



# Impacts du changement climatique sur la phénologie des essences forestières et les risques de gel précoce

X. Morin, I. Chuine, T. Améglio, M. Poirier

# Impact du changement climatique sur les arbres

## Croissance

## Phénologie

avant 2000

↗ croissance

avancée

Keeling *et al.* 1996 Myneni *et al.* 1997  
Cannell *et al.* 1998 Hughes 2000

Menzel & Fabian 1999 Abu-Asab *et al.* 2001  
Walther *et al.* 2001 Parmesan & Yohe 2003

- 2.3 jrs / décennie



2000 - 2100...

# Changement de phénologie

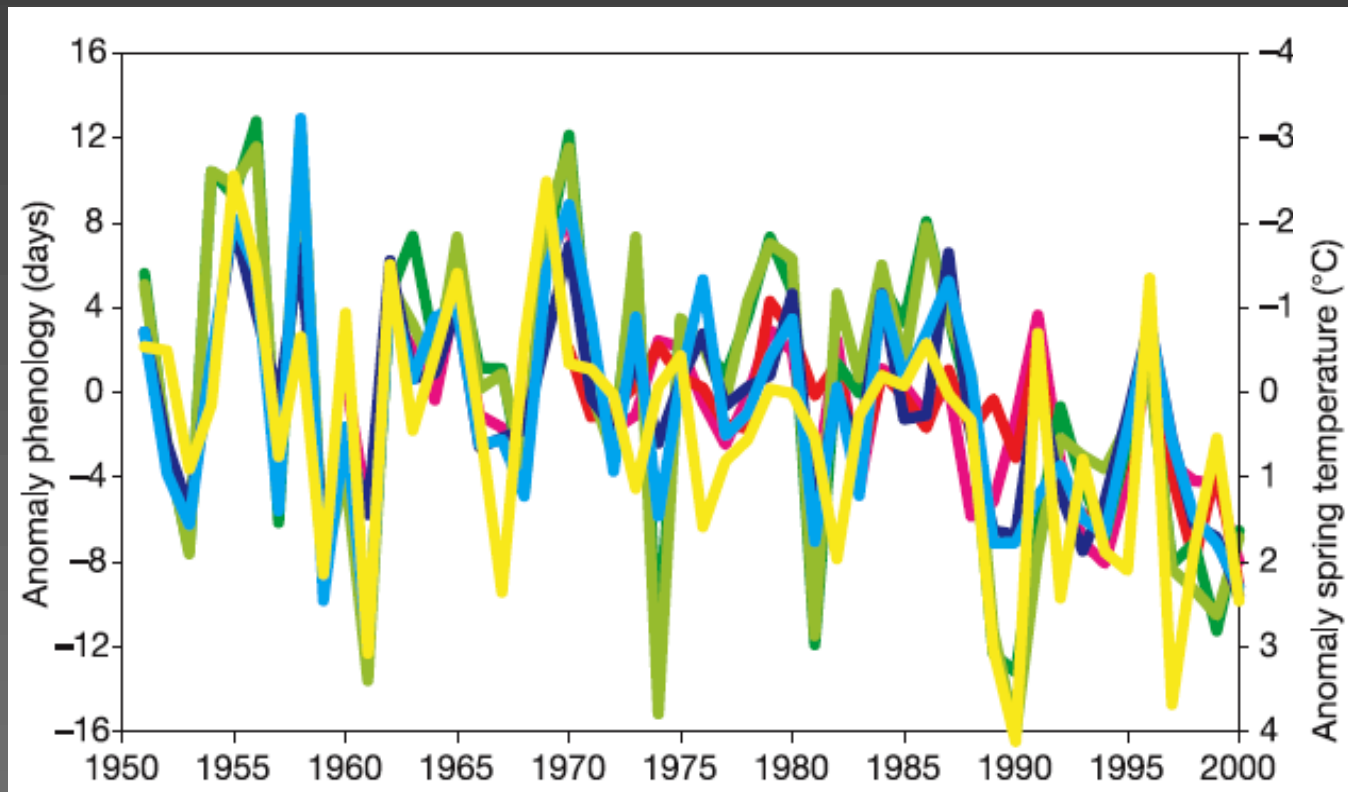
Date de débourrement des principales essences forestières  
au cours des dernières décennies

espèce	région	période	changement (j/décennie)	(Référence)
<i>Quercus robur</i>	U. K.	1950-1996	-4.3 à -5.8	(Cannell <i>et al.</i> 1999)
<i>Quercus robur</i>	Allemagne	1951-1996	-3.1	(Menzel <i>et al.</i> 2001)
<i>Quercus robur</i>	Estonia	1948-1996	-1.7	(Ahas <i>et al.</i> 2000)
<i>Betula pendula</i>	Allemagne	1951-1996	-3.7	(Menzel <i>et al.</i> 2001)
<i>Betula pendula</i>	Estonie	1948-1996	-2.9	(Ahas <i>et al.</i> 2000)
<i>Betula pendula</i>	Europe Nord	1951-1998	-2.7	(Ahas <i>et al.</i> 2002)
<i>Fagus sylvatica</i>	Allemagne	1951-1996	-2.3	(Menzel <i>et al.</i> 2001)
<i>Picea abies</i>	Allemagne	1951-1996	-3.1	(Menzel <i>et al.</i> 2001)
<i>Populus tremuloides</i>	Canada	1900-1997	-2.6	(Beaubien & Freeland 2000)

—▶ avancement moyen de 2.9 jrs/décennie de la date débourrement

# Changement de phénologie

## Nord de l'Europe

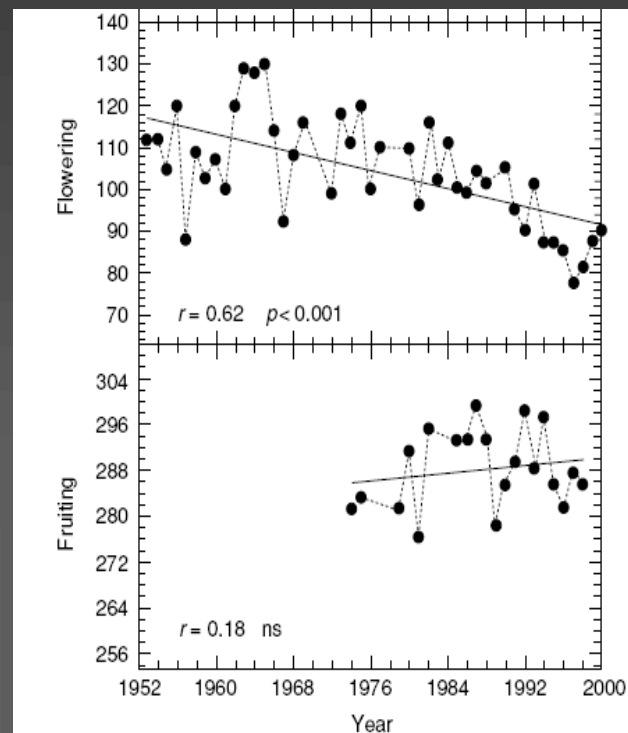
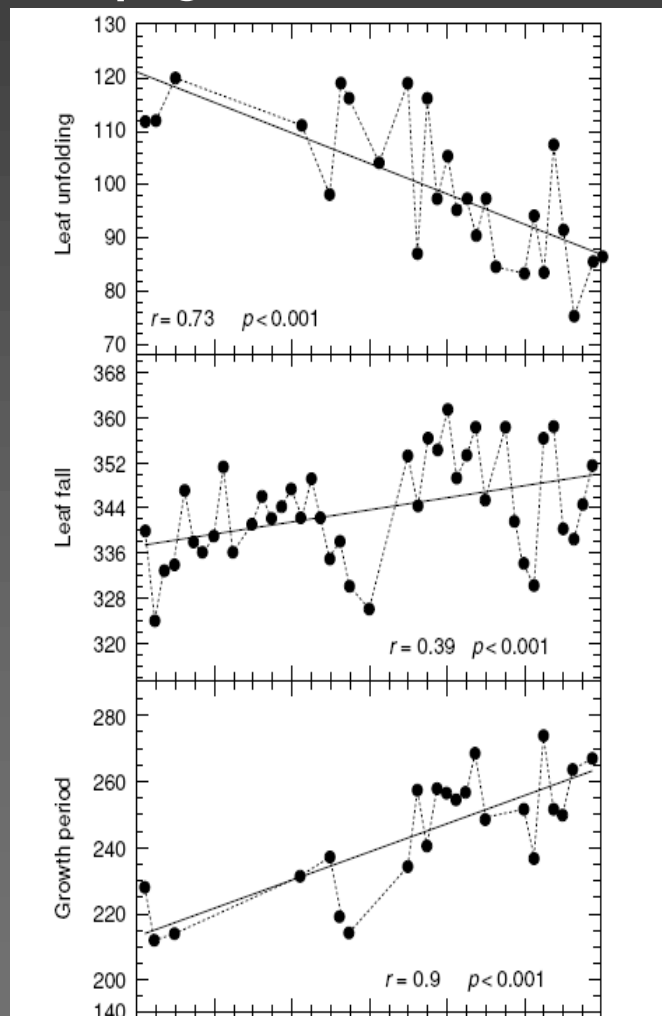


(Walther et al. 2002)

- température (mars-avril)
- débourrement bouleau (*B. pendula*)
- débourrement marronnier (*A. hippocastanum*)

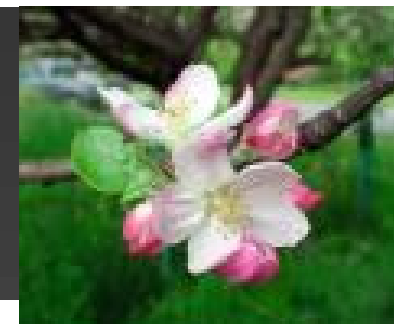
# Changement de phénologie

## Espagne



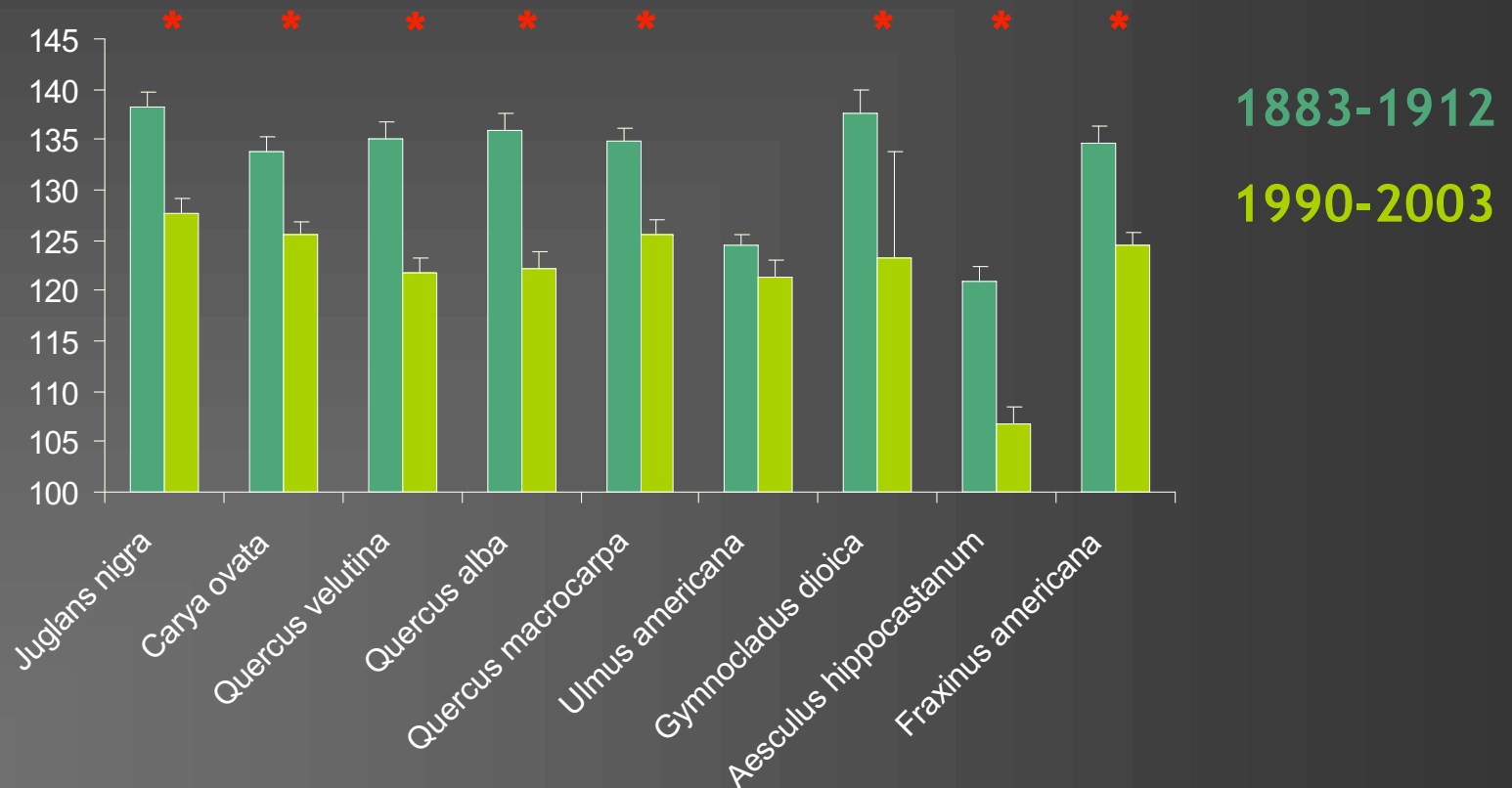
*Penuelas et al. GCB 2002*

Phénologie du pommier



# Changement de phénologie

## Date de débourrement arbres nord américains



- 1.08 jours / décennie

# Impact du changement climatique sur les arbres

## Croissance

## Phénologie

avant 2000

↗ croissance

avancée

Keeling *et al.* 1996 Myneni *et al.* 1997  
Cannell *et al.* 1998 Hughes 2000

Menzel & Fabian 1999 Abu-Asab *et al.* 2001  
Walther *et al.* 2001 Parmesan & Yohe 2003

- 2.3 jrs / décennie



2000 - 2100... ↗ croissance ??

Körner *et al.* 2005

avancée ??

Morin *et al.* 2005 in prep

Risque de gel ??

# Impact du changement climatique sur les arbres

## Risque de gel ??

### - Evolution saisonnière de la résistance

(Leinonen 1996)

### - Facteurs (Repo 1992)

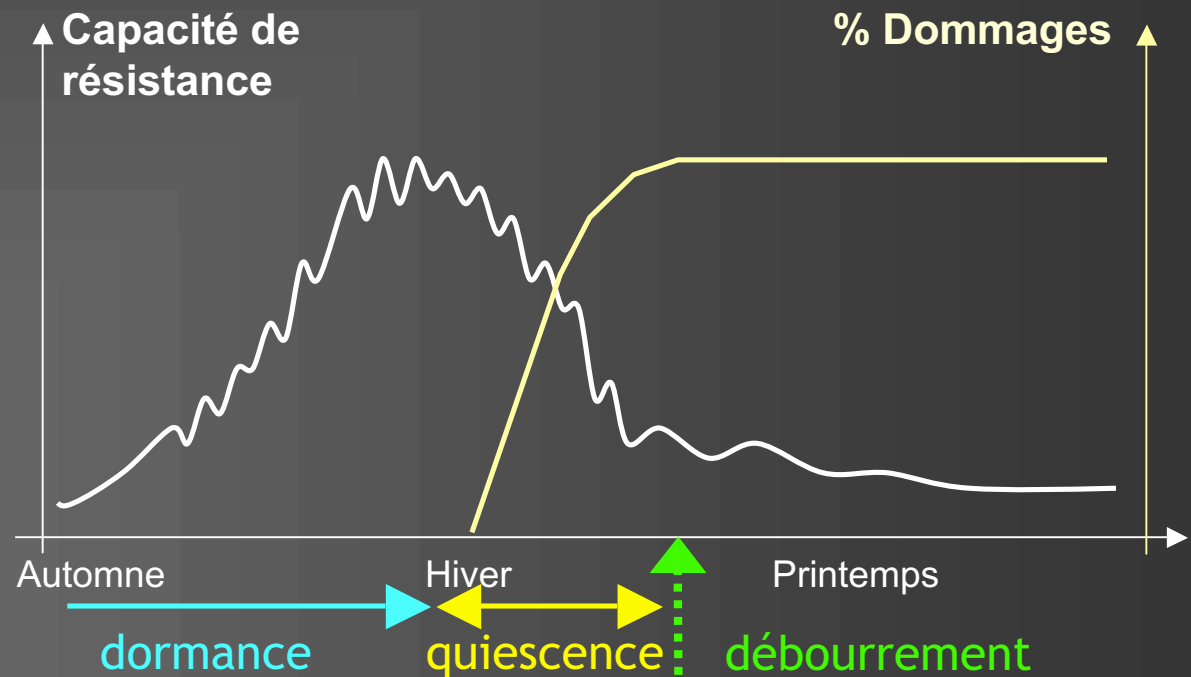
Température

Photopériode

État hydrique

Nutriments

Stade de développement

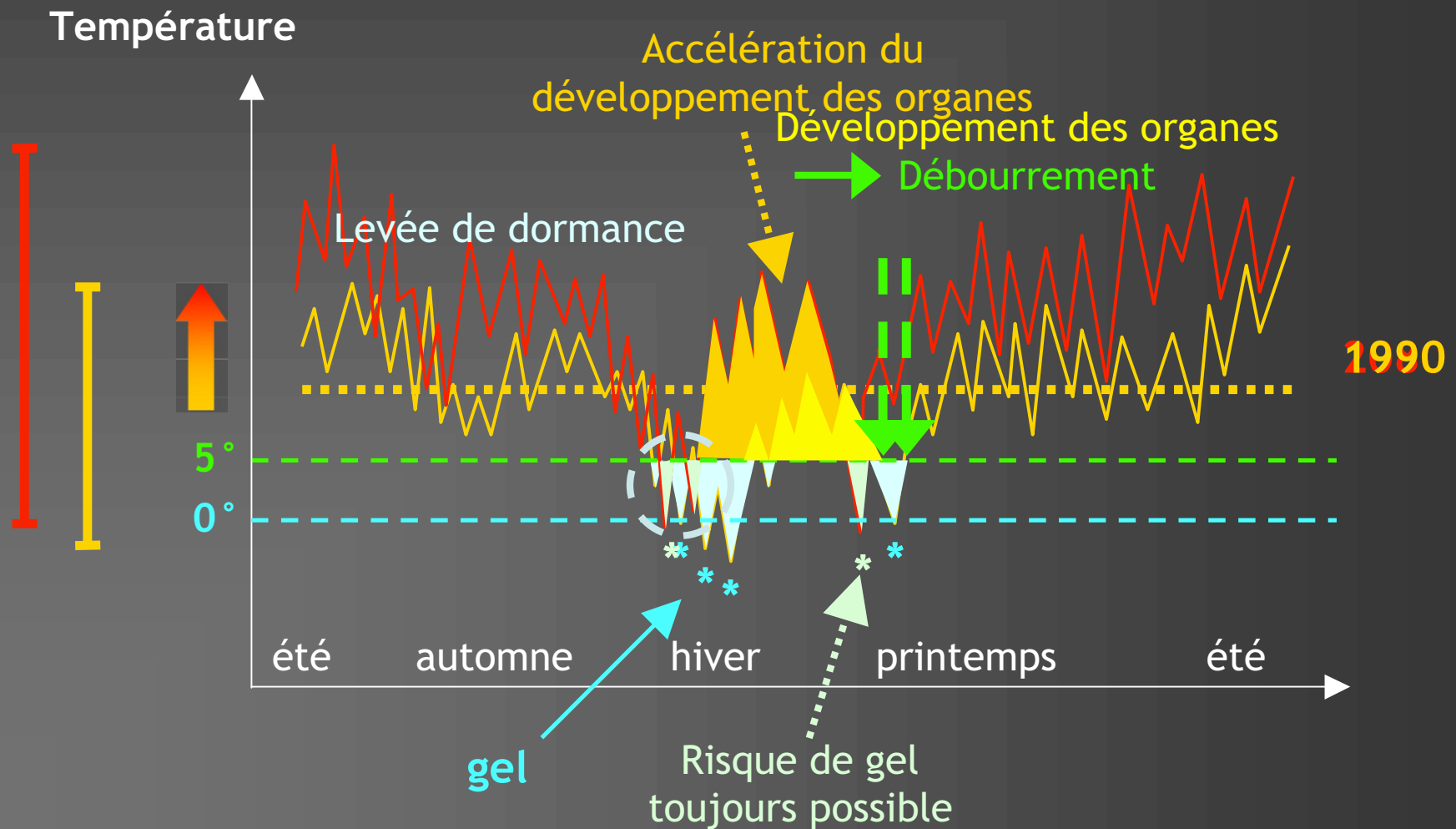


Déterminisme environnemental de l'endurcissement



# Impact du changement climatique sur les arbres

## Risque de gel ??



# Impact du changement climatique sur les arbres

Accélération du développement des organes



Dommages de gel sur les bourgeons et les feuilles

« *frost damage hypothesis* »

Hänninen 1991  
Kramer 1994

Modélisation couplée  
phénologie - endurcissement

Risque de gel  
toujours possible

# Modélisation couplée phénologie - endurcissement

- 1 Ajuster des modèles phénologiques  
à entrée climatique
- 2 Couplage avec un modèle  
simulant les dommages du gel
- 3 Comparer les simulations  
entre le 20<sup>ème</sup> et le 21<sup>ème</sup> siècle

22 espèces nord américaines

1 à 4 populations / espèce

# 1 Ajuster des modèles phénologiques à entrée climatique

Déterminisme environnemental de la  
phénologie

Température



Etat de  
développement



Date de  
débourrement

*pas de temps journalier*

selon méthode Chuine (2000)

Espèces tempérées nord américaines

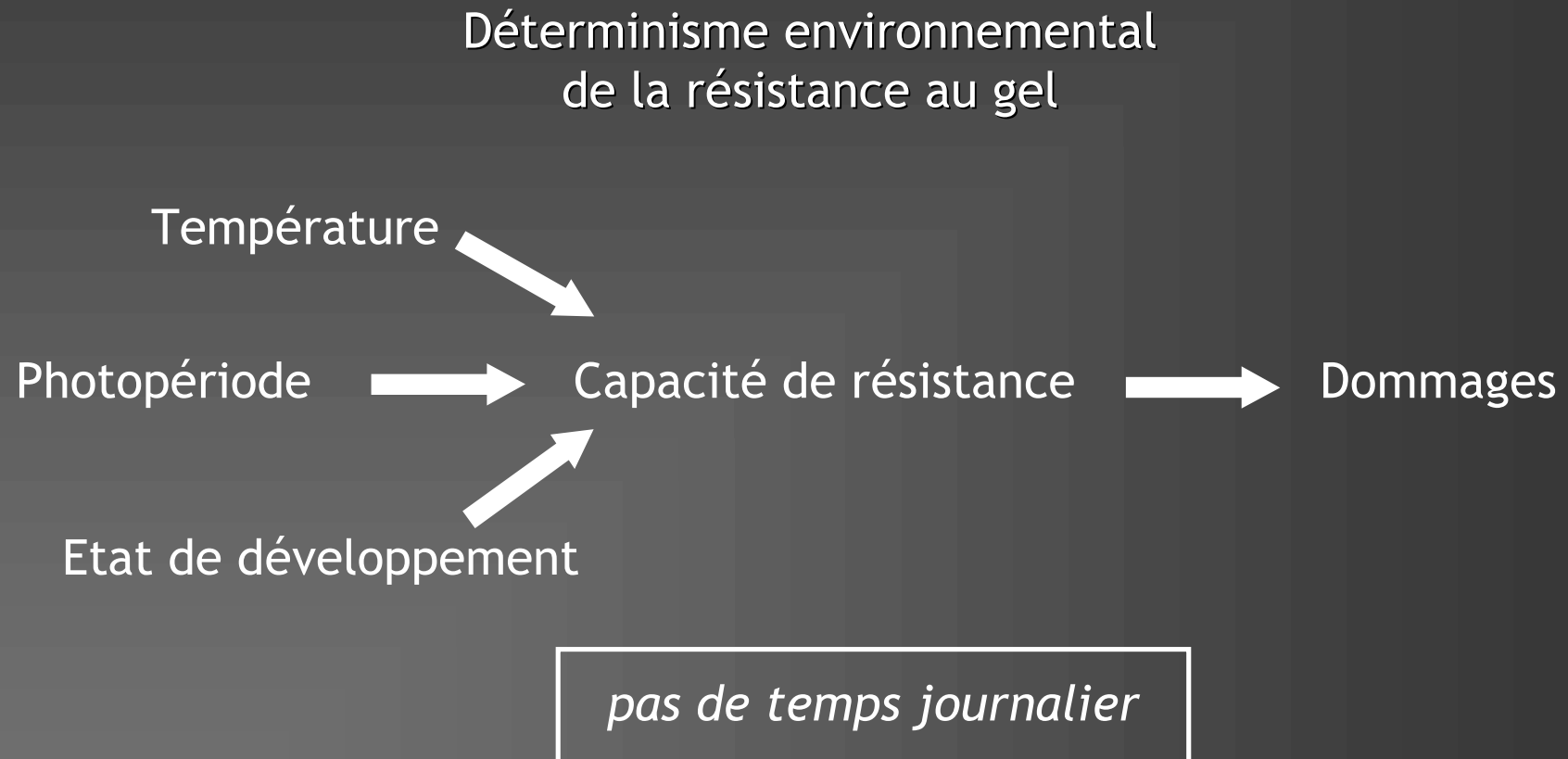
# 1 Ajuster des modèles phénologiques à entrée climatique

	pop	obs	R_		pop	obs	R_
<i>Acer saccharinum</i>	1	26	0.774	<i>Ostrya virginiana</i>	1	18	0.620
<i>Acer rubrum</i>	1	13	0.891	<i>Platanus occidentalis</i>	1	19	0.624
<i>Aesculus glabra</i>	1	11	0.922	<i>Quercus alba</i>	1	13	0.793
<i>Carya glabra</i>	1	19	0.938	<i>Quercus bicolor</i>	1	17	0.929
<i>Carya ovata</i>	2	21	0.932	<i>Quercus macrocarpa</i>	1	19	0.878
		11	0.865	<i>Quercus rubra</i>	1	13	0.776
<i>Fraxinus nigra</i>	1	16	0.937	<i>Quercus velutina</i>	1	19	0.875
<i>Fraxinus americana</i>	3	19	0.887	<i>Salix nigra</i>	1	21	0.592
		13	0.868	<i>Sassafras albidum</i>	1	21	0.846
		11	0.870	<i>Ulmus americana</i>	2	26	0.716
<i>Juglans nigra</i>	2	19	0.808			11	0.918
		11	0.940				

+  
*Acer saccharum*  
*Populus tremuloides*  
*Pinus contorta*  
*Pinus monticola*

22 espèces  
 14 genres

## 2 Couplage avec un modèle simulant les dommages du gel



Modèle de Leinonen *et al.* (1996)

### 3 Comparer les simulations entre le 20ème et le 21ème siècle

20<sup>ème</sup> siècle

CRU TS 2.0

21<sup>ème</sup> siècle

HadCM3

A2 B2

(IPCC 2001)

Température

Photopériode

Date  
débourrement

Indice de gel

Date moy 1901-2000

Date moy 2000-2099

gel 1901-2000

gel 2000-2099

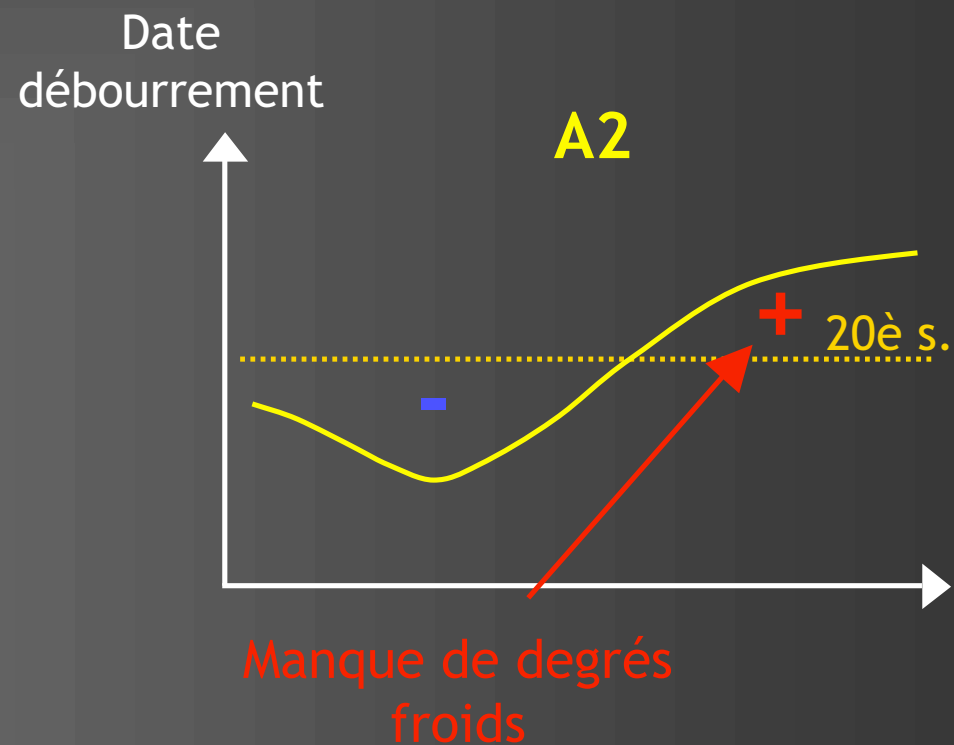
→ Evolution

### 3 Comparer les simulations entre le 20ème et le 21ème siècle

#### Date de débourrement

moyennes	A2	-0.65 jours	+/- 3.29
	B2	-4.75 jours	+/- 3.45

	-	+
A2	18	4
B2	18	4





### 3 Comparer les simulations entre le 20ème et le 21ème siècle

#### Date de débourrement

*Acer saccharum*

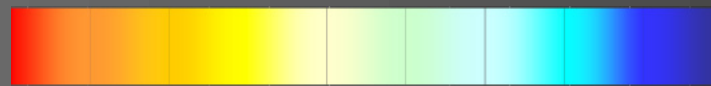
*Pinus contorta*

Variabilité  
spatiale

Date avancée

Pas de  
changement

Date retardée



### 3 Comparer les simulations entre le 20ème et le 21ème siècle

#### Date de débourrement

Nombre d'années sans  
débourrement

A2

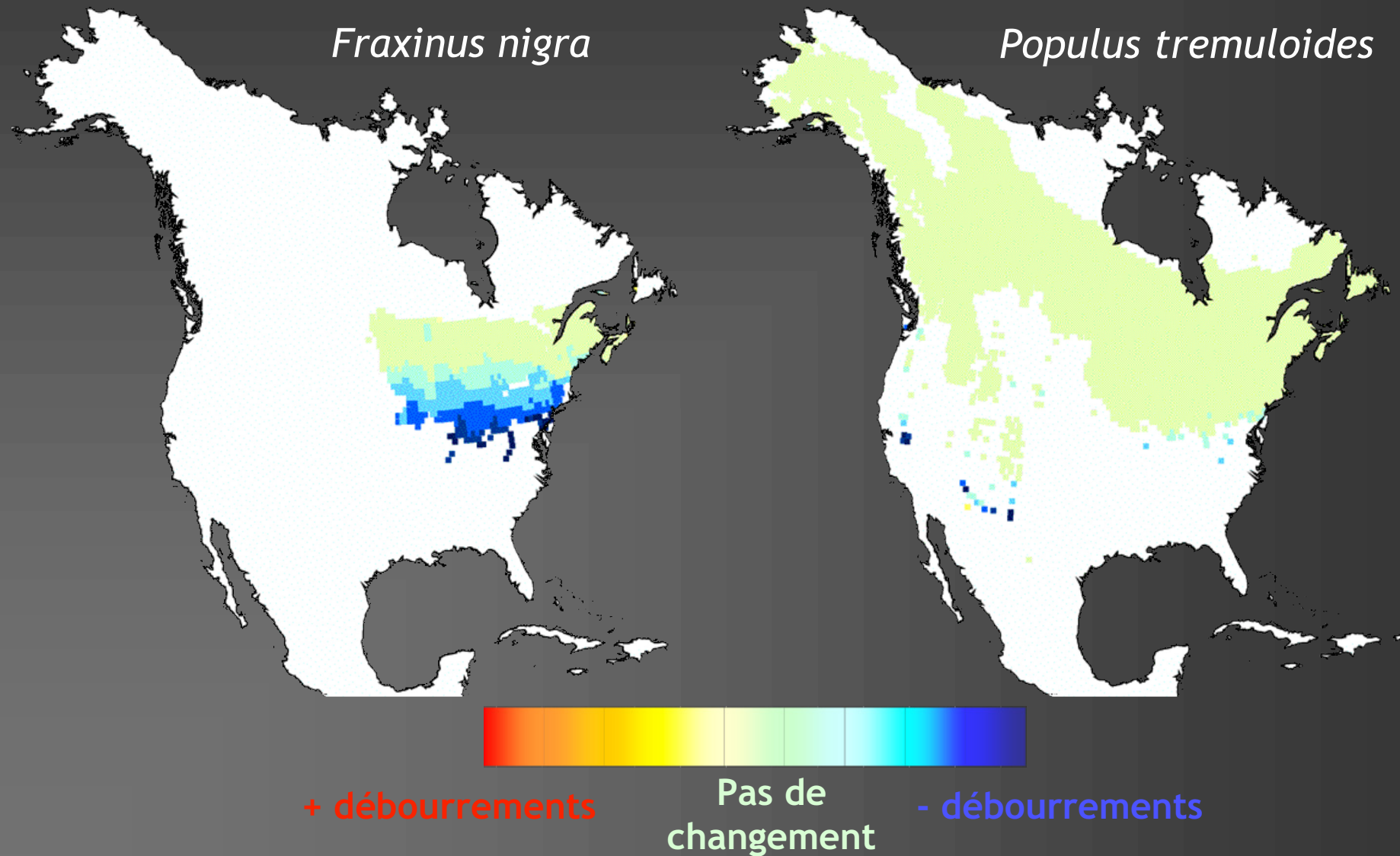
+5.09 +/- 1.34

B2

+4.20 +/- 0.96

### 3 Comparer les simulations entre le 20ème et le 21ème siècle

#### Années sans débourrement



### 3 Comparer les simulations entre le 20ème et le 21ème siècle

#### Risque de gel

moyennes	A2	-29.67	+/- 6.81
	B2	-24.63	+/- 5.93

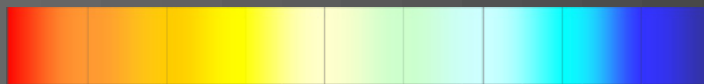
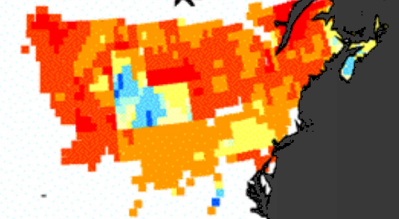
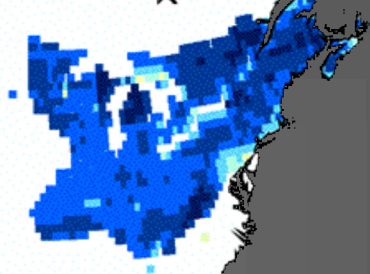
	+	-
A2	3	19
B2	3	19

### 3 Comparer les simulations entre le 20ème et le 21ème siècle

#### Risque de gel

*Acer saccharum*

*Fraxinus nigra*



+ risque

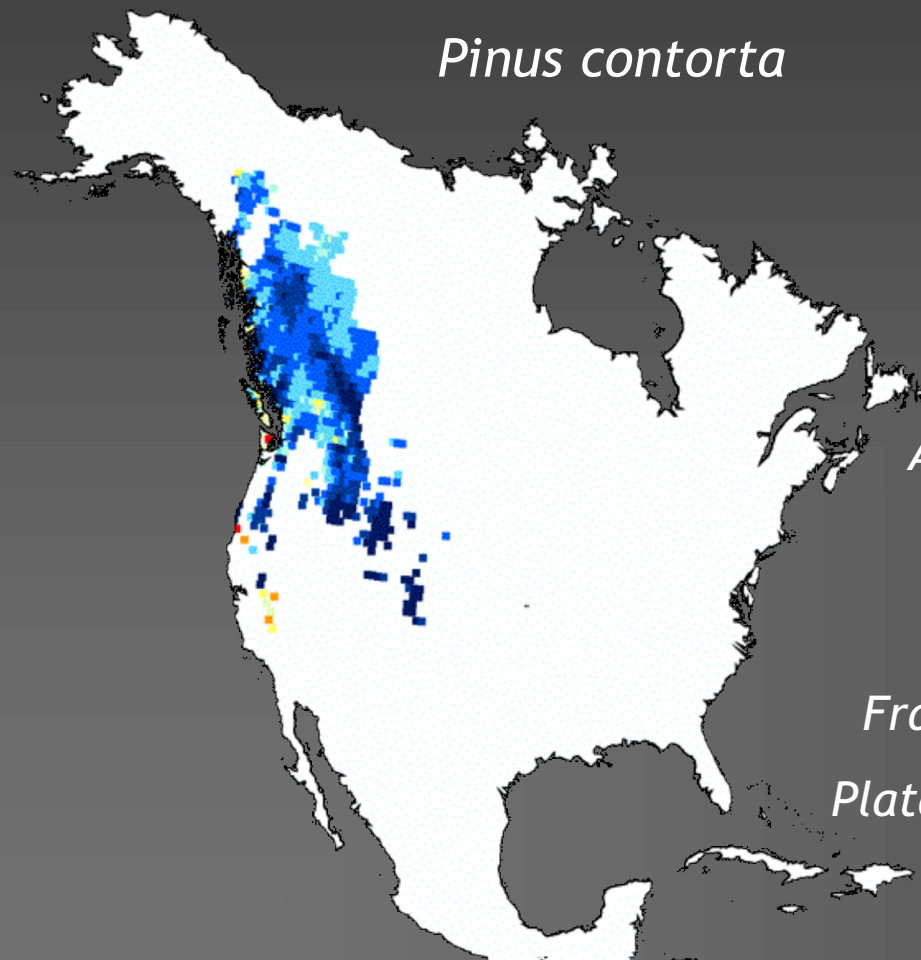
Pas de  
changement

- risque



### 3 Comparer les simulations entre le 20ème et le 21ème siècle

#### Risque de gel



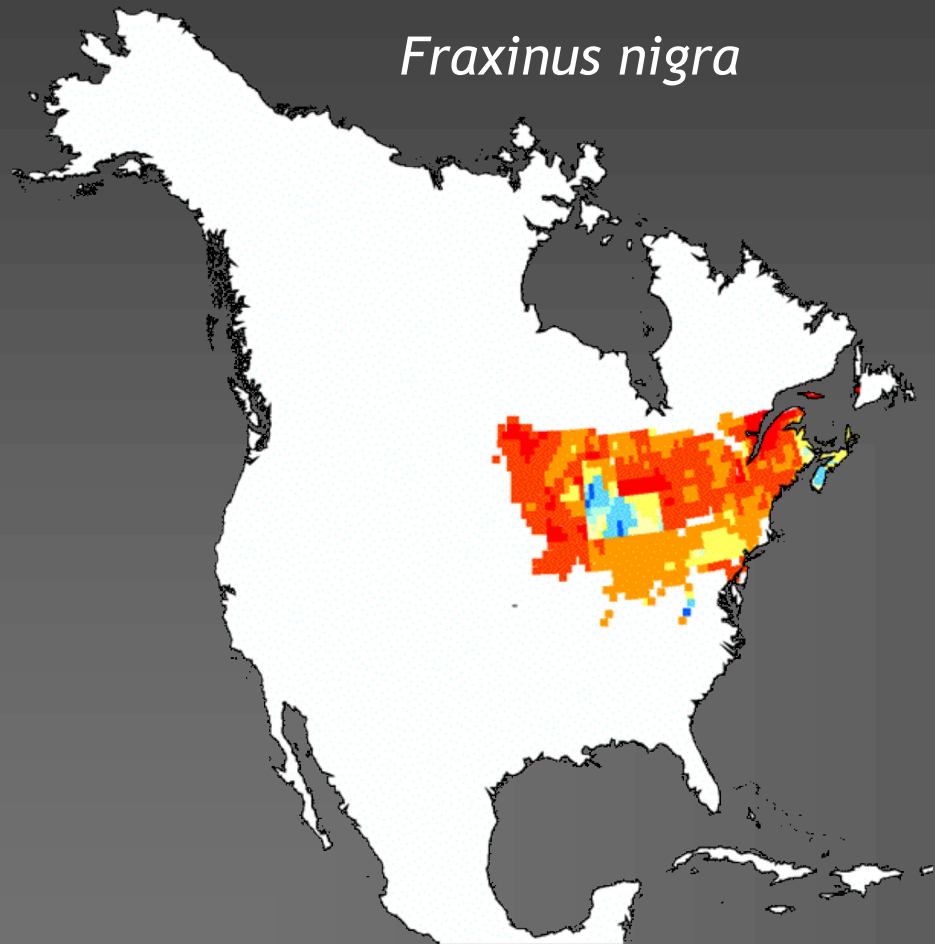
Baisse du risque  
sur l'ensemble de l'aire

*Acer rubrum*  
*Acer saccharinum*  
*Acer saccharum*  
*Aesculus glabra*  
*Fraxinus Americana*  
*Platanus occidentalis*  
*Quercus velutina*

*Juglans nigra*  
*Populus tremuloides*  
*Quercus macrocarpa*  
*Quercus bicolor*  
*Pinus contorta*  
*Pinus monticola*  
*Salix nigra*  
*Sassafras albidum*

### 3 Comparer les simulations entre le 20ème et le 21ème siècle

#### Risque de gel



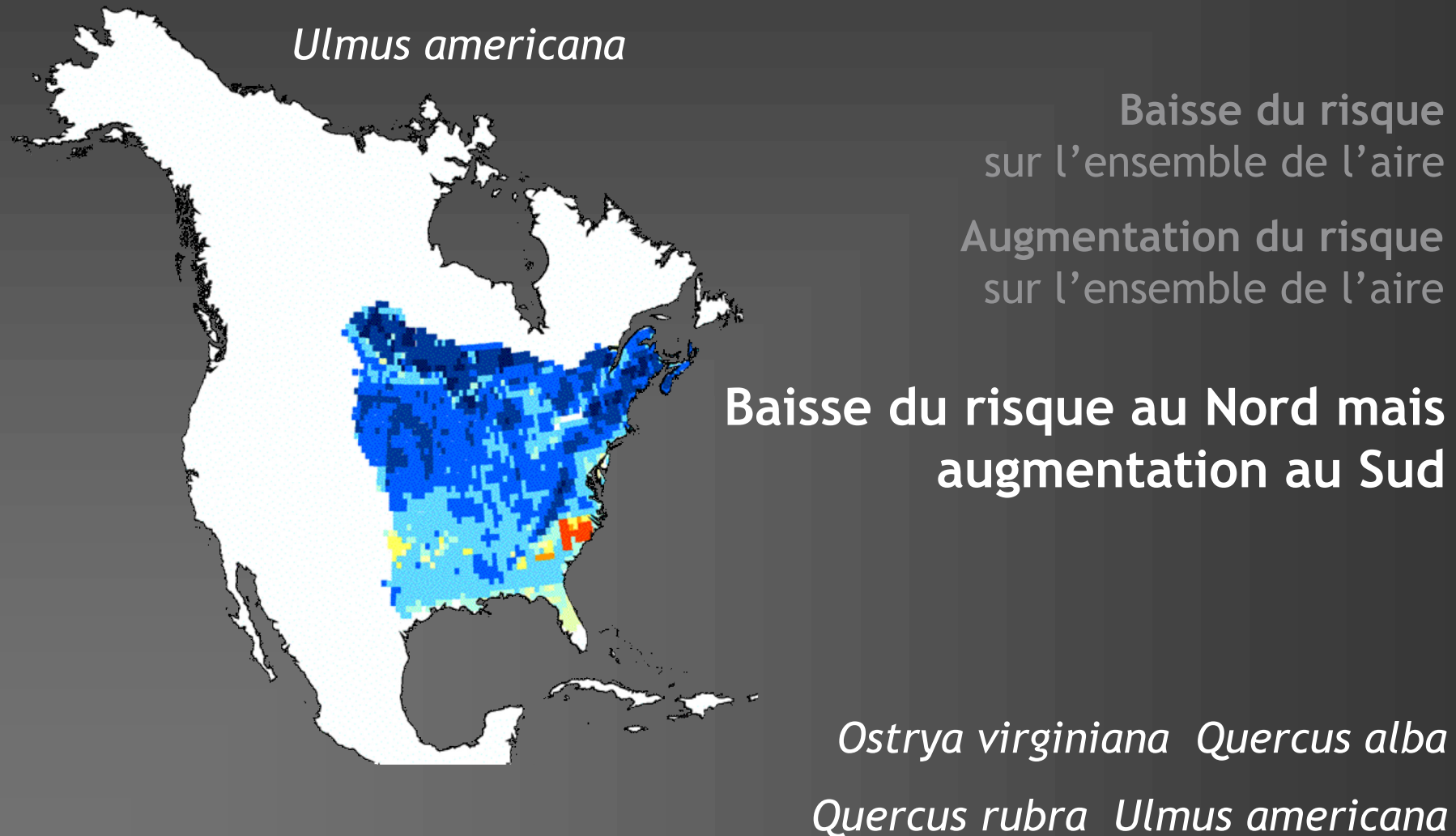
Baisse du risque  
sur l'ensemble de l'aire

**Augmentation du risque**  
sur l'ensemble de l'aire

*Carya glabra*  
*Carya ovata*  
*Fraxinus nigra*

### 3 Comparer les simulations entre le 20ème et le 21ème siècle

#### Risque de gel





### 3 Comparer les simulations entre le 20ème et le 21ème siècle

## Risque de gel

3 groupes  
de réponse

### Baisse du risque sur l'ensemble de l'aire

*Acer rubrum* *Acer saccharinum* *Acer saccharum*  
*Aesculus glabra* *Fraxinus Americana* *Juglans nigra*  
*Populus tremuloides* *Quercus macrocarpa* *Quercus bicolor*  
*Pinus contorta* *Pinus monticola* *Platanus occidentalis* *Quercus*  
*velutina* *Salix nigra* *Sassafras albidum*

### Augmentation du risque sur l'ensemble de l'aire

*Carya glabra* *Carya ovata* *Fraxinus nigra*

### Baisse du risque au Nord mais augmentation au Sud

*Ostrya virginiana* *Quercus alba*  
*Quercus rubra* *Ulmus americana*

# Conclusion

## en moyenne

- Avancée de la date de débourrement
- Baisse du risque de gel

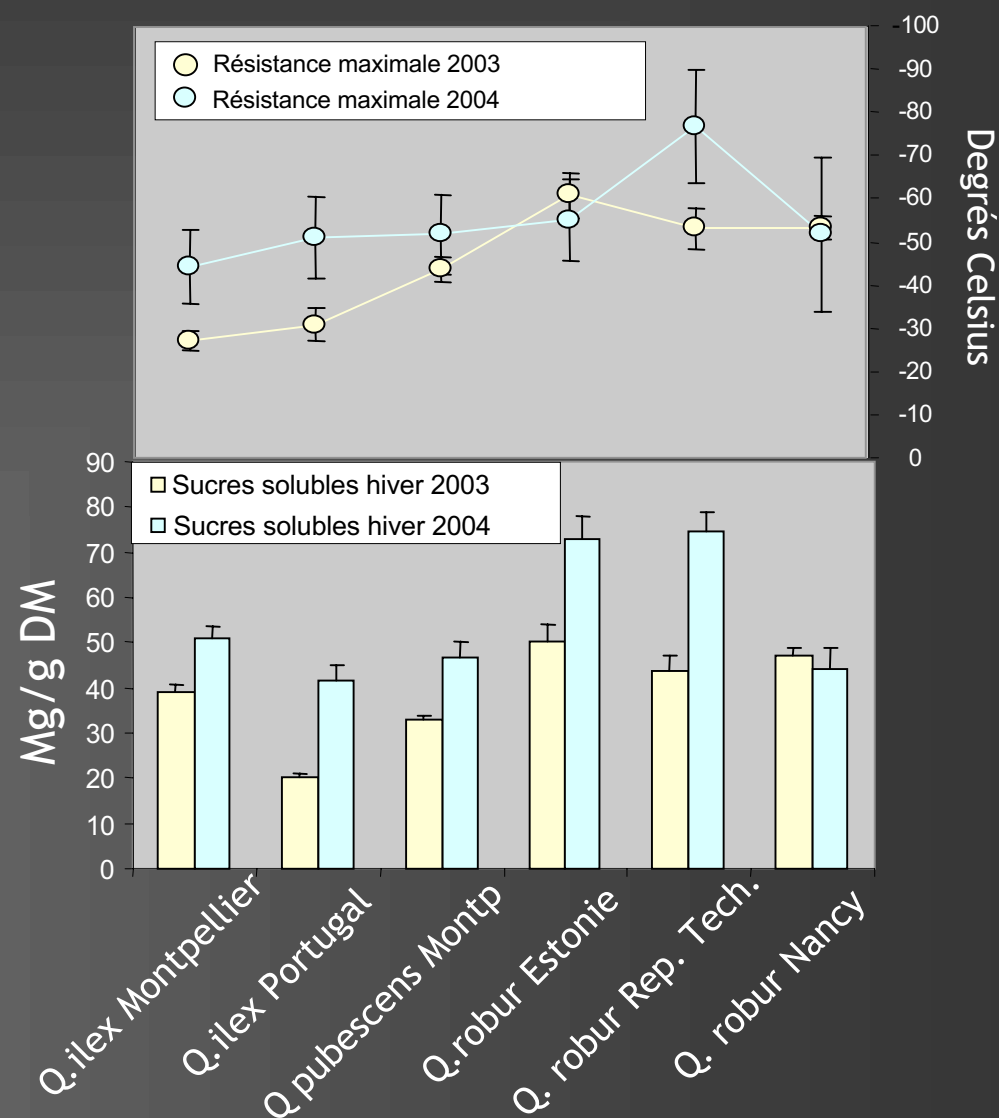
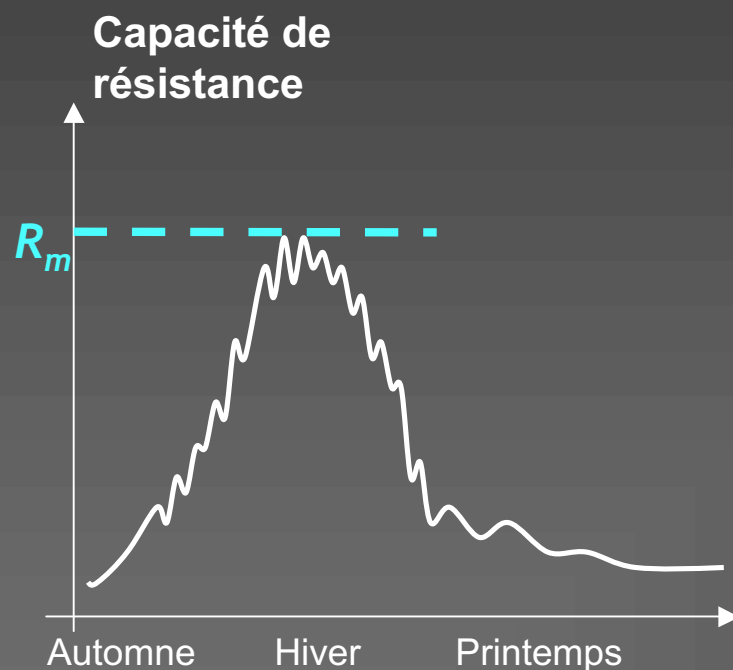


« frost damage hypothesis » pas vérifiée

## mais...

- Augmentation des années sans débourrement (Sud)
- Variabilité de réponse entre espèces
- Variabilité spatiale
- Impact du potentiel maximal de résistance...

# Effet de la canicule et la sécheresse sur le potentiel de résistance au gel



# Impact des conditions estivales sur la résistance au gel : rôle des réserves glucidiques (\*)



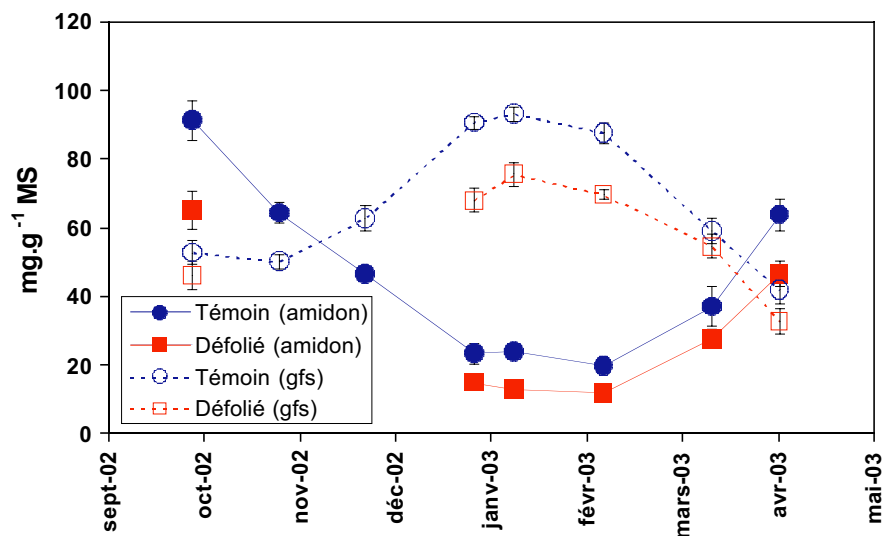
Défoliation précoce (fin juillet)

Arbre défolié : Glucides ↘

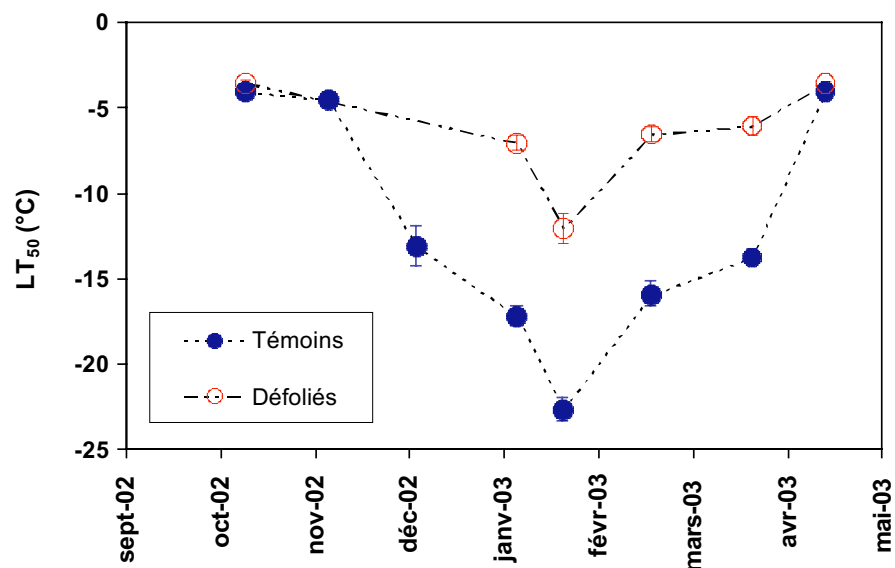
Arbre défolié : résistance au gel ↘

(\*) Thèse en cours de Magalie Poirier  
à l'UMR PIAF

Noyers en conteneur (3 ans) : Clermont-Ferrand



Noyers en conteneur 3 ans (Clermont-Ferrand)



# Conclusion

## en moyenne

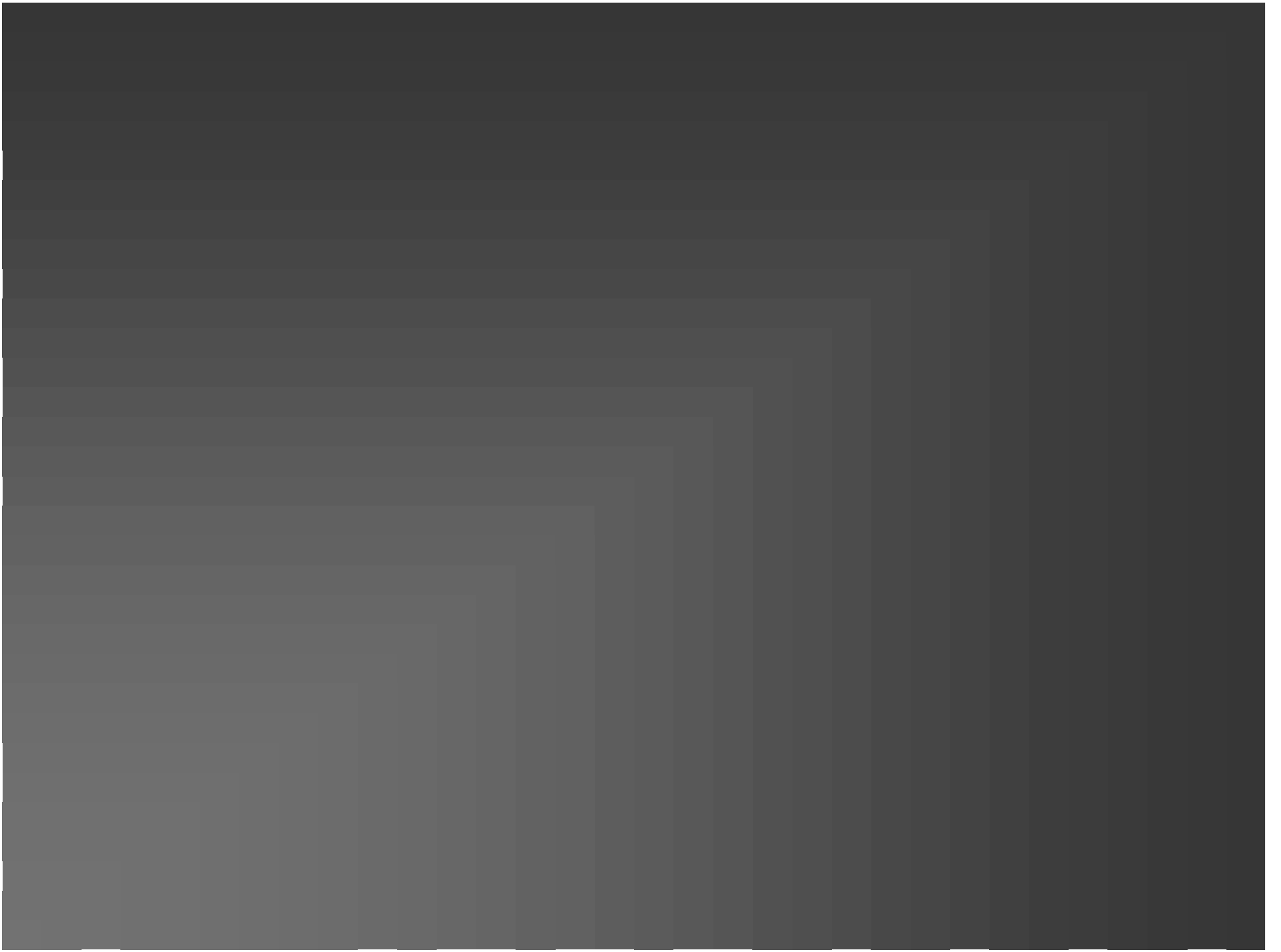
- Avancée de la date de débourrement
- Baisse du risque de gel

➡ « frost damage hypothesis » pas vérifiée

## mais...

- Augmentation des années sans débourrement (Sud)
- Variabilité de réponse entre espèces
- Variabilité spatiale
- Impact du potentiel maximal de résistance...

➡ Effet de l'augmentation de CO<sub>2</sub> ?



Changement climatique



Physiologie



Croissance

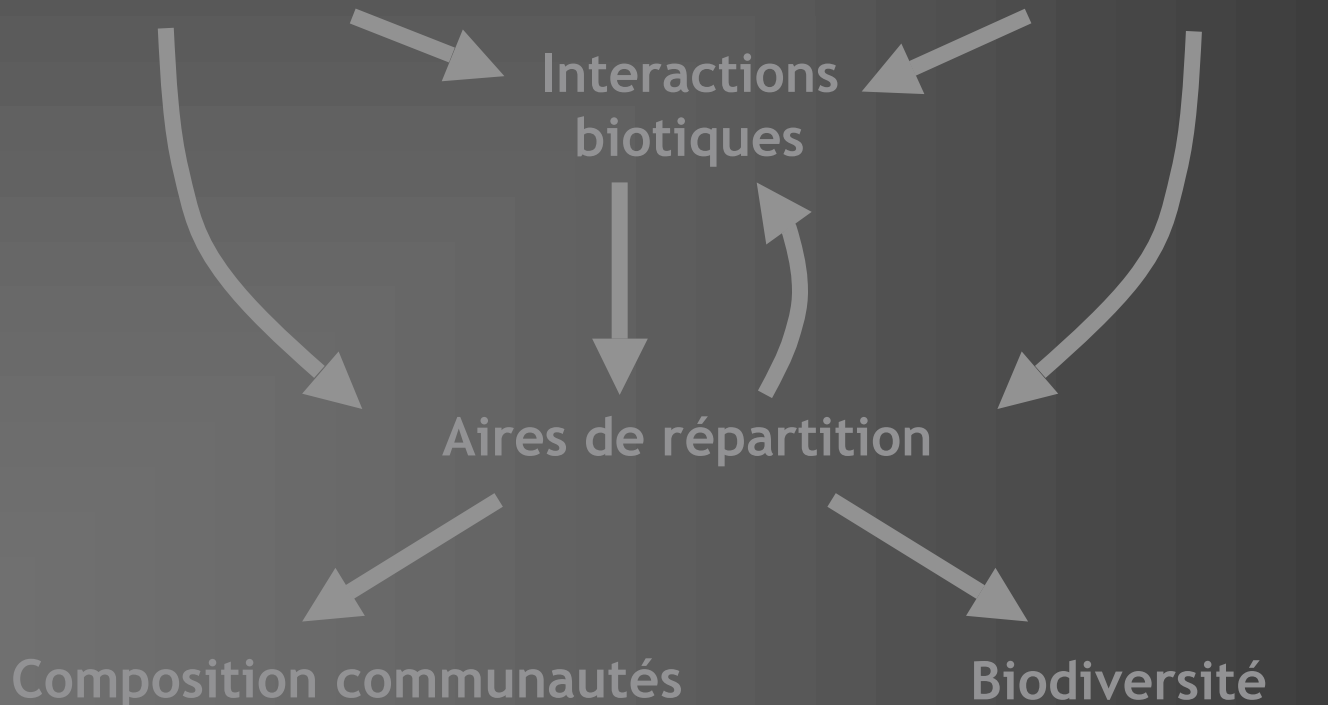
Phénologie

Interactions  
biotiques

Aires de répartition

Composition communautés

Biodiversité



## 1 Ajuster des modèles phénologiques à entrée climatique

	pop	obs	R_	R_cr		pop	obs	R_	R_cr
Acer saccharinum	1	26	0.774	0.555	Ostrya virginiana	1	18	0.620	0.434
Acer rubrum	1	13	0.891		Platanus occidentalis	1	19	0.624	0.689
Aesculus glabra	1	11	0.922		Quercus alba	1	13	0.793	
Carya glabra	1	19	0.938	0.797	Quercus bicolor	1	17	0.929	0.640
Carya ovata	2	21	0.932	0.660	Quercus macrocarpa	1	19	0.878	0.741
		11	0.865		Quercus rubra	1	13	0.776	
Fraxinus nigra	1	16	0.937	0.729	Quercus velutina	1	19	0.875	0.763
Fraxinus americana	3	19	0.887	0.586	Salix nigra	1	21	0.592	0.499
		13	0.868		Sassafras albidum	1	21	0.846	0.531
		11	0.870		Ulmus americana	2	26	0.716	0.494
Juglans nigra	2	19	0.808	0.799			11	0.918	
		11	0.940						
		+ Acer saccharum Populus tremuloides Pinus contorta Pinus monticola				22 espèces 14 genres			



# Impact sur les arbres

## Physiologie

## Phénologie

avant 2000

↑ croissance

avancée

Keeling *et al.* 1996 Myneni *et al.* 1997  
Cannell *et al.* 1998 Hughes 2000

Menzel & Fabian 1999 Abu-Asab *et al.* 2001  
Walther *et al.* 2001 Parmesan & Yohe 2003

- 2.3 jrs / décennie

Changement  
climatique

2000 - 2100...

croissance ??

avancée ??

Körner *et al.* 2005

Morin *et al.* 2005 in prep

Risque de gel ??

