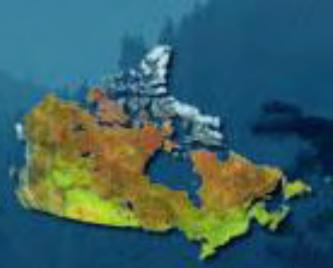


# Des événements climatiques extrêmes précèdent la mortalité des arbres induite par la TBE dans la forêt boréale

Louis De Grandpré SCF, Dan Kneeshaw UQAM, Dominique  
Boucher SCF, Deepa Pureswaran SCF et Martin Girardin SCF

# Plan de la présentation



- Introduction
  - Processus de mortalité
  - Hypothèses
- Méthodes
  - Approche dendro et simulations PPN
  - Changement de régime de croissance et PPN
- Résultats
  - Influence du climat et de la TBE sur la croissance selon l'espèce
  - Période de mortalité
  - Analyses de survie
- Discussion
  - Importance des événements climatiques

# Introduction

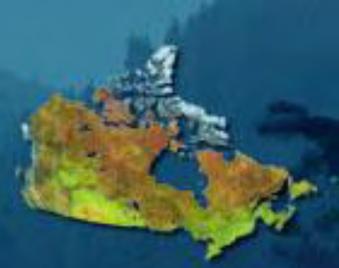


## La mortalité en forêt boréale

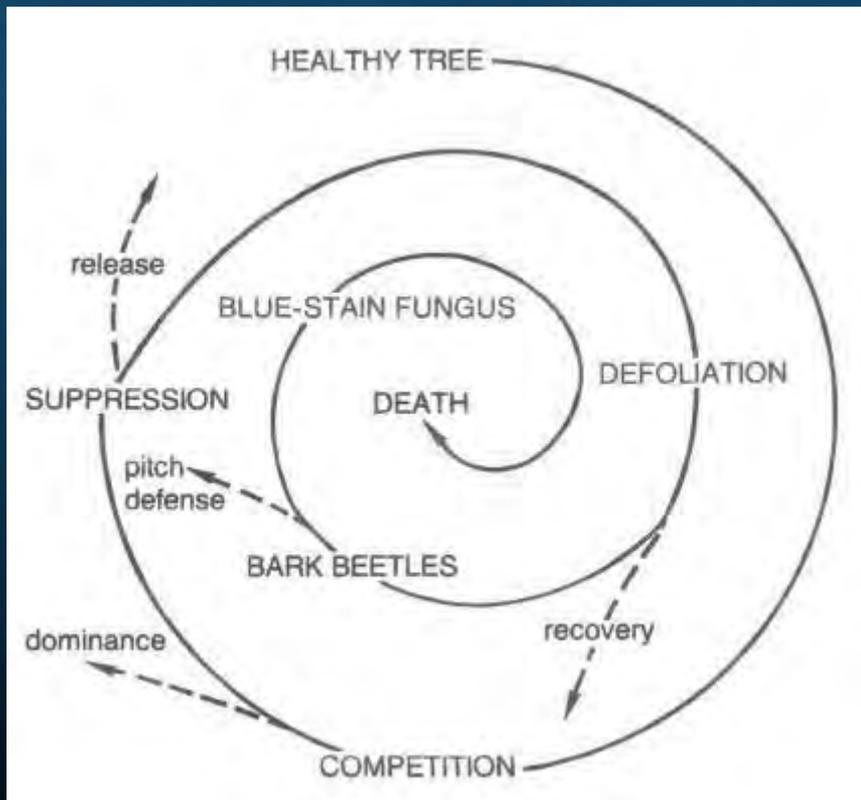
- Événements récurrents
- Entraînent une mortalité massive et subite
- Ré-initient la succession



# Introduction



## Spirale de mortalité (Manion 1981)



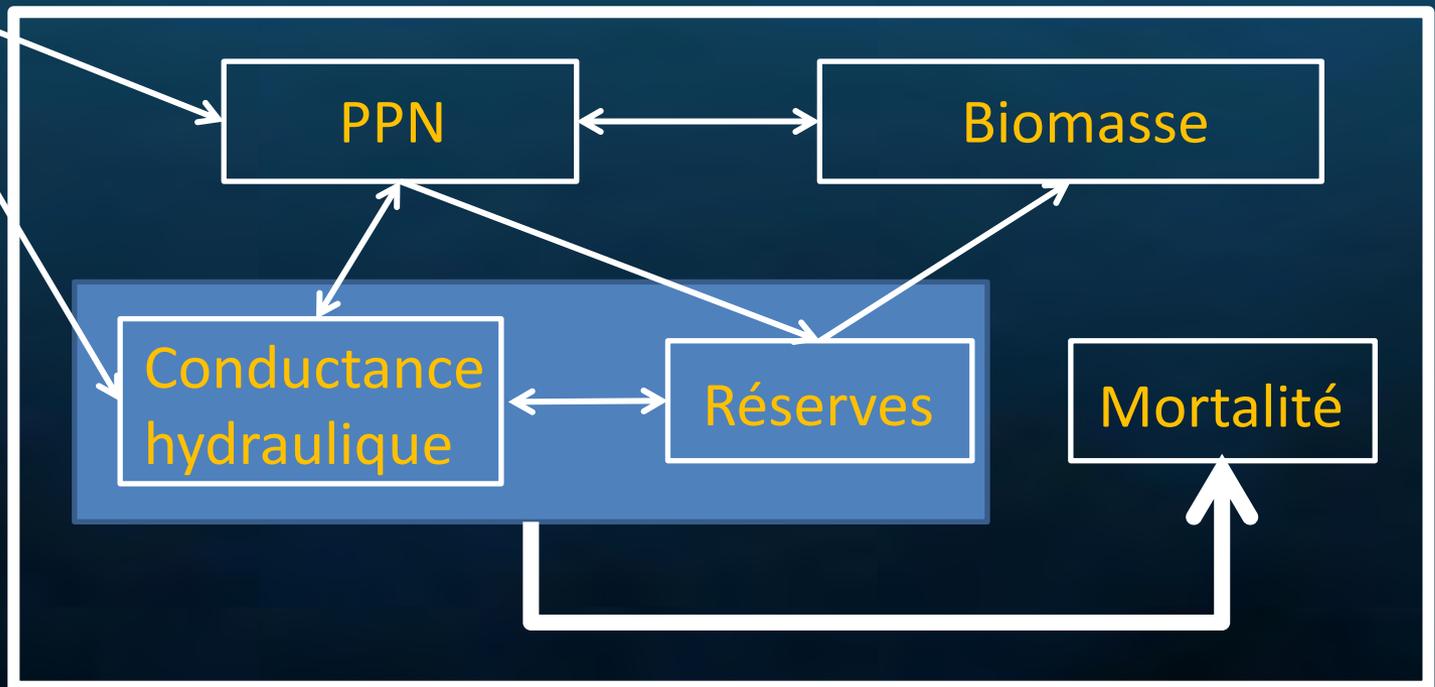
## .. la mortalité en forêt boréale

- Processus continu dans le temps et diffus dans l'espace
- Événements multiples qui interagissent (stress climatiques et biotiques, compétition, âge, etc.)

# Modèle conceptuel associant la mortalité des arbres à la sécheresse

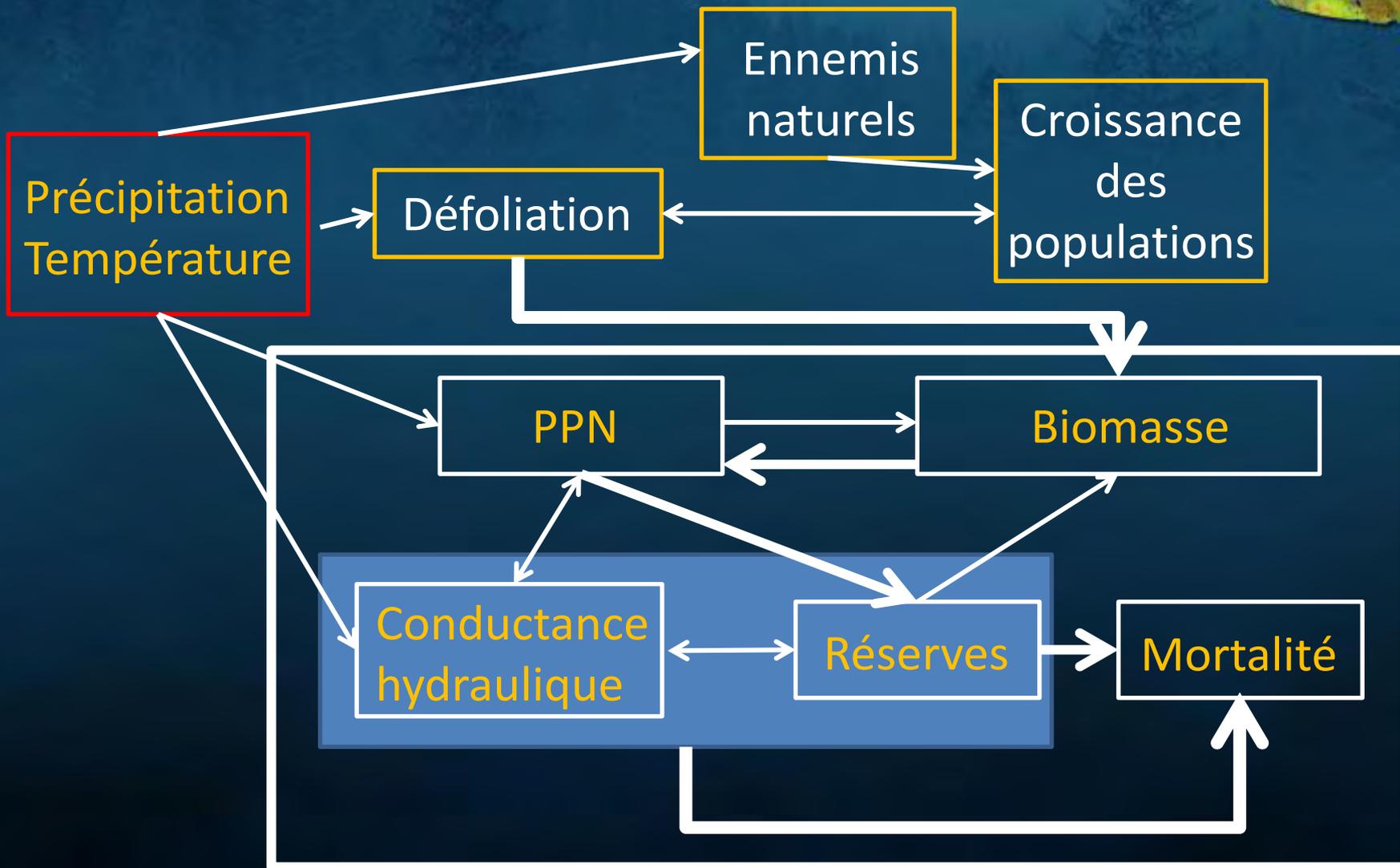


Précipitation  
Température



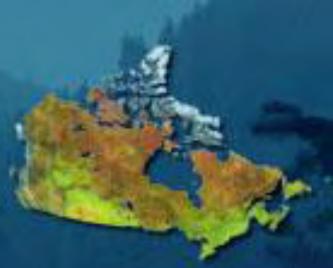
(Anderegg et al. 2015)

# Modèle conceptuel associant la mortalité des arbres au climat en interaction avec défoliateurs



(adapté de Anderegg et al. 2015)

# Contexte et but de l'étude



## Épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette Côte-Nord

- En cours depuis 2006
- 1974-88
- 1947-53
- 1915-1923

## Déclins de croissance associés à des événements climatiques au 20<sup>ème</sup> siècle

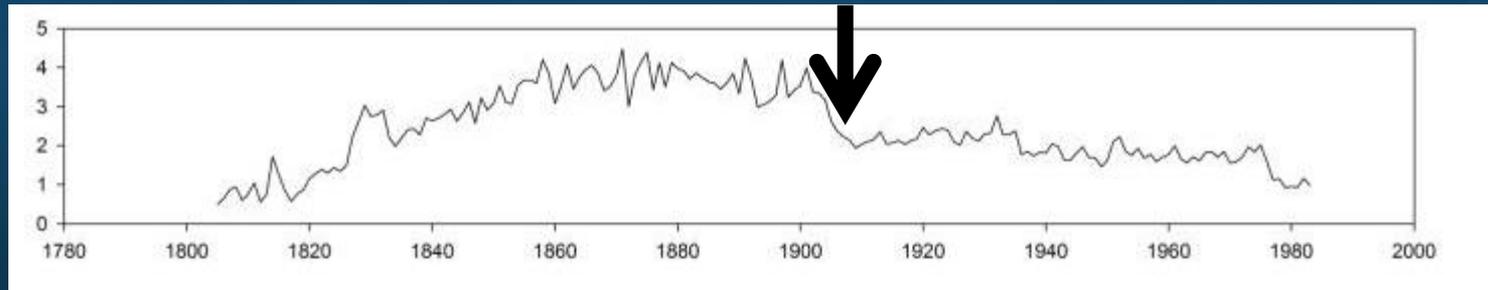
- Sécheresses (Girardin et al. 2015)
- Température estivale et perte de couverture de glace Baie Hudson (Girardin et al. 2014)

Comment des perturbations climatiques et biotiques récentes et passées interagissent dans le processus de mortalité du sapin baumier et de l'épinette noire

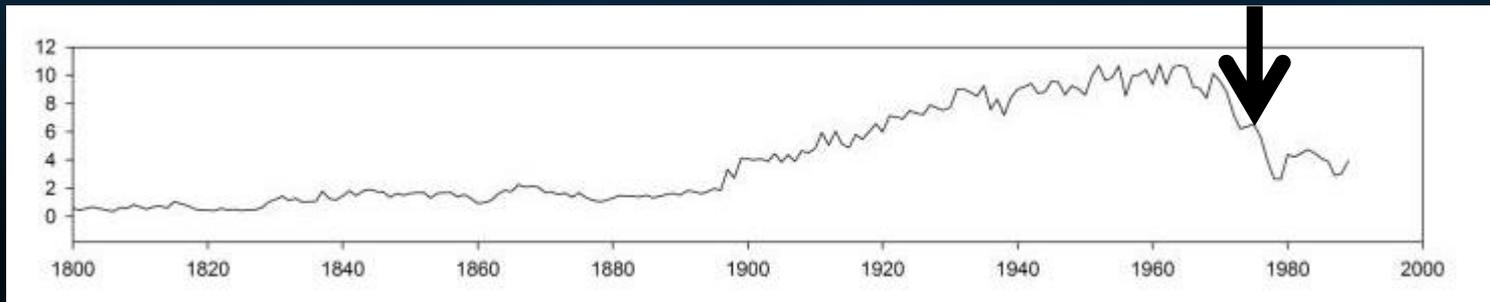
# Hypothèses



H1 Les stress climatiques et/ou la TBE sont des facteurs prédisposant à la mortalité – lent déclin de croissance



H2 Les stress climatiques et/ou la TBE sont des facteurs contribuant à la mortalité – déclin rapide de croissance. Interaction temporelle entre ces deux stress amplifie le signal de mortalité

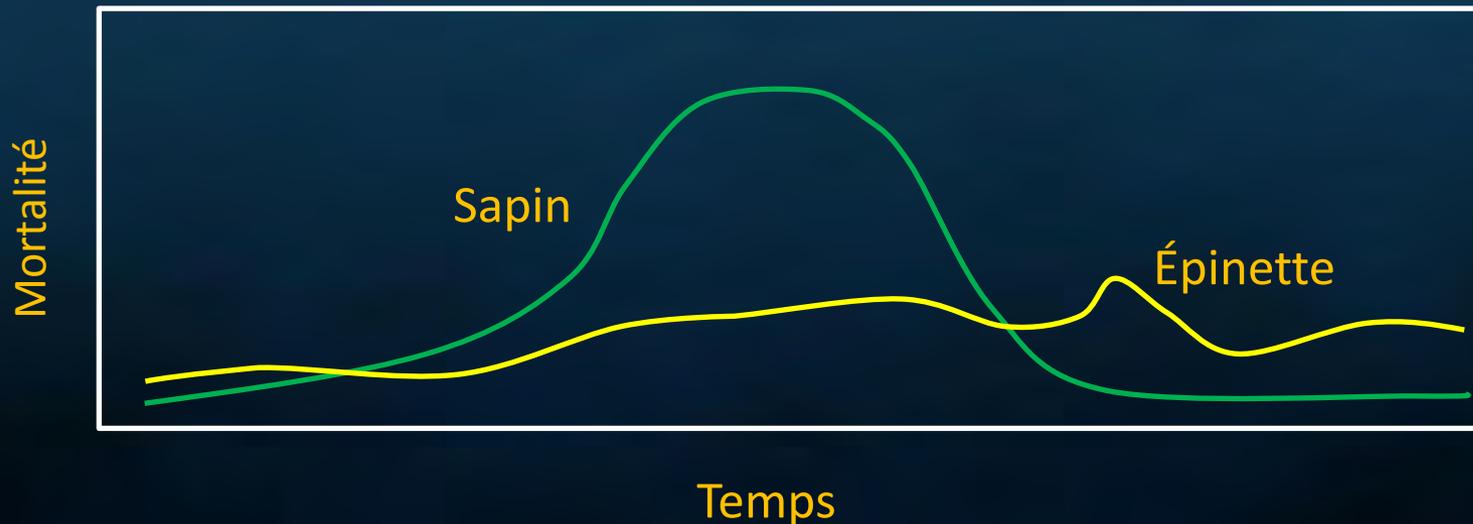


# Hypothèses

H3 Le patron de mortalité devrait être spécifique à l'espèce:

Sapin: pic de mortalité avec TBE.

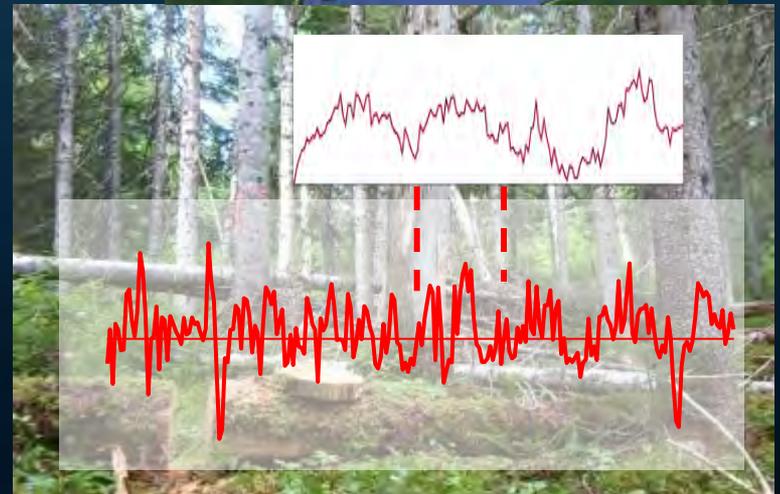
Épinette noire: mortalité plus continue dans le temps.



# Méthodes

## Croissance et mortalité

- Morts : 101 sapins et 151 épinettes
- Vivants : 110 sapins et 145 épinettes
- Interdatation et largeur des cernes
- Accroissement en surface terrière
- Année de mortalité = dernier cerne (complet ou incomplet)

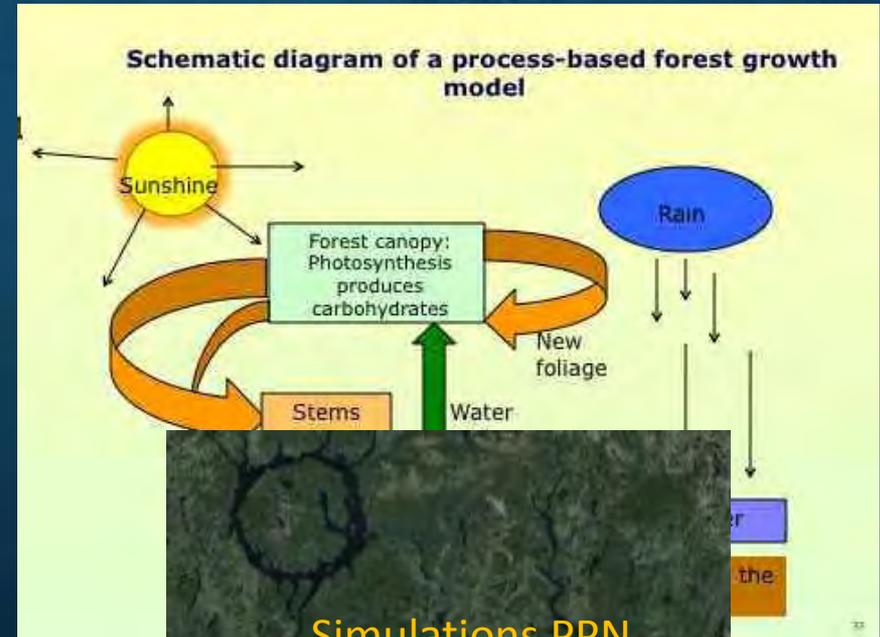


# Méthodes

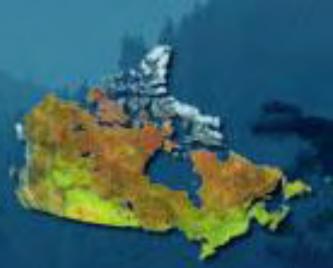


## Influence du climat sur la productivité (PPN)

- Simulation de la PPN avec Standleap (500 / espèce)
- Variables climatiques à chaque point de simulation (1900-2012) / Base Données CRUTS31
- PPN: influence du climat sur la croissance des espèces



# Analyse des données



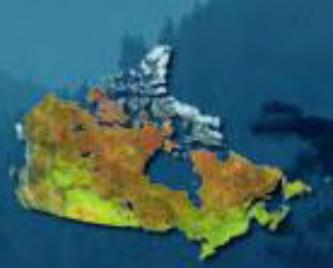
## Détection de changements de régime de croissance (arbres et simulations)

- Série détendancée et sans autocorrélation (AR1)
- Comparaison de moyennes sur périodes de 10 ans



- Identification des années de changement de régime de productivité (déclins et reprise de croissance)
- Méthode de Rodionov (2004, 2006): test de t de Student ajusté selon la variance de la série

# Analyse des données

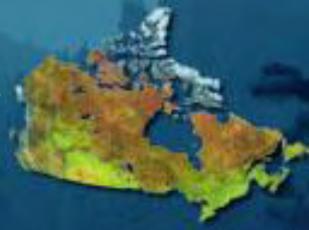


Détection de période de changements de régime de croissance des arbres en enlevant l'effet du climat

Série individuelle (BAI) - PPN moyen simulé = Série sans signal climatique

- Identification des années de changement de régime de productivité (déclins et reprise de croissance)
- Méthode de Rodionov (2004, 2006): test de t de Student ajusté selon la variance de la série

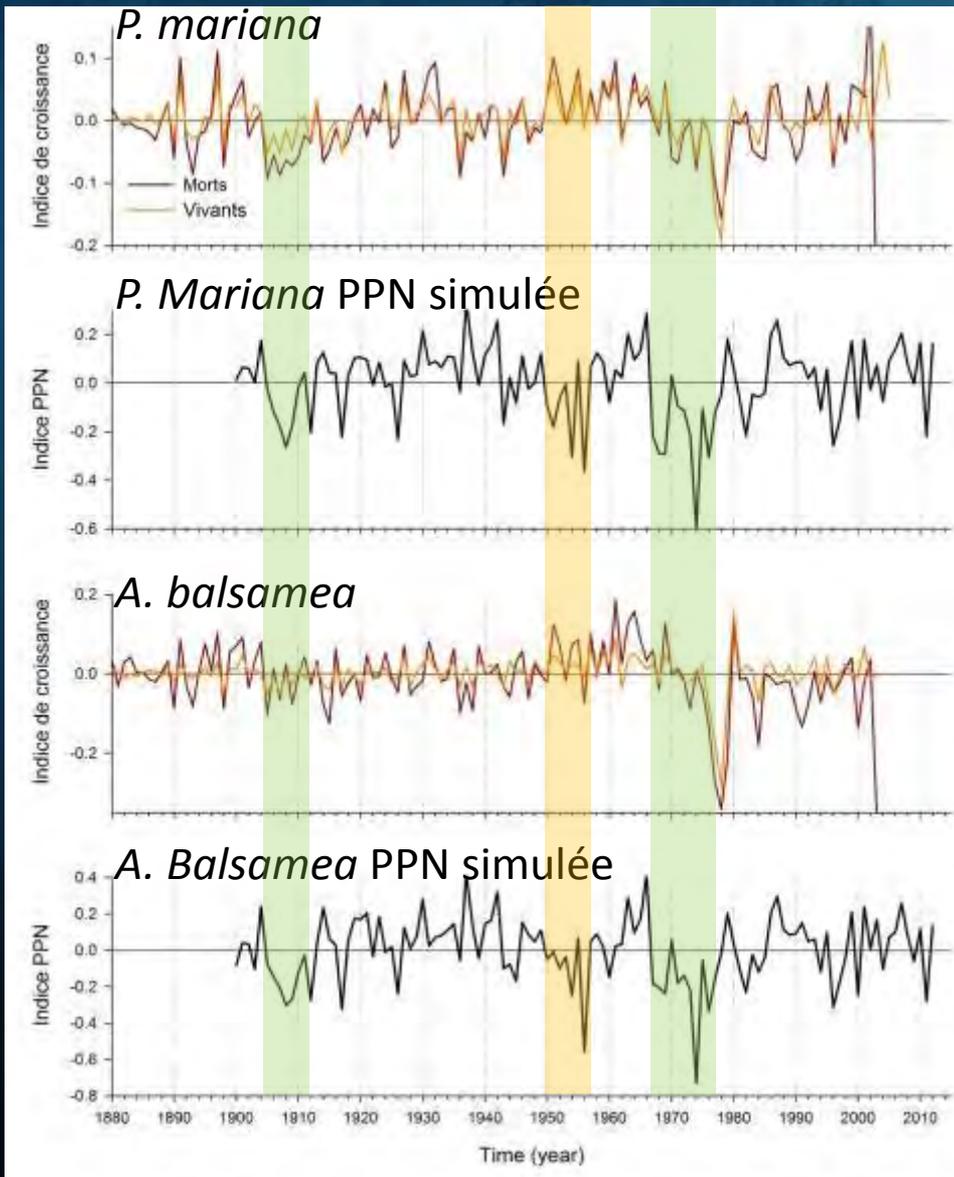
# PPN et chronologies par espèces



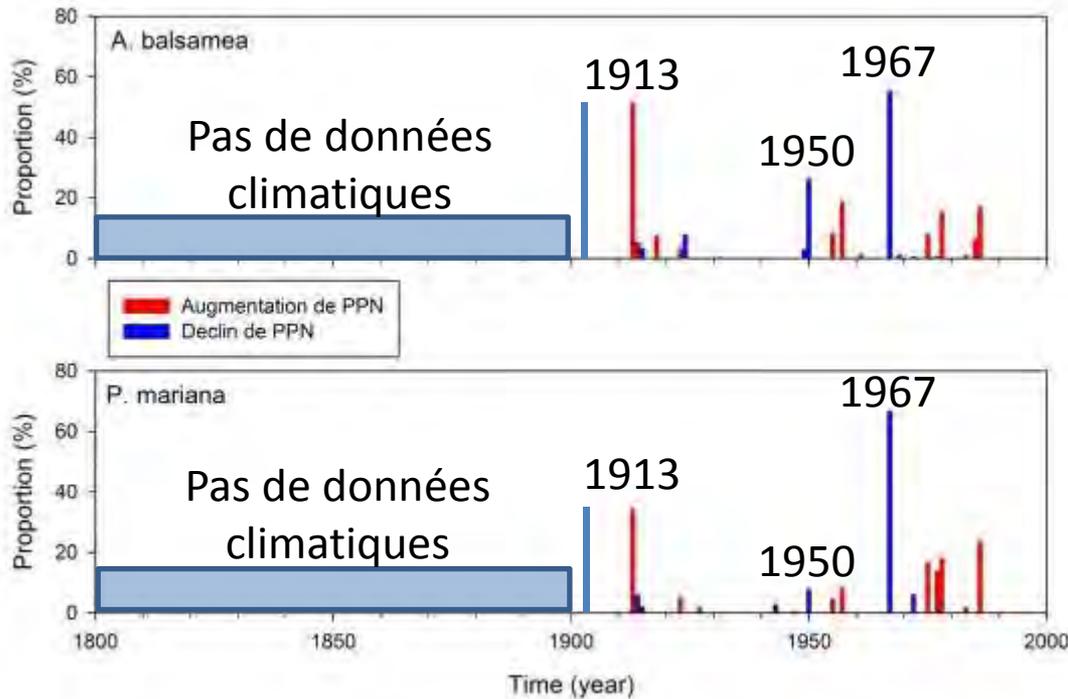
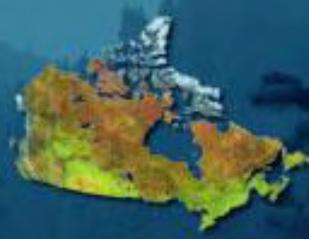
## Corrélation de spearman

PPN	1900-2003	1900-2003 (- TBE)
<i>P. mariana</i>	0.43***	0.52***
<i>A. balsamea</i>	0.28**	0.39***

- 1905 et 1965 : déclin de croissance synchrone
- Vers 1950 déclin seulement observé dans simulations

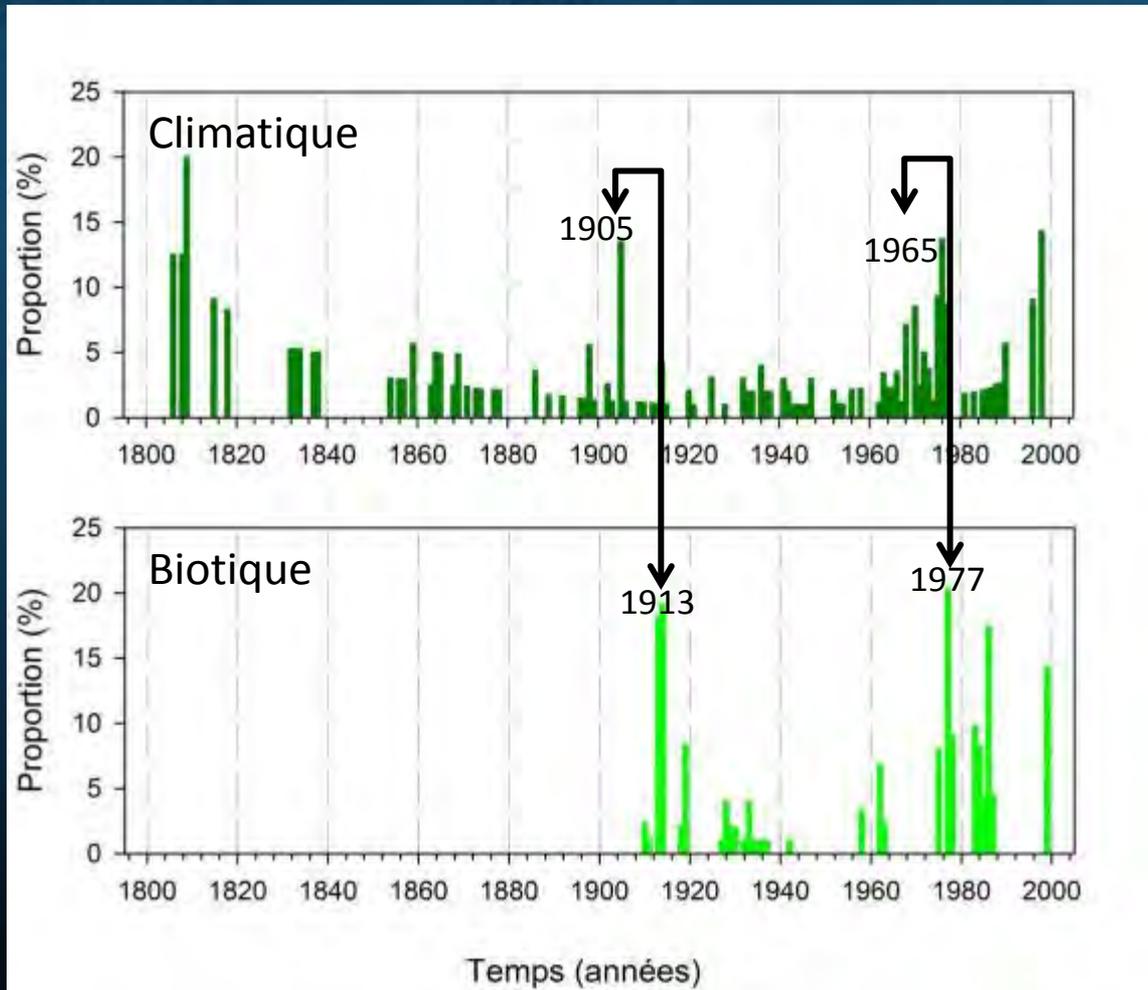


# Changements de régime de PPN



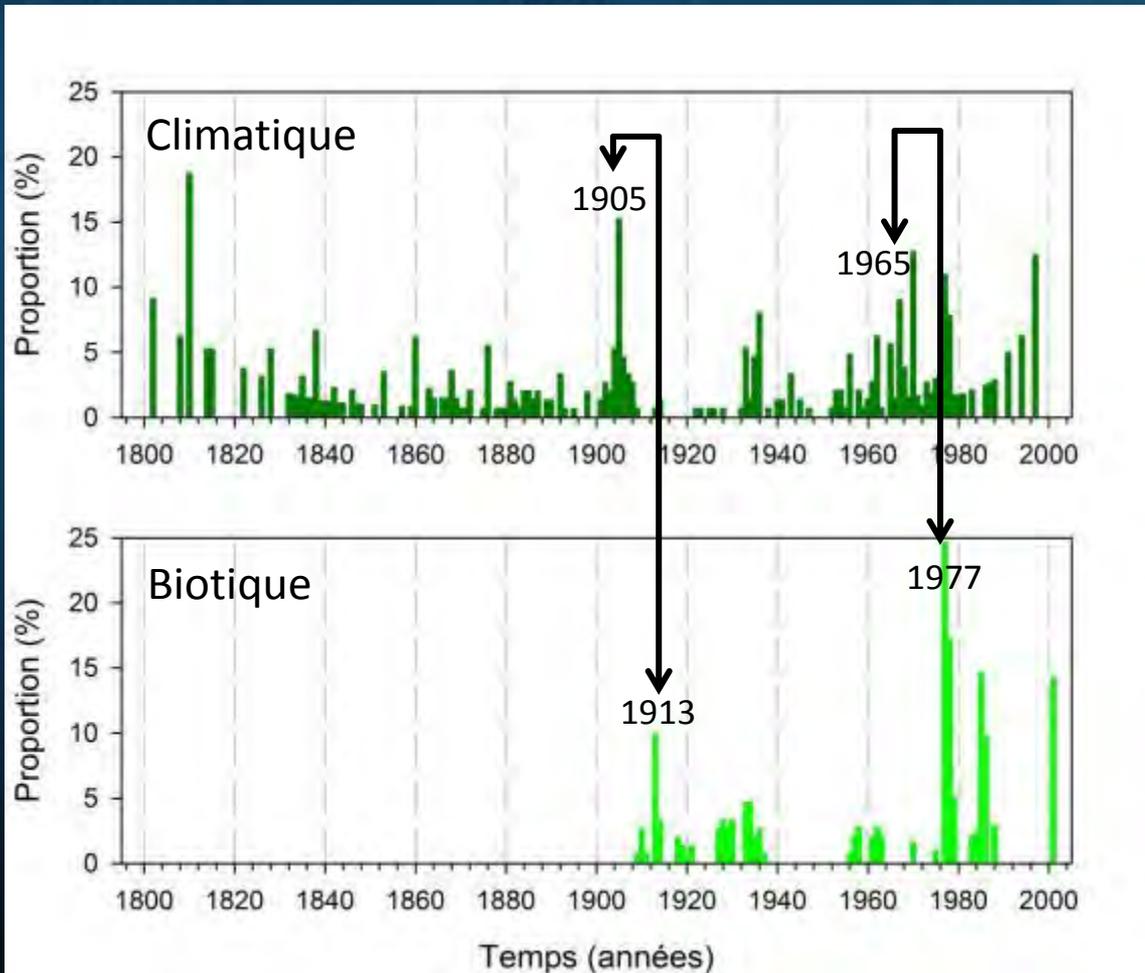
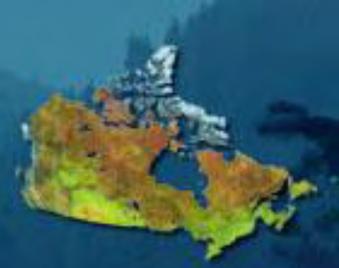
- Deux périodes marquantes de déclin de PPN (1903 et 1967)
- Printemps plus froids que la moyenne
- Diminution de la disponibilité en eau dans le sol
- Diminution de l'efficacité d'utilisation du C dans les 50 dernières années

# Changements de régime de croissance sapins morts



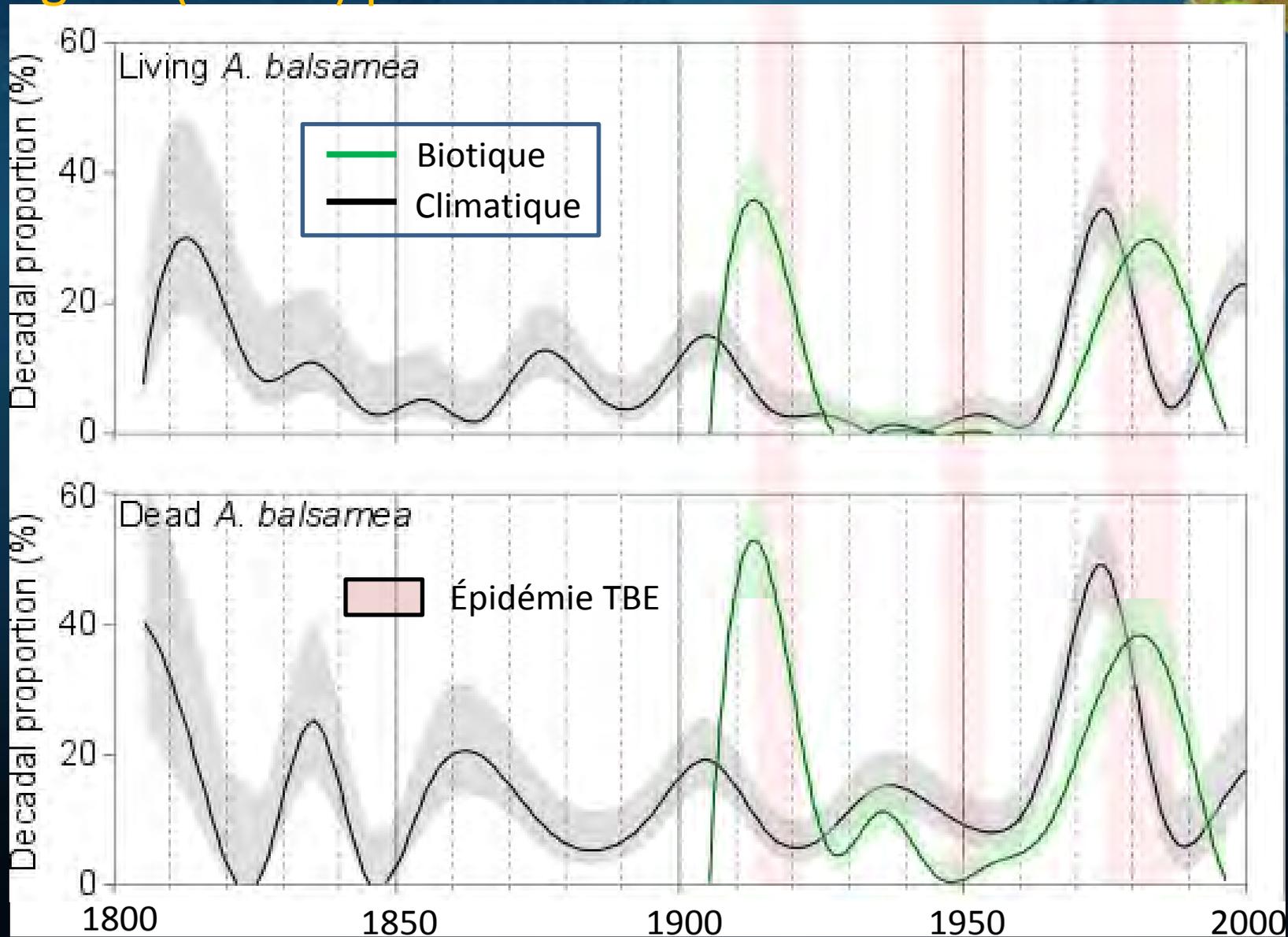
- Synchronisme période de déclin (PPN et croissance des arbres)
- Deux périodes associées à des perturbations biotiques
- Perte de vigueur associée à des événements successifs

# Changements de régime de croissance épinettes mortes

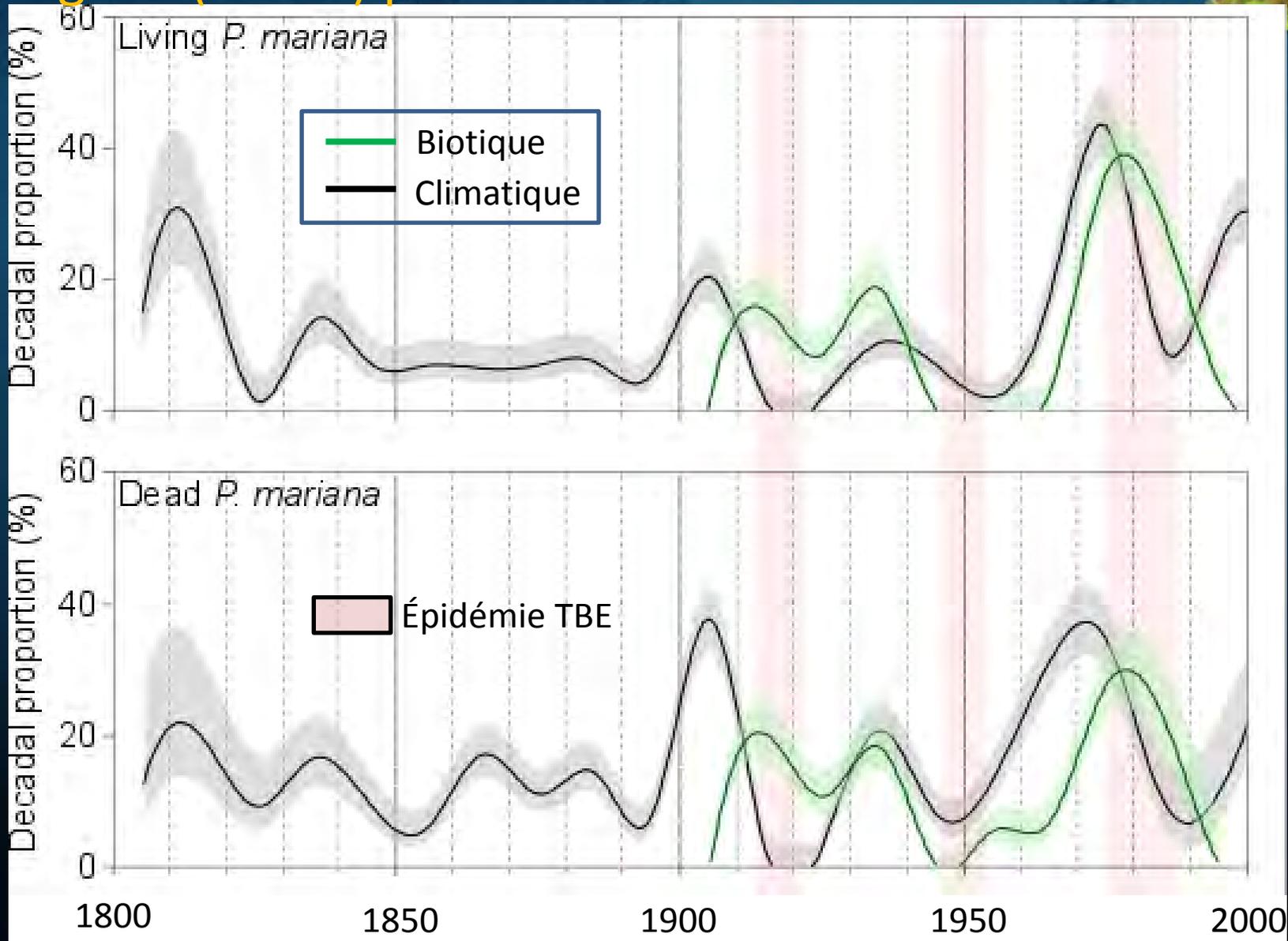


- Synchronisme période de déclin (PPN et croissance des arbres)
- Deux périodes associées à des perturbations biotiques
- Perte de vigueur associée à des événements successifs

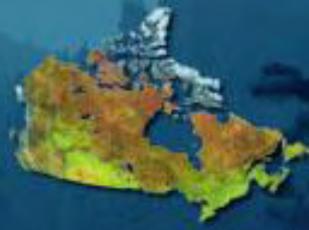
# Proportion des arbres enregistrant un changement de régime (déclin) par décennie



# Proportion des arbres enregistrant un changement de régime (déclin) par décennie

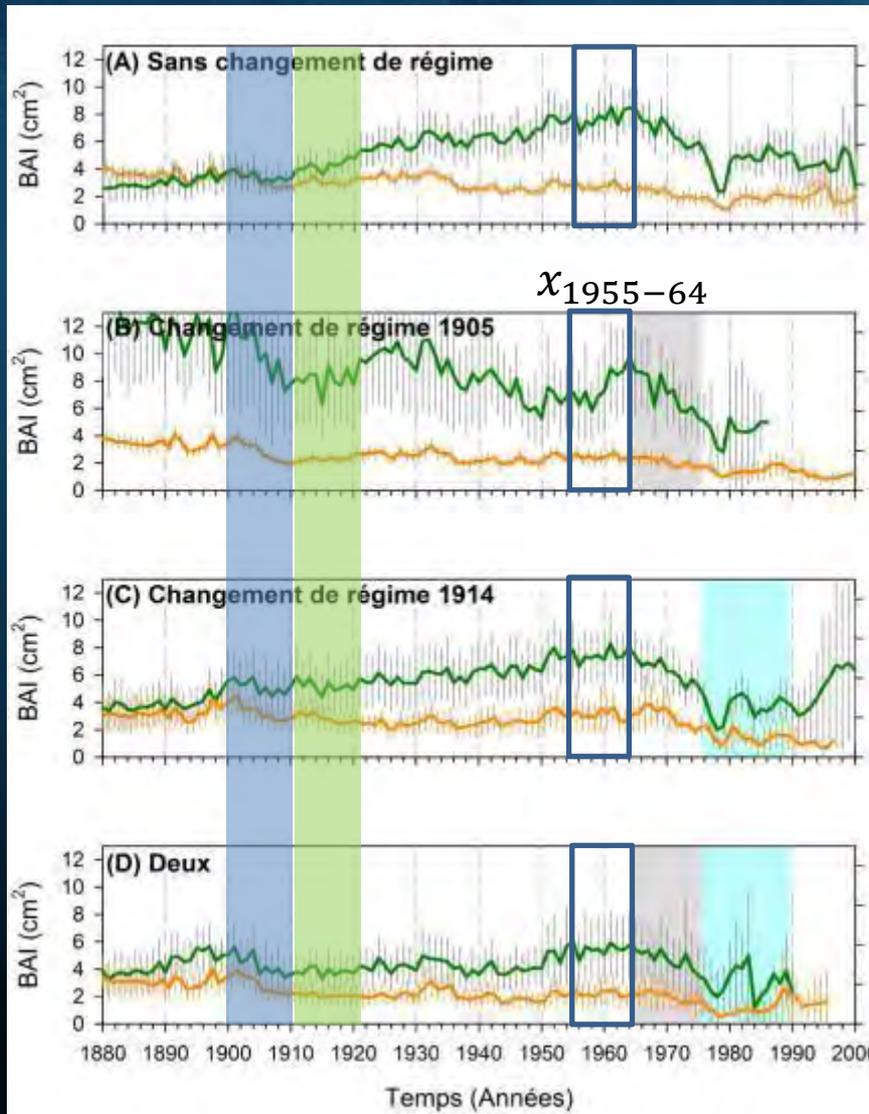


# Constats



	1901-1910	1914-1923 biotique	1961-1975	1976-1988 biotique
Sapin baumier	15-25% séries: déclin	35-55% séries: déclin	48-53% séries: déclin	41-63% séries: déclin
Épinette noire	20-40% séries: déclin	15-25% séries: déclin	46-53 % séries: déclin	45-65% séries: déclin
Cause potentielle	Printemps et été froids	Épidémie TBE 1914-1923	Printemps et été froids / sécheresses / utilisation C ↓	Épidémie TBE 1974-1988

# H1 Les stress climatiques et/ou la TBE sont des facteurs prédisposants à la mortalité – lent déclin de croissance

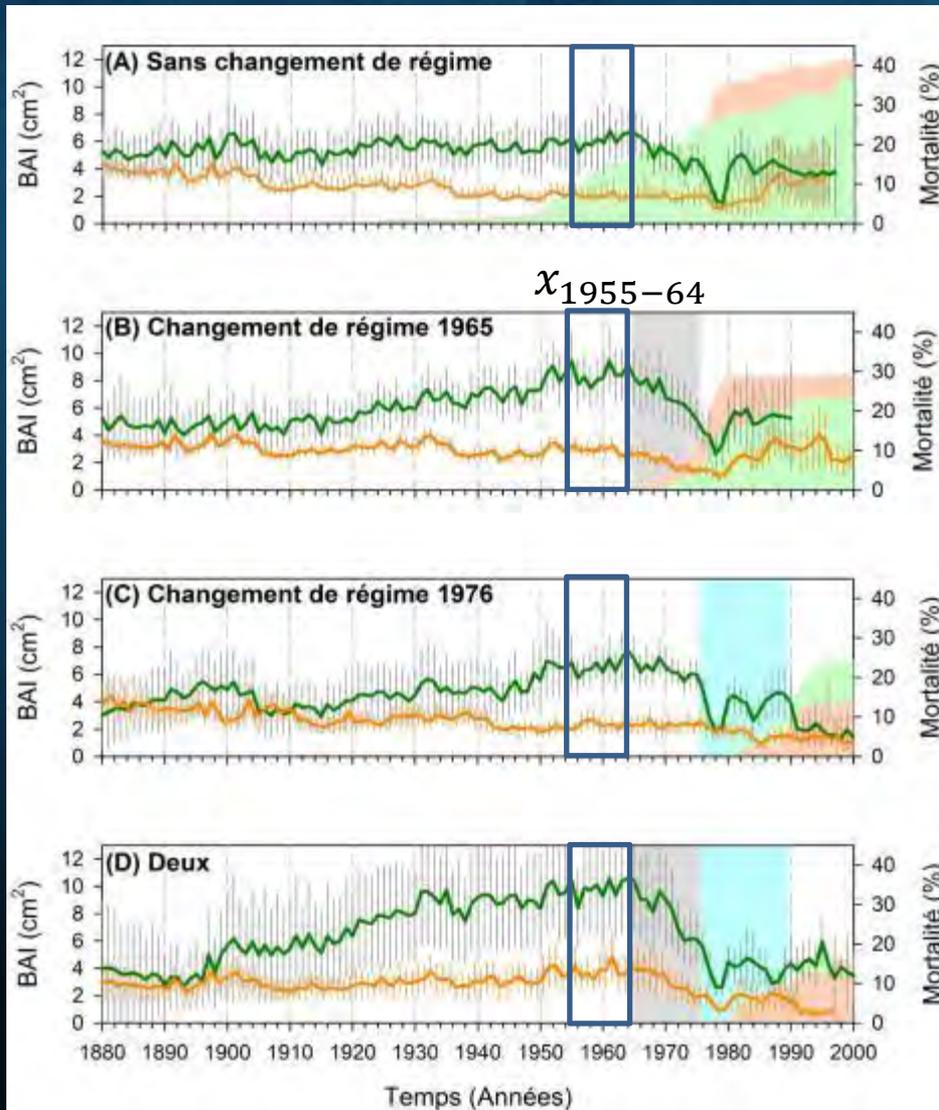


## Modèle linéaire mixte contrastes facteurs prédisposants

<i>P. mariana</i>	$x_{1955-64}$
Climatique seul ou avec biotique (1901-1910)	2.47 cm <sup>2</sup> $P < 0.05$
Biotique seul et aucun (1911-1920)	2.89 cm <sup>2</sup>

- Effet significatif à long terme du climat passé sur la croissance de l'épinette
- Pas d'effet à long terme chez le sapin

## H2 Les stress climatiques et/ou la TBE contribuent à la mortalité – déclin rapide de croissance. (+ interaction)

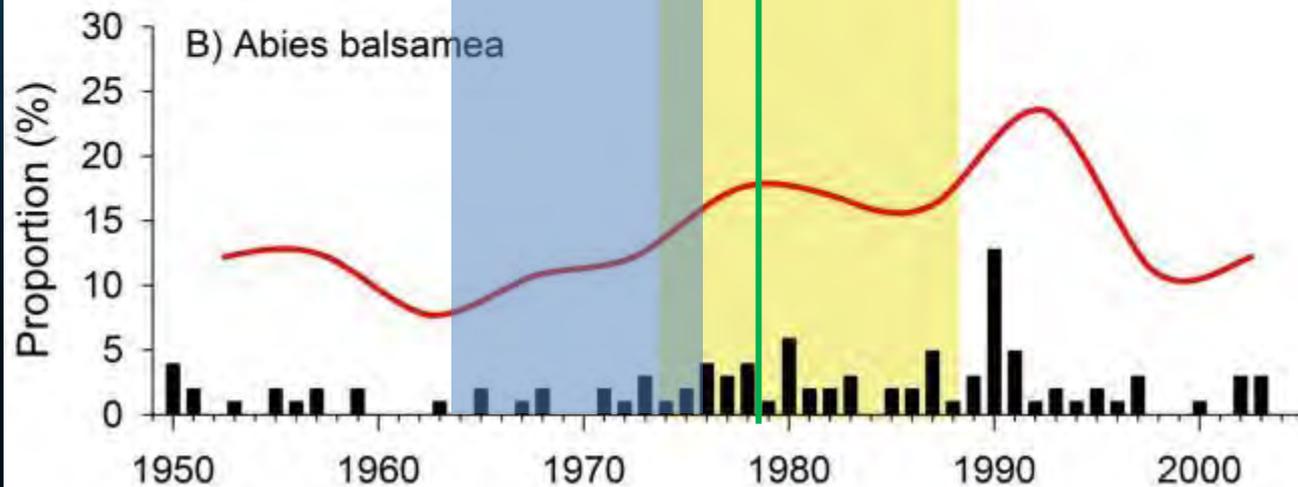
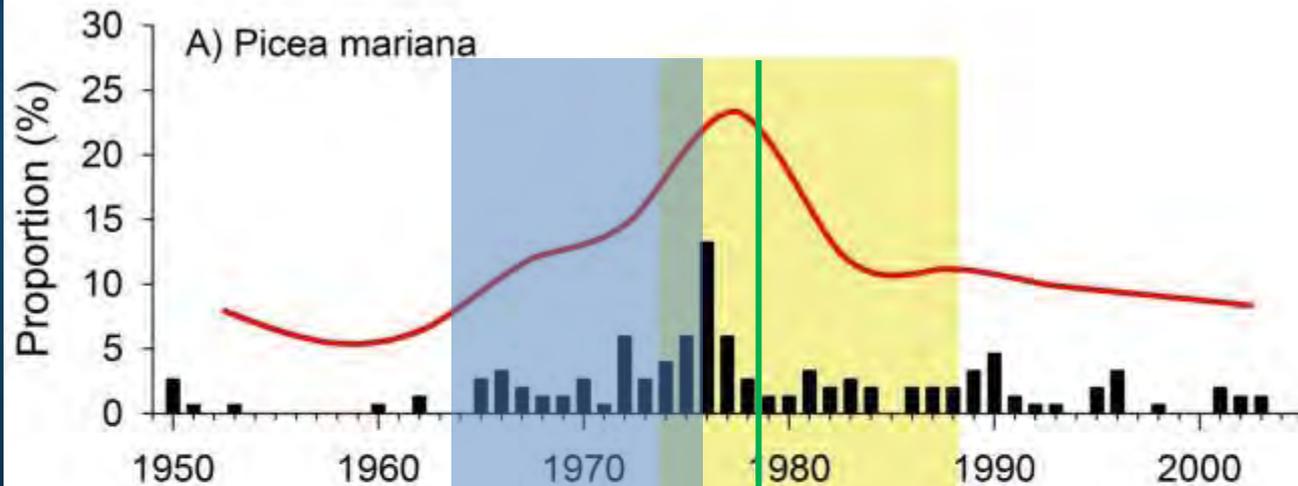


### Modèle linéaire mixte contrastes facteurs contributants

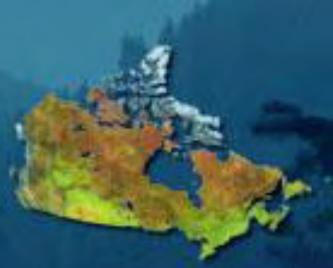
$x_{1955-64}$	<i>Picea mariana</i>	<i>Abies balsamea</i>
Climatique seul ou avec biotique (1961-75)	3.28 cm <sup>2</sup> $P < 0.001$	9.10 cm <sup>2</sup> $P < 0.05$
Biotique seul et aucun (1976-88)	2.20 cm <sup>2</sup>	6.62 cm <sup>2</sup>

Perturbation climatique a un effet plus fort sur la réduction de la croissance que la TBE

# Patrons de mortalité



# Analyses de survie



## Probabilité de mortalité par période

1964-78 : Prob survie = fct ( Pt\_climat\_1905, Pt\_Bio\_1914, Pt\_climat\_1965,  $x_{1955-64}$ , T\_canopé, DHP)

1979-97 : Prob survie = fct ( Pt\_climat\_1905, Pt\_Bio\_1914, Pt\_climat\_1965, Pt\_Bio\_1976,  $x_{1955-64}$ , T\_canopé, DHP)

# Analyses de survie



Période climatique (1964 et 1978)

Épinette noire

Sapin baumier

Risque de mortalité (méth. Breslow)

	coef	z	p
1-Shift65	1.46	1.97	0.049
2-Tcanopée64	0.02	2.75	0.006
Interaction	-0.02	-1.69	0.091

Likelihood ratio test =8.16, df=3, p=0.043

Les facteurs influencent peu le risque (p=0.043). Augmente avec TCanopée; interaction presque significative entre Tcanopée et shift1965

Risque de mortalité (méth. Breslow)

	coef	z	p
1-Shift05	1.63	2.74	0.006
2-Shift65	0.07	2.49	0.012
3- $x_{1955-64}$	-1.28	-6.04	<0.001
4-Tcanopée64	0.02	3.31	<0.001
Interaction 1,4	-0.02	-2.24	0.024

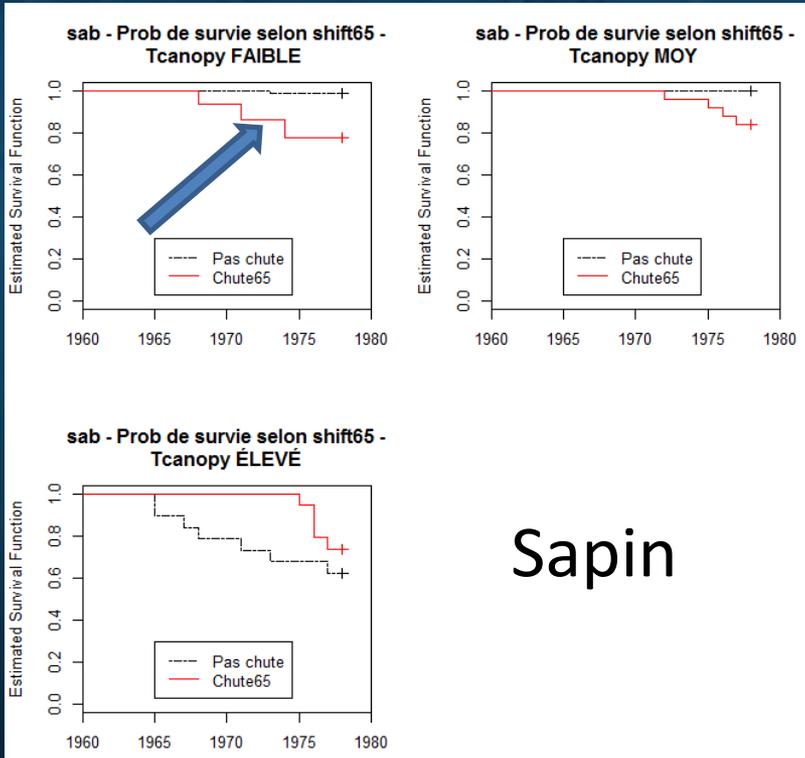
Likelihood ratio test =54.6, df=5, p<.0001

Le risque augmente avec la diminution de la croissance. Les individus qui ont subit un shift65 ont plus de risque de mourir.

# Période climatique (1964 et 1978)

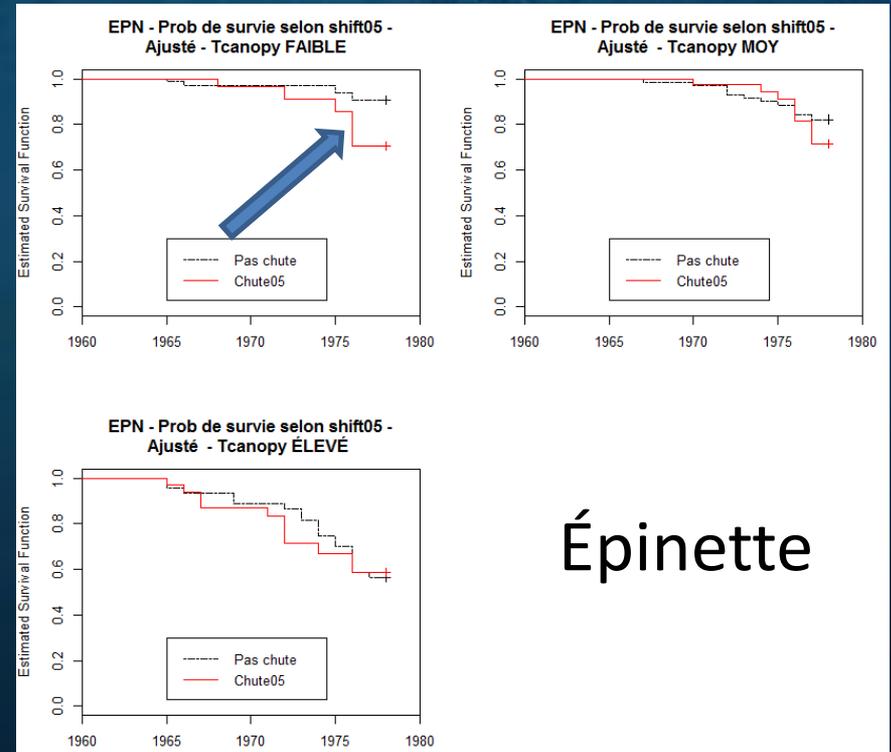


## Probabilité de survie interaction



Sapin

Sapins plus jeunes avec chute (1965) meurent davantage. Sapins plus vieux qui ne présentent pas de chute meurent davantage au début de la période.



Épinette

Épinettes plus jeunes qui ont subi une chute (1905) meurent davantage vers la fin de la période 1964-1978.

# Analyses de survie

## Période épidémique (1979 et 1997)



### Sapin baumier

#### Risque de mortalité (méth. Breslow)

	coef	z	p
1-Shift65	0.58	2.05	0.040
2-Tcanopée64	0.01	3.79	<0.001

Likelihood ratio test =16.8, df=2, p<0.0001

Risque augmente avec TCanopée; ceux qui ont subi déclin (1965) plus de risque de mourir.

### Épinette noire

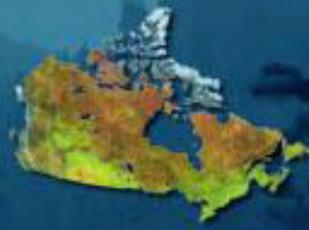
#### Risque de mortalité (méth. Breslow)

	coef	z	p
3- $x_{1955-64}$	-1.14	-4.66	<0.001
4-Tcanopée64	0.01	2.31	0.021

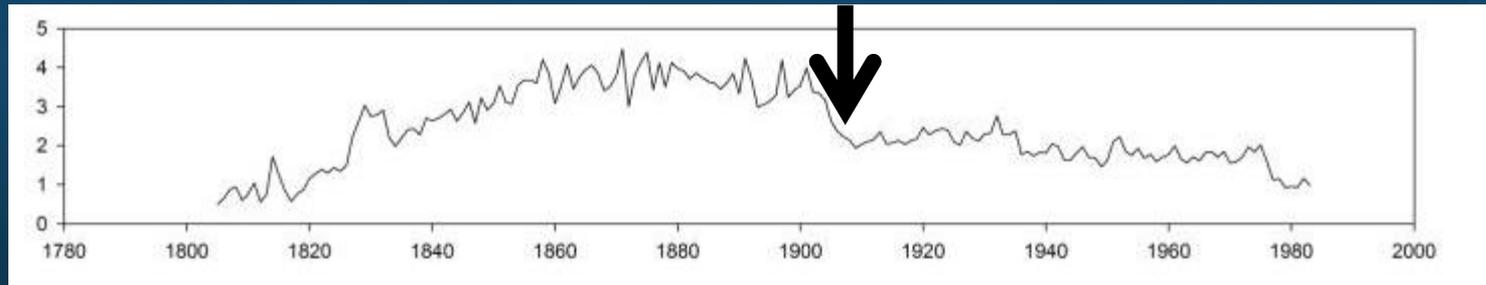
Likelihood ratio test =32.2, df=2, p<.0001

Les épinettes les plus vieilles et celles avec une faible croissance ont un plus grand risque de mourir.

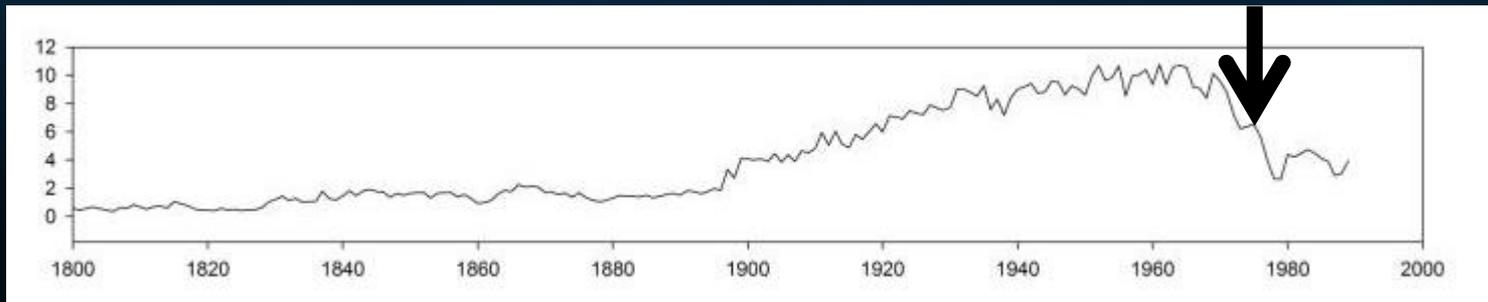
# Retour sur les hypothèses



H1 Les stress climatiques sont des facteurs prédisposants à la mortalité de l'épinette noire – lent déclin de croissance



H2 Les stress climatiques sont des facteurs contribuant à la mortalité – déclin rapide de croissance des deux espèces. Interaction temporelle entre ces deux stress amplifie le signal de mortalité



# Retour sur les hypothèses



H3 Le patron de mortalité est spécifique à chacune des espèces. Il reflète cependant l'interaction temporelle entre les perturbations et leur vulnérabilité à celles-ci.

- Épinette noire plus sensible au climat, la TBE achève les arbres sénescents
- Sapin baumier bien que plus vulnérable à la tordeuse subit un impact fort du stress climatique

# Conclusions et synthèse des résultats

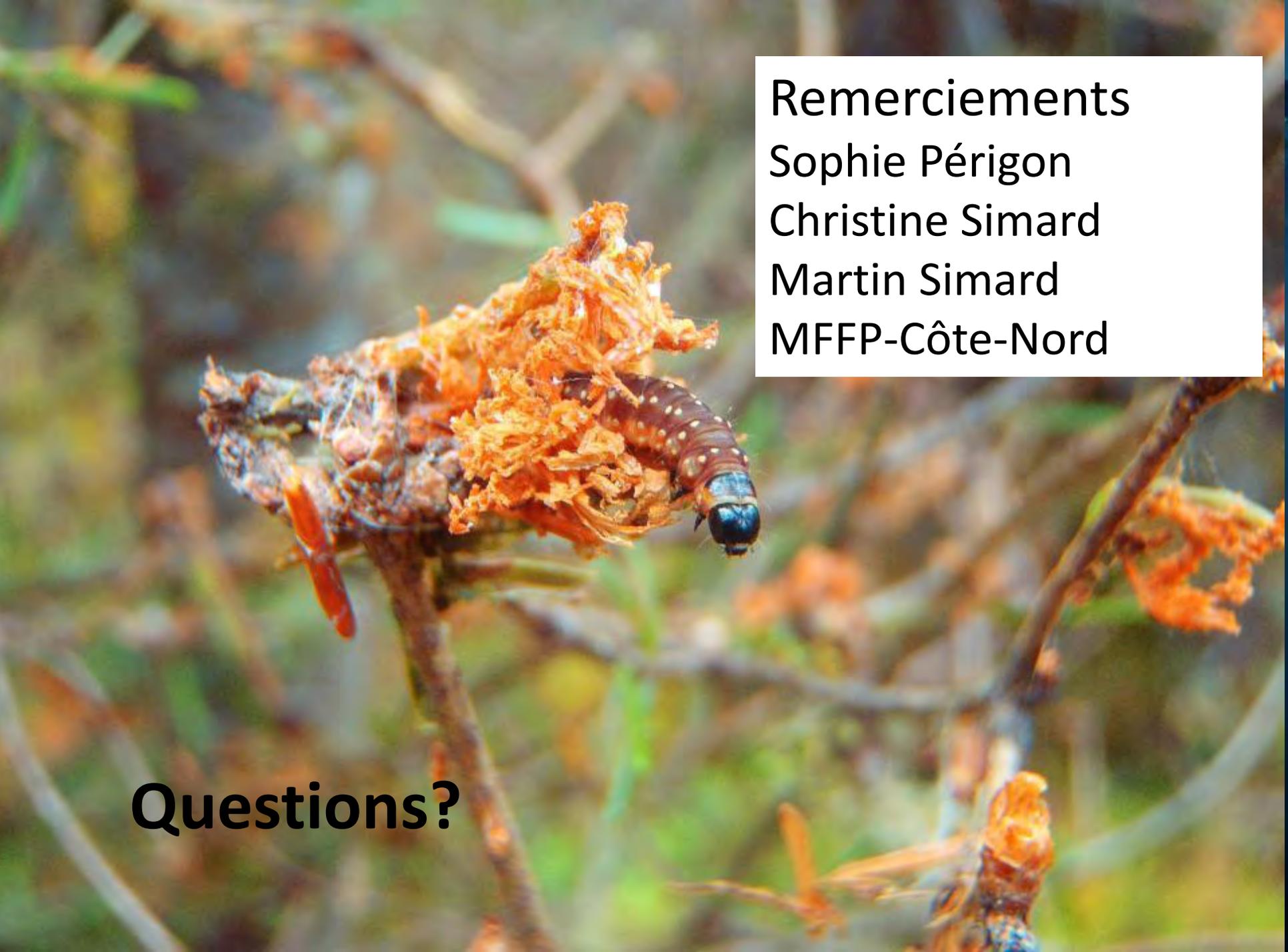


- Au 20<sup>ième</sup> siècle des événements climatiques extrêmes précèdent les deux épidémies dans le nord-est du Québec.
- Ces périodes de réduction de PPN sont observées dans tout le nord-est de l'Amérique du Nord (cf. Girardin et al. 2014, 2015)
- Climat et TBE ont un rôle important dans le processus de mortalité du sapin et de l'épinette
- L'effet de perturbations climatiques prédispose l'épinette à la mortalité
- Le sapin peu influencé par le climat passé, à cause de sa stratégie de croissance

# Conclusions et synthèse des résultats



- Perturbations climatiques peuvent contribuer à la mortalité d'arbres ayant une bonne croissance
- TBE semble contribuer à la mortalité d'arbres dont la croissance est plus faible (surtout pour l'épinette, mais tout de même significatif pour le sapin)
- Périodes climatiques extrêmes réduisent la vigueur des arbres et les rendent plus vulnérables à la tordeuse
- Le signal dendrochronologique de la TBE pourrait dans certains cas être confondu avec celui de perturbations climatiques



Remerciements

Sophie Périgon

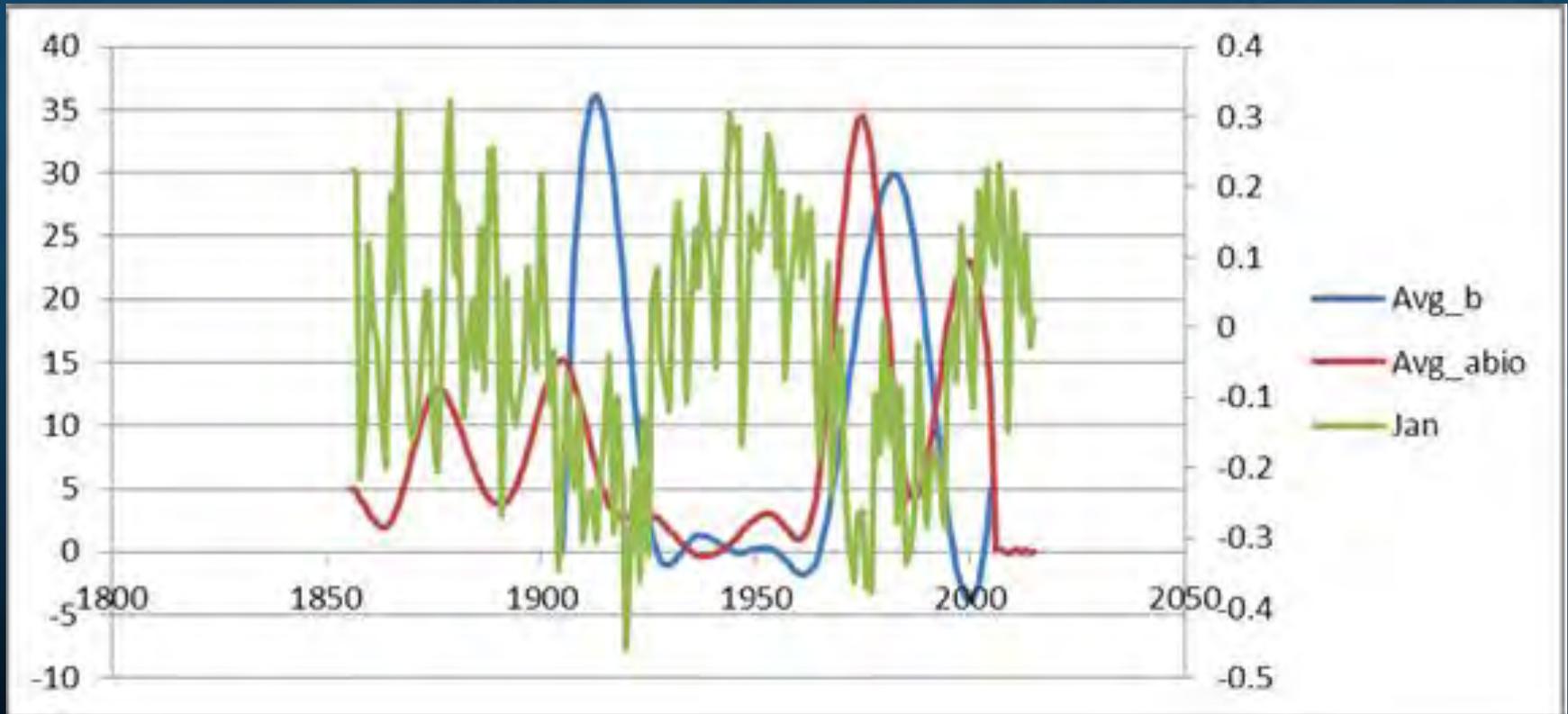
Christine Simard

Martin Simard

MFFP-Côte-Nord

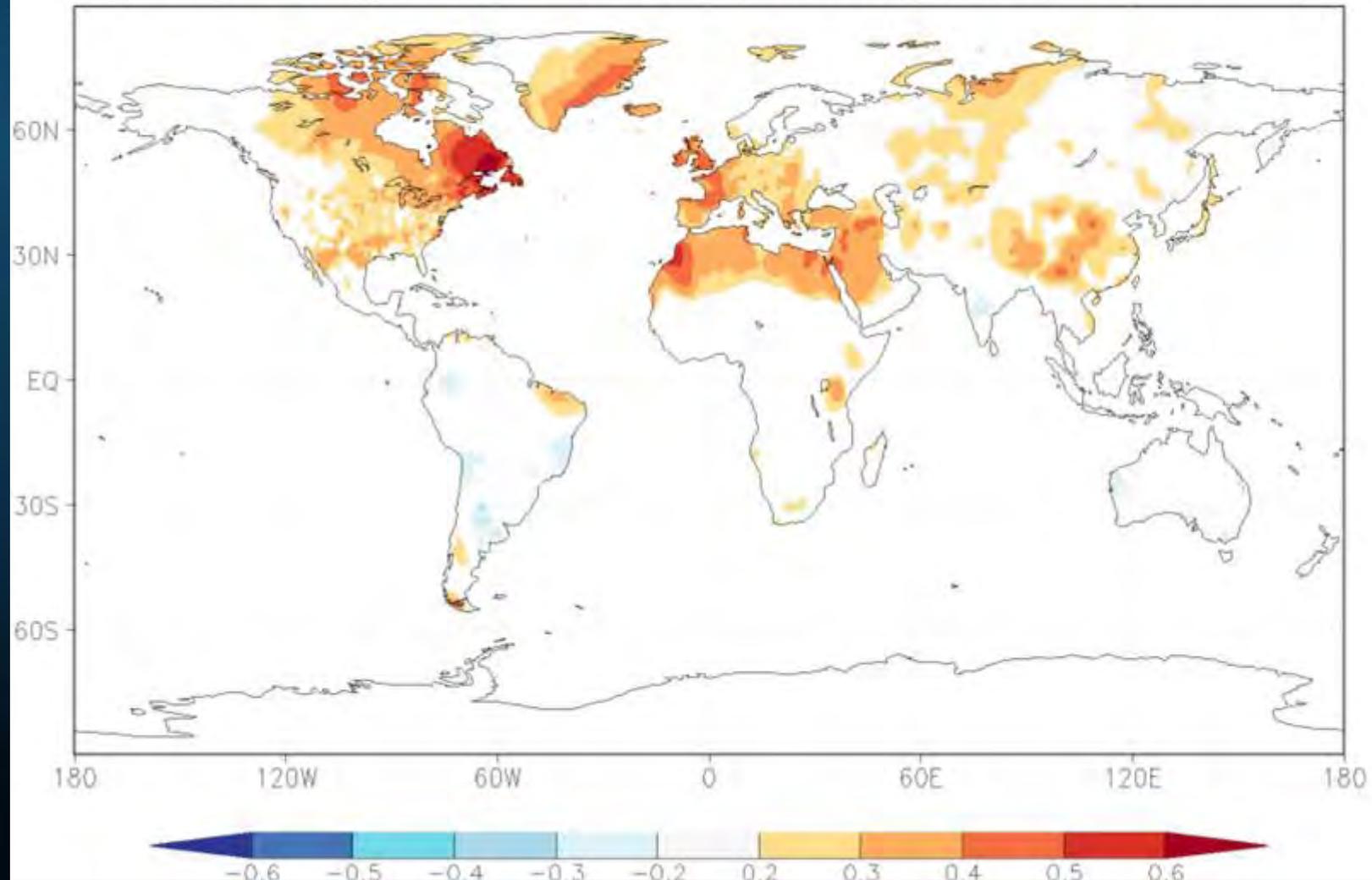
**Questions?**

# Oscillation atlantique multi-décennale et perturbations biotiques

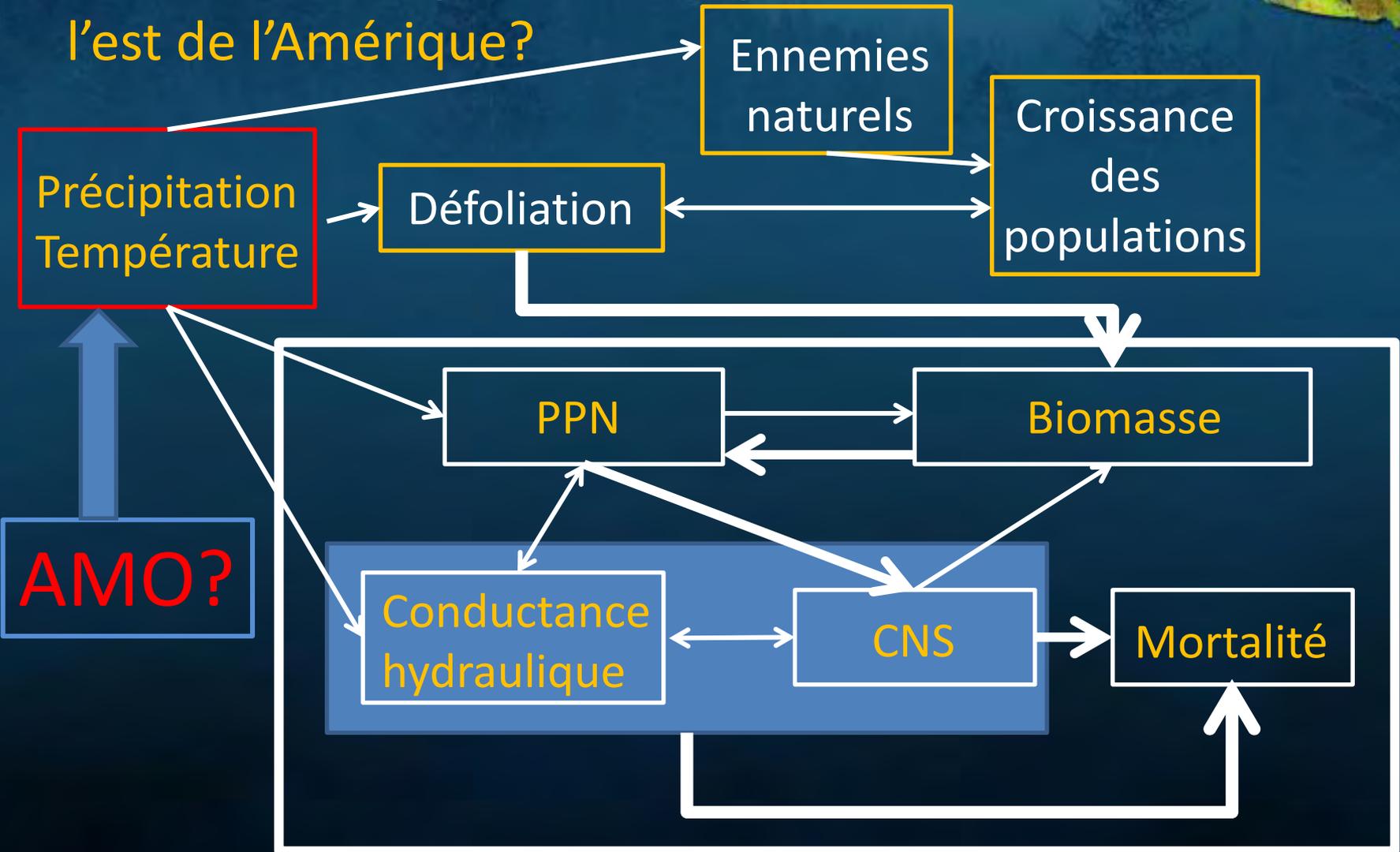
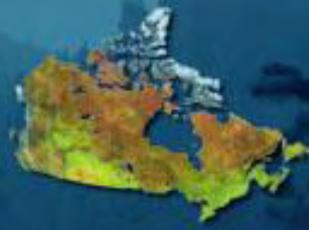


# Corrélation entre OAM et températures estivales

corr Apr–Sep averaged AMO hadsst  
with Apr–Sep averaged CRU TS3.23 temperature (detrend) 1901:2014  $p < 10\%$



Est-ce que la sévérité des épidémies résulte de l'influence de cycles océaniques sur le climat de l'est de l'Amérique?



(adapté de Anderegg et al. 2015)