

Modèles prévisionnels des cultures et des ravageurs : accessibilité et diffusion

GAÉTAN BOURGEOIS¹ et GÉRALD CHOUINARD²

¹ Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et développement en horticulture, Saint-Jean-sur-Richelieu, QC

² Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Saint-Bruno-de-Montarville, QC

Courriel : Gaetan.Bourgeois@agr.gc.ca

Mots clés : Agrométéorologie, Bioclimatologie, Insectes, Maladies, Phénologie, Variabilité climatique

Introduction

Les producteurs agricoles du Québec doivent composer quotidiennement avec une variabilité météorologique importante. Dans un contexte de climat en évolution, il semble que l'amplitude de la variabilité et l'intensité des extrêmes météorologiques risquent d'augmenter, ce qui implique de considérer plusieurs mesures d'adaptation face à de tels stress abiotiques. Il est donc primordial d'assurer un accès efficace aux connaissances critiques et aux outils agrométéorologiques disponibles, afin d'appuyer et améliorer l'expertise des conseillers agricoles qui assistent les producteurs dans leurs prises de décision.

On ne peut parler de productions végétales sans mentionner les ravageurs ou ennemis des cultures. Pour un producteur, tous les organismes qui s'attaquent à la culture ou sont en compétition avec celle-ci sont des ennemis potentiels (Plouffe et Bourgeois, 2012). Un champ cultivé ou un verger est un écosystème complexe dont les plantes et les mauvaises herbes constituent l'alimentation, le gîte et le site de reproduction d'un grand nombre d'arthropodes, qu'ils soient ravageurs ou bénéfiques, de même que des prédateurs et parasitoïdes de ces mêmes arthropodes. Les agents pathogènes et les nématodes qui se développent sur la culture font également partie de cet ensemble, au même titre que les mauvaises herbes qui exercent une pression défavorable sur la culture. Les facteurs abiotiques, telles les conditions météorologiques, influencent de façon très importante tous les organismes vivants de cet écosystème.

Observations et prévisions météorologiques au Québec

La météorologie, par ses nombreuses composantes, influence constamment le secteur agricole. La température, les précipitations, l'humidité relative et le vent ne sont que quelques exemples d'éléments météorologiques qui agissent tant sur les cultures végétales et les ennemis des cultures que sur les prises de décision opérationnelle des exploitants agricoles. De ce fait, les données et les prévisions météorologiques mises à la disposition du secteur agricole québécois à des échelles spatio-temporelles adaptées à leurs différents besoins sont des éléments clés de ces prises de décision au quotidien. Actuellement, pour plusieurs régions du Québec, des données météorologiques horaires et quotidiennes validées sont accessibles et diffusées en temps réel pour une clientèle agricole restreinte (Lepage et Bourgeois, 2011). Il en est de même pour les prévisions météorologiques (7 à 10 prochains jours) qui sont adaptées à des outils agrométéorologiques spécifiques, tel le Centre informatique de prévisions des ravageurs en agriculture (CIPRA) (Bourgeois et al., 2008).

Plusieurs outils québécois et canadiens sont actuellement disponibles en ligne sur Internet pour le secteur agricole. À titre d'exemple, le site d'Agrométéo Québec (www.agrometeo.org) où on retrouve l'Atlas agroclimatique du Québec, a été préparé dans le cadre d'une collaboration impliquant plusieurs institutions québécoises et fédérales, chacune y apportant son expertise. Actuellement, en plus des informations météorologiques, des indices agrométéorologiques y sont diffusés et plusieurs modèles bioclimatiques pour la production et la protection des cultures y sont implantés. Cette initiative offre un outil de travail intéressant et complet pour, entre autres, prendre de meilleures décisions en matière d'interventions phytosanitaires, réduire les impacts néfastes des outils utilisés et mieux orienter les activités de l'agriculture d'aujourd'hui et de demain. Les différents acteurs impliqués dans la préparation et la diffusion de telles informations visent à en élargir l'accès à un plus grand public le plus tôt possible. De plus, un nouvel outil pour les applications mobiles est en développement depuis septembre 2014.

Plusieurs modèles bioclimatiques ont été développés au Québec et ailleurs dans le monde et sont utilisés pour prédire le développement des cultures, des insectes, des maladies et des mauvaises herbes. D'ailleurs, ils sont déjà utilisés par le secteur agricole québécois dans le cadre de plusieurs programmes de régie intégrée des cultures. Il importe toutefois de souligner l'importance nécessaire de la qualité des données météorologiques utilisées comme intrants dans tous ces modèles, surtout dans un contexte où ces données sont utilisées en temps réel et prévisionnel.

Modèles bioclimatiques des cultures et des ravageurs

Plusieurs types d'applications des données météorologiques sont reconnus en agriculture, notamment des modèles prévisionnels intégrant les interactions entre la culture, les ravageurs et les conditions environnantes. Afin de pratiquer une gestion efficace, les intervenants en agriculture peuvent s'appuyer sur plusieurs notions liées à la physiologie et la protection des cultures pour les aider dans leurs décisions quotidiennes. Parmi ces notions, la phénologie permet de mieux cibler les interventions au champ en fonction des stades critiques de développement de la culture et des mauvaises herbes qui sont modélisés à partir de paramètres météorologiques et de la photopériode (Lepage et Bourgeois, 2012). L'entomologie permet de mieux comprendre la dynamique des insectes au cours de la saison de croissance et ainsi mieux cibler les moments d'intervention (Moiroux et al., 2014). L'épidémiologie permet en outre d'étudier l'évolution des maladies des cultures en fonction principalement de la température et de l'humectation du feuillage (Giroux et al., 2014).

Les modèles bioclimatiques sont des représentations mathématiques et graphiques des relations qui caractérisent le développement d'organismes vivants et qui dépendent directement des conditions météorologiques (température, humidité relative, précipitations). Les modèles peuvent prédire le développement d'une culture, de ses ravageurs et des mauvaises herbes, l'apparition de certaines maladies ou d'autres phénomènes qui sont directement assujettis au climat. Les simulations effectuées avec ces modèles ont pour but de faciliter la compréhension des mécanismes qui sont observés dans un milieu. En permettant de prédire le moment idéal d'intervention quand les risques de dommages sont présents, ces modèles sont des outils d'aide à la décision précieux quand il s'agit de protéger une culture par des traitements phytosanitaires, qu'ils soient de nature chimique, biologique ou physique.

Conclusions

Le concept d'agriculture de précision s'inscrit parfaitement dans la dynamique des prévisions bioclimatiques, non seulement en termes d'interventions à une position géoréférencée du territoire ou du champ (volet spatial), mais aussi à un moment très précis dans le temps (volet temporel). En plus du souci de fournir des données météorologiques de qualité, les prédictions d'un modèle bioclimatique seront d'autant plus précises que ce dernier aura été évalué dans la région où il est utilisé. L'évaluation d'un modèle, ou sa validation, représente plus qu'une simple vérification de la concordance entre les résultats prédits et les observations. Elle permet aussi de déterminer le niveau de confiance dans les résultats prédits et l'étendue de l'erreur de prédiction, d'établir les conditions dans lesquelles le modèle peut être utilisé et d'énoncer les mises en garde concernant l'utilisation du modèle.

Références

- Bourgeois, G., D. Plouffe, G. Chouinard, N. Beaudry, D. Choquette, O. Carisse et J. DeEil. 2008. The apple CIPRA network in Canada: Using real-time weather information to forecast apple phenology, insects, diseases, and physiological disorders. *Acta Horticulturae* 803:29-34.
- Giroux, M., A. Vanasse, G. Bourgeois, Y. Dion, S. Rioux, D. Pageau, S. Zoghliami, C. Parent et E. Vachon. 2014. Évaluation de modèles prévisionnels de la fusariose de l'épi chez le blé sous les conditions de culture du Québec. Journée d'information scientifique sur les grandes cultures, Drummondville, QC (20 février 2014).
- Lepage, M.P. et G. Bourgeois. 2011. Le réseau québécois de stations météorologiques et l'information générée pour le secteur agricole. CRAAQ, Commission agrométéorologie, Québec, QC. Publication no. PAGR0101. 15 p.
- Lepage, M.P. et G. Bourgeois. 2012. Modèles bioclimatiques pour la prédiction de la phénologie, de la croissance, du rendement et de la qualité des cultures. CRAAQ, Commission agrométéorologie, Québec, QC. Publication no. PAGR0104. 11 p.
- Moiroux J., G. Bourgeois, G. Boivin et J. Brodeur. 2014. Impact différentiel du réchauffement climatique sur les insectes ravageurs des cultures et leurs ennemis naturels : implications en agriculture. Feuille technique Ouranos Projet 550005-103, Montréal, Québec. 12 p.
- 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, Commission agrométéorologie, Québec, QC. Publication no. PAGR0105. 9 p.



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



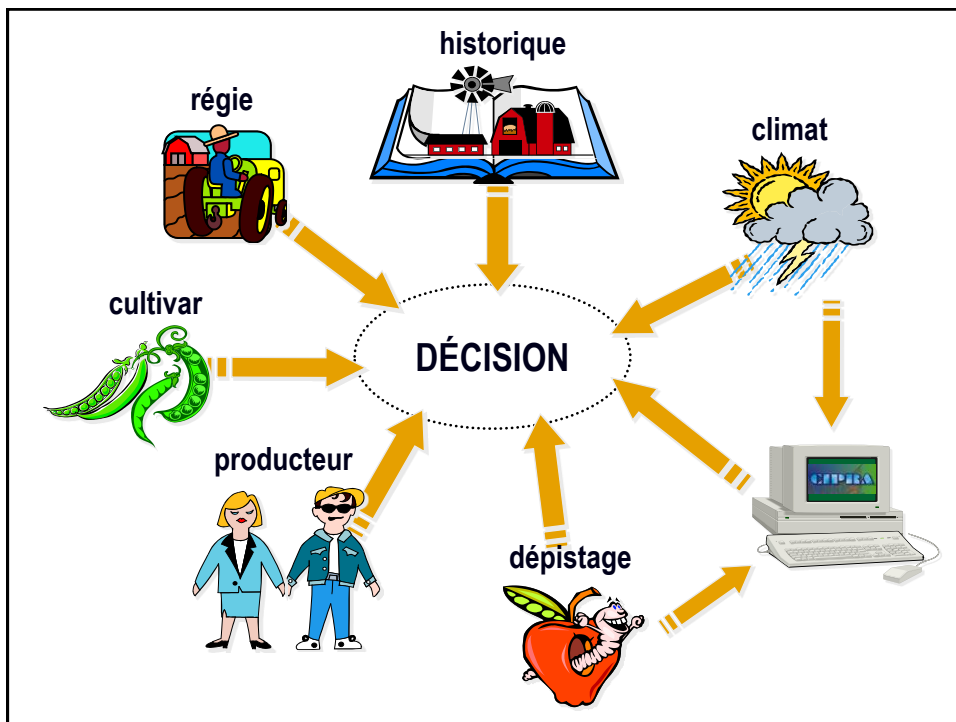
Modèles prévisionnels des cultures et des ravageurs : Accessibilité et diffusion

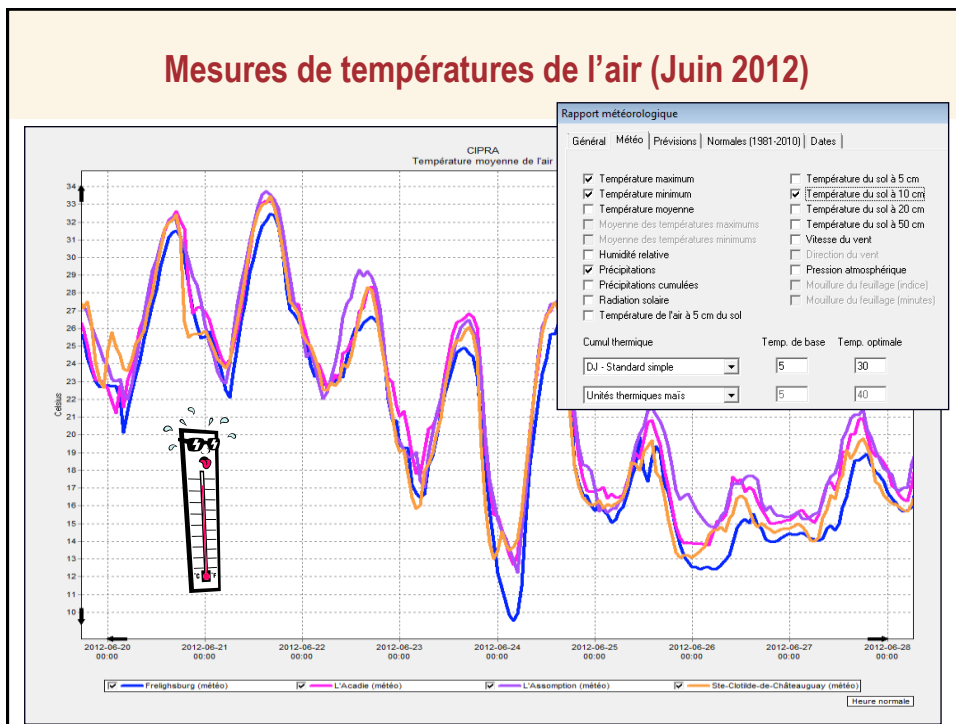
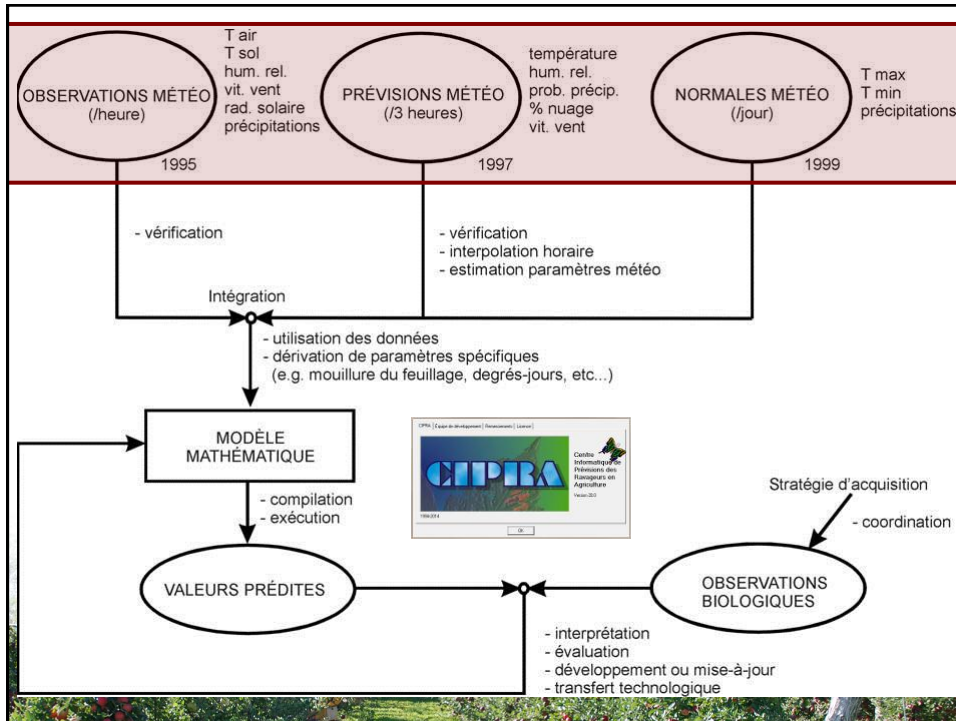
Gaétan Bourgeois¹ et Gérald Chouinard²

¹ Agriculture et Agroalimentaire Canada, CRDH, Saint-Jean-sur-Richelieu, QC

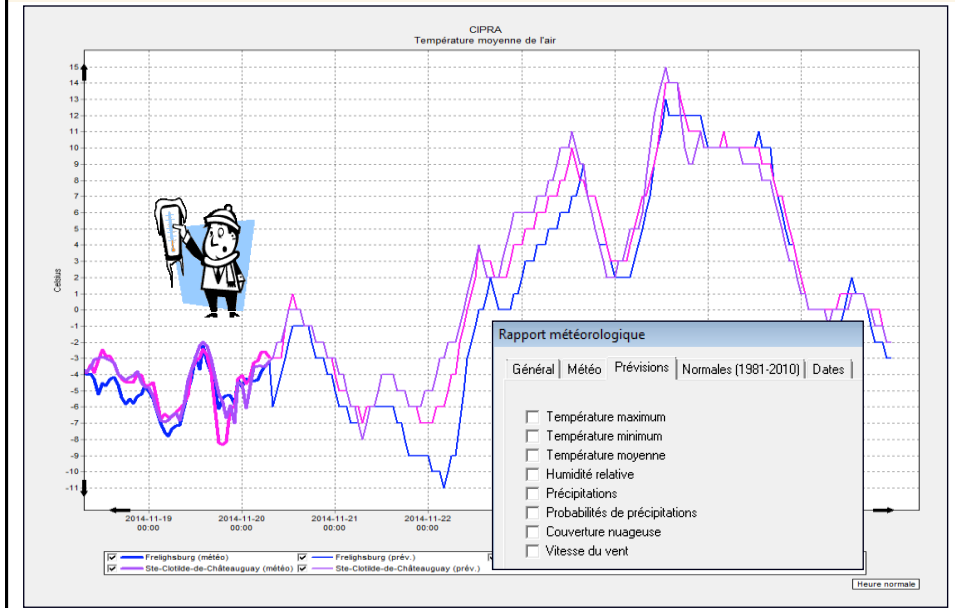
² Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Saint-Bruno-de-Montarville, QC

Canada





Prévisions de températures de l'air (Novembre 2014)



Agrométéo Québec Accueil | À propos | Contact | English | connexion

Recherche

Observations et prévisions Météo agricole Atlas agroclimatique Choisissez votre région : Centre sud

L'Acadie

Température: **-6,4 °C**

Vent: NO à 10 km/h

Roée: -10.4 °C
Préc., 24 hrs: 0.00 mm
Dernière observation: 2014/11/21 07:00

Prévisions agricoles avec indices d'assèchement
Drummondville - Bois-Franc

Guide du site
Nouveau compte CIPRA
Nouvelles
Agrométéo Mobile : une application pour téléphones intelligents d'Agrométéo Québec
2014-09-30

Pluie journalière
Deg-jrs - écart à la moyenne
UTM

Cumul des UTM
Mesonet Québec

20 Novembre 2014
Généré le 21/11/2014 à 12:40 UTC © Copyright 2014

Solutions Mesonet
Édifice Delta 1
875, boulevard Laurier, 9e étage
Québec (Québec), Canada
H1V 2M2
www.mesonet.ca

Sites
Mesonet
Agrométéo Québec
Agrométéo Atlantique

Partenaires
Agriculture et Agroalimentaire Canada
Hydro Québec
Rio Tinto Alcan
Forêt, Faune et Parcs Québec

Base de données climatiques nationales (AAC), 1950 à 2012 (Interpolation pour obtenir une résolution spatiale de 10 km)

Rapport météorologique

Général | **Météo** | Prévisions | Normales (1981-2010) | Dates

Température maximum
 Température minimum
 Température moyenne
 Moyenne des températures maximums
 Moyenne des températures minimums
 Précipitations
 Précipitations cumulées

Cumul thermique: Temp. de base:
 Temp. optimale:

Unités thermiques mais:

Grid Generation: Output Data (Raster Grids)

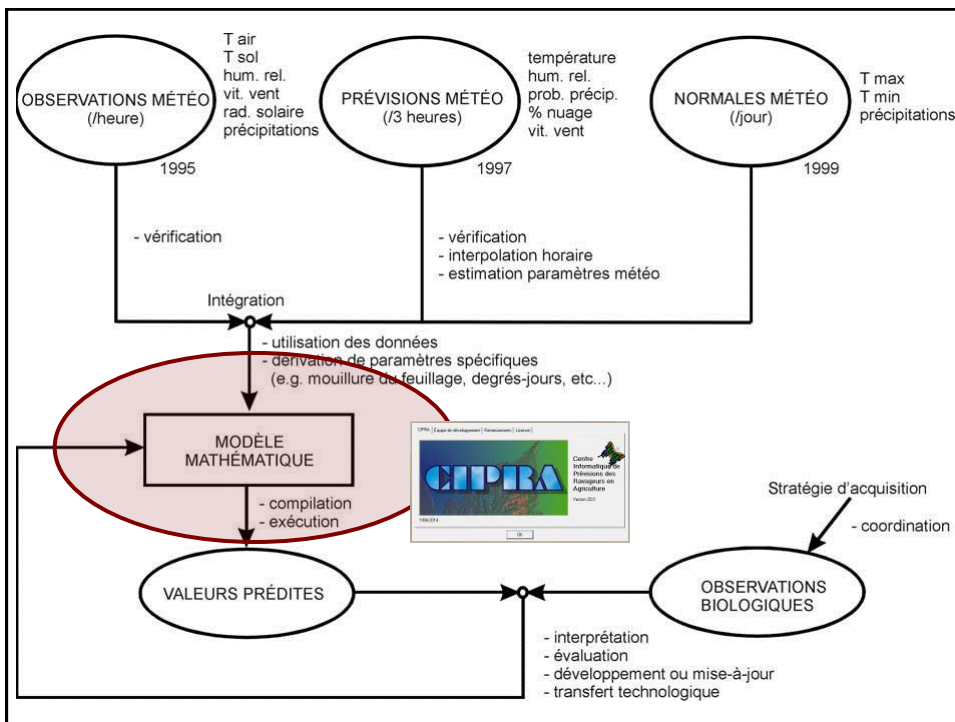
- Albers Conic Equal Area projection.
- Grid cell size: 10 km; (Rows: 260, Columns: 544).
- GeoTIFF raster format.

Grid Generation: Input Data

- Daily Max/Min Temperature and Precipitation data acquired from EC.
- Data acquired for period 1961–2003 (approximately 7514 stations).

Grid Generation: Output Data (ASCII Point Grids)

- Albers Conic Equal Area projection.
- Grid point spacing: 10 km.
- Comma-delimited (.csv) text file format.



Modèles mathématiques = f (Météo) : Quelques exemples

- **Indices agroclimatiques**
 - Dates du dernier gel printanier et du premier gel automnal
 - Évapotranspiration, Indice d'assèchement
 - Risques de développement des ravageurs des cultures
- **Cumuls thermiques**
 - Degrés-jours (insectes, cultures, etc.)
 - Unités thermiques maïs
- **Modèles dynamiques**
 - Phénologie des cultures
 - Simulateur de croissance des cultures (ex.: DSSAT, STICS), incluant les cycles de C, H₂O et N



Centre Informatique de Prédiction des Ravageurs en Agriculture (« Notre Labo »)



14 déc. 2012 : 100 modèles et indices bioclimatiques, 23 cultures

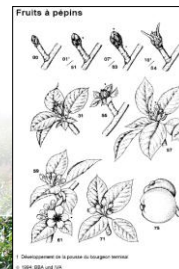
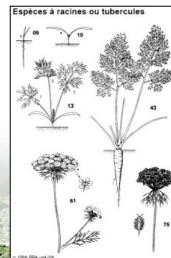
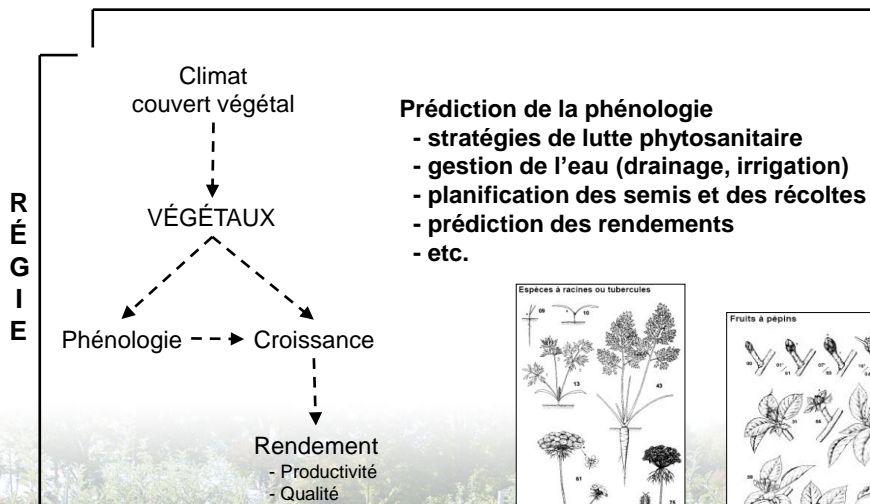
Modèles bioclimatiques disponibles

- **Phénologie des cultures et des plantes nuisibles**
 - Approche des cumuls thermiques
 - Modèle générique de simulation
- **Insectes**
 - Approche des cumuls thermiques
 - Indices de taux d'activité
 - Simulateurs dynamiques en développement
- **Risques de maladies foliaires**
 - Variabilité dans la structure et les informations générées
 - Calculs quotidiens vs horaires
 - Indices d'infection et/ou de sporulation



Modélisation bioclimatique de l'écosystème végétal

MÉTÉO



Phénologie, croissance, rendement et qualité des cultures

- Importance dans la prise de décision à la ferme
- Recherche scientifique et applications
- Phénologie des cultures
- Croissance et rendement des cultures
- Qualité de la récolte
- Impacts potentiels et stratégies d'adaptation

Publié le 7 mars 2012

Modèles bioclimatiques pour la prédiction de la phénologie, de la croissance, du rendement et de la qualité des cultures

Marie-Pier Lepage, M.Sc.
Gaëtan Bourgeois, Ph.D.



Ce feuillet technique a été réalisé grâce à l'appui financier d'Ouranos en partenariat avec Ressources naturelles Canada.



Programme de soutien
Canada

Canada



Modèles « Degrés-jours » disponibles pour le pommier

Ravageur	Température de base (°C)	Méthode de calcul
Phénologie McIntosh	5,0	Sinus simple
Carpocapse	10,0	Sinus simple
Hoplocampe	4,5	Sinus simple
Mineuse marbrée	6,7	Sinus simple
Mouche de la pomme	6,4	Sinus simple
Noctuelle du fruit vert	3,0	Sinus simple
Sésie du cornouiller	4,0	Sinus simple
Tordeuse à bandes obliques	6,0	Sinus simple
Tordeuse à bandes rouges	0,0	Sinus simple
Tordeuse du pommier	5,0	Sinus simple
Punaise terre	0,0	Sinus simple



DJPheno
Version 2.8.5

DJPheno permet d'analyser des données biologiques et de développer des modèles prédictifs.

Estimateur de degrés-jours pour la prédiction de stades phénologiques (plantes et insectes)

Modèle bioclimatique (Approche « Degrés-jours »)

Phénologie du pommier, cultivar 'McIntosh'

Prédictions du modèle

- Débourrement = 79 DJ
- Débourrement avancé = 116 DJ
- Pré-bouton rose = 158 DJ
- Bouton rose = 197 DJ
- Bouton rose avancé = 224 DJ
- Pleine floraison = 255 DJ
- Calice = 313 DJ
- Nouaison = 371 DJ



Dates de débourrement

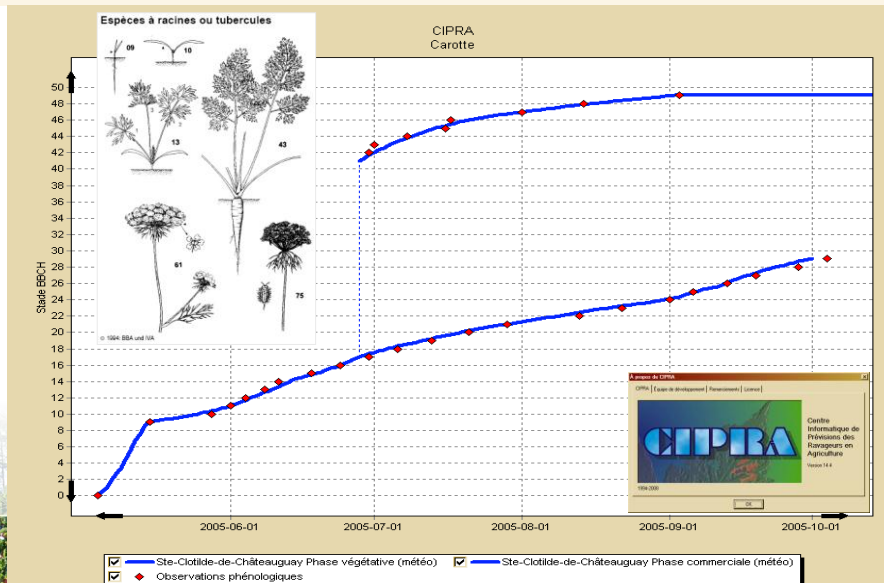
- 5 avril 2010
- 27 avril 2011
- 22 mars 2012
- 28 avril 2013
- 29 avril 2014



Risques de gels printaniers!!!

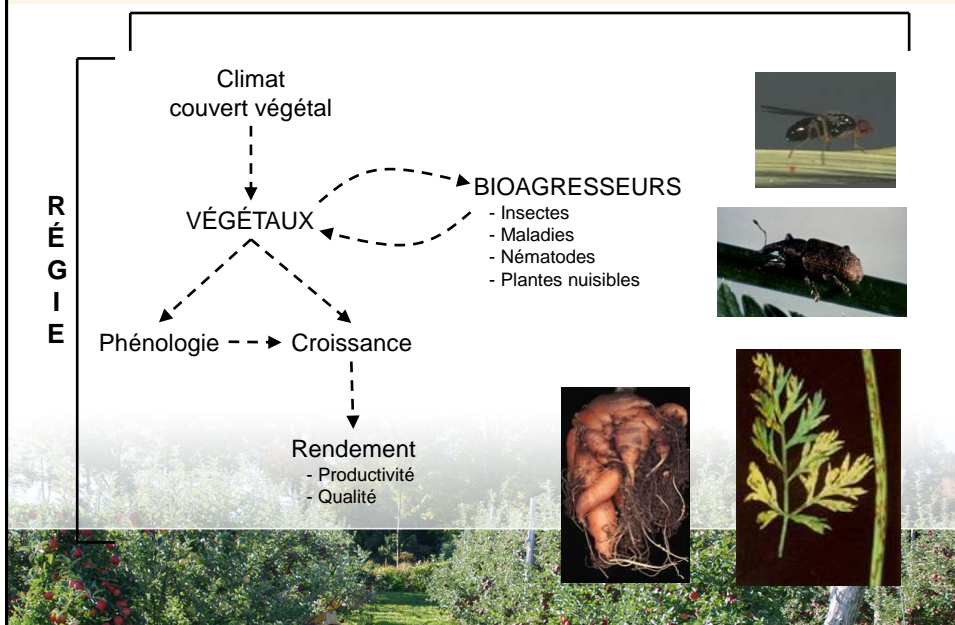


Modèle phénologique générique adapté à la carotte



Modélisation bioclimatique de l'écosystème végétal

MÉTÉO



Les ennemis des cultures

- Écosystème agricole complexe
- Gestion des interventions phytosanitaires
- Insectes ravageurs
- Maladies
- Nématodes
- Mauvaises herbes
- Risques associés aux changements climatiques

Modèles bioclimatiques pour la prévision des risques associés aux ennemis des cultures

dans un contexte de climat variable et en évolution

Dominique Plouffe
Gaëtan Bourgeois, Ph.D.

Publié le 7 mars 2012

Ce feuillet technique a été réalisé grâce à l'appui financier d'Ouranos en partenariat avec Ressources naturelles Canada.



Les insectes ravageurs



Ce feuillet technique a été réalisé grâce à l'appui financier d'Ouranos en partenariat avec Ressources naturelles Canada.



Partenariat 100-1000
Ressources naturelles
Canada



Modèles bioclimatiques pour la prévision des risques associés aux ennemis des cultures

dans un contexte de climat variable et en évolution

Dominique Plouffe
Gaëtan Bourgeois, Ph.D.



Centre de référence en agriculture
et agroalimentaire du Québec
Commission agrosciences



Modèles « Degrés-jours » disponibles pour le pommier

Ravageur	Température de base (°C)	Méthode de calcul
Phénologie McIntosh	5,0	Sinus simple
Carpocapse	10,0	Sinus simple
Hoplocampe	4,5	Sinus simple
Mineuse marbrée	6,7	Sinus simple
Mouche de la pomme	6,4	Sinus simple
Noctuelle du fruit vert	3,0	Sinus simple
Sésie du cornouiller	4,0	Sinus simple
Tordeuse à bandes obliques	6,0	Sinus simple
Tordeuse à bandes rouges	0,0	Sinus simple
Tordeuse du pommier	5,0	Sinus simple
Punaise terre	0,0	Sinus simple

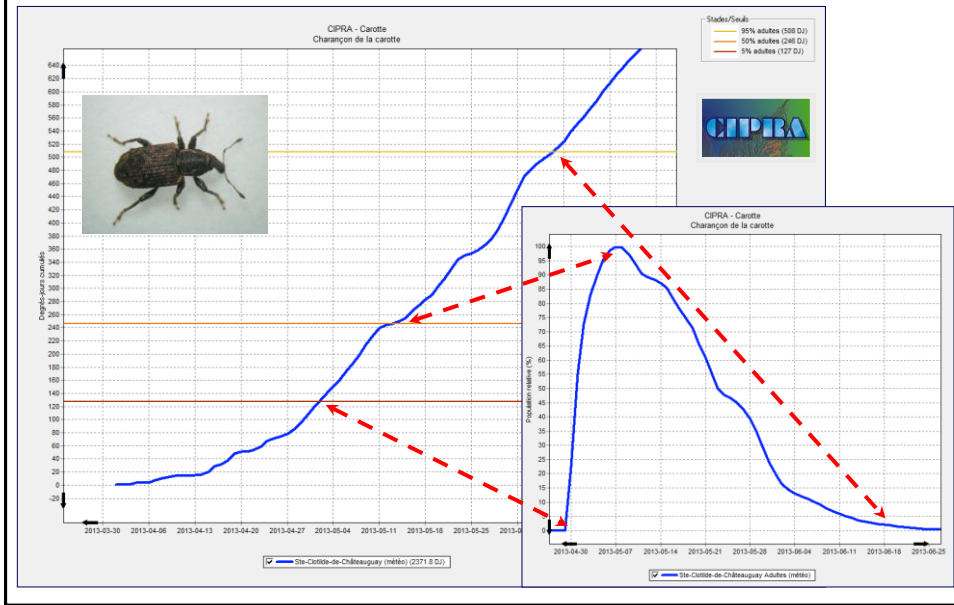


DJPheno
Version 2.8.5

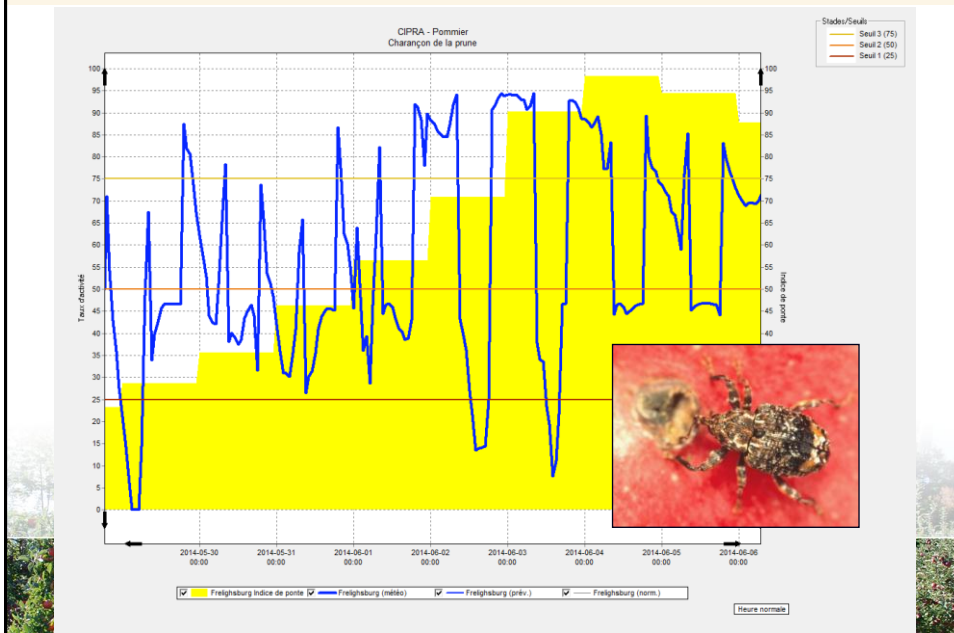
DJPheno permet d'analyser des données biologiques et de développer des modèles prédictifs.

Estimateur de degrés-jours pour la prédiction de stades phénologiques (plantes et insectes)

Modèle bioclimatique (Approche « Degrés-jours ») Charançon de la carotte



Modèle prévisionnel du charançon de la prune (Pommier)



Accueil | À propos | Contact | English | déconnexion

Agrométéo Québec

Recherche

Observations et prévisions Météo agricole Atlas agroclimatique Choisissez votre région : Centre sud ▼

Général >

Grandes cultures >

Légumes >

Petits fruits >

Plantes fourragères >

Pommes >

Pommes de terre >

Aide et documentation >

Aide et documentation

Guides sur les fonctionnalités du site

- [📖 Guide de démarrage du site](#)
- [📖 Guide de référence rapide WeatherScope](#)

Les réseaux de stations météorologiques

- [📄 Liste des stations que l'on retrouve sur le site d'Agrométéo Québec](#)
- [📄 Carte du réseau de stations automatiques et stations avec observateur](#)
- [📖 Le réseau québécois de stations météorologiques](#)

[📄 Définition de la journée «climatologique»](#)

Les indices agrométéorologiques

- [📖 Indices agrométéorologiques pour l'aide à la décision](#)
- [📖 Calcul des indices agrométéo](#)
- [📖 Régie de coupe automnale basée sur les degrés-jours](#)

Les modèles bioclimatiques*

- [📖 Modèle Carpopace de la pomme](#)
- [📖 Modèle Charançon de la carotte](#)
- [📖 Modèle Doryphore de la pomme de terre](#)
- [📖 Modèle Mouche de la carotte](#)
- [📖 Modèle Phénologie McIntosh](#)
- [📖 Modèle Pyrale du maïs](#)
- [📖 Modèle Seyval blanc](#)
- [📖 Modèle Teigne du poireau](#)
- [📖 Modèle Tordeuse à bandes obliques](#)
- [📖 Modèles bioclimatiques pour la prévision des risques associés aux ennemis des cultures](#)
- [📖 Modèles bioclimatiques pour la prédiction de la phénologie](#)

*Source des informations sur chacun des modèles: Plouffe D, Bourgeois G, et al. 2004. Centre informatique de prévisions des ravageurs en agriculture (CIPRA); Version 10. AAFC, Technical Bulletin # A54-9/2004-4F-PDF

Les maladies des végétaux




Modèles bioclimatiques pour la prévision des risques associés aux ennemis des cultures

dans un contexte de climat variable et en évolution

Dominique Plouffe
Gaëtan Bourgeois, Ph.D.



Ce feuillet technique a été réalisé grâce à l'appui financier d'Ouranos en partenariat avec Ressources naturelles Canada.

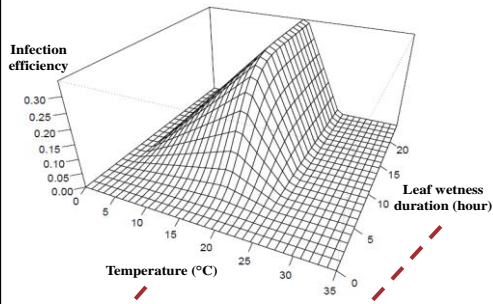





Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec

Commission agrométéorologie

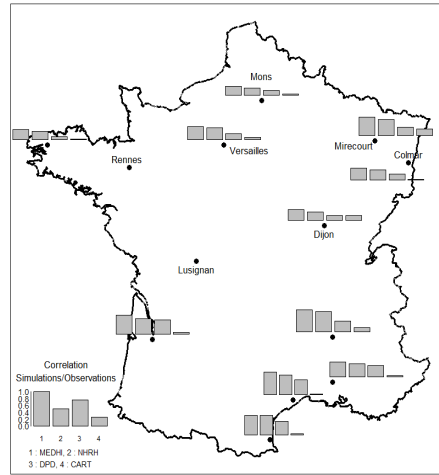
Température + Mouillure du feuillage vs Taux d'infection



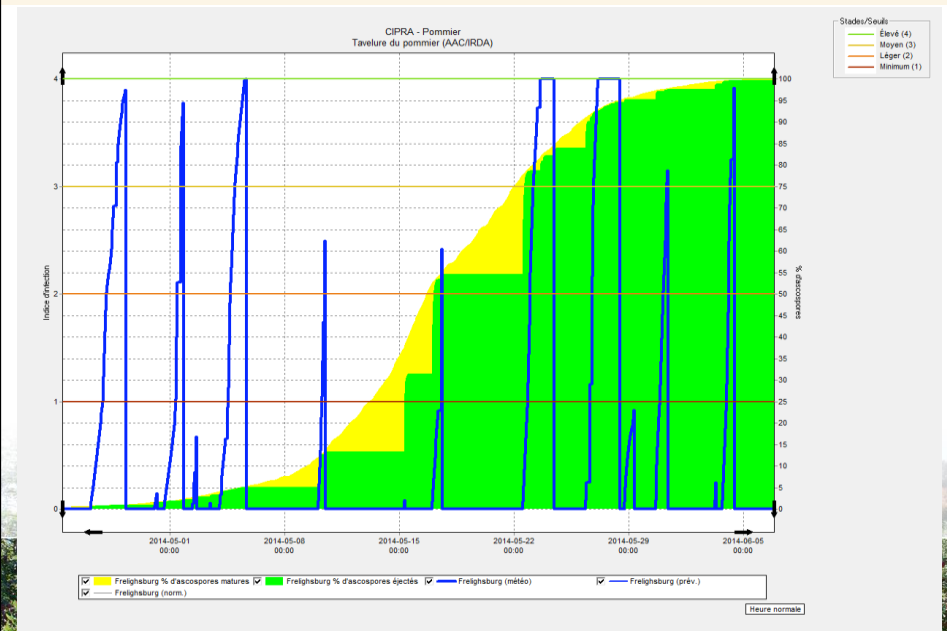
$$\text{ClimInfeR} = f(T) \left(1 - \exp\{-[A(\text{LWD} - \text{LWD}_0)]^B\} \right)$$

Launay et al. 2014

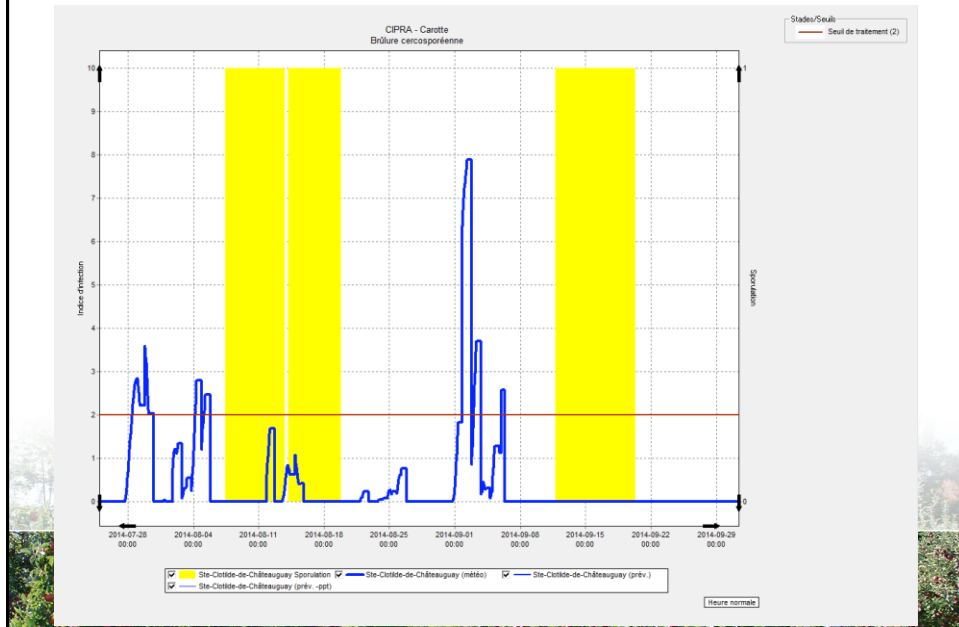
Prédiction de LWD en France



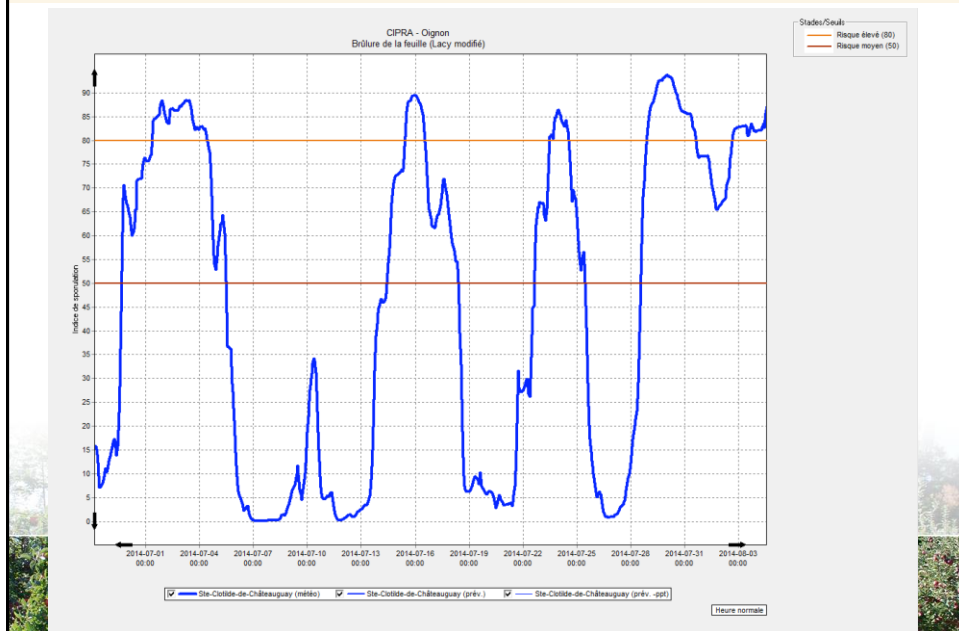
Modèle prévisionnel de la tavelure du pommier

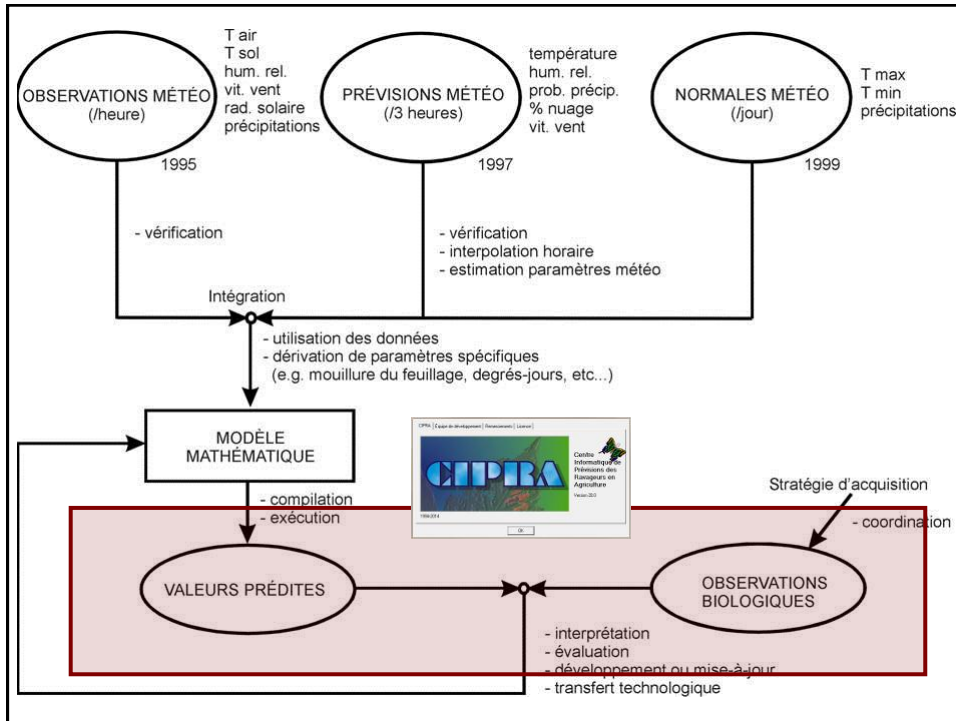


Modèle prévisionnel de la brûlure cercosporéenne (Carotte)



Modèle prévisionnel de la brûlure de la feuille (Oignon)





Pour plus d'informations sur les modèles bioclimatiques

- **Nouveau guide sur les modèles bioclimatiques de CIPRA**
- **Disponible en français et en anglais sur Agri-Réseau**
- **Informations**
 - ✓ Descriptions
 - ✓ Références
 - ✓ Interprétations
 - ✓ Calibration / Validation

Publié en novembre 2014



CIPRA - Centre Informatique de Prédiction des Ravageurs en Agriculture

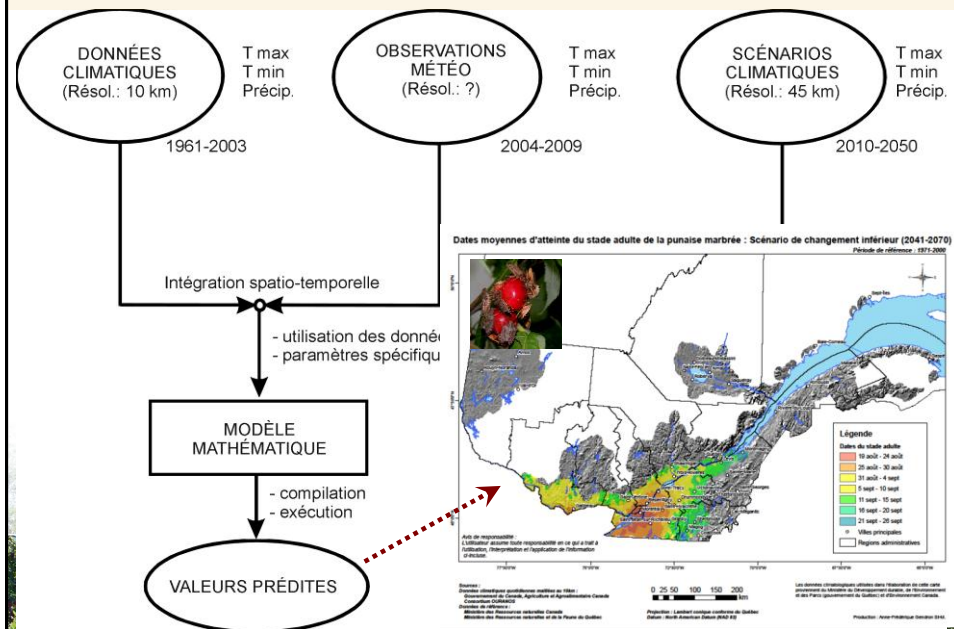
Cultures					
Brocoli	Fraisier	Orge			
Oie de printemps	Gazon	Pomme			
Carnesberge	Laitue	Pomme de terre			
Carotte	Maïs sucré	Poisson			
Chou	Maïs	Tomate			
Chou de Bruxelles	Orgeon	Vigne			



Guide des cultures



Études sur les impacts des changements climatiques



Initiatives provinciales en agrométéorologie

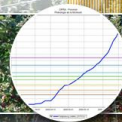
- **Gestion de la variabilité météo au quotidien**
 - Accentuation selon la majorité des scénarios climatiques
 - Accès à l'information = Clef pour l'adaptation
- **Plateforme IRDA du Réseau-pommier**
 - Diffusion Web automatisée des prévisions biologiques
- **Projets multidisciplinaires**
 - Atlas agroclimatique du Québec et plusieurs feuillets techniques sur les connaissances et les outils agroclimatiques
 - Efforts majeurs pour permettre l'accès au site Agrométéo Québec à l'ensemble des intervenants du secteur agricole québécois





Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



MERCI !

Courriel : Gaetan.Bourgeois@agr.gc.ca

Site web : http://www.agr.gc.ca/index_f.php (onglet « Science »)

Canada 