations de manière conviviale par le biais d'un site Internet;
- Informer et sensibiliser les intervenants agricoles sur l'existence et les applications d'un tel outil afin d'améliorer leurs prises de décision.

L'APPROCHE UTILISÉE

Le choix des indices agroclimatiques

Tout d'abord, un certain nombre d'indices agroclimatiques furent ciblés pour les analyses. La sélection de ces indices s'appuya sur les critères suivants :

- besoins des usagers;
- portée générale (applicables à plusieurs cultures);
- disponibilité des données;
- état des connaissances (est-ce que l'indice a été validé au Québec?).

Après une revue des indices existants et la consultation de nombreux usagers potentiels de l'atlas, les indices retenus furent les suivants :

Des indices thermiques :

- risques de gel (dernier gel printanier, premier gel automnal et saison sans gel);
- températures extrêmes;
- cumuls thermiques (degrés-jours, unités thermiques maïs);
- saison de croissance (début, fin et longueur);
- potentiel et perte d'endurcissement (plantes fourragères pérennes).

Et des indices hydriques :

- cumuls des précipitations;
- les précipitations moins l'évapotranspiration potentielle.

Le portrait de l'agroclimat actuel

Pour caractériser l'agroclimat actuel, le projet eut recours à une base de données climatologiques contenant des valeurs quotidiennes de températures et de précipitations estimées tous les 10 km sur le territoire agricole québécois. Ces estimations furent obtenues par interpolation avec le modèle « ANUSPLIN », en se basant sur les observations climatologiques d'Environnement Canada (EC) et du ministère du Développement durable et des Parcs du Québec (MDDEP) (pour plus de détails : <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1227620138144&lang=fra>).

Ainsi, tous les 10 km, chacun des indices fut calculé sur une base quotidienne, saisonnière ou annuelle et diverses statistiques furent dérivées (moyenne, 20^e, 50^e et 80^e centiles). La période de référence choisie correspond aux 30 dernières années qui étaient disponibles, soit de 1979 à 2008 pour les indices thermiques et de 1974 à 2003 pour les indices hydriques. Les analyses et la cartographie des résultats furent réalisées dans un environnement ArcGIS par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), en collaboration avec le MDDEP, avec l'objectif d'automatiser le plus possible la procédure mise en œuvre.

Dans un contexte de changements climatiques, il serait souhaitable d'actualiser ces informations sur une base régulière. La démarche utilisée dans le cadre du présent projet facilitera grandement les futures mises à jour des indices agroclimatiques.

L'analyse des tendances au cours du passé récent

Afin d'avoir une indication de l'évolution de l'agroclimat au cours du passé récent, un mandat fut confié à l'INRS-Eau Terre et Environnement (INRS-ETE) afin de réaliser une analyse des tendances de certains indices agroclimatiques. Ce travail s'est basé sur des séries homogénéisées de données journalières de températures et de précipitations provenant de 74 stations du Québec méridional, appartenant à EC et au MDDEP. Une série de données climatologiques est dite homogène lorsque la variabilité climatique observée n'est pas influencée par un facteur autre que le climat, comme des modifications sur le plan de l'instrumentation ou encore de l'environnement immédiat de la station.

Pour détecter la présence d'une tendance et en évaluer l'ampleur, les tests statistiques de Mann-Kendall (détection seulement) et de Sen furent utilisés. Il est important de signaler que les résultats d'une telle analyse dépendent, entre autres, de la longueur de la série d'observations utilisées et de la période couverte.

Les scénarios climatiques futurs (2041-2070)

Pour avoir un aperçu des conditions agroclimatiques possibles dans un avenir relativement rapproché (2041-2070), un ensemble de 15 simulations climatiques régionales furent sélectionnées. Celles-ci furent produites par le consortium Ouranos et complétées par celles du projet « *North American Regional Climate Change Assessment Program (NARCCAP)* » ainsi que par des simulations climatiques globales du « *Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison (PCMDI)* ».

L'utilisation d'un tel ensemble de simulations permet de tenir compte des principales sources connues d'incertitudes sur le climat futur et de l'exprimer par des scénarios de changement climatique inférieur et supérieur pour tous les indices à partir des données journalières simulées (2041-2070 par rapport à 1971-2000). Le scénario de changement inférieur représente le 10^e centile des changements projetés par les simulations climatiques sélectionnées, alors que le scénario supérieur correspond au 90^e centile. Ainsi, 80 % des changements projetés sont compris entre les scénarios de changement inférieur et supérieur. Ces deux scénarios aident à cerner le potentiel futur de risques et d'opportunités découlant des changements climatiques anticipés.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

Une interface web conviviale

Les résultats, obtenus à la suite des diverses analyses, seront diffusés sous forme de cartes à l'ensemble du secteur agricole par le biais d'une interface web conviviale, en l'occurrence, une section de la nouvelle version du site www.agrometeo.org qui sera lancée prochainement.

L'interface qui sera proposée est basée sur un gabarit développé par l'Oklahoma Climatological Survey (OCS) de l'Université de l'Oklahoma, une organisation qui possède une expertise reconnue internationalement dans le développement d'outils conviviaux pour la diffusion d'informations météorologiques et climatologiques à différentes clientèles. Ce modèle fut adapté pour nos besoins par Mésonet-Québec, un service de la Société de protection des forêts contre les insectes et les maladies (SOPFIM), qui détient les droits au Québec sur l'utilisation des outils de l'OCS.

Près de 300 cartes vous seront proposées sur le site Internet de l'Atlas agroclimatique. Il sera possible de les télécharger, de les imprimer et même de les visionner de manière interactive. Diverses fonctionnalités simplifieront la navigation sur le site et les différents produits seront documentés afin d'en faciliter l'interprétation.

Cette présentation sera l'occasion de vous faire découvrir le site Internet de l'Atlas agroclimatique. Cependant, il sera évidemment impossible de vous présenter toutes les cartes et fonctionnalités du site et c'est pourquoi il est prévu de vous offrir l'accès au site dans un kiosque prévu à cette fin.

Ateliers de formation et produits promotionnels

Afin de favoriser une meilleure interprétation du contenu de l'atlas ainsi qu'un meilleur usage de l'interface web, des ateliers seront offerts par le CRAAQ au cours des prochaines semaines. De plus, un feuillet promotionnel ainsi qu'une affiche décrivant l'atlas seront diffusés.

CONCLUSION

L'élaboration de l'Atlas agroclimatique du Québec a été le fruit d'un travail collectif impliquant des ressources et de l'expertise de plusieurs organisations. Les usagers potentiels furent également consultés afin de s'assurer que l'outil réponde le plus fidèlement possible à leurs attentes.

Cet Atlas agroclimatique offrira au secteur agricole québécois un outil concret, dynamique et convivial pour appuyer son adaptation à la variabilité et aux changements climatiques. Cet outil, adapté aux technologies d'aujourd'hui, fournira la base pour l'analyse et la gestion des risques et potentialités climatiques.

Mise à jour des unités thermiques maïs (UTM) au Québec



Auteur : Gaétan Bourgeois, Ph.D., chercheur scientifique
AAC, Bioclimatologie et modélisation
Saint-Jean-sur-Richelieu

Collaborateurs : René Audet (AAC), Lise Bélanger (FADQ), Isabelle Duchesne (FADQ),
Pierre Filion (MAPAQ), Bertrand Leclerc (FADQ) et Gilles Tremblay (CÉROM)

Dans le cadre de l'élaboration de l'Atlas agroclimatique du Québec, une mise à jour du calcul des unités thermiques maïs (UTM) s'imposait pour le Québec. Un groupe de travail a été mandaté par le comité de pilotage de cet atlas afin de faire le point sur ce sujet et de coordonner la diffusion des nouvelles informations générées à la suite de cet exercice. La dernière mise à jour a été diffusée en 2002 et couvrait les années 1961 à 1990 (Laurence *et al.*, 2002). Lors des mises à jour précédentes, les mesures quotidiennes de température de l'air provenaient de stations météorologiques réparties sur le territoire agricole du Québec. Dans le cadre de cette mise à jour, deux sources de données ont été utilisées et comparées : i) les mesures quotidiennes de température de l'air provenant de stations météorologiques comme auparavant et ii) les valeurs quotidiennes de température de l'air à une résolution de 10 km générées par interpolation statistique (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2010; Hutchinson, M.F. *et al.*, 2009). À la suite de plusieurs essais et comparaisons entre les deux sources de données météorologiques, la deuxième source a été sélectionnée pour déterminer les trois composantes requises pour le cumul des UTM pendant les années 1979 à 2008 : i) la date de début du cumul, ii) la date de fin du cumul et iii) le calcul de l'UTM à partir des températures quotidiennes maximale et minimale de l'air.

DATE DE DÉBUT DU CUMUL DES UTM

Plusieurs options ont été examinées pour établir la date de début du cumul des UTM pour toutes les régions agricoles chaque année. La première option était de choisir une date fixe (ex. 1^{er} mai), comme c'est actuellement le cas en Ontario. Toutefois, le comité a déterminé que cette approche serait peu représentative de la variabilité observée d'une région à l'autre au Québec. Une deuxième option consistait à utiliser une moyenne mobile sur cinq jours des températures moyennes quotidiennes :

$$T_{\text{moy mobile}}(n) = [T_{\text{moy}}(n-4) + T_{\text{moy}}(n-3) + T_{\text{moy}}(n-2) + T_{\text{moy}}(n-1) + T_{\text{moy}}(n)] / 5$$

où : $T_{\text{moy}} = (T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) / 2$
n est le jour de l'estimation

Une température moyenne mobile $\geq 12,8$ °C représente une période ayant une bonne corrélation avec la température du sol appropriée pour effectuer les semis de maïs. Toutefois, certaines années,

cette approche a produit des dates de début du cumul beaucoup plus hâtives que la date du dernier gel printanier ($T_{\min} < 0\text{ °C}$), ce qui était peu représentatif de la dynamique des semis de maïs au Québec. À cette dernière option, s'est donc ajoutée la détermination de la date médiane du dernier gel printanier pour une région donnée sur une période de 30 ans comme point de départ de la recherche de la date de début du cumul des UTM.

En résumé, l'approche sélectionnée pour déterminer la date de début des calculs des UTM dans une région donnée est donc la suivante :

- i) Détermination de la date médiane du dernier gel printanier sur une période de 30 ans;
- ii) À partir de cette date médiane, début du calcul de la température moyenne mobile sur 5 jours;
- iii) Début du cumul des UTM à la première date où la température moyenne mobile sur 5 jours $\geq 12,8\text{ °C}$.

Pour la période 1979-2008, dans les principales régions de production de maïs grain du Québec, la date de début du cumul des UTM est plus tardive que la plage du 1 au 20 mai au moins 8 années sur 10, selon les régions.

DATE DE FIN DU CUMUL DES UTM

La date de fin du cumul des UTM correspond à la première date de l'automne où la température minimale de l'air est $\leq -2\text{ °C}$. Pour la période 1979-2008, dans les principales régions de production de maïs-grain du Québec, la date de fin du cumul des UTM est plus tardive que la plage du 27 septembre au 11 octobre au moins 8 années sur 10, selon les régions.

ÉQUATIONS UTILISÉES POUR LE CALCUL DES UTM

La méthode de calcul de l'indice UTM, telle que présentée dans Laurence *et al.* (2002), a été utilisée sans aucune modification. Les températures maximale et minimale quotidiennes de l'air sont requises pour calculer cet indice.

$$\begin{aligned} \text{UTM} &= (Y_{\max} + Y_{\min}) / 2 \\ \text{où } Y_{\max} &= 3,33 (T_{\max} - 10) - 0,084 (T_{\max} - 10)^2 && \text{si } T_{\max} \geq 10\text{ °C} \\ &= 0 && \text{si } T_{\max} < 10\text{ °C} \\ Y_{\min} &= 1,8 (T_{\min} - 4,44) && \text{si } T_{\min} \geq 4,44\text{ °C} \\ &= 0 && \text{si } T_{\min} < 4,44\text{ °C} \end{aligned}$$

Pour la période 1979-2008, dans les principales régions de production de maïs-grain au Québec, entre 2500 et 3100 UTM sont cumulées au moins 8 années sur 10, selon les régions.

APERÇU DE LA NOUVELLE CARTE DES UTM POUR 1979-2008 ET 2041-2070

Globalement, la nouvelle carte des UTM 1979-2008 ne démontre pas une évolution substantielle dans les cumuls dans chaque région par rapport à la carte des UTM 1961-1990. Toutefois, la nouvelle approche a permis de rendre la régionalisation des cumuls d'UTM plus homogène, spécialement dans les régions du sud du Québec. Pour l'horizon 2041-2070, les scénarios de changements climatiques utilisés indiquent que les dates de début du cumul pourraient être 5 à 15 jours plus hâtives, les dates de fin du cumul de 5 à 15 jours plus tardives et les cumuls de 450 à 850 UTM plus élevés. Dans un contexte de climat variable et en évolution, il sera donc important de mettre à jour fréquemment la cartographie des UTM et des autres indices agroclimatiques pour les régions agricoles du Québec.

En termes de diffusion, l'ensemble des cartes générées pour les UTM sera rendu disponible à partir du 15 mai 2012 avec les autres cartes de l'Atlas agroclimatique du Québec. Pour la saison 2012, les UTM acceptées à La Financière agricole du Québec seront celles basées sur l'analyse présentée dans Laurence *et al.* (2002) et publiées dans le Guide des normes en matière de pratiques culturales 2009 de La Financière agricole. Ce guide sera mis à jour pour 2013 après une analyse des cartes de l'Atlas agroclimatique du Québec pour une interprétation plus précise par municipalité.

En conclusion, bien que cet indice soit d'une grande utilité lors de la planification de la production de maïs-grain, il doit être employé avec une certaine précaution. Le calcul des UTM, tout comme celui des degrés-jours, ne prend pas en considération certains facteurs qui influencent le développement des végétaux, tels que les précipitations, l'humidité du sol et la photopériode. De plus, certains facteurs locaux, tels que le type de sol et le drainage, ne sont pas évalués dans la cartographie de cet indice thermique pour les différentes zones de production agricole du Québec.

RÉFÉRENCES

- Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2010. *Un jeu de données climatiques quotidiennes à maille de 10 km pour le Canada au sud de 60 ° Nord, 1961 à 2003*. Agrogéomatiques, en collaboration avec Ressources naturelles Canada, Environnement Canada et l'Australian National University. [Disponible d'AAC, Agrogéomatiques au site Web suivant : <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1227620138144&lang=fra>].
- Hutchinson, M.F. *et al.* 2009. *Development and testing of Canada-wide interpolated spatial models of daily minimum-maximum temperature and precipitation for 1961-2003*. Journal of Applied Meteorology and Climatology 48:725-741.
- Laurence, H. *et al.* 2002. *Ré-évaluation des unités thermiques disponibles au Québec pour le maïs et le soya*. Bulletin technique. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec. 12 p.

Indices climatiques associés aux risques de dommages hivernaux aux plantes agricoles pérennes



Auteurs : Gilles Bélanger, D.Sc. et Yves Castonguay, Ph.D., chercheurs scientifiques
Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures
Agriculture et Agroalimentaire Canada, Québec

LA TOLÉRANCE AU FROID DES PLANTES AGRICOLES PÉRENNES

Les conditions climatiques hivernales sont une contrainte majeure pour les plantes agricoles pérennes, lesquelles couvrent plus d'un million d'hectares au Québec. Les plantes pérennes regroupent plusieurs espèces agricoles, dont les plantes fourragères et les arbres fruitiers. La partie pérenne des plantes fourragères est située sous ou près de la surface du sol, alors que celle des arbres fruitiers, à l'exception du système racinaire, est située au-dessus du sol. La croissance des plantes fourragères s'arrête à l'automne avec la diminution de la température alors que celle des arbres fruitiers s'arrête avec la diminution de la photopériode.

Les plantes fourragères et les arbres fruitiers diffèrent également par leurs mécanismes de tolérance au froid. Les plantes fourragères survivent aux basses températures en limitant la formation de glace aux espaces extracellulaires. Cette formation de glace dans les espaces extracellulaires engendre un gradient de pression de vapeur entre les compartiments intra et extracellulaires, ce qui a pour effet d'entraîner la migration de l'eau vers l'extérieur de la cellule et ainsi de diminuer la probabilité de gel à l'intérieur de la cellule. L'amplitude et la durée de la congélation peuvent entraîner le dessèchement de la cellule. Les arbres fruitiers utilisent également ce processus de gel extracellulaire. Cependant, ils ont également la possibilité de surfusion dans certains de leurs tissus, ce qui leur permet de tolérer des températures beaucoup plus basses.

Tout comme pour la saison de croissance, des indices climatiques ont été développés pour exprimer les risques de dommages hivernaux associés à différentes causes (Rochette et Dubé, 1993a, b). Les indices utilisés pour les plantes fourragères ont été développés en utilisant principalement la luzerne comme plante modèle (Bélanger *et al.*, 2002) alors que le pommier a servi de plante modèle pour les arbres fruitiers (Rochette *et al.*, 2004)

PLANTES FOURRAGÈRES

Les indices automnaux expriment l'influence de la température et des précipitations sur l'endurcissement au froid. Les indices hivernaux évaluent 1) l'effet net de la durée et de l'intensité du froid et du rôle protecteur de la couverture de neige 2) la perte d'endurcissement au froid due aux températures chaudes ($T > 0^{\circ}\text{C}$) et 3) le dommage potentiel au système racinaire par le soulèvement du sol et la glace. Des conditions optimales d'endurcissement et une bonne couverture de neige sont des conditions idéales pour assurer une bonne survie hivernale (Fig. 1a).

Indices associés à l'endurcissement au froid à l'automne

Les conditions favorables pour la croissance des plantes fourragères retardent le développement de l'endurcissement au froid (Fig. 1b). Ainsi, la somme des degrés-froid ($T < 5\text{ °C}$) au cours de la période d'endurcissement exprime le potentiel d'endurcissement des plantes fourragères. Les travaux de recherche réalisés au Québec ont démontré qu'une accumulation d'environ 100 degrés-froid offrait des conditions optimales pour l'endurcissement. Le Bas-Saint-Laurent et la Gaspésie sont les régions au Québec qui ont la plus grande accumulation de degrés-froid au cours de la période d'endurcissement.

Les plantes pérennes s'endurcissent moins bien sous des conditions excessives d'humidité du sol. Puisque l'évapotranspiration est faible à l'automne, l'humidité du sol est étroitement reliée aux précipitations sous forme de pluie. Les précipitations journalières durant la phase d'endurcissement sont utilisées pour évaluer les conditions excessives d'humidité du sol au cours de la période d'endurcissement.

Indices associés à la période de froid

Les plantes fourragères pérennes, même si elles ont développé une tolérance maximale au froid, peuvent être affectées si les températures descendent sous leur limite de tolérance. Les recherches effectuées sur la luzerne ont démontré qu'elle pouvait tolérer des températures jusqu'à -15 °C pour plusieurs jours. Toutefois, la température de l'air au Québec peut descendre jusqu'à -44 °C . La survie à l'hiver des plantes fourragères dépend donc de la protection des racines et du collet par une couverture de neige adéquate (Fig. 1d). Le risque associé avec la présence de températures létales ($< -15\text{ °C}$) en absence d'une couverture de neige a été évalué par la différence entre le nombre de jours avec une couverture de neige d'au moins 10 cm et la longueur de la période froide (période entre le premier et dernier événement d'une température $< -15\text{ °C}$).

L'exposition à des températures au-dessus de 0 °C au cours de l'hiver entraîne une perte graduelle de l'endurcissement et augmente la susceptibilité des plantes aux températures froides subséquentes (Fig. 1c). L'accumulation journalière de degrés-jours ($T > 0\text{ °C}$) au cours de la période froide a été utilisée pour exprimer la perte potentielle d'endurcissement. Les pluies hivernales peuvent causer la formation de couches de glace en surface, lesquelles peuvent entraîner l'anoxie et des dommages physiques au système racinaire. De plus, la glace peut occasionner une plus grande pénétration du gel. Les précipitations journalières sous forme de pluie au cours de la période froide sont donc utilisées pour évaluer les risques de formation de couches de glace.

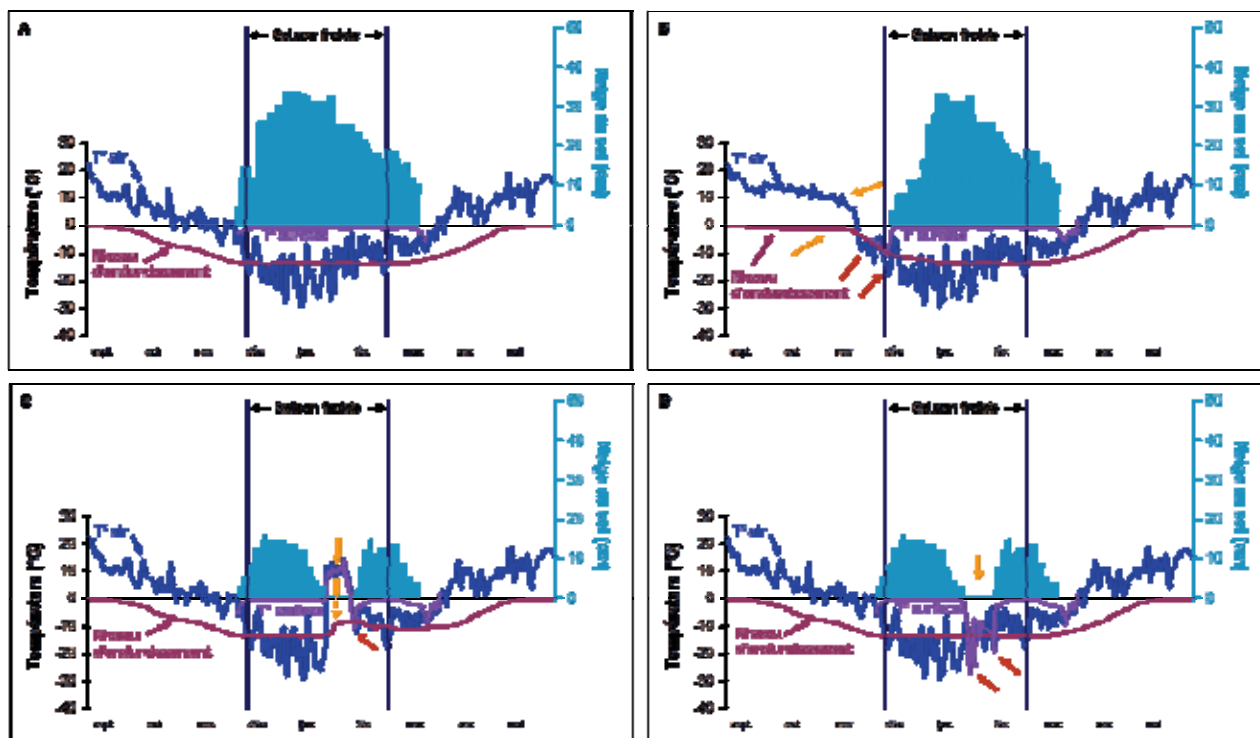


Figure 1. Différents scénarios illustrant : A) des conditions idéales; B) des températures élevées à l’automne empêchant l’endurcissement; C) des températures au-dessus du point de congélation pendant l’hiver entraînant une perte d’endurcissement; D) un manque d’isolation par la neige.

ARBRES FRUITIERS

Indices associés à l’endurcissement au froid à l’automne

La diminution de la photopériode au cours de l’automne initie l’entrée en dormance des arbres fruitiers et la diminution de la température permet de compléter le processus d’endurcissement aux basses températures. L’endurcissement peut être inadéquat si une première gelée mortelle intervient trop rapidement après la cessation de la croissance. La photopériode au jour de la première gelée automnale est utilisée pour décrire la sévérité des conditions; une photopériode courte au jour du premier gel indique une longue période entre la cessation de croissance et le premier gel et donc, des conditions favorables d’endurcissement.

Indices associés à la période de froid

L’accumulation de degrés-froid ($T < -15^{\circ}\text{C}$) est utilisée pour exprimer la menace associée à l’intensité et la durée de températures létales; cette accumulation réfère au processus de tolérance au froid par gel extracellulaire présent chez les plantes fourragères et les arbres fruitiers. La distribution nordique des arbres fruitiers est limitée par la température minimale annuelle; cette température minimale est un indice de la capacité de la plante à tolérer le froid par surfusion profonde.

La possibilité de perte d'endurcissement au cours de l'hiver existe également chez les arbres fruitiers. Comme pour les plantes fourragères, nous avons calculé un indice décrivant ce phénomène. Pour les arbres fruitiers, ce risque de perte d'endurcissement est calculé en cumulant les degrés-jours ($T > 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) du 1^{er} janvier au dernier évènement de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Risques associés au dernier gel printanier

Le développement des bourgeons au printemps est associé à une vulnérabilité croissante aux gelées tardives. Pour exprimer le risque de dommages aux bourgeons par une gelée tardive, un indice du cumul des degrés-jours ($T > 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) du 1^{er} janvier au dernier évènement d'une température inférieure à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a été calculé. Les risques de dommages aux bourgeons par une gelée tardive diminuent avec une diminution du cumul de degré-jours.

UTILISATION DES INDICES

Ces indices climatiques permettent de mieux estimer les risques de mortalité hivernale et d'aider à la prise de décision quant à l'implantation de cultures pérennes en lien avec leur potentiel de survie hivernale dans une région donnée. Plus récemment, ces indices ont été utilisés pour prédire l'impact des changements climatiques prévus sur les risques de dommages hivernaux aux plantes fourragères pérennes (Bélangier *et al.*, 2002) et aux arbres fruitiers (Rochette *et al.*, 2004).

RÉFÉRENCES

- Bélangier, G., P. Rochette, Y. Castonguay, A. Bootsma, D. Mongrain, et A.J. Ryan. 2002. *Climate change and winter survival of perennial crops in eastern Canada*. Agron. J. 94: 1120-1130.
- Rochette, P., G. Bélangier, Y. Castonguay, A. Bootsma et D. Mongrain. 2004. *Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada*. Can. J. Plant Sci. 84: 1113-1125.
- Rochette, P. et P.-A. Dubé. 1993a. *Zonage du risque agroclimatique durant la saison froide au Québec méridional : I – Froid hivernal*. Clim. Bull. 27(2) :45-62.
- Rochette, P. et P.-A. Dubé. 1993b. *Zonage du risque agroclimatique durant la saison froide au Québec méridional : II – Endurcissement, déchaussement et prise des racines dans la glace*. Clim. Bull. 27(3) :96-116.

Les modèles bioclimatiques utilisés en agriculture



Auteure : Dominique Plouffe, B.Sc., assistante de recherche
AAC, Saint-Jean-sur-Richelieu

Collaborateurs : Gaétan Bourgeois, Ph.D., chercheur, AAC, Saint-Jean-sur-Richelieu
Marie-Pier Lepage, B.Sc.

Les agriculteurs sont confrontés quotidiennement à des situations qui exigent de nombreuses prises de décisions à la ferme. Pour les aider, plusieurs outils existent et parmi ceux-ci on retrouve les modèles bioclimatiques. Ce sont des représentations mathématiques et graphiques des relations qui caractérisent le développement de certains organismes vivants et qui dépendent directement du climat. Élaborés par des chercheurs scientifiques, ils sont habituellement basés sur plusieurs années d'observation au champ et en milieux contrôlés (cabinets de croissance, serres) et les simulations effectuées avec ces modèles ont pour but de faciliter la compréhension des mécanismes qui sont observés dans un milieu. Ils sont utilisés pour mieux comprendre les relations entre les plantes, le sol et l'environnement, pour prédire la phénologie, la croissance, les rendements des cultures et parfois la qualité de la récolte. De plus en plus, on les utilise pour estimer l'impact que les changements climatiques auront sur les populations d'insectes et le développement des cultures.

MODÈLES DE DÉVELOPPEMENT D'INSECTES

Les insectes sont des organismes dont la température interne est déterminée par celle du milieu dans lequel ils vivent. Durant toute leur existence, la température conditionne leurs processus vitaux tels que la croissance, l'alimentation, la mobilité, le développement et la reproduction. Il existe une température au-dessous de laquelle ils ne peuvent se développer, soit la température de base. Celle-ci est spécifique à chaque insecte ou groupe d'insectes et varie selon les espèces. Les insectes doivent ainsi accumuler un certain nombre d'unités thermiques (ex. : degrés-jours) pour passer d'un stade de développement au suivant.

Certains modèles bioclimatiques utilisent les températures quotidiennes de l'air pour prédire le développement d'un insecte dans une région spécifique. Comme la température varie d'une région à l'autre, le stade de développement des populations d'insectes varie donc selon qu'elles se trouvent dans un territoire situé plus au sud ou dans un territoire où les cumuls thermiques (ex. : degrés-jours) ne sont pas aussi importants. À titre d'exemple, Bourgeois *et coll.* (2009) ont développé un modèle décrivant le développement du charançon de la carotte. Le but du modèle est de prédire l'émergence des adultes au printemps, pour lesquels des insecticides sont couramment utilisés. La comparaison des prédictions de ce modèle et des observations au champ démontre son excellent potentiel de prédiction. En utilisant ce modèle de prévision associé aux données climatiques, il devient alors plus facile pour le producteur de carottes de bien cibler ses interventions au début du développement de la population d'adultes et de limiter les dégâts causés par cet insecte.

D'autres modèles basés sur des cumuls thermiques ont été développés à partir de données de capture recueillies dans les régions agricoles du Québec, et ce, pour un grand nombre d'espèces de ravageurs dans plusieurs cultures (Tableau 1).

Tableau 1. Quelques modèles bioclimatiques pour différents insectes ravageurs et cultures auxquelles ils s'attaquent, disponibles dans le logiciel CIPRA¹ développé au Québec

Culture	Ravageur
Canneberge	Cécidomyie de la canneberge, pyrale de l'atoca
Carotte	Charançon de la carotte, mouche de la carotte
Crucifères	Fausse teigne des crucifères, piéride du chou
Fraisier	Anthonome de la fleur du fraisier
Gazon	Charançon du pâturin, scarabée noir, ver gris
Maïs sucré	Pyrale du maïs
Oignon	Mouche de l'oignon
Poireau	Teigne du poireau
Pomme de terre	Doryphore de la pomme de terre
Pommier	Carpocapse de la pomme, charançon de la prune, hoplocampe de la pomme, mineuse marbrée, mouche de la pomme, noctuelle du fruit vert, punaise terne, sésie du cornouiller, tétranyque rouge, tordeuse à bandes obliques, tordeuse à bandes rouges, tordeuse du pommier, tordeuse orientale du pêcher
Vigne	Cicadelles, punaise terne

¹ Centre informatique de prévisions des ravageurs en agriculture (Source : Bourgeois et coll., 2008)

MODÈLES DE MALADIES DES CULTURES

Les maladies peuvent être causées par différents types d'organismes pathogènes, tels les champignons, les bactéries, les virus, les nématodes, etc. Les paramètres météorologiques qui affectent le développement des maladies incluent la température, les précipitations, l'humidité relative, la radiation solaire et la vitesse du vent. De nombreux modèles ont été développés dans le domaine de la phytopathologie (étude des maladies des plantes). Ils sont généralement utilisés pour aider les producteurs à prendre des décisions éclairées dans la gestion des interventions contre les maladies des cultures. Il existe des modèles prévisionnels pour les maladies dans les grandes cultures (blé, orge), les cultures maraîchères (oignon, carotte, pomme de terre) et les cultures fruitières (pommier, vigne). Au Québec, les conseillers agricoles ont accès à plusieurs modèles qui les éclairent quotidiennement dans le choix du meilleur moment pour effectuer des traitements phytosanitaires (Tableau 2).

Tableau 2. Quelques modèles bioclimatiques pour différentes maladies et cultures auxquelles elles s'attaquent, disponibles dans le logiciel CIPRA¹ développé au Québec

Culture	Maladie
Blé et orge	Fusariose de l'épi
Carotte	Brûlure alternarienne, brûlure cercosporéenne
Melon	Alternariose et anthracnose (MELCAST)
Oignon	Brûlure de la feuille
Pomme de terre	Mildiou
Pommier	Tavelure du pommier, brûlure bactérienne
Tomate	Alternariose, septoriose et anthracnose (TOMcast)
Vigne	Blanc de la vigne

¹ Centre informatique de prévisions des ravageurs en agriculture (Source : Bourgeois et coll., 2008)

Un modèle basé sur l'accumulation des degrés-jours a été développé pour prédire l'initiation d'un programme d'application de fongicides contre le blanc de la vigne causé par *Erysiphe necator*, une des maladies les plus communes des vignes cultivées au Québec (Carisse et coll., 2009). Des épidémies sévères peuvent diminuer la vigueur des plants, leur rendement et la qualité des vins qui seront produits. Le modèle, développé sous forme de chiffrier électronique, utilise le cumul des degrés-jours à partir du stade 2-3 feuilles et permet d'initier un programme d'application de fongicides 30 à 40 jours plus tard que le programme conventionnel, tout en conservant un contrôle adéquat du mildiou.

Des modèles plus complexes sont également utilisés dans d'autres cultures. Le logiciel RIMpro, développé en Europe, est évalué au Québec depuis plusieurs années pour la gestion des infections primaires de la tavelure du pommier (Philon et Trapman, 2005). Il sert à mieux cerner les infections et à cibler les traitements par rapport aux périodes importantes d'éjection d'ascospores. La température, l'humidité relative et les précipitations, entre autres, sont les paramètres météorologiques utilisés pour ces calculs.

MODÈLES DE DÉVELOPPEMENT DES MAUVAISES HERBES

Dans un champ cultivé, les mauvaises herbes entrent en compétition avec la culture pour l'eau, les éléments nutritifs et la lumière, réduisant ainsi la disponibilité de tous les éléments pour la culture et limitant sa croissance et sa productivité. Quoiqu'il en existe quelques-uns, les modèles de développement des mauvaises herbes sont plutôt rares. Malgré tout, certains sont utilisés un peu partout dans le monde, mais bien peu ont été évalués sous les conditions climatiques du Québec. Deux modèles retiennent tout de même l'attention. Le premier est basé sur le cumul des degrés-jours et utilise les températures enregistrées dans une région pour prédire le développement végétatif de la petite herbe à poux (Benoit et Bourgeois, 2007). Il a permis d'établir que le développement de cette plante nuisible commence lorsque la température ambiante oscille autour de 5 °C et atteint son optimum autour de 31 °C. Au-delà de cet optimum, son taux de développement chute radicalement.

MODÈLES PHÉNOLOGIQUES DES VÉGÉTAUX

Le terme « phénologie des végétaux » correspond à l'arrivée de phases importantes dans le développement d'une espèce. L'apparition des différents stades phénologiques est influencée, entre autres, par les conditions climatiques environnantes, la région de la culture et, pour certaines cultures, la longueur du jour. Chaque phase représente un stade de développement spécifique marquant les épisodes phénologiques d'une culture, que ce soit la germination, la levée, l'apparition des feuilles, la floraison, la fructification, etc.

Les cumuls thermiques, degrés-jours et unités thermiques maïs (UTM), sont souvent utilisés pour prédire l'arrivée de stades de développement précis durant la saison de croissance. Les UTM représentent les exigences thermiques requises pour atteindre la maturité des différents hybrides de maïs. Les producteurs doivent préférentiellement opter pour des hybrides exigeant une somme inférieure d'UTM à celle indiquée pour leur région pour s'assurer que leur culture parvienne à maturité.

Les modèles phénologiques dynamiques suivent une approche de cumuls thermiques, en prédisant l'évolution des stades phénologiques chaque jour, plutôt que la prédiction d'un seul stade à un temps donné. De plus, ils intègrent les fonctions de réponse spécifiques de la culture à différents facteurs, tels la température de l'air ou du sol, la photopériode ou les stades phénologiques précédents, et ce, pour chaque période phénologique majeure, soit les phases émergence, foliaire et reproductive. On utilise ce type de modèle pour la gestion des semis, des transplants et des récoltes dans les cultures de laitue pommée et de brocoli, entre autres, car la prédiction de l'atteinte d'un certain stade phénologique est primordiale pour une récolte optimale de ces cultures.

MODÈLES DE CROISSANCE ET DE RENDEMENT

La croissance d'une culture est l'évolution de sa biomasse, tant aérienne (feuillage, grains, fruits) que souterraine (racines, bulbes, tubercules). Cette croissance implique une série d'interactions entre la plante, le sol et les conditions météorologiques. Le rendement se définit essentiellement en termes de la section récoltée du plant : feuilles de laitue, grains de blé ou de maïs, feuillage des plantes fourragères, racines de carotte, bulbes d'oignon, fruits du pommier, etc. Il varie en fonction d'un grand nombre de facteurs, dont le cultivar utilisé, les pratiques culturales employées et les conditions météorologiques durant la saison de croissance.

Il existe deux principaux types de modèles pour prédire la croissance ou le rendement des cultures, soit les modèles empiriques et les simulateurs de croissance et de rendement. Les modèles empiriques sont fondés sur des observations réellement mesurées plutôt que sur des concepts théoriques. Ils sont orientés davantage vers l'application et ils sont surtout utilisés par les intervenants du milieu agricole. Ce type de modèle fournit une prédiction de rendement pour une région donnée et est rarement transposable à d'autres régions. Par exemple, dans le secteur de l'assurance récolte pour le foin au Québec, de tels modèles servent à estimer les pertes potentielles de productivité, fondées sur le rendement escompté et les références historiques (Duchesne, 2010).

Quant aux simulateurs de croissance et de rendement, ils sont axés vers la compréhension des processus physiologiques de la culture. Ils prédisent l'évolution de la biomasse et de l'azote de la plante, la consommation d'eau au cours de la saison de croissance en fonction de la régie du champ et ils fournissent une estimation du rendement et du contenu en protéines des grains au moment de la récolte. Cependant, ils sont surtout employés dans le cadre d'études scientifiques plus globales.

Plusieurs simulateurs de croissance existent, dont STICS (Simulateur multidisciplinaire pour les cultures standard) élaboré en France (Brisson et coll., 1998), APSIM (*Agricultural Production Systems Simulator*) en Australie (McCown et coll., 1996) et DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) (Jones et coll., 2003) aux États-Unis. Bien que ces modèles proviennent de l'extérieur du Canada, il est possible dans une certaine mesure de les adapter aux conditions spécifiques de nos régions agricoles (Jégo et coll., 2010; Jégo et coll., 2011). D'autres simulateurs, comme le modèle EPIC (*Erosion Productivity Impact Calculator*) (Williams et coll., 1990), sont conçus pour modéliser des processus plus spécifiques, telle l'érosion, mais prédisent aussi la biomasse de certaines cultures selon les conditions de la culture, du sol et la météorologie. Enfin, le modèle CATIMO (*Canadian Timothy Model*) prédit à la fois la croissance, le rendement et la valeur nutritive de graminées fourragères (Bonesmo et Bélanger, 2002a; Bonesmo et Bélanger, 2002b).

MODÈLES DE PRÉDICTION DE QUALITÉ À LA RÉCOLTE

Les critères de qualité d'une récolte concernent la valeur nutritive, l'apparence visuelle ou la présence de désordres physiologiques. Pour obtenir des produits répondant aux critères de qualité de la culture, les producteurs doivent prendre de nombreuses précautions et décisions quant à la régie de la culture et de la récolte. Pour ce faire, il existe plusieurs outils disponibles en plus des simulateurs de cultures, dont des modèles bioclimatiques de prédiction de la valeur nutritive, de la montaison et des risques de désordres physiologiques pour des cultures spécifiques.

Plusieurs facteurs météorologiques, telle la température de l'air, influencent la qualité d'une culture. Pour évaluer la valeur nutritive et le rendement de leurs cultures au champ, les agriculteurs peuvent utiliser des modèles de simulation. Il existe, par exemple, un modèle pour estimer la perte de qualité des fourrages à partir de données météorologiques (Duchesne, 2010). Ce modèle établit un pourcentage de perte de qualité lié au retard de la coupe et à la pluie affectant ou détruisant le fourrage laissé au sol après la coupe.

MODÈLES DE PRÉDICTION DES RISQUES DE DÉSORDRES PHYSIOLOGIQUES AU CHAMP ET EN ENTREPÔT

Les désordres physiologiques sont des dérèglements ou troubles d'origine non pathologique affectant les végétaux et pouvant être causés par différents facteurs, dont les conditions météorologiques et les carences nutritives. Ils sont parfois difficiles à identifier, car les symptômes de certains désordres peuvent ressembler à d'autres, causés par des agents pathogènes. Au Québec, plusieurs variétés de pommes sont susceptibles aux désordres physiologiques en entrepôt que sont le brunissement vasculaire et l'échaudure superficielle. Le premier est favorisé par des

températures plus froides et des précipitations plus fréquentes que la normale durant le développement du fruit (Bourgeois et coll., 2011) alors que le second survient à la suite de conditions chaudes vers la fin de la saison de croissance. Puisque ces deux désordres sont directement reliés aux conditions météorologiques, un modèle de prédiction a pu être développé pour chacun afin de prédire les risques d'apparition de ceux-ci pour une saison donnée. Ils sont d'ailleurs implantés dans le logiciel CIPRA (Bourgeois et coll., 2008) et largement utilisés par les intervenants en pomiculture. Lorsque les risques prédits sont élevés pour un de ces désordres, des mesures concrètes peuvent être prises pour diminuer l'impact de ceux-ci et modifier au besoin la mise en marché des fruits récoltés.

MODÈLES BIOCLIMATIQUES ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les scénarios climatiques sont unanimes à prédire une augmentation des températures dans les années à venir. Ainsi, selon le rapport du consortium Ouranos (Desjarlais et coll., 2010), à l'horizon 2050, les températures estivales augmenteront de 1,9 à 3,0 °C dans le sud du Québec. Quant aux précipitations, le centre et le sud du Québec verront une diminution de l'accumulation de la neige au sol en hiver, mais aucun changement significatif dans les précipitations n'est attendu en été dans le sud. L'augmentation des températures aura une influence directe sur les insectes ravageurs des cultures, car la température joue un rôle déterminant en ce qui concerne la distribution géographique, le nombre de générations annuelles, la survie hivernale et l'abondance des insectes présents dans les écosystèmes agricoles. Pour ce qui est des maladies, les changements climatiques auront certainement une influence sur l'apparition, la sévérité et la distribution géographique de celles-ci. Tout comme pour les insectes, le développement des maladies sera perturbé et des espèces envahissantes ou exotiques pourraient faire leur apparition sous ces nouvelles conditions. L'augmentation des températures durant la saison hivernale pourrait avoir un impact important sur les agents pathogènes. En effet, des hivers plus doux permettraient à certains organismes pathogènes de survivre à l'hiver et augmenteraient l'inoculum présent au printemps suivant. Toutefois, certaines maladies, telles les maladies hivernales des céréales, ont besoin du couvert de neige pour survivre et sa diminution attendue pour le sud du Québec pourrait être néfaste à la survie de l'inoculum de ces maladies. De même, certaines maladies qui se développent à des températures estivales plutôt fraîches, tels les mildious, pourraient être défavorisées par le réchauffement climatique. Tout comme les cultures, les mauvaises herbes sont des producteurs primaires et elles seront directement influencées par les changements du climat et des niveaux de CO₂. Une augmentation des concentrations de CO₂ atmosphérique pourrait induire un accroissement de la production non seulement de la biomasse des cultures et des mauvaises herbes, mais aussi de pollen, aggravant les effets néfastes sur la santé humaine dans le cas des mauvaises herbes allergènes, comme la petite herbe à poux. Par ailleurs, le climat peut exercer une très forte influence sur la distribution géographique des mauvaises herbes autant que des cultures, entraînant ainsi des changements au niveau de l'écosystème au complet.

RÉFÉRENCES

- Benoit, D.L. et G. Bourgeois. 2007. *Un modèle bioclimatique pour prédire le développement végétatif de l'herbe à poux*. Le Flash Herbe à poux, 8(3): 1-2.
- Bonesmo, H. et G. Bélanger. 2002a. *Timothy yield and nutritive value by the CATIMO model: I. Growth and Nitrogen*. Agronomy Journal 94: 337-345.
- Bonesmo, H. et G. Bélanger. 2002b. *Timothy yield and nutritive value by the CATIMO model: II. Digestibility and fiber*. Agronomy Journal 94: 345-350.
- Bourgeois, G., G. Boivin et A.J. Rhéaume. 2009. *Mise à jour des modèles de prévision pour le charançon et la mouche de la carotte*. Résumé de conférence, Journées horticoles 2008, Saint-Rémi.
- Bourgeois, G., D. Plouffe, G. Chouinard, N. Beaudry, D. Choquette, O. Carisse et J. DeEll. 2008. *The Apple CIPRA Network in Canada: Using Real-Time Weather Information to Forecast Apple Phenology, Insects, Diseases and Physiological Disorders*. Acta Hort. 803, ISHS 2008: 29-34.
- Brisson, N., C. Gary, E. Justes, R. Roche, B. Mary, D. Ripoche, D. Zimmer, J. Sierra, P. Bertuzzi, P. Burger, F. Bussi re, Y.M. Cabidoche, P. Cellier, P. Debaeke, J.P. Gaudill re, C. H nault, F. Maraux, B. Seguin, et H. Sinoquet. 2003. *An overview of the crop model STICS*. European Journal of Agronomy 18: 309-332.
- Carisse, O., R. Bacon, A. Lefebvre et K. Lessard. 2009. *A degree-day model to initiate fungicide spray programs for management of grape powdery mildew [Erysiphe necator]*. Can. J. Plant Pathol. 31: 186-194.
- DesJarlais, C., M. Allard, D. Bélanger, A. Blondlot, A. Bouffard, A. Bourque, D. Chaumont, P. Gosselin, D. Houle, C. Larrivée, N. Lease, A.T. Pham, R. Roy, J.-P. Savard, R. Turcotte et C. Villeneuve. 2010. *Ouranos. Savoir s'adapter aux changements climatiques*. Montréal. 128 p.
- Duchesne de Ortiz, I. 2010. *L'effet du climat sur les plantes fourragères au Québec : estimation des pertes par la modélisation*. Thèse, Université Laval, Québec, 247pp.
- Jégo, G., E. Pattey, G. Bourgeois, M.J. Morrison, C.F. Drury, N. Tremblay et G. Tremblay. 2010. *Calibration and performance evaluation of soybean and spring wheat cultivars using the STICS crop model in Eastern Canada*. Field Crop Research 117: 183-196.
- J go, G., E. Pattey, G. Bourgeois, C.F. Drury et N. Tremblay. 2011. *Evaluation of the STICS crop growth model with maize cultivar parameters calibrated for Eastern Canada*. Agronomy for Sustainable Development 31: 557-570.
- Jones, J.W., G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W. Wilkens, U. Singh, A.J. Gijsman et J.T. Ritchie. 2003. *The DSSAT cropping system model*. European Journal of Agronomy 18: 235-265.
- McCown, R.L., G.L. Hammer, J.N.G. Hargreaves, D.P. Holzworth et D.M. Freebairn. 1996. *APSIM: A novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research*. Agricultural Systems 50:255-271.
- Philion, V. et M. Trapman. 2005. *Validation du logiciel RIMpro pour faciliter la gestion des infections primaires de la tavelure du pommier*. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), fiche synthèse.
- Williams, J.R., C.A. Jones et P.T. Dyke. 1990. *The EPIC model documentation*. USDA-ARS Technical Bulletin No. 1768. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC. pp. 3-92.

Impacts des changements climatiques sur la pyrale du maïs



Auteure : Annie-Ève Gagnon, Ph.D., biologiste-entomologiste, chargée de projet
Ouranos, Saint-Jean-sur-Richelieu

DESCRIPTION : Les analogues spatiaux : une méthodologie pour mieux analyser la problématique de la pyrale du maïs dans le contexte des changements climatiques (CC) à l'horizon 2041-2070.

INTRODUCTION

Les modifications du climat risquent de modifier les écosystèmes agricoles en affectant à la fois la culture ainsi que la faune y étant associée. Alors que certains prédisent que les changements climatiques offriront une opportunité pour les producteurs des régions tempérées en augmentant la longueur de la saison de croissance, d'autres sont plus inquiets quant à l'impact que les ennemis des cultures auront sur les cultures dans ce contexte. Les insectes sont des organismes poïkilothermes qui dépendent directement des conditions climatiques extérieures en régulant la vitesse de leur métabolisme (Andrewartha et Birch, 1954). Le réchauffement climatique aura donc un effet sur leur vitesse de développement en modifiant le voltinisme (le nombre de générations par année) (Altermatt, 2010), l'abondance de leurs populations (Estay *et al.*, 2009), leur survie hivernale (Zhou *et al.*, 1995) et leur aire de répartition (Porter *et al.*, 1991).

Afin d'aider les producteurs agricoles à s'adapter efficacement à cette nouvelle situation, une méthode d'analyse de risques en phytoprotection a été mise en place pour offrir aux décideurs des outils leur permettant d'évaluer les mesures à mettre en place pour protéger le rendement des cultures tout en réduisant les risques des pesticides pour la santé et l'environnement. Parmi les études de cas visant à déterminer l'impact des CC, nous vous exposerons lors de cette présentation la situation de la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*) dans la culture du maïs sucré.

Depuis son introduction au Québec en 1926, les dommages causés par la pyrale du maïs n'ont cessé de s'intensifier dans la culture du maïs sucré. Les changements climatiques pourraient favoriser les populations de cet insecte, stimuler la pression exercée par ce ravageur et rendre difficile sa gestion (Diffenbaugh, 2008). Au Québec, les producteurs ont actuellement à affronter deux races de pyrale du maïs. Ce sont principalement les régions plus au sud qui possèdent les plus grandes populations de la race bivoltine, une pyrale qui produit deux générations par année. La race univoltine (une génération par année), quant à elle, se retrouve sur l'ensemble du territoire québécois où l'on y cultive du maïs. Les producteurs doivent contrôler cet insecte chaque année pour assurer une bonne qualité des épis. Ce sont en grande majorité les traitements insecticides qui sont adoptés pour lutter contre cet insecte. Comme méthode de lutte biologique, l'utilisation des trichogrammes (petits parasitoïdes d'œufs de pyrale) reste pratiquement une des seules options disponibles.

MÉTHODOLOGIE

Scénarios climatiques

Nous avons utilisé 9 simulations climatiques provenant du Modèle régional canadien du climat (MRCC) pour projeter le climat futur (horizon 2041-2070) pour les régions de la Montérégie et de la Capitale-Nationale. L'ensemble est principalement formé de simulations suivant le scénario SRES A2, un scénario relativement pessimiste en termes d'évolution des émissions de gaz à effet de serre et d'aérosols.

Analogues spatiaux

Les analogues spatiaux ont été utilisés dans le but de visualiser plus concrètement le climat futur en le comparant à une région possédant présentement ces mêmes paramètres climatiques. Cette technique permet de comparer la problématique en phytoprotection et de faire des parallèles sur ce à quoi nous pourrions nous attendre au Québec. En observant la biologie de l'ennemi dans la zone analogue et en répertoriant les méthodes de contrôle utilisées, nous pouvons mieux préparer les stratégies d'intervention en phytoprotection en identifiant les besoins et les améliorations à apporter.

RÉSULTATS

Scénarios climatiques

Les changements climatiques à l'horizon 2041-2070 en ce qui a trait à la température sont sensiblement les mêmes entre la région de la Montérégie et celle de la Capitale-Nationale (une hausse variant entre 2,2 et 2,7 °C pour la saison estivale). Une augmentation des précipitations serait probable pour la période printanière (mars-avril-mai) avec des augmentations de l'ordre de 7 à 20 %. La longueur de la saison de croissance serait devancée au printemps et retardée à l'automne, dans le futur, pour fournir au total 18 à 31 jours supplémentaires.

Analogues spatiaux

D'après le scénario climatique élaboré par Ouranos, le climat futur de la Montérégie ressemblera grandement à celui actuellement ressenti dans les États de l'Iowa, de l'Illinois, de l'Indiana, de l'Ohio et de la Pennsylvanie (Figure 1A). Parmi ces régions, l'Illinois représente le lieu où l'on cultive le plus de maïs sucré avec une superficie moyenne de 3200 ha et servira d'analogue à la région de la Montérégie. Dans la région de la Capitale-Nationale, le climat futur ressemblera aux États de l'Iowa, de la Virginie-Occidentale, de la Pennsylvanie, du Massachusetts, du Connecticut et de New York (Figure 1B). Seul l'État de New York possède une superficie considérable en maïs sucré avec ses 9300 ha cultivés et représentera ainsi le climat futur de la Capitale-Nationale.

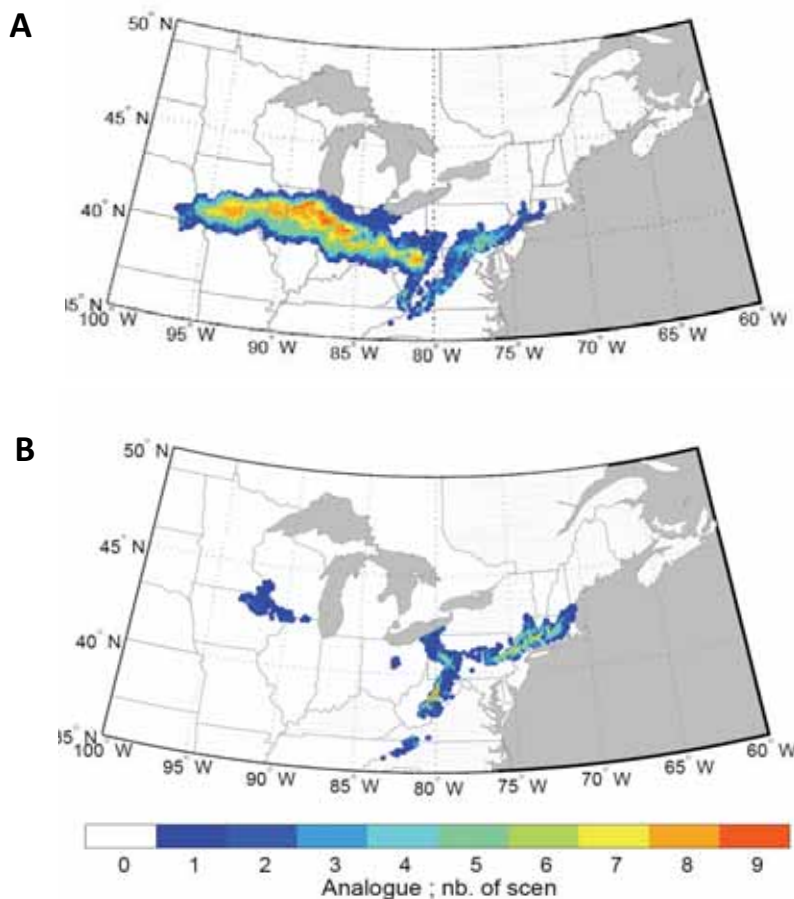


Figure 1. Nombre de scénarios climatiques identifiant la région comme analogue au climat futur projeté (2041-2070) des régions de A) la Montérégie et B) la Capitale-Nationale. Les indices bioclimatiques utilisés sont i) les degrés-jours (base 5 °C) de croissance; ii) les précipitations pendant la saison de croissance; et iii) la longueur de la saison de croissance.

Situation de la pyrale du maïs dans les régions analogues

La pyrale du maïs en Illinois représente un ravageur important dans la culture du maïs sucré. La race univoltine est inexistante dans cette région, mais la race bivoltine peut, quant à elle, produire jusqu'à trois générations par année. Dans la région de New York, la pyrale du maïs représente également le principal ennemi s'attaquant au maïs sucré. Cette région possède toutefois les races univoltine et bivoltine (pouvant produire une 3^e génération partielle). L'abondance des populations de la pyrale du maïs semble avoir diminué sur l'ensemble du territoire américain depuis l'utilisation massive des cultivars Bt de maïs grain. Toutefois, certains voient une recrudescence des dommages causés par la pyrale du maïs dans la culture du maïs sucré, mais également dans le poivron, la pomme de terre et le haricot vert, et ce, même si les populations semblent plus faibles. Il est certain que le seuil de tolérance pour les produits maraîchers est largement plus bas comparativement aux grandes cultures et qu'une plus faible population puisse tout de même poser problèmes dans ces cultures.

Méthodes de contrôle dans les régions analogues

Les méthodes de lutte contre ce ravageur reposent actuellement sur l'utilisation d'insecticides à intervalles réguliers (traitements aux 4 à 6 jours). Les insecticides de la classe des pyréthroïdes synthétiques sont les plus efficaces et les plus utilisés pour lutter contre la pyrale du maïs. Il est à considérer toutefois que les températures élevées diminueraient l'efficacité de cette classe d'insecticides, et ce, de façon plus marquée que chez d'autres classes de pesticides (Musser et Shelton, 2005). Par ailleurs, les régions analogues possèdent une alternative qui n'est actuellement pas utilisée au Québec, soit l'utilisation de cultivars de maïs sucré *Bt* résistants à la pyrale du maïs. Bien que cette solution puisse sembler une panacée pour certains, cette technologie nécessite toutefois 2 à 4 traitements insecticides lors d'infestations sévères pour assurer une bonne qualité du produit.

CONCLUSION

Une plus grande pression de la pyrale du maïs pourrait engendrer une augmentation de l'utilisation d'insecticides ainsi que de voir apparaître des cultivars transgéniques au Québec dans la culture du maïs sucré et il sera donc essentiel de revoir les méthodes de lutte disponibles contre ce ravageur. Plusieurs mesures d'adaptation peuvent être entreprises afin de minimiser les impacts négatifs dus aux changements climatiques. C'est dans ce contexte que l'étude des impacts potentiels des changements climatiques dans le secteur de la phytoprotection prend tout son sens afin de proposer des stratégies d'adaptation à l'image de la réalité agricole du Québec.

RÉFÉRENCES

- Altermatt F. 2010. *Climatic warming increases voltinism in European butterflies and moths*. Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences 277:1281-1287.
- Andrewartha H.G., Birch L.E. 1954. *The distribution and abundance of animals*. University of Chicago Press, Chicago.
- Diffenbaugh N.S., C.H. Krupke, M.A. White et C.E. Alexander. 2008. *Global warming present new challenges for maize pest management*. Environmental research letters 3:1-9.
- Estay S.A., M. Lima et F.A. Labra. 2009. *Predicting insect pest status under climate change scenarios: Combining experimental data and population dynamics modelling*. Journal of Applied Entomology 133:491-499.
- Musser F.R. et A.M. Shelton. 2005. *The influence of post-exposure temperature on the toxicity of insecticides to Ostrinia nubilalis (Lepidoptera: Crambidae)*. Pest Management Science 61:508-510.
- Porter J.H., M.L. Parry et T.R. Carter. 1991. *The potential effects of climatic change on agricultural insects pests*. Agricultural and Forest Meteorology 57:221-240.
- Zhou X.L., R. Harrington, I.P. Woiwod, J.N. Perry, J.S. Bale et S.J. Clark. 1995. *Effects of temperature on aphid phenology*. Global Change Biology 1:303-313.

Impacts potentiels des changements climatiques sur les événements hydrologiques extrêmes : sévérité des étiages et risques de crues



Auteur : Jean-François Cyr, M.Sc., ingénieur, responsable des projets de gestion intégrée
Centre d'expertise hydrique du Québec et coordonnateur adjoint du programme
« Ressources hydriques », Ouranos, Québec

RÉSUMÉ

Le dernier rapport de synthèse du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007) décrit, pour le siècle prochain, les perturbations anticipées du climat à l'échelle de la planète. Ces travaux représentent l'état à cette date des connaissances scientifiques en matière de science du climat. Les plus récents travaux du consortium Ouranos (2010) indiquent qu'une hausse généralisée des températures et des précipitations induira des répercussions sur la distribution des ressources en eau sur le territoire québécois à l'horizon 2050. Les différentes projections hydroclimatiques effectuées pour le territoire de l'Amérique du Nord permettent notamment d'entrevoir la tendance qui se dessine quant aux impacts potentiels des changements climatiques sur les événements hydrologiques extrêmes, soit, pour ce qui est de la partie méridionale du Québec, des crues printanières hâtives et réduites, des étiages plus sévères ainsi que des changements dans l'intensité et la fréquence des crues estivales et automnales (Ouranos, 2010).

Outre ces grandes tendances, il est nécessaire, pour le bénéfice d'un grand nombre d'utilisateurs impliqués dans le domaine de la gestion de l'eau et de son adaptation, de formaliser davantage la quantification de cette tendance en la traduisant au travers d'indicateurs hydrologiques spécifiques fréquemment utilisés dans ce domaine. En ce sens, et conformément aux éléments de sa mission de gestionnaire du régime hydrique du Québec, le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) s'est fixé comme objectif d'estimer et d'utiliser l'état des connaissances afin d'évaluer l'impact des changements climatiques sur le régime hydrique québécois afin de favoriser la conception et le développement de stratégies d'adaptation dans le domaine de la gestion des ressources en eau. À cette fin, le CEHQ a adopté, dans le cadre de la mesure 25a du plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques du gouvernement du Québec, une approche fondée sur la modélisation hydroclimatique afin de conduire ces analyses.

Des simulations hydrologiques ont donc été effectuées à l'aide du modèle hydrologique Hydrotel, alimenté à partir de différentes projections climatiques issues du Modèle régional canadien du climat (MRCC), lui-même piloté par différents membres du Modèle global canadien du climat (MCCG3). Le modèle hydrologique a d'abord été mis en place, puis calé sur une grande portion du bassin versant du fleuve Saint-Laurent localisée principalement au Québec, représentant une superficie de 390 000 km², ce que l'on appelle la plateforme de modélisation hydrologique. Pour ce faire, une méthode novatrice de calage dit « global » a été développée, appliquée puis évaluée.

La production des simulations hydroclimatiques a ensuite permis l'évaluation de différents indicateurs hydrologiques utilisés sur une base opérationnelle par les acteurs de l'eau. L'analyse de la dérive climatique potentielle de ces indicateurs hydrologiques sur l'horizon 2040-2070 a permis de dresser un portrait préliminaire de l'impact des changements climatiques sur le régime hydrique québécois. Parmi les signaux les plus clairs obtenus à ce jour, il faut mentionner l'augmentation de l'ordre de 10 à 20 % de la quantité d'eau transitant par les bassins versants simulés. Les débits d'étiage estivaux (Q2-7, évalués de juin à novembre) présentent une très forte baisse, jusqu'à 70 %, au sud du territoire étudié. Cette réduction serait cependant plus modérée au nord, soit de l'ordre de 10 à 20 %. Les indicateurs de crues présentent des dérives beaucoup plus variables, donc plus difficilement interprétables. La tendance semble cependant indiquer une augmentation d'environ 10 à 15 % des crues de récurrence deux ans. L'analyse du comportement des hydrogrammes interannuels laisse effectivement présager un devancement de la crue printanière ainsi qu'une augmentation des débits moyens en hiver (de novembre à mars), cela aux dépens des débits normalement observés en été (de juin à septembre). Plusieurs sources d'incertitudes sont évidemment liées à ce processus de calcul, en commençant, du début de la chaîne, par l'incertitude intrinsèque au système climatique naturel lui-même, jusqu'aux incertitudes qui sont liées, en bout de course, au modèle hydrologique et à son calage à l'aide des observations disponibles, en passant par celles se rattachant aux diverses étapes de traitement des données issues des projections climatiques destinées à alimenter les simulations hydrologiques. C'est pourquoi, dans un souci de fournir le meilleur éclairage possible aux usagers, la présentation des diverses projections s'accompagne d'une appréciation systématique des incertitudes associées.

Finalement, mentionnons que l'ensemble des résultats obtenus de ce projet sera présenté sous la forme d'un atlas permettant de visualiser la distribution spatiale des diverses tendances estimées pour chacun des indicateurs hydrologiques concernés. La production de cet atlas en est à ses débuts. L'outil sera amélioré au cours de l'année 2012, en même temps que seront parallèlement poursuivies certaines activités visant à harmoniser et valider les processus de simulation et de calage, pour en arriver à une version finale en mars 2013.

Outils agrométéorologiques pour la planification de l'irrigation des cultures



Auteurs : Steeve Pepin, Ph.D., professeur-chercheur

Université Laval, Québec

Gaétan Bourgeois, chercheur scientifique

Agriculture et Agroalimentaire Canada, Bioclimatologie et modélisation

Saint-Jean-sur-Richelieu

L'évaluation, à l'aide de mesures réelles ou par modélisation, des pertes d'eau provenant des cultures, vergers à graines et à fruits a fait l'objet de nombreux travaux de recherche au cours des dernières décennies. Que ce soit pour concevoir un système d'irrigation ou de ponceaux, pour combler les besoins en eau des productions agricole, horticole et forestière, ou pour gérer et utiliser de façon raisonnée les ressources hydriques et le territoire, cette information est importante pour le producteur. Une conduite optimale de l'irrigation visant à satisfaire adéquatement les besoins en eau des cultures est l'un des éléments incontournables d'une agriculture durable. Le défi s'avère toutefois de taille, en particulier dans le contexte actuel de climat variable et en évolution.

Plusieurs méthodes de planification de l'irrigation sont disponibles et varient en complexité, soit de la simple perception d'un besoin en eau jusqu'à l'utilisation de modèles dynamiques de bilan hydrique du sol, combinée avec l'utilisation de mesures directes de l'humidité du sol (Simonne *et al.*, 2011). Au cœur de toutes ces méthodes qui utilisent les données météorologiques pour la planification de l'irrigation, on retrouve le concept de l'évapotranspiration. Cette présentation vise à mieux comprendre les éléments requis pour prédire l'évapotranspiration et à explorer le potentiel des modèles de bilan hydrique du sol.

APPROCHES BASÉES SUR L'ÉVAPOTRANSPIRATION

L'évapotranspiration (ET) est la quantité de vapeur d'eau transférée dans l'atmosphère par transpiration des plantes et par évaporation au niveau du sol, de surfaces d'eau libre et autres surfaces interceptant la pluie. On définit l'évapotranspiration potentielle (ETP) comme étant la valeur maximale d'évapotranspiration d'un couvert végétal continu lorsqu'il y a suffisamment d'eau disponible dans le sol pour satisfaire la demande évaporative de l'atmosphère. L'ETP dépend essentiellement des apports énergétiques et est indépendante des caractéristiques de la surface. L'évapotranspiration réelle (ETR) correspond à la perte en eau effective d'un couvert végétal, soit la somme des quantités évaporée et transpirée, en tenant compte des diverses résistances au mouvement de l'eau (sol-plantes) et à la diffusion de la vapeur d'eau (feuilles-atmosphère). En général, la demande atmosphérique (ETP) est supérieure à l'offre (ETR) : la réduction de l'évapotranspiration sous le taux potentiel étant attribuable à la fermeture partielle des stomates et/ou à l'assèchement de la surface du sol. Durant l'été, une culture bien irriguée peut perdre de 2 à 5 mm en hauteur d'eau par jour.

Puisque l'évapotranspiration réelle de plusieurs types de couverts végétaux représente une valeur relativement constante de l'ETP, on peut estimer l'évapotranspiration à partir de l'équation de Penman et utiliser un facteur de correction approprié pour l'espèce étudiée (normalement compris entre 0,6 et 0,8 pour les climats tempérés). Le coefficient de correction peut être plus petit si le couvert végétal ne couvre pas complètement le sol. Ce coefficient est préférablement remplacé par une conductance de la surface au transfert de vapeur d'eau appelée la conductance du couvert (g_c) qui dépend, entre autres, de la conductance stomatique (g_s) moyenne des feuilles. L'ajout, dans l'équation de Penman, d'une conductance du couvert qui représente le « *contrôle physiologique* » exercé par les plantes sur l'évaporation conduit à l'équation de Penman-Monteith. Une des formes courantes de l'équation de Penman-Monteith est :

$$E_c = \frac{s(R_n - G) + \rho_a c_h g_a D/P_a}{\lambda [s + \gamma(1 + (g_a/g_c))]} \quad (\text{Éq. 1})$$

où E_c est l'évapotranspiration du couvert ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), s est la pente (en $\text{Pa } ^\circ\text{C}^{-1}$) de la relation entre la température et la pression de vapeur d'eau à saturation, R_n est le rayonnement net au-dessus du couvert (W m^{-2}), G est la chaleur accumulée dans le couvert (W m^{-2}), ρ_a est la densité de l'air (1204 kg m^{-3}), c_h est la capacité de chaleur de l'air ($29,3 \text{ J mol}^{-1}$), g_a est la conductance aérodynamique ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), g_c est la conductance du couvert ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), D est le déficit de saturation de l'air (en Pa), P_a est la pression atmosphérique et λ est la chaleur latente de vaporisation de l'eau (44 kJ mol^{-1}). Il est à noter que G est ~ 0 pour des pas de temps de 24 heures.

Cette équation de Penman-Monteith permet d'estimer la transpiration du couvert entier sur une base quotidienne, hebdomadaire ou mensuelle. Les variables environnementales requises sont la température et l'humidité de l'air, le rayonnement solaire et la vitesse du vent au-dessus du couvert. Lorsque l'évapotranspiration d'une culture doit être estimée sur de longs intervalles de temps, il est souhaitable d'utiliser des données météorologiques quotidiennes (ou horaires) et de faire la somme des volumes d'eau évaporée et transpirée quotidiennement plutôt que d'utiliser des moyennes hebdomadaires ou mensuelles du rayonnement solaire, de la vitesse du vent, de la température et de l'humidité de l'air (Campbell et Norman, 1998). L'équation de Penman-Monteith est de plus en plus utilisée pour gérer l'irrigation en agriculture et elle est très utile, entre autres, pour examiner l'influence des variables environnementales et des caractéristiques du couvert sur l'évapotranspiration.

Il est nécessaire d'évaluer les besoins en eau d'une culture afin de déterminer les volumes d'eau à apporter par irrigation au cours de la saison de croissance (en tenant compte des précipitations et de la réserve en eau du sol). L'évapotranspiration potentielle (ETP), qui est essentiellement une fonction de la demande évaporative de l'atmosphère, permet d'estimer la demande en eau des cultures. L'ETP d'une culture de référence (ET_0) a été mise en place dans les années 1970 pour éliminer la nécessité de calibrer une équation d'ET spécifique à chaque culture, stade cultural et zone géographique (c.-à-d. calage local; Pereira *et al.*, 2006). L'évapotranspiration de référence correspond à l'ET de la végétation au-dessus de laquelle les variables climatiques ont été mesurées, de façon à bien représenter les processus physiques et biologiques dans le bilan énergétique d'un couvert végétal. La FAO a adopté un couvert de gazon comme culture de référence, d'une hauteur variant entre 8 et 15 cm et dont la conductance au transfert de vapeur d'eau se situe autour de $0,014 \text{ m s}^{-1}$, ces paramètres fournissant des valeurs acceptables d' ET_0 dans la plupart des zones et

conditions climatiques (Lascano, 2007). Selon Allen *et al.* (1998), l'évapotranspiration de référence est définie comme le flux d'ET d'une culture hypothétique de référence, d'une hauteur supposée de 0,12 m, d'une résistance de surface au transfert de vapeur d'eau de 70 s m^{-1} et ayant un albédo de 0,23, très proche de l'ET d'une grande surface de gazon de hauteur uniforme, en croissance active, avec un approvisionnement en eau convenable. L'approche de Penman-Monteith (PM) a été choisie par la FAO comme méthode privilégiée d'estimation de l' ET_o du gazon et des coefficients culturaux (Pereira *et al.*, 2006). L'équation d' ET_o donnée par la méthode FAO-PM pour une période de 24 heures est :

$$ET_o = \frac{0,408 s (R_n - G) + \gamma (900/T_a + 273) u_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma (1 + 0,34u_2)} \quad (\text{Éq. 2})$$

où ET_o est l'évapotranspiration de référence (mm j^{-1}), R_n le rayonnement net à la surface de la culture ($\text{MJ m}^{-2} \text{ j}^{-1}$), G le flux de chaleur à la surface du sol ($\text{MJ m}^{-2} \text{ j}^{-1}$), T_a la température moyenne quotidienne de l'air à une hauteur de 2 m ($^{\circ}\text{C}$), u_2 la vitesse du vent à 2 m (m s^{-1}), e_s et e_a les pressions de vapeur d'eau saturante et réelle de l'air à 2 m (kPa), s la pente (en $\text{Pa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) de la relation entre e_s et la température, γ la constante psychrométrique ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$), 900 un coefficient pour le gazon ($\text{kJ}^{-1} \text{ kg K}$; lié aux unités utilisées et à la substitution de ρ_a , c_h et g_a), 0,34 un coefficient de vent pour le gazon ($\text{kJ}^{-1} \text{ kg K}$; provenant de g_a/g_c) et 0,408 l'inverse de λ la chaleur latente de vaporisation de l'eau ($2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$).

L'évapotranspiration d'une culture (ET_c) peut se calculer directement par l'équation 1 si on dispose de données suffisantes pour le calcul des paramètres de culture (notamment g_a et g_c). Cependant dans la pratique de l'irrigation, on multiplie généralement ET_o par un coefficient cultural, k_c , lequel varie un peu avec le climat, mais essentiellement avec les caractéristiques propres de la culture (Pereira *et al.*, 2006). Les coefficients culturaux (fournis par la FAO) sont établis expérimentalement ($k_c = ET_c/ET_o$) à partir de mesures d' ET_c (par exemple, à l'aide des lysimètres pesables) et par estimation d'une valeur d' ET_o à l'aide de l'équation 2. La validité de ces coefficients culturaux a été prouvée par de nombreuses applications rapportées dans la littérature (par exemple, Allen *et al.*, 2005) ainsi que par des approches par télédétection (Neale *et al.*, 2005). Le coefficient k_c peut varier selon le développement cultural, présentant des valeurs différentes pour la phase initiale (0,3-0,7), la mi-saison (0,9-1,15) et l'arrière-saison (de la maturation à la récolte; 0,25-1,15).

APPROCHES BASÉES SUR LE BILAN HYDRIQUE DU SOL

L'apport nécessaire en eau par irrigation pour répondre aux besoins en évapotranspiration de la culture dépend du type de culture, des caractéristiques du sol et de la météorologie. Différentes cultures ont des caractéristiques de croissance qui se traduisent par différents taux relatifs d'utilisation de l'eau. Les sols varient dans leurs caractéristiques texturales et hydriques, telles que la capacité au champ, le point de flétrissement et le mouvement capillaire. Afin de tenir compte de tous ces éléments, Simonne *et al.* (2011) recommandent, pour la planification de l'irrigation dans les cultures maraîchères, d'utiliser des modèles dynamiques de bilan hydrique du sol, incluant la météorologie et l'évolution du stade phénologique de la culture, et des mesures directes de l'état hydrique du sol au champ.

Le logiciel VSMB (*Versatile Soil Moisture Budget*), développé par des chercheurs d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, est un modèle de bilan hydrique semi-dynamique pouvant s'avérer un compromis intéressant pour les producteurs. Une version nommée IRRIGUE a été proposée au début des années 1990 comme outil de gestion de l'irrigation, initialement mis au point pour la culture de la pomme de terre. Dans cette culture, certains essais ont été effectués et les résultats ont démontré son utilité. Le logiciel VSMB offre les avantages des modèles dynamiques tout en étant simple d'utilisation. Avant de débiter son utilisation, il est nécessaire de caractériser plusieurs éléments du site désiré et de la culture simulée : i) courbe de rétention d'eau et profil hydrique du sol (densité apparente, saturation, capacité au champ, point de flétrissement, etc.) à plusieurs profondeurs, ii) caractérisation de la culture en termes de prédiction de rendement et de l'extraction de l'eau pour chaque stade phénologique et profondeur de sol et iii) initialisation de la quantité d'eau présente dans chaque horizon du sol au début de la simulation. Au cours de la saison de croissance, les données suivantes doivent être recueillies et intégrées dans les fichiers appropriés : i) la quantité d'eau ajoutée à chacune des dates où il y a eu irrigation et ii) les données météorologiques quotidiennes, soit la température maximale, la température minimale et les précipitations. Optionnellement, les prévisions météorologiques pour les prochains jours peuvent aussi être intégrées dans le même format que les données météorologiques. Comme les prévisions météorologiques concernant les précipitations sont habituellement exprimées en probabilité de précipitations, l'utilisateur doit transformer lui-même cette probabilité (%) en quantité de pluie (mm) pour effectuer les simulations désirées.

À partir du moment où tous ces paramètres sont configurés et intégrés dans les différents fichiers, il est possible de simuler la dynamique de l'eau dans les différents horizons de sol qui ont été configurés. Les résultats de simulation peuvent être illustrés de différentes façons, dont les quantités d'eau provenant des précipitations et de l'irrigation et les quantités d'eau simulées dans le sol. L'utilisation d'un logiciel comme VSMB pour prédire la quantité d'eau dans le sol offre un excellent potentiel pour la régie de l'irrigation, pourvu que l'on puisse caractériser adéquatement les coefficients associés à l'extraction de l'eau pour chaque stade phénologique de la culture et pour chaque profondeur de sol, informations qui sont rarement disponibles dans la littérature. De plus, il est important de calibrer régulièrement les prédictions d'humidité du sol avec des observations fiables au champ. Il semble que l'utilisation de tensiomètres serait la méthode la plus simple et efficace pour effectuer ces observations. Toutefois, comme plusieurs équipements de mesure, l'utilisation adéquate et l'entretien minutieux sont deux critères essentiels pour assurer le bon fonctionnement de ceux-ci.

À titre d'information, un nouvel outil de planification de l'irrigation basé sur le bilan hydrique sera offert en mode expérimental à une clientèle cible dès la prochaine saison agricole. Développée en Colombie-Britannique (BC) par l'« *Irrigation Industry Association of BC* », cette interface Web a été traduite et adaptée ces derniers mois afin de pouvoir intégrer des observations et prévisions météorologiques du Québec. En plus de la météorologie (température, évapotranspiration et précipitations), cet outil tient compte également du type de culture, de la nature des sols et du système d'irrigation employé afin de proposer des quantités d'eau d'irrigation à appliquer pour répondre aux besoins des cultures. Au cours des deux prochaines années, il est prévu de tester la performance de ce modèle sous nos conditions et d'évaluer une approche hybride, soit l'outil de la BC couplé à des mesures en temps réel des conditions hydriques du sol.

RÉFÉRENCES

- Allen, R.G. *et al.* 1998. *Crop evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, p. 300.
- Allen, R.G. *et al.* 2005. *Prediction accuracy for projectwide ecapotranspiration using crop coefficients and reference evapotranspiration*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 131 : 24–36.
- Bourgeois, G. 2006. *Planification des irrigations à l'aide de modèles bioclimatiques*. Colloque sur l'irrigation, Boucherville, 10 février 2006. CRAAQ.
- Campbell, G.S. et J.S. Norman. 1998. *An introduction to environmental biophysics*, Springer-Verlag, New-York, 2e édition, 286 p.
- Lascano, R.J., 2007. *The soil-plant-atmosphere system and monitoring technology*. Dans Lascano, R.J. & Sojka R.E. (eds). *Irrigation of Agricultural Crops*. 2e édition. Agronomy no. 30. pp. 85–115.
- Neale C.M.U. *et al.* 2005. *Irrigation water management using high resolution airborne remote sensing*. Irrigation and Drainage Systems. 19: 321–336.
- Penman, H.L., 1948. *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Proceedings of the Royal Society, London A, 193: 120–145.
- Pereira, L.S. *et al.* 2006. *Méthode pratique du calcul des besoins en eau*. Dans Tiercelin, J.-R. & Vidal A. (eds). *Traité d'irrigation*. Lavoisier, Paris, 2e édition, pp. 227–268.
- Simonne, E.H. *et al.* 2011. Chapter 3. *Principles and practices of irrigation management for vegetables*. Université of Florida, IFAS Extension 2011-2012 AE260. pp. 17-27.

Conception des ouvrages hydroagricoles dans un contexte de changements climatiques



Auteurs : Aubert Michaud¹, Ariane Drouin¹, Alain Mailhot², Guillaume Talbot², David Huard³, Sébastien Biner³, Anne Blondlot³, Robert Lagacé⁴ et Nestor-Raul Rocha⁴

¹IRDA, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Québec

²INRS-ETE, Centre Eau Terre Environnement, Québec

³OURANOS, Consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques, Montréal

⁴UNIVERSITÉ LAVAL, Département des sols et de génie agroalimentaire, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Québec

MOTS CLÉS : aménagements hydroagricoles, ruissellement, intensité de précipitations, fonte et pluie hivernale, débits.

INTRODUCTION

L'augmentation anticipée des intensités de précipitations estivales de même que l'occurrence plus fréquente de redoux hivernaux en réponse aux changements climatiques appellent à une mise à jour des critères de conception des ouvrages hydroagricoles. La présente communication trace un premier bilan d'un projet de recherche appliquée portant sur le développement d'outils de prédiction hydrologique adaptés à la conception d'aménagement hydroagricole du parcellaire et des cours d'eau en milieu rural qui prend en considération l'évolution récente, en lien avec les changements climatiques, des intensités, des durées et des fréquences (IDF) des précipitations et des redoux hivernaux. Le projet repose sur une réalisation concertée de plusieurs volets interdépendants, dont 1) la mise à jour des courbes IDF des précipitations et la production d'indices de redoux hivernaux à partir d'observations historiques récentes; 2) la prédiction de ces observations à l'horizon 2050 sur la base des simulations du Modèle régional canadien du climat (MRCC); et 3) l'adaptation et la validation d'une méthode de prédiction des volumes de ruissellement et des débits de pointe mettant en profit les bases de données météorologiques, hydrométriques et biophysiques (topographie, pédologie, hydrographie et utilisation du sol) de bassins versants expérimentaux localisés dans différentes régions agricoles québécoises.

MISE À JOUR DES COURBES IDF

Une mise à jour des courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF) pour la partie sud du Québec (au sud du 49^e parallèle) a été réalisée par l'équipe de l'INRS-ETE (Mailhot et Talbot, 2011a, b). Les séries les plus récentes aux stations opérées par Environnement Canada (EC) et le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) qui comportaient plus de

15 années de données (période de mai à octobre) ont été colligées et analysées. Un total de 98 stations a ainsi finalement été considéré. La méthode d'analyse fréquentielle régionale (AFR) utilisée pour construire les estimateurs IDF repose sur le regroupement des séries de données de plusieurs stations afin d'améliorer la qualité des estimateurs. L'ensemble des courbes IDF produites et leurs intervalles de confiance (durées de 10, 15, 30 minutes, 1, 2, 6, 12 et 24 heures et périodes de retour de 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans) pour chacune des 98 stations considérées sont disponibles sur le site électronique *agrometeo.org* de l'Atlas agroclimatique du Québec.

DÉVELOPPEMENT ET VALIDATION D'INDICES DE PLUIE ET DE FONTE HIVERNALE

La fonte printanière des neiges et les redoux hivernaux génèrent au Québec d'imposants volumes de ruissellement en milieu rural. Environ une année sur deux, les maxima annuels de débits journaliers en bassins versants agricoles expérimentaux sont ainsi observés en période hivernale ou printanière. Les observations hydrométriques et météorologiques colligées par l'équipe de l'IRDA sur six bassins versants agricoles de la Montérégie et de la Beauce ont été mises à profit dans le calage et la validation d'indices de fonte et pluie hivernale en support au dimensionnement des aménagements hydroagricoles (Drouin et coll., 2012). La composante de fonte de neige du modèle CEQUEAU (Morin, 1997) a été adaptée et calée afin de prédire les couverts de neige et les hauteurs d'eau journalières disponibles à l'exportation (apports verticaux), sur la seule base des données journalières de température et de précipitations. Les apports verticaux ainsi prédits ont été traduits en débits aux exutoires des six bassins à l'étude suivant une procédure de modélisation hydrologique simplifiée (modèle MOHYSE; Fortin et Turcotte, 2006). Les relevés hydrométriques de même que les hauteurs et densités de neige disponibles pour les régions à l'étude ont servi de balise dans la validation des indices de fonte et de pluie hivernale. Les apports verticaux en période hivernale (novembre-avril) ont par la suite été modélisés sur la base des observations journalières de température et de précipitations suivant la même méthode pour l'ensemble des 98 stations à l'étude par l'équipe de l'INRS-ETE.

COURBES IDF ET FONTE HIVERNALE EN CLIMAT FUTUR

Les scénarios de changement climatique projeté des courbes IDF à l'horizon 2050 (période 2041-2070), à partir des résultats de simulations du Modèle régional canadien du climat (MRCC), ont été élaborés par l'équipe OURANOS (Huard, 2011). L'évaluation des extrêmes annuels de précipitations modélisés par le MRCC révèle que leur distribution est comparable à celle des extrêmes observés à la même échelle spatiale pour les évènements d'une durée de 24 heures. Pour les durées de 1, 2, 6 et 12 heures, il n'existe cependant pas d'observations sur grille ayant la résolution spatiale nécessaire à ce type d'évaluation. Basée sur un ensemble de cinq simulations régionales pilotées par quatre MCG différents, une comparaison des extrêmes en climat futur (2041-2070) et en climat de référence indique que les extrêmes annuels sont appelés à augmenter. Par exemple, pour les précipitations de 24 heures ayant un temps de retour de deux ans, on estime l'augmentation à 7 % dans la vallée du Saint-Laurent. Suivant une approche similaire, la simulation des indices de pluie et de fonte hivernale en climat futur est en cours.

VOLET HYDROLOGIQUE

À terme, le volet hydrologique du projet mettra à la disposition des agronomes et ingénieurs en milieu rural un utilitaire informatique supportant la détermination des critères hydrologiques de conception des ouvrages hydrauliques au champ et en cours d'eau. S'appuyant sur les estimateurs météorologiques développés dans le cadre du projet, l'outil de prédiction hydrologique sera aussi arrimé à une banque de données hydro-pédologiques de l'ensemble des séries de sols cartographiées dans les rapports pédologiques disponibles au Québec. Ses fonctionnalités seront définies avec l'aide d'un groupe d'utilisateurs qui s'appuieront sur la méthode TR-55 du *National Resources Conservation Service* (ÉUA), dont les différentes composantes seront caractérisées et validées à partir d'observations météorologiques et hydrométriques d'un ensemble de bassins versants expérimentaux localisés dans quatre régions agricoles du Québec.

RÉFÉRENCES

- Drouin, A., J-D. Sylvain, A. Michaud, O. Le Bourgeois, I. Beaudin, M. Grenier, G. Baribeau et J. Desjardins. 2012. *Indicateurs de redoux hivernaux adaptés à la prévision hydrologique en bassins versants agricoles*. Rapport final du volet météorologique. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc.
- Fortin, V. et R. Turcotte. 2006. *Le modèle hydrologique MOHYSE*. Notes de cours pour SCA7420. Université du Québec à Montréal : Département des sciences de la terre et de l'atmosphère.
- Huard, D. 2011. *Extrêmes de précipitations en climat futur sur les régions agricoles du Québec*. Rapport final du Volet Scénarios climatiques, Ouranos.
- Mailhot A. et G. Talbot. 2011. *Mise à jour des estimateurs Intensité-Durée-Fréquence (IDF) et Hauteur-Durée-Fréquence (HDF) pour le sud-Québec, Tome I - Données et méthodes*. Rapport final du volet météorologique. Rapport de recherche No R-1259, Institut national de la recherche scientifique INRS-Eau, Terre et Environnement, Québec, 60 p.
- Mailhot A. et G. Talbot. 2011. *Mise à jour des estimateurs Intensité-Durée-Fréquence (IDF) et Hauteur-Durée-Fréquence (HDF) pour le sud-Québec, Tome II – Résultats*. Rapport final du volet météorologique. Rapport de recherche No R-1260, Institut national de la recherche scientifique INRS-Eau, Terre et Environnement, Québec, 281 p.
- Morin, G. 1997. *Le modèle hydrologique CEQUEAU*. INRS-ÉTTÉ, Résumé du manuel CEQUEAU 4.0, Québec, Québec, 83 p.

Problématique des cultures horticoles face aux aléas climatiques de la saison 2011



Auteur : Normand Legault, président
Fédération des producteurs maraîchers du Québec
Longueuil

LES PRODUCTEURS MARAÎCHERS VICTIMES DE LA MÉTÉO

L'année 2011, comme vous le savez, a été plutôt difficile pour la plupart des producteurs maraîchers. De fait, la dernière année a été marquée par plusieurs épisodes climatologiques consécutifs retardant et, dans certains cas, empêchant ainsi les semis et les récoltes aux champs. Le printemps pluvieux, les débordements des rivières, la canicule prolongée, les orages fréquents de même que le passage des ouragans Irène et Lee ont occasionné des coûts substantiels et des pertes importantes aux producteurs maraîchers. Dame Nature n'a pas laissé de répit aux producteurs.

Bon an mal an, les producteurs sont affligés par un épisode météo, mais tout rentre dans l'ordre au cours de la saison. La particularité en 2011 demeure la succession des événements. Plusieurs maraîchers québécois ont récolté au quart ou à la moitié de leur capacité et certains ont dû abandonner des champs pour cause de maladies dans leur récolte.

Certains se demandent s'ils seront en mesure d'entreprendre l'année 2012, faute de revenus suffisants en 2011.

Depuis plusieurs années, on remarque des changements en termes de climatologie. Saviez-vous que, depuis 10 ans, les maraîchers de la ceinture montréalaise ont eu un gain de 14 jours pour leur production? Les activités agricoles sont étroitement reliées aux conditions météorologiques.

Les maraîchers ont émis le désir de trouver des solutions et d'amener de nouvelles idées pour pouvoir faire face à la réalité des changements climatiques et des problèmes liés à l'économie mondiale.



*« Outils disponibles et
changements climatiques »*

Le mercredi 9 mars 2011

**Le Comité organisateur
remercie sincèrement les
collaborateurs financiers
suivants...**



Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec

Le **CRAAQ** remercie ses
collaborateurs médias

le Bulletin
des agriculteurs

le coopérateur
agricole



www.craaq.qc.ca
1 888 535-2537

METTEZ-VOUS À LA PAGE

Abonnez-vous maintenant

leBulletin

des agriculteurs



La référence en nouvelles technologies agricoles au Québec

Comptez sur *le Bulletin des agriculteurs* pour vous faire découvrir les nouvelles techniques et technologies agricoles.



Économisez du temps en vous abonnant sur le web dès maintenant :

www.leBulletin.com/abonnement/

Service aux abonnés : 514 766-9554
poste 226

Service en ligne



SOS

commercialisation

innovation agroalimentaire

Un nouveau service de référencement pour le milieu agricole et agroalimentaire

POUR QUI?

SOS commercialisation s'adresse aux entreprises agricoles et agroalimentaires qui souhaitent commercialiser un produit innovant.

QUOI?

- Service téléphonique gratuit pour vous aider à trouver des conseillers et des subventions selon votre projet innovant.
- Site Internet comprenant un questionnaire en ligne pour vous suggérer des conseillers et des programmes de subvention selon le niveau d'avancement de votre projet novateur.

COMMENT?

- Remplissez le questionnaire pour être référé aux programmes de subvention et aux fournisseurs de services les plus appropriés selon vos besoins.
- Communiquez avec nous!

1 855 SOS-COMM (767-2666)

info@soscommercialisation.ca

www.soscommercialisation.ca

Cultivons l'avenir, une initiative fédérale-provinciale-territoriale



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

Canada

Agriculture, Pêcheries
et Alimentation

Québec



Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec

SERVICE
D'ORIENTATION

SOUTIEN

COMMERCIALISATION

PRODUIT INNOVANT

AGROALIMENTAIRE

SERVICE TÉLÉPHONIQUE

SUPPORT WEB

La Coop fédérée www.lacoop.coop

le coopérateur

agricole



**Pour une
bonne récolte
d'information**

103224-06-09



Près de
15 000 documents
et hyperliens



Agri-Réseau, c'est
LA bibliothèque virtuelle
agricole et agroalimentaire à
caractère technique et scientifique,
et ce, depuis plus de 10 ans!

Que vous soyez conseiller,
producteur ou transformateur,
on a de l'information pour vous!

Abonnez-vous.
C'est gratuit!

www.agrireseau.qc.ca



Agriculture, Pêcheries
et Alimentation

Québec 



Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec



L'OUTIL CLÉ DE COLLABORATION EN LIGNE!

Vous êtes à la recherche d'un portail Web pour faciliter le réseautage et le partage de connaissances au sein de votre groupe?

Ne cherchez plus!

Le Bureau virtuel agricole et agroalimentaire du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) est un portail de réseautage et de collaboration qui saura répondre à vos besoins!

SES CARACTÉRISTIQUES

- Un système convivial, fiable et sécuritaire
- Un portail public présentant le potentiel de l'outil
- Un portail privé accessible à tous les membres du Bureau virtuel
- Des espaces privés comprenant des outils de collaboration tels que forum de discussion, bibliothèque, blogue, favoris, webconférence

UN GROUPE DE TRAVAIL SATISFAIT!

« Le Bureau virtuel nous a été fourni comme espace de travail dans la réalisation du projet de l'Atlas agroclimatique du Québec. C'est un outil très utile qui a su répondre aux besoins de gestion documentaire et d'échanges du comité de pilotage du projet. Merci à l'équipe du CRAAQ! Vous offrez un accompagnement adéquat et le plus efficace possible. »

Hélène Côté, Spécialiste - Simulations climatiques, Ouranos

POUR EN SAVOIR PLUS

Contactez Marie-Claude Lapierre au 514 840-7497 ou mclapierre@craaq.qc.ca.

www.bureauvirtuel.craaq.qc.ca

Une initiative de :



Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec

Ce projet a été réalisé dans le cadre du programme Initiative d'appui aux conseillers agricoles selon les termes de l'entente Canada-Québec sur le Renouveau du Cadre stratégique agricole.



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

Canada

Agriculture, Pêcheries
et Alimentation

Québec

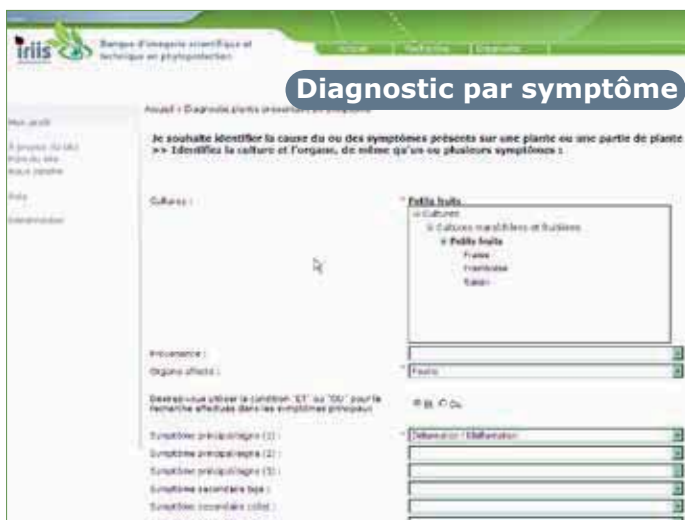




Banque d'imagerie en phytoprotection pour l'Identification et la Recherche d'Images sur les Invertébrés nuisibles et utiles ainsi que sur les plantes présentant des Symptômes causés par les ennemis des cultures et les problèmes non parasitaires

Pour les conseillers agricoles, les intervenants en phytoprotection, les producteurs, les spécialistes en entomologie, et phytopathologie qui veulent :

Établir un **DIAGNOSTIC**



Faire une **RECHERCHE** d'images



Une réalisation



Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec

Une initiative

Ce projet a été réalisé dans le cadre du programme « Initiative d'appui aux conseillers agricoles » selon les termes de l'entente Canada-Québec sur le Renouveau du Cadre stratégique agricole



Agriculture et Agroalimentaire Canada



Agriculture and Agri-Food Canada

Agriculture, Pêcheries et Alimentation



Visitez notre nouveau site et participez au concours Soyez informé et gagnez!

au www.craaq.qc.ca

Le nouveau site du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) a été dévoilé lors du Salon de l'agriculture de Saint-Hyacinthe le 10 janvier dernier.

Parmi les nouvelles fonctionnalités du site, mentionnons la possibilité de vous créer un profil client et d'indiquer vos champs d'intérêt. Une fois inscrit, vous profiterez de plusieurs avantages :

- Faire des achats plus facilement et plus rapidement;
- Être informé des nouveautés selon VOS intérêts;
- Avoir accès à de nombreux contenus exclusifs.

Pour plus de détails, consultez la section
Pourquoi vous créer un profil client?

Participez au concours Soyez informé et gagnez!

Créez votre profil client avant le 30 avril 2012 et cochez au moins un champ d'intérêt pour être automatiquement inscrit au concours Soyez informé et gagnez! Grand prix : une tablette Galaxy Tab 10.1 4G de Samsung. Le tirage aura lieu lors du Colloque Horizon marketing agroalimentaire le 3 mai 2012.



Profitez-en pour découvrir nos nouvelles publications, nos prochains événements ainsi que l'ensemble de nos services en ligne.



Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec



Association des
jardiniers maraîchers
du Québec

*mangez*QUEBEC.com

Le portail *INCONTOURNABLE* pour la promotion
des fruits et légumes du Québec




Le site *mangez*QUEBEC.com propose un contenu renouvelé et dynamique dans un environnement coloré et convivial. Il offre une grande visibilité aux producteurs maraîchers et favorise l'interaction avec les consommateurs.

- *Information complète sur les producteurs maraîchers avec album photo*
- *Localisation géographique sur la carte du Québec*
- *Arrivages en temps réel et liste des points de vente*
- *Échange de trucs pratiques et de recettes savoureuses*



*Les québécois
sont bien
meilleurs!
sur le web*


*mangez*QUEBEC.com



*Les agriculteurs québécois sont
appelés à relever plusieurs défis.*

*Les conditions climatiques
extrêmes de certaines
saisons constituent un
défi supplémentaire.*

*L'agroclimatologie
est donc un outil
incontournable pour
prédire et planifier les
différentes activités
à la ferme.*



*LES PRODUCTEURS DE CULTURES COMMERCIALES DU QUÉBEC et
la FPCCQ sont fiers de commanditer ce colloque et encouragent
les efforts de recherche et vulgarisation dans ce domaine.*



Fédération des
Producteurs de Cultures Commerciales
du Québec