

Modélisation de l'ouverture des bourgeons chez le sapin et l'épinette affectés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette



LES RENDEZ-VOUS DE LA CONNAISSANCE EN AMÉNAGEMENT
FORESTIER DURABLE, LE 18 MAI 2021

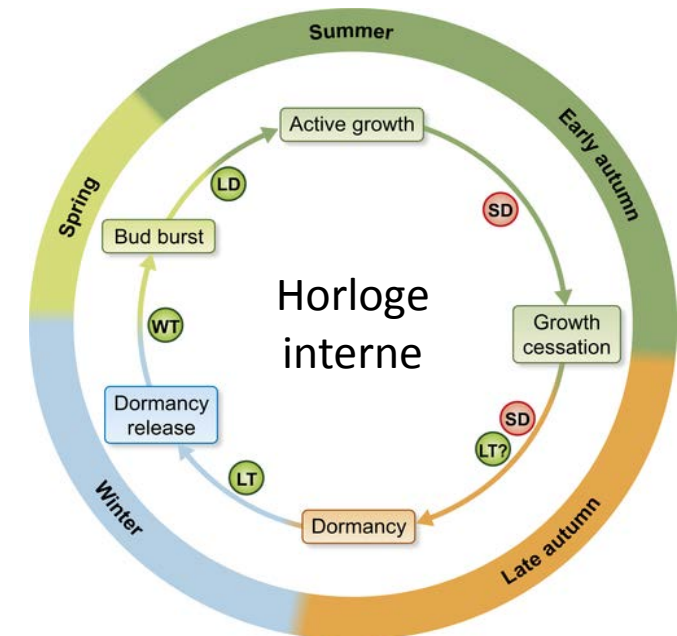
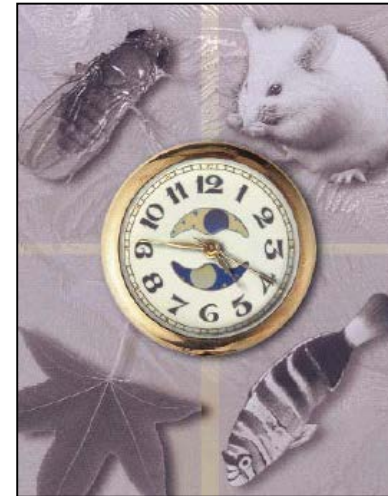
ANNIE DESLAURIERS, FABRIZIO CARTENÌ, LORENA BALDUCCI, ALAIN
DUPONT, MATHIEU BOUCHARD, STEFANO MAZZOLENI

Modèles actuels de prédiction de la phénologie

Les modèles actuels se basent sur:

- Température (Σ)
- Photopériode (heure ☀)
- Unité de refroidissement (Chilling, C.U. ❄️🌡️)

Les processus physiologiques derrière l'horloge interne ne sont pas considérés



Modèles actuels de prédiction de la phénologie

Défauts des modèles actuels

- Faible support biologique – physiologique
- Stress de nature biotique?
- Aménagement (disponibilité de nourriture pour la tordeuse et arrosages de Btk) ?



Source: Valentina Buttò



Source: <http://sopfim.qc.ca/fr/les-arrosages/>

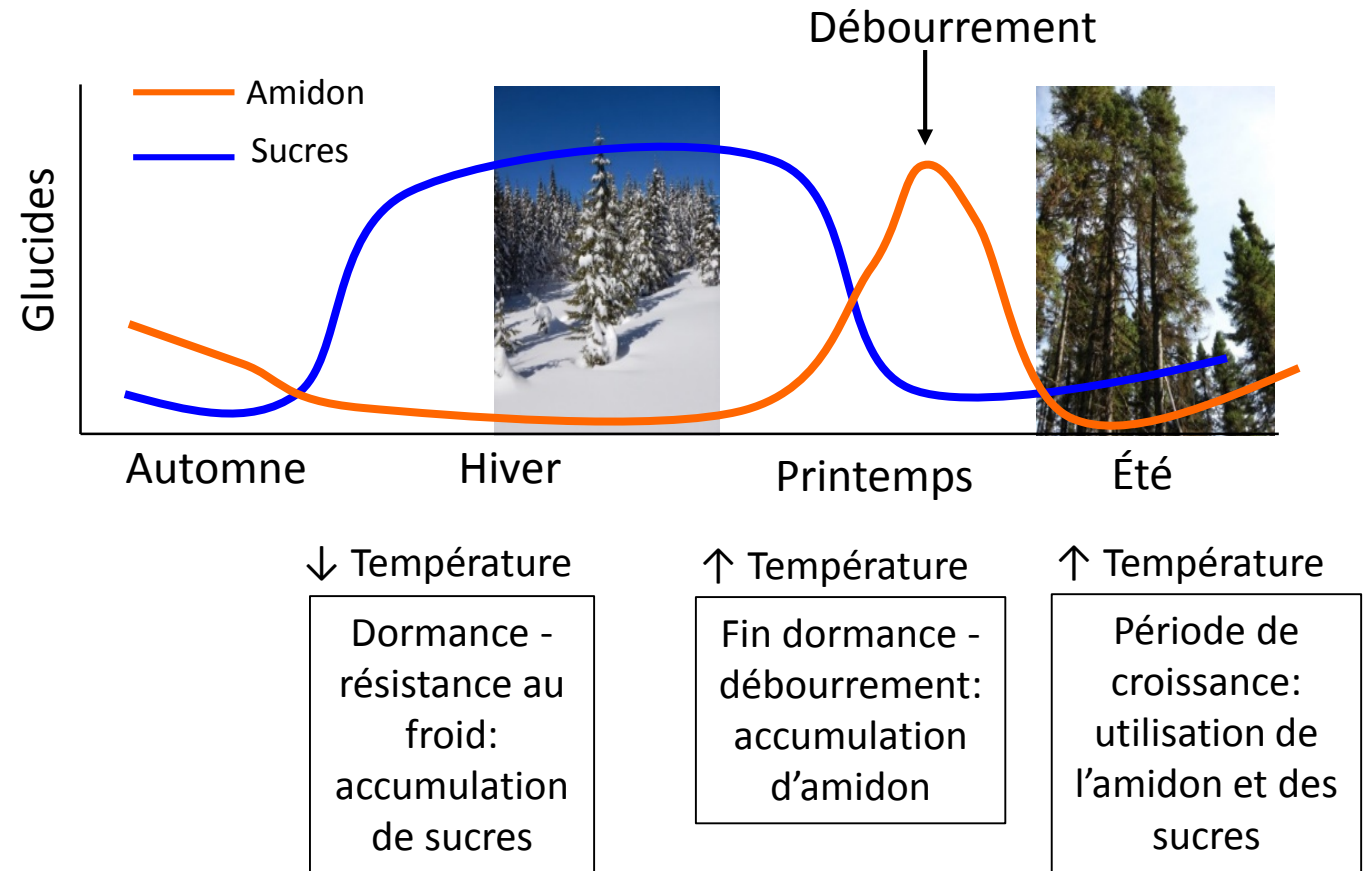
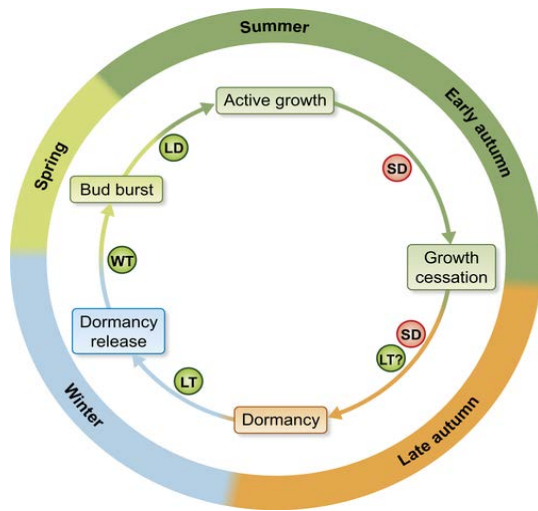


- Changements
 - ▣ Croissance
 - ▣ Allocation du carbone
 - ▣ Phénologie? = disponibilité de nourriture
 - ▣ Optimisation développement/phénologie bourgeons-insecte?

Repenser les modèles de phénologie

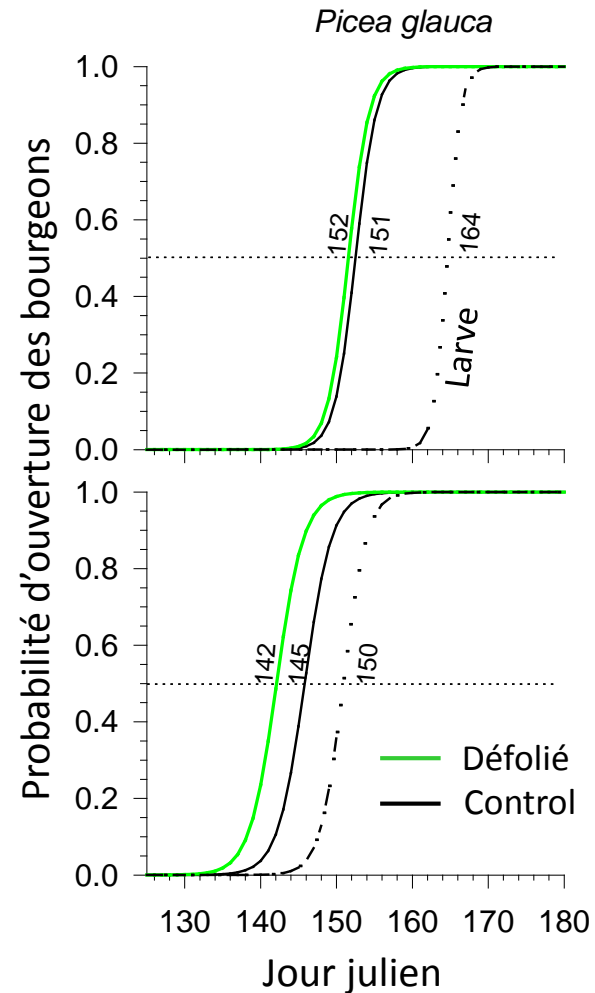


Les saisons (l'horloge interne) ont un effet sur les concentrations de sucres et d'amidon



L'ouverture des bourgeons peut se produire plus tôt chez les plants défoliés

**Modèle
logistique de
probabilité**



2015



Ouverture des bourgeons
similaire

2016



Ouverture plus tôt chez les plants défoliés:

- Épinette blanche (EPB): 3 jours
- Épinette noire (EPN): 6 jours
- Sapin baumier (SAB): 7 jours

Deslauriers et al., Tree Physiology 2019

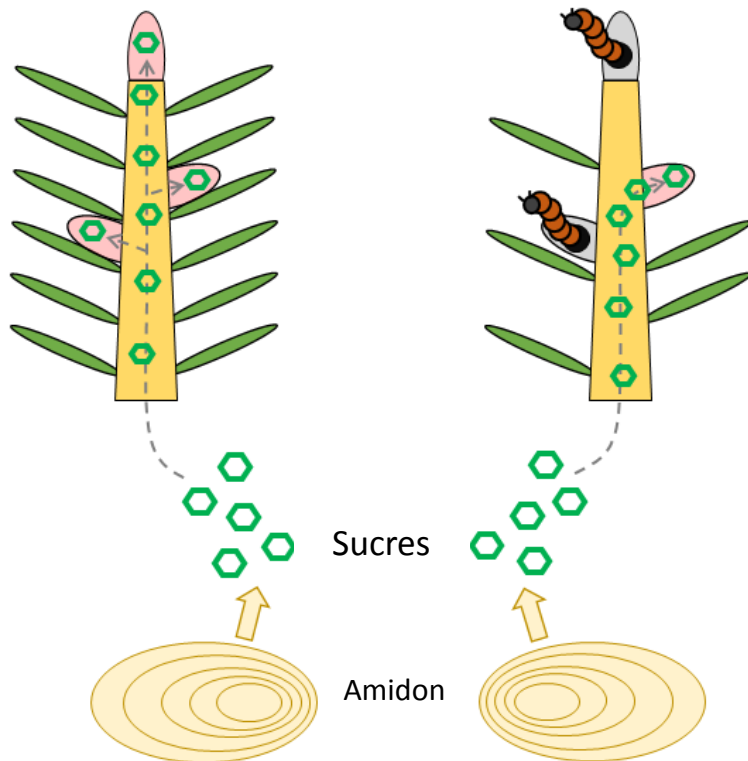
Repenser les modèles de phénologie



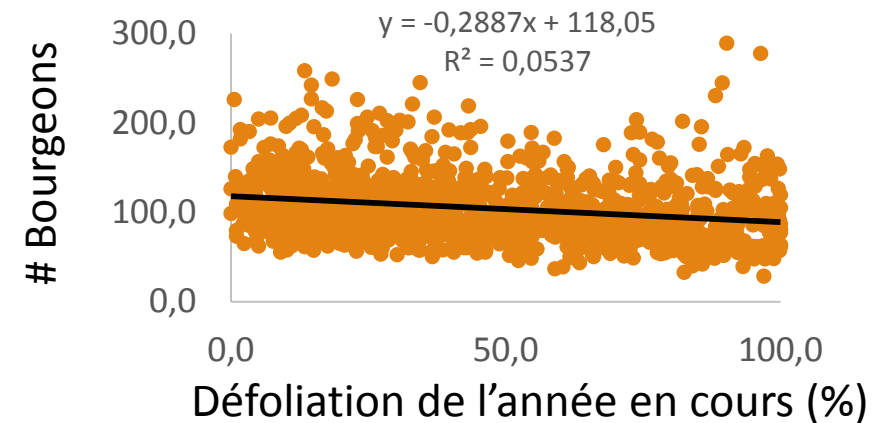
Inclure l'effet de la défoliation sur l'ouverture des bourgeons... pas facile

Branche en santé

Branche infestée par la tordeuse (TBE)



- Facteurs qui peuvent influencer
 - Partage de la biomasse (*allometric traits*)



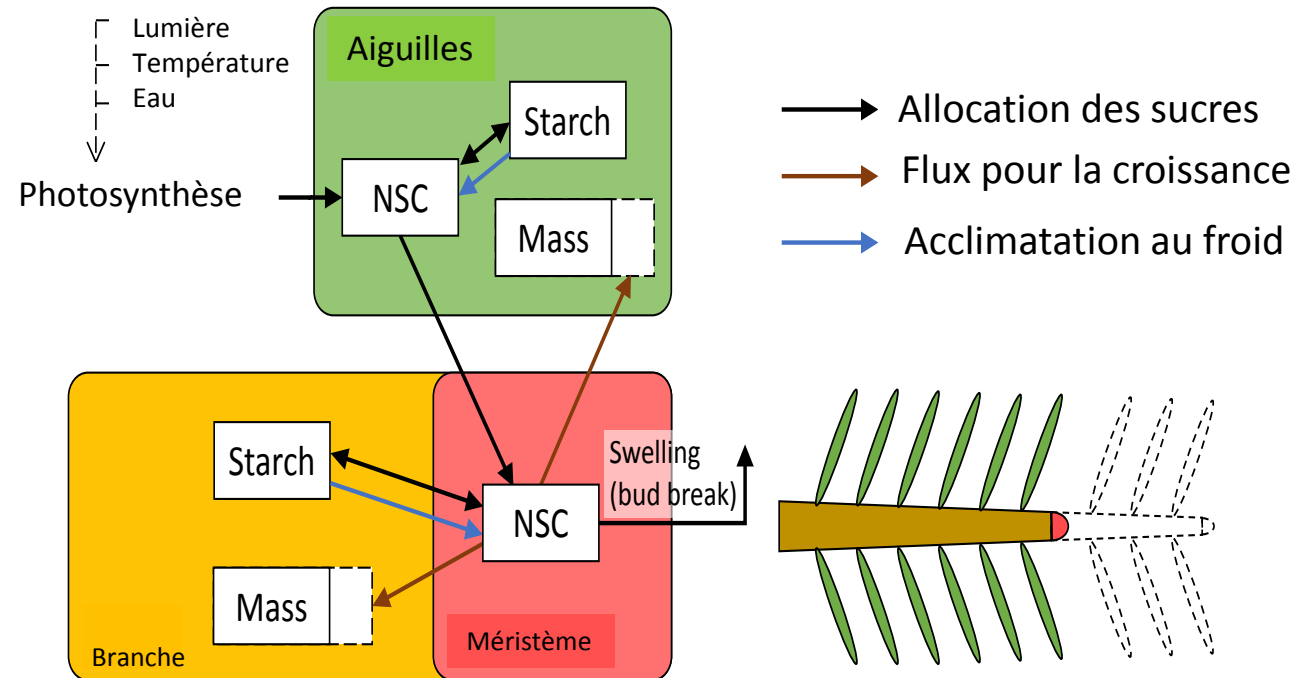
Définition d'un nouveau modèle

Inputs du modèle

- Température (°C)
- PAR ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)
- Défoliation de l'année précédente et en cours (%)

Outputs du modèle

- Ouverture des bourgeons (Jour Julien)
- Saison de croissance (Jours)
- Croissance des pousses (mm)
- Dynamique des sucres ($\text{mg}\cdot\text{gdw}^{-1}$)



En équation ça donne...

$$\frac{dS}{dt} = PS + MOBILIZATION + MOBILIZATION_{STOCK} + FROST\ HARDENING_1 + FROST\ HARDENING_2 \\ - ACCUMULATION - SWELLING - GROWTH - TRANSLOCATION \\ - FROST\ DEHARDENING_1 - FROST\ DEHARDENING_2$$

$$\frac{dSt}{dt} = ACCUMULATION + FROST\ DEHARDENING_1 - MOBILIZATION - FROST\ HARDENING_1$$

$$\frac{dM}{dt} = SWELLING \cdot \eta_S$$



$$\frac{dB}{dt} = GROWTH \cdot \frac{\eta_B}{(1 + r_{NB})}$$

$$\frac{dC}{dt} = +TRANSLOCATION + FROST\ DEHARDENING_2 - FROST\ HARDENING_2 - SINK_C \\ - MOBILIZATION_{STOCK}$$

$$\frac{dI}{dt} = c \cdot \left(\frac{dM}{dt} + \frac{dB}{dt} \right) - r_I \cdot I \cdot RC_F$$

- Modélisation de plusieurs processus physiologiques:
 - Photosynthèse
 - Accumulation et la mobilisation des réserves
 - Acclimatation et déacclimatation au froid
 - Augmentation du poids des bourgeons (SWELLING)
 - Croissance de la nouvelle pousse (GROWTH)
 - Réduction de la masse des bourgeons pour la défoliation

Développement étape par étape!

| | Design expérimental | Variables biologiques | Perturbations | Climat | Prédictions |
|---|--|--|---|--|--|
| 1) Développement et étalonnage du modèle (en serre) | <ul style="list-style-type: none"> • 2015-2016 • Arbres de 4 ans • Épinette noire, épinette blanche, sapin baumier (Deslauriers et al., 2019) | Biomasse tige, aiguilles Croissance apicale Débourrement des bourgeons terminaux (Dhont et al., 2010; Rossi and Isabel, 2017) | Intensités de défoliation (%) de l'année en cours et de l'année précédente (Fettes, 1950; Piene et al., 1981) Temps (Jour julien) | Rayonnement photosynthétiquement actif, Température de l'air quotidienne, Température annuelle moyenne in situ (Antonucci et al., 2015; Deslauriers et al., 2019) et extraits par BioSIM version 11 Temps (Jour julien) | Date ouverture bourgeons Durée de la saison de croissance Longueur des pousses Dynamique des sucres |
| 2) Étalonnage du modèle en forêt (parcelle expérimentale suivi à long terme) | <ul style="list-style-type: none"> • 2011 à 2019 • Épinette noire, sapin baumier (Huang et al., 2014) | Amidon  Sucres totaux (Huang et al., 2014; Antonucci et al., 2015; Deslauriers et al., 2019) Temps (Jour julien) | | | |
| 3) Validation du modèle en forêt (déploiement à grande échelle) | <ul style="list-style-type: none"> • 2015 à 2018 • Arbres matures • Épinette noire, sapin baumier • 20 parcelles | Nombre d'individus par stade de développement des bourgeons (Modifié de Juneau 1989)  Temps (Jour julien) | | | |

Simulations du modèle: Exemple épinette noire, septembre – août

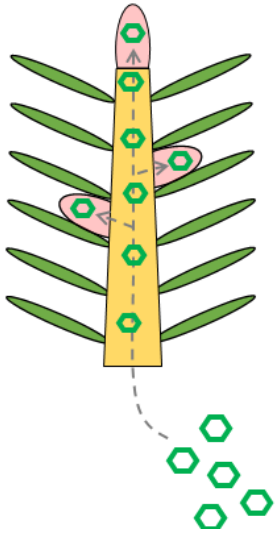


O Mesuré
— Simulé

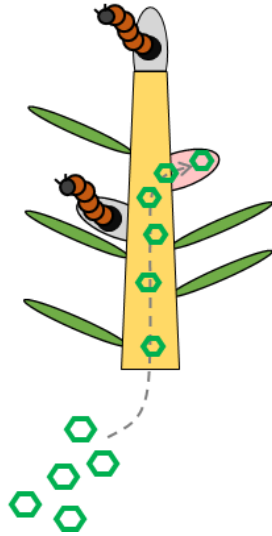


X Mesuré
— Simulé

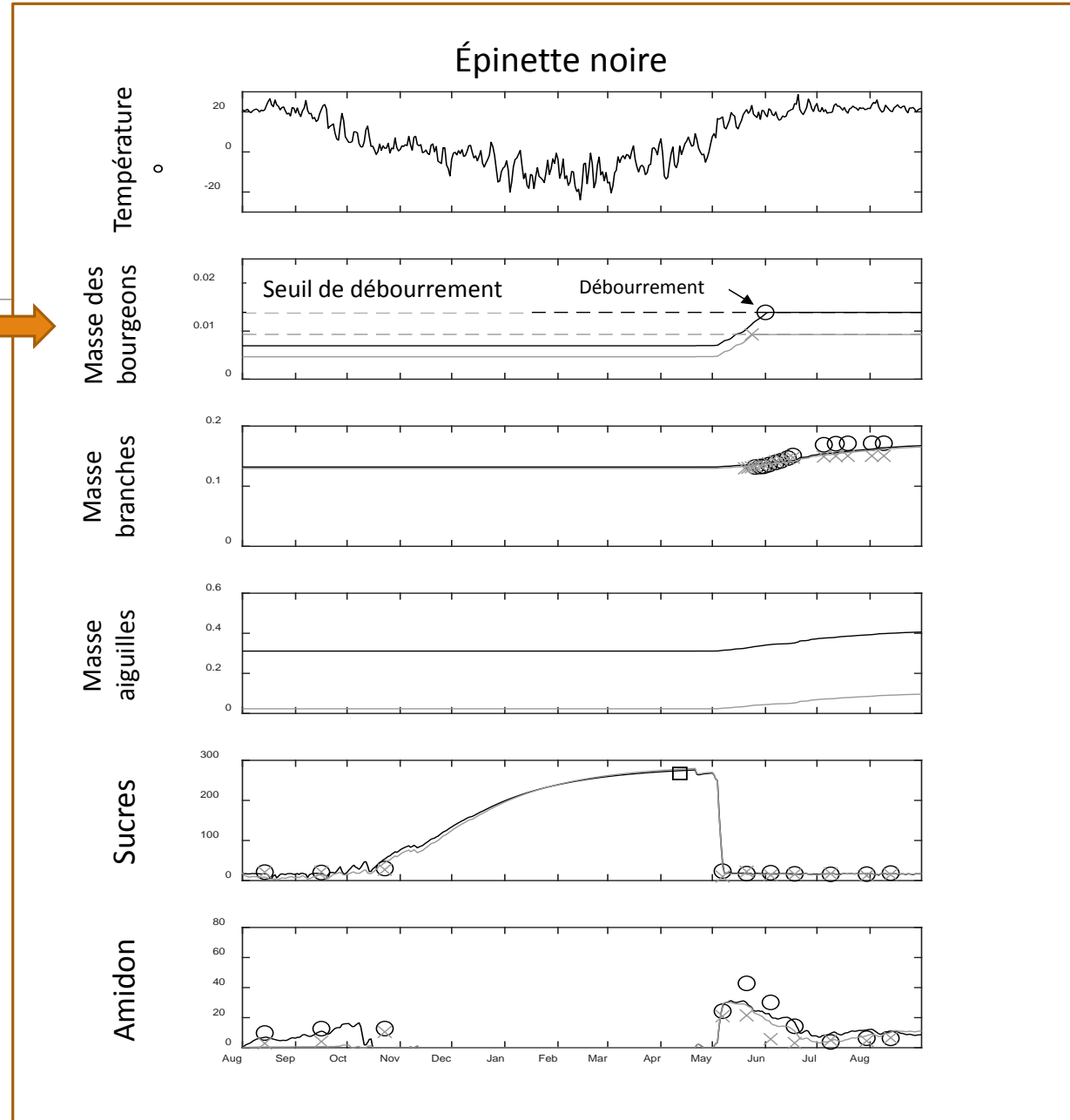
Branche en santé



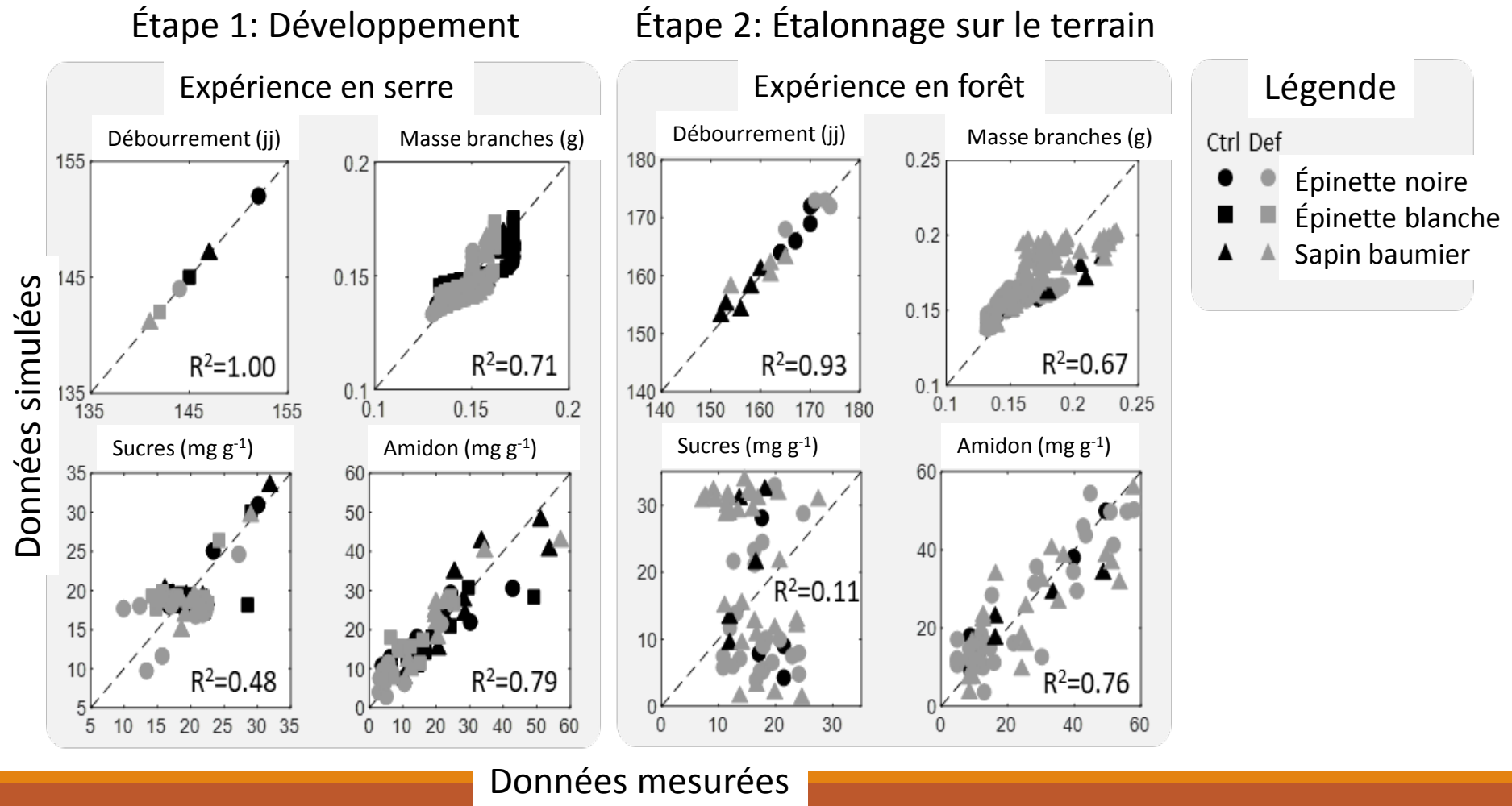
Branche affectée par la tordeuse (TBE)



Masse des bourgeons
↓
Débourrement plus tôt



Performance du modèle: Étapes 1-2



Performance du modèle: Étapes 2

Série chronologique avant et après défoliation

Parc des
Monts-Valin
(Saguenay)

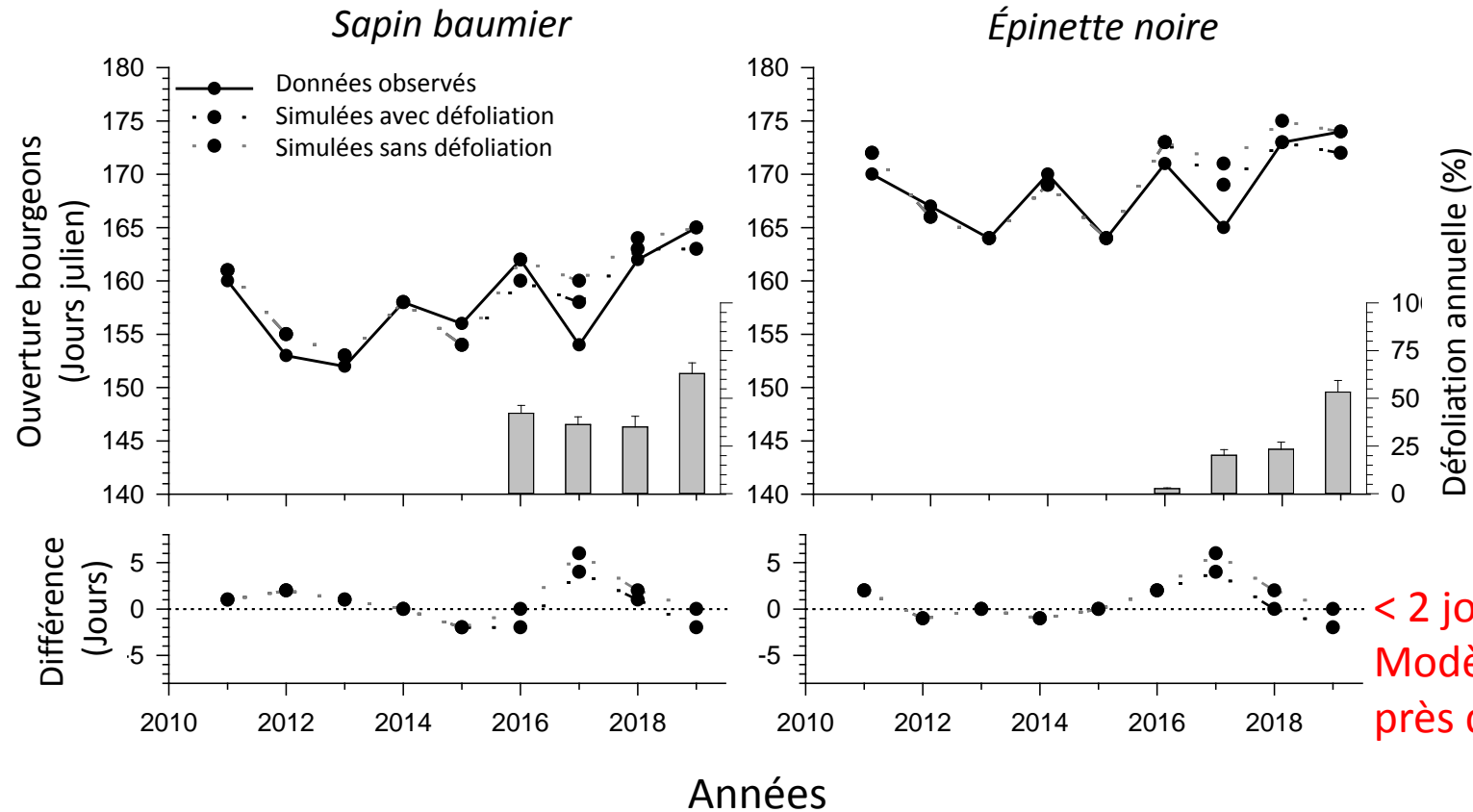
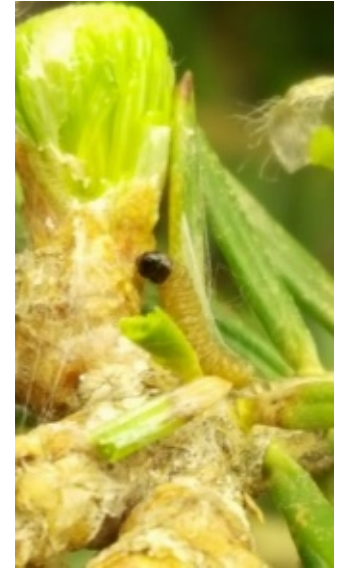
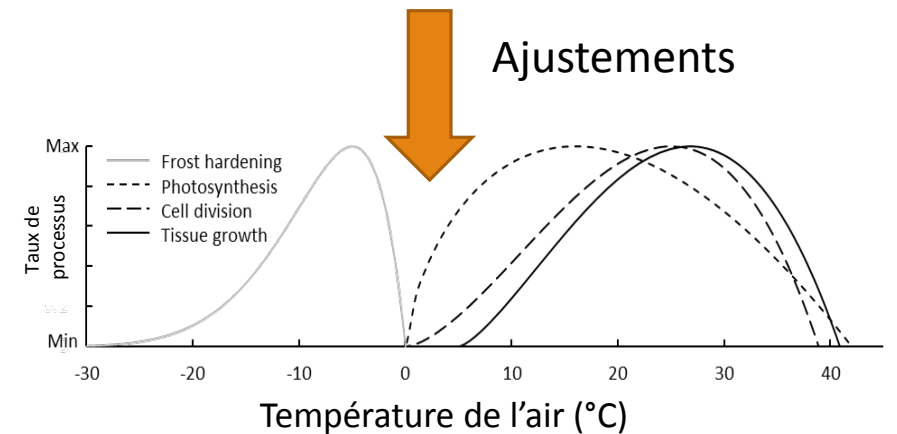
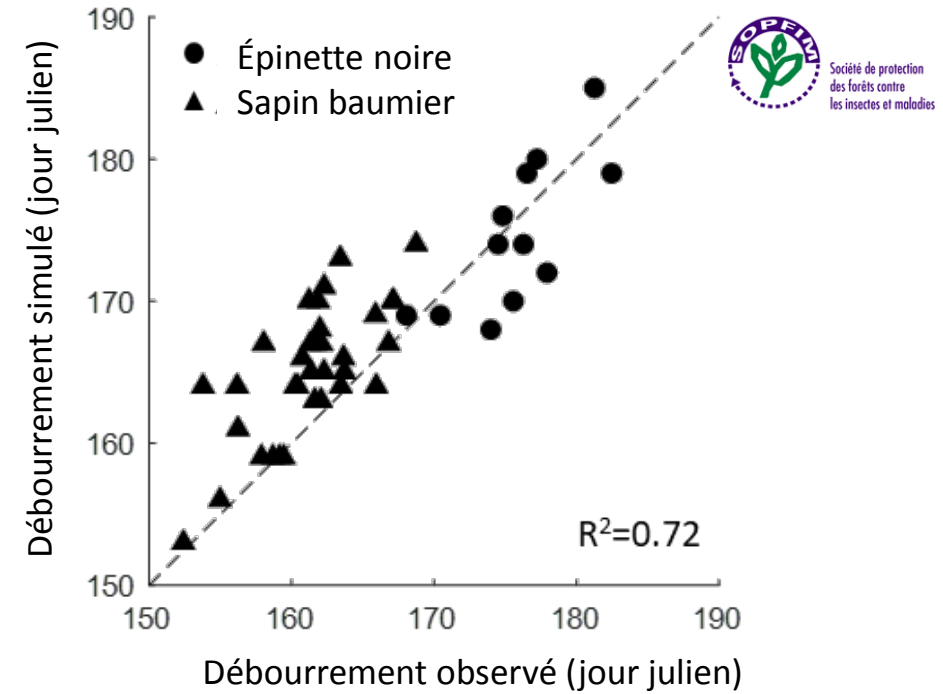
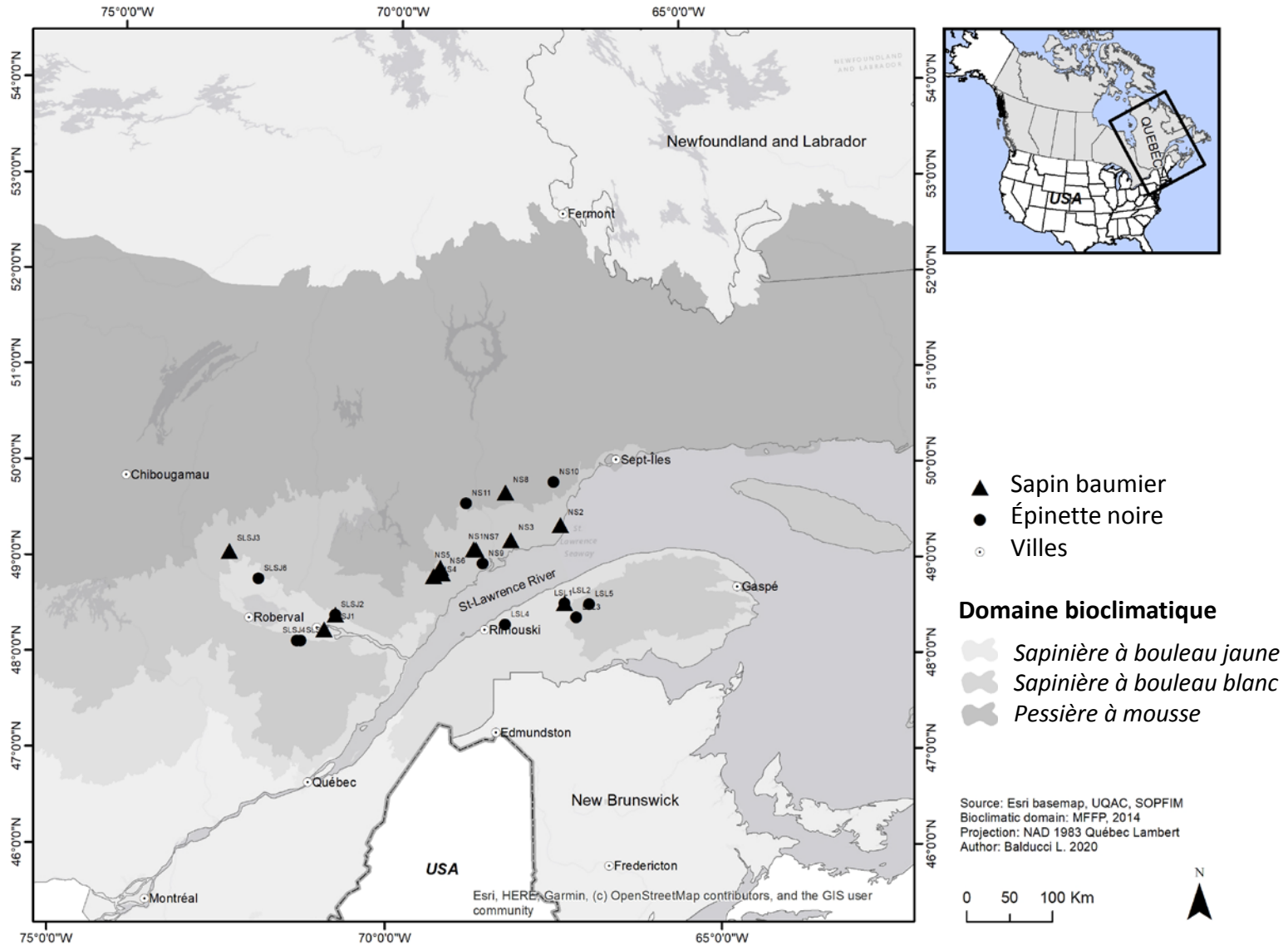


Photo: Hiba Bouzidi



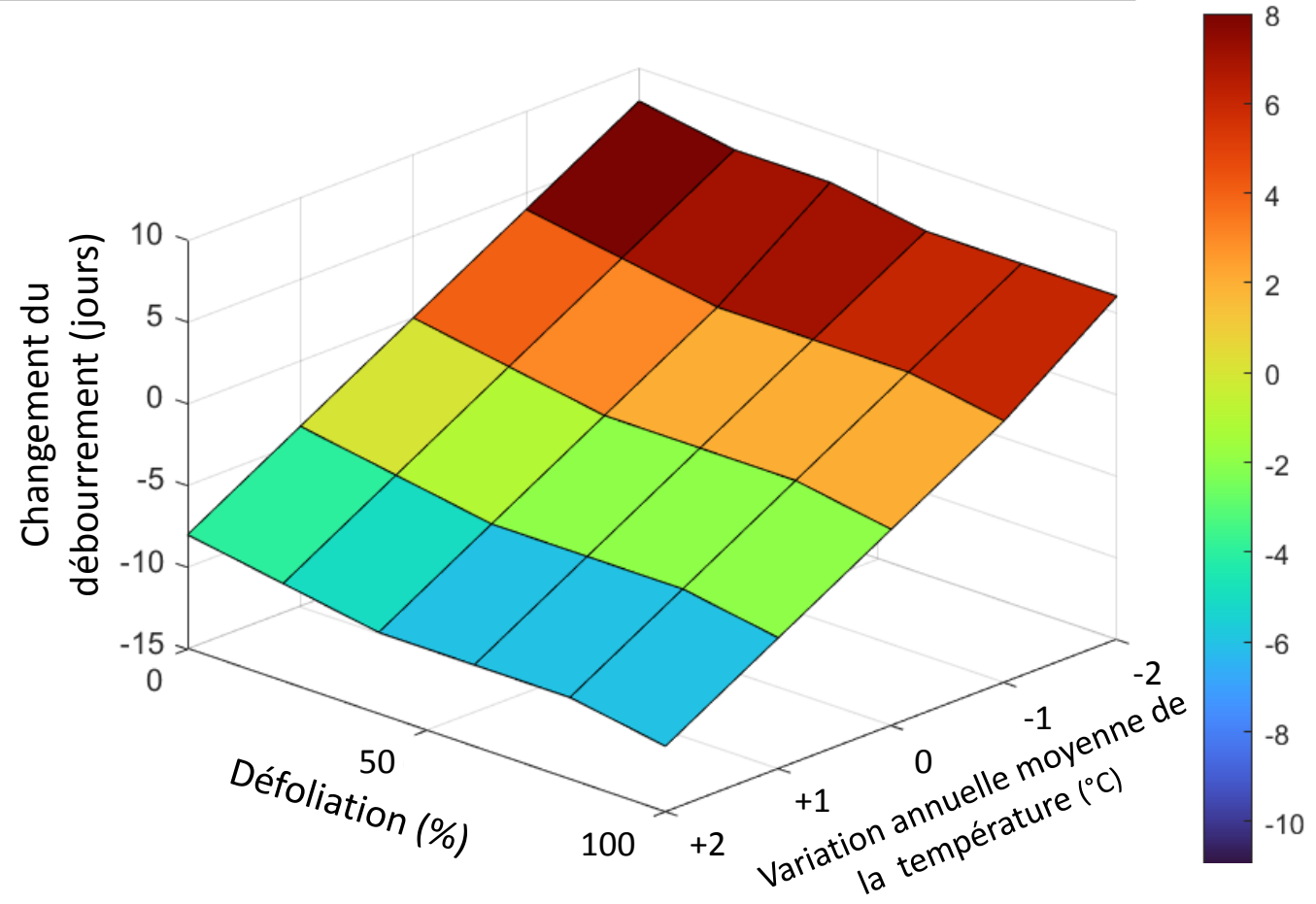
< 2 jours de différence
 Modèle avec défoliation plus
 près des valeurs observées

Performance du modèle: Étapes 3 (données SOPFIM)



Prédiction de l'ouverture des bourgeons en fonction de la température

- **Effet de la température**
 - ▣ anticipation lorsque plus chaud
 - ▣ retard lorsque plus froid



Conclusion et suite

- **Activités en cours :**

- **Projet avec Ressources Naturelles Canada:**

- Codage du modèle dans BioSIM
 - Étalonnage de 4 espèces (EPN, SAB, EPB, EPO), de l'Alberta à Terre-Neuve
 - Années de reproduction (retarde la phénologie)

- **Applications à grande échelle pour**

- Opération d'arrosage de *Btk*
 - Simulation de la phénologie (Changements climatiques, défoliation, etc.)



Photos
Hiba Bouzidi
Valérie Néron

Merci pour votre attention !
Merci à toute mon équipe UQAC et mes nombreux collaborateurs

UQAC

Université du Québec
à Chicoutimi



Société de protection
des forêts contre
les insectes et maladies

**Forêts, Faune
et Parcs**

Québec



Les gens. La découverte. L'innovation.

