

# DIVERGEANCE DE LA MORTALITÉ ENTRE ESSENCES BORÉALES ET RÉGIONS BIOCLIMATIQUE DU QUÉBEC DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES

**Par:**  
David Grenier-Héon

**Superviseurs:**  
Changhui Peng et Daniel Kneeshaw

Novembre 2019

 **Université du Québec  
à Montréal**



**Forêts, Faune  
et Parcs  
Québec**

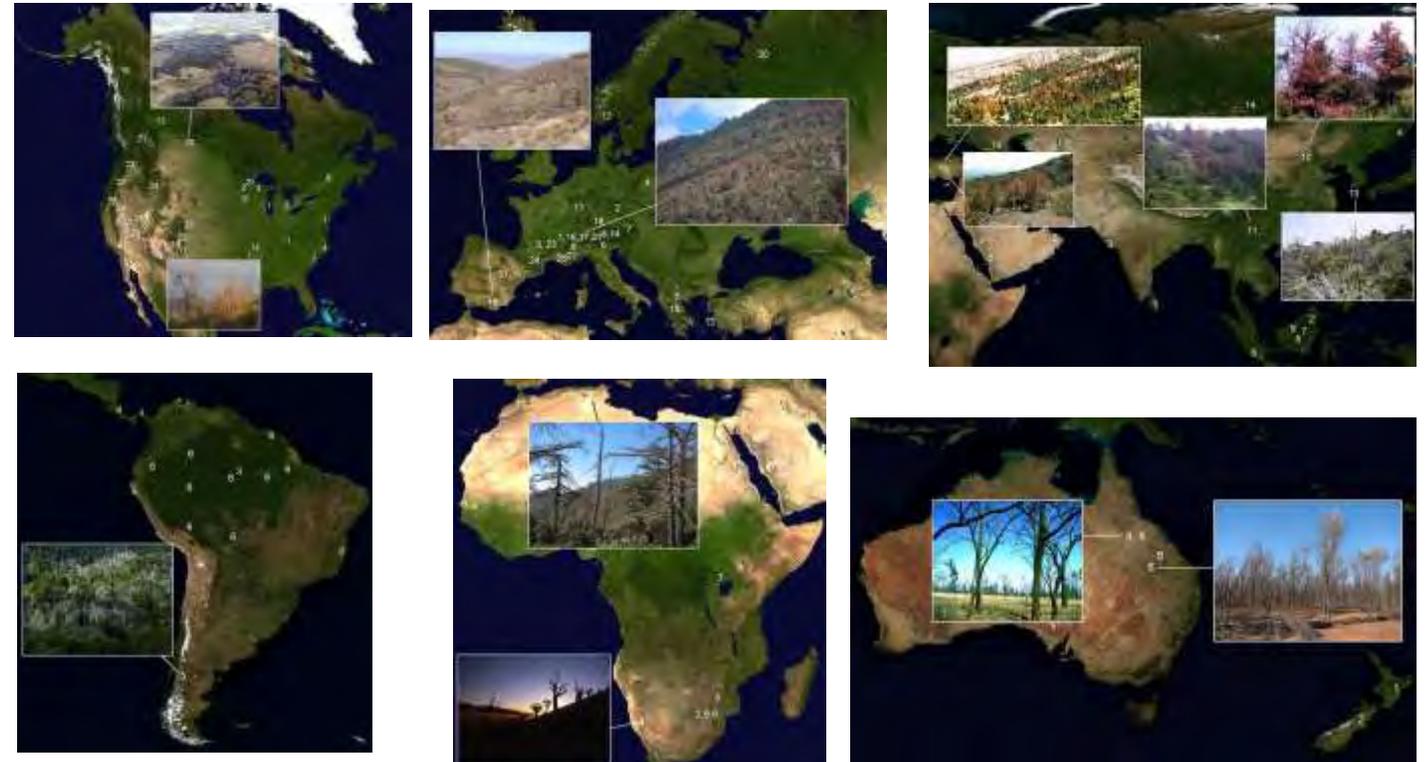
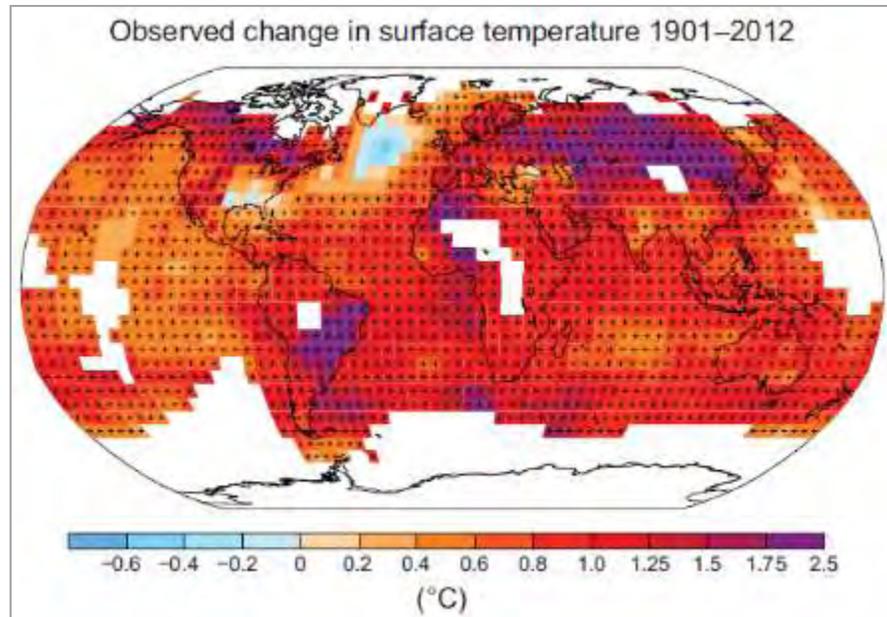
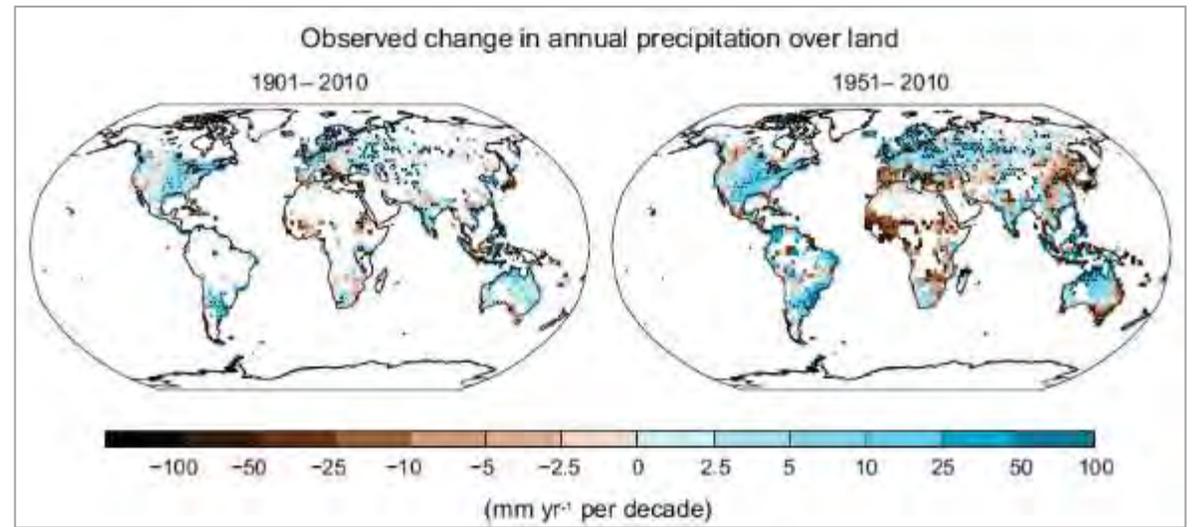
**Fonds de recherche  
en santé et  
technologie  
Québec**



**Environment  
Canada**

# INTRODUCTION

Les changements climatiques, une pression croissante pour les biomes forestiers.



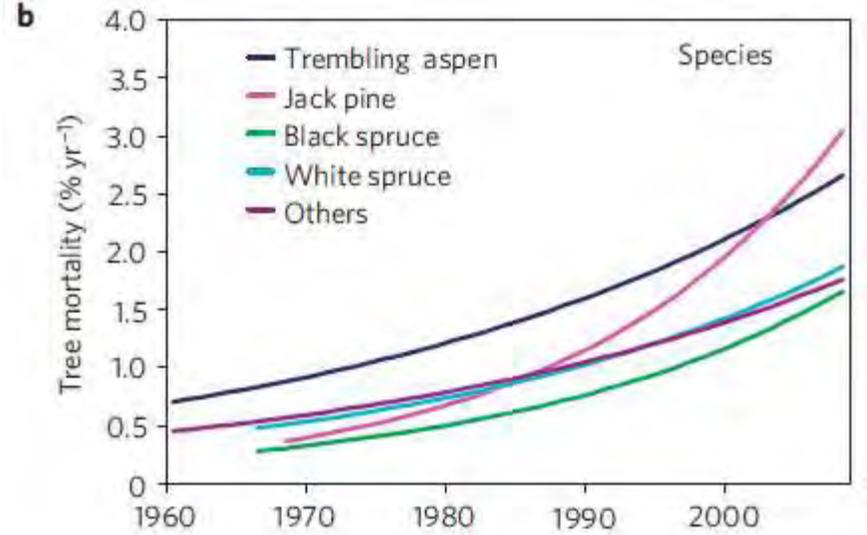
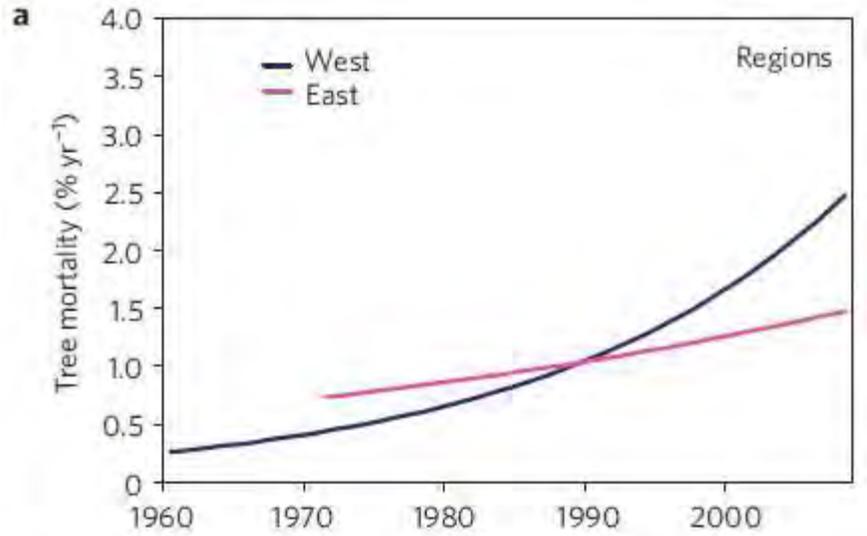
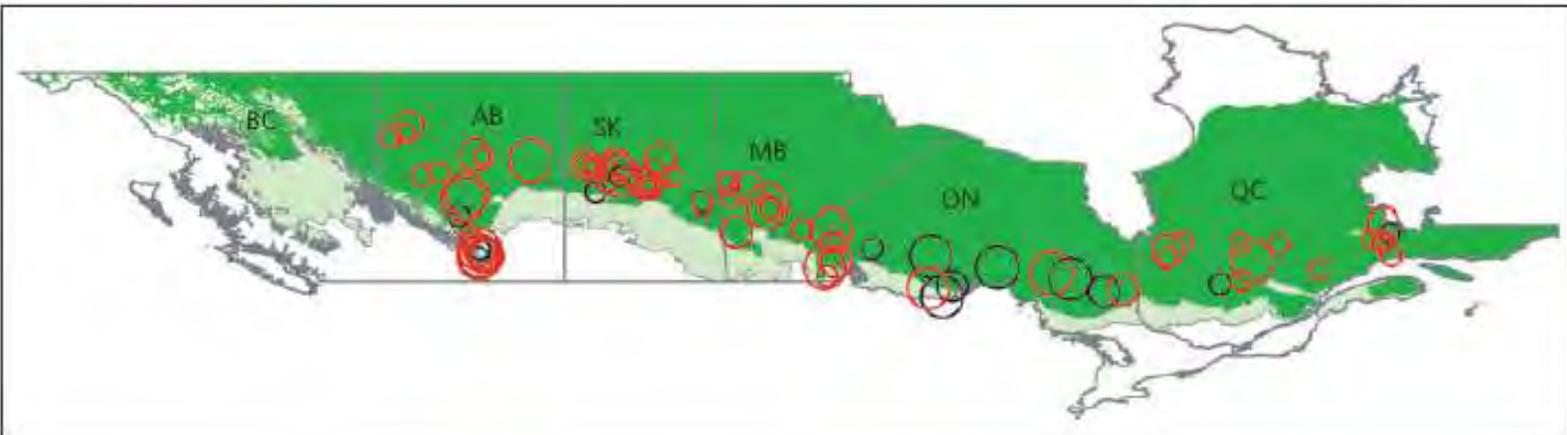
# INTRODUCTION

## Mortalité accrue à l'échelle pan-canadienne.

nature climate change LETTERS  
PUBLISHED ONLINE: 20 NOVEMBER 2011 | DOI:10.1038/NCLIMATE1293

### A drought-induced pervasive increase in tree mortality across Canada's boreal forests

Changhui Peng<sup>1,2\*</sup>, Zhihai Ma<sup>1</sup>, Xiangdong Lei<sup>1,3</sup>, Qian Zhu<sup>1,2</sup>, Huai Chen<sup>1,2</sup>, Weifeng Wang<sup>1</sup>, Shirong Liu<sup>4</sup>, Weizhong Li<sup>1,2</sup>, Xiuqin Fang<sup>1</sup> and Xiaolu Zhou<sup>1</sup>



# INTRODUCTION

## Une mortalité des arbres accrue dans l'est canadien.



### Global Change Biology

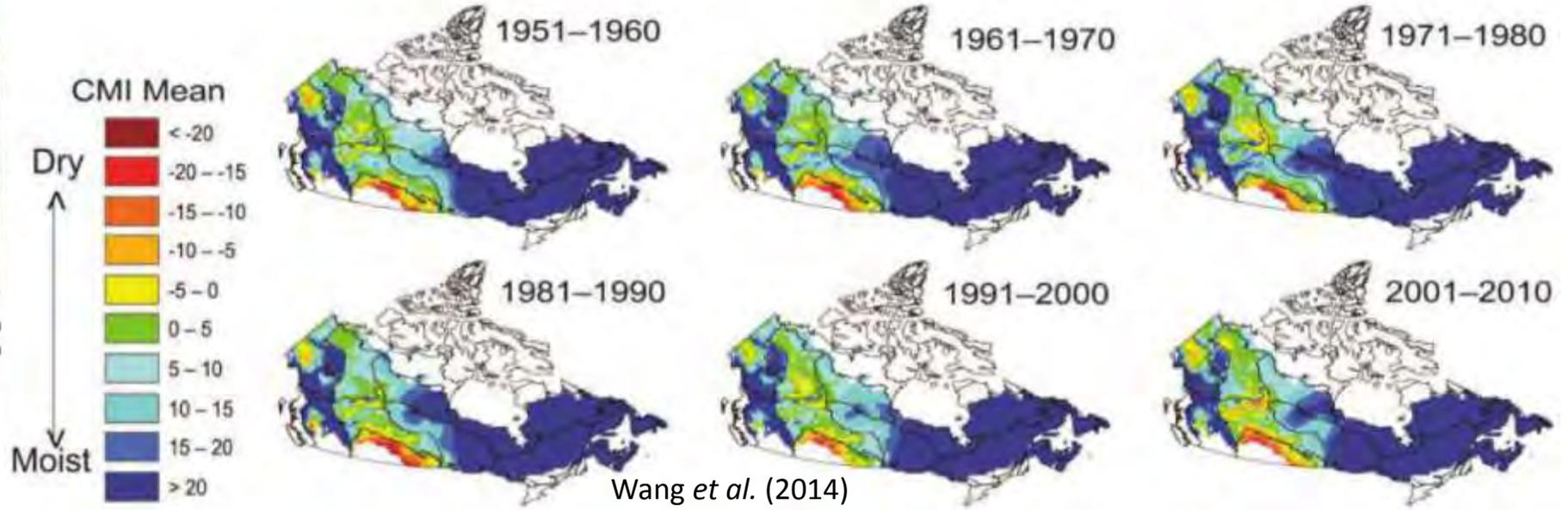
Global Change Biology (2011) 17, 2084–2094, doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02357.x

## Massive mortality of aspen following severe drought along the southern edge of the Canadian boreal forest

MICHAEL MICHAELIAN, EDWARD H. HOGG, RONALD J. HALL and ERIC ARSENAULT  
*Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, 5320-122 Street, Edmonton, AB, Canada T6H 3S5*



Fig. 4 Aerial view showing an area of severe aspen mortality in the aspen parkland of Saskatchewan, Canada (photograph taken by M. Michaelian, 19 August 2004).



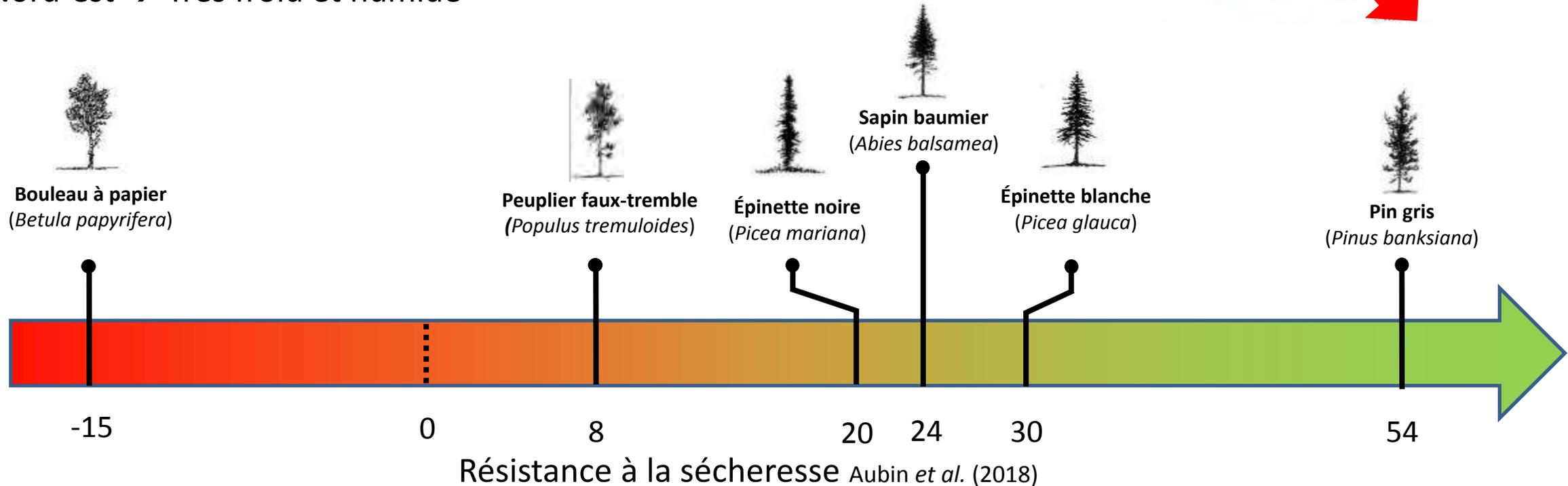
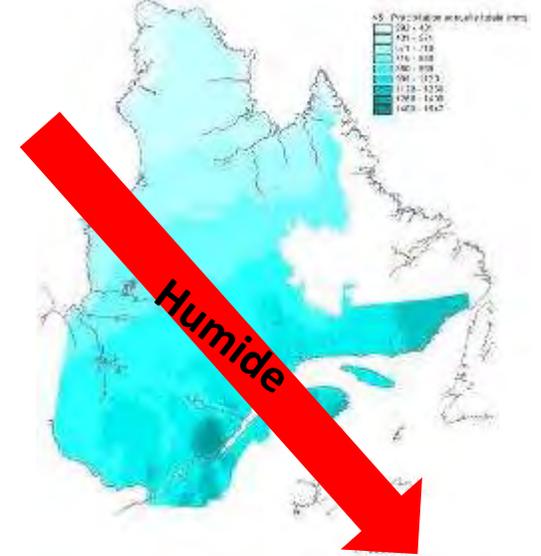
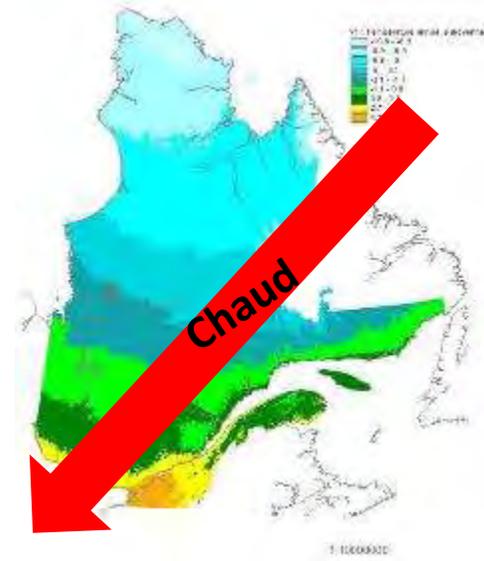
# INTRODUCTION

## Qu'en est-il pour le Québec ?

Où ? Qui ? Quand ? Comment ?

**Grand territoire, grande hétérogénéité spatiale:**

- Sud-ouest → Très chaud et sec
- Sud-est → Chaud et très humide
- Nord-ouest → Froid et très sec
- Nord-est → Très froid et humide



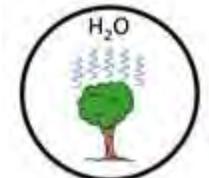
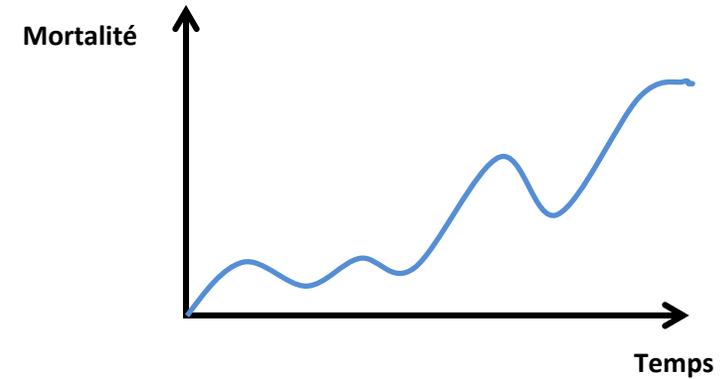
# OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES

1. Estimer les taux de mortalité et de recrutement annuels historiques (1970-2014) pour les six essences les plus abondantes de la forêt boréale du Québec

– **Hypothèse:** Augmentation non-linéaire des taux de mortalité pour les six essences

2. Établir et quantifier les relations entre les variables climatiques clés et les taux de mortalités historiques de ces essences

– **Hypothèses :** Température sera le facteur le plus important. Les facteurs limitants varieront selon les essences.



Épinette noire  
(*Picea mariana*)



Bouleau à papier  
(*Betula papyrifera*)



Épinette blanche  
(*Picea glauca*)



Peuplier faux-tremble  
(*Populus tremuloides*)



Pin gris  
(*Pinus banksiana*)



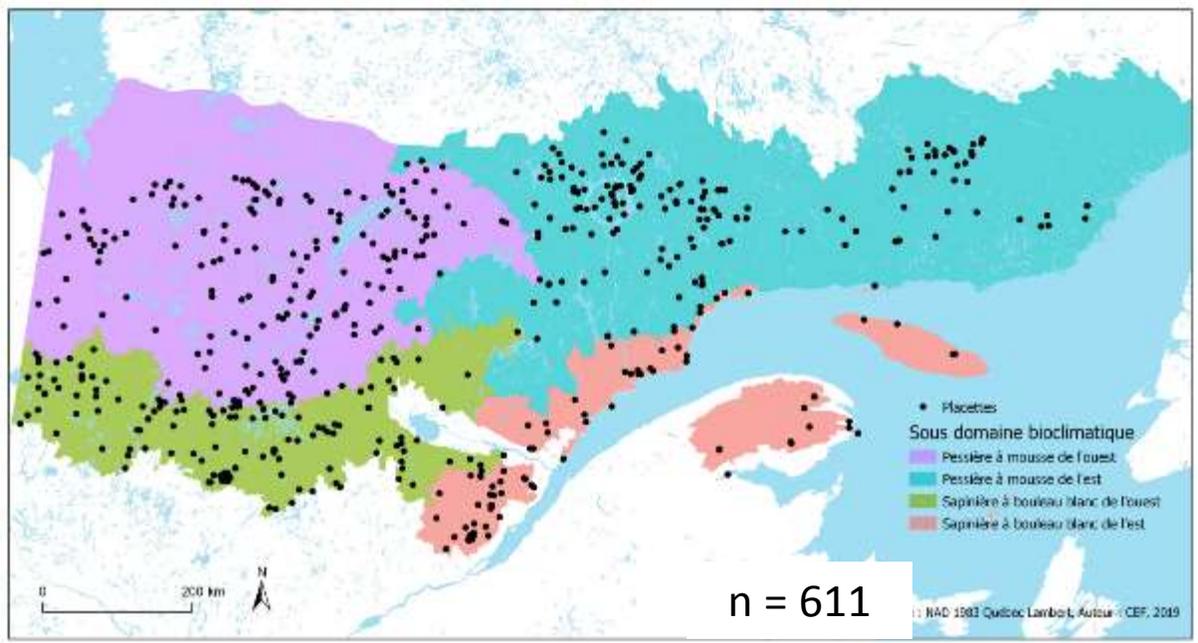
Sapin baumier  
(*Abies balsamea*)

# MÉTHODE

## Inventaires de placette-échantillons permanentes

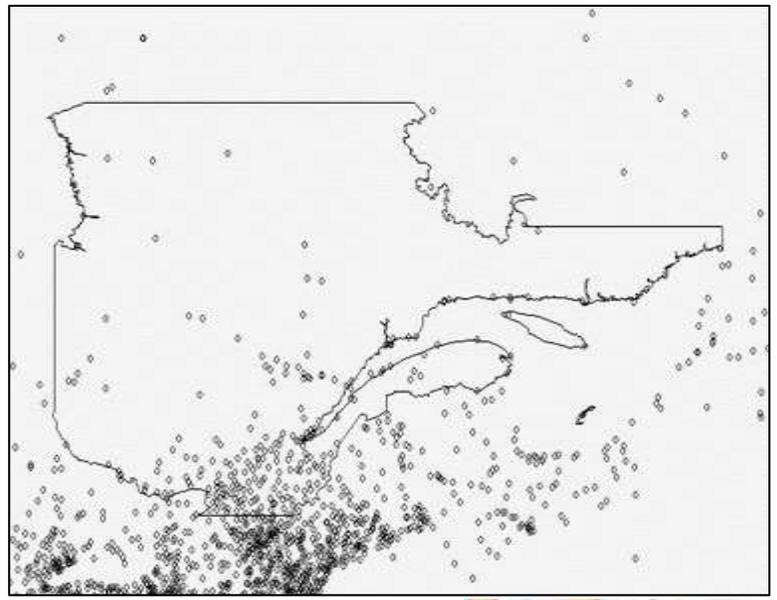
- > 10 000 placettes (611 sélectionnées)
- Inventaire ≈ chaque 10 ans depuis 1970
- Calcul des taux de mortalité

$$M = \left( 1 - \left( 1 - \left( \frac{M_{I_2}}{V_{I_1}} \right)^{\frac{1}{D}} \right) \right)$$



## Données climatiques

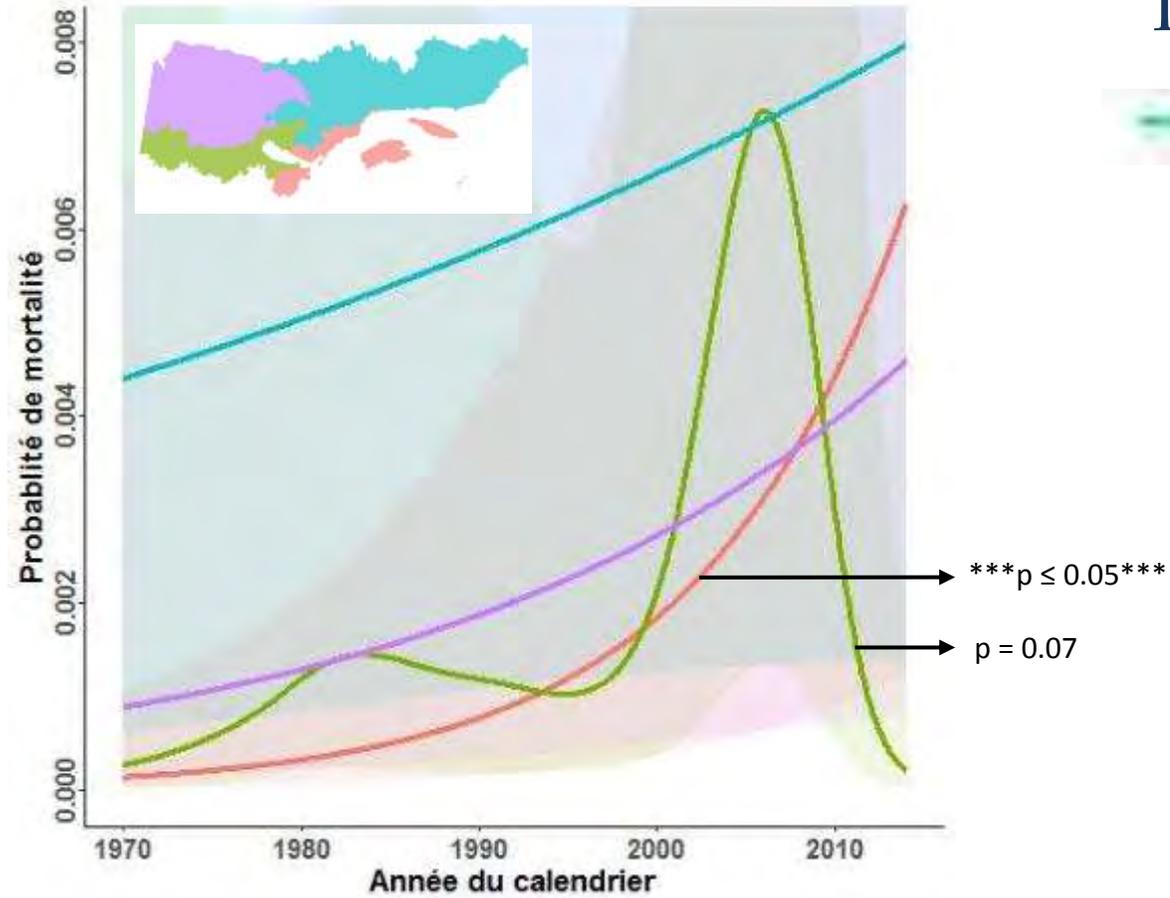
- Données mensuelles interpolées (bioSIM)
- Couvre 1960-2014
- Nombreuses variable climatiques (>20)
- Calcul de nombreux indices climatiques



$$f(M) = f(\text{Année} * \text{Sous dom. bioclim.}) + \text{Sous dom. bioclim.} + f(\text{effet aléatoire de la parcelle})$$

$$f(M) = f(\text{Indice clim.}) + f(\text{altitude}) + f(\text{âge moy.}) + \text{sous dom. bioclim.} + f(\text{effet aléatoire de la parcelle})$$

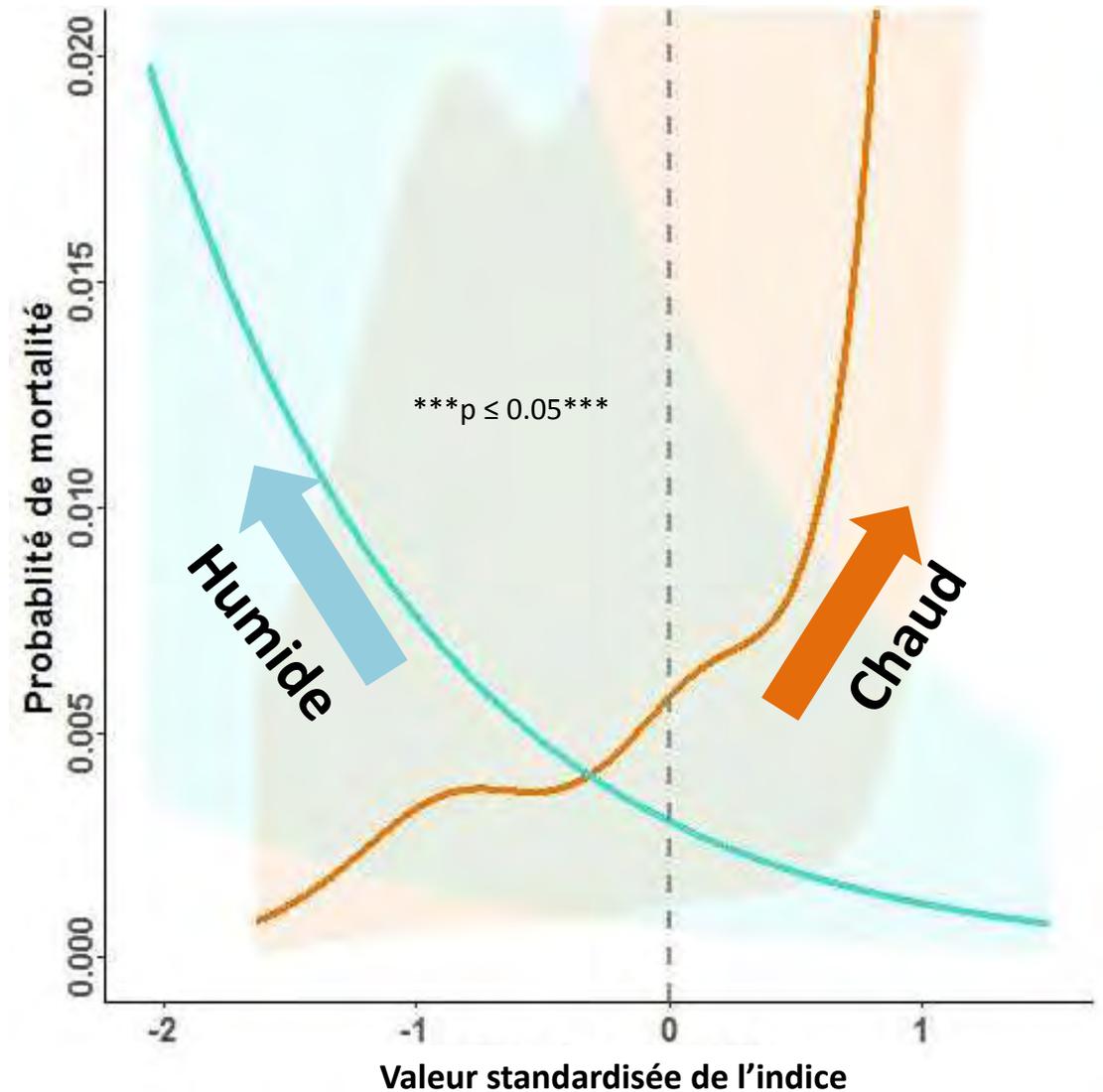
# RÉSULTATS - BOULEAU À PAPIER



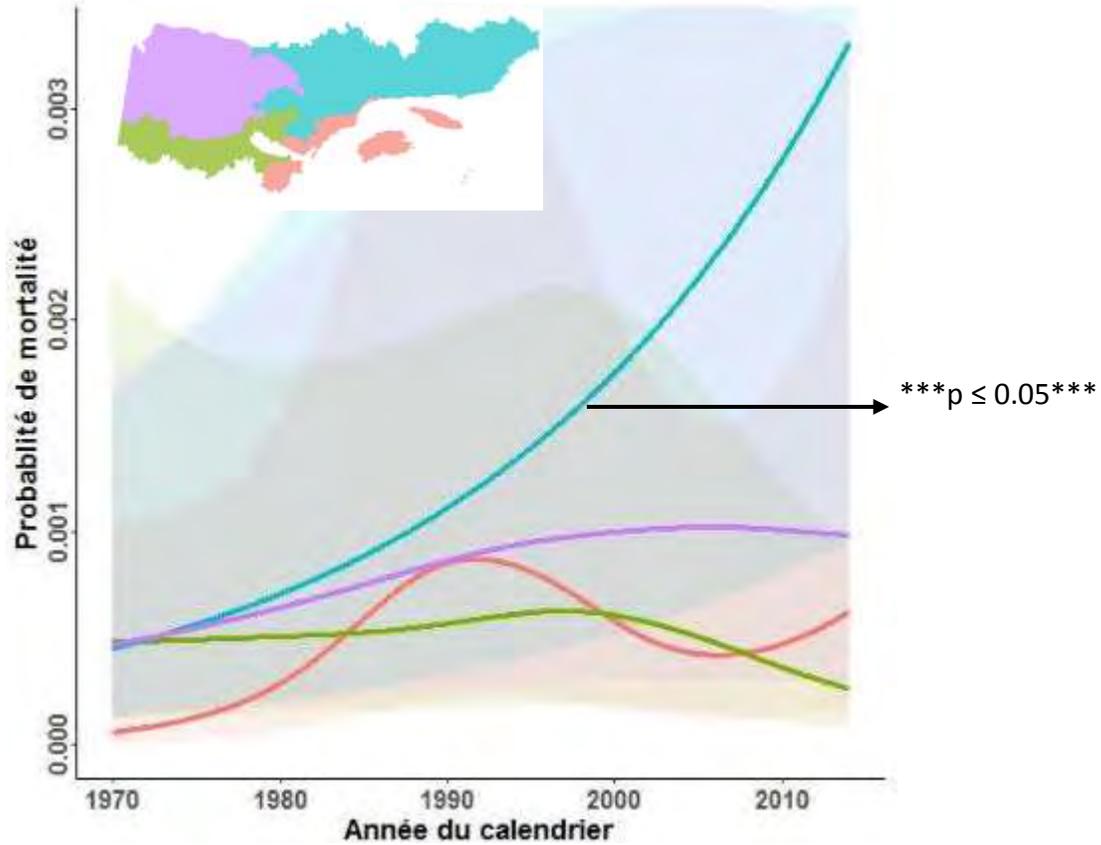
- La mortalité augmente principalement au sud
- Nombreux indices significatifs
- Seule essence significativement affectée par la fonte de la neige (importance de la phénologie de croissance)

 Snow Melt and Rain Index (Standardisation de 12 mois)

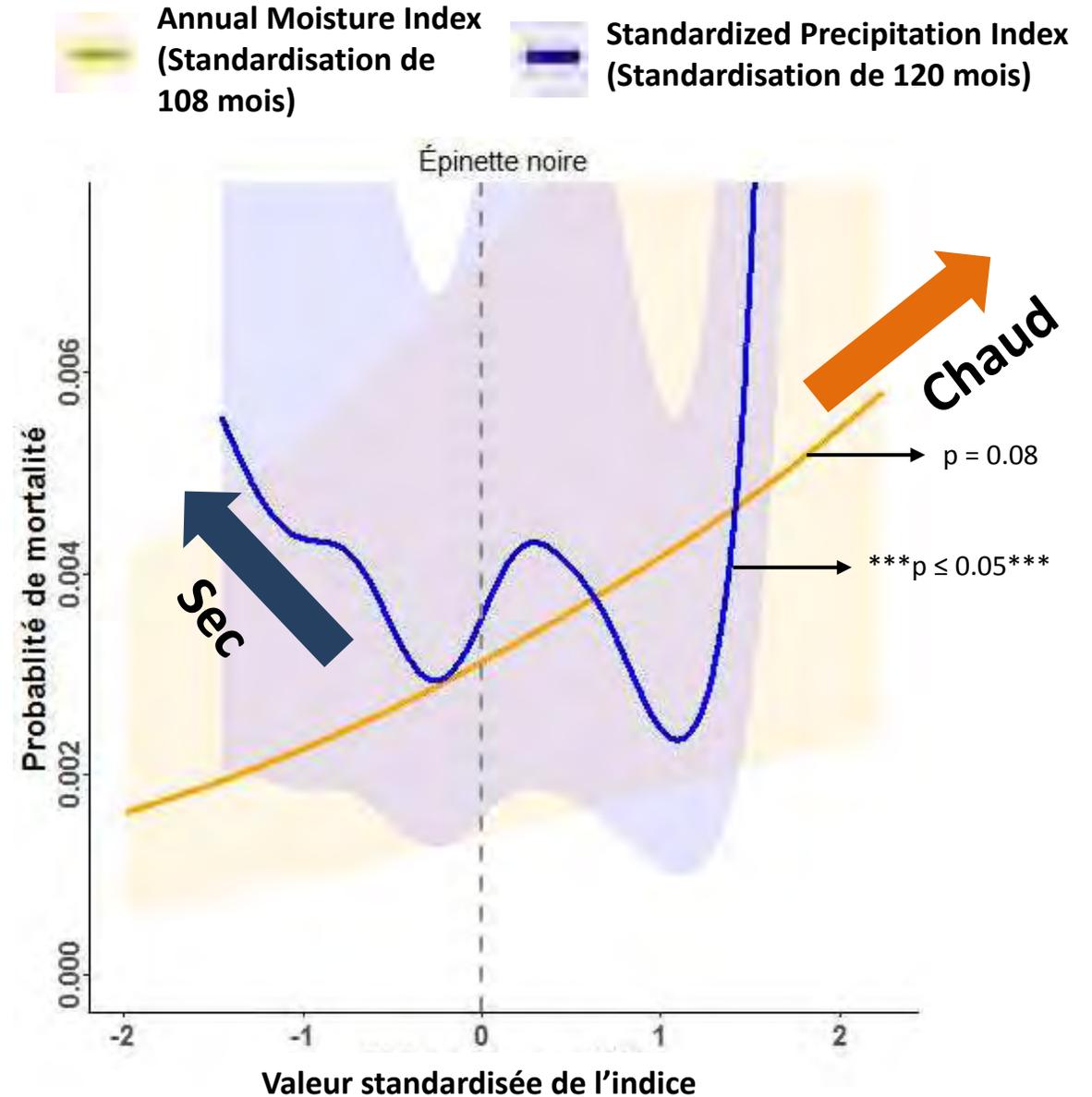
 Annual Moisture Index (Standardisation de 12 mois)



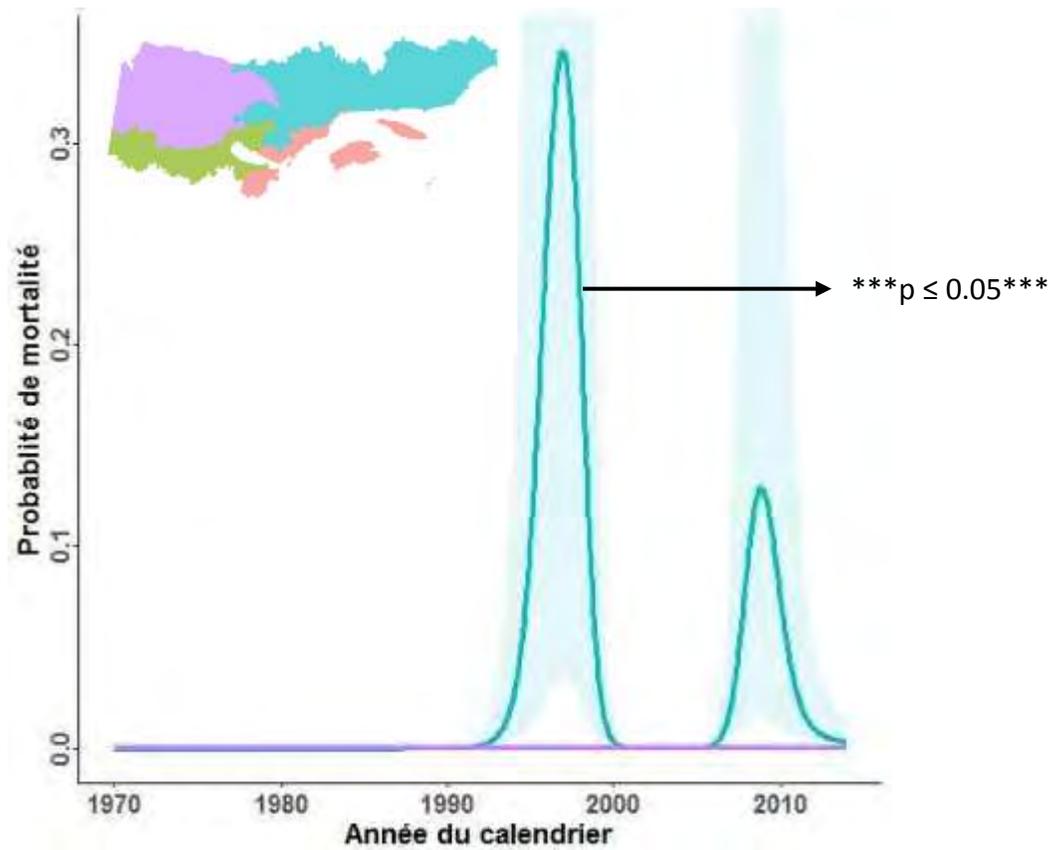
# RÉSULTATS - ÉPINETTE NOIRE



- Augmentation significative de la mortalité au nord-est
- Mortalité semble avoir été causé par une réduction des précipitations
- Évènement extrême de précipitation abondante semble masquer cette tendance
- Le climat agit à large échelle temporelle



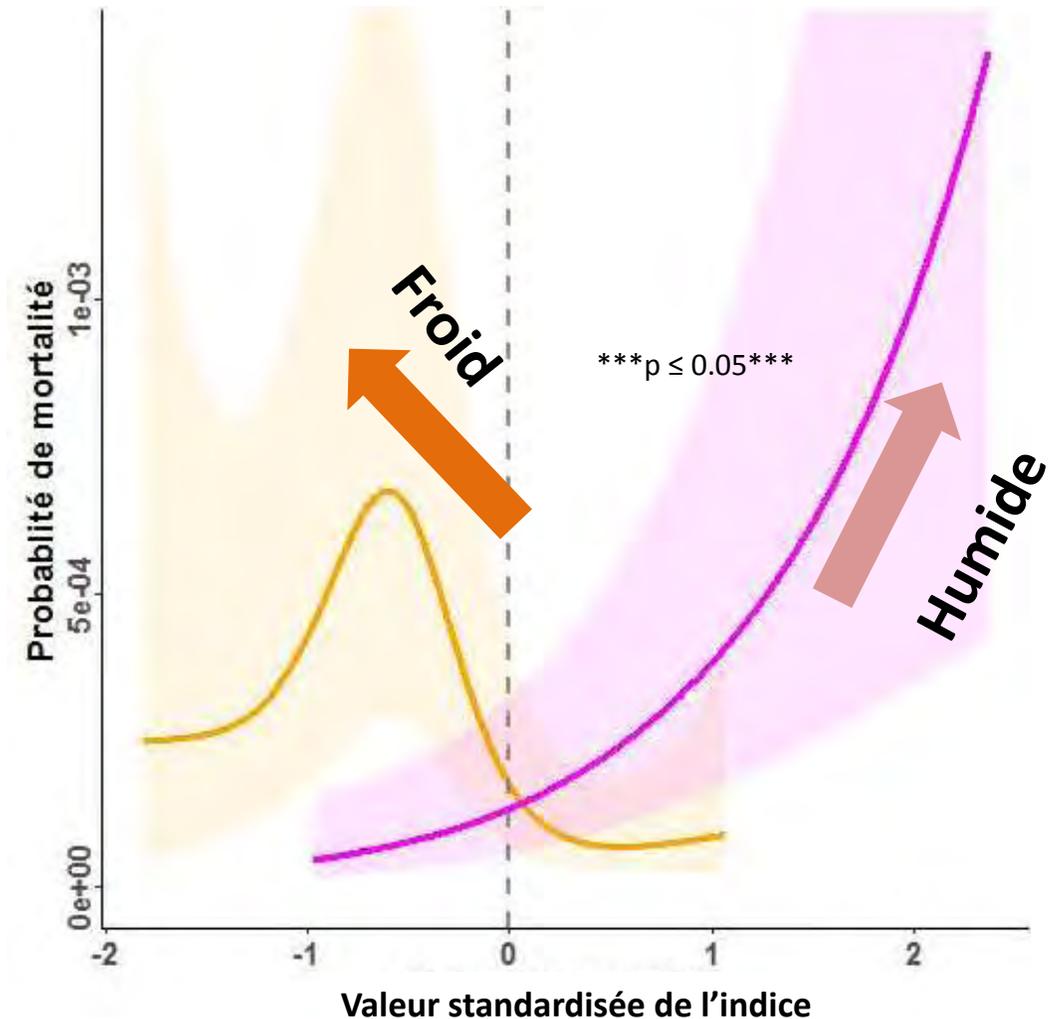
# RÉSULTATS - ÉPINETTE BLANCHE



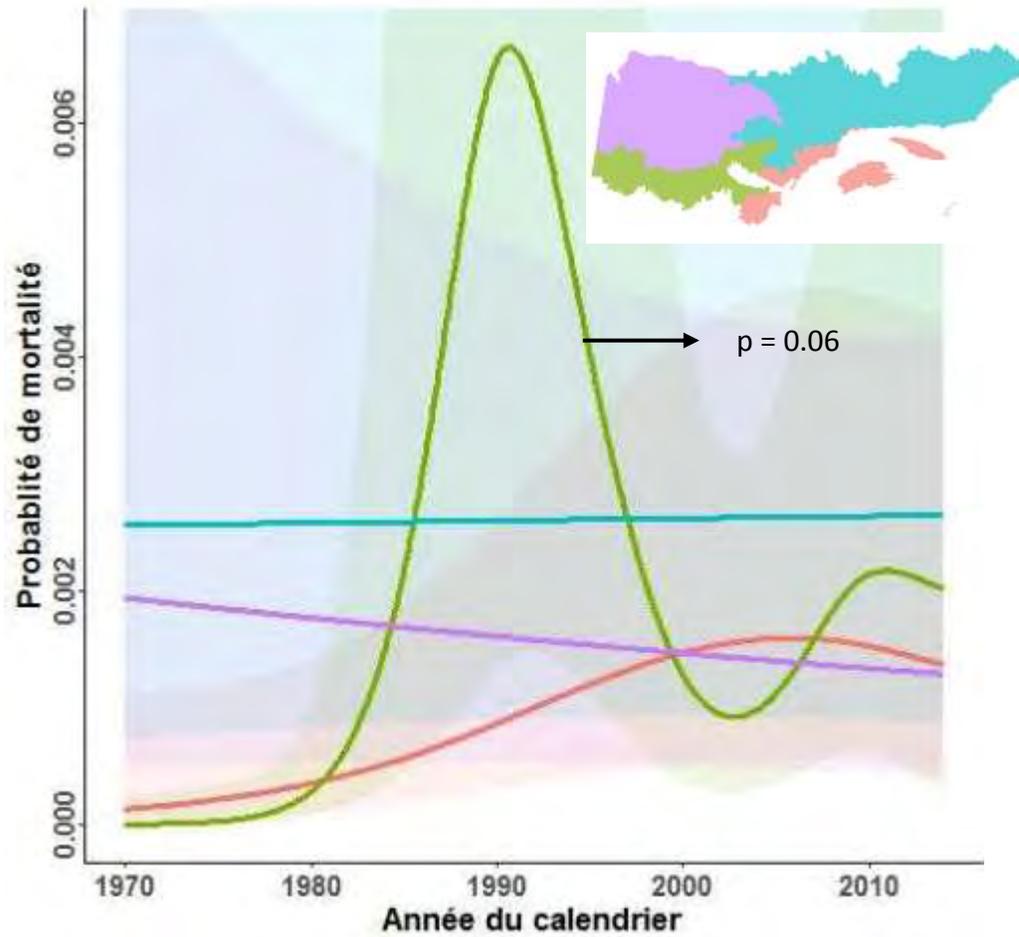
- La mortalité augmente principalement au nord-est
- Période de hautes mortalité correspondent aux périodes les plus chaudes et sèches dans cette régions selon le CMI et AMI

Annual Moisture Index (Standardisation de 12 mois)

Climate Moisture Index (Standardisation de 12 mois)

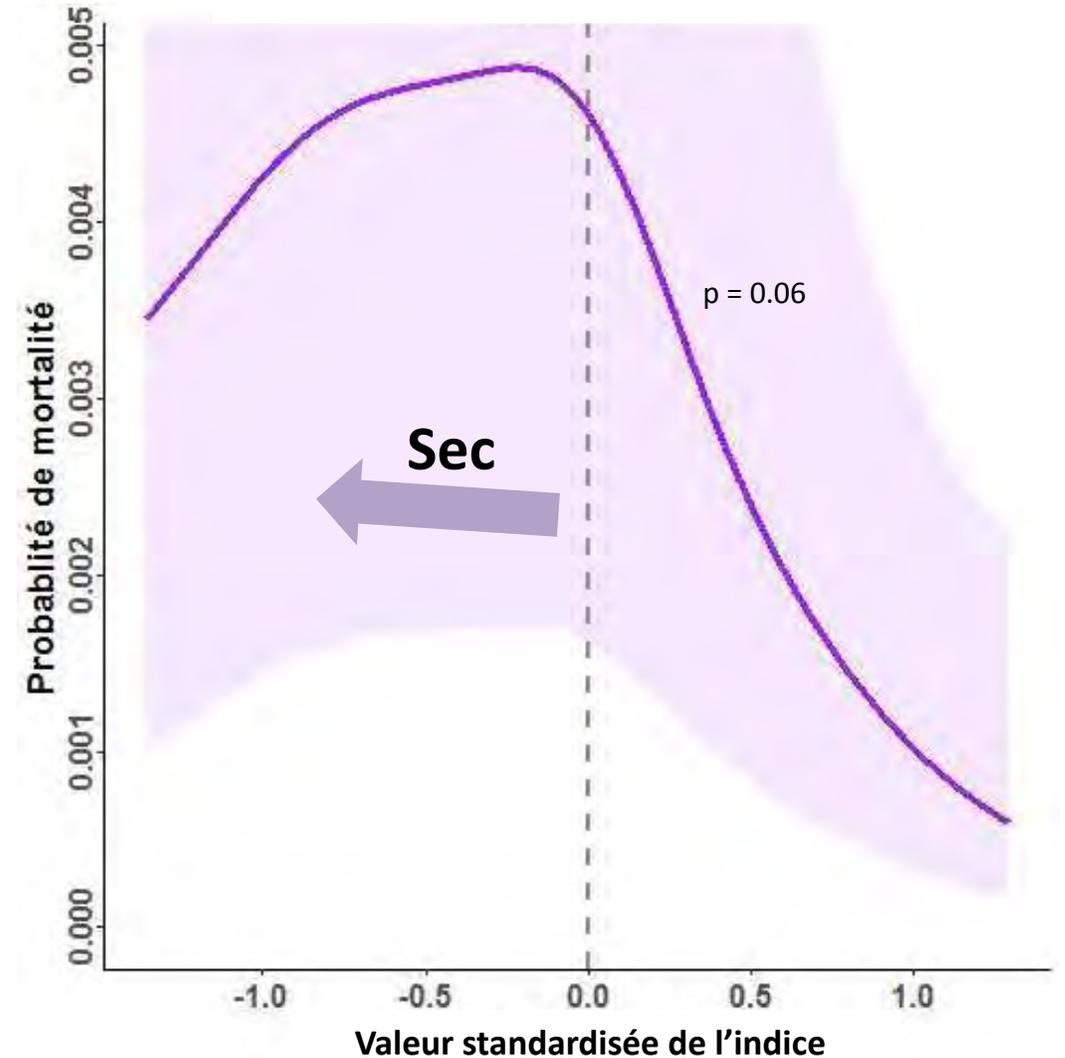


# RÉSULTATS - SAPIN BAUMIER

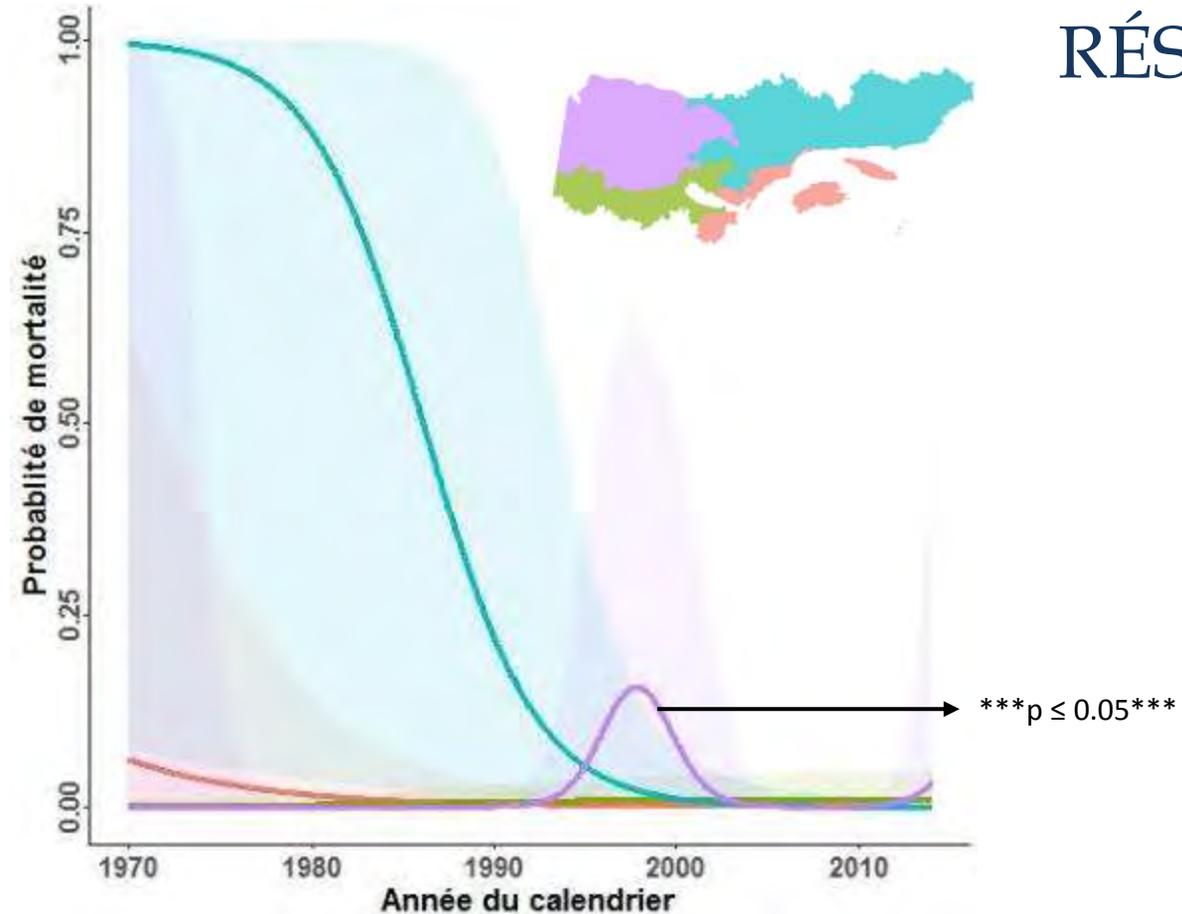


- La mortalité augmente quasi-significativement au sud-ouest
- Mortalité synchrone avec les périodes sèches
- Aucun facteur climatique significatif, mais sensibilité au bilan hydrique négatif

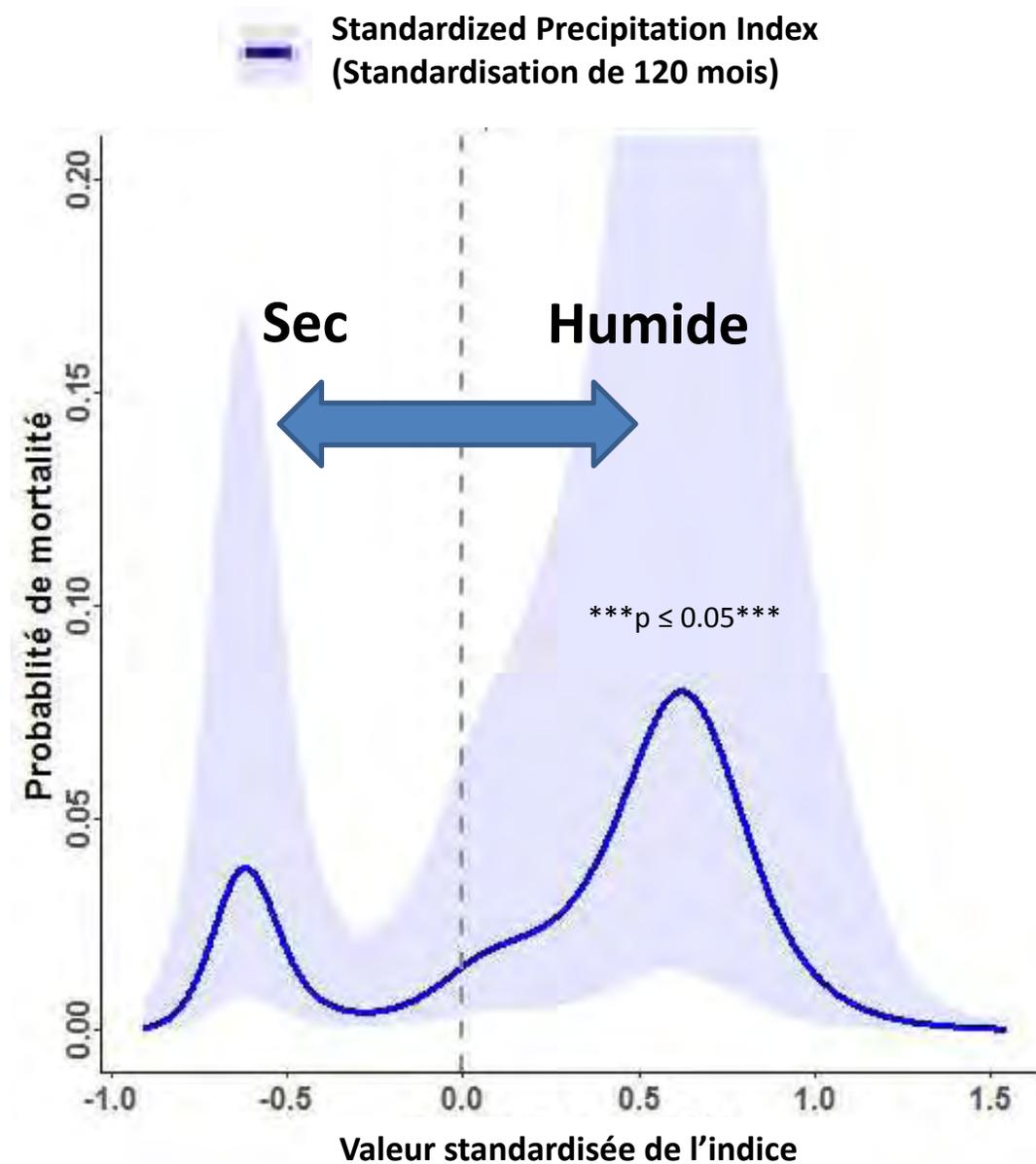
Standardized Precipitation Evapotranspiration Index  
(Standardisation de 24 mois)



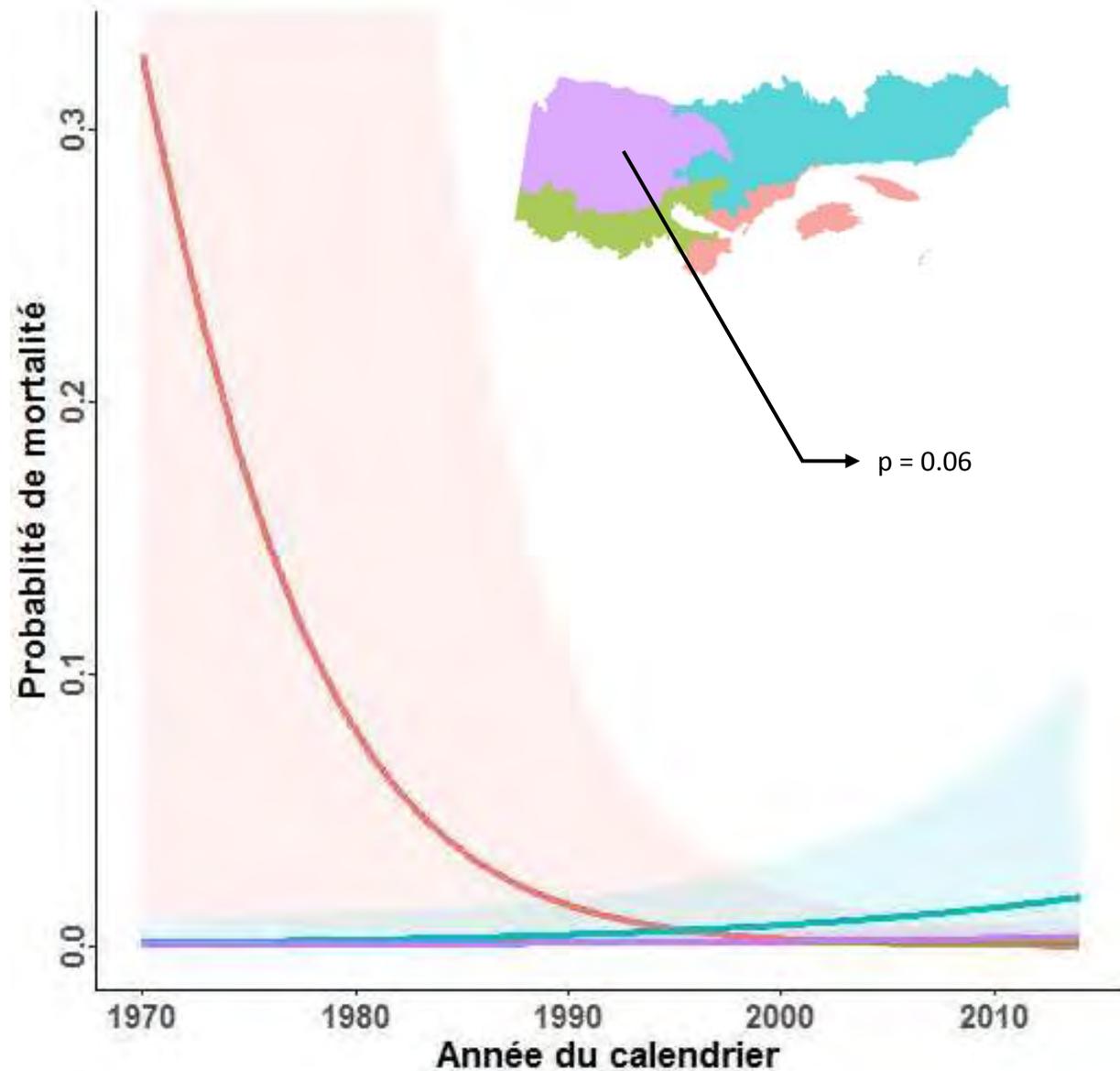
# RÉSULTATS - PEUPLIER FAUX TREMBLE



- La mortalité demeure relativement stable sauf une pour une période donnée au nord-ouest
- Facteur limitant précipitation (engorgement et sécheresse)
- Période de mortalité correspond à une période de précipitation abondante mais une épidémie exceptionnelle de la livrée des forêts



# RÉSULTATS - PIN GRIS



- Aucune tendance temporelle de la mortalité n'est significative (quasi-significative au nord-ouest)
- Aucun facteur climatique significatif
- Espèce la plus tolérante à la sécheresse parmi les six étudiée

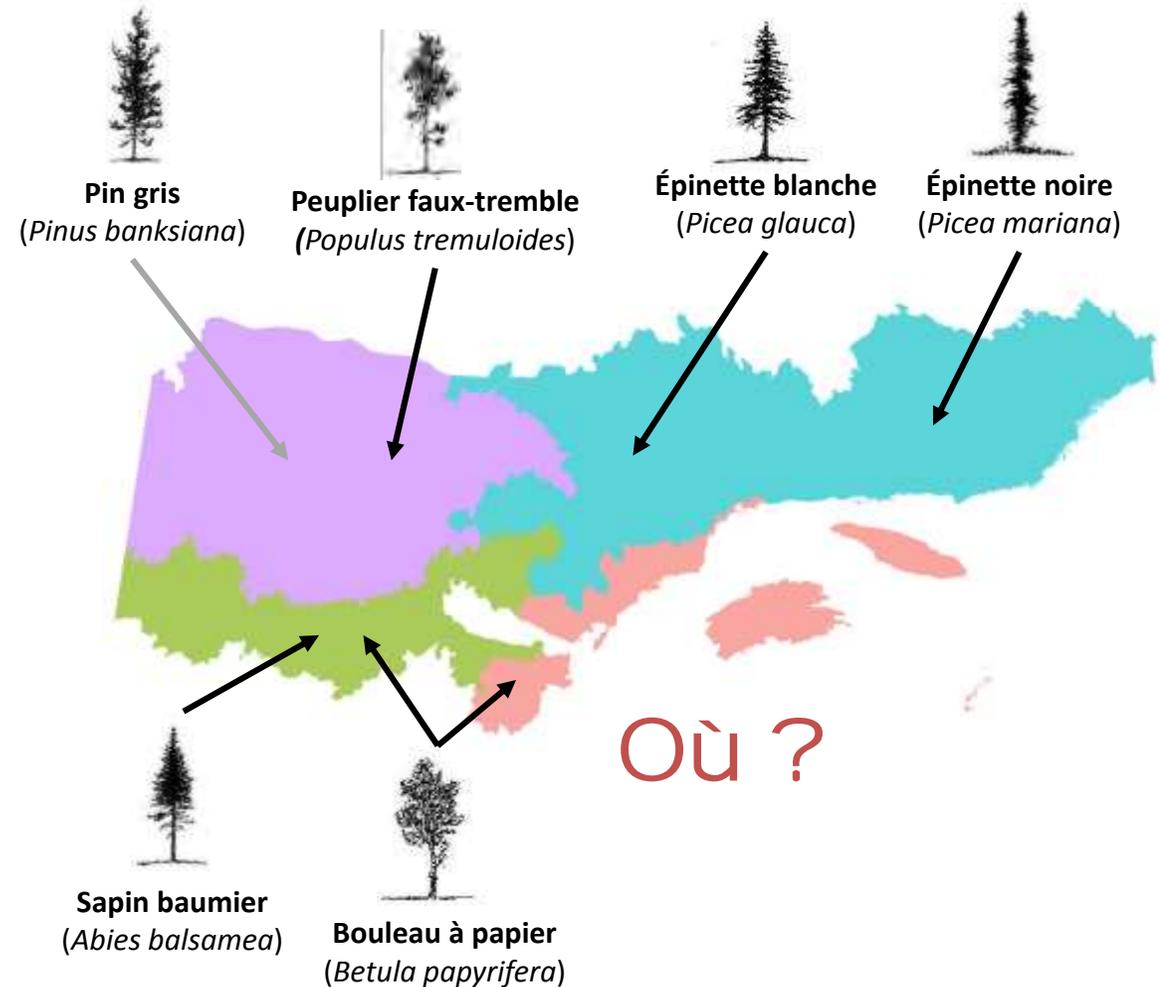
# CONCLUSION

## Qui ?

- Augmentation de la probabilité de mortalité pour plusieurs essences à l'exception du peuplier faux tremble et du pin gris
- Le pin gris (et d'un moins de mesure le peuplier), « grand gagnants »
- Le bouleau, « grand sensible »
- Épinettes et sapin baumier à surveiller selon la région

## Comment ?

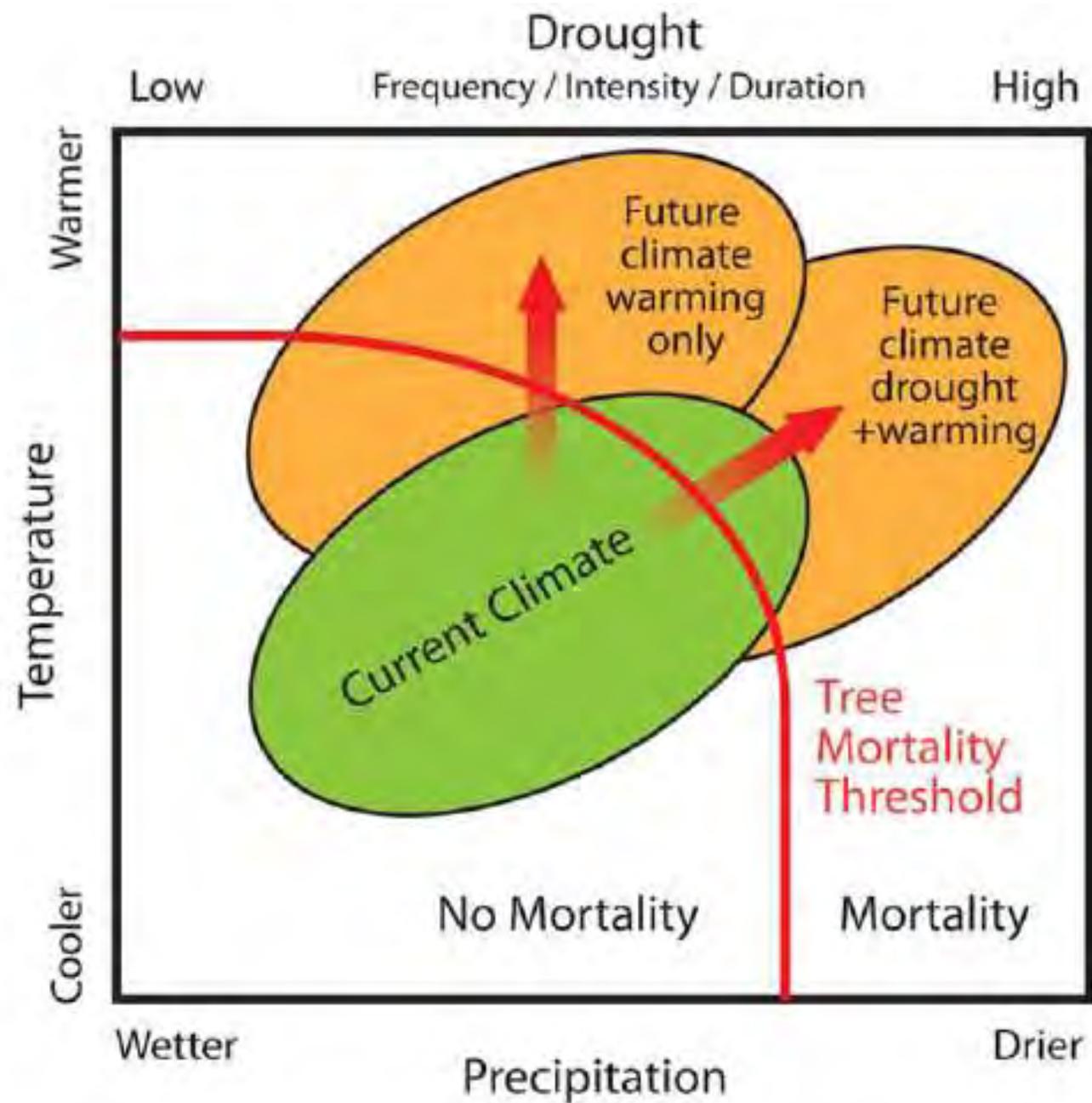
- Annual Moisture Index et Standardized Precipitation Evapotranspiration Index sont les indices expliquant le plus la mortalité
- Température agit rarement seule
- Pas d'effet direct du déficit en pression vapeur atmosphérique



## Quand ?

- Augmentation généralement synchronisée avec les anomalies climatiques (≈1980-90 et mi-2000)





# MÉTHODE

## Calcul de la probabilité de mortalité

$$M = \left( 1 - \left( 1 - \left( \frac{M_{I_2}}{V_{I_1}} \right)^{\frac{1}{D}} \right) \right)$$

Où :

- $I_1$  et  $I_2$  : Deux inventaires subséquents
- $V_{i1}$  : Dénombrement de tiges vivante au premier inventaire
- $M_{i2}$  : Dénombrement de mortalité sur les tiges vivante au premier inventaire
- $D$  : Durée de l'intervalle de temps entre les deux inventaire, en années

## Calcul d'indice climatique standardisés (1-10 ans)

Annual Moisture Index  $AMI = \frac{\text{degrés jours} > 5^{\circ}\text{C}}{\text{Précipitation annuelle moyenne}}$

Standardized Precipiation Evapotranpiration Index  $SPEI = \text{Précipitations} - \text{Évapotranspiration potentielle}$

Standardized Precipiation Index  $SPI = \text{Précipitations standardisées}$

Climate Moisture Index  $CMI = \text{Précipitations} - \text{Évapotranspiration potentielle}$

Snow melt and Rain Index  $SMRI = \text{Pluie} + \text{Fonte en neige}$

# MÉTHODE

## **Analyses statistiques via des modèles additifs généralisés:**

- Pas de connaissance à priori sur la nature des relations
- Permet de capturer la non-linéarité et de mieux situer les épisodes de mortalité dans le temps

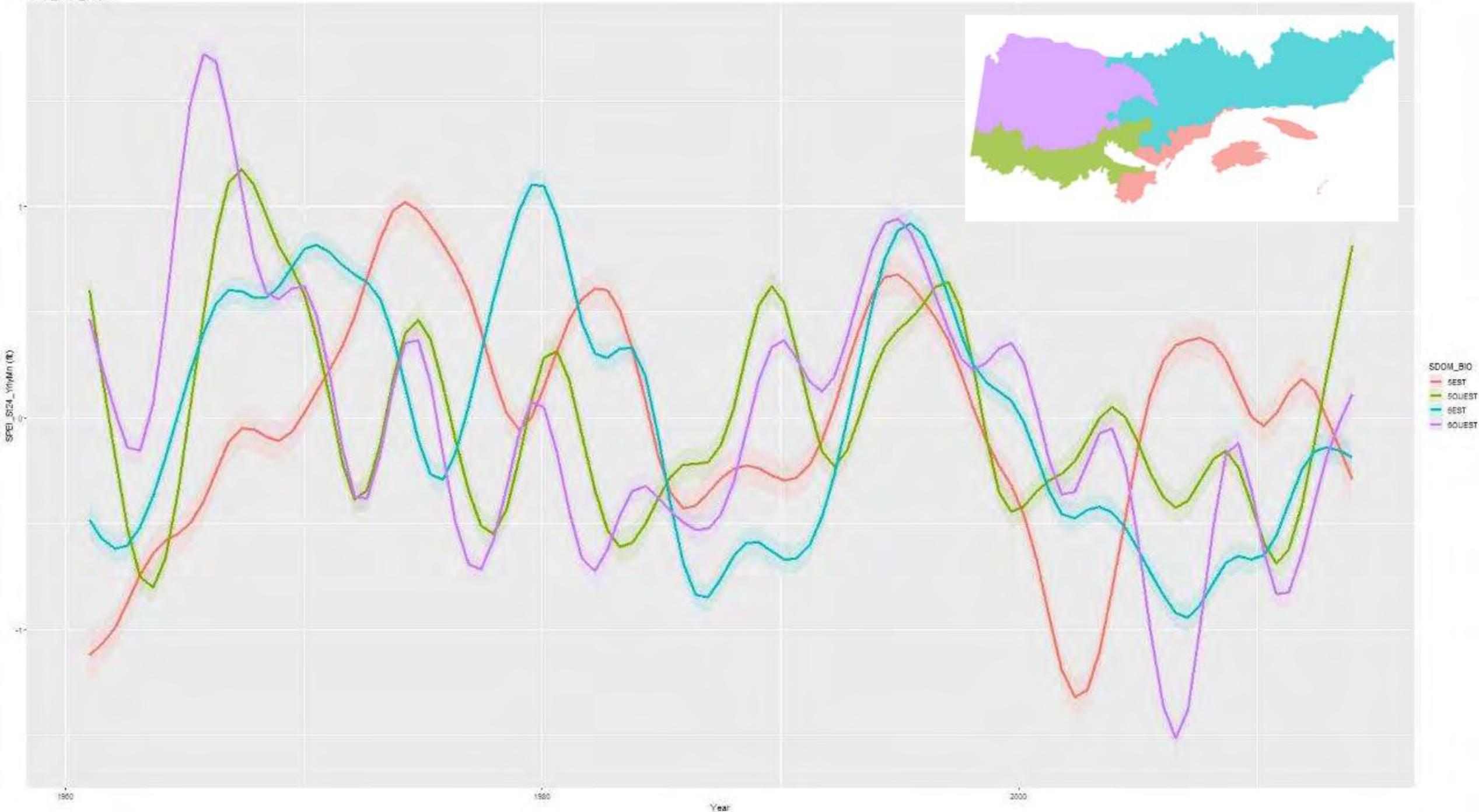
## **Structure différentes selon l'objectifs :**

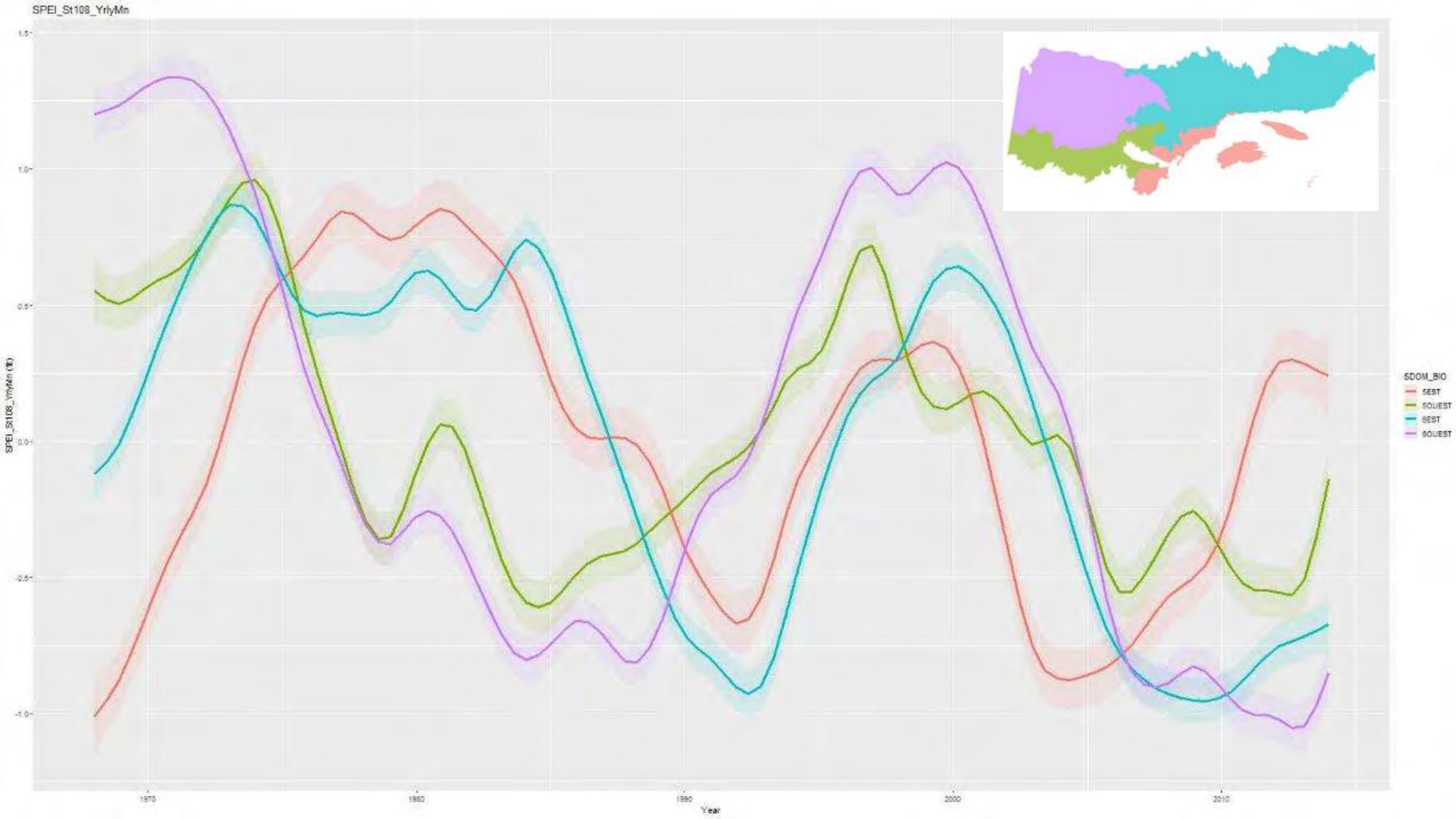
**Objectif 1 :** Mortalité dans le temps

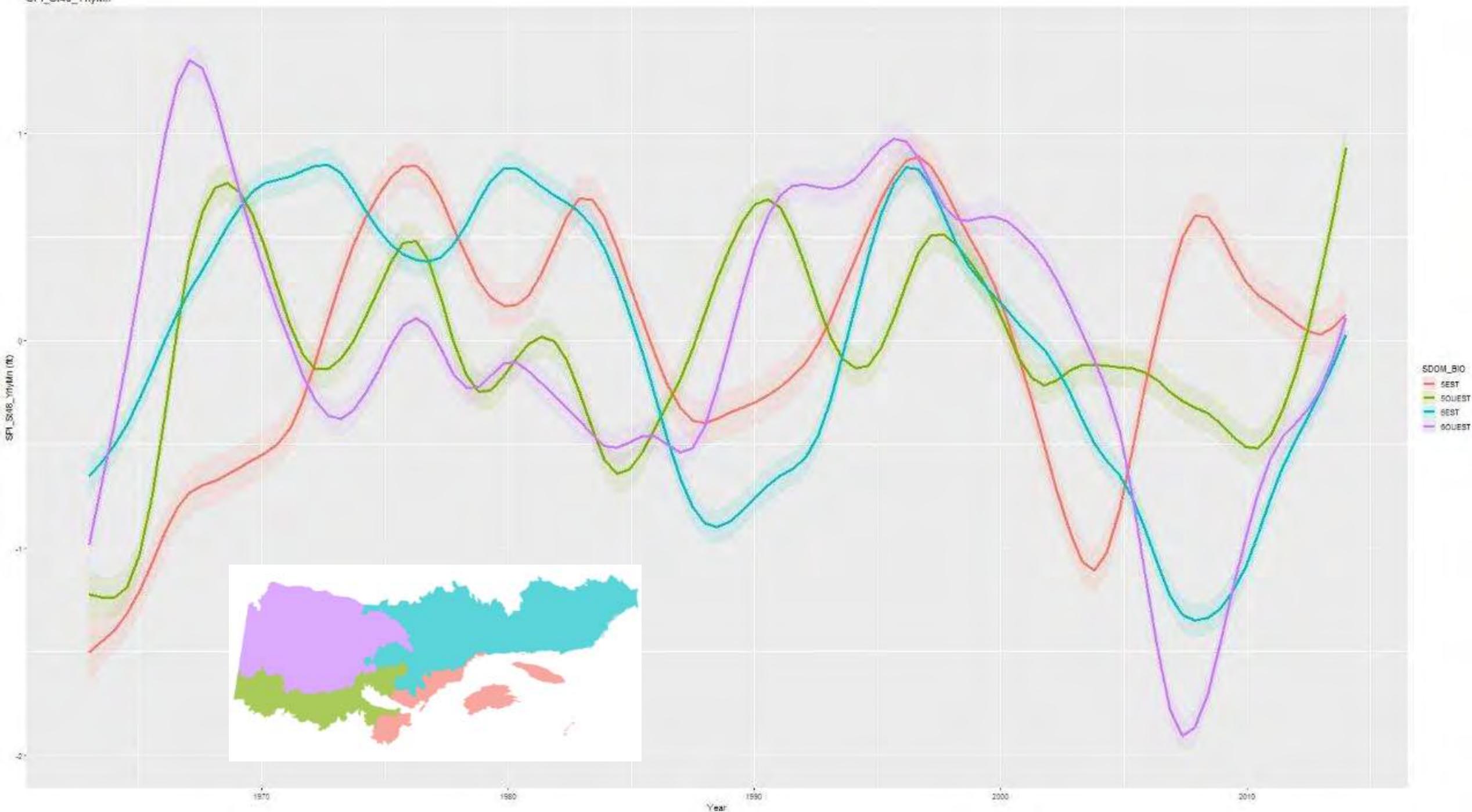
$$f(M) = f(\text{Année} * \text{Sous dom. bioclim.}) + \text{Sous dom. bioclim.} + f(\text{effet aléatoire de la parcelle})$$

**Objectif 2 :** Mortalité en fonction du climat

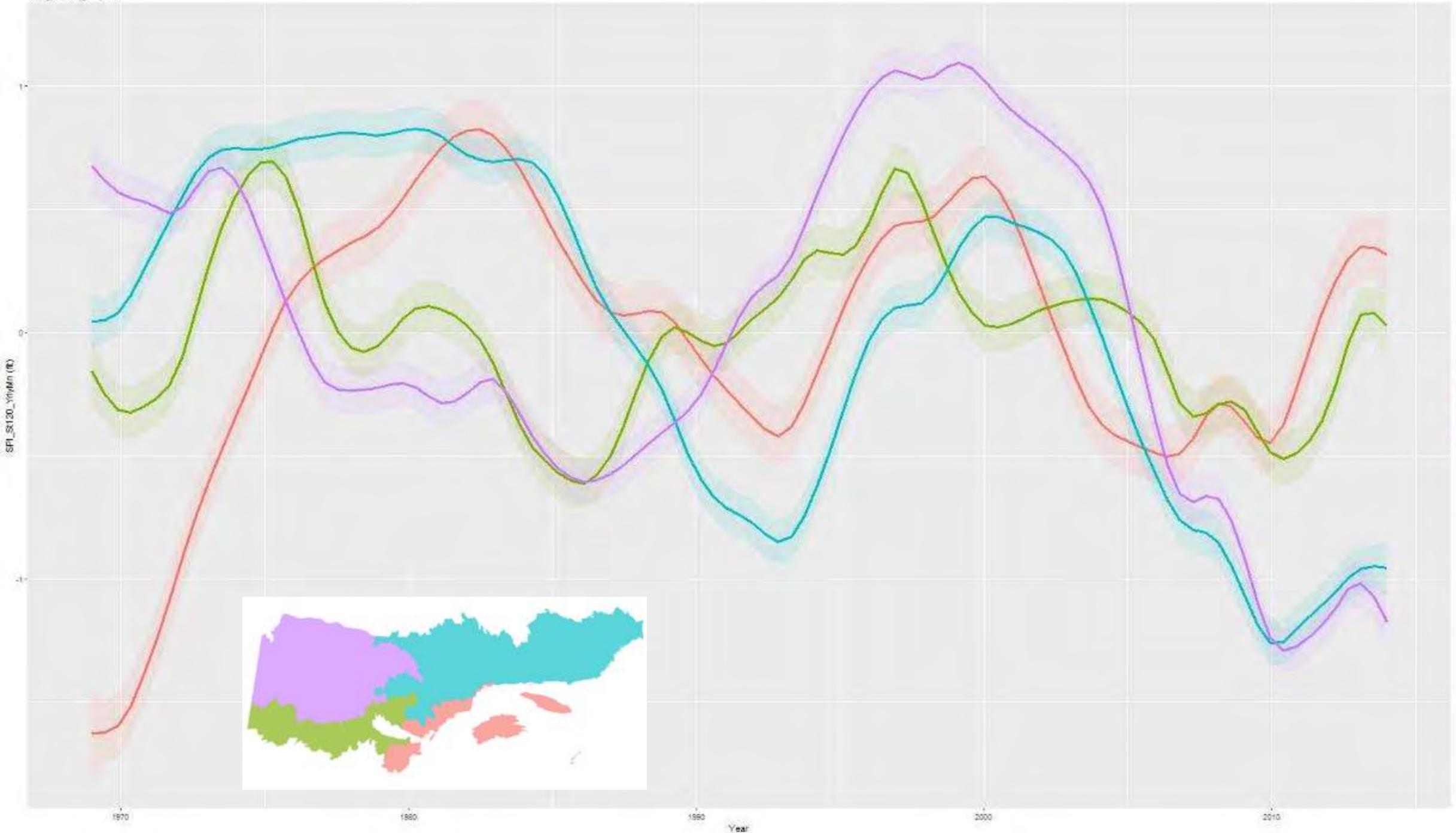
$$f(M) = f(\text{Indice clim.}) + f(\text{altitude}) + f(\text{âge moy.}) + \text{sous dom. bioclim.} + f(\text{effet aléatoire de la parcelle})$$



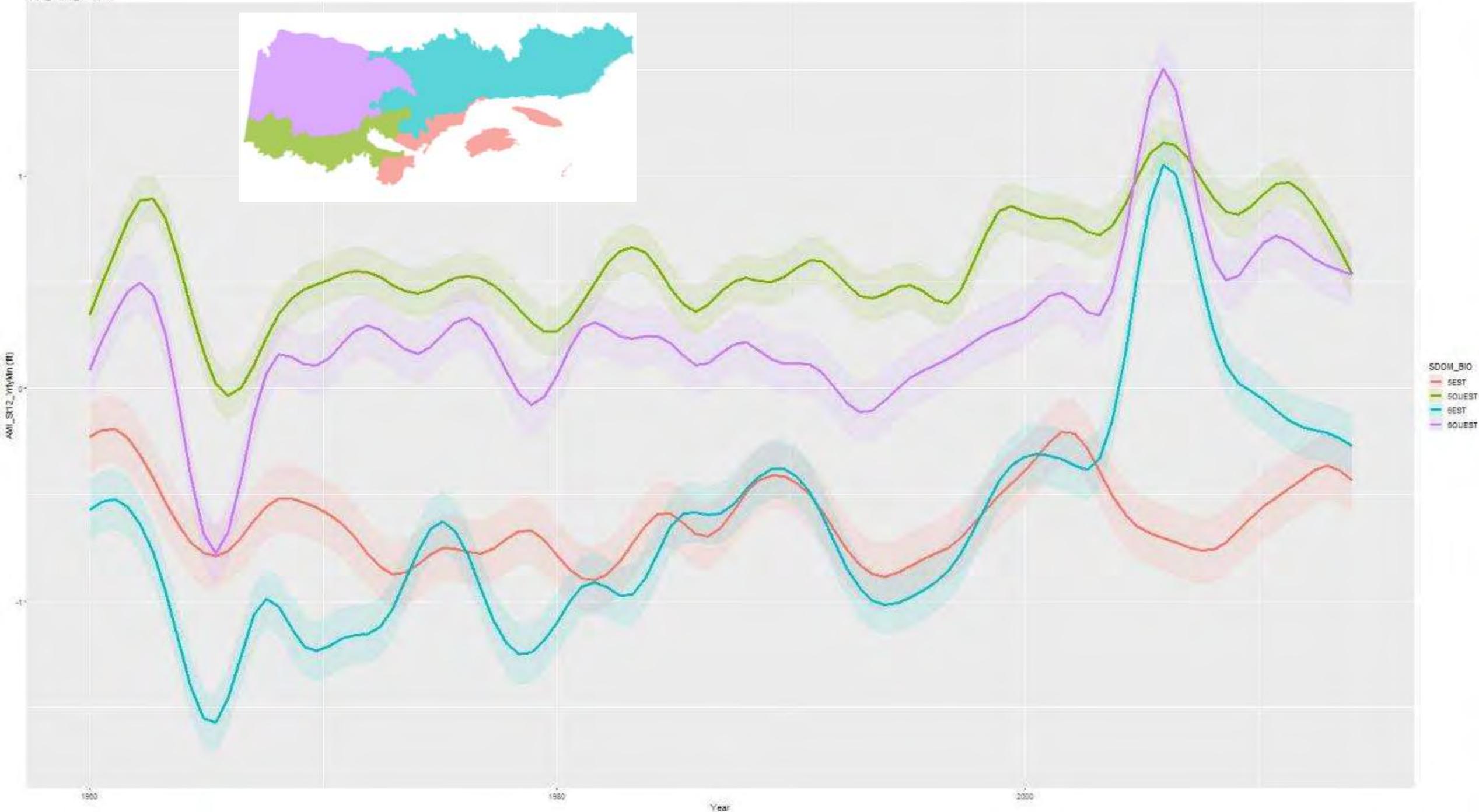




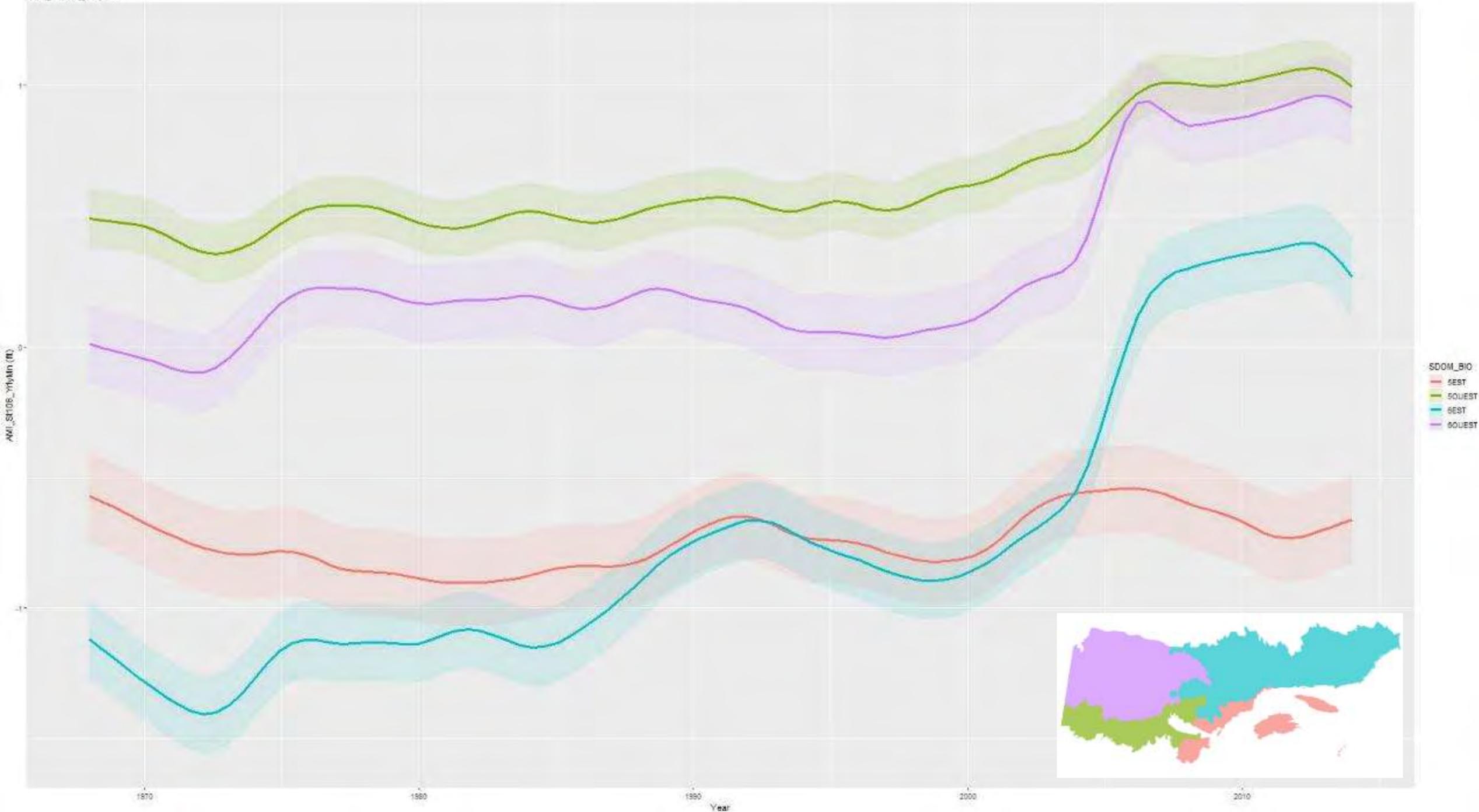
SDOM\_BIO  
SEST  
SOUEST  
SEST  
SOUEST

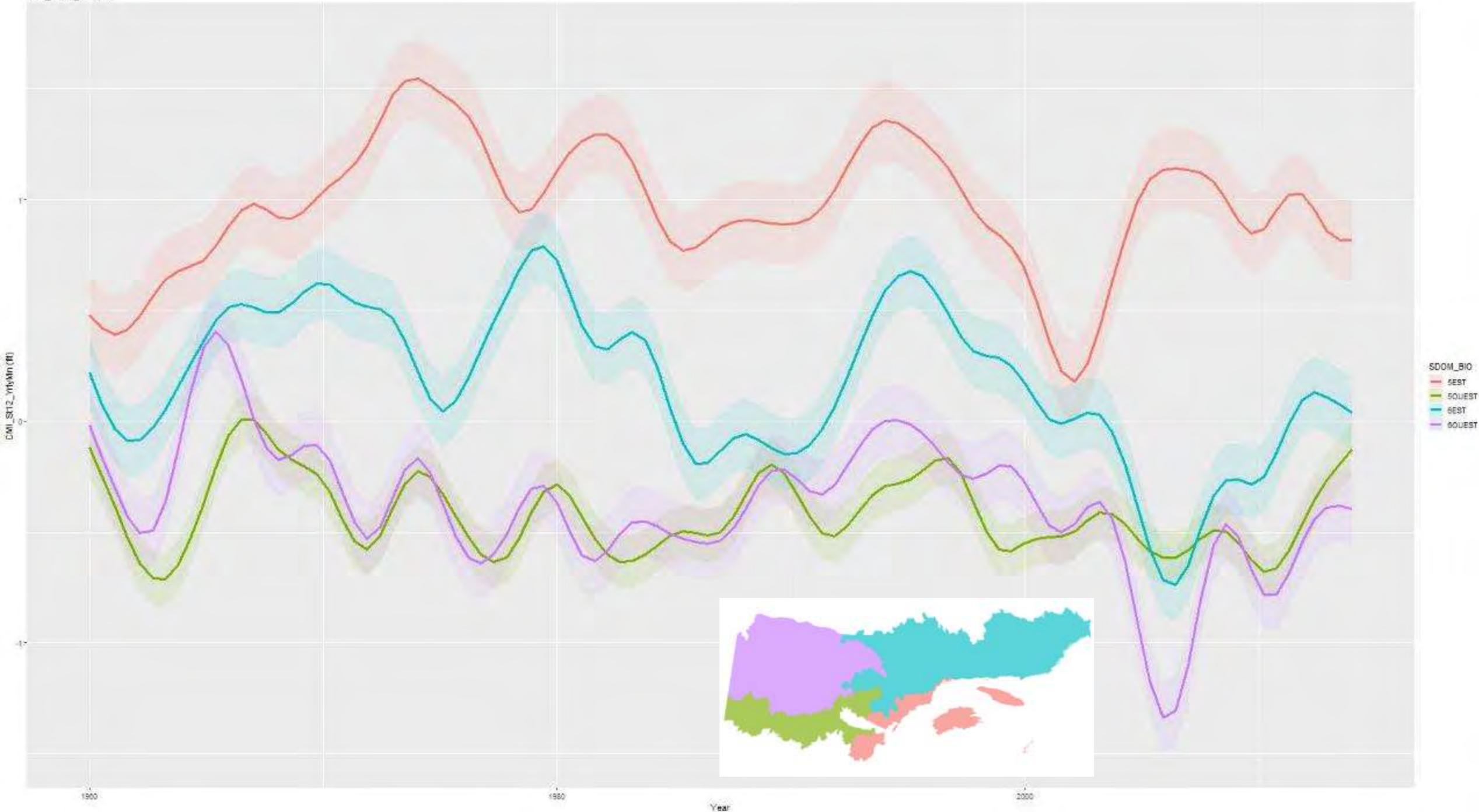


SDOM\_BIO  
SEST  
SOUEST  
SEST  
SOUEST



SDOM\_BIO  
SEST  
SOUEST  
SEST  
SOUEST





SDOM\_BIO  
SEST  
SOUEST  
SEST  
SOUEST

