

# LE CLIMAT INTERAGIT AVEC LA DIVERSITÉ DES ESPÈCES D'ARBRES POUR INFLUENCER LA PRODUCTIVITÉ FORESTIÈRE

*Chaire de recherche sur la forêt habitée  
Laboratoire d'aménagement et sylviculture*

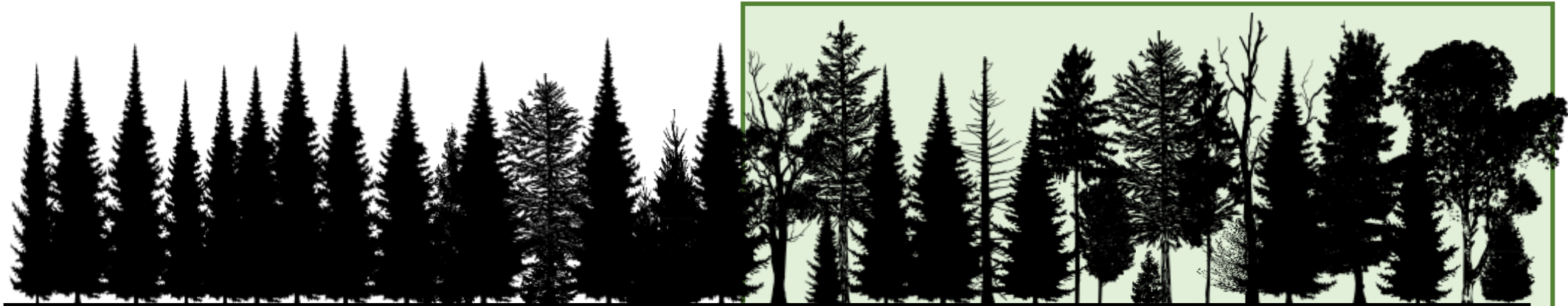
Laurie Dupont-Leduc, UQAR

Direction: Robert Schneider, UQAR

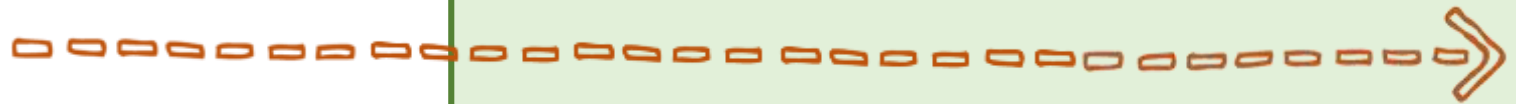
Codirection: Hugues Power, DRF

Collaborateurs: Mathieu Fortin, NRCan

# Relation productivité – diversité des arbres



gradient de diversité



## Productivité ↑ ?

- (1) Disponibilité et meilleure utilisation des ressources
- (2) Partition des niches écologiques
- (3) Interactions entre les espèces
- (4) Augmentation de la densité

# Relation productivité – diversité des arbres

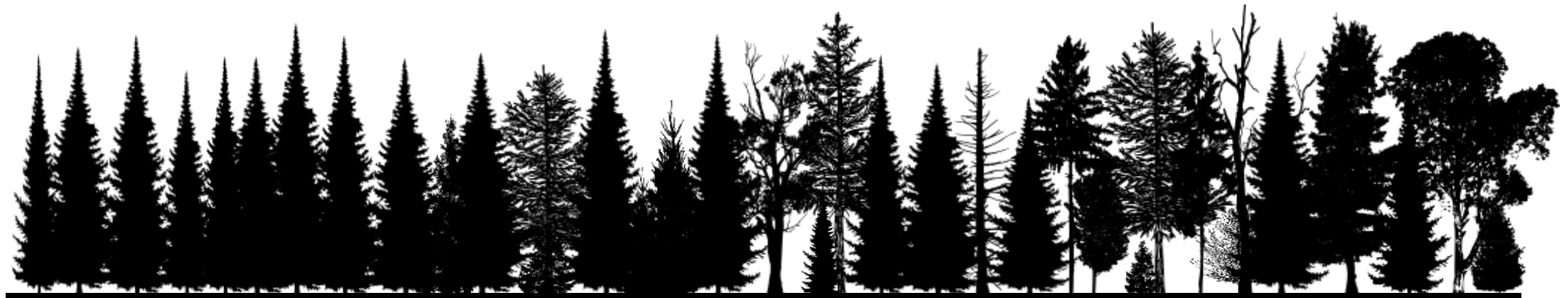


gradient de diversité



PRODUCTIVITÉ = CROISSANCE  DIVERSITÉ ?

# Relation productivité – diversité des arbres



gradient de diversité 

PRODUCTIVITÉ = CROISSANCE  DIVERSITÉ ?

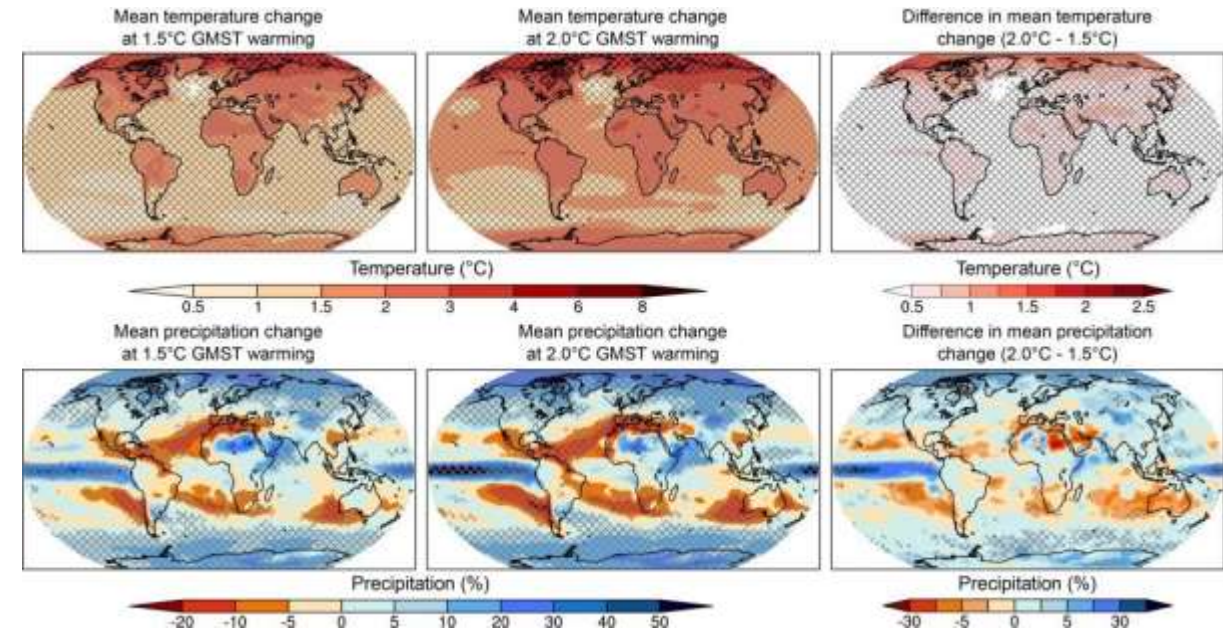
**PRODUCTIVITÉ FORESTIÈRE** = 
**CROISSANCE**  
**RECRUTEMENT**  
**MORTALITÉ**
  **DIVERSITÉ ?**

*principaux moteurs dynamique  
communautés forestières*

# Changements climatiques

Selon le scénario (GIEC) :

- ▲ températures 1,5 à 2°C
- ▲ températures extrêmes 3 à 4°C
- ▲ occurrences perturbations
- (...)

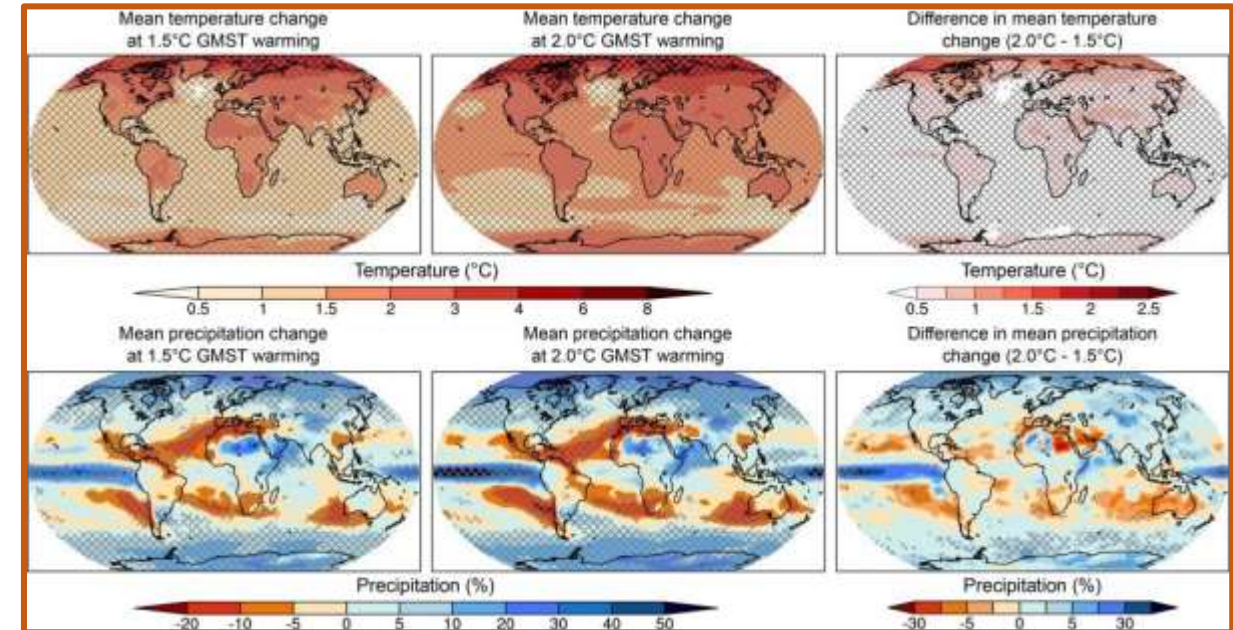


Source: IPCC, 2018

# Changements climatiques

Selon le scénario (GIEC) :

- ▲ températures 1,5 à 2°C
- ▲ températures extrêmes 3 à 4°C
- ▲ occurrences perturbations
- (...)

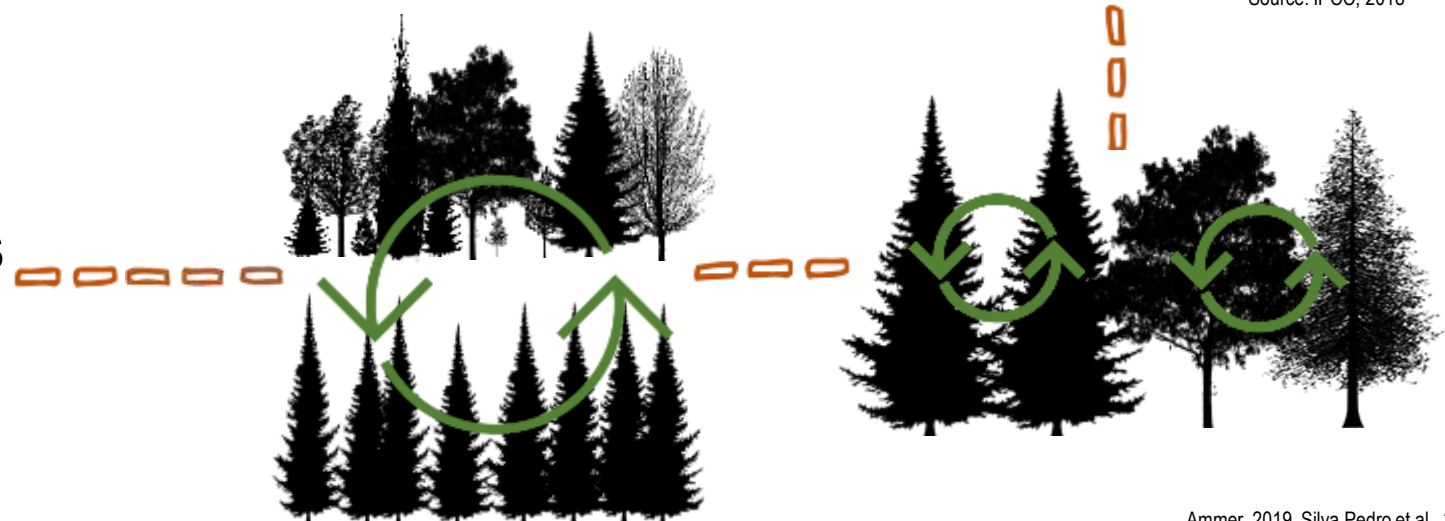


Source: IPCC, 2018

## PRODUCTIVITÉ !



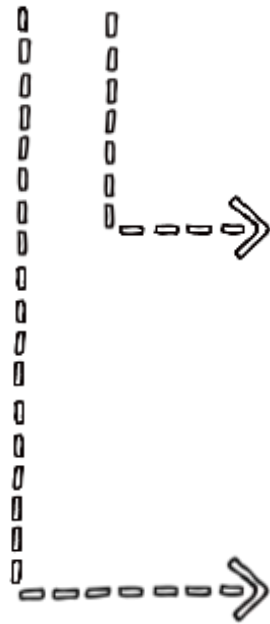
Fonctions et services écosystémiques



Ammer, 2019, Silva Pedro et al., 2016

# Objectifs

## Relations **DIVERSITÉ** – **PRODUCTIVITÉ** – **CLIMAT**



1

Comprendre l'effet de la **DIVERSITÉ** des arbres sur la **PRODUCTIVITÉ** forestière et sur chacune de ses composantes

2

Dans quelles circonstances la **DIVERSITÉ** des arbres devrait être promue pour assurer la résilience des forêts dans le **CLIMAT** du futur?

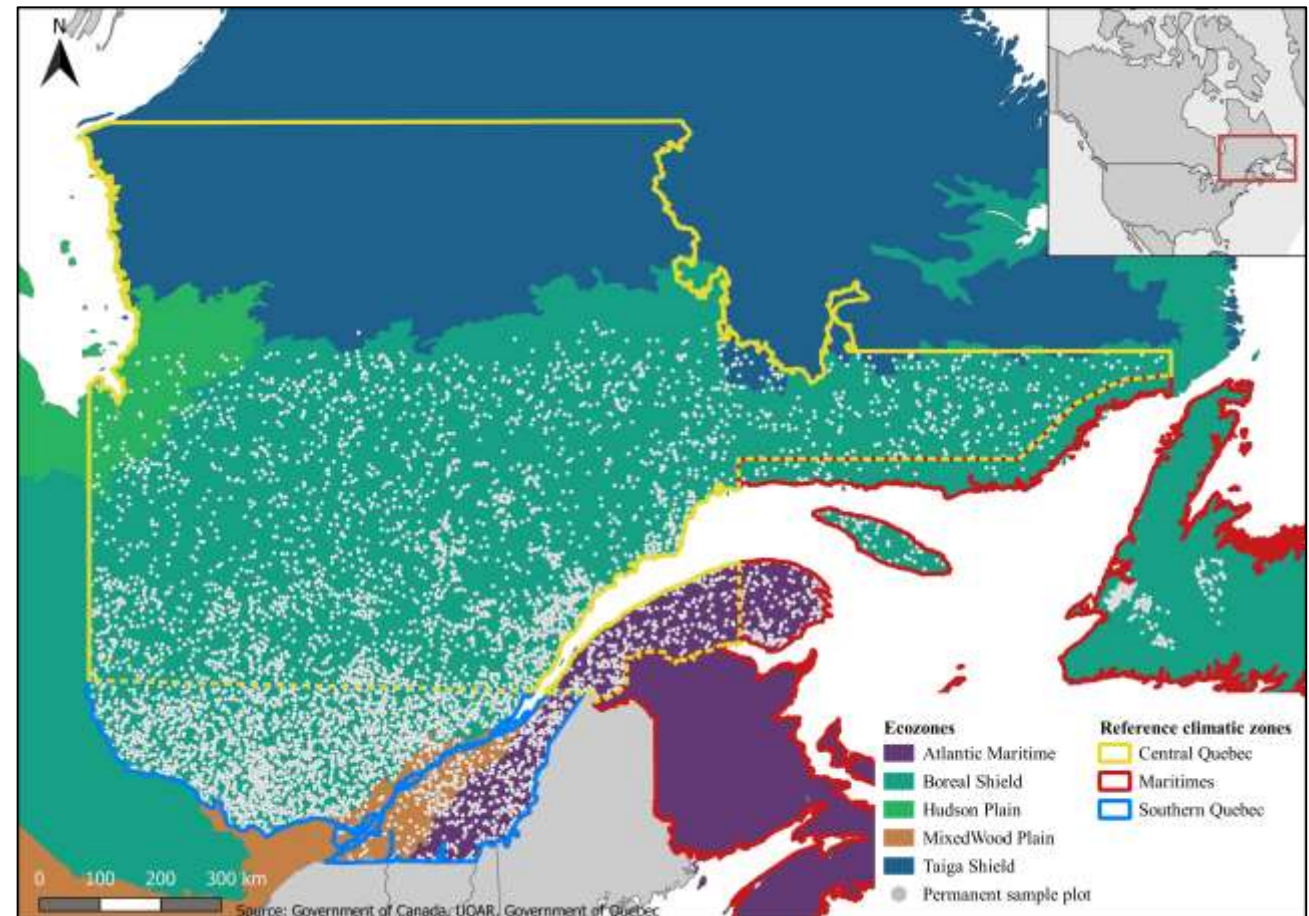
# Aire d'étude

Données des placettes-échantillons du Québec (1970) et de Terre-Neuve (1987)

## 5 écozones terrestres :

- Maritime de l'Atlantique
- Plaines à forêts mixtes
- Bouclier boréal
- Plaines hudsoniennes
- Taïga du Bouclier

~ 30 800 paires de mesurages consécutifs de placettes de 400m<sup>2</sup>





# Inventaire forestier

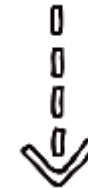


1. Relations hauteur-diamètre  
(Auger, 2016)
2. Biomasse individuelle  
(Lambert et al., 2015)
3. Productivité forestière nette :

# Inventaire forestier



1. Relations hauteur-diamètre (Auger, 2016)
2. Biomasse individuelle (Lambert et al., 2015)
3. Productivité forestière nette :



Biomasse arbres survivants (présent  $t_1$ , présent  $t_2$ ) = **CROISSANCE**

Biomasse arbres recrues (absent  $t_1$ , présent  $t_2$ ) = **RECRUTEMENT**

Biomasse arbres morts (présent  $t_1$ , absent  $t_2$ ) = **MORTALITÉ**

**PRODUCTIVITÉ NETTE = CROISSANCE + RECRUTEMENT - MORTALITÉ**

# Inventaire forestier

## Variables candidates :

### Peuplement

- Surface terrière marchande ( $m^2/ha$ )
- Hauteur dominante (4 tiges les plus hautes/placette)
- Surface terrière espèce dominante ( $m^2/ha$ )
- Biomasse totale (tonne/ha/année)

### Environnement

- Indice de position topographique (TPI)
- Indice d'humidité topographique (TWI)
- Température annuelle (moyenne et maximale)
- Précipitation totale annuelle (moyenne et minimale)

### Diversité

- Matrice de 25 traits fonctionnels (TOPIC, Aubin et al., 2007) X 38 essences marchandes
- Indices calculés avec tous les traits, trait individuel ou groupe de traits :

Dispersion fonctionnelle (FDis)	Redondance fonctionnelle (FR)
Moyenne pondérée par la communauté (CWM)	Gini-Simpson (D)
Rao (Q)	Shannon-Wiener (H')
Richesse groupes fonctionnelles (FGR)	Richesse spécifique (N)

# Analyses

## Variables candidates :

### Peuplement

- Surface terrière marchande (m<sup>2</sup>)
- Hauteur dominante (4 tiges les plus hautes)
- Surface terrière espèce dominante
- Biomasse totale (tonne/ha/année)

### Environnement

- Indice de position topographique
- Indice d'humidité topographique
- Température annuelle (moyenne)
- Précipitation totale annuelle (mm)

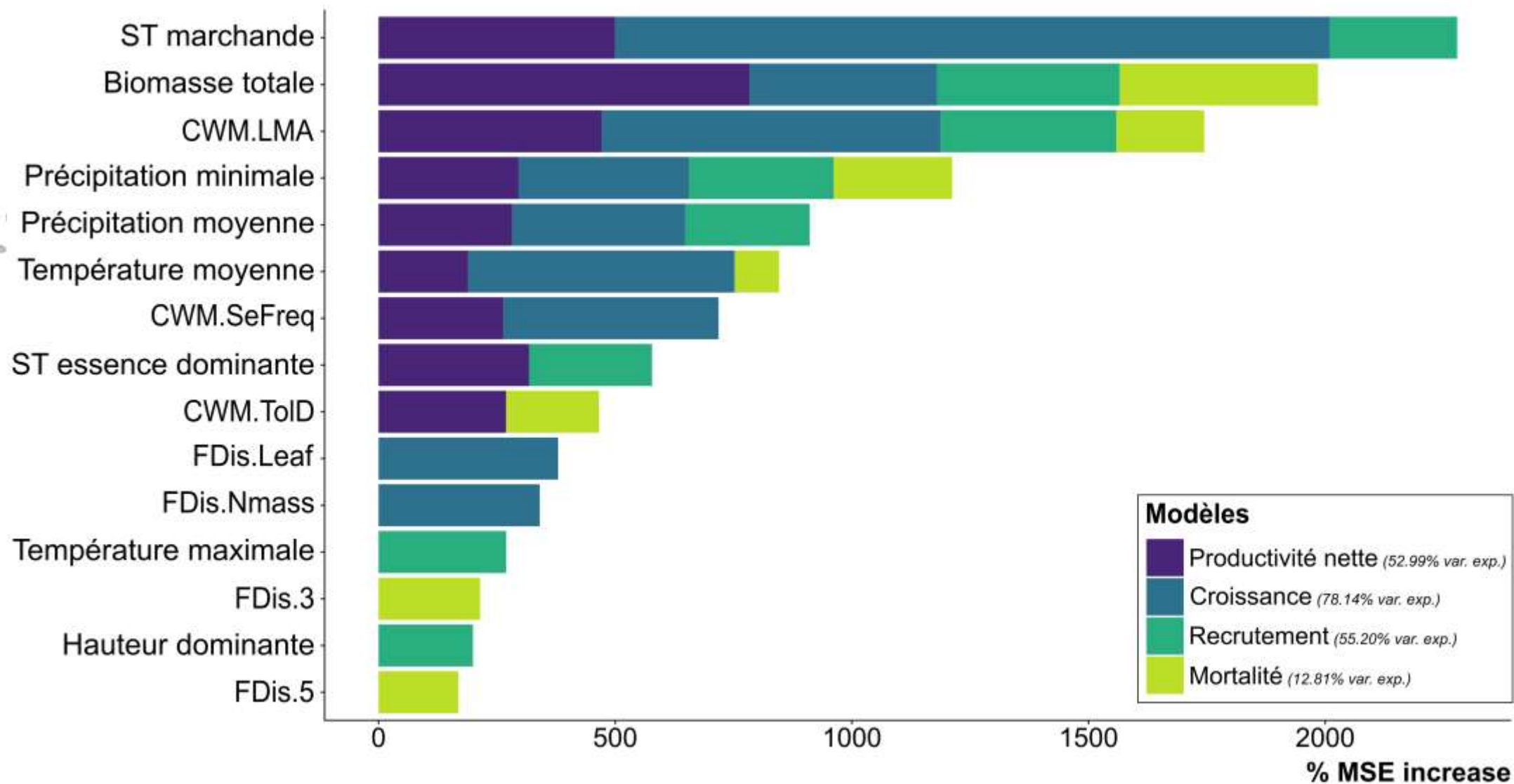
### Diversité

- Matrice de 25 traits fonctionnels
- Indices calculés avec tous les traits

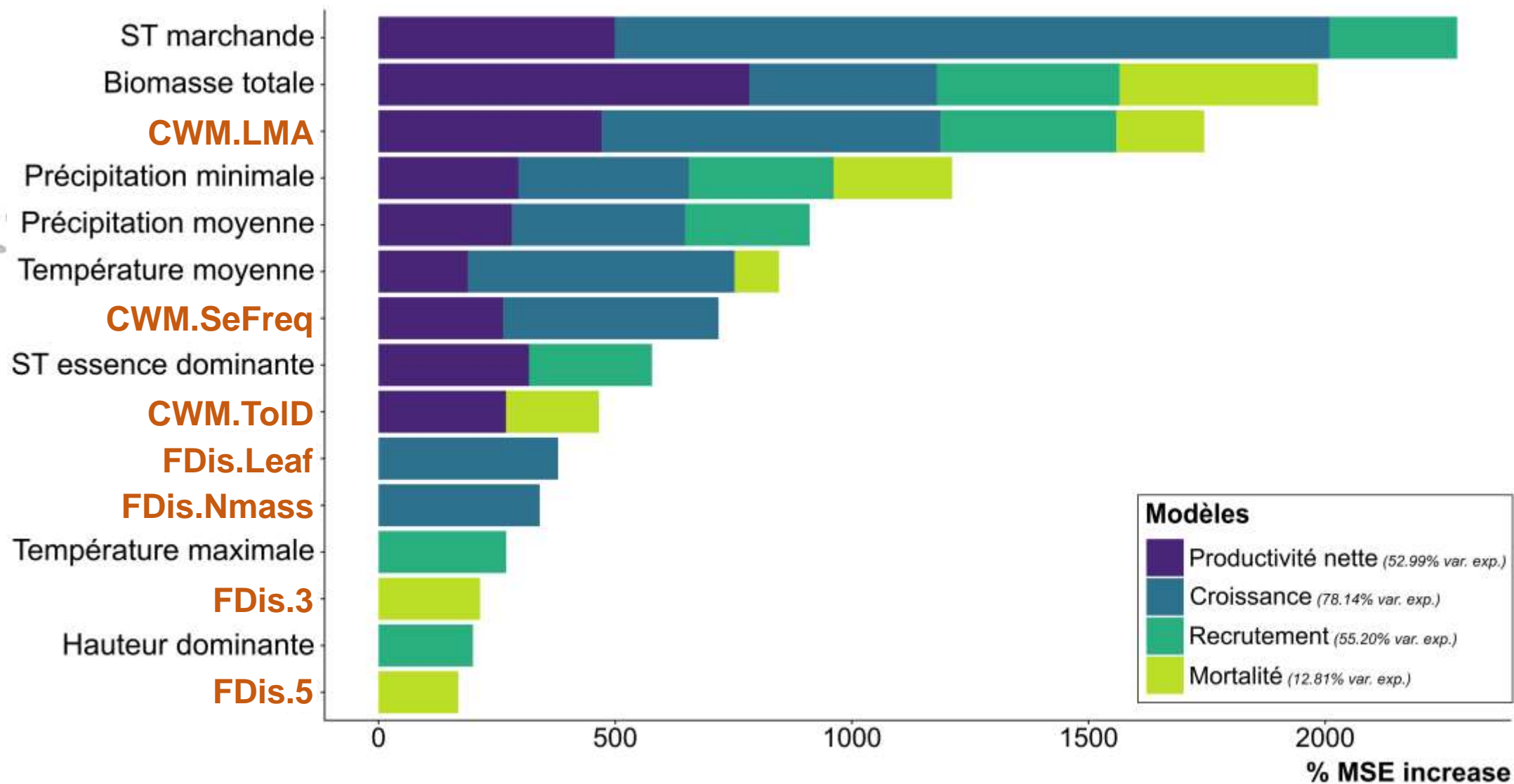
## Modèles *Random Forest* :

1. **PRODUCTIVITÉ NETTE**
2. **CROISSANCE**
3. **RECRUTEMENT**
4. **MORTALITÉ**

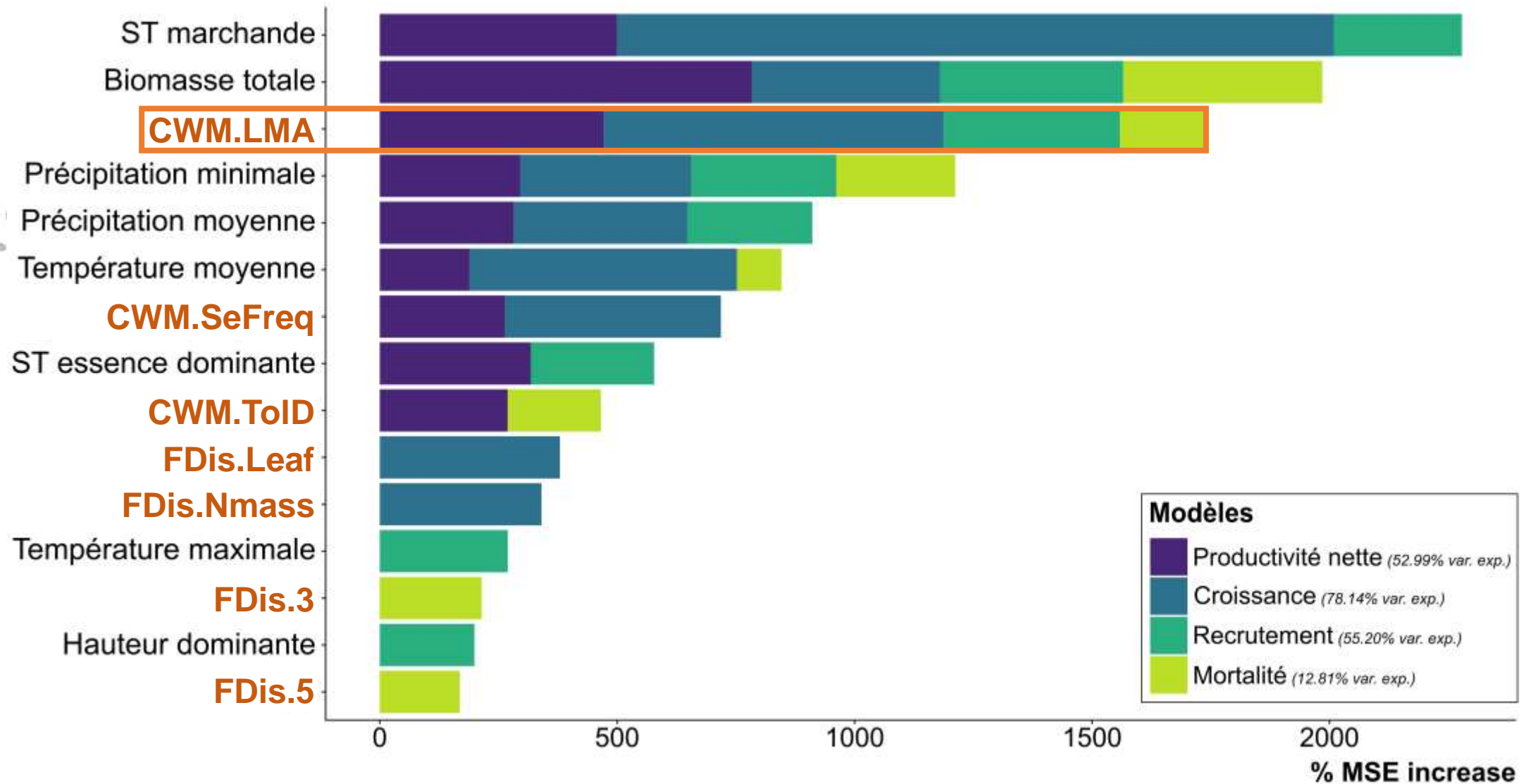
# Variables importantes



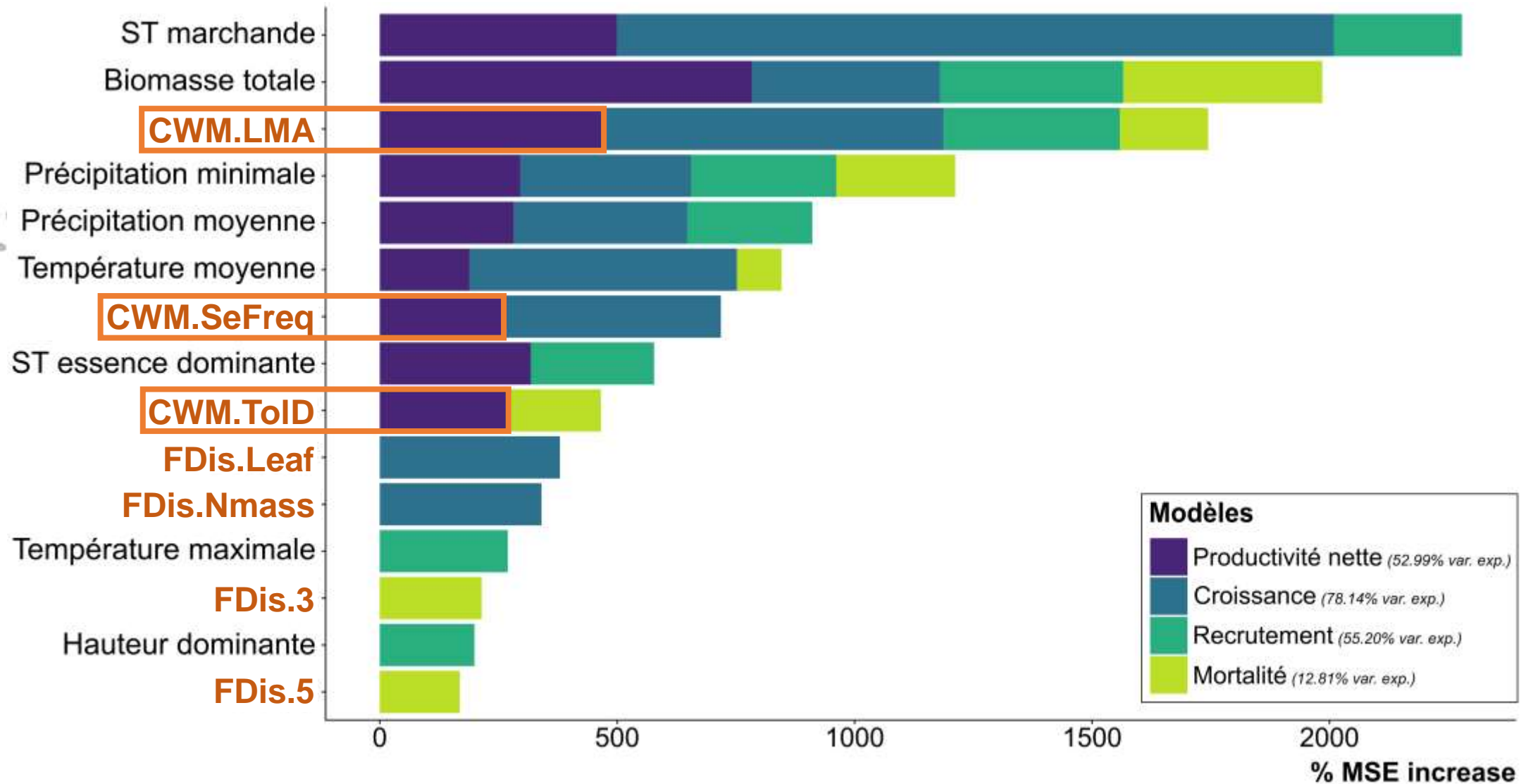
# Variables importantes



# Variables importantes

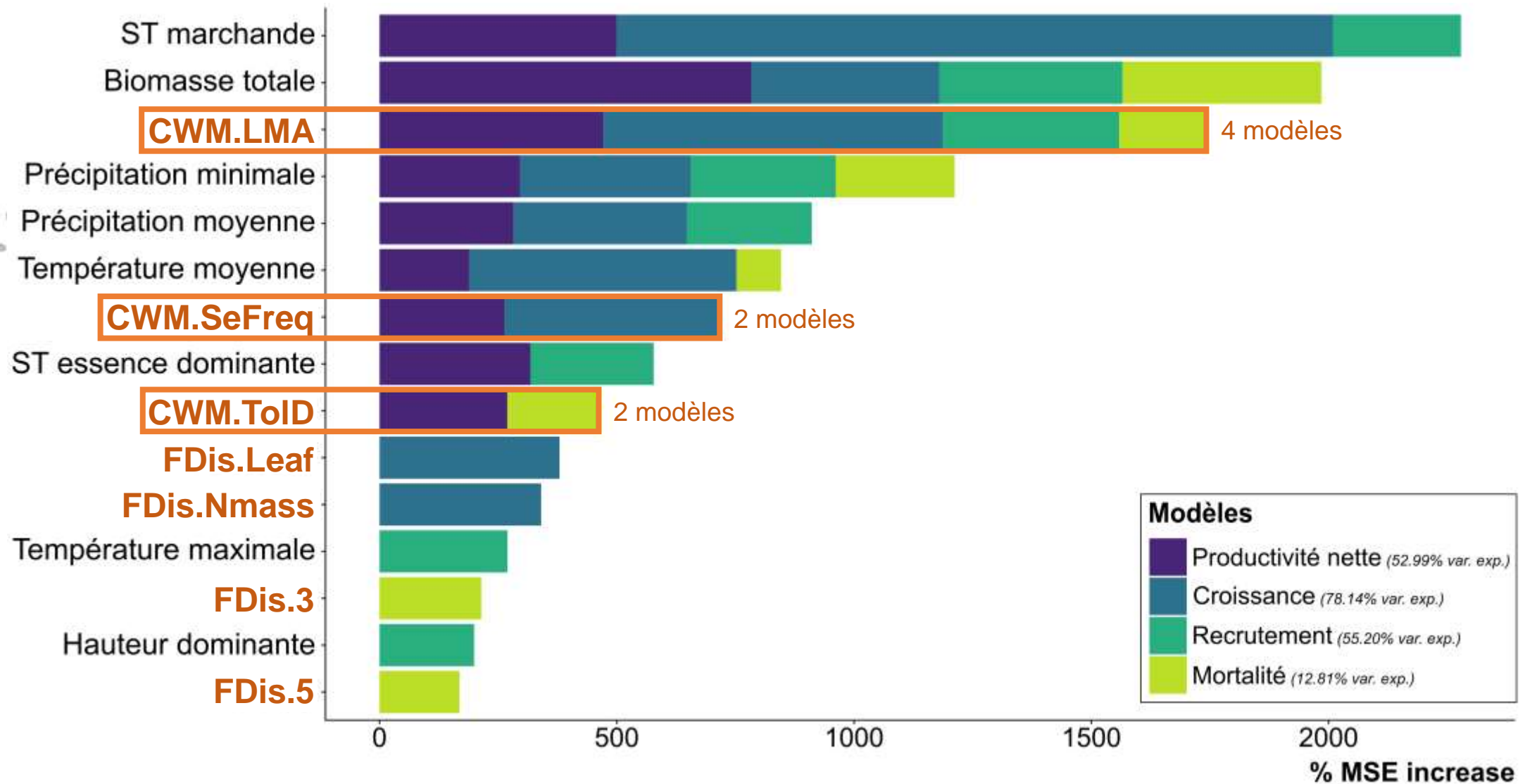


# Variables importantes

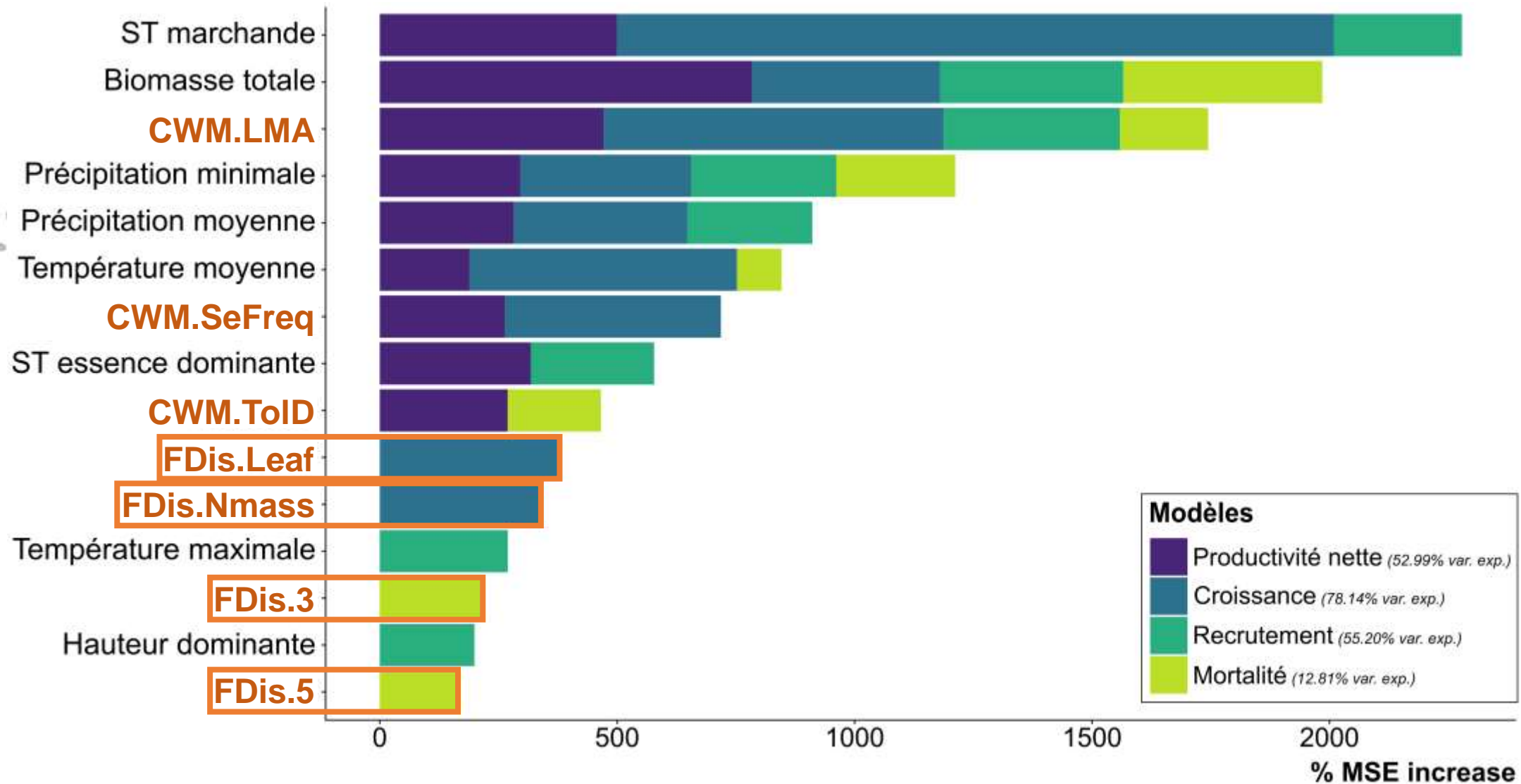




# Variables importantes



# Variables importantes



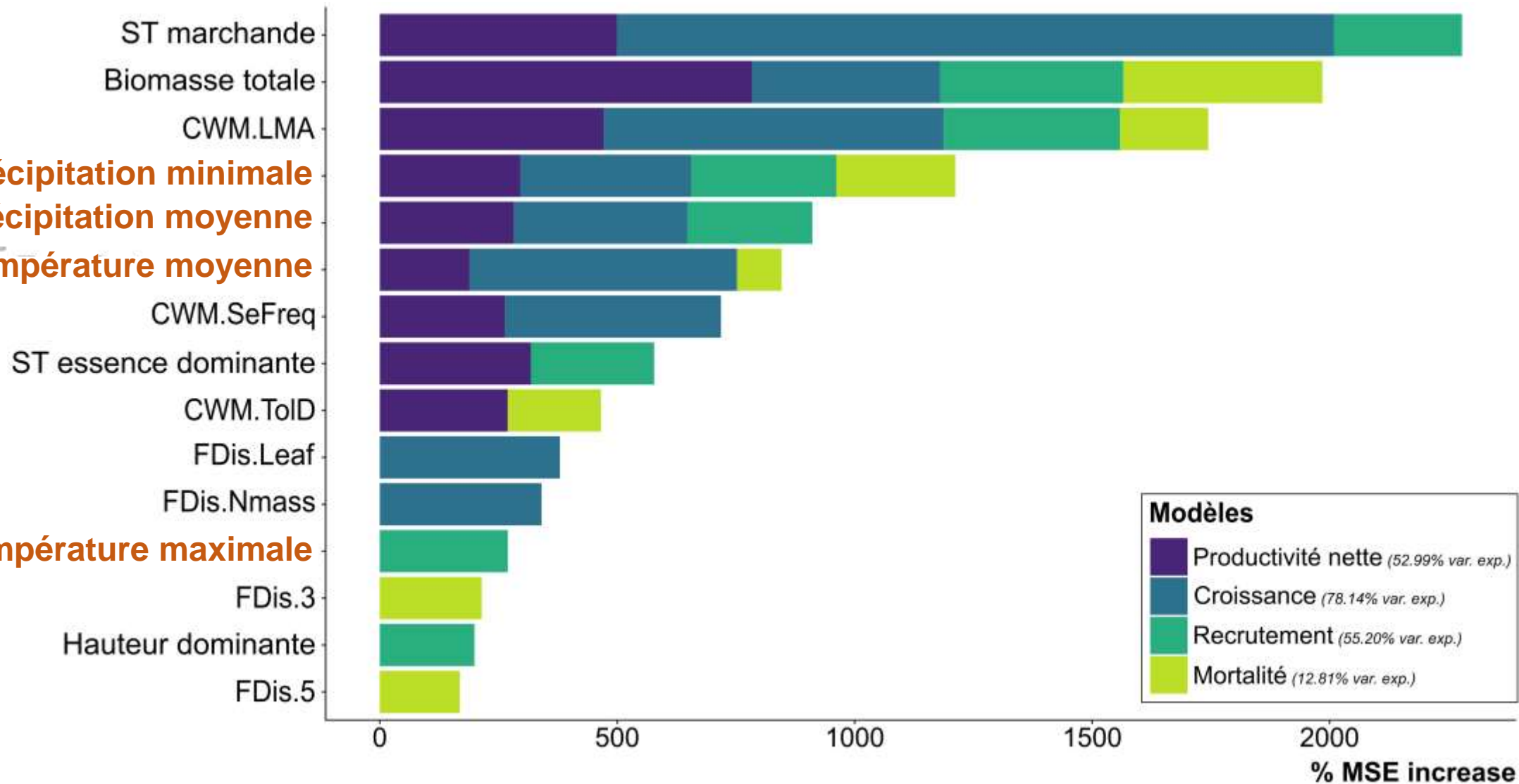
# Variables importantes

Précipitation minimale

Précipitation moyenne

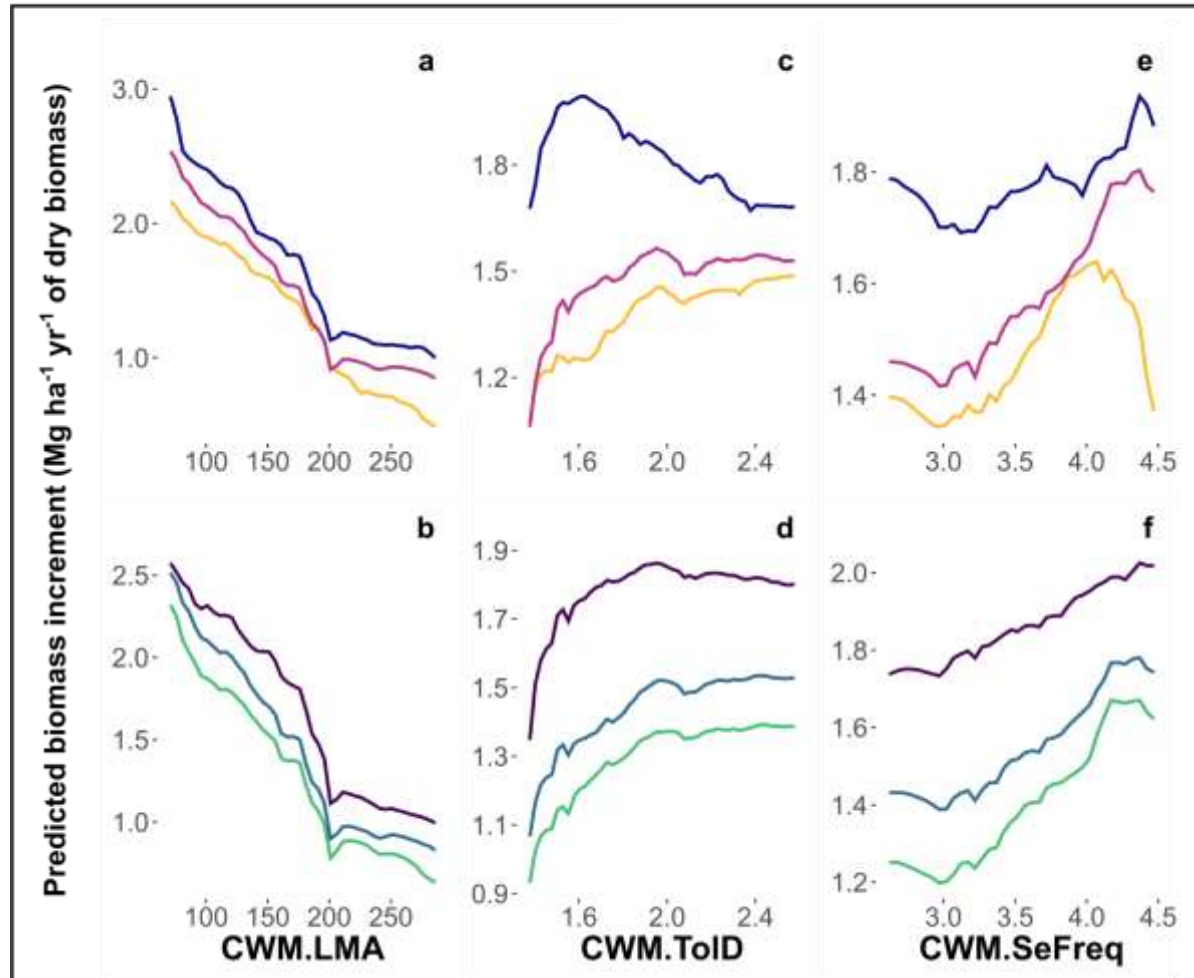
Température moyenne

Température maximale



# Interactions PRODUCTIVITÉ-DIVERSITÉ-CLIMAT

## PRODUCTIVITÉ FORESTIÈRE NETTE



**Température  
annuelle moyenne**

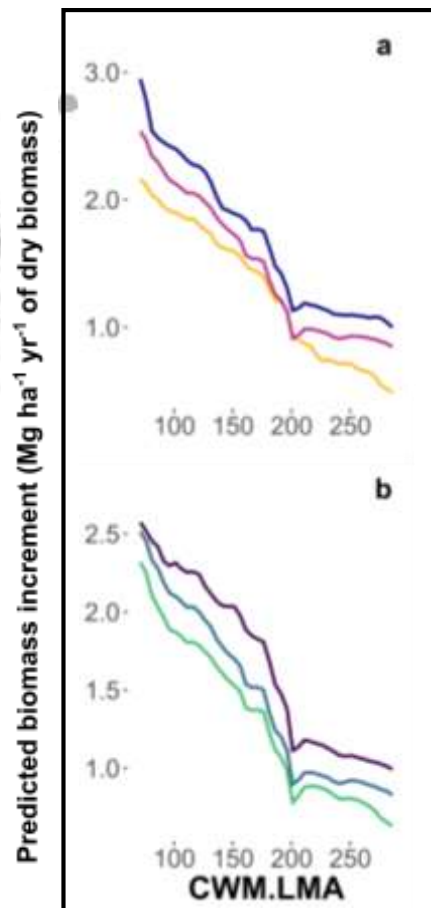
- 25<sup>e</sup> percentile
- 50<sup>e</sup> percentile
- 75<sup>e</sup> percentile

**Précipitation totale  
annuelle minimale**

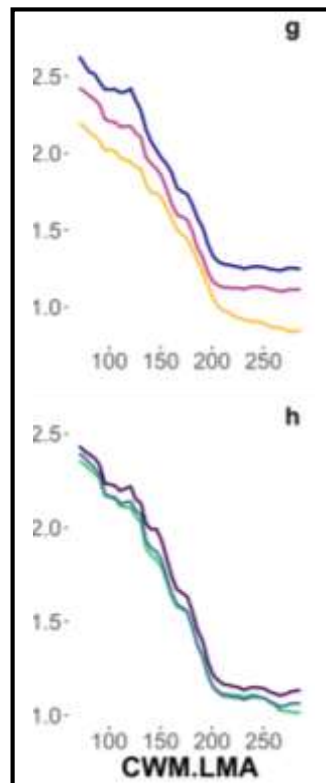
- 25<sup>e</sup> percentile
- 50<sup>e</sup> percentile
- 75<sup>e</sup> percentile

# CWM.LMA - masse foliaire par unité de surface

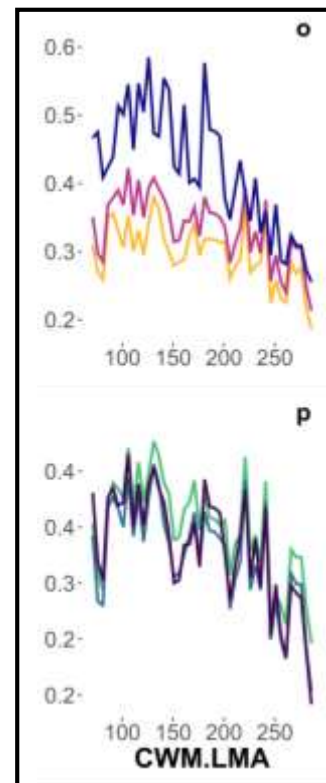
## PRODUCTIVITÉ NETTE



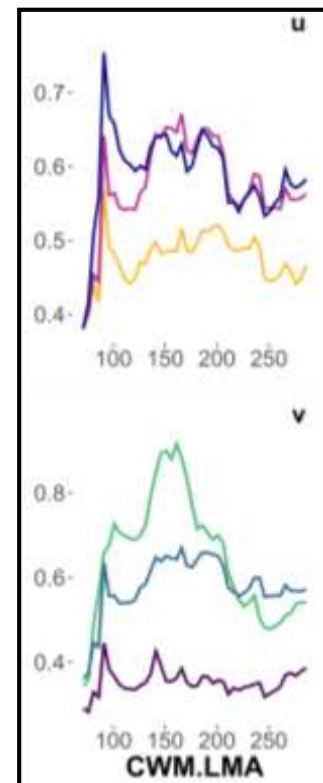
## CROISSANCE



## RECRUTEMENT



## MORTALITÉ



### Communautés LMA-faible

- Forte proportion de feuillues
- Acquisition rapide des ressources
- Taux de croissance élevé

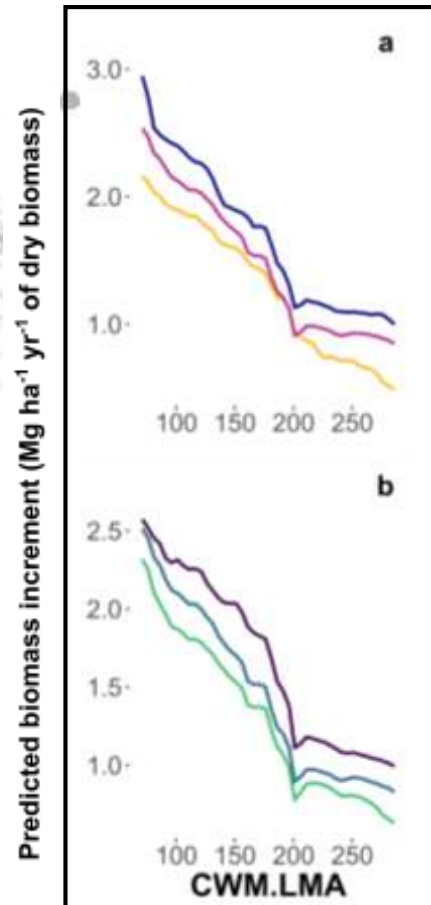
### Communautés LMA-élevé

- Forte proportion de conifères
- Préservation des ressources
- Persistance foliaire

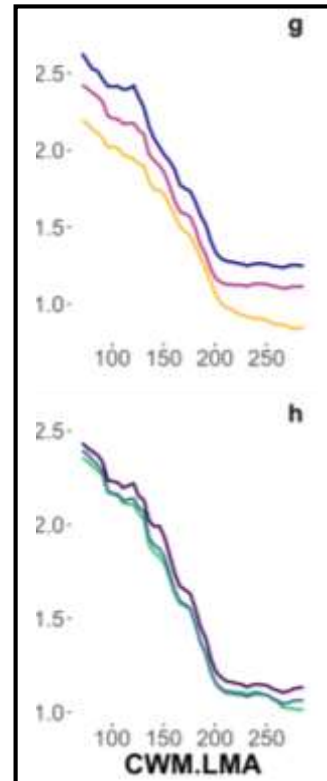
# CWM.LMA - masse foliaire par unité de surface

## Interactions avec le climat

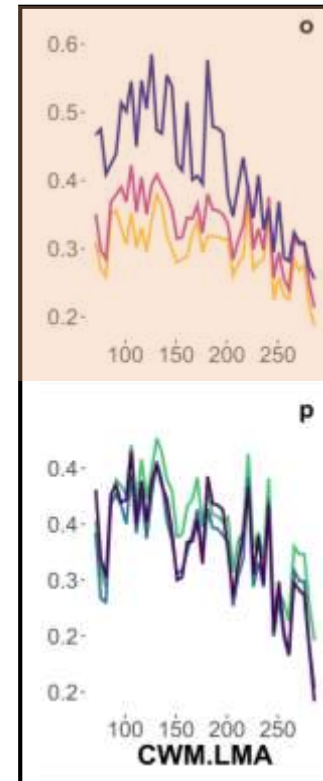
### PRODUCTIVITÉ NETTE



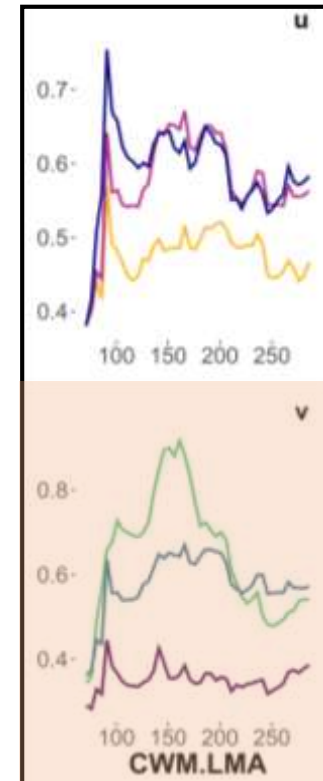
### CROISSANCE



### RECRUTEMENT



### MORTALITÉ



### Communautés LMA-faible

- Forte proportion de feuillues
- Acquisition rapide des ressources
- Taux de croissance élevé

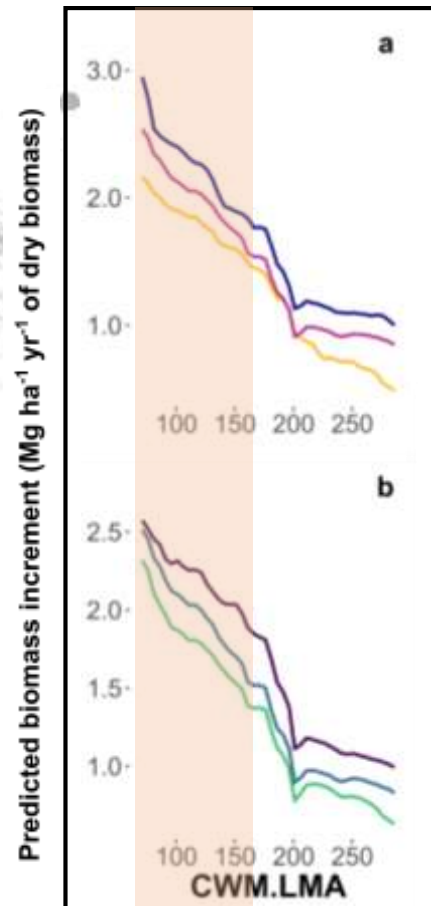
### Communautés LMA-élevé

- Forte proportion de conifères
- Préservation des ressources
- Persistance foliaire

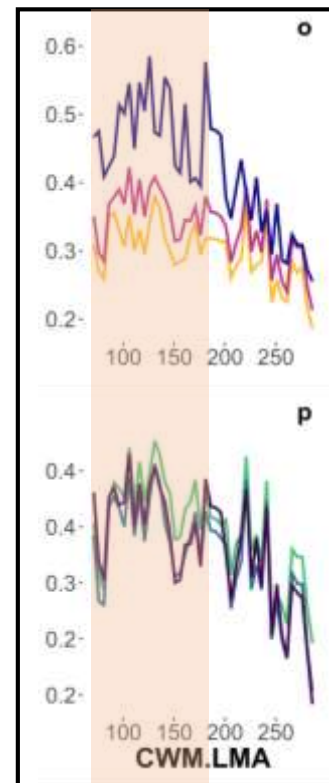
# CWM.LMA - masse foliaire par unité de surface

## Interactions avec le climat

### PRODUCTIVITÉ NETTE

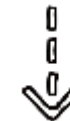


### RECRUTEMENT



**Recrutement de nouveaux arbres plus élevé dans un climat plus chaud**

- Dépend fortement des conditions environnementales
- Déficit hydrique = modifie la dynamique des populations

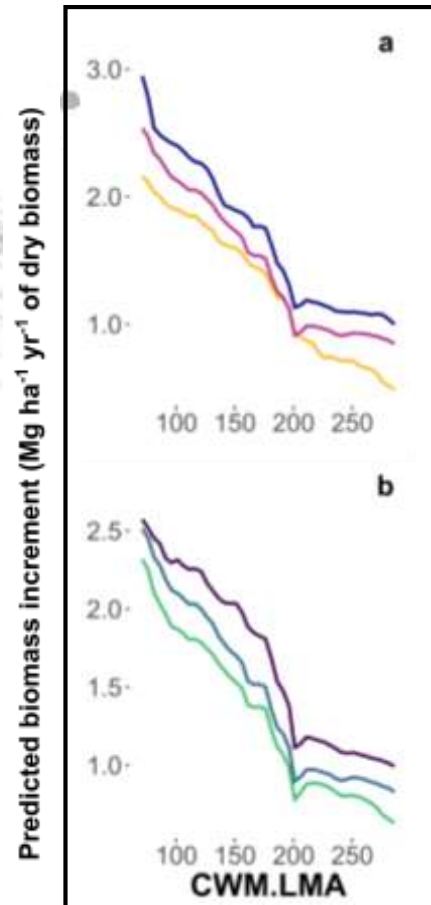


▲ sécheresse = ▲ mortalité = ▲ trouées  
= ▲ ressources (lumière) =  
▲ **RECRUTEMENT DES ARBRES** =  
▲ **PRODUCTIVITÉ NETTE**

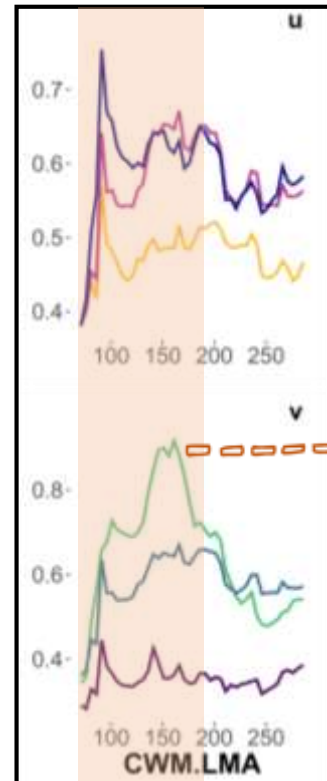
# CWM.LMA - masse foliaire par unité de surface

## Interactions avec le climat

### PRODUCTIVITÉ NETTE



### MORTALITÉ



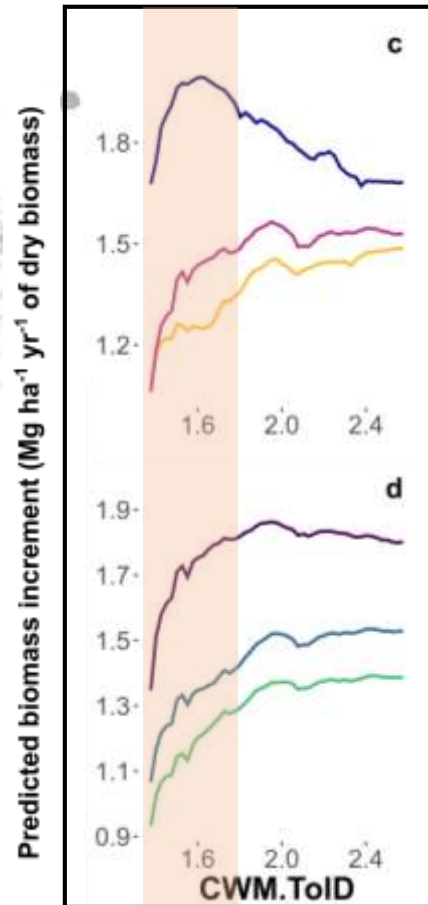
⇒ Mortalité des arbres plus élevée dans un climat plus sec

- Années sèches = stress accru
- Ajustement modèles d'allocation
  - plus efficaces conditions plus humides (mortalité ▼)
  - plus sensibles quand la disponibilité de l'eau est limitée (mortalité ▲)

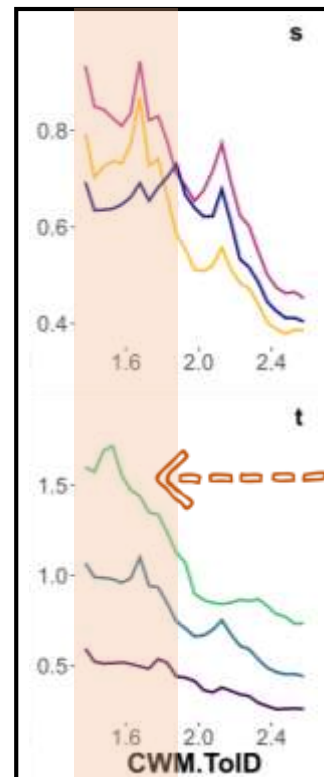


# CWM.ToID - tolérance à la sécheresse

## PRODUCTIVITÉ NETTE

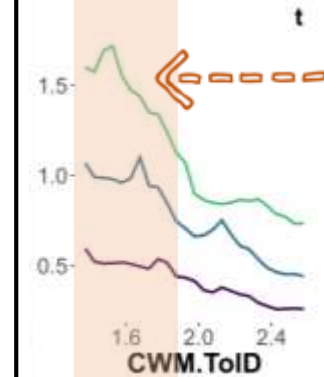
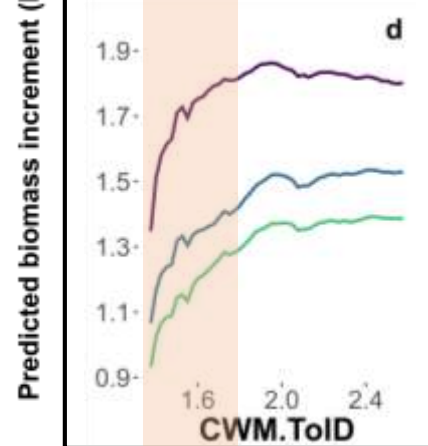


## MORTALITÉ



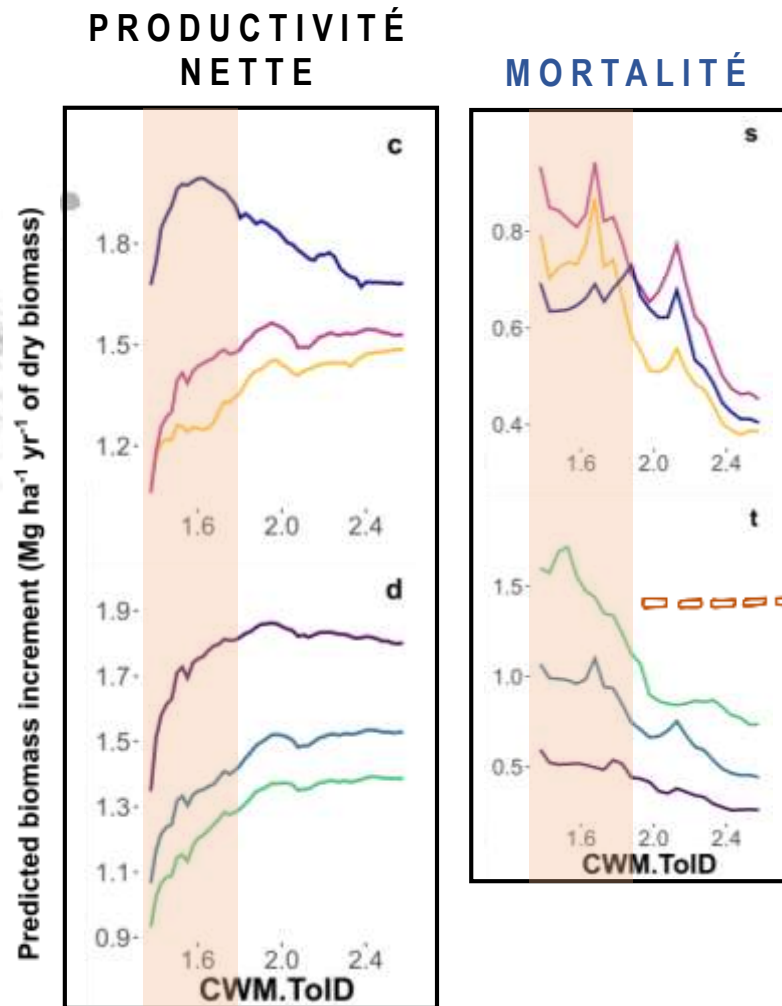
**Communautés ToID-faible**  
- Intolérant à la sécheresse

**Communautés ToID-élevé**  
- Tolérant à la sécheresse



# CWM.ToID - tolérance à la sécheresse

## Interactions avec le climat



➔ Mortalité plus élevée dans un climat plus sec

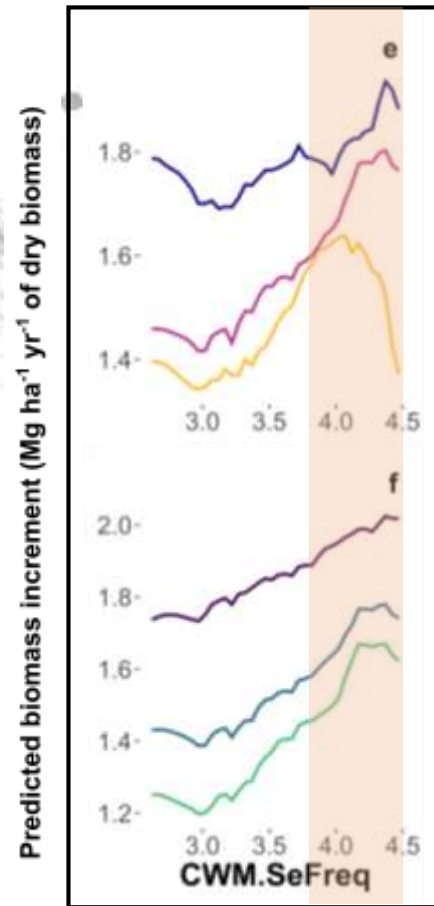
- Compromis gain de carbone/perte d'eau



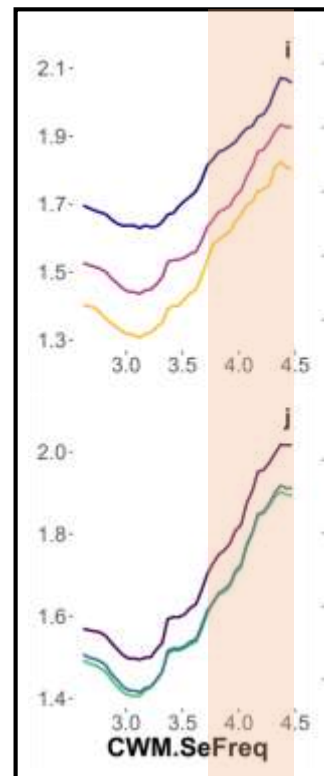
fermeture stomates =  
 ▲ stress métabolique =  
 ▲ **MORTALITÉ DES ARBRES** =  
 ▼ **PRODUCTIVITÉ NETTE**

# CWM.SeFreq - fréquence d'une bonne année semencière

## PRODUCTIVITÉ NETTE



## CROISSANCE



### Communautés fréquence faible

- Courte période entre 2 bonnes années semencières

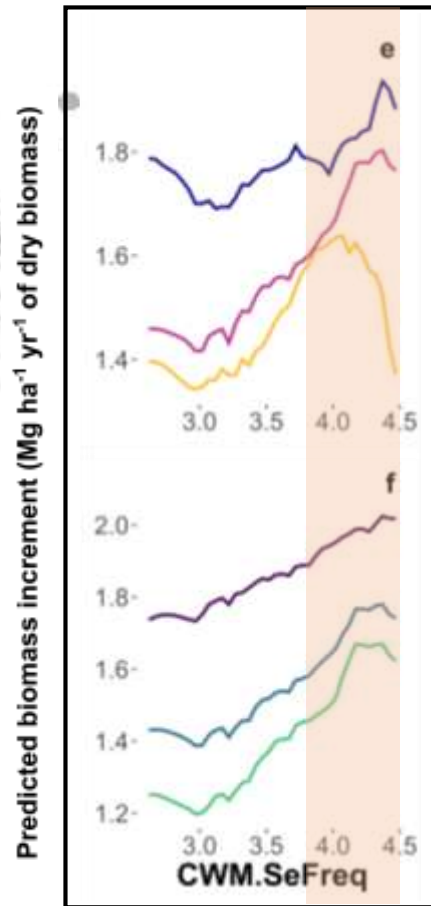
### Communautés fréquence élevée

- Longue période entre 2 bonnes années semencières

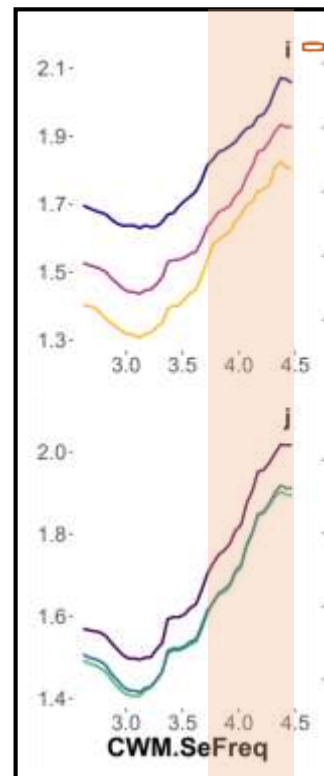
# CWM.SeFreq - fréquence d'une bonne année semencière

## Interactions avec le climat

### PRODUCTIVITÉ NETTE



### CROISSANCE



→ Croissance plus élevée dans un climat favorable

- Facteurs climatiques = principaux déterminants
- Excellent indicateur allocation des ressources



période longue =  
 ▼ coût reproduction =  
 ▲ CROISSANCE DES ARBRES =  
 ▲ PRODUCTIVITÉ NETTE

# Réactions globales positives des communautés aux variations climatiques

**CROISSANCE** liée à la température et disponibilité de l'eau

▲ température = bénéfique?

▲ ▲ ▲ température = STRESS HYDRIQUE



# Réactions globales positives des communautés aux variations climatiques

**CROISSANCE** liée à la température et disponibilité de l'eau

▲ température = bénéfique?

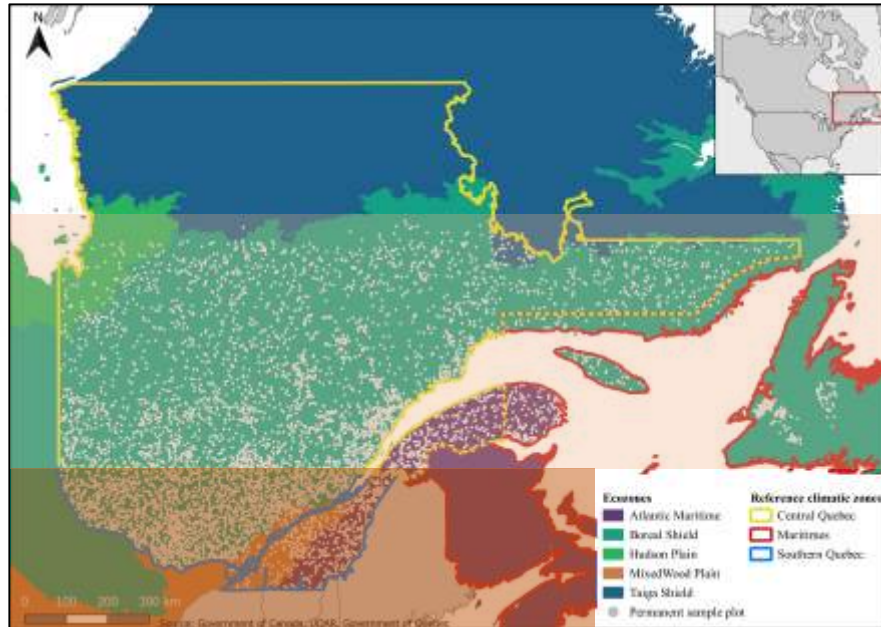
▲ ▲ ▲ température = STRESS HYDRIQUE

Perspective plus large ?

**CROISSANCE**  
**RECRUTEMENT**  
**MORTALITÉ**

**PRODUCTIVITÉ FORESTIÈRE**

# Réactions globales positives des communautés aux variations climatiques



**Variation du climat dans l'est du Canada :**  
Climat plus **chaud**, mais plus **humide** que  
le climat continental

**Sud du Québec :**  
Climat plus **chaud** et **sec**, plus sensible aux  
stress hydriques

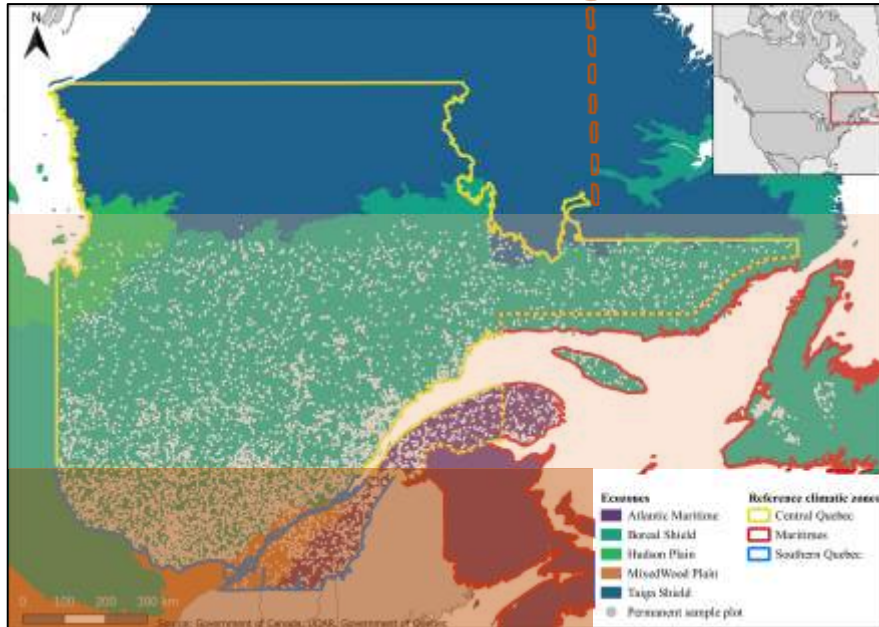
# Réactions globales positives des communautés aux variations climatiques

→ scénarios climatiques

+

résultats

## DIVERSITÉ—PRODUCTIVITÉ—CLIMAT



promotion **DIVERSITÉ**

▲ résilience forêts  
face aux CC?



# Cadre utile pour promouvoir la diversité dans les aménagements

▲ PRODUCTIVITÉ NETTE

▲ température

▲ CWM.SeFreq

▲ CROISSANCE

▲ précipitation

▲ RECRUTEMENT

▲ température

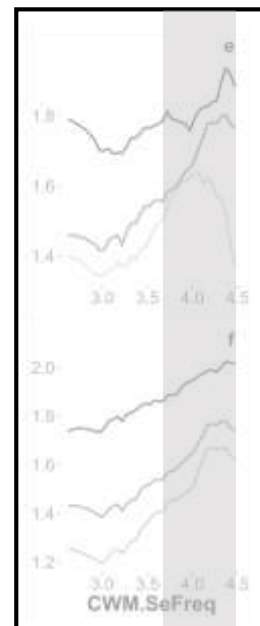
▼ CWM.LMA

▼ MORTALITÉ

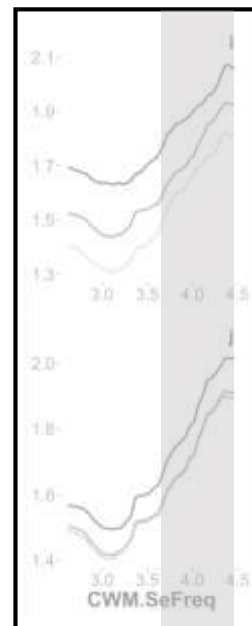
▲ température

▲ CWM.ToID

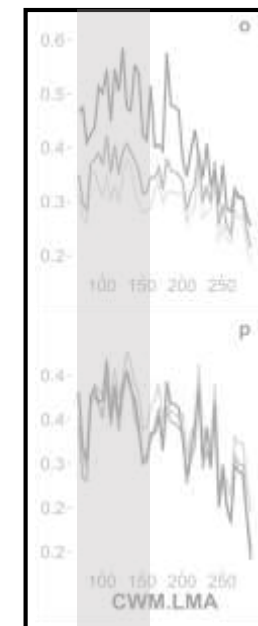
PRODUCTIVITÉ



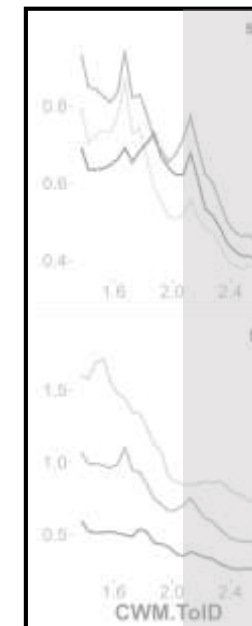
CROISSANCE



RECRUTEMENT



MORTALITÉ



# Cadre utile pour promouvoir la diversité dans les aménagements

▲ **CROISSANCE**

▲ **PRODUCTIVITÉ NETTE**

▲ température

▲ précipitation

▲ **CWM.SeFreq**

▲ RECRUTEMENT

▲ température

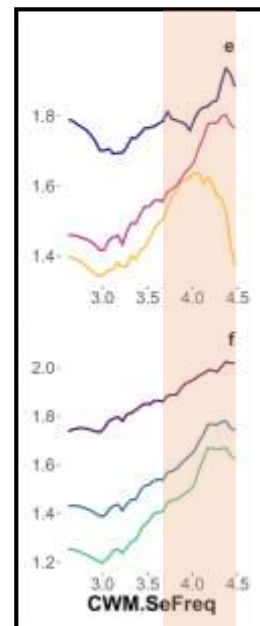
▼ CWM.LMA

▼ MORTALITÉ

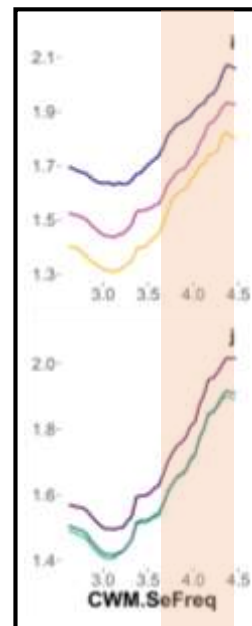
▲ température

▲ CWM.ToID

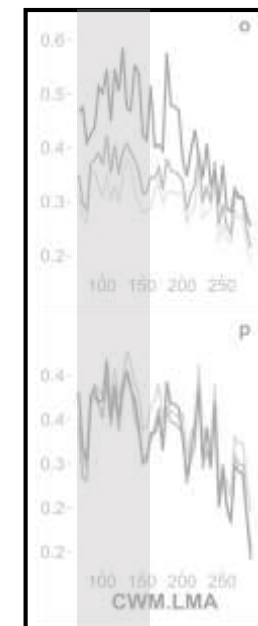
PRODUCTIVITÉ



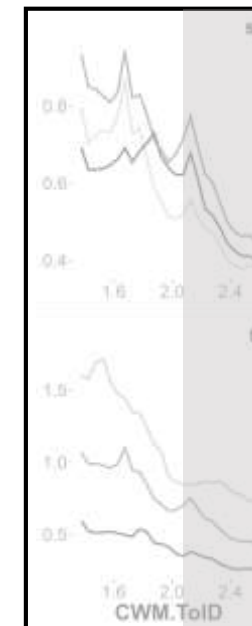
CROISSANCE



RECRUTEMENT



MORTALITÉ



# Cadre utile pour promouvoir la diversité dans les aménagements

▲ PRODUCTIVITÉ NETTE  
▲ CROISSANCE

▲ température  
▲ précipitation

▲ CWM.SeFreq

▲ **RECRUTEMENT**

▲ température

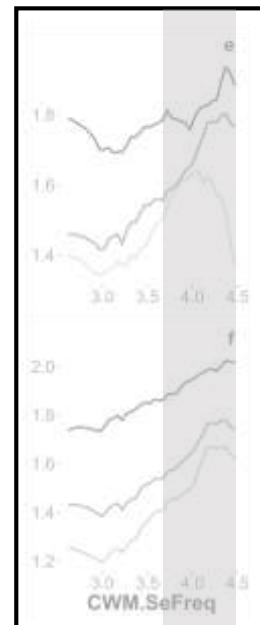
▼ **CWM.LMA**

▼ MORTALITÉ

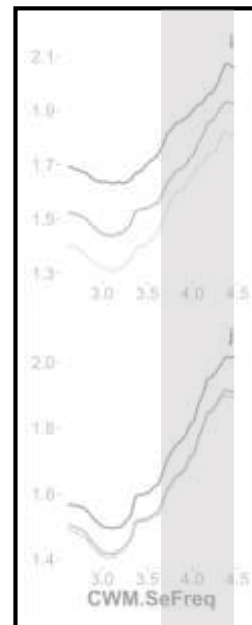
▲ température

▲ CWM.ToID

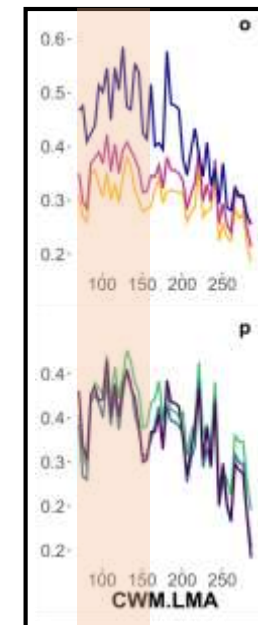
PRODUCTIVITÉ



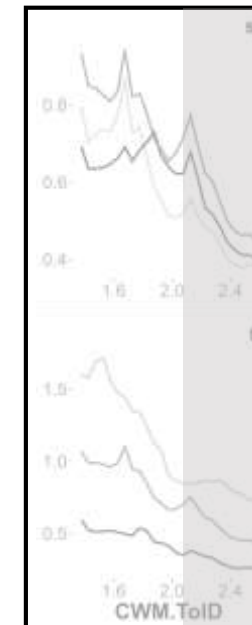
CROISSANCE



**RECRUTEMENT**



MORTALITÉ



# Cadre utile pour promouvoir la diversité dans les aménagements

▲ PRODUCTIVITÉ NETTE

▲ température

▲ CWM.SeFreq

▲ CROISSANCE

▲ précipitation

▲ RECRUTEMENT

▲ température

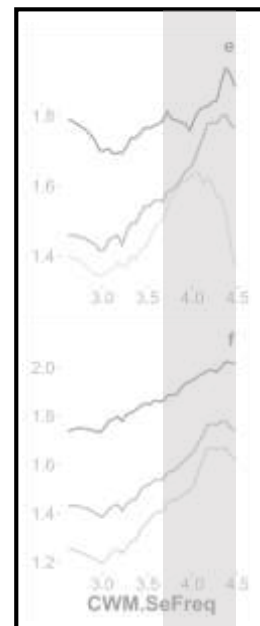
▼ CWM.LMA

▼ MORTALITÉ

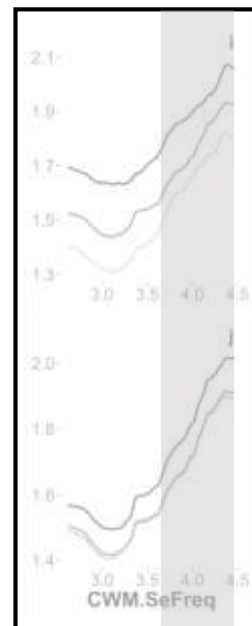
▲ température

▲ CWM.ToID

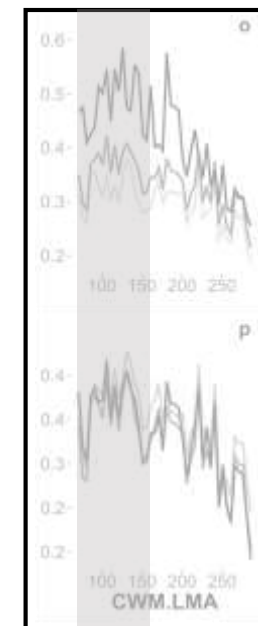
PRODUCTIVITÉ



CROISSANCE



RECRUTEMENT



MORTALITÉ



# Conclusion

Adaptation des écosystèmes  
forestiers aux CC



Aménagements forestiers!

# Conclusion

Adaptation des écosystèmes  
forestiers aux CC

**DIVERSITÉ-PRODUCTIVITÉ-CLIMAT**

Aménagements forestiers!

# Conclusion

Adaptation des écosystèmes  
forestiers aux CC

**DIVERSITÉ-PRODUCTIVITÉ-CLIMAT**

Aménagements forestiers!

cadre pour évaluer dans  
quelles circonstances  
**CLIMATIQUES** la **DIVERSITÉ**  
a une influence positive sur

**PRODUCTIVITÉ**

# Conclusion

Adaptation des écosystèmes  
forestiers aux CC

**DIVERSITÉ-PRODUCTIVITÉ-CLIMAT**

Aménagements forestiers!

cadre pour évaluer dans  
quelles circonstances  
**CLIMATIQUES** la **DIVERSITÉ**  
a une influence positive sur

**PRODUCTIVITÉ**

**CROISSANCE**  
**RECRUTEMENT**

**MORTALITÉ**



# Conclusion

Adaptation des écosystèmes  
forestiers aux CC

**DIVERSITÉ-PRODUCTIVITÉ-CLIMAT**

Aménagements forestiers!

interactions **CLIMAT-DIVERSITÉ**

cadre pour évaluer dans  
quelles circonstances  
**CLIMATIQUES** la **DIVERSITÉ**  
a une influence positive sur

**PRODUCTIVITÉ**

**CROISSANCE**

**RECRUTEMENT**

**MORTALITÉ**

# Conclusion

Adaptation des écosystèmes  
forestiers aux CC

**DIVERSITÉ-PRODUCTIVITÉ-CLIMAT**

cadre pour évaluer dans  
quelles circonstances  
**CLIMATIQUES** la **DIVERSITÉ**  
a une influence positive sur

Aménagements forestiers!

**PRODUCTIVITÉ**

pistes pour...

**CROISSANCE**

**RECRUTEMENT**

interactions **CLIMAT-DIVERSITÉ**

**MORTALITÉ**

# REMERCIEMENTS

Forêts, Faune  
et Parcs  
Québec

Newfoundland  
Labrador

cef

compute calcul  
canada canada  
Centre d'étude de la forêt

Calcul Québec

Hydro  
Québec

NSERC  
CRSNG

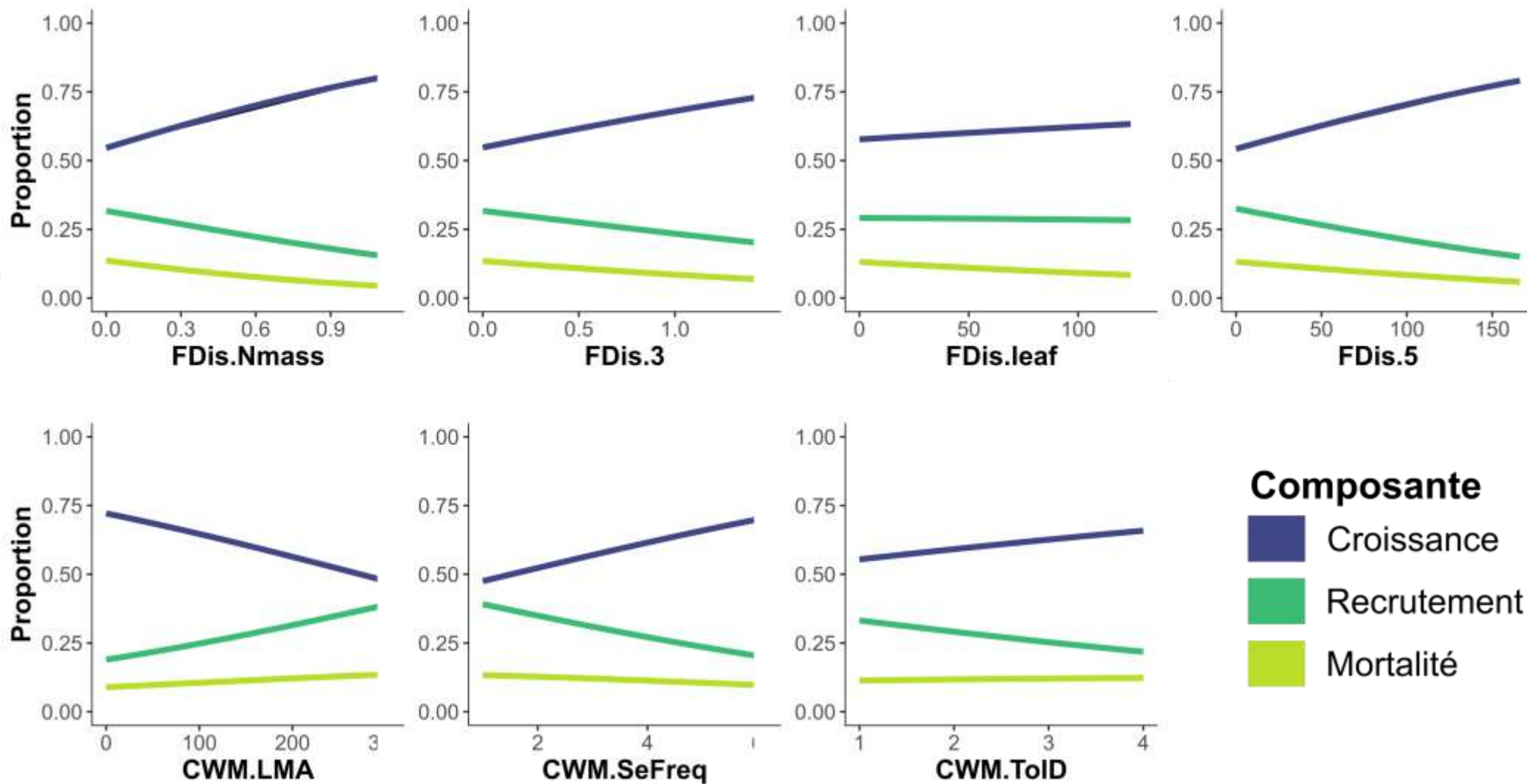
Syndicat des producteurs  
forestiers du Bas-Saint-Laurent

- ✦ Ministère des Forêts de la Faune et des Parcs du Gouvernement du Québec
- ✦ Newfoundland and Labrador Department of Fisheries, Farming and Natural Resources
- ✦ Mélanie Desrochers du CEF
- ✦ Laura Boisvert-Marsh et l'équipe TOPIC (Traits of Plants in Canada)
- ✦ Pierre-André Lalanne
- ✦ Calcul Québec ([www.calculquebec.ca](http://www.calculquebec.ca)) and Compute Canada ([www.computecanada.ca](http://www.computecanada.ca))
- ✦ Emmanuel Duchateau, Nicolás Cattaneo, Richard Fournier, Olivier R. van Lier et Alain Caron
- ✦ Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
- ✦ Hydro-Québec
- ✦ Le Syndicat des Producteurs Forestiers du Bas-Saint-Laurent

# QUESTIONS?



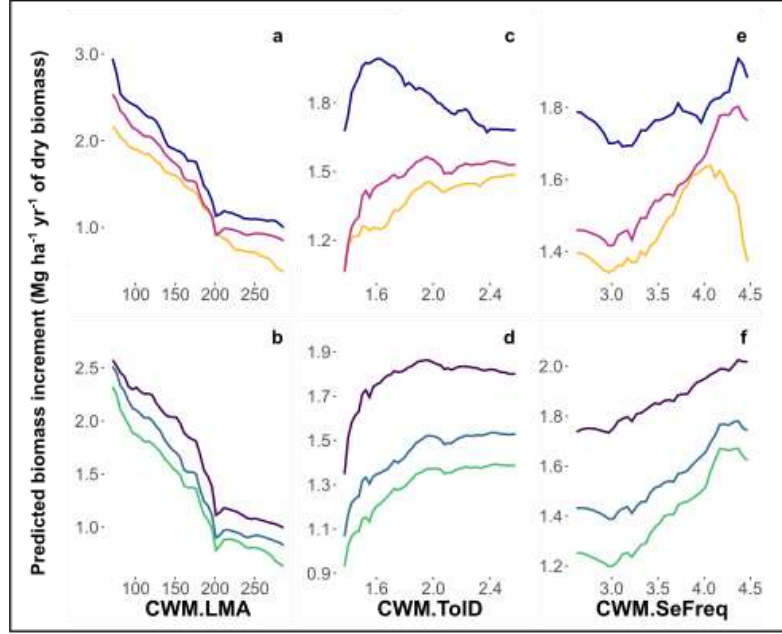
**Régression Dirichlet**: modéliser des données de composition lorsque la variable Y-dépendante consiste essentiellement en des contributions de plusieurs composants.





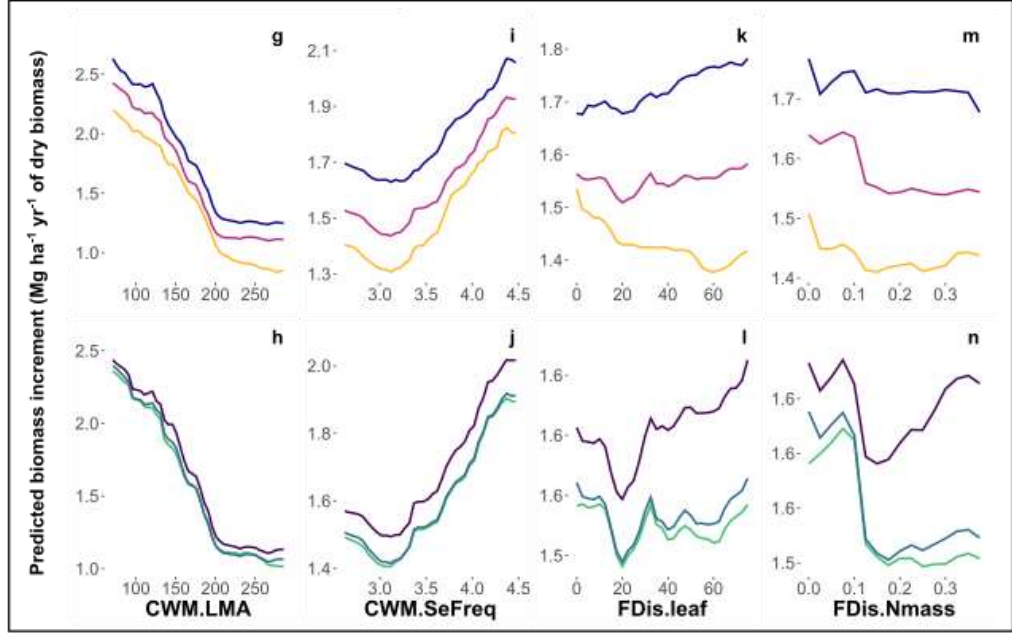
### Net Forest Productivity

% var explained = 52.99



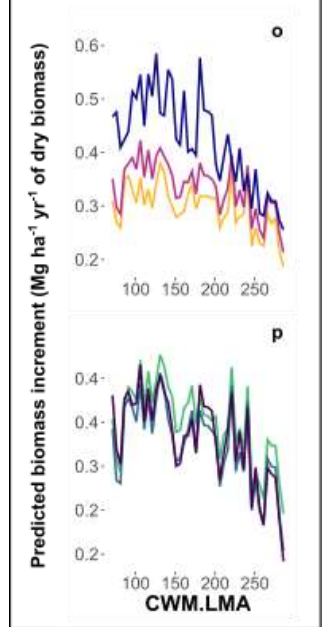
### Survivor Growth

% var explained = 78.14



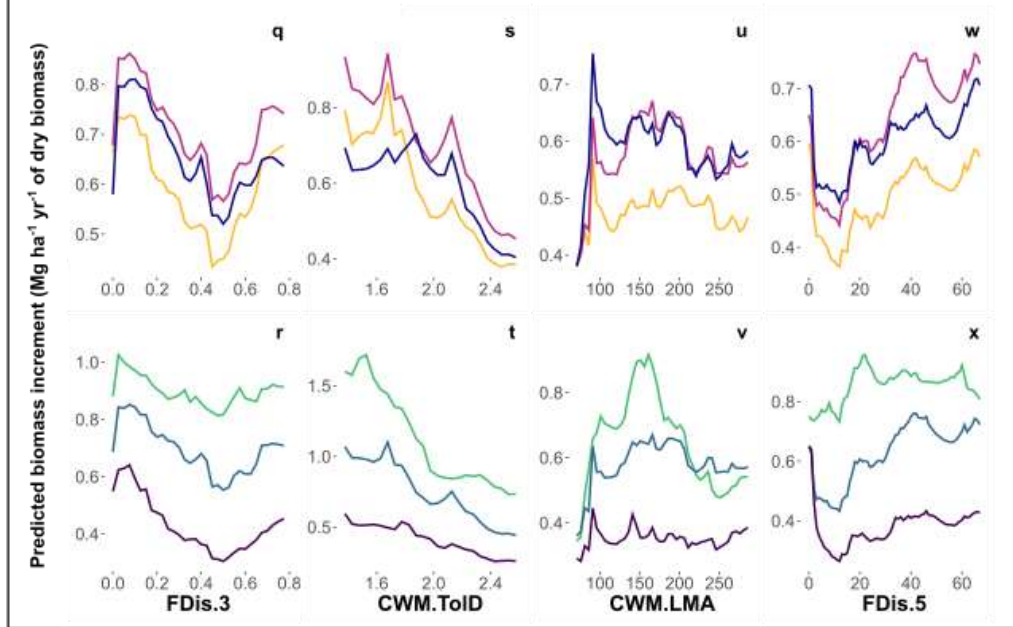
### Recruitment

% var explained = 55.20



### Mortality

% var explained = 12.81



**Mean or maximum annual temperature**

- 25th percentile (Yellow line)
- 50th percentile (Pink line)
- 75th percentile (Blue line)

**Minimum total annual precipitation**

- 25th percentile (Light Green line)
- 50th percentile (Dark Green line)
- 75th percentile (Purple line)