

# Vulnérabilité des forêts de la Gaspésie à la sécheresse et aux ravageurs exotiques

Isabelle Aubin, Laura Boisvert-Marsh & coll.

*Service canadien des forêts - RNCAN*

*Centre de foresterie des Grands-Lacs, Sault Sainte Marie, Ontario*

*Mai 2023*



Natural Resources  
Canada

Ressources naturelles  
Canada

Canada

# Changements globaux Stresseurs sur nos forêts



- Sécheresse
- Épidémies d'insectes
- Feu
- Inondation
- Canicule
- Évènements extrêmes

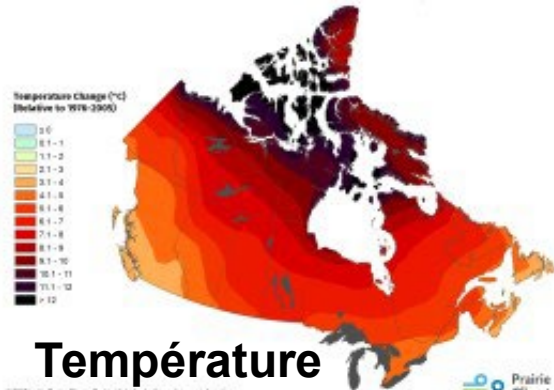


Conditions de  
croissance altérées

*Plus fréquent, intense, de longue durée*

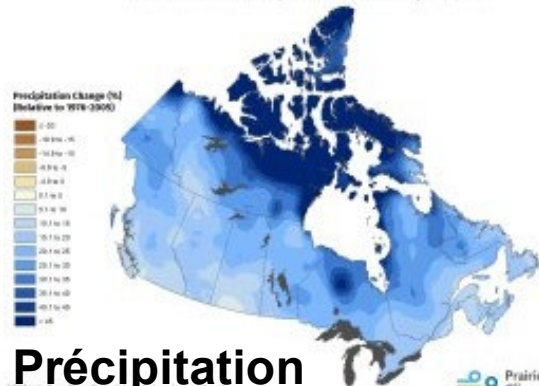
<https://www.nrcan.gc.ca/forests/climate-change/forest-change/17772>  
<https://www.nrcan.gc.ca/forests/climate-change/forest-change/17780>

2051-2080 Projected Change in Mean Temperature: December  
Under the RCP6.5 scenario, relative to a baseline of 1976-2005

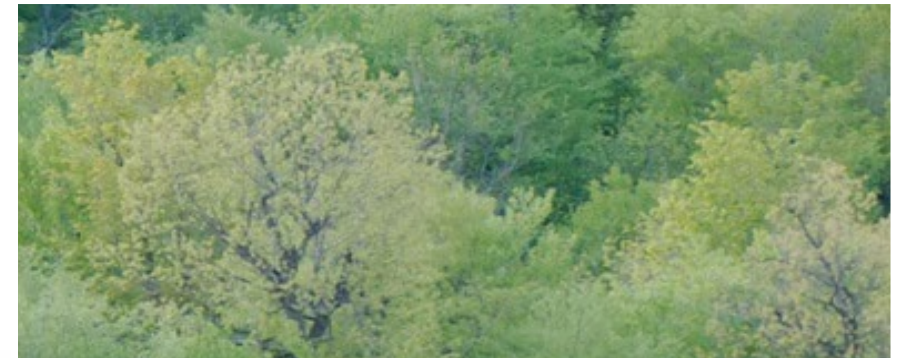


Température

2051-2080 Projected Change in Total Precipitation: December  
Under the RCP6.5 scenario, relative to a baseline of 1976-2005



Précipitation



# Épisodes de sécheresse causant de la mortalité

- Phénomène mondial
- Plus fréquent, intense et de longue durée



## Los Angeles Times

CALIFORNIA

In a dramatic spike, 36.3 million trees died in California last year. Drought, disease blamed



ARTICLE

<https://doi.org/10.1038/s41467-020-19924-1> OPEN

Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe

Cornelius Senf<sup>1,2</sup>, Allan Buras<sup>2</sup>, Christian S. Zang<sup>2</sup>, Anja Rammig<sup>2</sup> & Rupert Seidl<sup>1,3</sup>



Forest Ecology and Management

Volume 432, 15 January 2019, Pages 164–178

Tree mortality following drought in the central and southern Sierra Nevada, California, U.S. ☆

Christopher J. Fettig<sup>3</sup>, Leif A. Mortenson<sup>3</sup>, Beverly M. Bulaon<sup>4</sup>, Patra B. Foulk<sup>4</sup>

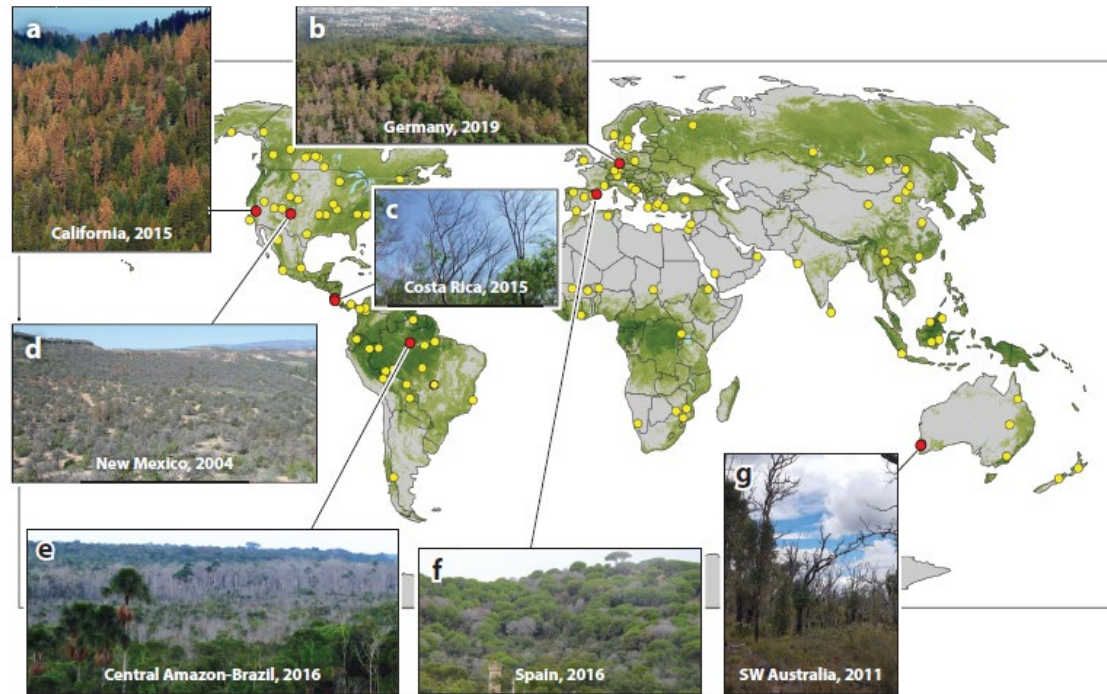


Figure 1

Published observations of elevated tree mortality in response to drought and heat (yellow dots). These documented observations have

A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests

Craig D. Allen<sup>a,\*</sup>, Alison K. Macalady<sup>b</sup>, Haroun Chenchouni<sup>c</sup>, Dominique Bachelet<sup>d</sup>, Nate McDowell<sup>e</sup>, Michel Venetier<sup>f</sup>, Thomas Kitzberger<sup>g</sup>, Andreas Rigling<sup>h</sup>, David D. Breshears<sup>i</sup>, E.H. (Ted) Hogg<sup>j</sup>,



Annual Review of Plant Biology

Climate Change Risks to Global Forest Health: Emergence of Unexpected Events of Elevated Tree Mortality Worldwide

Henrik Hartmann,<sup>1</sup> Ana Bastos,<sup>2</sup> Adrian J. Das,<sup>3</sup> Adriane Esquivel-Muelbert,<sup>4,5</sup> William M. Hammond,<sup>6</sup> Jordi Martínez-Vilalta,<sup>7,8</sup> Nate G. McDowell,<sup>9,10</sup> Jennifer S. Powers,<sup>11</sup> Thomas A.M. Pugh,<sup>4,5,12</sup> Katinka X. Ruthrof,<sup>13,14</sup> and Craig D. Allen<sup>15</sup>

Annu. Rev. Plant Biol. 2022.73:673-702



# Ravageurs exotiques

Tandis que nos forêts subissent des sécheresses et des modifications de leur conditions de croissance

L'introduction de ravageurs exotiques est favorisée par les échanges commerciaux



Photo credit: Luis Alfredo Romero



## La spirale de la mortalité

Allen et al. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. Forest Ecology and Management.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>

## Brûlure du chataignier

1900



npr.org

## Maladie hollandaise de l'orme

1940



## Agrile du frêne

2000



## Vulnérabilité des forêts de la Gaspésie?



<https://www.nrcan.gc.ca/forests/climate-change/impacts>







**Tree traits and climate change working group**



**John Pedlar**



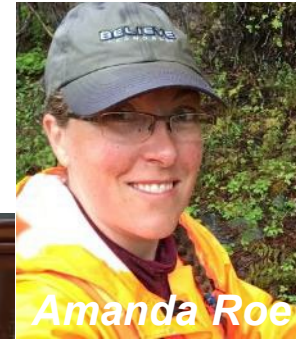
**Frédérik Doyon**



**Ted Hogg**



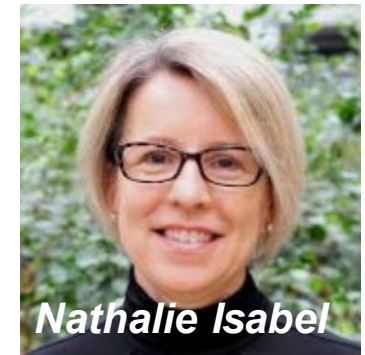
**Dan McKenney**



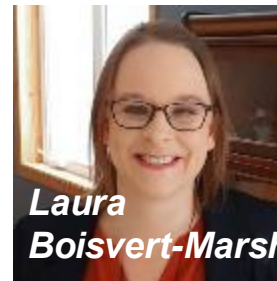
**Amanda Roe**



**Catherine Ste Marie**



**Nathalie Isabel**



**Laura Boisvert-Marsh**



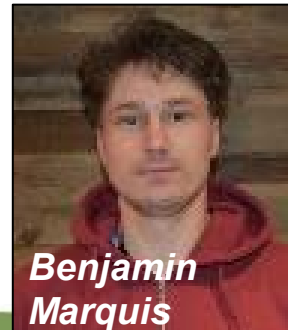
**Hedi Kebli**



**Laura Scott**



**Samuel Royer-Tardif**



**Benjamin Marquis**



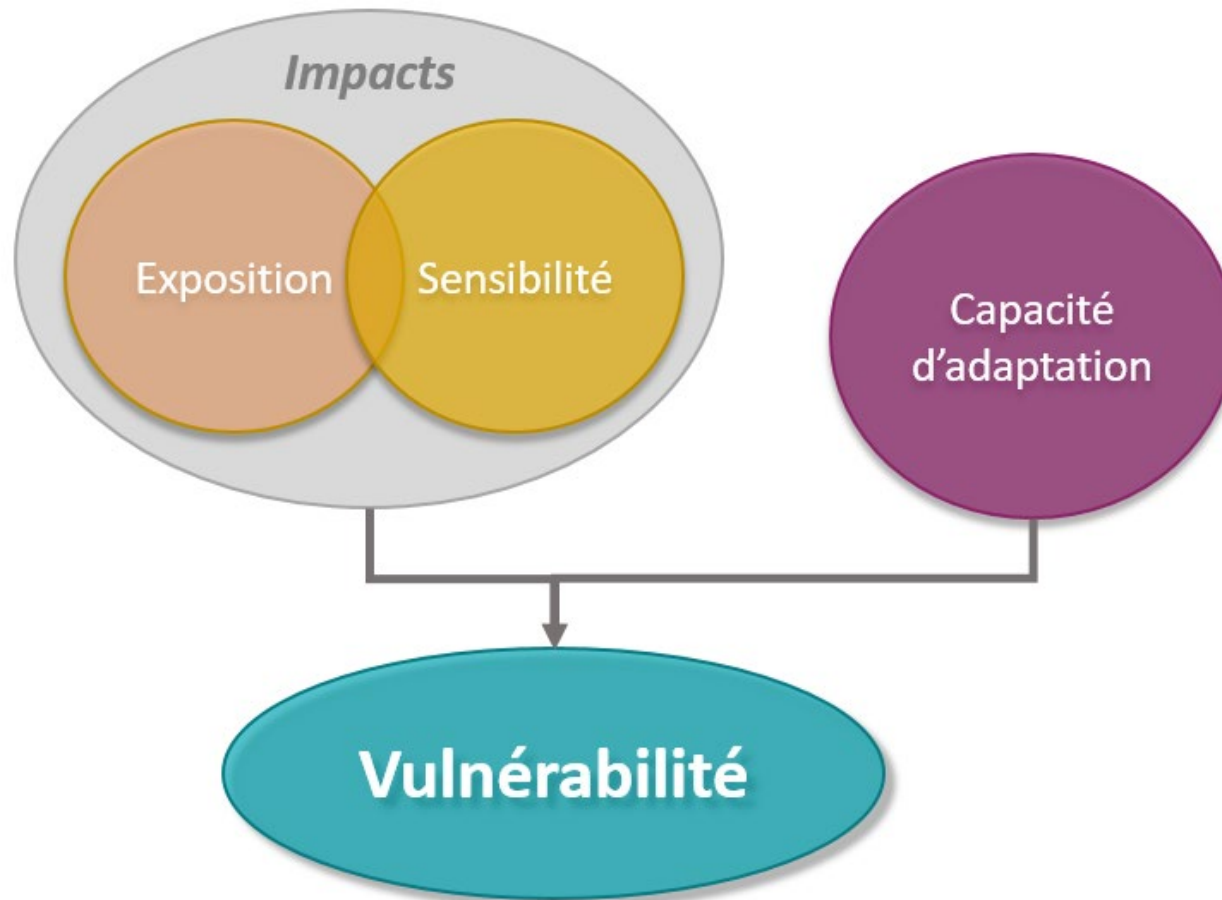
**Forest Change**



**Et plusieurs autres!...**



# Les composantes clés dans l'évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques



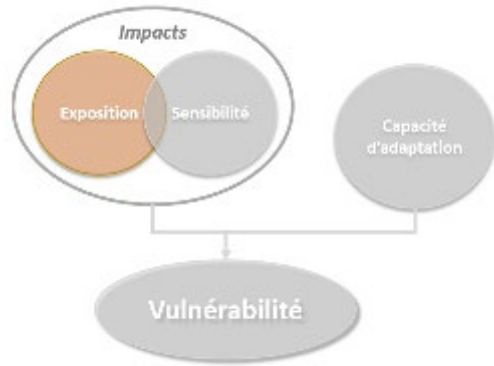
**Exposition:** Degré de changement environnemental que connaîtra un individu (caractère, magnitude et taux)

**Sensibilité:** Degré auquel cet individu risque d'être affectée par ce changement

**Capacité d'adaptation:** Capacité de tolérer ou de s'acclimater aux changements environnementaux

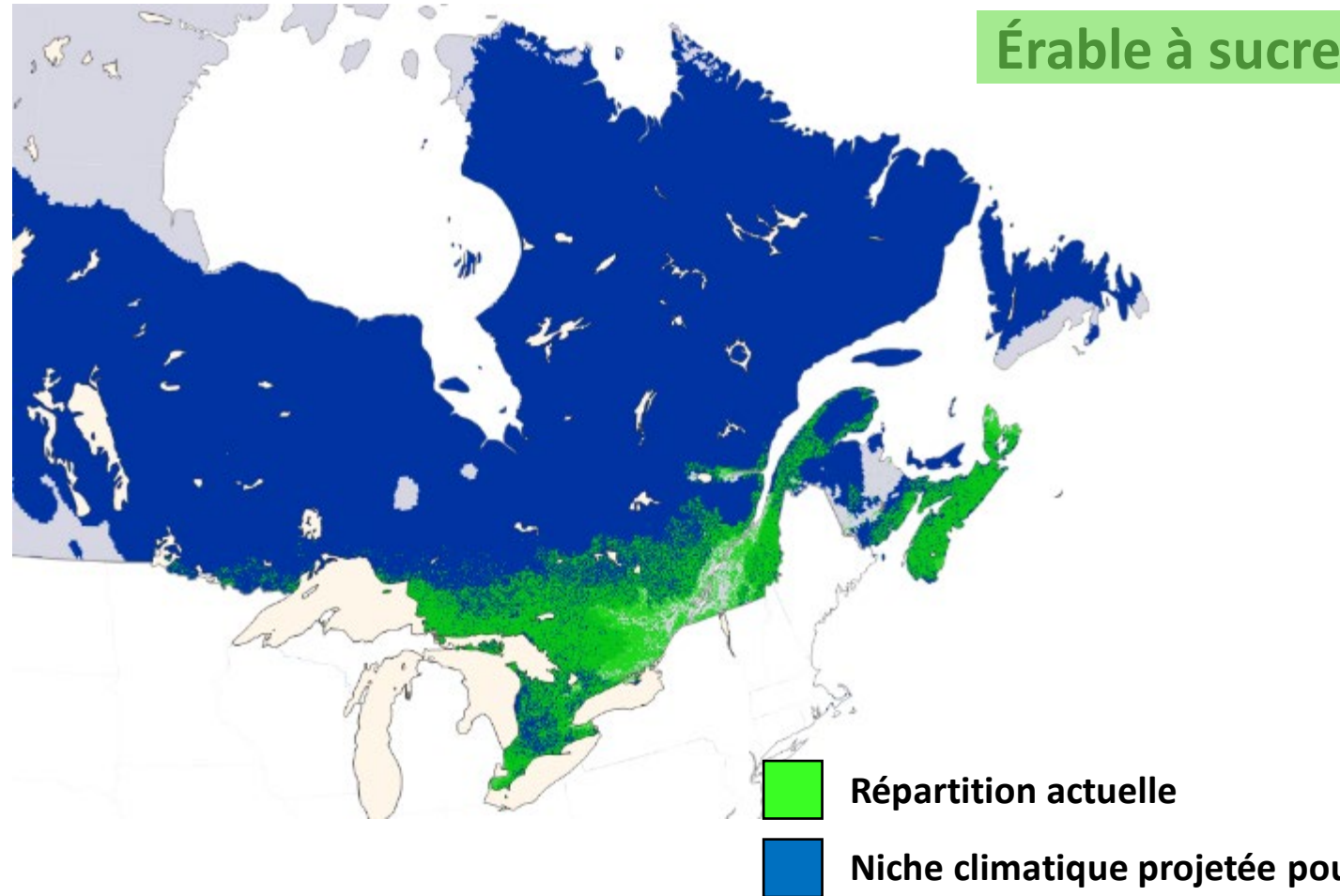
*La **vulnérabilité** d'une espèce est fonction de sa **sensibilité**, de son **exposition** aux changements environnementaux et de sa **capacité de s'adapter** à ces changements*





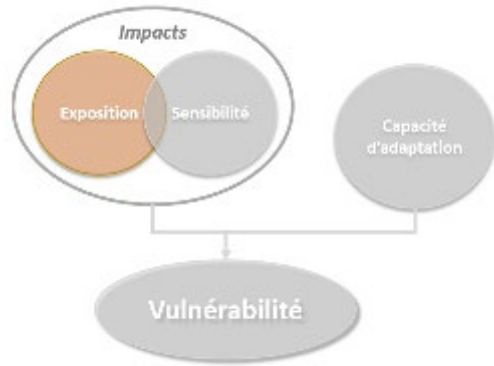
# L'exposition aux changements climatiques

*Exemple: niche climatique*



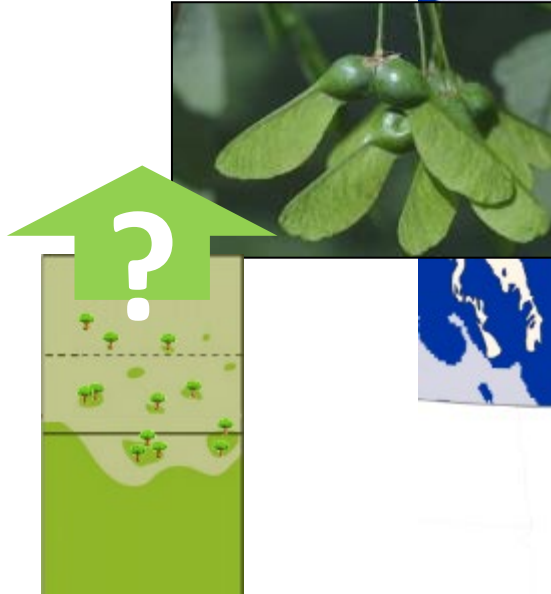
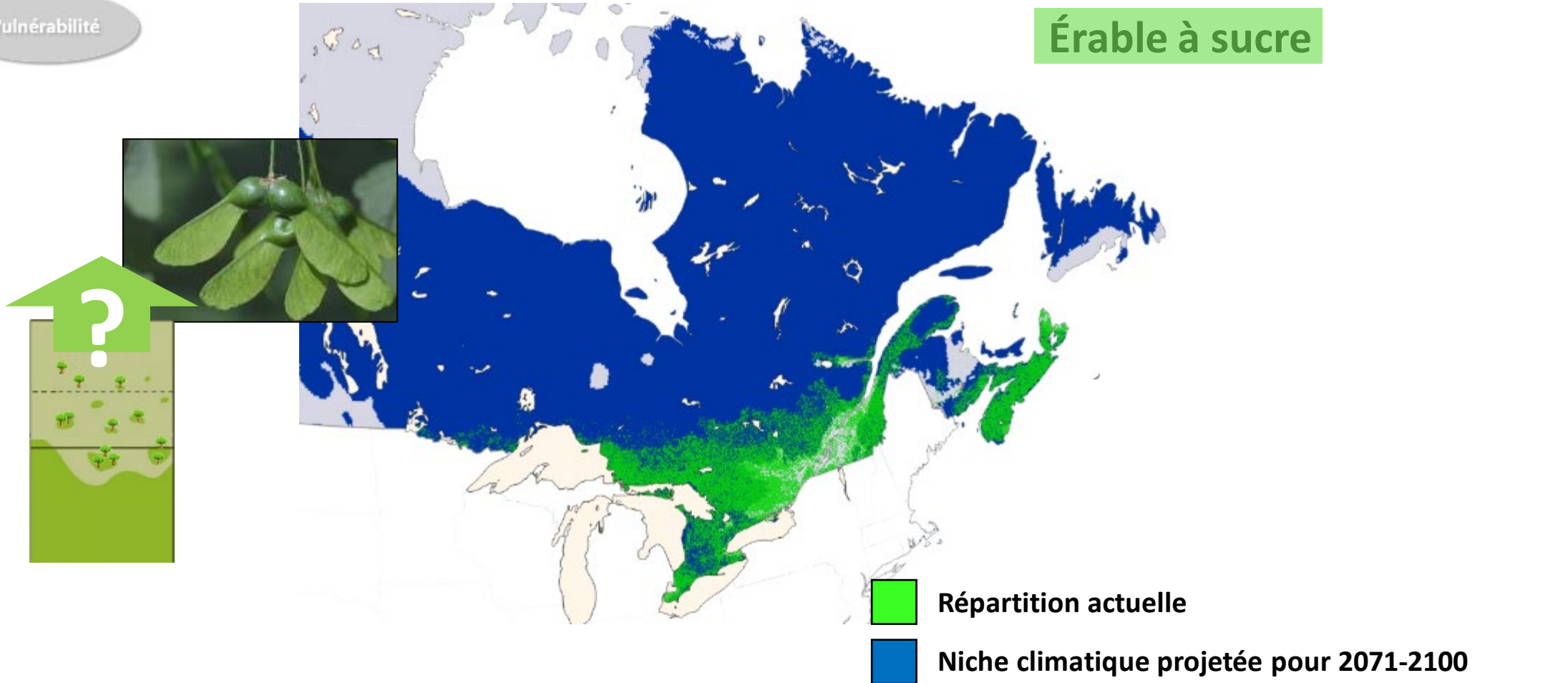
Scénario climatique: RCP 8.5, CanESM2. SDM: ANUCLIM  
 McKenney et al. 2007. *BioScience*, 57(11) doi:10.1641/b571106

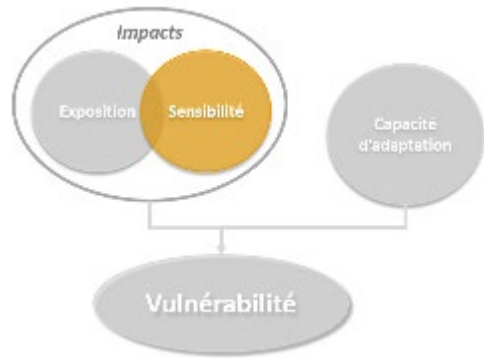




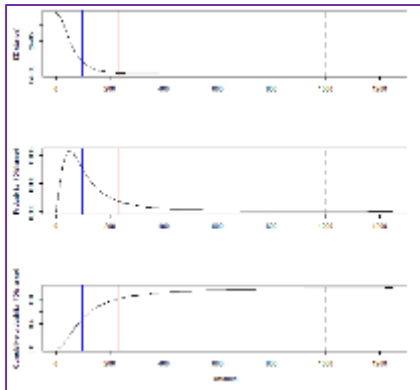
# L'exposition aux changements climatiques

*Les niches climatiques nous informent sur le degré d'exposition d'une espèce aux CC, mais pas sur la capacité de l'espèce à suivre son habitat favorable*





### Kernel de migration



#### Traits des semences:

- Poids des semences
- Mode de dispersion
- Vitesse de dispersion

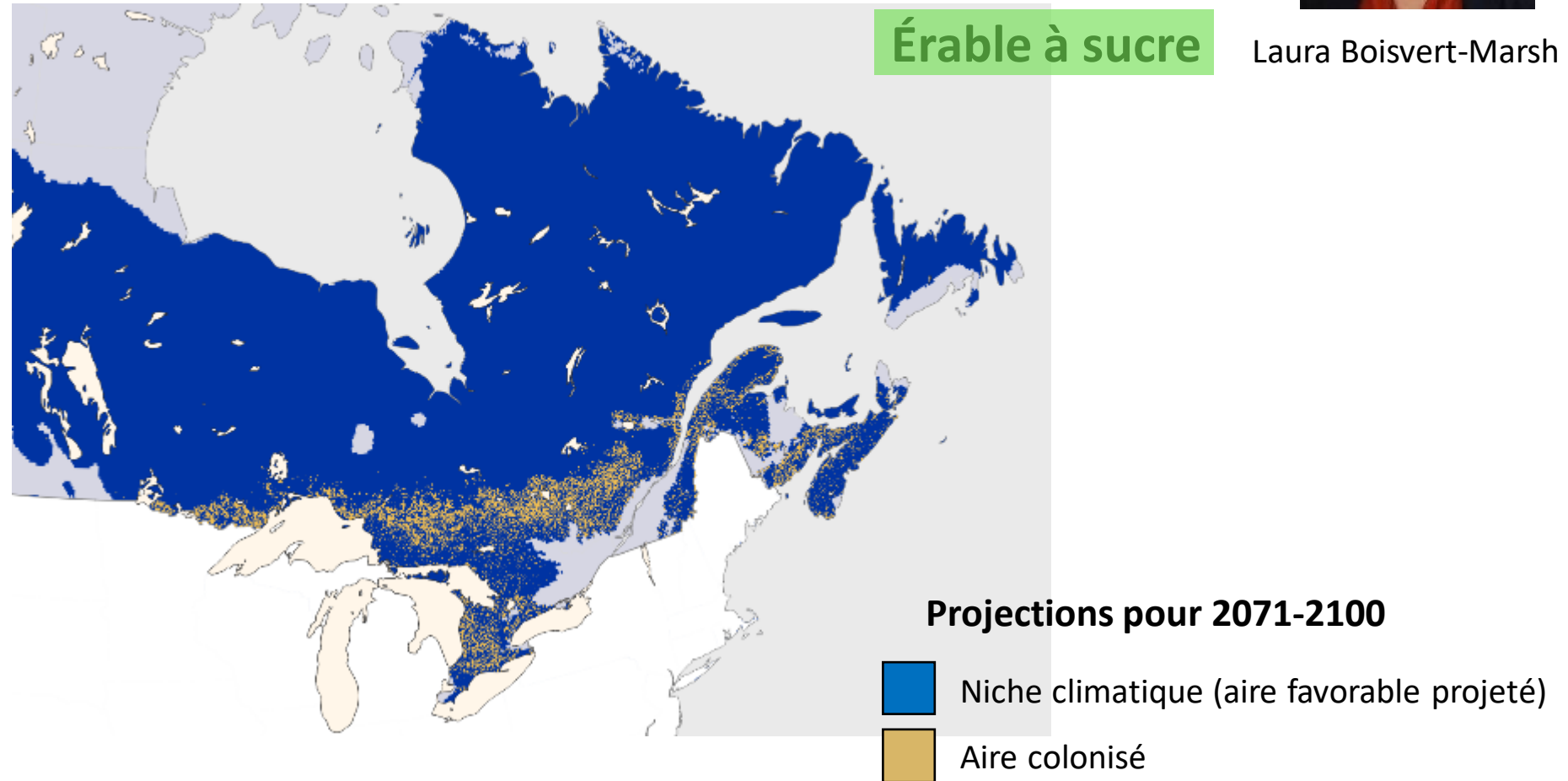
#### Traits de l'arbre:

- Hauteur
- Age à maturité
- Taux de croissance
- ...

# Inclure la capacité de migration des espèces pour améliorer les prédictions



Laura Boisvert-Marsh



Scénario climatique: RCP 8.5, CanESM2. SDM: ANUCLIM

Boisvert-Marsh et al., *Diversity & Distributions*. <https://doi.org/10.1111/ddi.13630>



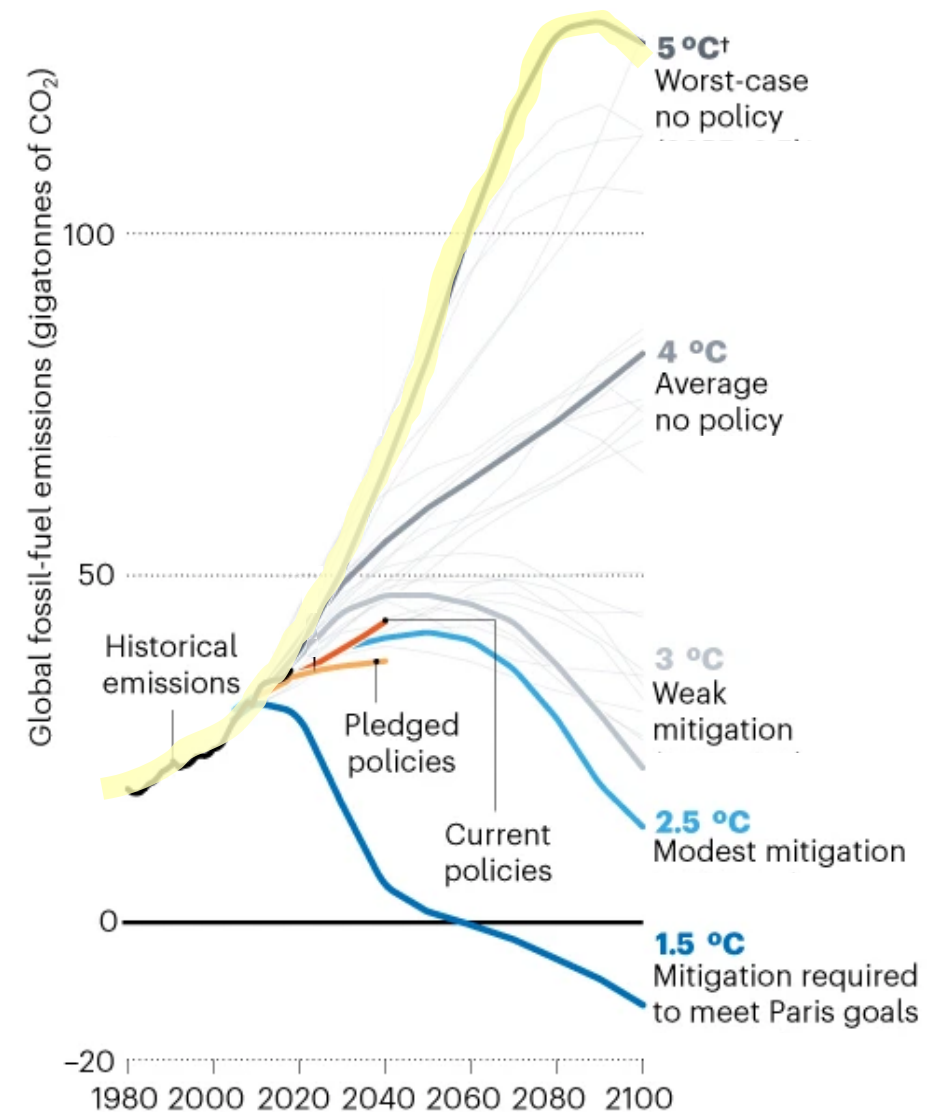
## Representative Concentration Pathways (RCPs)

Basé sur des scénarios d'émissions de Gas à effet de serre (GES)

**RCP 8.5:** “worst-case scenario”: émissions continuent d'augmenter pas de politique de mitigation, entraînant un réchauffement de 5° C d'ici 2100

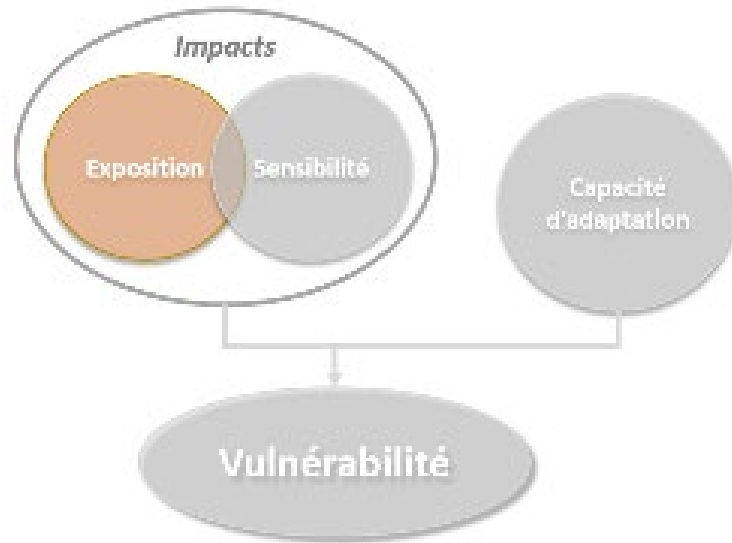
Trajectoire actuelle autour de 3 ° C (entre RCP 4.5 et 6.0)

RCP 2.6: réduction importante des émissions et politique de mitigation permettant de maintenir le réchauffement en dessous de 2° C



Adapté de Hausfather & Peters 2020. Nature  
<https://www.nature.com/articles/d41586-020-00177-3>

## Exposition à la sécheresse



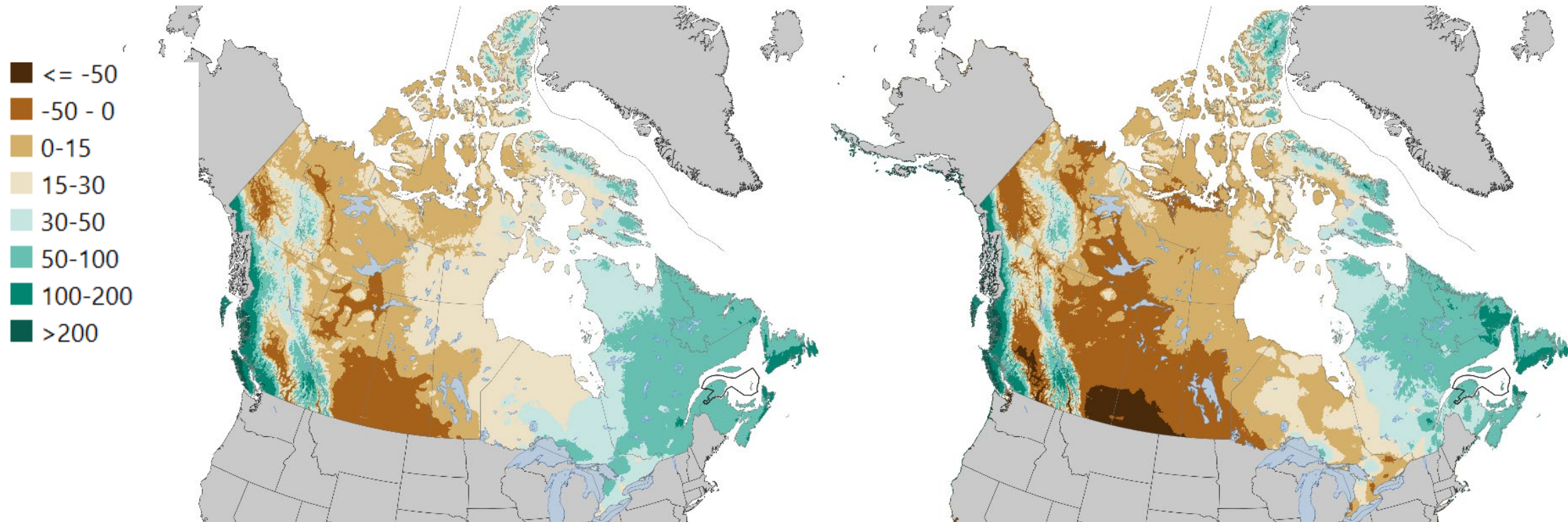
**Exposition:** Degré de changement environnemental que connaîtra un individu (caractère, magnitude et taux)

### Indice d'humidité climatique (CMI):

Un indicateur de sécheresse calculé comme la différence entre les précipitations annuelles et l'évapotranspiration potentielle (la perte potentielle de vapeur d'eau d'un paysage couvert de végétation). Ça prend donc en compte la température et les précipitations.



## Exposition à la sécheresse Indice d'humidité climatique - annuel



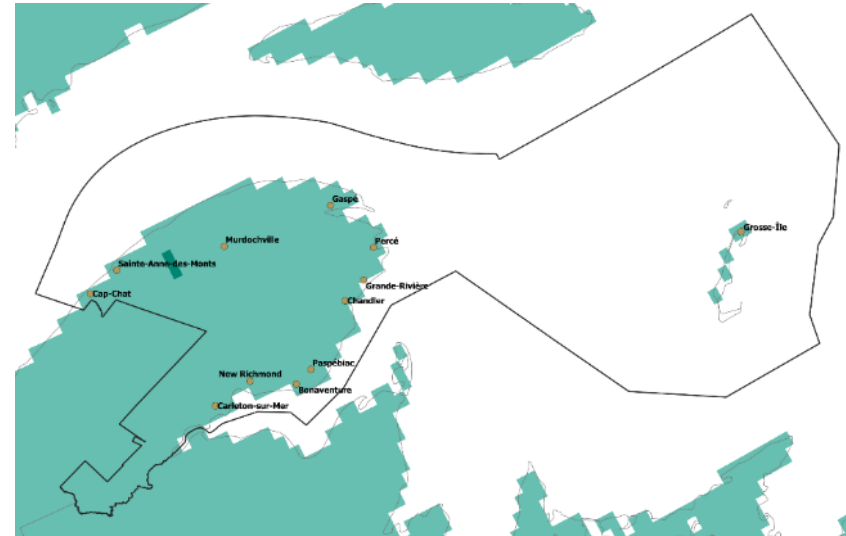
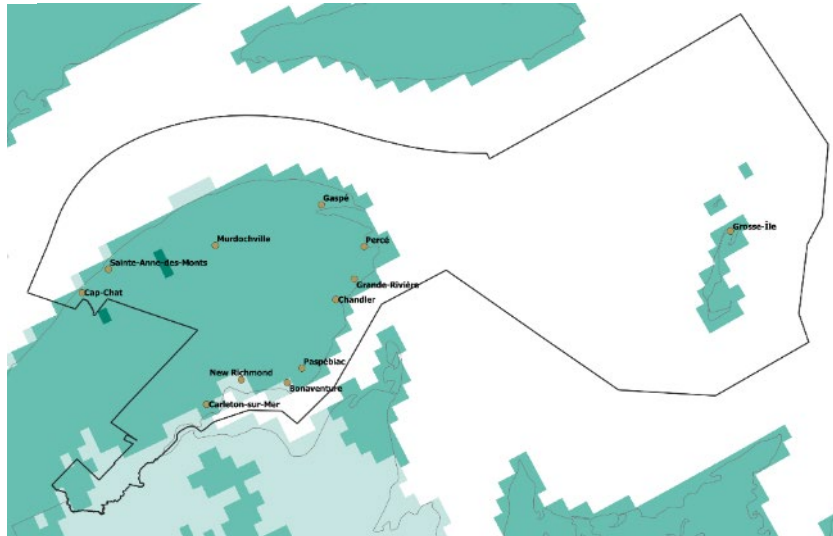
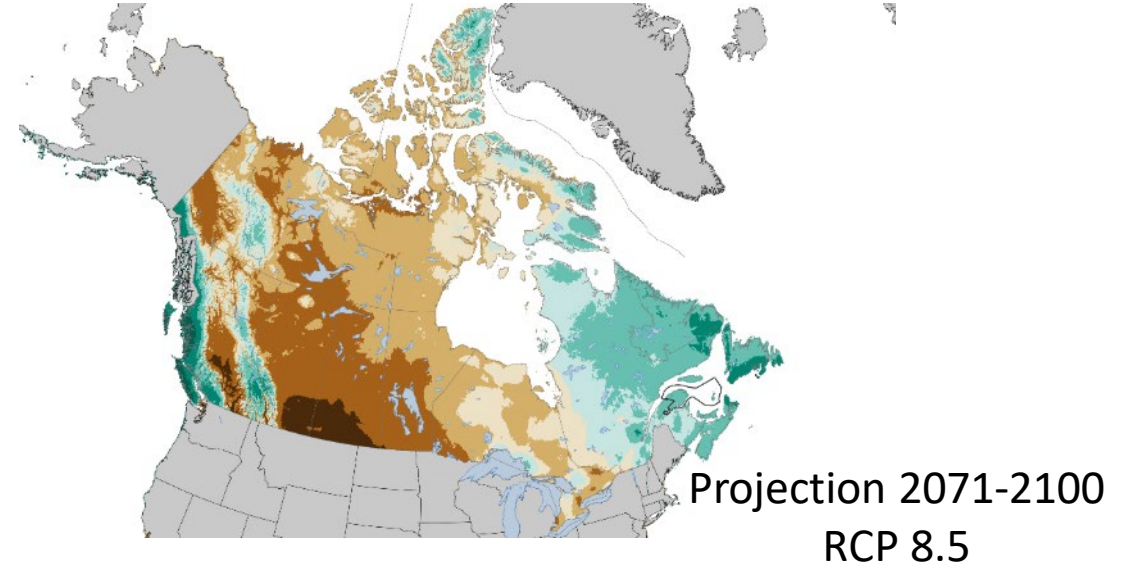
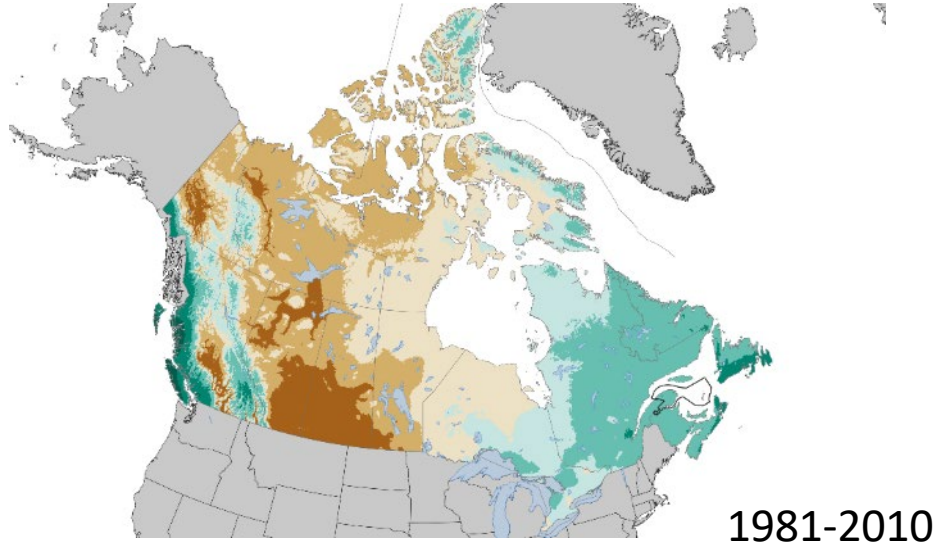
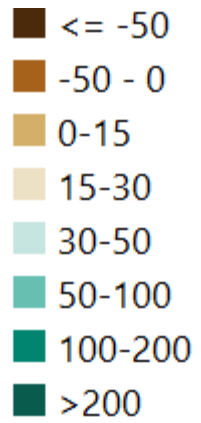
Conditions historiques: 1981-2010

Projection 2071-2100  
RCP 8.5

Plus l'indice est bas (brun), plus c'est sec...

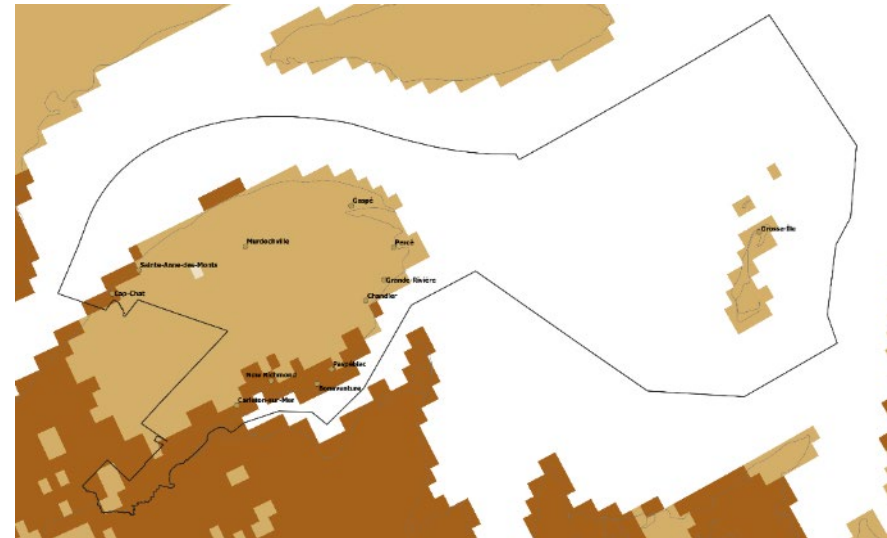
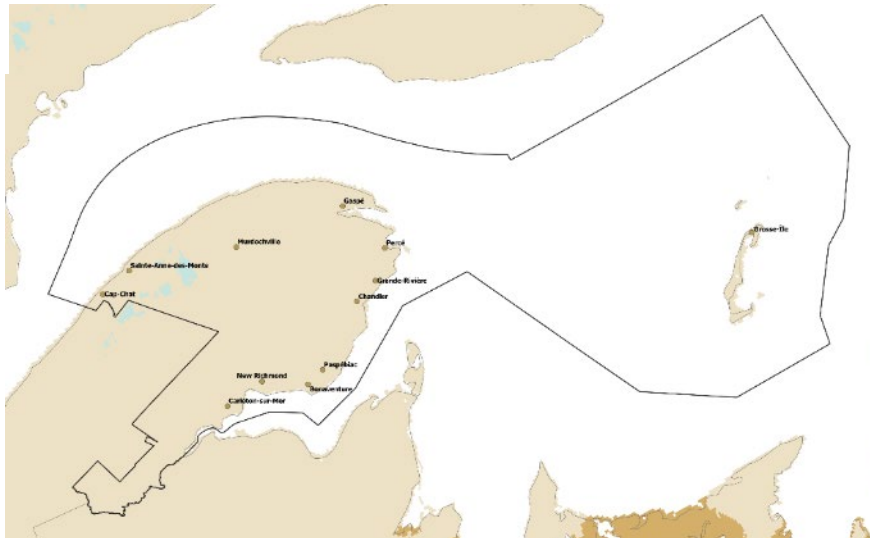
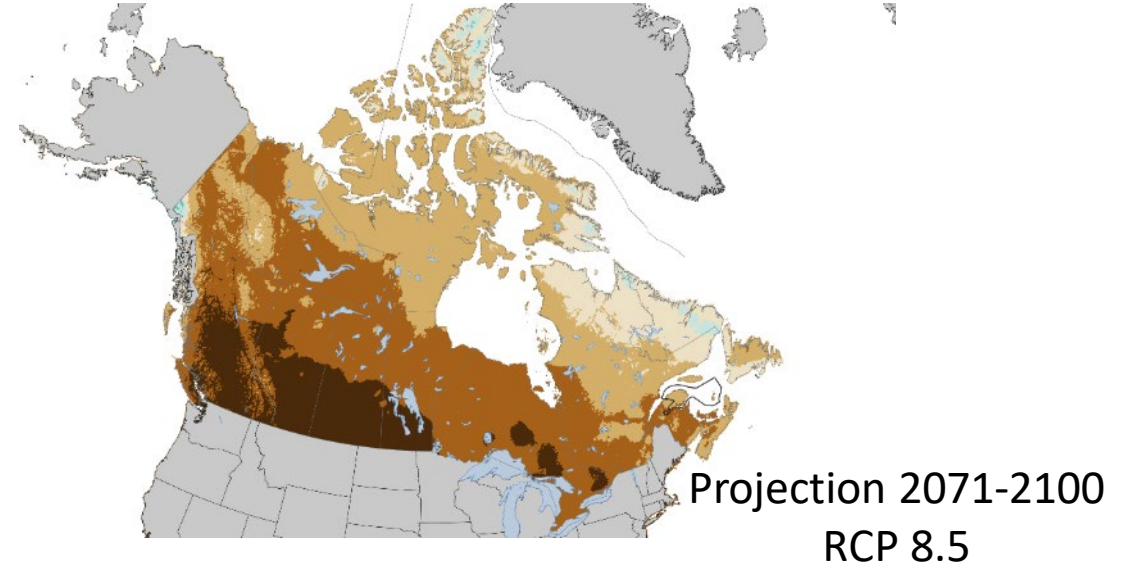
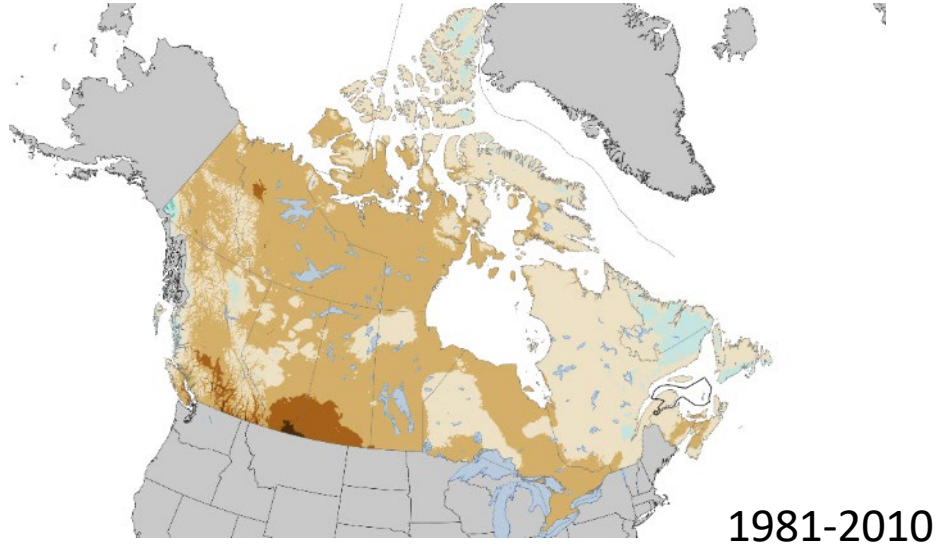
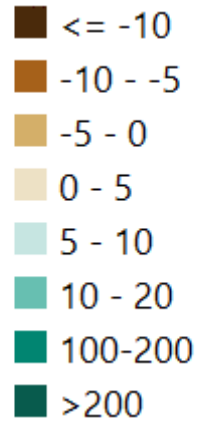


# Indice d'humidité climatique - annuel





# Indice d'humidité climatique - mois de juillet

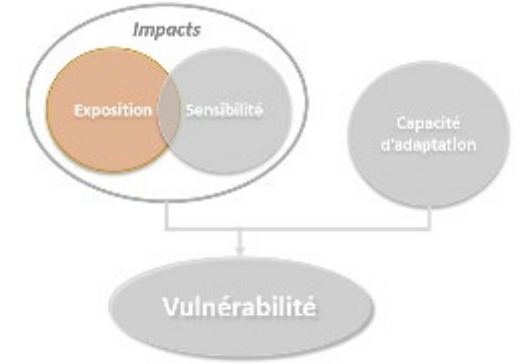
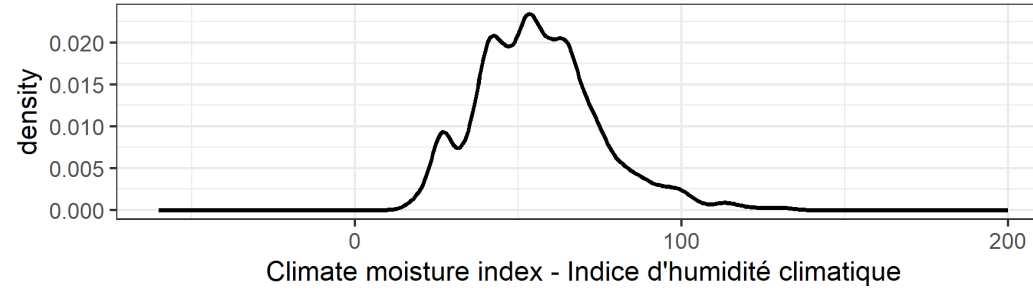


## Exposition à la sécheresse

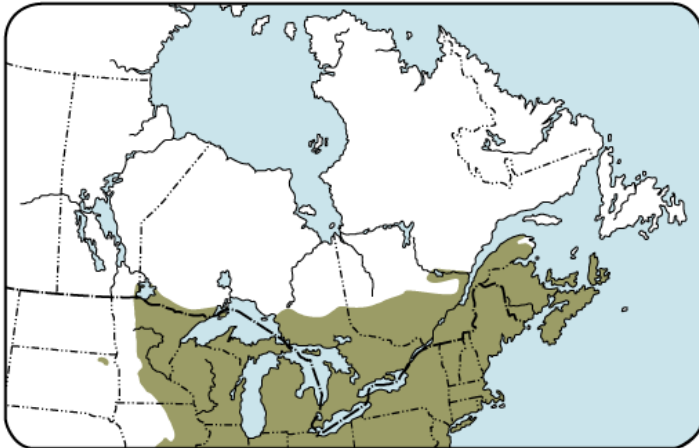
### Érable à sucre



### Niche hydrique de l'érable à sucre au Canada



Niche hydrique: les conditions hydriques dans lesquels l'espèce est retrouvé – ici calculé pour la distribution de l'érable à sucre au Canada

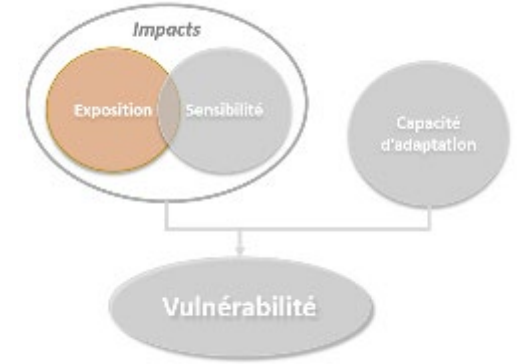
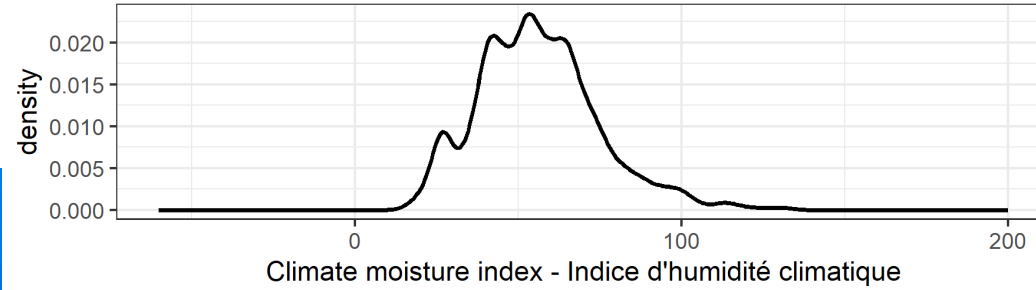




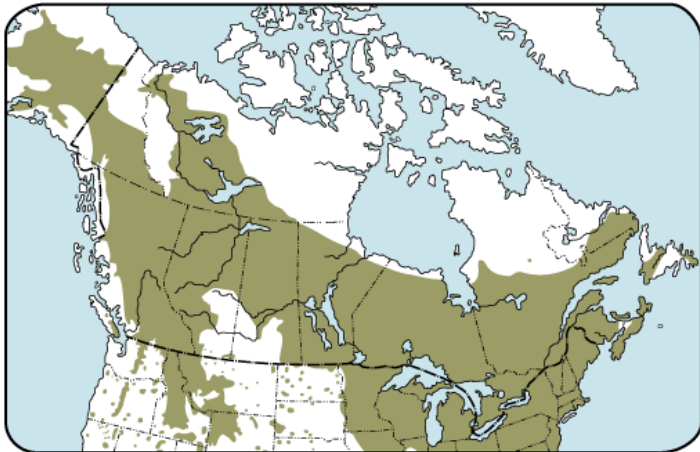
## Exposition à la sécheresse



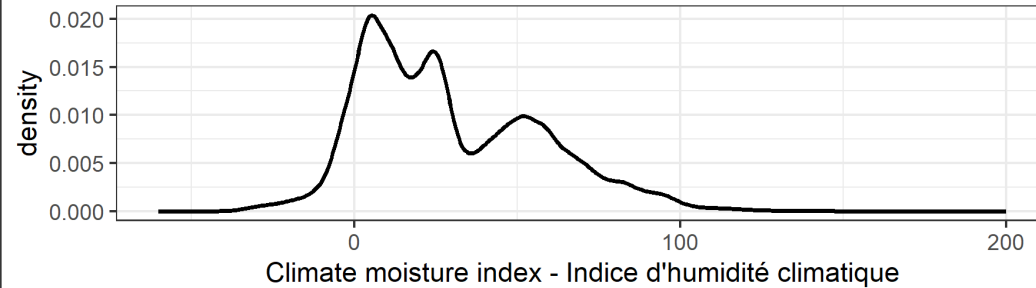
### Niche hydrique de l'érable à sucre au Canada



*Les espèces varient dans leur besoin en eau, et ceci s'exprime dans leur niche hydrique...*



### Niche hydrique du peuplier faux-tremble au Canada



Plus l'indice est bas, plus c'est sec...

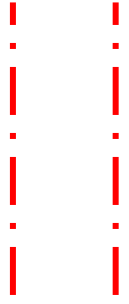
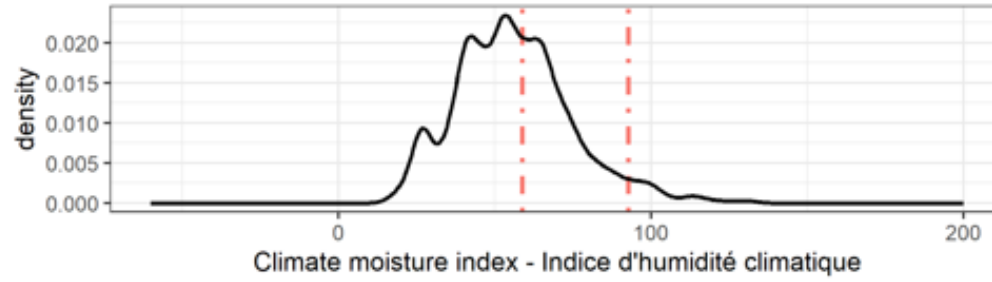
# Gaspésie Exposition à la sécheresse

## Érable à sucre

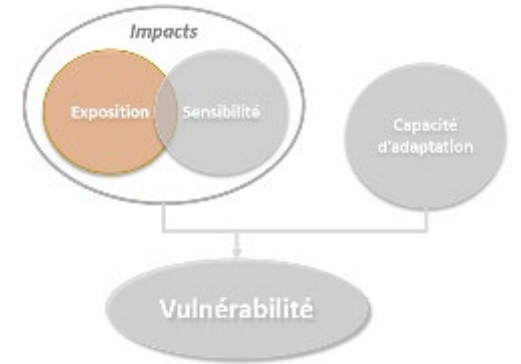


Niche hydrique de l'érable à sucre au Canada

1981-2010



marges minimum et maximum du CMI observé actuellement en Gaspésie

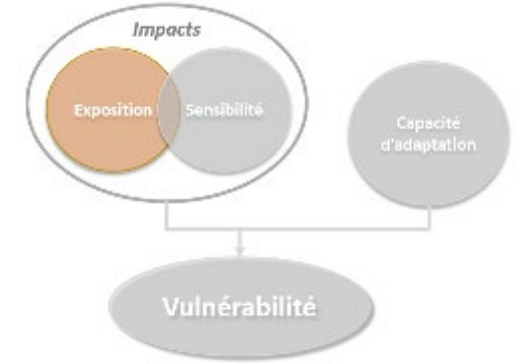
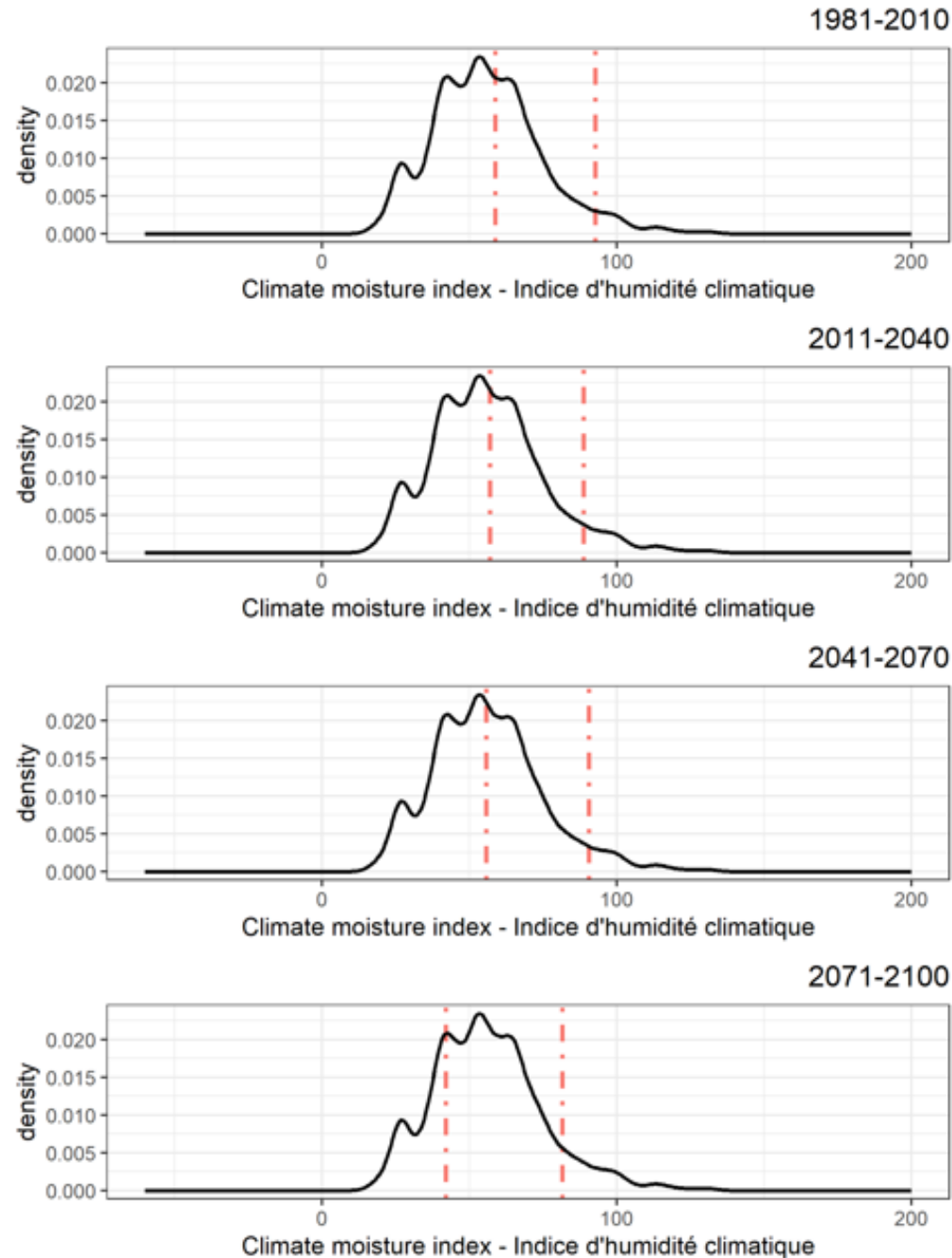


# Gaspésie Exposition à la sécheresse

## Érable à sucre



### Projection des conditions hydriques pour l'érable à sucre en Gaspésie



Plus l'indice est bas, plus c'est sec...



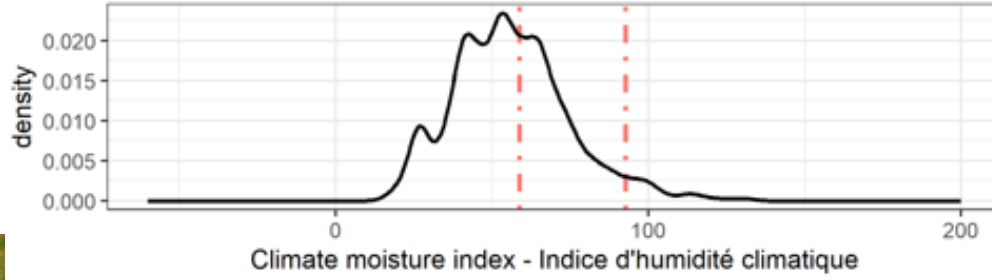
# Comparaison

## Érable à sucre

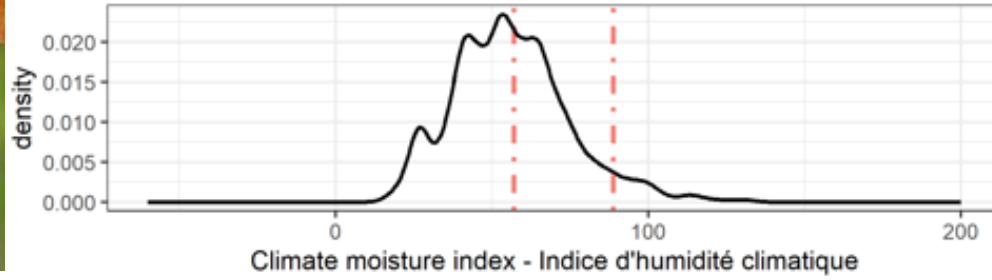


# Gaspésie

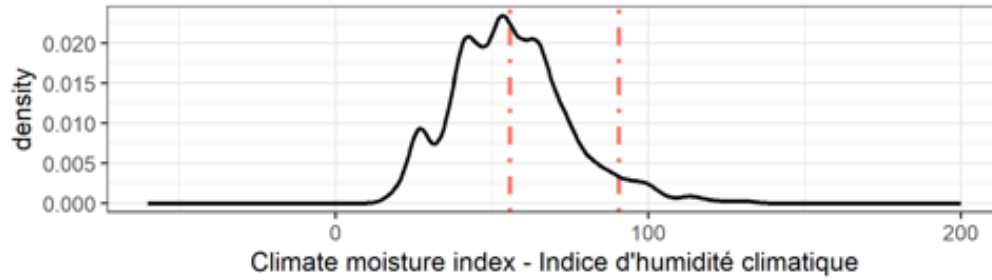
1981-2010



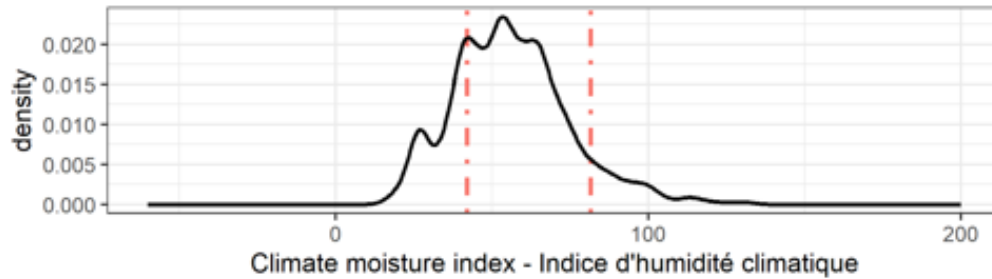
2011-2040



2041-2070

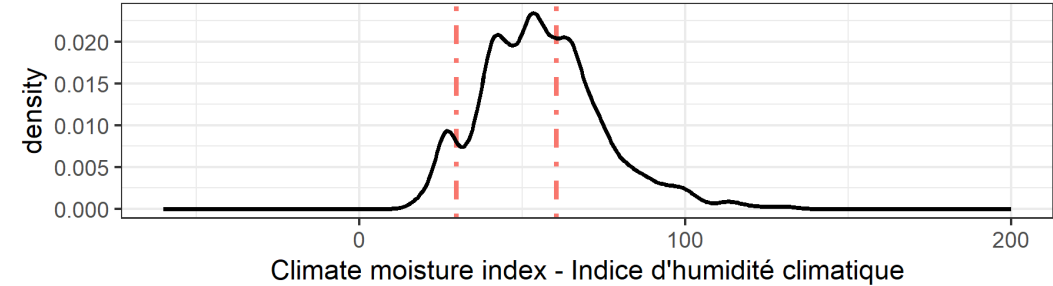


2071-2100

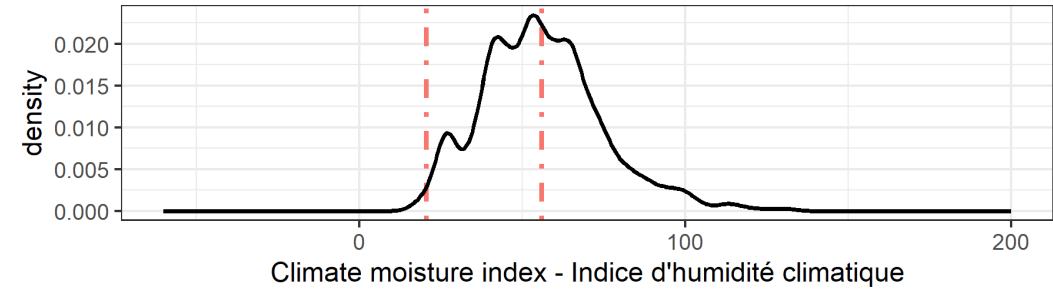


# Outaouais

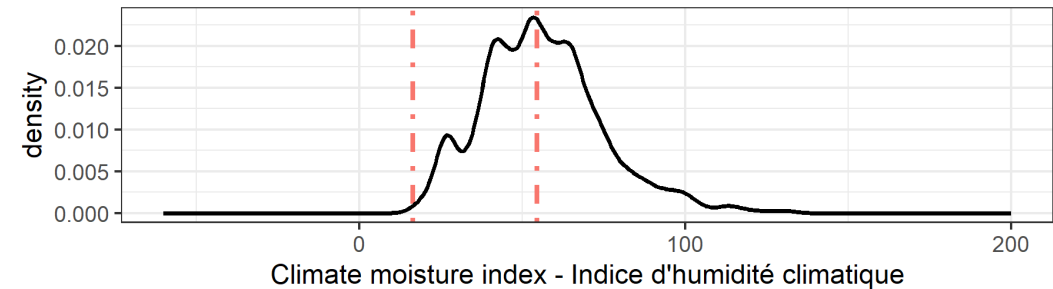
1981-2010



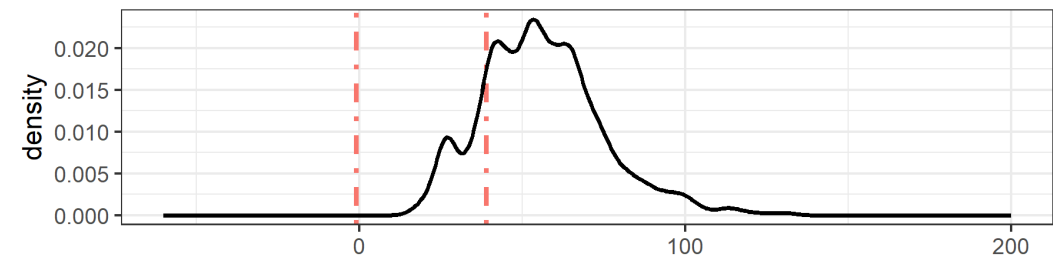
2011-2040



2041-2070



2071-2100



# Gaspésie

## Niche climatique

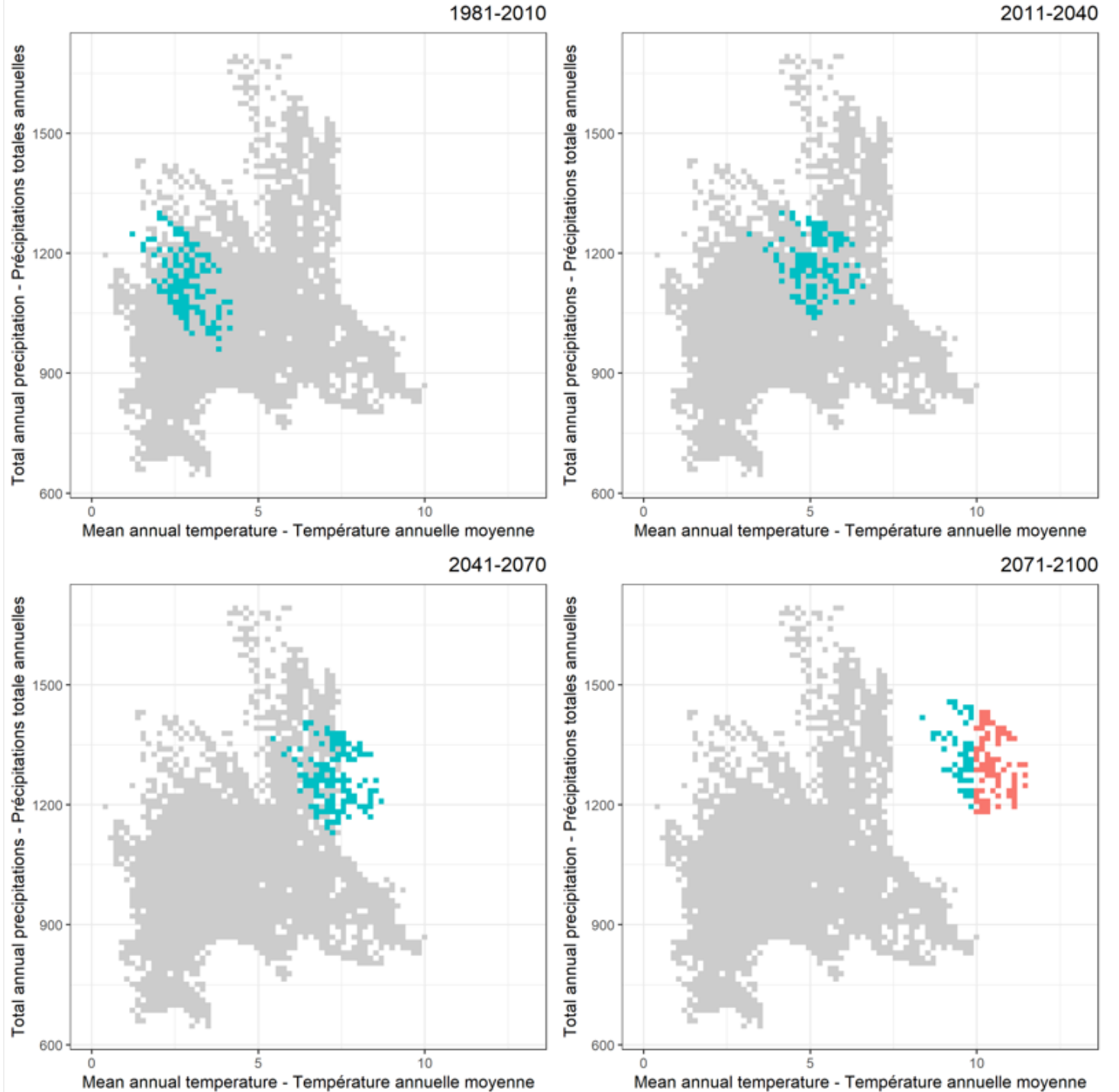
### Érable à sucre



- Température annuelle moyenne
- Précipitations totales annuelles

- Niche climatique au Canada
- Gaspésie – dans la niche climatique
- Gaspésie – en dehors de la niche climatique

Natural Resources Canada, Canadian Forest Service



## **En résumé, les modèles prédisent pour la Gaspésie:**

Moins exposées à la sécheresse que d'autres régions du Canada

Température plus chaude et précipitation légèrement plus élevée = indice d'humidité climatique demeure similaire

Mais :

- possibilité d'épisodes de sécheresse en juillet
- À une résolution plus fine: certains sites sont très exposés (topographie, versant, texture du sol,...)

## **Parlons plutôt DES sécheresses:**

Durée vs intensité

Saisonalité, modification des patrons de précipitation,...

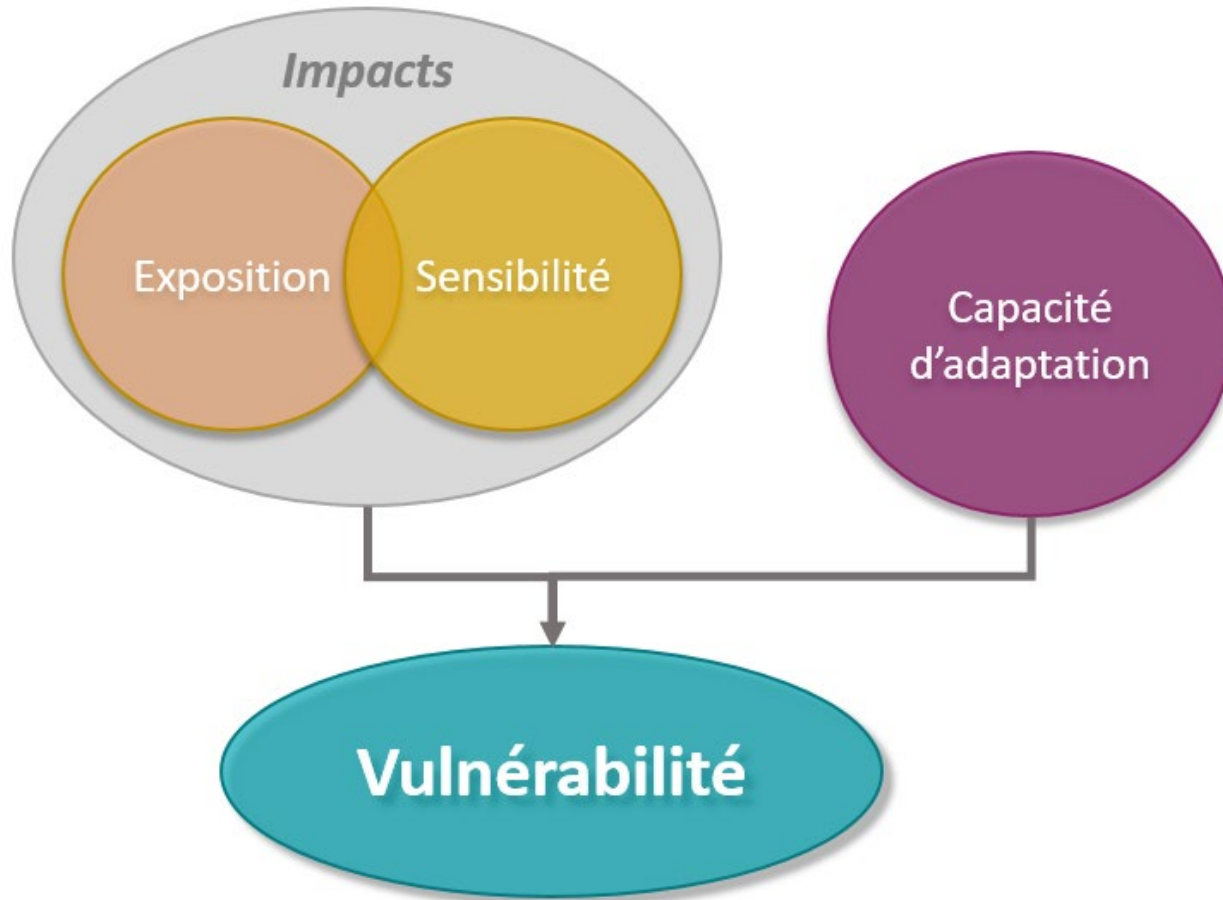
*Certaines espèces plus sensibles que d'autres à la sécheresse...*

*Mais, les espèces tolérantes sont plus fréquemment retrouvées dans des conditions plus exposées*

*Impacts des changements dans les conditions hydriques à l'échelle de l'individu*



# Les composantes clés dans l'évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques



**Exposition:** Degré de changement environnemental que connaîtra un individu (caractère, magnitude et taux)

**Sensibilité:** Degré auquel cet individu risque d'être affectée par ce changement

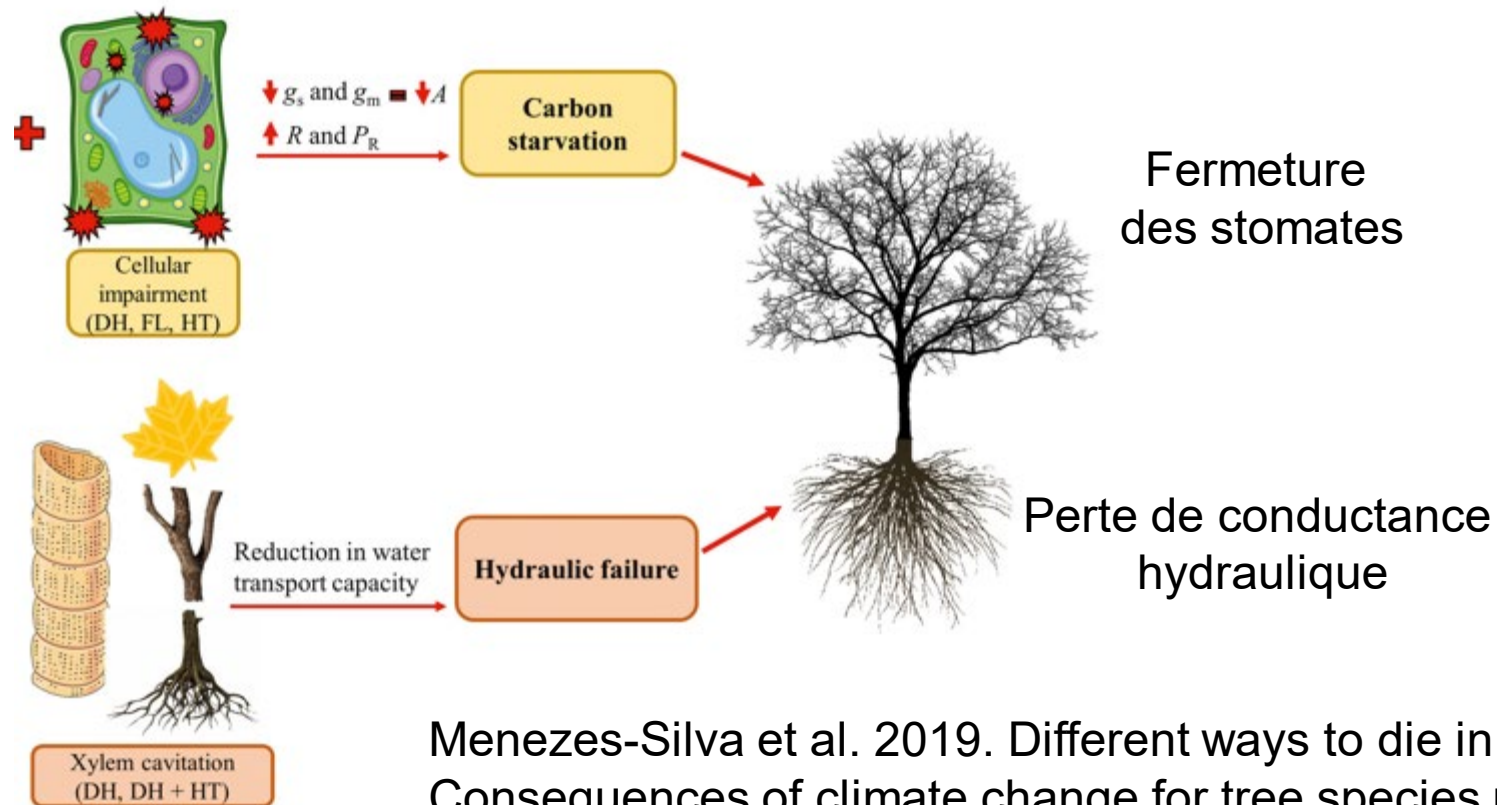
**Capacité d'adaptation:** Capacité de tolérer ou de s'acclimater aux changements environnementaux

*La **vulnérabilité** d'une espèce est fonction de sa **sensibilité**, de son **exposition** aux changements environnementaux et de sa **capacité de s'adapter** à ces changements*

## Sensibilité à la sécheresse

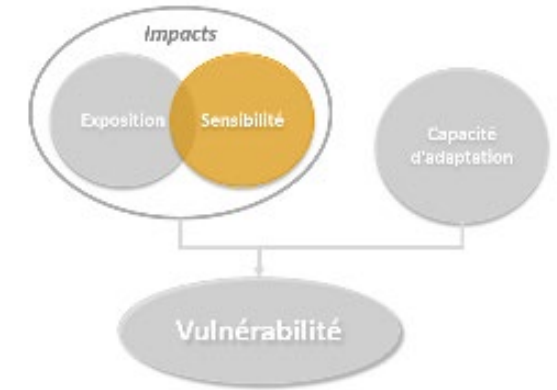
Le dilemme: mourir de soif ou mourir de faim?

Compromis entre gain de carbone et perte d'eau



Menezes-Silva et al. 2019. Different ways to die in a changing world: Consequences of climate change for tree species performance and survival through an ecophysiological perspective. Ecology and Evolution.

<https://doi.org/10.1002/ece3.5663>



# Stratégies pour faire face au stress hydrique

- **Éviter la sécheresse en maintenant l'accès à l'eau**
  - Maintenir potentiel hydrique
    - *Racine profonde*
  - Performant pour limiter la perte d'eau
    - *Contrôle rapide des stomates*
    - *Modifier sa surface foliaire*
- **Résister aux dommages causés par la sécheresse**
  - Faire face à un faible potentiel hydrique et risque de défaillance de la circulation de la sève
    - *Xylème résistant aux embolies*
- **Récupérer suite à une épisode de sécheresse**
  - Rétablissement des individus
    - *Récupération du xylème*
    - *Réserve en carbohydrate*
  - Rétablissement de la population
    - *Propagation végétative*
    - *Production de semences, taux germination,...*

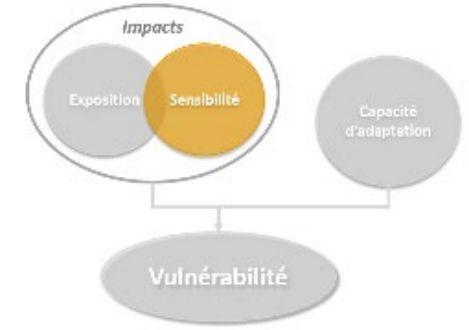
Aubin et al. 2016. [doi.org/10.1139/er-2015-0072](https://doi.org/10.1139/er-2015-0072)







# Vulnerability of Tree Species to Climate Change



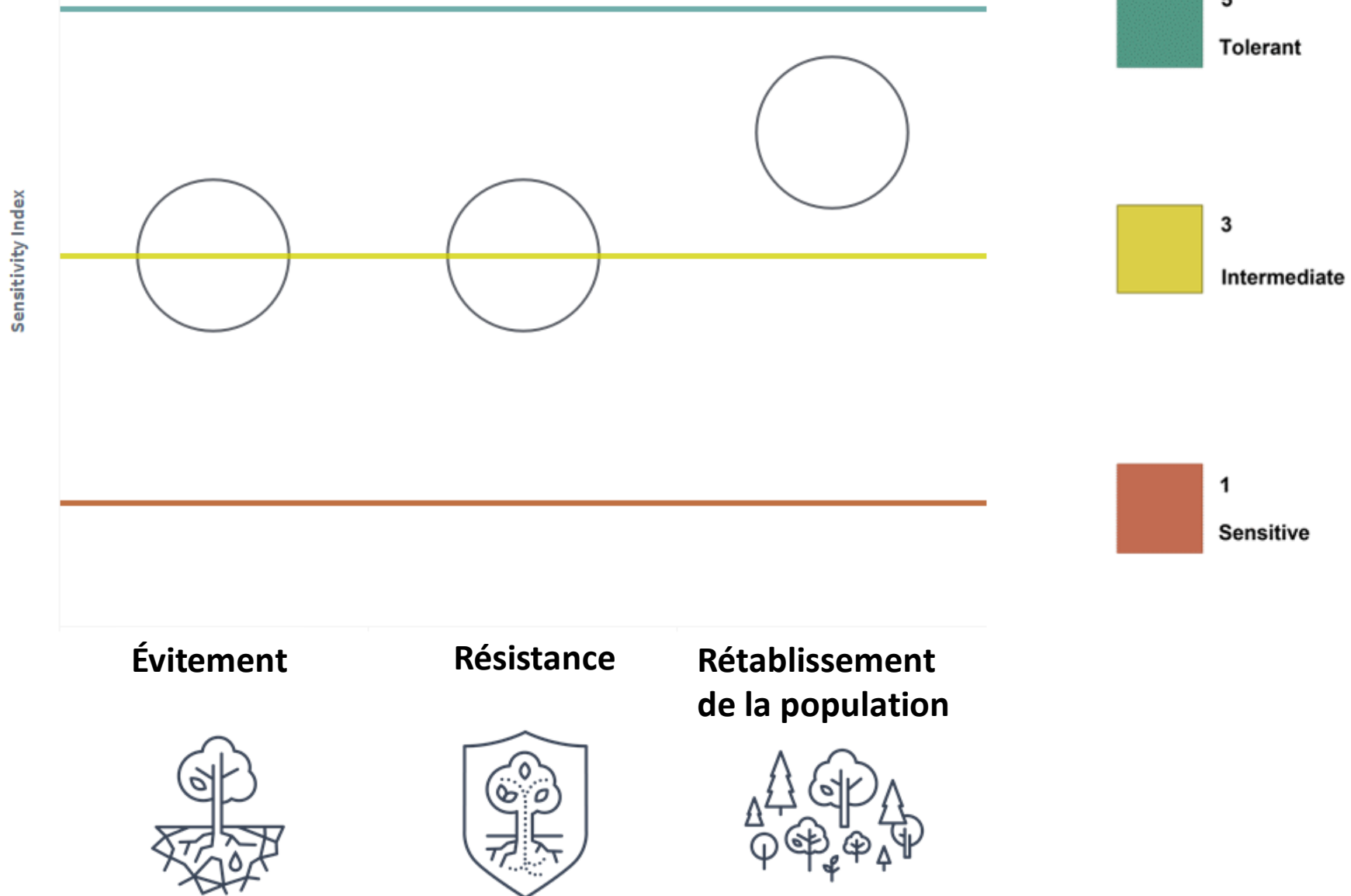
## Indices de sensibilité à la sécheresse

<https://sites.google.com/fgca.net/tree-climate-vulnerability/home>

	Évitement		Résistance		Rétablissement	
	Indice	Confiance	Indice	Confiance	Indice	Confiance
<i>Betula papyrifera</i>	Red	Blue	Dark Red	Light Blue	Orange	Dark Blue
<i>Fagus grandifolia</i>	Orange	Blue	Red	Light Blue	Orange	Blue
<i>Fraxinus americana</i>	Light Orange	Light Blue	Dark Red	Light Blue	Orange	Light Blue
<i>Fraxinus nigra</i>	Red	Light Blue	Grey	Grey	Light Orange	Light Blue
<i>Larix laricina</i>	Red	Dark Blue	Light Orange	Light Blue	Orange	Dark Blue
<i>Ostrya virginiana</i>	Orange	Light Blue	Grey	Grey	Red	Light Blue
<i>Picea glauca</i>	Orange	Light Blue	Light Orange	Light Blue	Red	Dark Blue
<i>Picea mariana</i>	Dark Red	Blue	Light Orange	Light Blue	Orange	Dark Blue
<i>Picea rubens</i>	Dark Red	Light Blue	Orange	Light Blue	Orange	Blue
<i>Pinus banksiana</i>	Light Orange	Light Blue	Light Orange	Light Blue	Orange	Dark Blue
<i>Pinus resinosa</i>	Light Orange	Dark Blue	Grey	Grey	Red	Dark Blue
<i>Pinus strobus</i>	Light Orange	Dark Blue	Orange	Light Blue	Red	Blue
<i>Populus balsamifera</i>	Orange	Light Blue	Dark Red	Light Blue	Light Orange	Light Blue
<i>Populus grandidentata</i>	Orange	Light Blue	Red	Light Blue	Light Orange	Light Blue
<i>Populus tremuloides</i>	Orange	Light Blue	Dark Red	Light Blue	Light Orange	Dark Blue

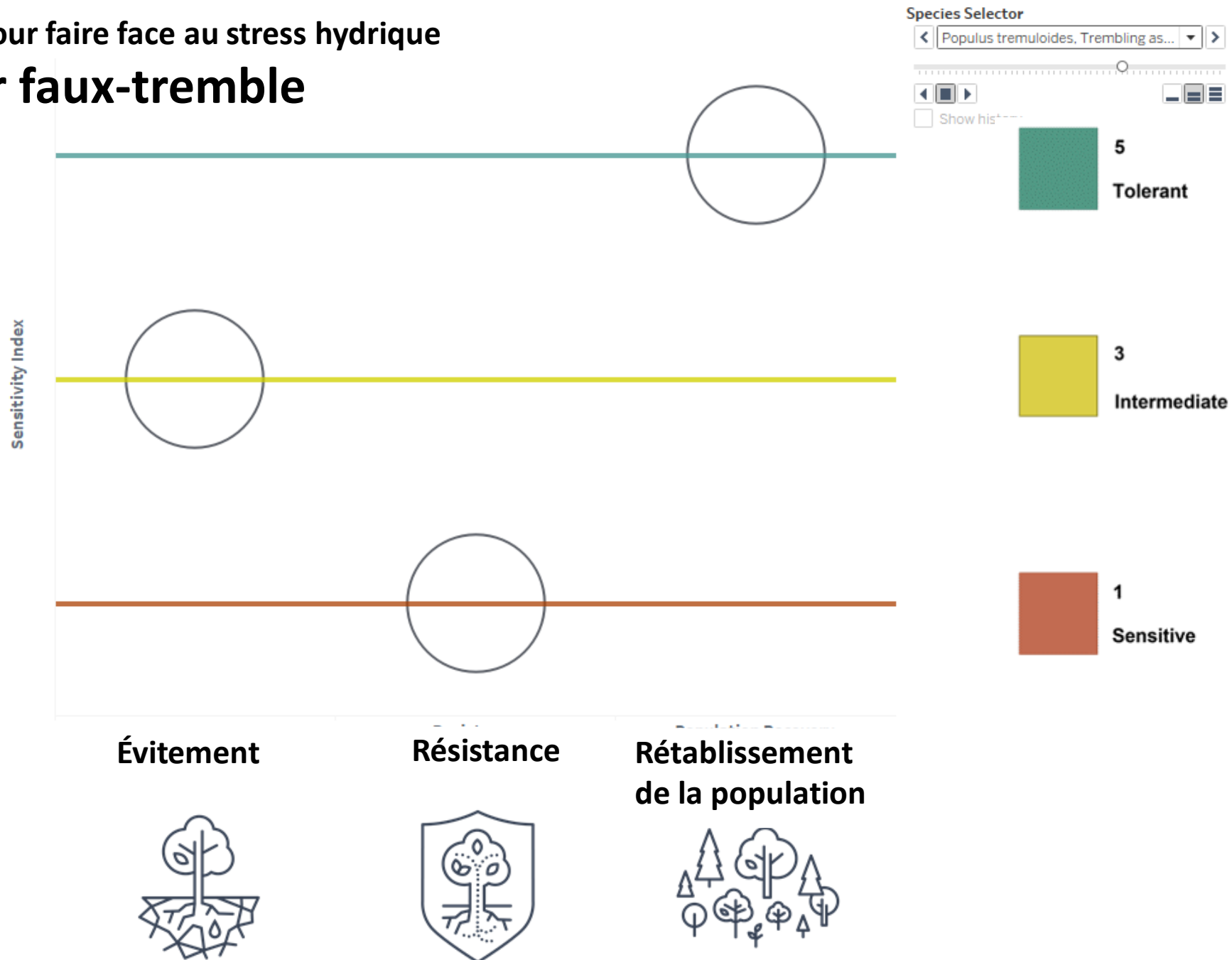
# Stratégies pour faire face au stress hydrique

## Érable à sucre



# Stratégies pour faire face au stress hydrique

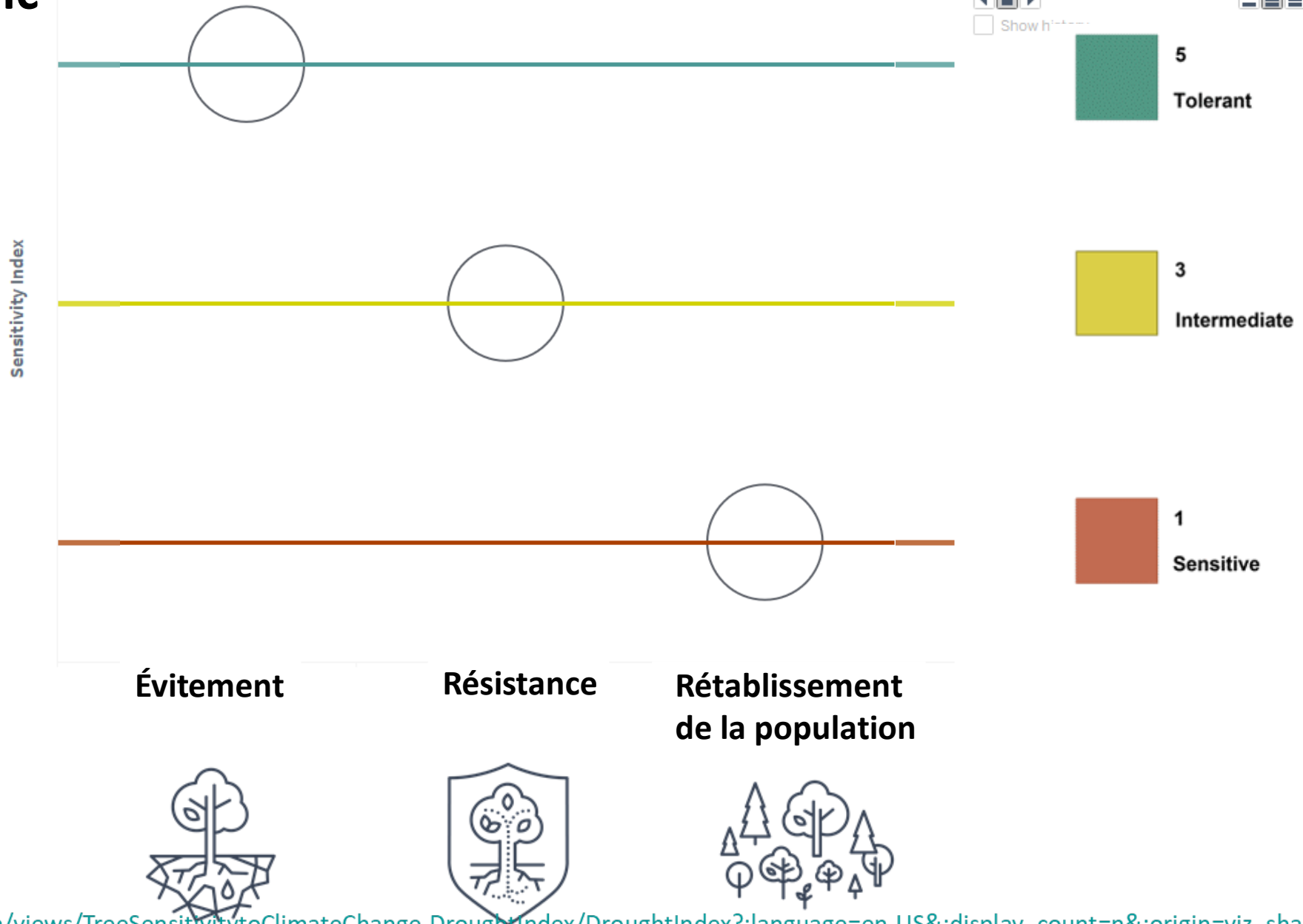
## Peuplier faux-tremble





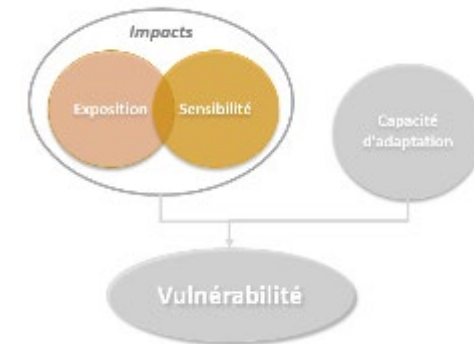
# Stratégies pour faire face au stress hydrique

## Pin blanc

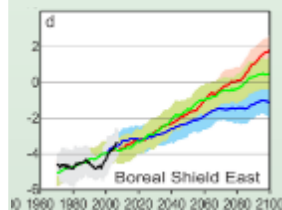


# Évaluation de l'impact potentiel

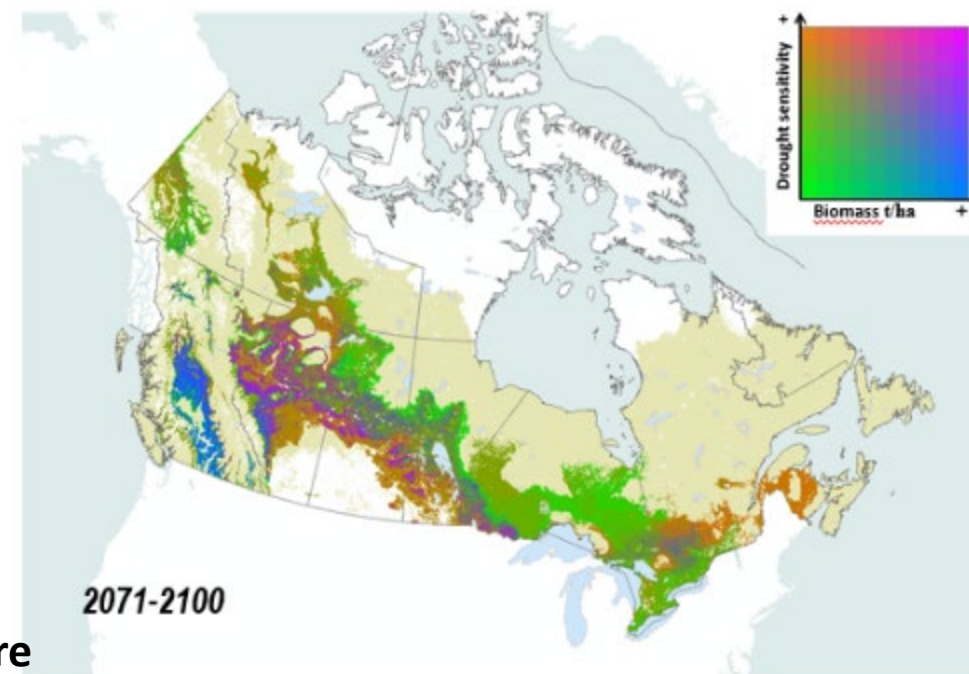
Intégration des connaissances écologiques sur la sensibilité des arbres  
aux prédictions biophysiques d'exposition



- Scénarios climatiques
- Exposition à la sécheresse
- Composition des peuplements
- Sensibilités des espèces (via les traits)



22 espèces  
88% de la biomasse forestière  
au Canada

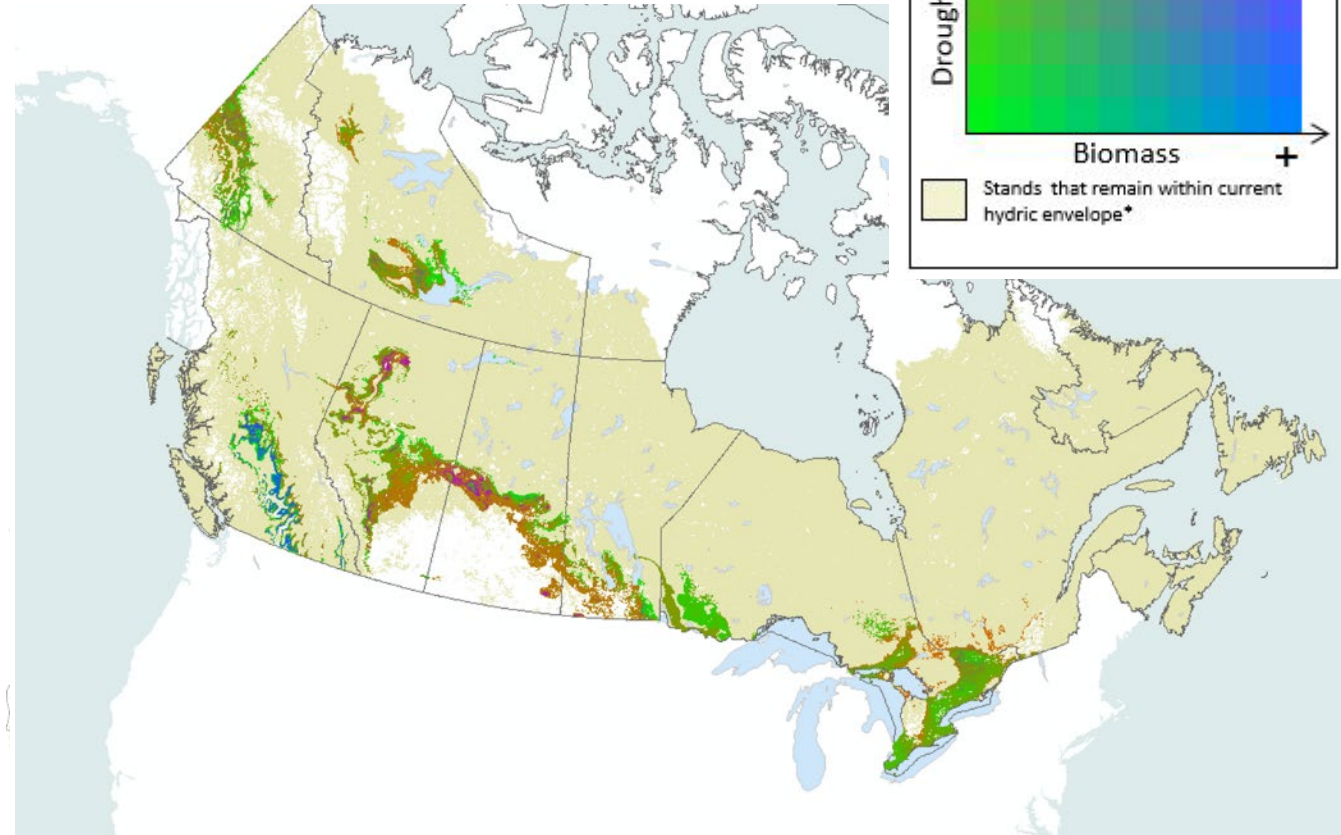
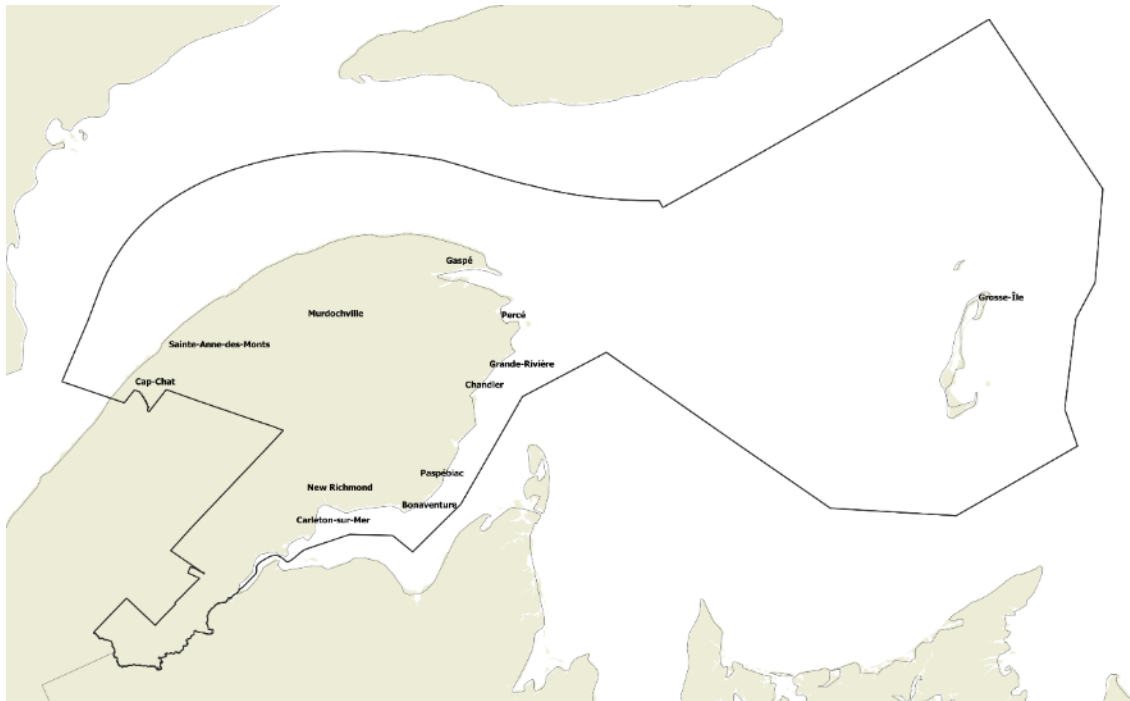


**Vulnérabilité à la sécheresse**  
*Projection des impacts potentiels sur les forêts canadiennes*

# Impact potentiel de la sécheresse

## Gaspésie

2011-2040



**Exposition** (axes des x): Biomasse des arbres en dehors de leur niche hydrique actuelle

**Sensibilité** (axe des y): Sensibilité des arbres à la sécheresse

*Aubin et al. 2018. Ecosphere 9(2):e02108. doi:10.1002/ecs2.2108*

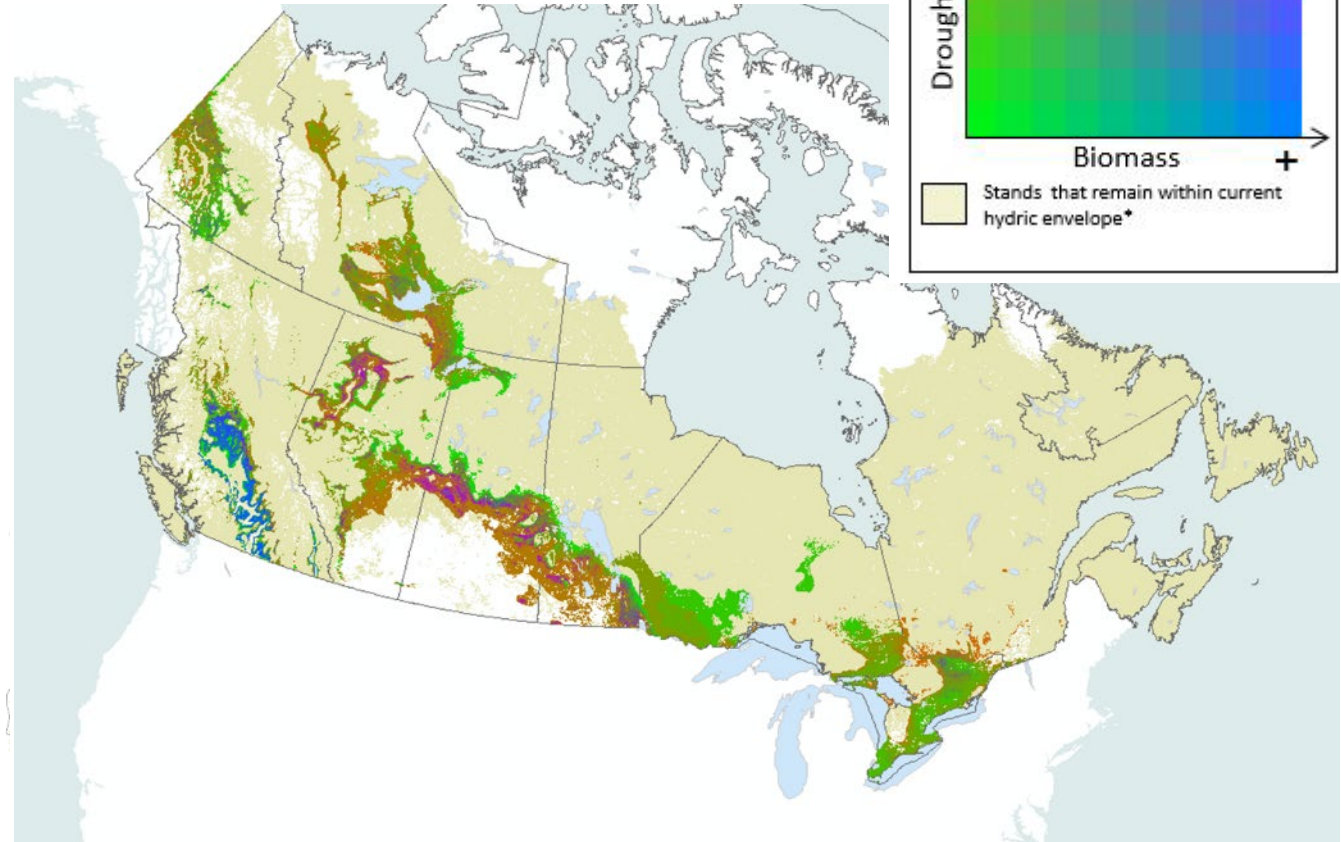
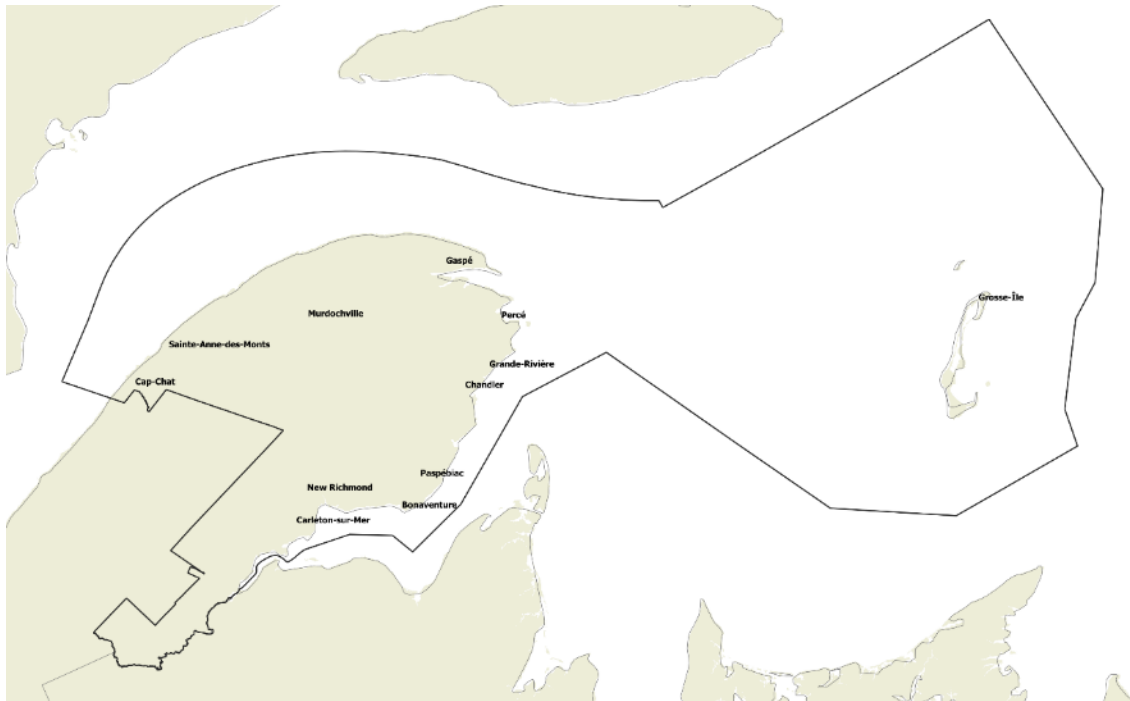
*Selon les projections de température et de précipitation du modèle CanESM2 basées sur un scénario d'augmentation continue des émissions de carbone (RCP 8.5)*



# Impact potentiel de la sécheresse

## Gaspésie

2041-2070



**Exposition** (axes des x): Biomasse des arbres en dehors de leur niche hydrique actuelle

**Sensibilité** (axe des y): Sensibilité des arbres à la sécheresse

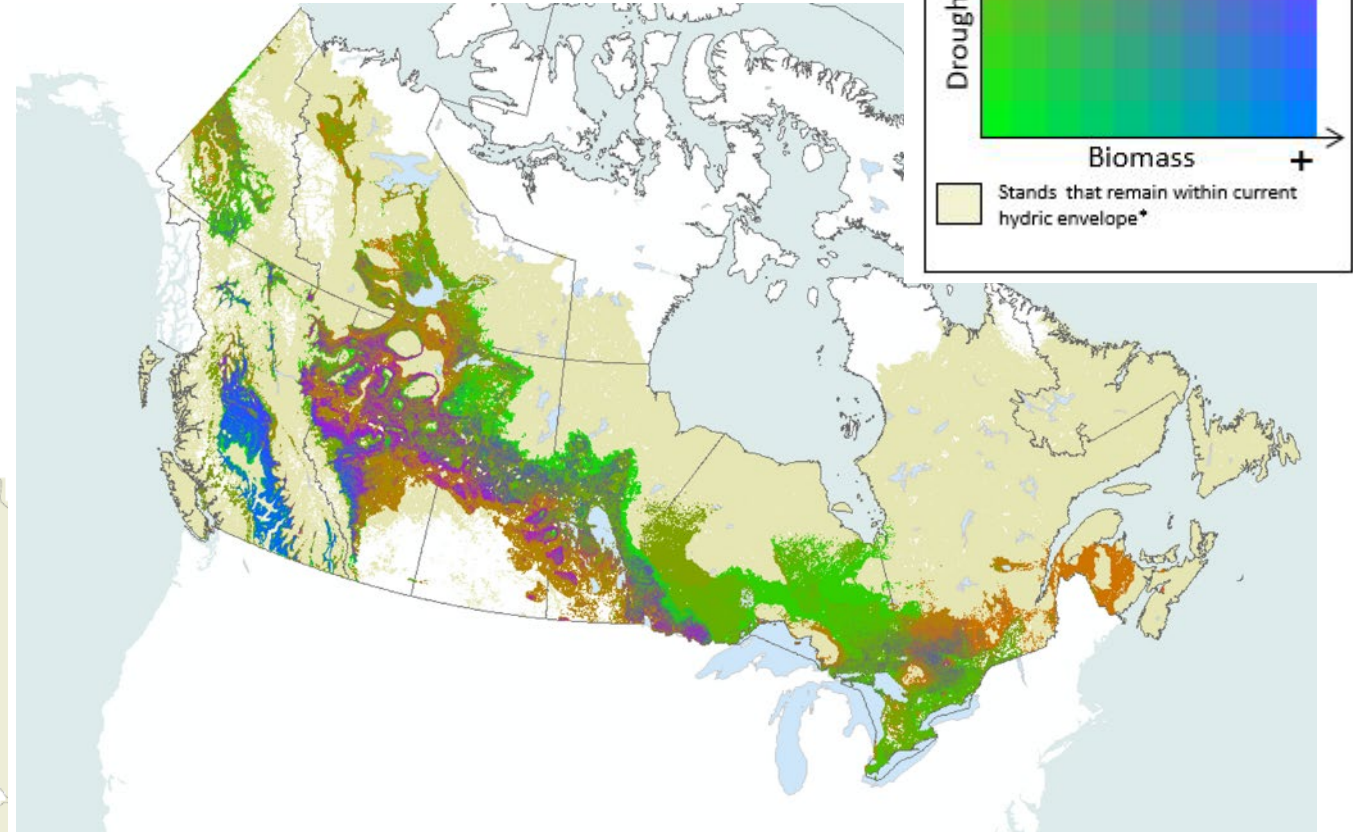
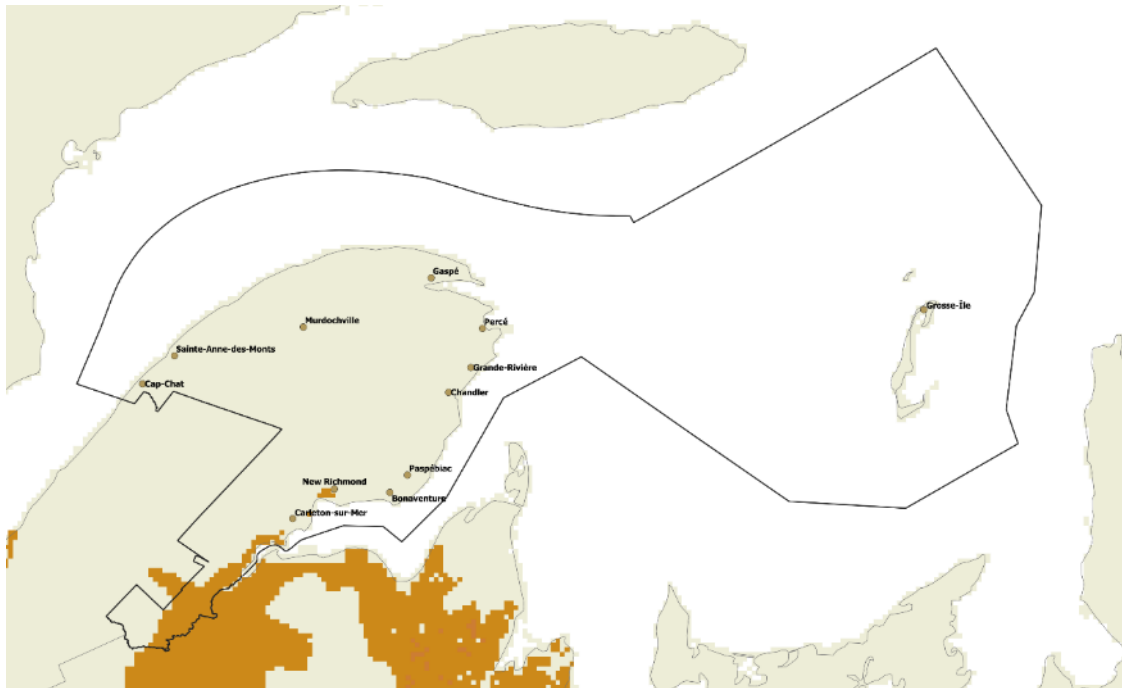
*Aubin et al. 2018. Ecosphere 9(2):e02108. doi:10.1002/ecs2.2108*

*Selon les projections de température et de précipitation du modèle CanESM2 basées sur un scénario d'augmentation continue des émissions de carbone (RCP 8.5)*

# Impact potentiel de la sécheresse

## Gaspésie

### 2071-2100



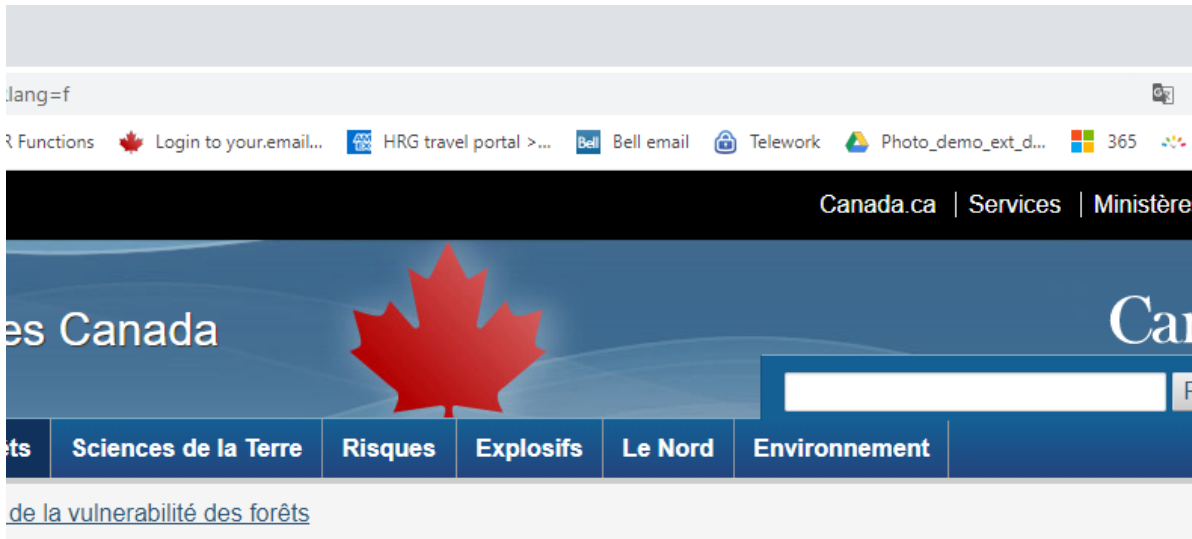
**Exposition** (axes des x): Biomasse des arbres en dehors de leur niche hydrique actuelle

**Sensibilité** (axe des y): Sensibilité des arbres à la sécheresse

*Aubin et al. 2018. Ecosphere 9(2):e02108. doi:10.1002/ecs2.2108*

*Selon les projections de température et de précipitation du modèle CanESM2 basées sur un scénario d'augmentation continue des émissions de carbone (RCP 8.5)*

Outil en ligne: <https://glfc.cfsnet.nfis.org/fcvul/?m=drought&lang=f>



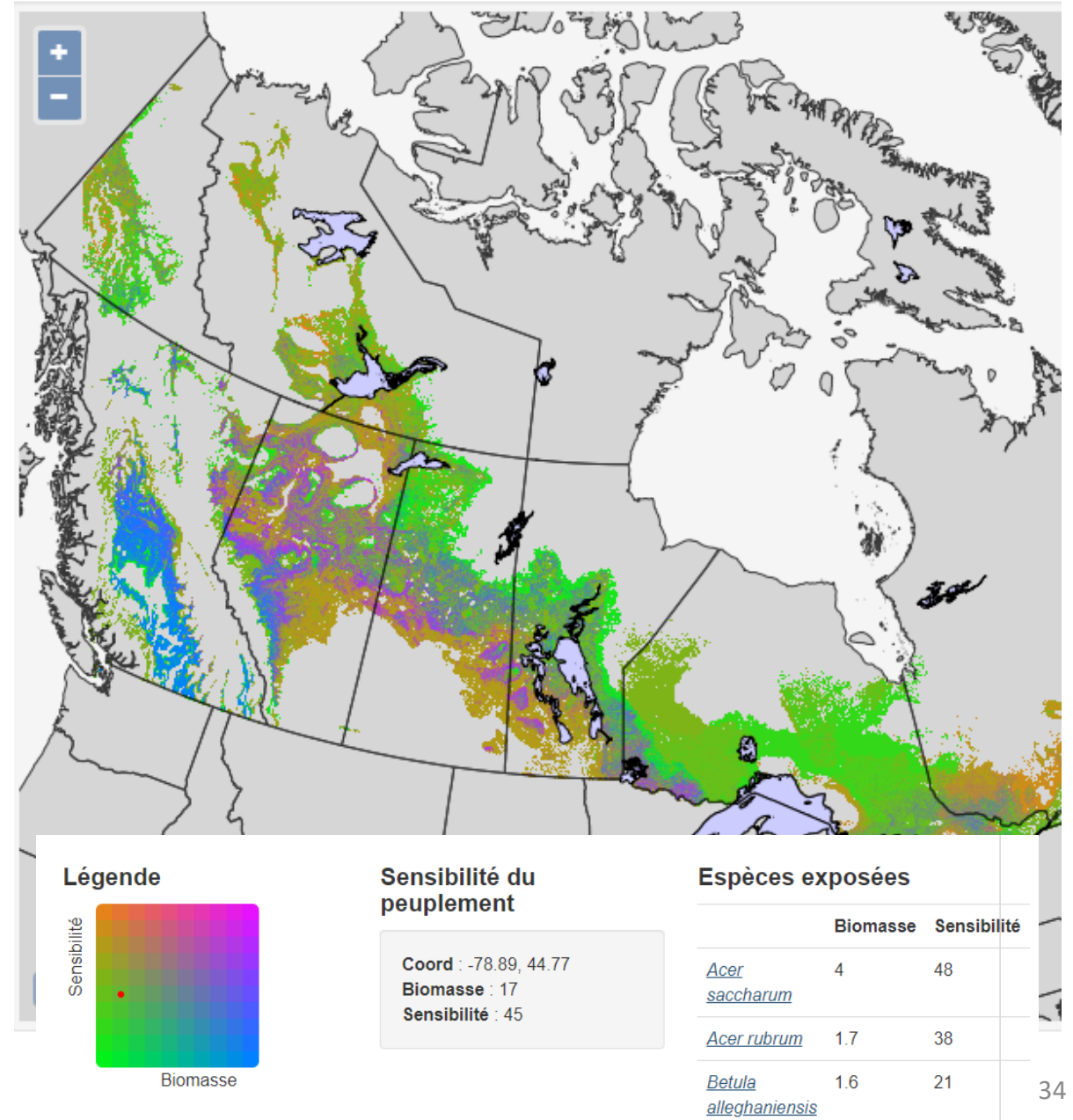
## Outil d'évaluation de la vulnérabilité des forêts

### Vulnérabilité des espèces aux changements climatiques

#### Mortalité causée par la sécheresse

Ces cartes interactives présentent la vulnérabilité à la sécheresse des arbres du Canada pour 3 projections futures (2011–2040, 2041–2070, 2071–2100). Ces cartes comprennent deux composantes :

- **L'exposition à la sécheresse** : La biomasse des arbres qui devrait être confrontée à des conditions inférieures à son enveloppe hydrique actuelle. Ces zones d'exposition, où l'on projette que les espèces d'arbres seront exposées à la sécheresse, ont été définies en combinant la répartition actuelle des espèces avec des projections de conditions hydriques.
- **Sensibilité** : La sensibilité des espèces exposées à la sécheresse. La sensibilité des espèces à la sécheresse est définie à l'aide d'un indice basé sur certains traits des arbres qui déterminent leur réponse à la sécheresse.





## Impacts potentiels de la sécheresse

- Mortalité
- Réduction de productivité
- Échec de régénération (naturelle et plantée)
- Augmentation des risques d'incendies
- **Réduction des défenses face aux ravageurs et maladies**

Ravageurs et pathogène Indigène  
Mais aussi exotique



Photo credit: Luis Alfredo Romero



### La spirale de la mortalité

Allen et al. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. Forest Ecology and Management.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>

# Ravageur exotique

## Maladie corticale du hêtre

Complexe insecte-champignon

Insecte suceur (cochenille, *Cryptococcus fagisuga*) crée microblessures

Spore d'un champignon pathogène (*Neonectria sp*)

produit des chancres, déformation et mortalité

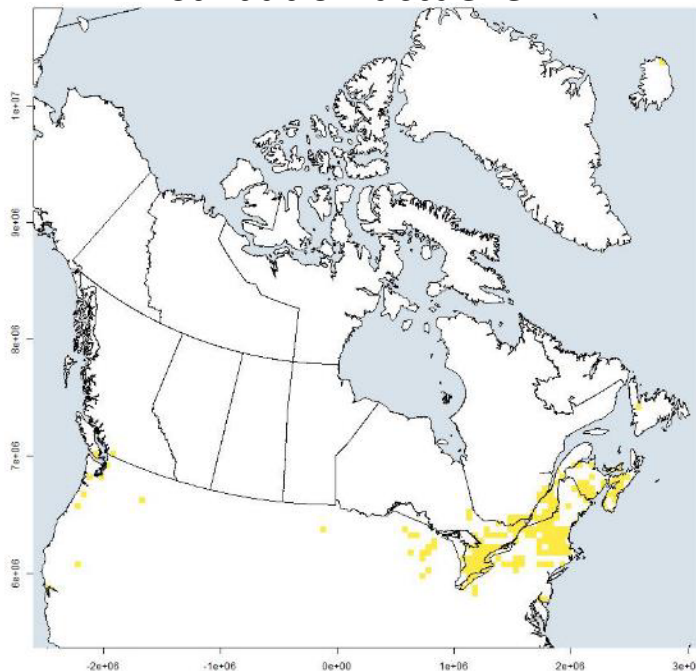
Hôte: hêtre

Arrivée au Québec vers 1965

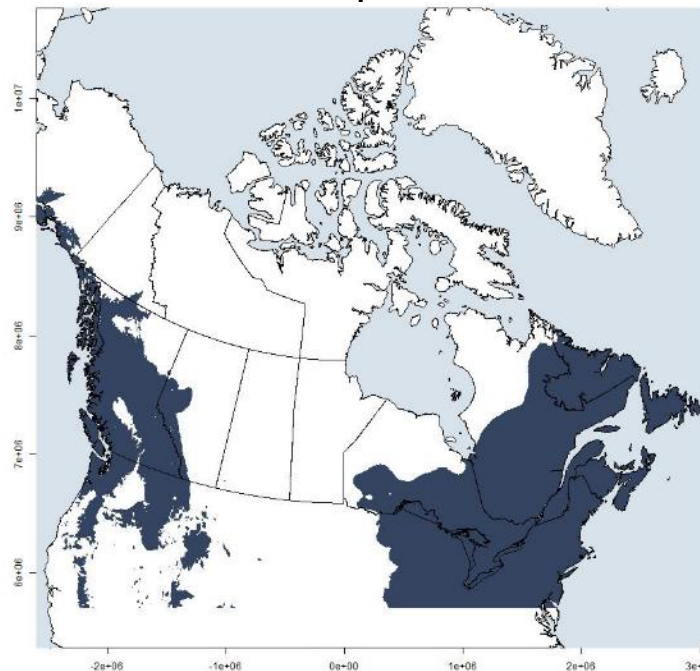
Se propage à un rythme moyen de 16k par année



Distribution actuelle



Niche climatique 2010-2040





# Ravageur exotique

## Agrile du frêne *Agrilus planipennis*

Coléoptère xylophage originaire d'Asie

Hôte: frênes

1ere mention en Amérique du Nord: 2002

Propagation rapide – naturel & transport de bois infecté

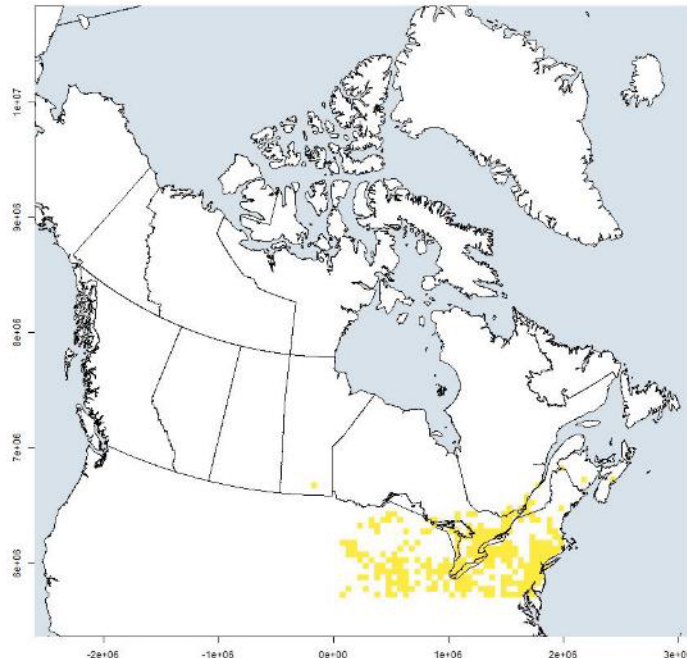
Taux de mortalité~ 98 %

Arbre mature: mortalité entre 2-8 ans

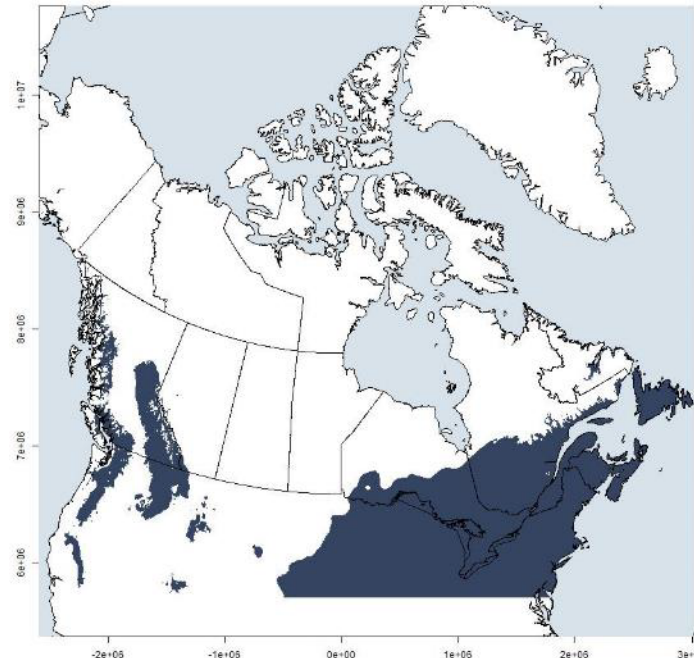


Photo credit: B. Lyons NRCan & B. Hamel

Distribution actuelle



Niche climatique 2010-2040



Cartes: McKenney et al. <https://cfs.cloud.nrcan.gc.ca/bmfid/index.php?lang=e>

# Agrile du frêne

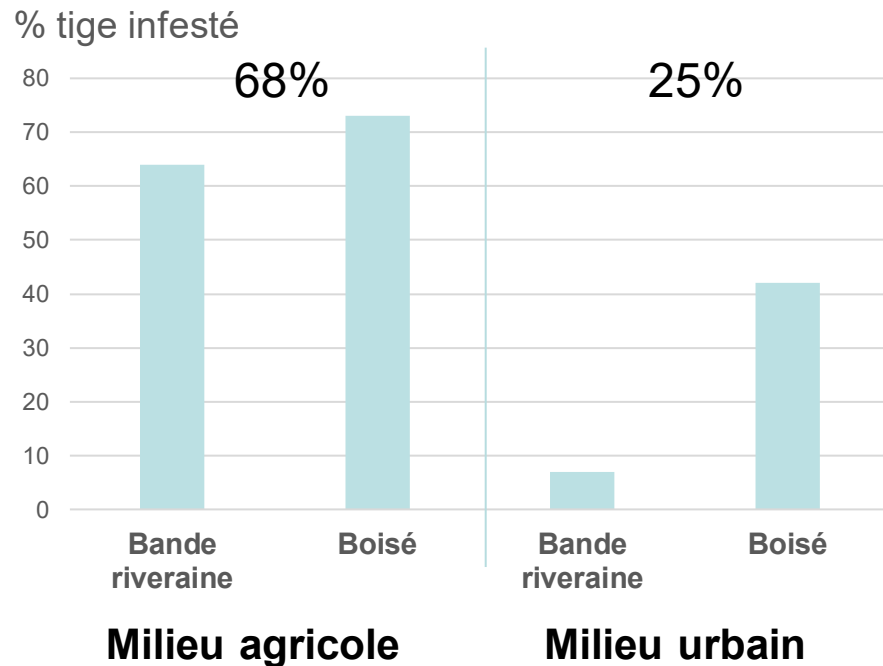
## Ce que l'on observe 6 à 20 ans après l'épidémie

100% de mortalité des arbres matures

Importante régénération de frêne

Population d'agrile toujours active, mais moins en milieu urbain

32 % des gaules avait survécu à plus de 2 infestations





# Ravageur "exotique" à surveiller

## Dendroctone du pin *Dendroctonus ponderosae*

Petit scolyte se nourrissant du phloème

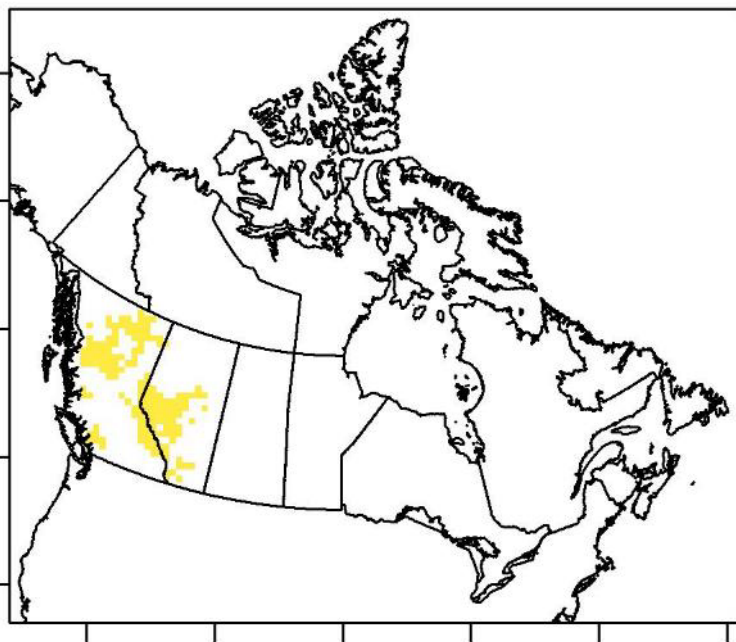
Hôte: plusieurs espèces de pin: pin tordu, ponderosa, et pin gris

Indigène dans l'Ouest

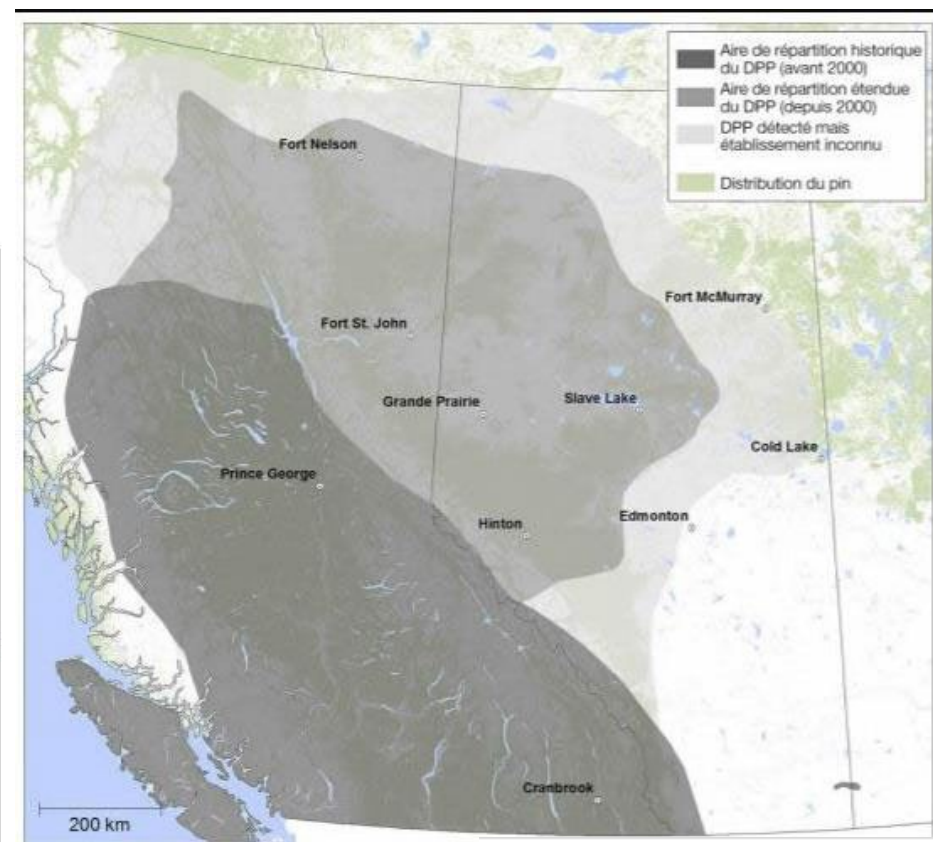
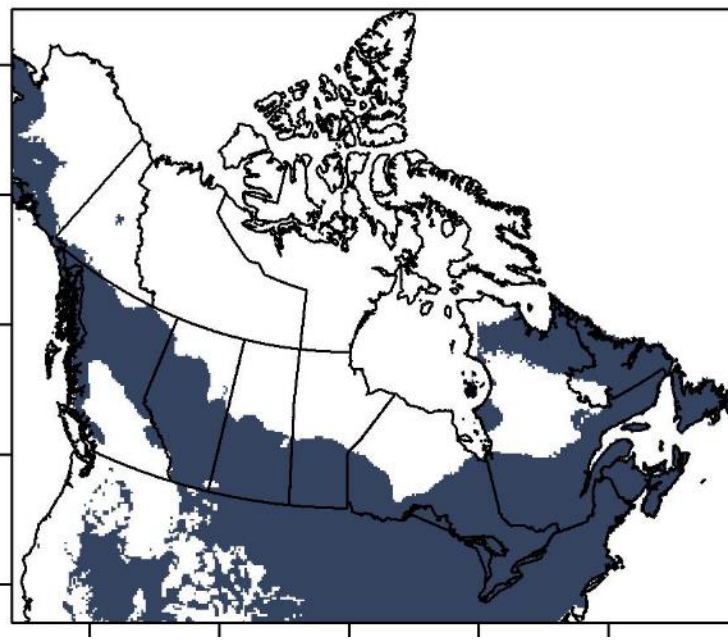
mais en expansion par rapport à sa distribution historique avec les changements climatiques



Distribution actuelle



Niche climatique 2010-2040





# Ravageur exotique à surveiller

## Longicorne asiatique *Anoplophora glabripennis*

Insecte xylophage

Hôte: érables, peupliers, bouleaux, saules

Éradiqué dans les villes de Mississauga et de Toronto en 2013

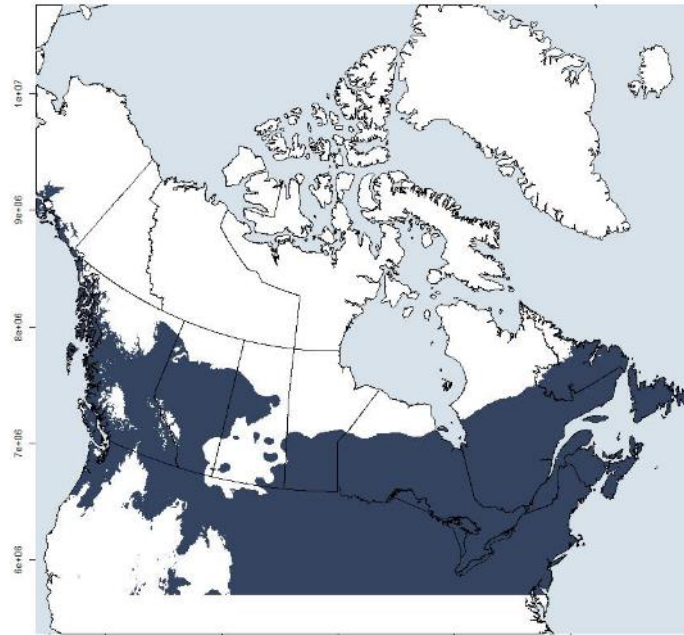
Présents au États-Unis

Menace pour l'industrie acéricole



Distribution actuelle

Niche climatique 2010-2040



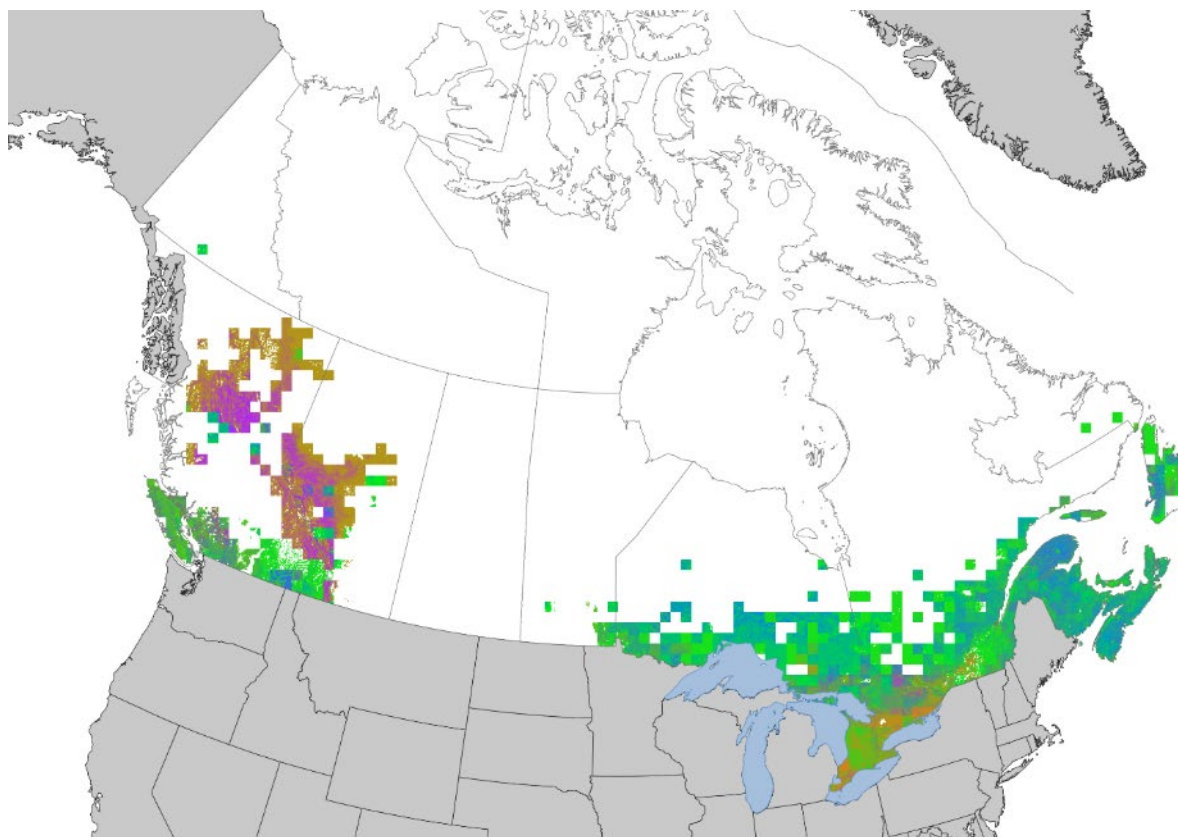
Cartes: McKenney et al. <https://cfs.cloud.nrcan.gc.ca/bmfid/index.php?lang=e>



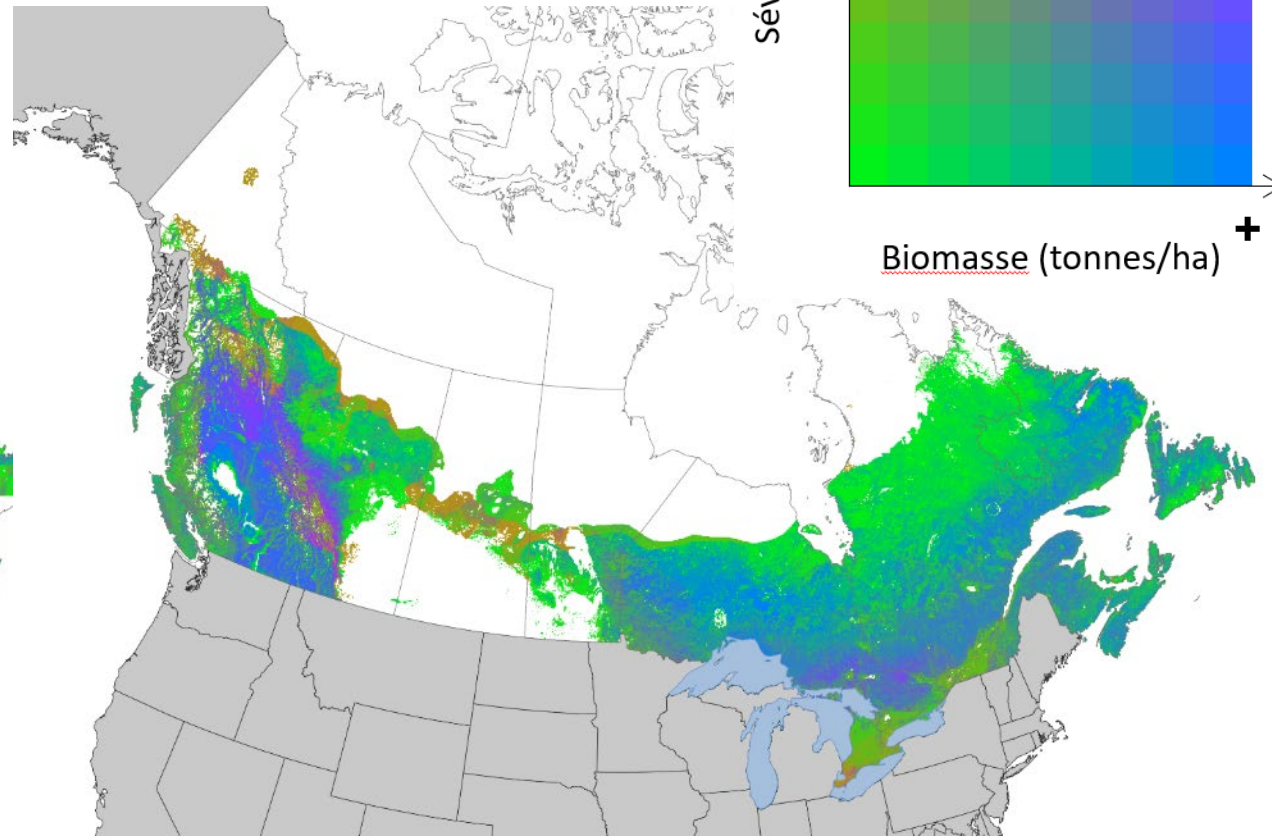
Photos: Agence d'inspection des aliments 40  
et Ressources Naturelles Canada

# Vulnérabilité aux ravageurs exotiques *Résultats préliminaires*

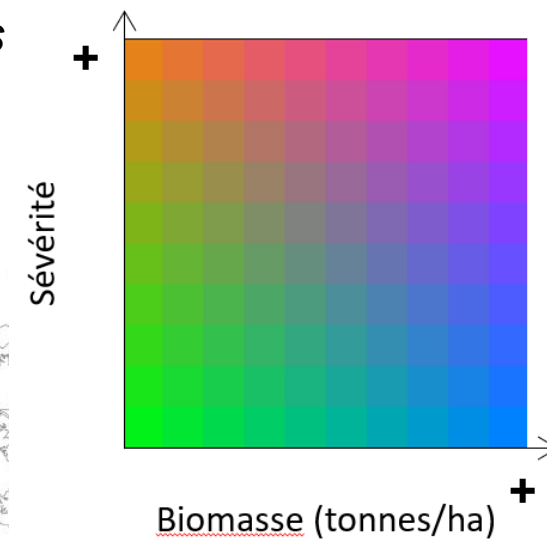
Sommaire de 14 ravageurs exotiques en expansion au Canada causant de la mortalité chez 29 essences d'arbres



Biomasse forestière actuellement à risque



Biomasse forestière potentiellement à risque (2011-2040)





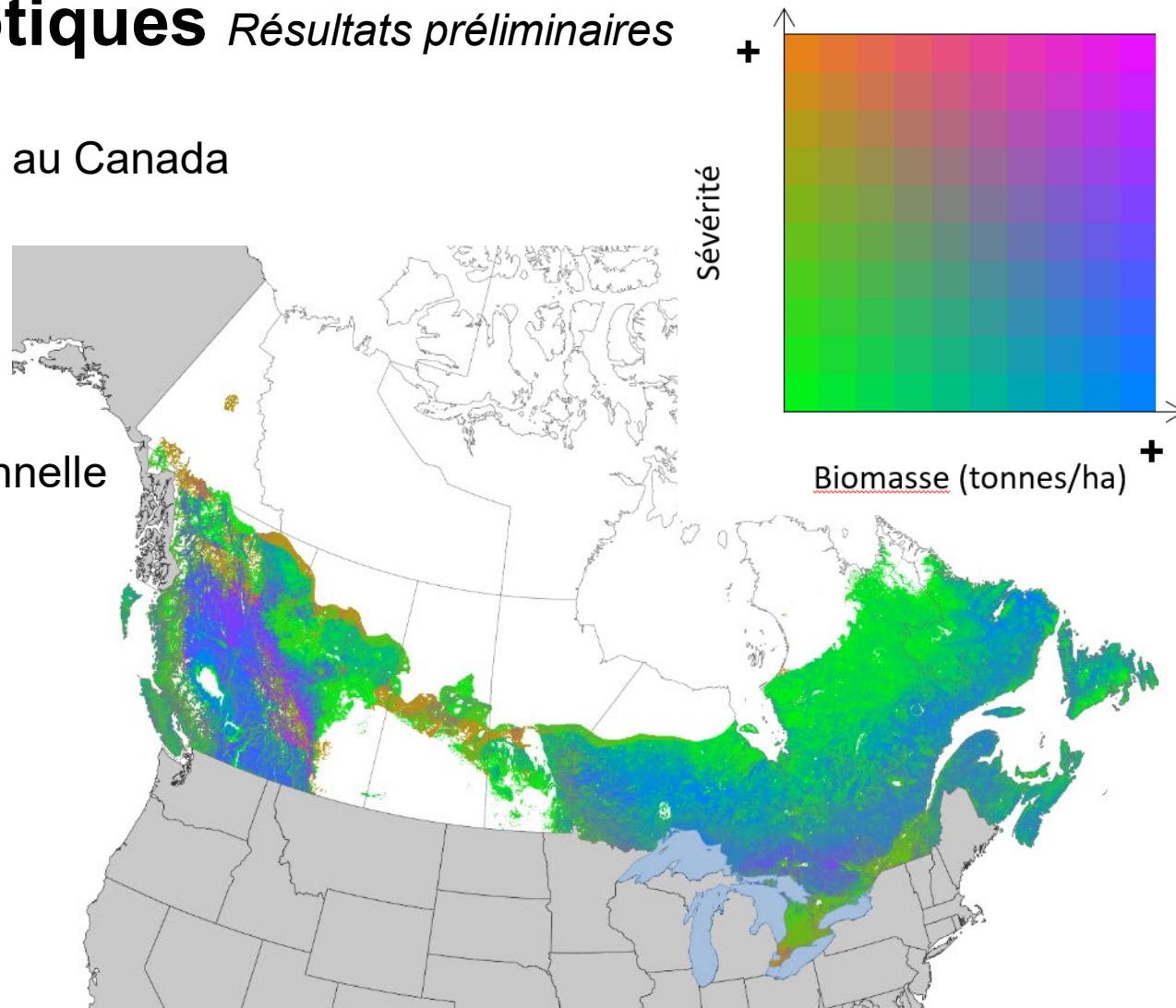
# Vulnérabilité aux ravageurs exotiques *Résultats préliminaires*

Sommaire de 14 ravageurs exotiques en expansion au Canada causant de la mortalité chez 29 essences d'arbres

Frênes, Pruche et noyer: risque d'extinction fonctionnelle

Le hêtre est à risque de haut taux de mortalité

Les pins: à risque si le dendroctone du pin étend sa distribution dans l'est du Canada



Biomasse forestière potentiellement à risque (2011-2040)

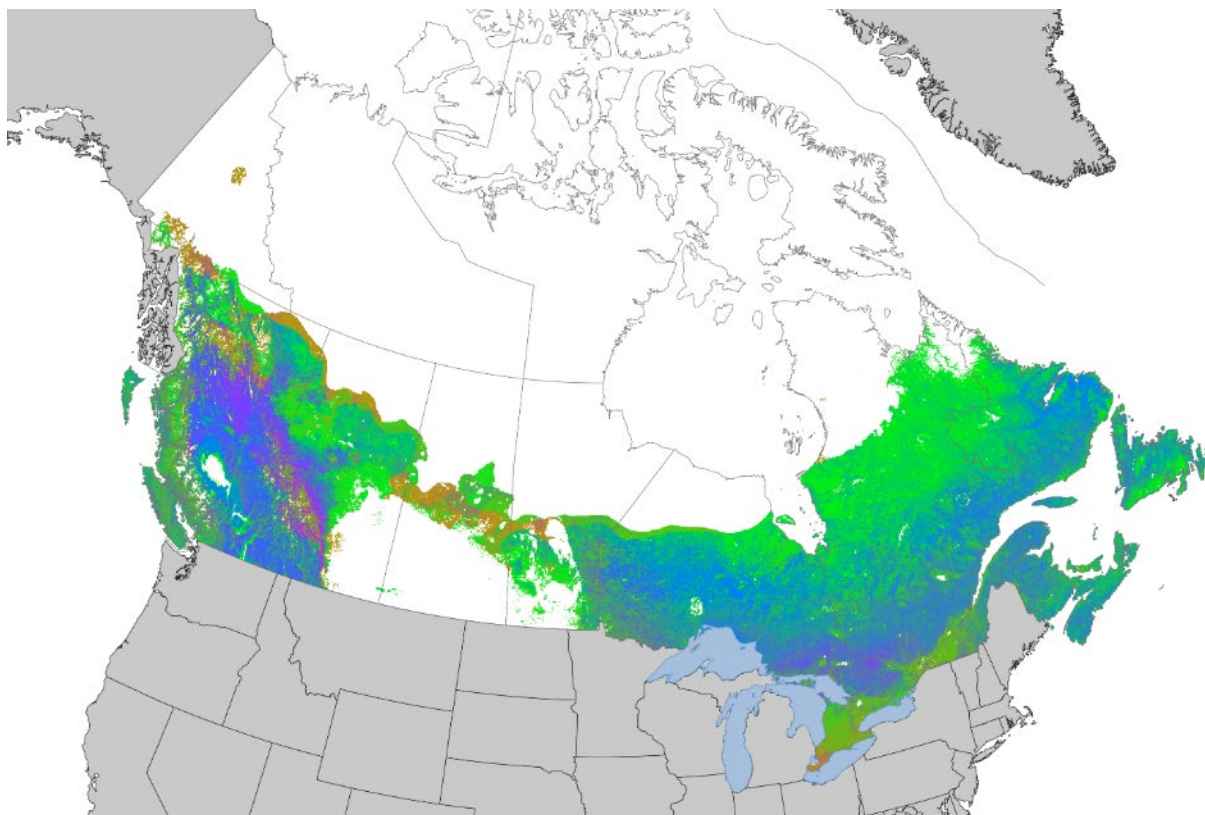




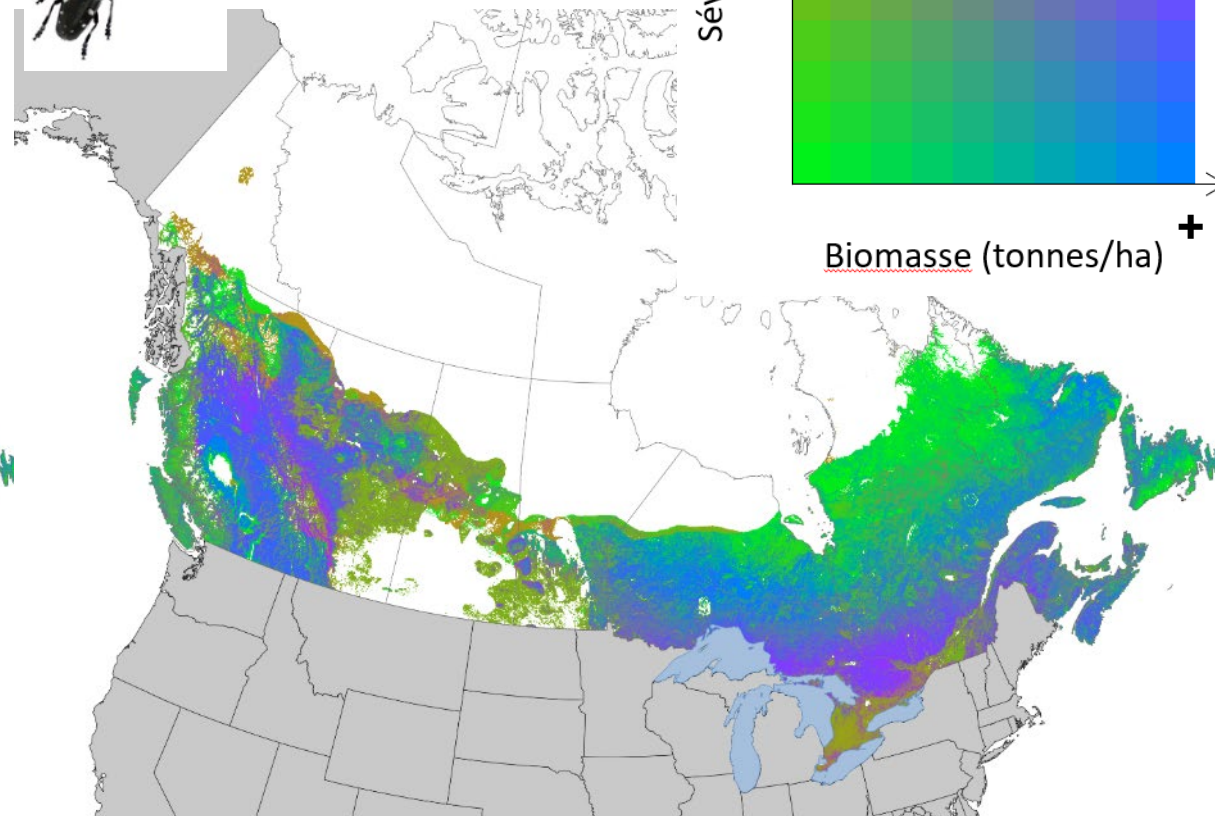
# Vulnérabilité aux ravageurs exotiques *Résultats préliminaires*

Impact de l'éradication du longicorne asiatique sur la biomasse potentiellement à risque

4 926 000 tonnes de plus...



Biomasse forestière potentiellement à risque (2011-2040)  
**Avec éradication du longicorne asiatique**



Biomasse forestière potentiellement à risque (2011-2040)  
**Sans éradication du longicorne asiatique**





## Vulnérabilité des forêts?

- Sécheresse
- Feu
- Inondation
- Canicule
- Épidémies d'insectes
- Évènements extrêmes
- Conditions de croissance altérées



C. Anecou et al.  
<https://crecq.qc.ca/sylvi-ccc/>

	Sensibilité de l'arbre à la sécheresse		
	Évitement de la sécheresse	Résistance contre les dommages causés par la sécheresse	Rétablissement de la population
Sapin baumier	3	2	2
Érable à sucre	3	3	3
Épinette noire	1	5	3
Bouleau à papier	2	1	3
Bouleau jaune	2	2	3
Pin blanc	5	2	2
Chêne rouge	5	4	2
Érable rouge	3	2	5
Pruche du canada	2	2	1
Peuplier faux-tremble	3	1	5







## GUIDE SYLVICOLE

d'adaptation aux changements climatiques des peuplements à risque de déclin du Centre-du-Québec  
adapté au réseau de connectivité écologique



PHASE 2

C. Anecou et al.  
<https://crecq.qc.ca/sylvi-ccc/>

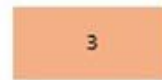
	Sensibilité de l'arbre à la sécheresse			Ravageurs exotiques
	Évitement de la sécheresse	Résistance contre les dommages causés par la sécheresse	Rétablissement de la population	Risques présent et futur
Sapin baumier	3	2	2	3
Érable à sucre	3	3	3	3 / -
Épinette noire	1	5	3	5
Bouleau à papier	2	1	3	3 / 4
Bouleau jaune	2	2	3	3 / 4
Pin blanc	5	2	2	2
Chêne rouge	5	4	2	3 / 5
Érable rouge	3	2	5	3 / -
Pruche du canada	2	2	1	1
Peuplier faux-tremble	3	1	5	3 / 5



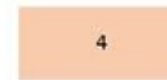
1 Sensible



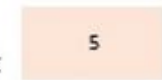
2 Moyennement sensible



3 Intermédiaire

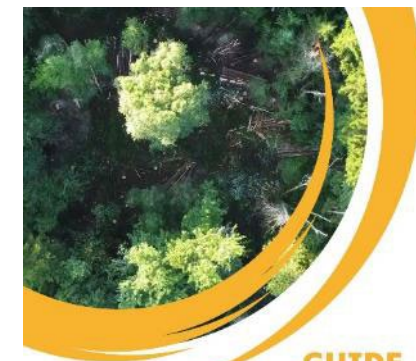


4 Moyennement tolérant



5 Tolérant





## GUIDE SYLVICOLE

d'adaptation aux changements climatiques des peuplements à risque de déclin du Centre-du-Québec  
adapté au réseau de connectivité écologique

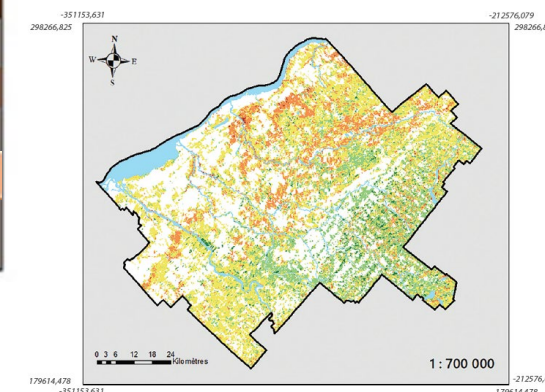


PHASE 2

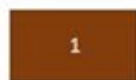
C. Anecou et al.

<https://crecq.qc.ca/sylvi-ccc/>

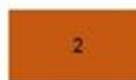
FIGURE 5 : ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ DES PEUPLMENTS À LA SÉCHERESSE D'ICI 20 À 50 ANS SELON LE SCÉNARIO CLIMATIQUE RCP 8,5 AU CENTRE-DU-QUÉBEC



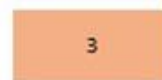
	Sensibilité de l'arbre à la sécheresse			Ravageurs exotiques	Feu				Migration		
	Évitement de la sécheresse	Résistance contre les dommages causés par la sécheresse	Rétablissement de la population		Risques présent et futur	Protection physique contre le feu	Rétablissement de la population par multiplication végétative	Rétablissement de la population par semences	Adaptation à un intervalle de feu plus court	Capacité de reproduction	Capacité de dispersion
Sapin baumier	3	2	2	3	1	2	2	1	3	2	3
Érable à sucre	3	3	3	3 / -	2	2	1	1	3	3	3
Épinette noire	1	5	3	5	1	2	5	4	3	3	3
Bouleau à papier	2	1	3	3 / 4	1	4	4	4	5	5	3
Bouleau jaune	2	2	3	3 / 4	2	2	4	1	5	4	1
Pin blanc	5	2	2	2	5	1	4	5	3	3	5
Chêne rouge	5	4	2	3 / 5	3	4	2	3	1	1	3
Érable rouge	3	2	5	3 / -	2	5	4	5	5	4	5
Pruche du canada	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	3
Peuplier faux-tremble	3	1	5	3 / 5	2	5	4	5	5	5	5



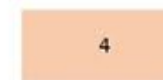
1 Sensible



2 Moyennement sensible



3 Intermédiaire



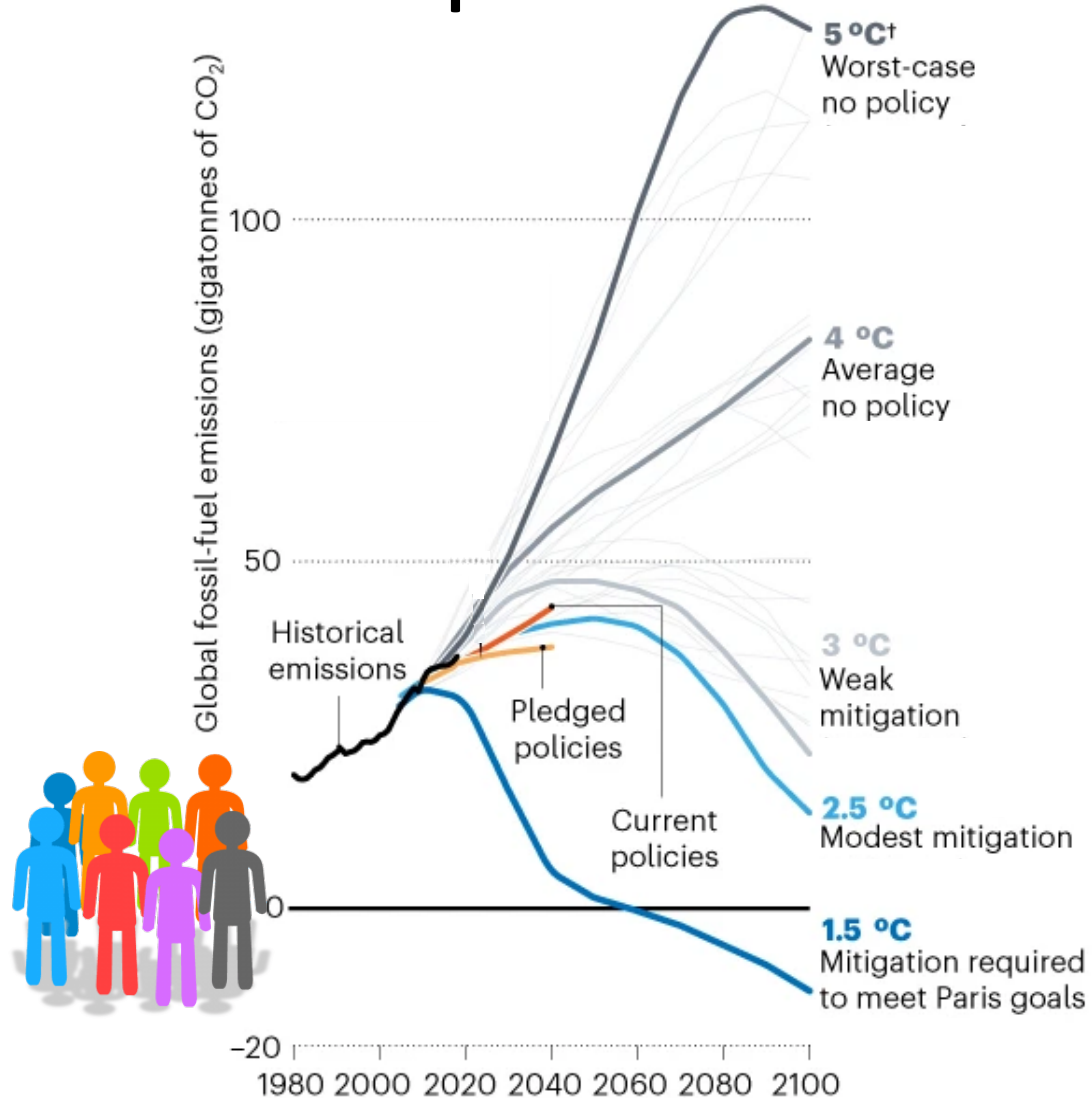
4 Moyennement tolérant



5 Tolérant

# Deux grandes inconnues:

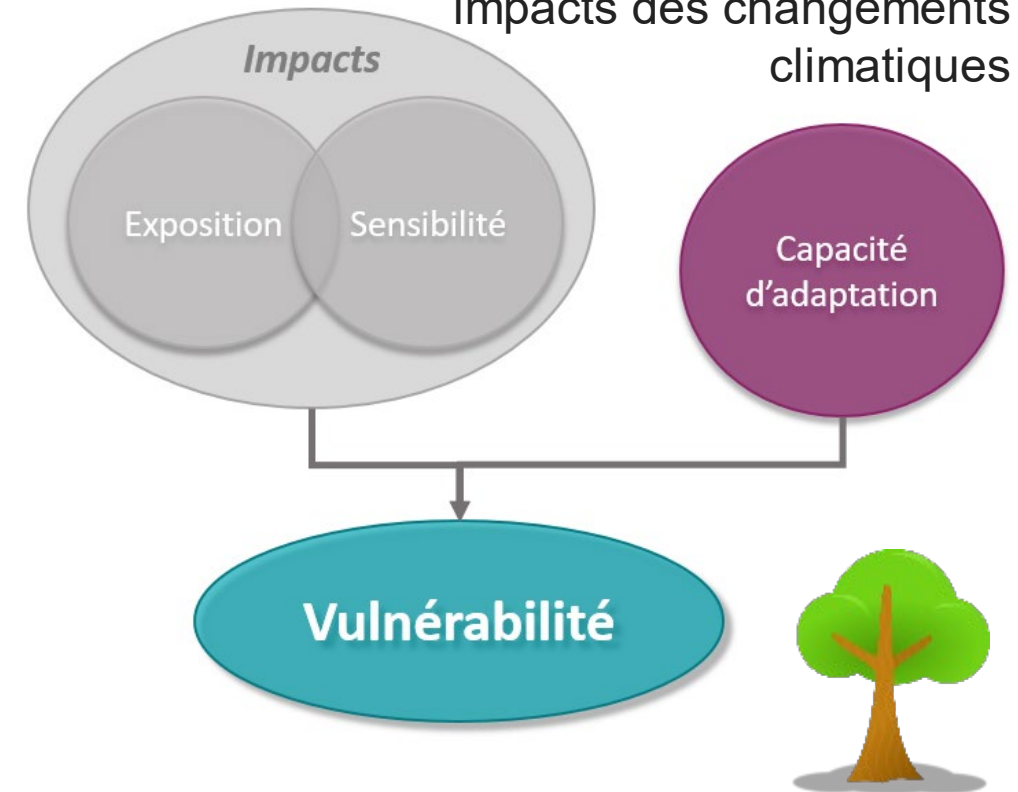
## Le scénario que nous choisirons



Adapté de Hausfather & Peters 2020. Nature  
<https://www.nature.com/articles/d41586-020-00177-3>

## La capacité d'adaptation des espèces

**Intrinsèque** – Capacité des organismes, espèces et écosystèmes à s'adapter aux impacts des changements climatiques



Royer-Tardif et al. 2021. *Ecology and Evolution*. 2021;DOI: 10.1002/ece3.8024



## Vulnérabilité des forêts de l'Outaouais?

Mitigation des changements climatiques,  
Prévention des introductions  
... sont toujours les meilleurs choix

Changements Climatiques: les limites des mesures d'adaptation

Prévenir les introductions (réseau de surveillance, programme d'éradication): option la moins coûteuse

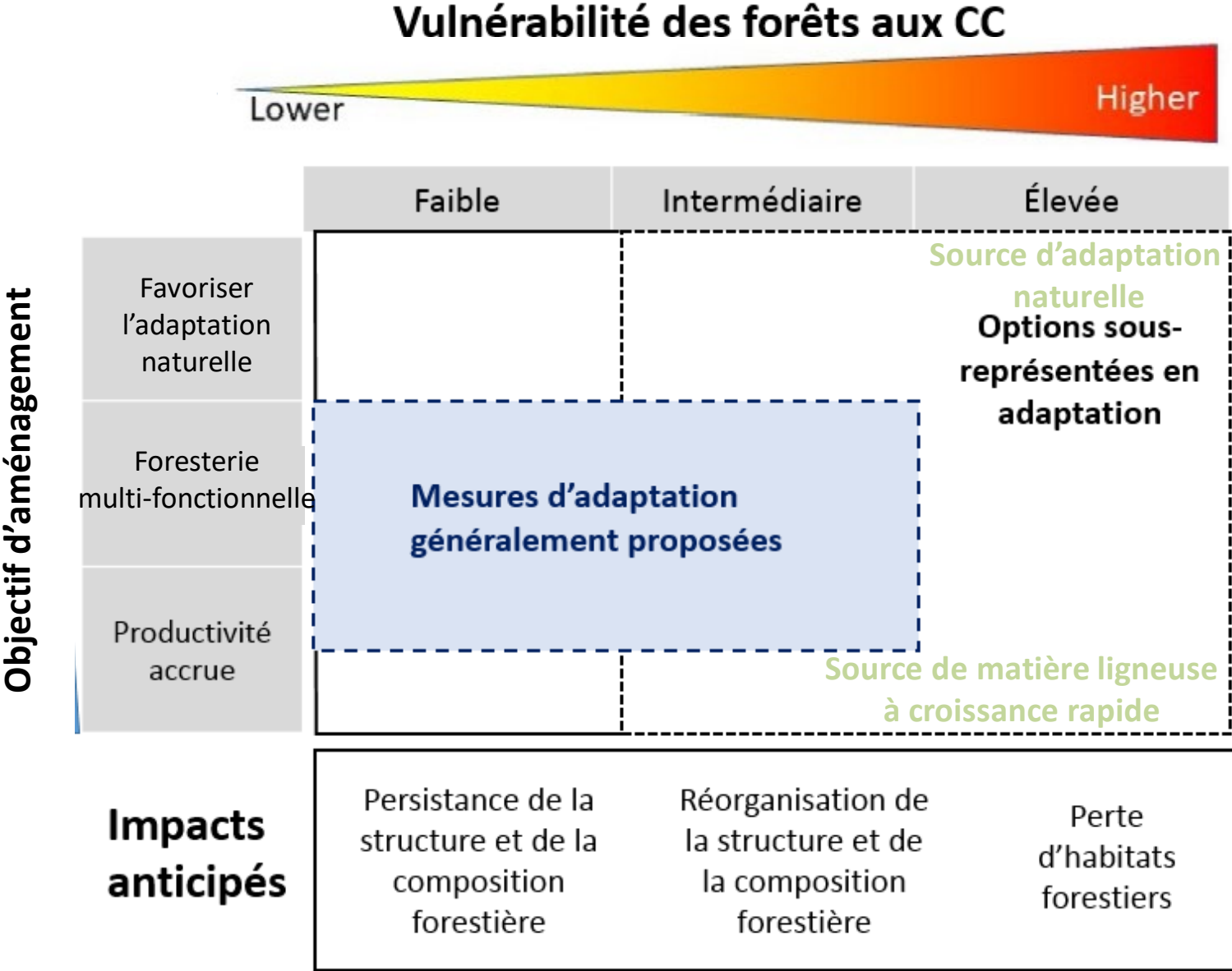




# Élargir le portfolio de mesures d'adaptation en prenant en compte la vulnérabilité des forêts



Samuel Royer-Tardif





# Merci! Questions?

[Isabelle.Aubin@NRCan-RNCan.gc.ca](mailto:Isabelle.Aubin@NRCan-RNCan.gc.ca)



Équipe « Changements forestiers »

- Kevin Lawrence
- Ted Hogg
- André Beaudoin
- Pierre Bernier
- Sylvie Gauthier
- Yan Boulanger
- Anthony Taylor
- Catherine Ste. Marie
- Dan McKenney
- John Pedlar

Groupe de travail « Tree traits & Climate Change »

- Alison Munson (Laval U)
- Phil Burton (UNBC)
- Alain Paquette (UQAM)
- Sylvain Delagrangue (UQO)
- Christian Messier (UQO)
- Bill Shipley (Sherbrooke U)
- Fernando Valladares (CCMA, Spain)
- Jens Kattge (Jena, Germany)



Membres du Réseau canadien de traits et TOPIC

Forest Gene Conservation Association: Kirsten Sandvall & Kerry Mclaven

Nathalie Isabel, Nelson Thiffault, Frederik Doyon, Philippe Nolet, Jurgen Bauhus, Julie Godbout, Amanda Roe, Taylor Scarr, Laura Scott, Chris MacQuarrie, Craig Zimmerman, Glenn Lawrence, Hélène Ouellet et plusieurs autres!



## **Ressources disponibles:**

### **Via le site web de Ressources Naturelles Canada:**

<https://glfc.cfsnet.nfis.org/fcvul/?&lang=fr>

<https://ressources-naturelles.canada.ca/changements-climatiques/impacts-adaptation/changements-climatiques/indicateurs-des-changements-forestiers/secheresse/17773>

### **Via Forest Gene Conservation Association (anglais seulement):**

<https://sites.google.com/fgca.net/tree-climate-vulnerability/sensitivity>

Information:

Drought - <https://sites.google.com/fgca.net/tree-climate-vulnerability/sensitivity/drought>

Migration - <https://sites.google.com/fgca.net/tree-climate-vulnerability/sensitivity/migration>

Fire - <https://sites.google.com/fgca.net/tree-climate-vulnerability/sensitivity/fire>

Outil

Drought – <https://public.tableau.com/app/profile/kristen.sandvall/viz/shared/3Q4ZBMW9W>

Migration - <https://public.tableau.com/app/profile/kristen.sandvall/viz/shared/ZFMKNYZDM>

Fire - [https://public.tableau.com/shared/SHJ4Y2SYP?:display\\_count=n&:origin=viz\\_share\\_link](https://public.tableau.com/shared/SHJ4Y2SYP?:display_count=n&:origin=viz_share_link)

### **Papiers scientifiques libre accès:**

Capacité de migration: <https://doi.org/10.1111/ddi.13630>

Sensibilité des arbres: <https://doi.org/10.3390/f11090989>

Évaluation de la vulnérabilité: <https://doi.org/10.1002/ecs2.2108>

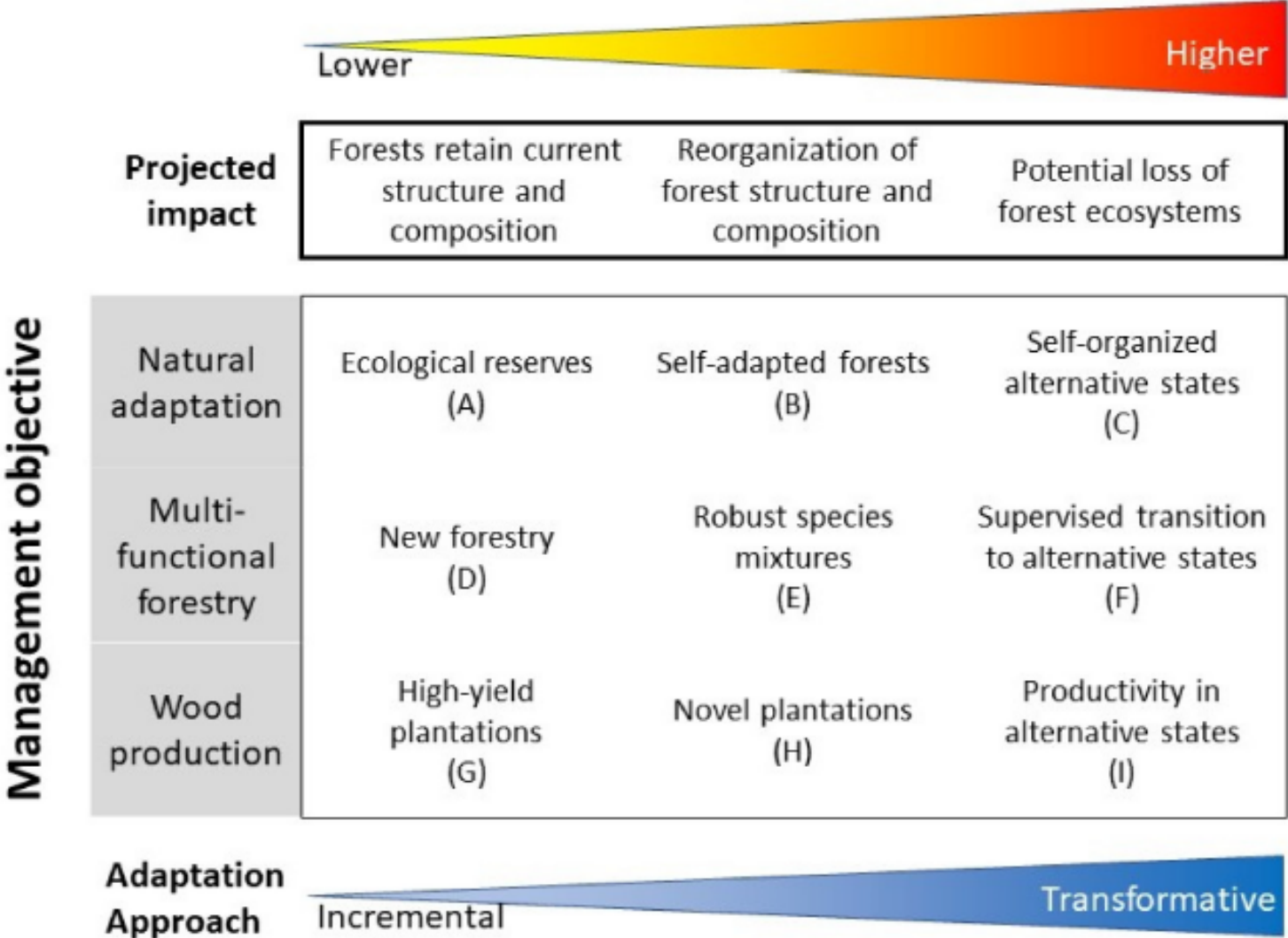
Capacité d'adaptation des arbres: <https://doi.org/10.1002/ece3.8024>

Portfolio d'adaptation : <https://doi.org/10.3390/f12030273>





# Forest vulnerability

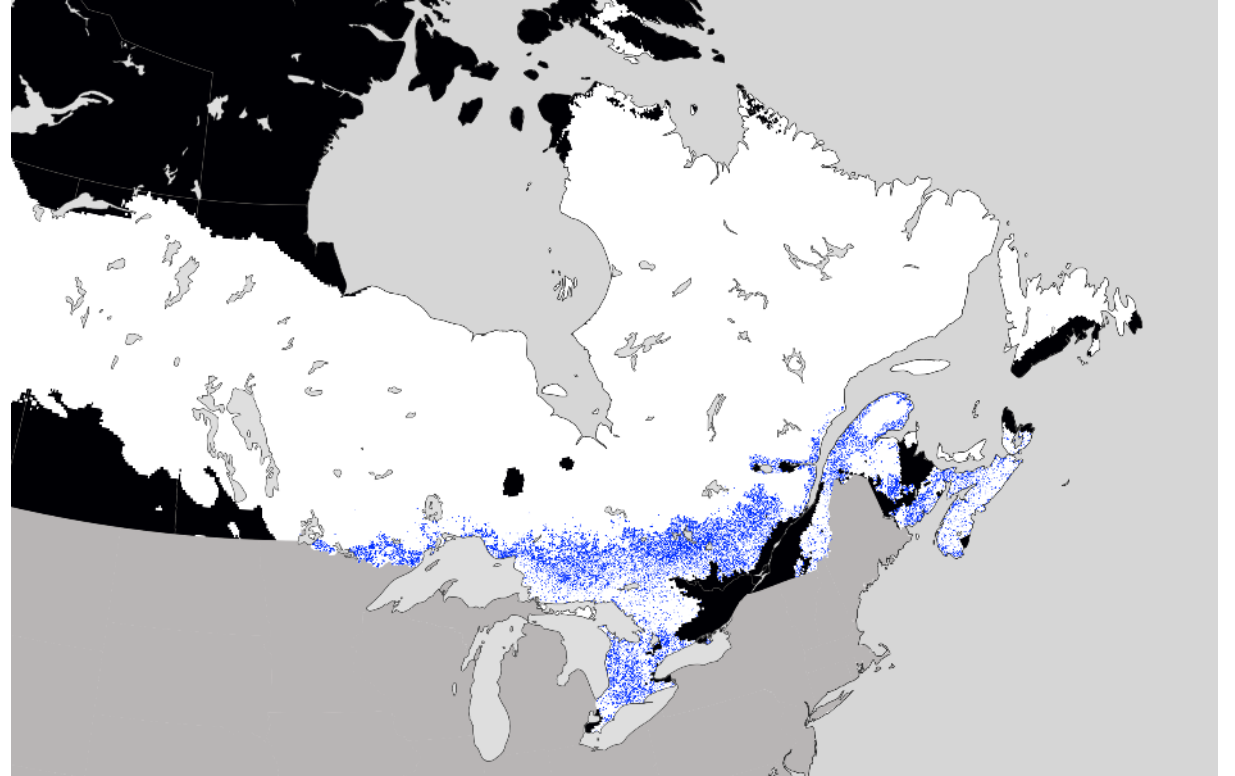


**Table 1.** Examples of management options for adaptation to climate change corresponding to different combinations of the three management objectives: favoring natural adaptive capacity (natural adaptation), promoting multiple functions within each stand (multi-functional forestry), and emphasizing forest productivity (wood production) with three levels of forest vulnerability: lower, intermediate, and higher. Letters in the first column refer to Figure 1. Main objective and examples for each option are also provided. <sup>1</sup> New forestry *sensu* [22], i.e., practices that trade single-purpose timber production for a more holistic ecosystem orientation considering stand diversity and biological legacies. <sup>2</sup> Species mixtures that are able to provide services under different environmental conditions. ASCC: Adaptive Silviculture for Climate Change.

	Objective	Forest Vulnerability	Option	Definition	Example
A	Natural adaptation	Lower	Ecological reserves	Retain valuable forest features and biodiversity along with their associated cultural values	Biodiversity hotspots in southeastern Canada [65]
B	Natural adaptation	Intermediate	Self-adapted forests	Expose local tree populations to climate change and allow natural adaptation	Let-it burn policy in the Sierra Nevada forests to restore fire resilience [7]
C	Natural adaptation	Higher	Self-organized alternative states	Allow the natural transition of ecosystems to evaluate the extent of natural adaptive capacity	Northern protected areas acting as refuges while experiencing large ecological changes [66]
D	Multi-functional forestry	Lower	New forestry <sup>1</sup>	Reconcile wood production and natural processes based on our best-knowledge of ecosystem functioning	Close-to-nature silviculture in Europe that seeks to favor natural processes guiding ecosystem development [36,58]
E	Multi-functional forestry	Intermediate	Robust species mixtures <sup>2</sup>	Ensure forest regeneration and productivity beyond historical ecological boundaries	Cutfoot Experimental Forest resilience trial (ASCC project) [11]
F	Multi-functional forestry	Higher	Supervised transition to alternative states	Facilitate transition to new state to retain some of the services provided by forest ecosystems	Converting <i>Pinus ponderosa</i> forests to <i>Juniperus</i> dominated woodlands to avoid transition to grasslands [67]
G	Wood production	Lower	High-yield plantations	Maximize productivity with buffering and resistance measures to shorten stand rotation and increase incomes	<i>Pinus radiata</i> plantations in New Zealand [60]
H	Wood production	Intermediate	Novel plantations	Sustain wood production by replacing sensitive species with more tolerant ones or promoting species mixtures as an insurance policy	Replacing drought sensitive <i>Pinus radiata</i> with <i>Pinus pinaster</i> in Western Australia plantations [15] Mixed-species plantations [68]
I	Wood production	Higher	Productivity in alternative states	Develop new forest products to maintain productivity and sustain some forest ecosystem services	Mixed <i>Populus alba</i> – <i>Robinia pseudoacacia</i> coppice in central Spain [69]



Anuclim RCP4.5



Anuclim RCP8.5