

# 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 CIPRA<sup>1</sup> développé au Québec

<b>Culture</b>	<b>Ravageur</b>
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

<sup>1</sup> 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 CIPRA<sup>1</sup> 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

<sup>1</sup> 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 nectator*, 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 (Phillion 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 régie 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 préféablement 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 Transfert*) (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 prédictifs 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 CO<sub>2</sub>. Une augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> 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. Bussière, Y.M. Cabidoche, P. Cellier, P. Debaeke, J.P. Gaudillère, C. Hénault, 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.

Jégo, 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.

Phillion, 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.



Agriculture et  
Agroalimentaire Canada

Agriculture and  
Agri-Food Canada



## Les modèles bioclimatiques utilisés en agriculture

Dominique Plouffe<sup>1</sup>, Gaétan Bourgeois<sup>1</sup>,  
Marie-Pier Lepage

<sup>1</sup> AAC / CRDH, Saint-Jean-sur-Richelieu

Canada

### Modèle bioclimatique

#### *Définition*

- Représentation mathématique et graphique des relations qui caractérisent le développement d'organismes vivants et qui dépendent directement du climat
- Intrants = données météo

#### *But*

- Mieux comprendre les relations entre les plantes, le sol et l'environnement pour prédire la phénologie, la croissance, les rendements, etc.

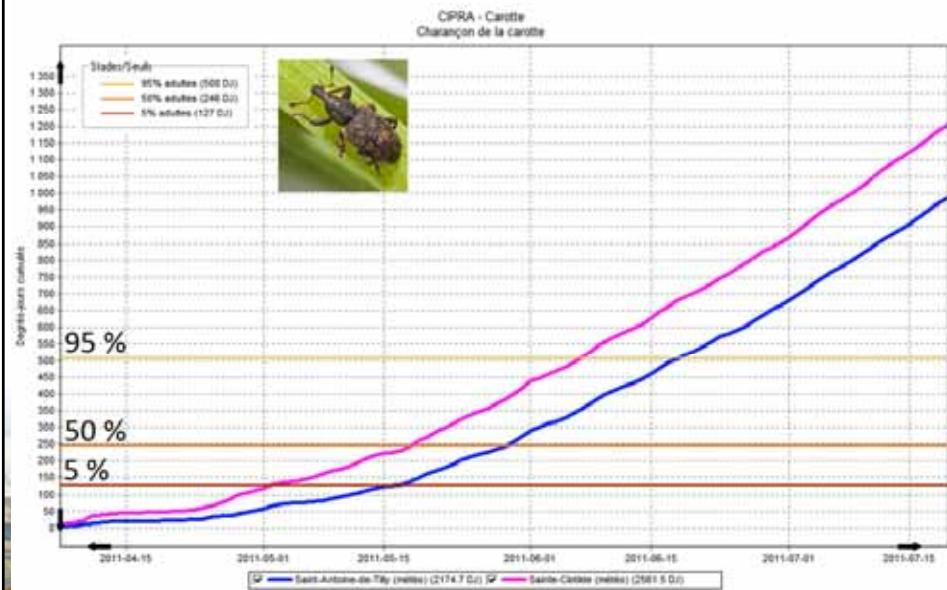
## 1. Modèles de développement d'insectes

*La température du milieu conditionne les processus vitaux des insectes*

- Croissance, alimentation, développement, reproduction...
- Tbase spécifique à chaque espèce
- Cumul thermique nécessaire pour passer d'un stade de développement à un autre



### Ex. : développement du charançon de la carotte



## Quelques modèles d'insectes ravageurs

Culture	Ravageur
Canneberge	Cécidomyie, pyrale
Carotte	Charançon, mouche
Crucifères	Fausse teigne, piéride
Maïs sucré	Pyrale
Oignon	Mouche
Poireau	Teigne
Pomme de terre	Doryphore
Pommier	Carpo, charançon de la prune, hoplocampe, mineuse, mouche, punaise, tbo, etc.
Vigne	Cicadelles, punaise

## 2. Maladies des cultures

Maladies causées par :

- Champignons, bactéries, virus, nématodes...



Développement des maladies affectées par :

- T° et humectation du feuillage (précipitations, humidité relative, radiation solaire, vitesse du vent)



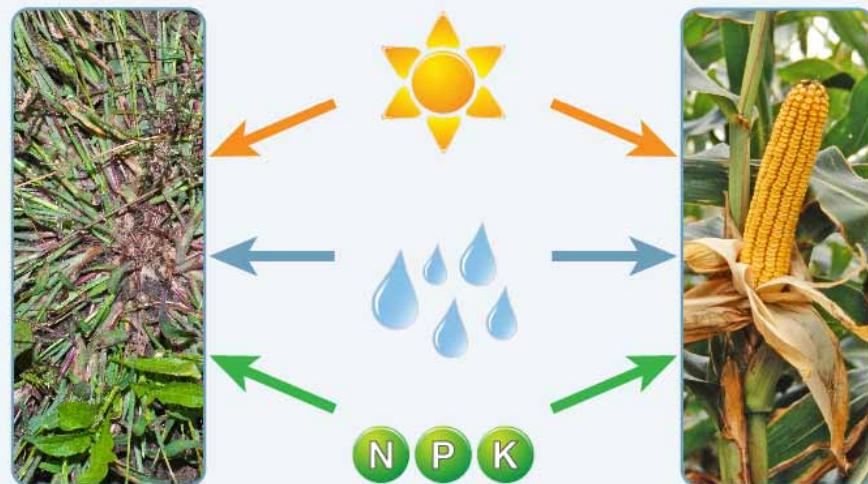
## Quelques modèles de maladies

Culture	Ravageur
Blé et orge	Fusariose de l'épi
Carotte	Alternaria, Cercospora
Melon	Alternariose + anthracnose (MELCAST)
Oignon	Brûlure de la feuille
Pomme de terre	Mildiou
Pommier	Tavelure, brûlure bactérienne
Tomate	Alternariose + septoriose + anthracnose (TOMcast)
Vigne	Blanc de la vigne

## 3. Les mauvaises herbes dans les cultures

- Le développement des mauvaises herbes (MH) varie selon l'espèce, la culture présente, le synchronisme culture-MH, la présence de maladies, de ravageurs, la régie...
- Les MH limitent la croissance et la productivité de la culture
- Nécessité d'optimiser le moment d'application des herbicides

## Compétition mauvaises herbes et culture



## Modèles de développement des mauvaises herbes

1. Développement de la petite herbe à poux basé sur le cumul thermique



2. Émergence du chénopode blanc dans les champs de maïs



## 4. Phénologie des végétaux

### *Définition*

- Apparition de stades importants dans le développement d'une espèce. Influencée par les conditions environnementales.
- Stades importants : germination, levée, apparition des feuilles, floraison, maturité, etc.

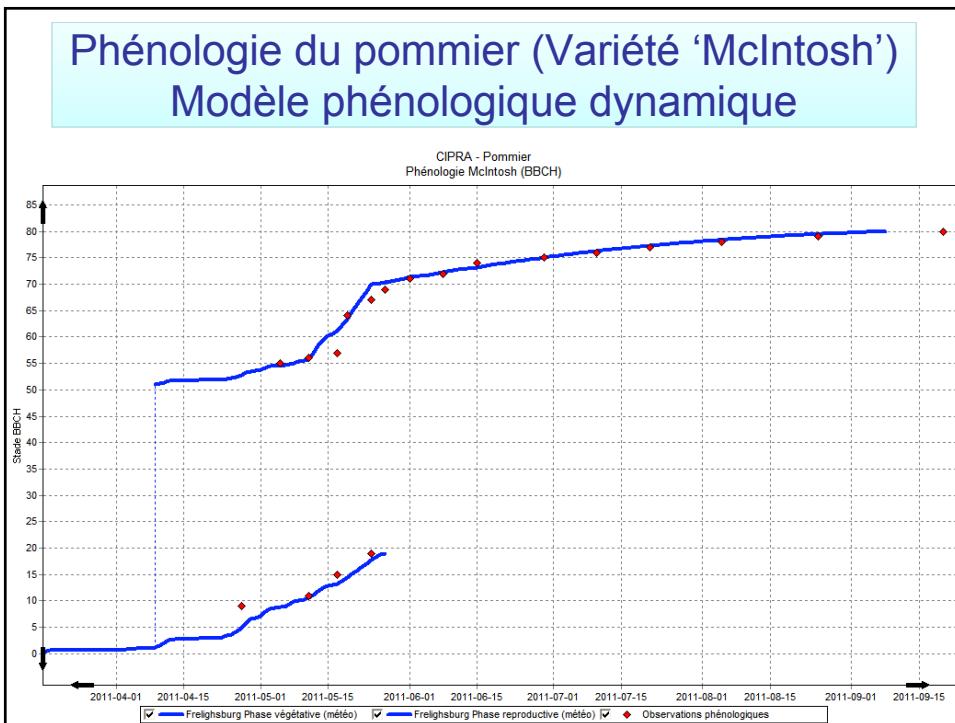
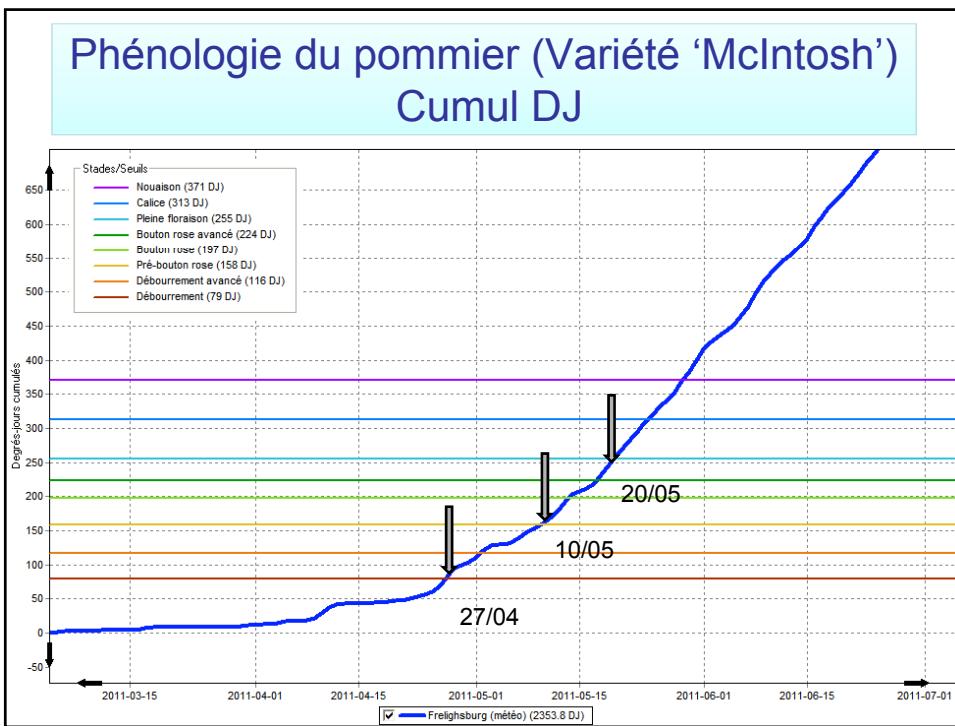


## Modèles de la phénologie des cultures

L'apparition des stades de développement est influencée par la température

- Modèles de cumuls thermiques (DJ, UTM): prédiction de stades précis
- Modèles dynamiques : évolution des stades à tout moment; réponse à  $T^\circ$ , photopériode, stade précédent, etc.





## 5. Croissance et rendement

- Croissance = évolution de la biomasse (feuilles, grains, fruits, racines, bulbes...)
- Rendement varie selon
  - Cultivar
  - Pratiques culturales
  - Conditions météo durant la saison de croissance



## Modèles de croissance et rendement

### Modèles empiriques

- Fondés sur observations réelles
- Orientés vers application
- Utilisés par intervenants

### Simulateurs de croissance et rendement

- Compréhension des processus physiologiques : évolution de la biomasse, de l'azote dans la plante, de l'eau
- Utilisés surtout en recherche scientifique



## Simulateurs de croissance

Modèle	Cultures	Pays
APSIM	Céréales, oléagineux, légumineuses, canne à sucre, chanvre, coton, luzerne et pl. fourragères	Australie
CropSyst	Blé, maïs, lupin, orge, soja et sorgho	États-Unis
CATIMO	Graminées fourragères	Canada
DSSAT	Céréales, oléagineux, légumineuses, pl. fourragères, patate, riz et tomate	États-Unis
EPIC	Céréales, oléagineux, légumineuses, pl. fourragères, légumes et petits fruits	États-Unis
STICS	Céréales, oléagineux, légumineuses, pl. fourragères, betterave sucrière, canne à sucre, carotte, fraisier, laitue, luzerne, patate et tomate	France

## 6. Qualité de la récolte

Critères de qualité :

- Apparence visuelle
- Présence de désordre physiologique
- Valeur nutritive

Teneur

- en protéines
- en fibres solubles / insolubles
- en vitamines et minéraux

Qualité influencée par facteurs météorologiques

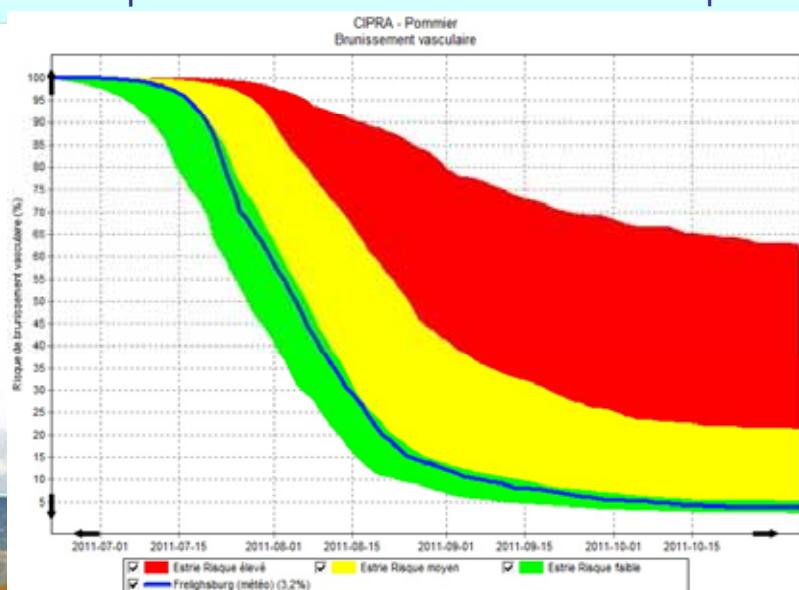
## 7. Désordres physiologiques au champ et en entrepôt

Origine non pathologique

- Causés par
  - Conditions météo
  - Carences nutritives
  - Etc.
- Difficile à identifier car peuvent parfois ressembler à des maladies



Modèle de prédition de désordres physiologiques en entrepôt – brunissement vasculaire de la pomme



## Modèles bioclimatiques et changements climatiques

Scénarios climatiques prédisent

- ↑ températures 2 à 3 °C en été à l'horizon 2050
- ↓ neige au sol, centre et sud du Québec
- = précipitations estivales, sud du Québec

## Changements climatiques

- ↑ nbre de générations / an (insectes)
- Modification de la distribution géographique, de l'abondance
- Apparition de nouvelles espèces exotiques envahissantes (insectes, maladies)
- ↑ [CO<sub>2</sub>] entraînerait ↑ de la biomasse (cultures et mauvaises herbes)
- Saison de croissance plus longue
- ...

## Conclusion

- Les modèles bioclimatiques sont des outils utiles pour comprendre ce qui est observé au champ et prédire ce qui peut arriver
- Ils aident à mieux cibler les interventions
- Ils doivent être évalués dans une région donnée avant d'en tirer des conclusions
- Importance d'utiliser comme intrant des données météo de qualité

## Nouveaux feuillets d'informations techniques



Lepage, M.P. et G. Bourgeois, 2012.

**Modèles bioclimatiques pour la prédition de la phénologie, de la croissance, du rendement et de la qualité des cultures.** CRAAQ.

## Nouveaux feuillets d'informations techniques



Plouffe, D. et G. Bourgeois, 2012.

**Modèles bioclimatiques pour la prévision des risques associés aux ennemis des cultures dans un contexte de climat variable et en évolution. CRAAQ.**

## Collaborateurs et réviseurs

Gilles Bélanger (AAC)	Annie-Ève Gagnon (Ouranos)
Sylvie Bellerose (IRDA)	Guillaume Jégo (AAC)
Diane Lyse Benoit (AAC)	Élizabeth Pattey (AAC)
Anne Blondlot (Ouranos)	Sylvie Rioux (CÉROM)
Danielle Choquette (AAC)	Michèle Roy (MAPAQ)
Gérald Chouinard (IRDA)	Gilles Tremblay (CÉROM)
Hélène Côté (Ouranos)	
Isabelle Duchesne (La Financière agricole du Québec)	

## Coordonnateurs

Denise Bachand (CRAAQ)  
Gaétan Bourgeois (AAC)  
Lyne Lauzon (CRAAQ)

## Les feuillets d'informations techniques

1. Le réseau québécois de stations météorologiques et l'information générée pour le secteur agricole.
2. Interprétation des scénarios de changements climatiques afin d'améliorer la gestion des risques pour l'agriculture.
3. Indices agroclimatiques pour l'aide à la décision dans un contexte de climat variable et en évolution. (À venir)
4. Modèles bioclimatiques pour la prédition de la phénologie, de la croissance, du rendement et de la qualité des cultures.
5. Modèles bioclimatiques pour la prévision des risques associés aux ennemis des cultures dans un contexte de climat variable et en évolution.
6. Que nous projettent les scénarios climatiques futurs en termes de gestion des sols et de l'eau à la ferme? (À venir)



**Merci !**

Pour de l'information, veuillez contacter :  
[Dominique.Plouffe@agr.gc.ca](mailto:Dominique.Plouffe@agr.gc.ca)

**Canada**