



INSTITUT DE RECHERCHE  
ET DE DÉVELOPPEMENT  
EN AGROENVIRONNEMENT

1<sup>er</sup> février 2018

JARIT

*Changement climatique et carpocapse: actualisation du modèle prévisionnel et projections*  
*Annabelle Firlej, Ph.D. et Marie-Pier Ricard, M.Sc. IRDA*

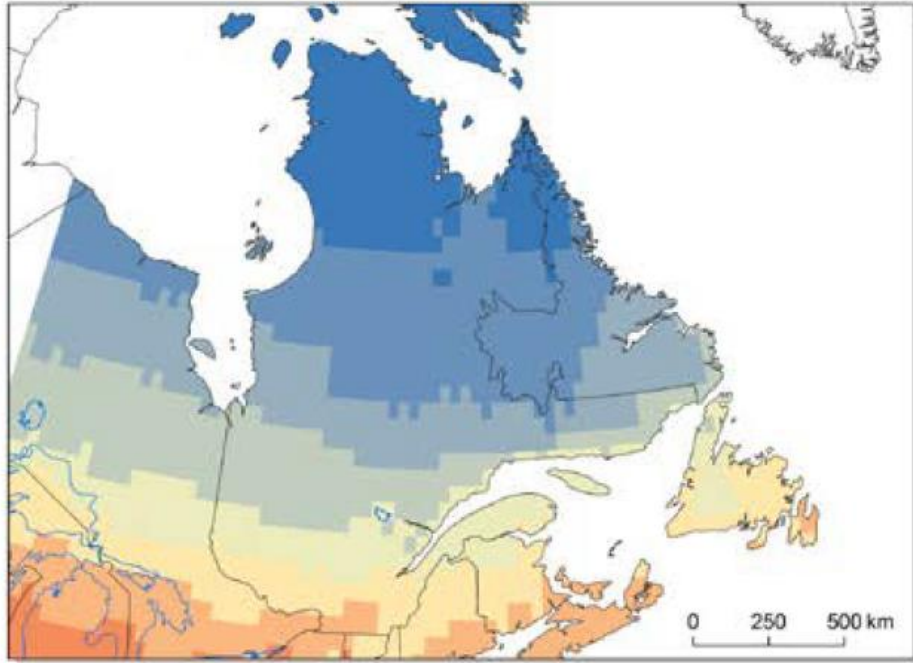
*Partenaires du projet : Gaétan Bourgeois, Daniel Cormier, Gérald Chouinard, Alessandro Dieni, Francine Pelletier, Franz Vanoosthuyse, Anne Blondlot, Patrick Grenier, François Gervais et Stéphanie Tellier*

## CHANGEMENTS CLIMATIQUES

- Températures au sud du Québec
  - ↑ 2 à 4 degrés pour la période 2041-2070
  - ↑ 4 à 7 degrés pour la période 2071-2100

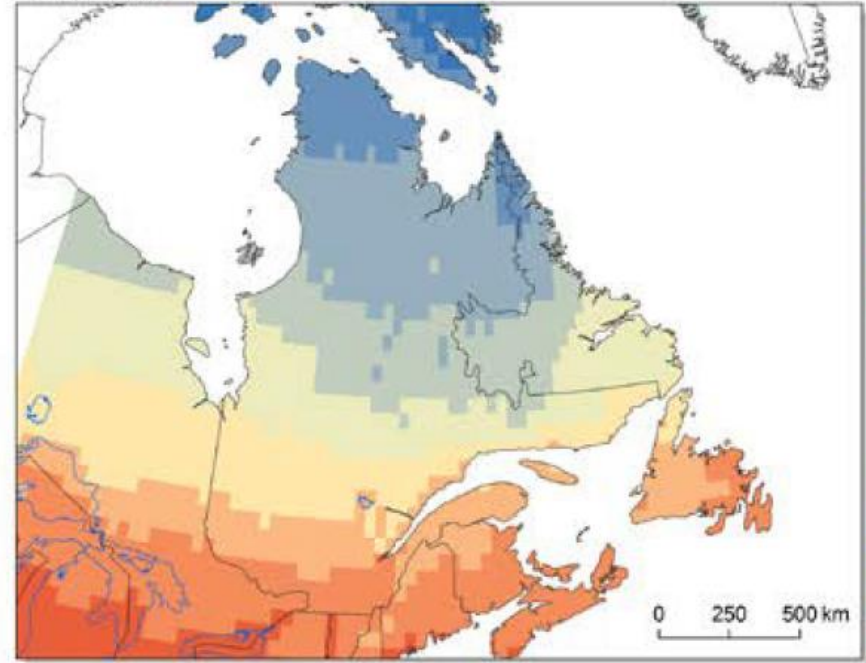


Observations : 1971 à 2000 (CRU TS 3.21)

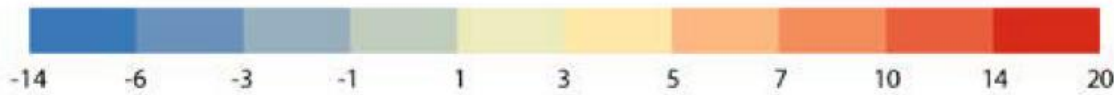


Horizon 2050 : RCP 8.5

50<sup>e</sup> percentile



Température à 2 m (°C) : ANN

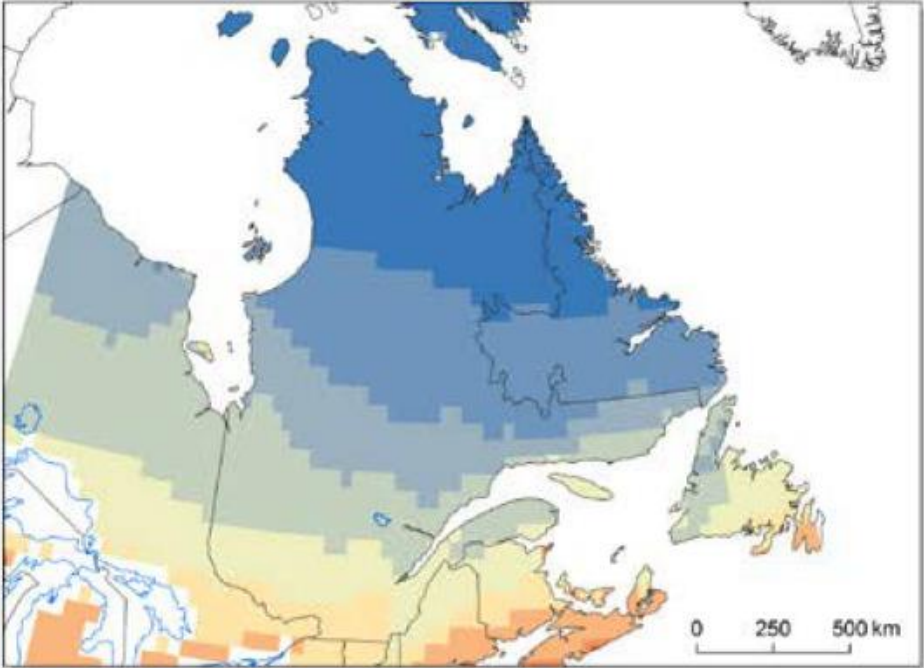




## CHANGEMENTS CLIMATIQUES

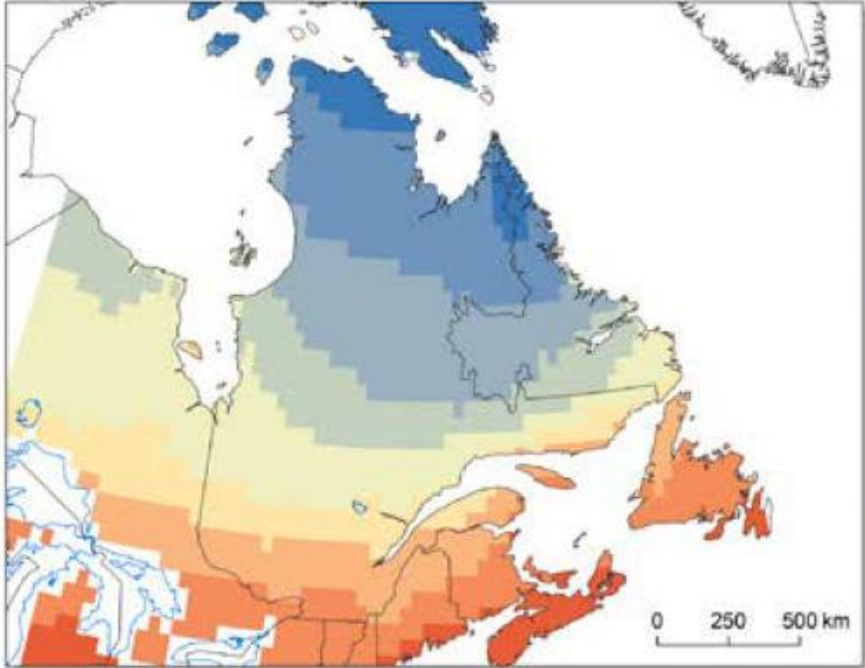
- Températures au sud du Québec
  - ↑ 2 à 4 degrés pour la période 2041-2070
  - ↑ 4 à 7 degrés pour la période 2071-2100
- Saison de croissance (5°C): **10 à 30 jours** →
- Degrés-jours cumulé annuel: **+** 600 degrés-jours dans le sud de la province
- Longueur saison de gel: **-** 2 à 4 semaines en particulier pour la région du Golfe
- Durée d'enneigement: **↓** 45 à 65 jours pour le sud du Québec

Observations : 1999 à 2010 (IMS)

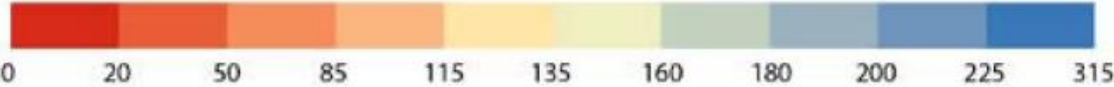


Horizon 2050 : RCP 8.5

50<sup>e</sup> percentile



Durée de l'enneigement (jours)



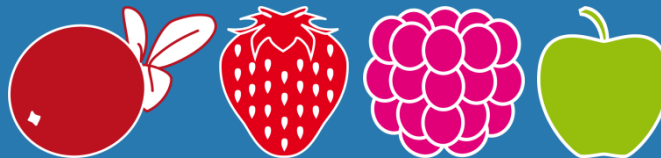


- Bouleversement au niveau biodiversité et écosystèmes
- Dissémination et propagation de certaines maladies et insectes ravageurs
  - Extension de l'aire de répartition de plusieurs espèces vers le nord
  - Pour les espèces présentes: asynchronicité avec la plante ou les ennemis naturels
  - Introduction de nouvelles espèces exotiques: compétition avec les espèces indigènes, attaque des plantes indigènes etc...

## LE PROJET

Pour quatre cultures fruitières d'importance économique au Québec (canneberge, fraise, framboise et pomme), les objectifs spécifiques sont :

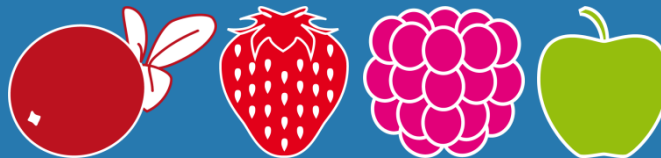
- Documenter l'impact des changements climatiques sur les ravageurs et maladies présents au Québec;
- Documenter les espèces exotiques envahissantes susceptibles d'affecter les cultures ciblées dans le futur;
- Modéliser l'effet des changements climatiques pour sept cas particuliers selon les scénarios climatiques à l'horizon 2041-2070 pour le Québec;
- Identifier et proposer des mesures d'adaptation aux changements climatiques pour ces ravageurs et maladies ciblés des quatre secteurs agricoles.



## LE PROJET

Pour quatre cultures fruitières d'importance économique au Québec (canneberge, fraise, framboise et pomme), les objectifs spécifiques sont :

- Documenter l'impact des changements climatiques sur les ravageurs et maladies présents au Québec;
- Documenter les espèces exotiques envahissantes susceptibles d'affecter les cultures ciblées dans le futur;
- Modéliser l'effet des changements climatiques pour sept cas particuliers selon les scénarios climatiques à l'horizon 2041-2070 pour le Québec;
- Identifier et proposer des mesures d'adaptation aux changements climatiques pour ces ravageurs et maladies ciblés des quatre secteurs agricoles.







1



2



3

1. Punaise terne
2. Carpocapse de la pomme
3. Tordeuse à bandes obliques
4. Cicadelle blanche du pommier
5. Tétranyque à deux points
6. Tétranyque rouge



4

5

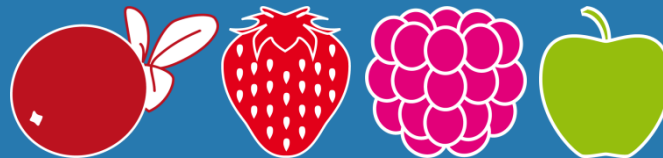


6

## LE PROJET

Pour quatre cultures fruitières d'importance économique au Québec (canneberge, fraise, framboise et pomme), les objectifs spécifiques sont :

- Documenter l'impact des changements climatiques sur les ravageurs et maladies présents au Québec;
- Documenter les espèces exotiques envahissantes susceptibles d'affecter les cultures ciblées dans le futur;
- **Modéliser l'effet des changements climatiques pour sept cas particuliers selon les scénarios climatiques à l'horizon 2041-2070 pour le Québec;**
- Identifier et proposer des mesures d'adaptation aux changements climatiques pour ces ravageurs et maladies ciblés des quatre secteurs agricoles.



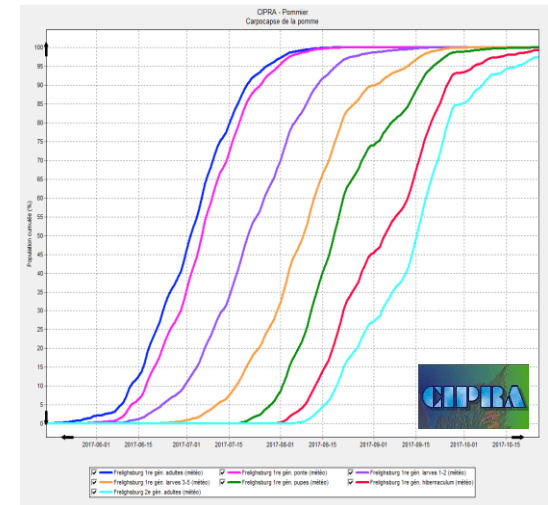
## MÉTHODOLOGIE



- Le modèle utilisé pour décrire le développement du carpocapse est une version modifiée du modèle d'Agropomme (Cormier et al., 2015)

Stades	Degrés-jours
1 <sup>re</sup> génération, 5% adultes	205
1 <sup>re</sup> génération, 20% adultes	290
1 <sup>re</sup> génération, 50% adultes	405
1 <sup>re</sup> génération, 95% adultes	635
1 <sup>re</sup> génération, 5% ponte	240
1 <sup>re</sup> génération, 50 % ponte	440
1 <sup>re</sup> génération, 95% ponte	670
1 <sup>re</sup> génération, 5% larves stade 1-2	328
1 <sup>re</sup> génération, 50% larves stade 1-2	590.5
1 <sup>re</sup> génération, 95% larves stade 1-2	853
1 <sup>re</sup> génération, 5% larves stade 3-5	423
1 <sup>re</sup> génération, 50% larves stade 3-5	750.5
1 <sup>re</sup> génération, 95% larves stade 3-5	1078
1 <sup>re</sup> génération, 5% pupes	648
1 <sup>re</sup> génération, 50% pupes	848
1 <sup>re</sup> génération, 95% pupes	1078
1 <sup>re</sup> génération, 5% hibernaculum	753
1 <sup>re</sup> génération, 50% hibernaculum	953
1 <sup>re</sup> génération, 95% hibernaculum	1183

2 <sup>e</sup> génération, 5% adultes	818
2 <sup>e</sup> génération, 50% adultes	1018
2 <sup>e</sup> génération, 95% adultes	1248
2 <sup>e</sup> génération, 5% ponte	853
2 <sup>e</sup> génération, 50 % ponte	1053
2 <sup>e</sup> génération, 95% ponte	1283
2 <sup>e</sup> génération, 5% larves stade 1-2	941
2 <sup>e</sup> génération, 50% larves stade 1-2	1203.5
2 <sup>e</sup> génération, 95% larves stade 1-2	1466
2 <sup>e</sup> génération, 5% larves stade 3-5	1036
2 <sup>e</sup> génération, 50% larves stade 3-5	1363.5
2 <sup>e</sup> génération, 95% larves stade 3-5	1691
2 <sup>e</sup> génération, 5% pupes	1261
2 <sup>e</sup> génération, 50% pupes	1461
2 <sup>e</sup> génération, 95% pupes	1691
2 <sup>e</sup> génération, 5% hibernaculum	1366
2 <sup>e</sup> génération, 50% hibernaculum	1566
2 <sup>e</sup> génération, 95% hibernaculum	1796
3 <sup>e</sup> génération, 5% adultes	1431
3 <sup>e</sup> génération, 50% adultes	1631
3 <sup>e</sup> génération, 95% adultes	1861





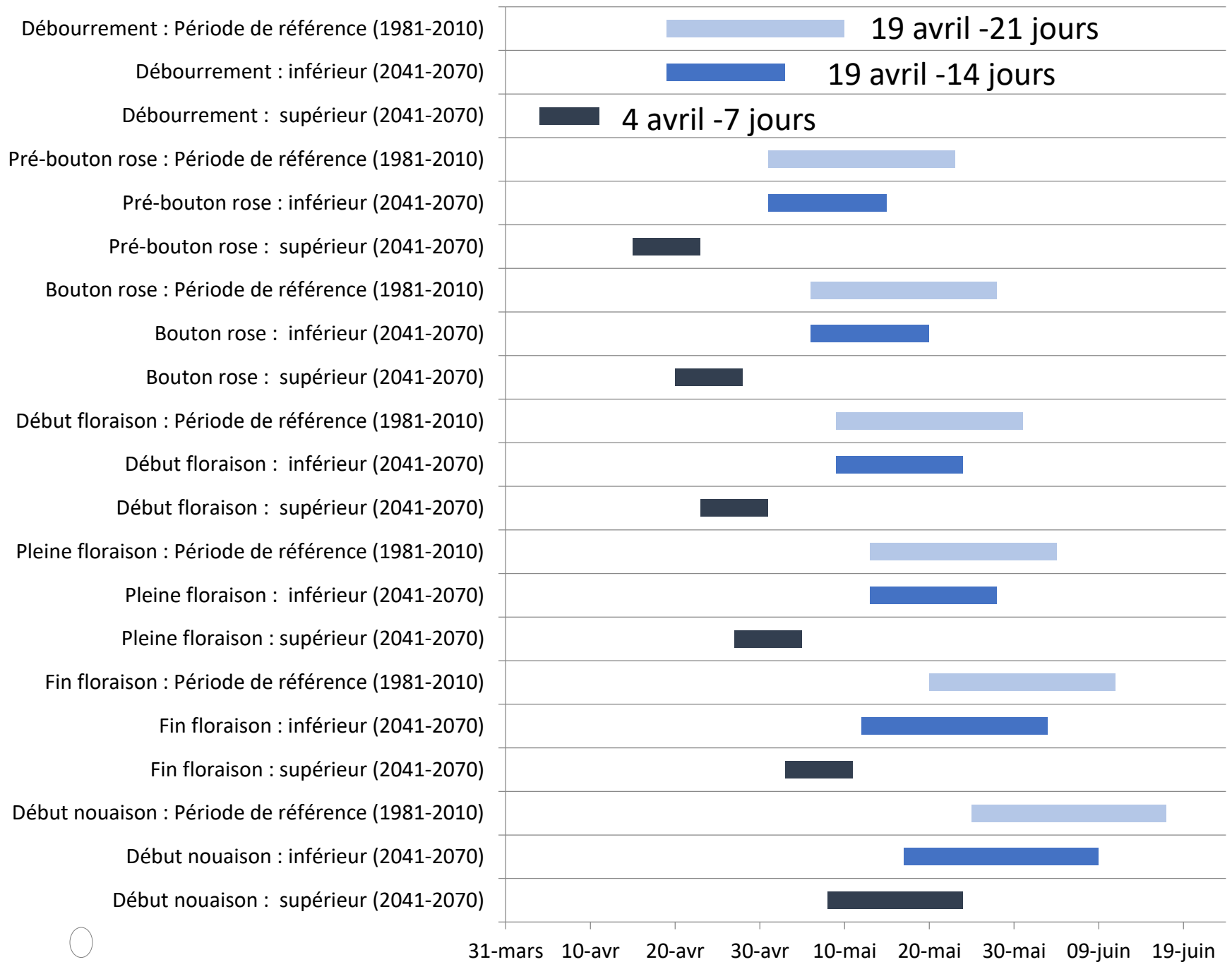
## MÉTHODOLOGIE

- Le modèle utilisé pour décrire le développement du carpocapse est une version modifiée du modèle d'Agropomme (Cormier et al., 2015)
- Le modèle phénologique du pommier implanté dans le logiciel CIPRA (Plouffe et al., 2014) a été utilisé
- Cumul de degrés-jours à partir du 1er mars au 30 novembre
- 20 simulations climatiques sélectionnées afin de couvrir l'incertitude quant aux changements de température et de précipitations attendus entre 1981-2010 et 2041-2070

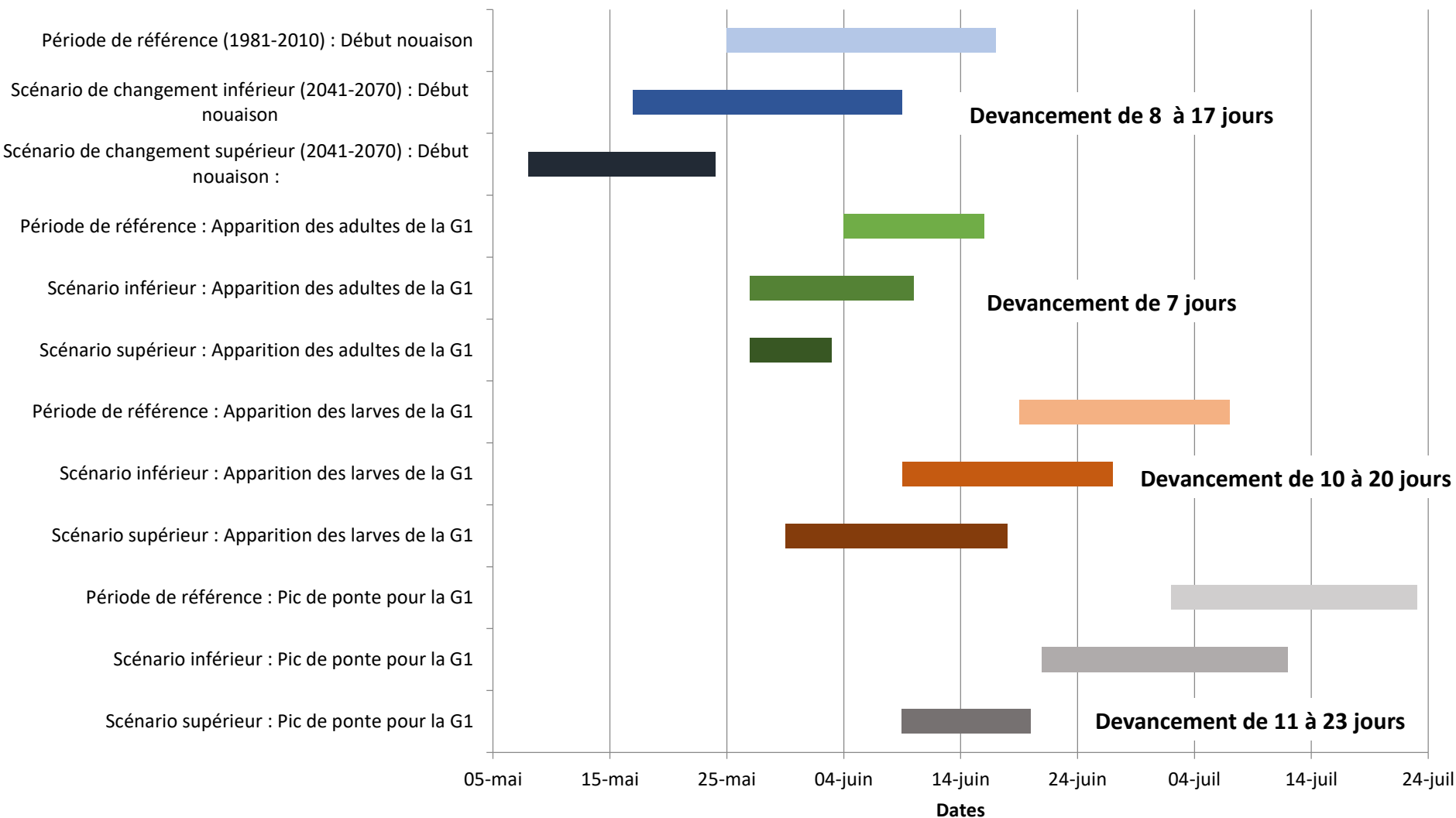


## MÉTHODOLOGIE

- Période de référence : 1981-2010 (30 années de données) → On prend la moyenne
- Scénario de changement inférieur : 2041-2070 (30 années de données prédites par 20 scénarios climatiques) → On prend le résultat au 10e percentile = Scénario optimiste (inférieur)
- Scénario de changement supérieur : 2041-2070 (30 années de données prédites par 20 scénarios climatiques) → On prend le résultat au 90e percentile = Scénario pessimiste (supérieur)



# Effets des changements climatiques sur la première génération du carpocapse





# Légende

- Villes principales
- ▭ Regions administratives

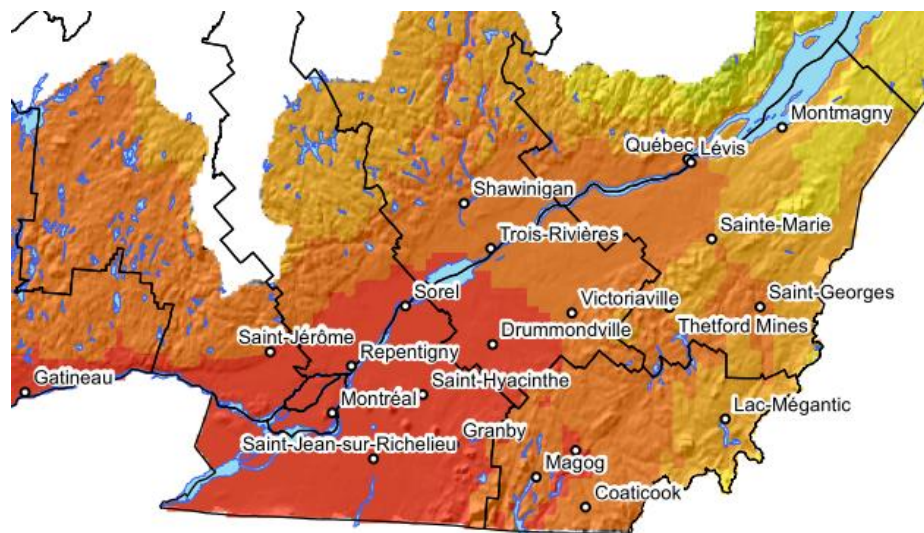
## Dates

- 27 mai - 03 juin
- 04 juin - 10 juin
- 11 juin - 16 juin
- 17 juin - 23 juin
- 24 juin - 30 juin
- 01 juil - 08 juil
- 09 juil - 13 juil
- 14 juil - 20 juil

Dates moyennes des premières captures d'adulte de la 1ère génération

Période de référence (1981-2010)

Scénario de changement inférieur (2041-2070)



Scénario de changement supérieur (2041-2070)

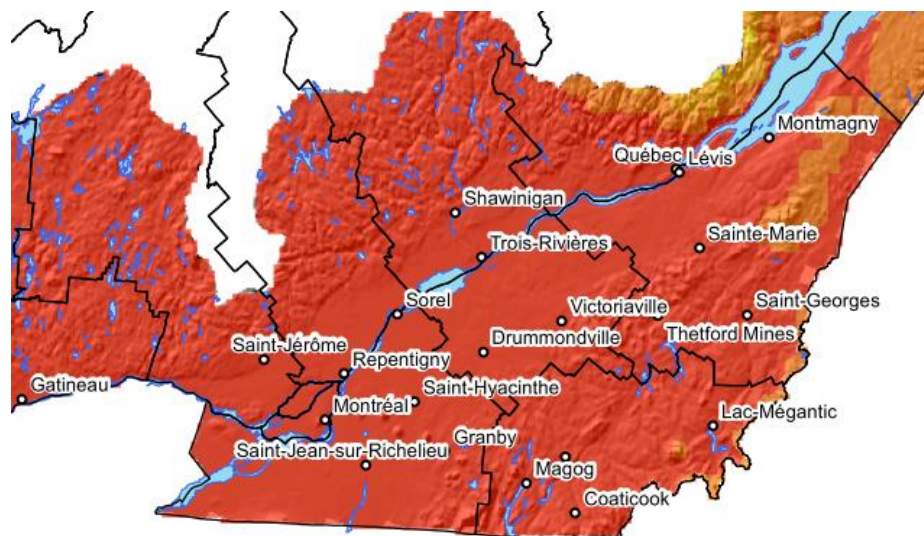
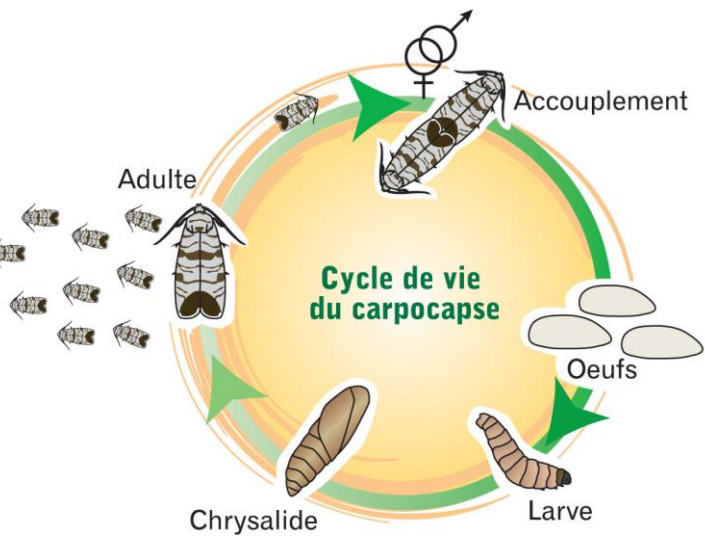


Illustration: Franz Vanoosthuysse



### Reproduction

↓ 35 DJ

**Oeufs**

↓ 88 DJ

**Larve 1**

↓ 50 DJ

**Larve 2**

↓ 45 DJ

**Larve 3**

↓ 45 DJ

**Larve 4**

↓ 45 DJ

**Larve 5**

240 DJ

**Hibernaculum**



135 DJ

**Chrysalide**

↓ 160 DJ

**Adulte**



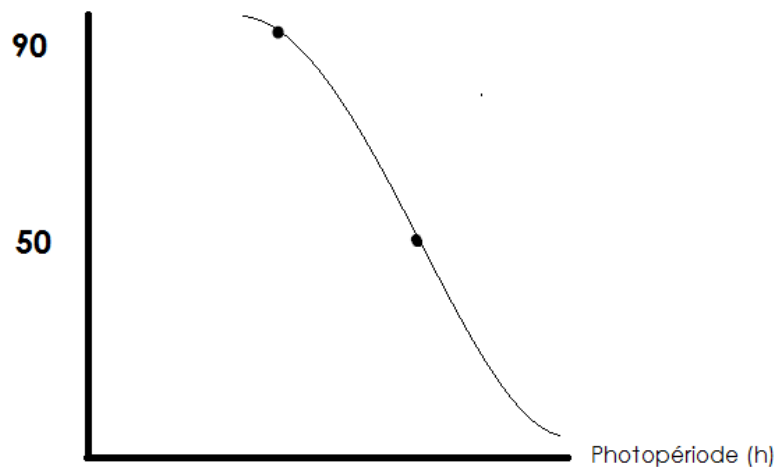
## PHOTOPÉRIODE CRITIQUE

- Tous les stades larvaires sont photosensibles mais les plus sensibles sont le 3e et le 4e stade larvaire
- Le 5e stade entre en diapause lorsque la photopériode est plus courte que la photopériode critique (Riedl, 1983)
- Pour le Québec (latitude 45°): la photopériode critique = entre 15.759 (21 juin) et 15.407 (11 juillet)
  - Si cumul de degrés-jours >566 une 2e génération est possible
  - Si cumul de degrés-jours > 1066 une 3e génération est possible
- Chez le carpocapse: diminution de la photopériode critique de 7,2 minutes pour une augmentation de 1°C durant la phase larvaire (Garcia-Salazar et al., 1988).
- Hypothèse: dans 30 ans la photopériode critique = 30 à 45 minutes plus courtes soit entre 15.384 (12 juillet) et 15.05 (23 juillet).

# PHOTOPÉRIODE CRITIQUE

Pour la fraction de la population multivoltine

Proportion de la population sensible à la photopériode critique (induction de la diapause)



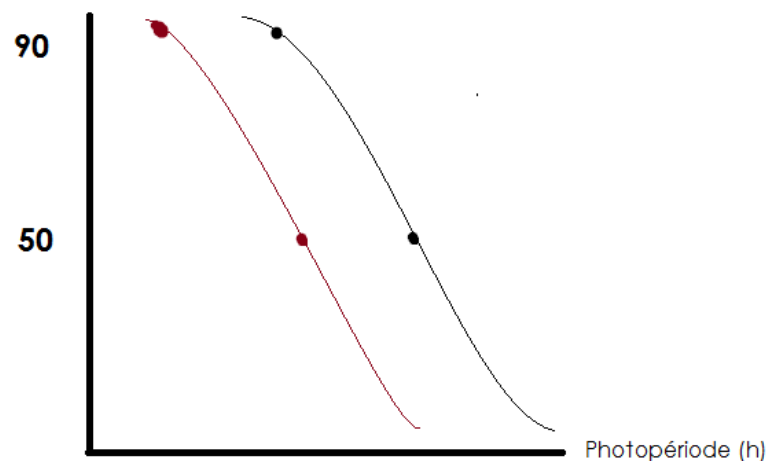
15.4    15.8  
12 juil.    21 juin

Référence  
Inférieur  
Supérieur

570 DJ    340 DJ  
680 DJ    480 DJ  
880 DJ    570 DJ

**G2: >566**

Proportion de la population sensible à la photopériode critique (induction de la diapause)



15.0    15.4    15.8  
23 juil.    12 juil.    21 juin

Référence  
Inférieur  
Supérieur

570 DJ    340 DJ  
810 DJ    680 DJ    480 DJ  
1050 DJ    880 DJ    570 DJ

**G2: >566**

**G3 > 1066**



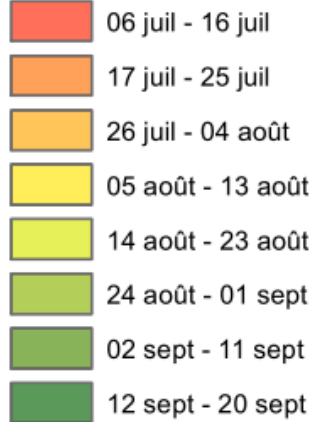
# Dates moyennes des premières captures d'adulte de la 2<sup>ème</sup> génération

## Légende

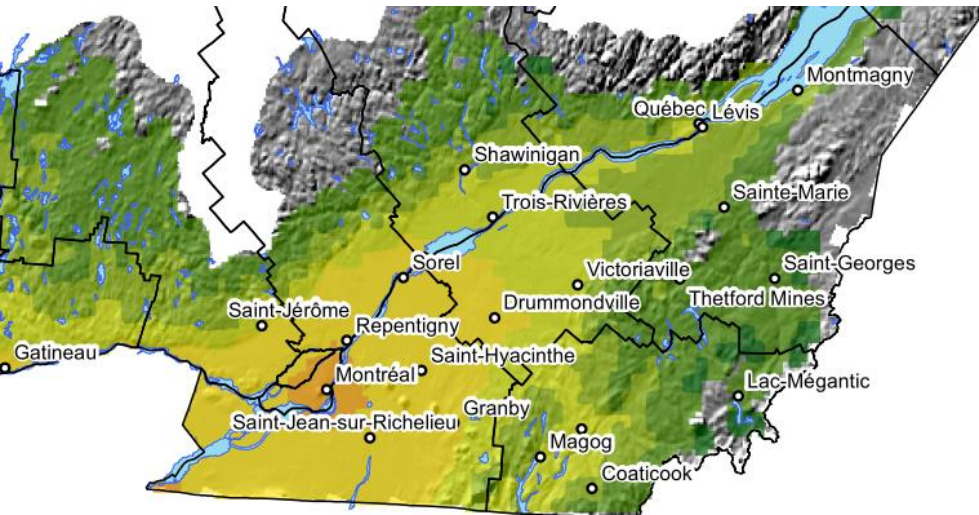
● Villes principales

□ Regions administratives

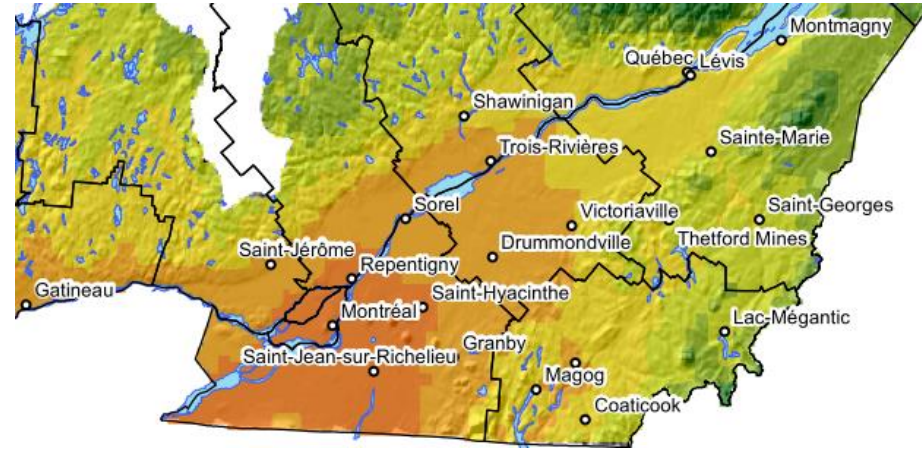
### Dates



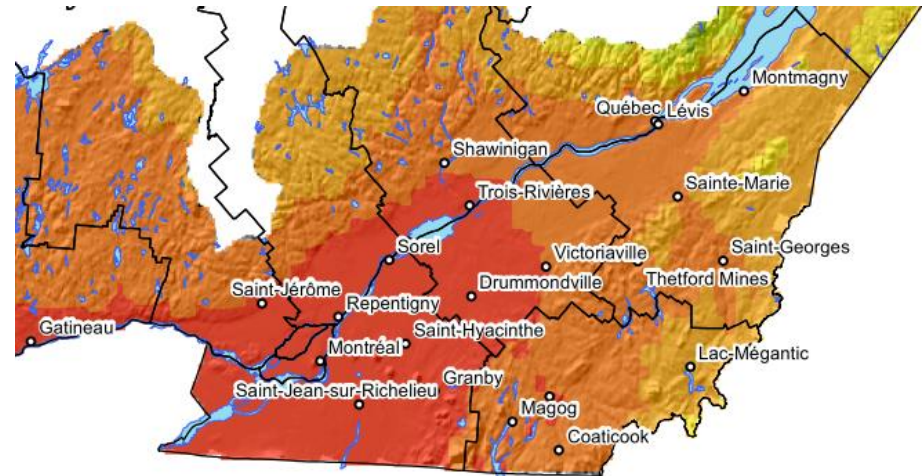
Période de référence (1981-2010)



Scénario de changement inférieur (2041-2070)

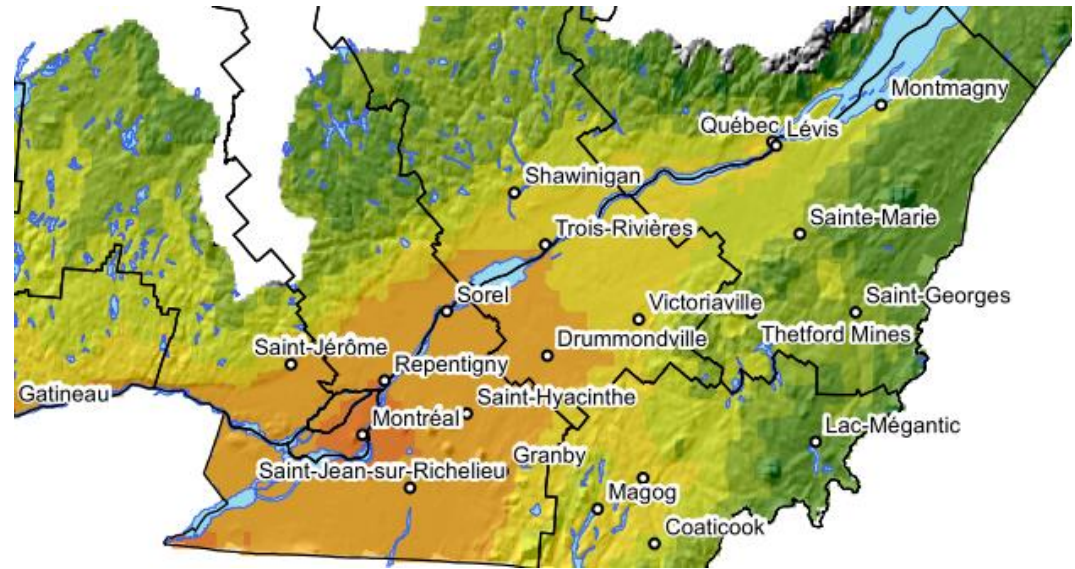


Scénario de changement supérieur (2041-2070)



## Scénario de changement inférieur (2041-2070)

Dates moyennes du pic de ponte de la **2ème** génération



### Légende

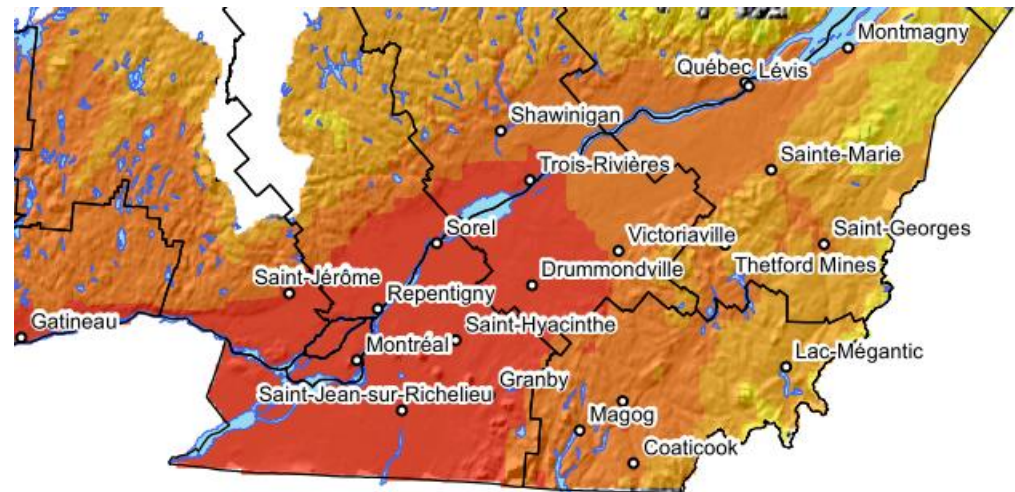
● Villes principales

□ Regions administratives

### Dates

Red	21 juil - 01 août
Orange	02 août - 11 août
Light Orange	12 août - 22 août
Yellow	23 août - 01 sept
Light Green	02 sept - 12 sept
Green	13 sept - 22 sept
Dark Green	23 sept - 03 oct
Very Dark Green	04 oct - 13 oct

## Scénario de changement supérieur (2041-2070)



# Dates moyennes des premières L1-L2 de la 2ème génération

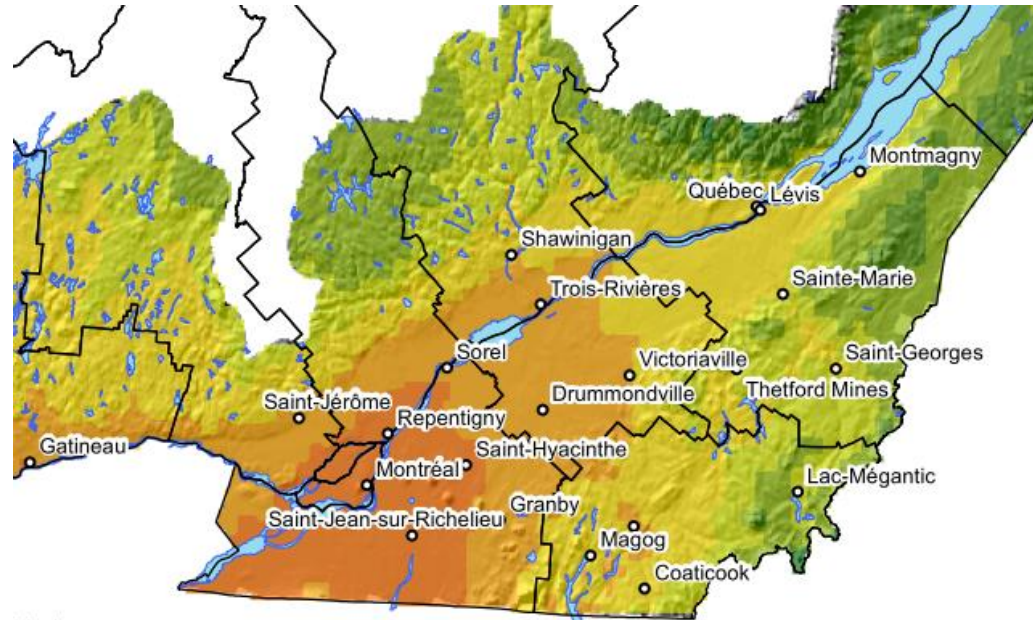
## Légende

- Villes principales
- ▭ Regions administratives

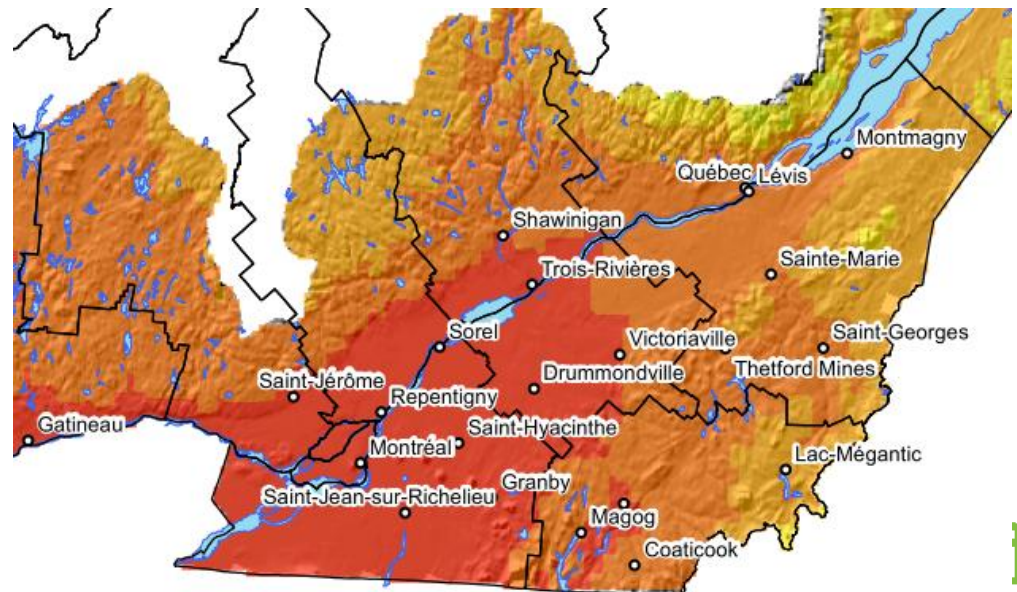
## Dates

- 14 juil - 25 juil
- 26 juil - 05 août
- 06 août - 16 août
- 17 août - 28 août
- 29 août - 08 sept
- 09 sept - 19 sept
- 20 sept - 30 sept
- 01 oct - 11 oct

Scénario de changement inférieur (2041-2070)

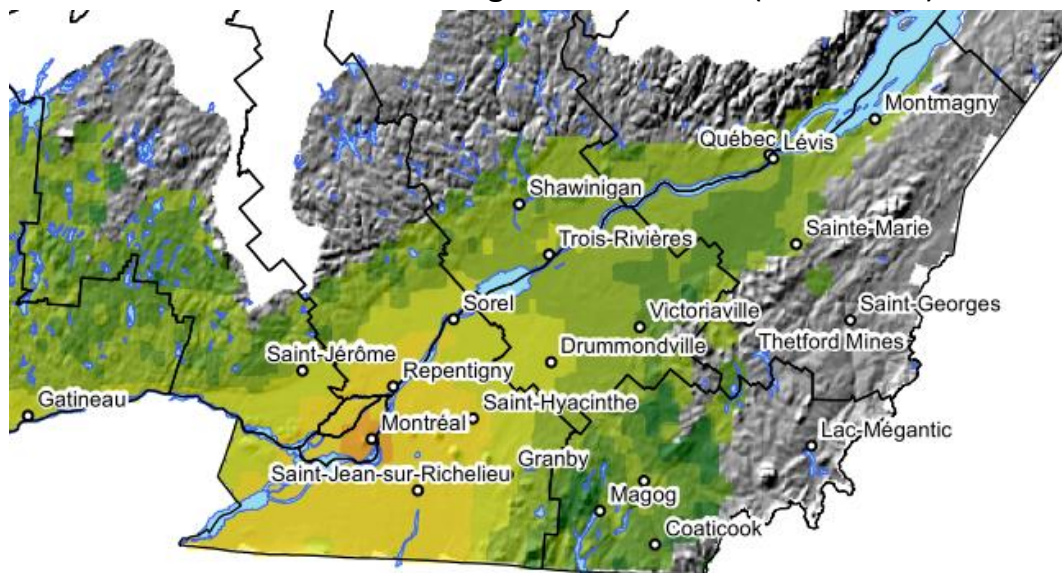


Scénario de changement supérieur (2041-2070)



# Dates moyennes d'entrée en diapause de la 2ème génération

Scénario de changement inférieur (2041-2070)



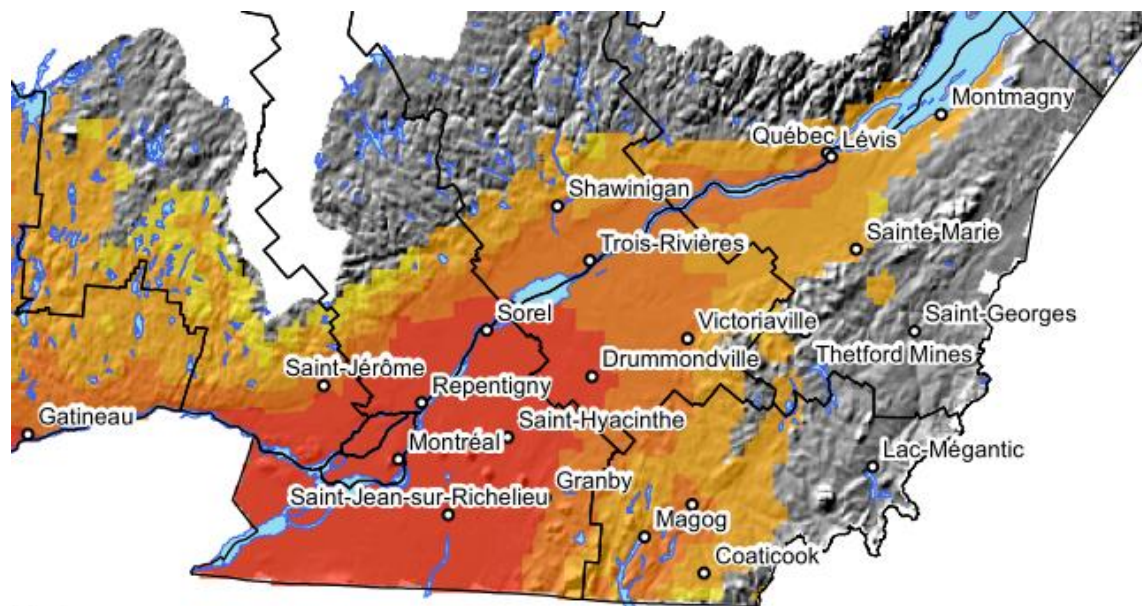
## Légende

- Villes principales
- Regions administratives

### Dates

- 10 août - 20 août
- 21 août - 30 août
- 31 août - 08 sept
- 09 sept - 18 sept
- 19 sept - 28 sept
- 29 sept - 08 oct
- 09 oct - 17 oct
- 18 oct - 27 oct

Scénario de changement supérieur (2041-2070)







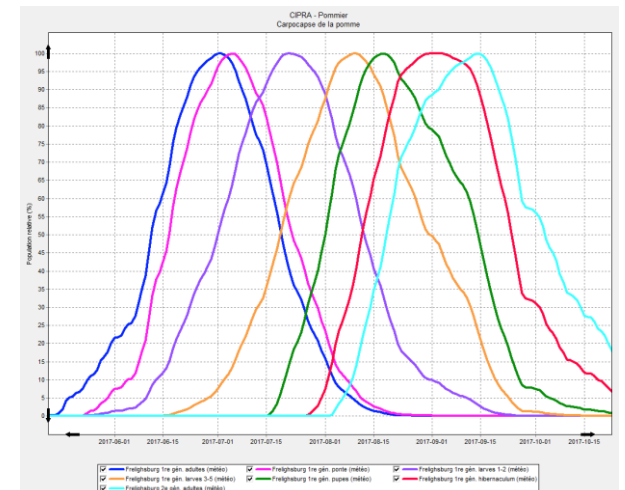
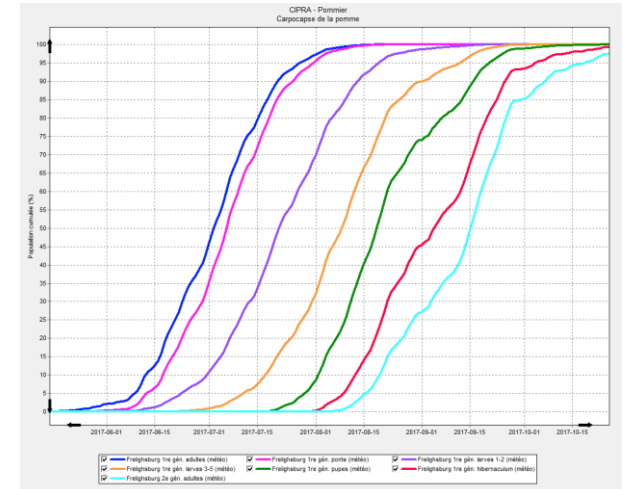
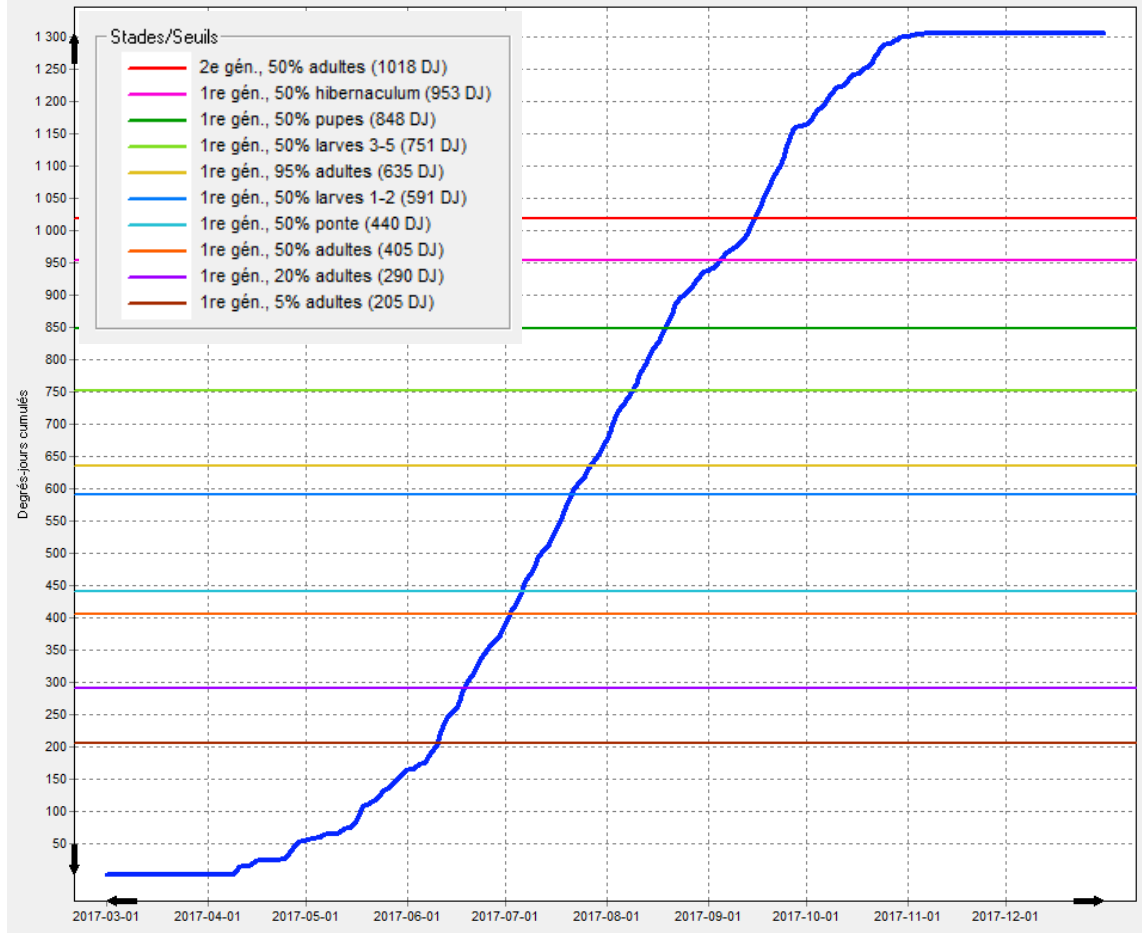
## PROJECTIONS

- Pour l'horizon 2050: délai court entre le début des adultes et le pic de ponte
- Actuellement: peu d'individus peuvent générer une 2<sup>ème</sup> génération dû à la photopériode critique induisant la diapause (Riedl et Croft, 1978)
- Pour l'horizon 2050: le nombre d'individus capables de produire une 2<sup>ème</sup> génération sera beaucoup plus grand (Bradshaw et Holzapfel, 2001)
- Diapause possible de la 2<sup>ème</sup> génération
- Pas de 3<sup>ème</sup> génération possible



# CIPRA

CIPRA - Pommier  
Carpocapse de la pomme



## PROCHAINES ÉTAPES

1. Détermination d'analogues spatiaux : recherche de similitudes climatiques entre le scénario du climat futur de la région à l'étude et le climat actuel du Nord de l'Amérique et de l'Europe
2. Évaluations des risques : revue de littérature et consultations auprès des experts afin d'établir les risques et les adaptations phytosanitaires pour le carpopapose de la pomme, y compris dans les régions analogues.
3. Diffusion de l'information obtenue sur l'impact des changements climatiques pour le secteur pomicole



## REMERCIEMENTS

Nathalie Beaudry (programmation informatique), Arianne Deshaies (cartographie) et Dominique Plouffe (modèles bioclimatiques).

Ce projet a été réalisé en vertu du sous-volet 3. 2 du programme Prime-Vert 2013-2018 et il a bénéficié d'une aide financière du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ) par l'entremise du Fonds vert dans le cadre du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques du gouvernement du Québec. Ouranos est un partenaire scientifique et financier du projet.

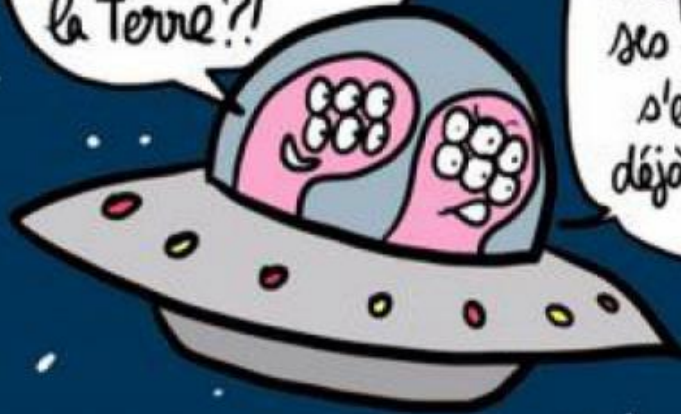


Agriculture et  
Agroalimentaire Canada

Agriculture and  
Agri-Food Canada



Alors Chef,  
on va détruire  
la Terre?!



Trop tard,  
ses habitants  
s'en sont  
déjà chargés  
...

Louison\*



## IMPACT DU FROID

- Le froid hivernal n'est pas une contrainte pour la survie du carpocapse
- La température de surfusion des larves de troisième à cinquième stade est de  $-12,4 \pm 1,1$  °C
- La température de surfusion des larves en cocons non-diapausantes (c'est-à-dire, les stades sans alimentation) est entre  $-15^{\circ}\text{C}$  et  $-19^{\circ}\text{C}$
- La température pour les larves hivernantes est de  $-20^{\circ}\text{C}$  (Khani et Moharramipour, 2010)
- La température létale se situe près de  $-25^{\circ}\text{C}$  (Rozsypal et al., 2013)