



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

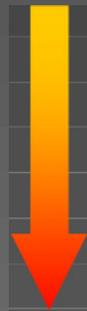
↗ croissance

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

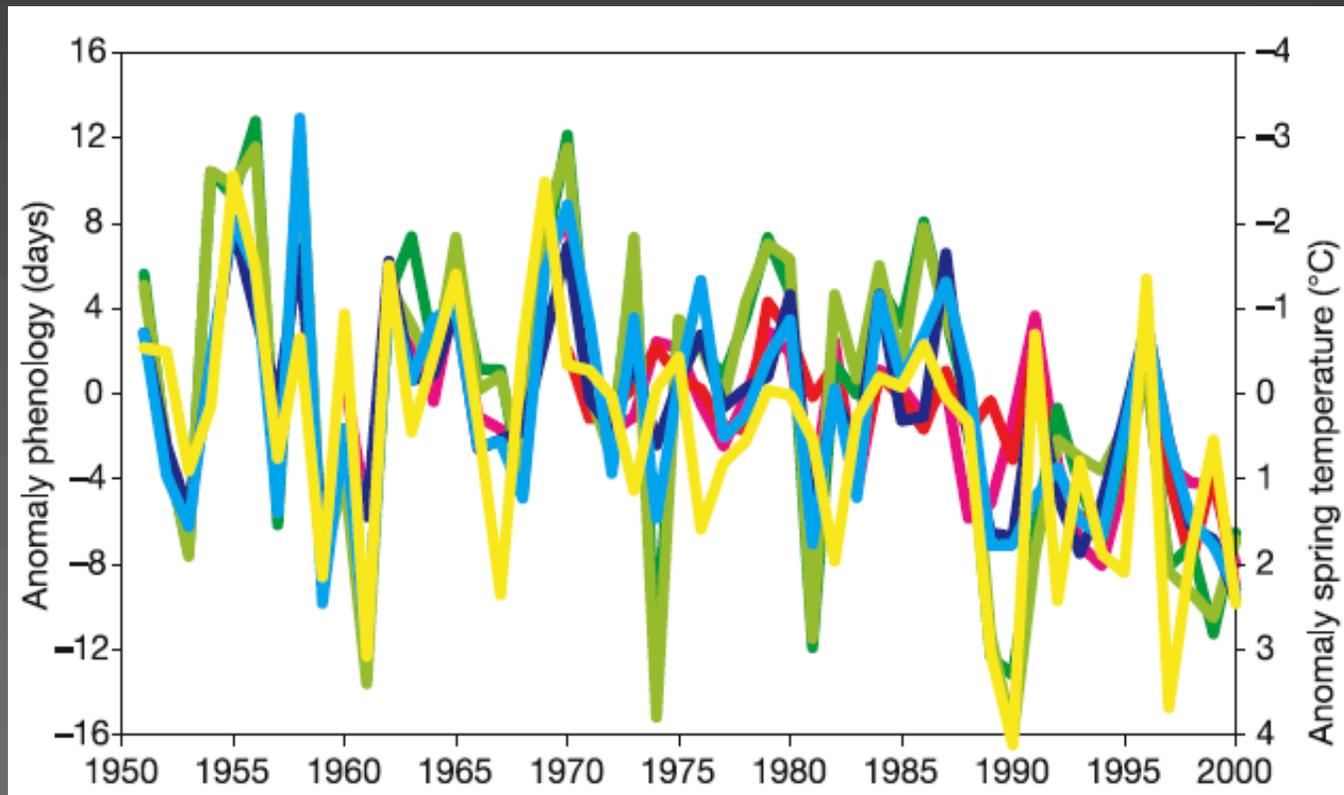
Date de débourrement des principales essences forestières au cours des dernières décennies

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



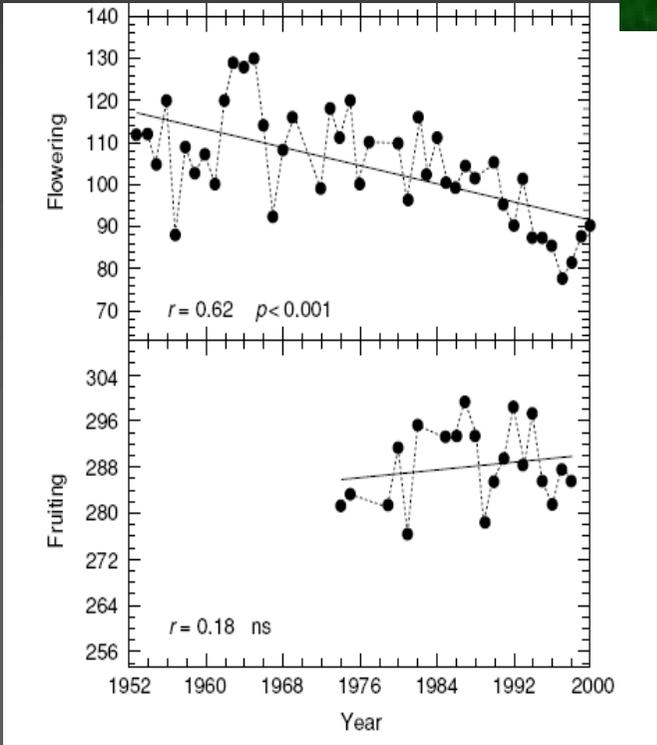
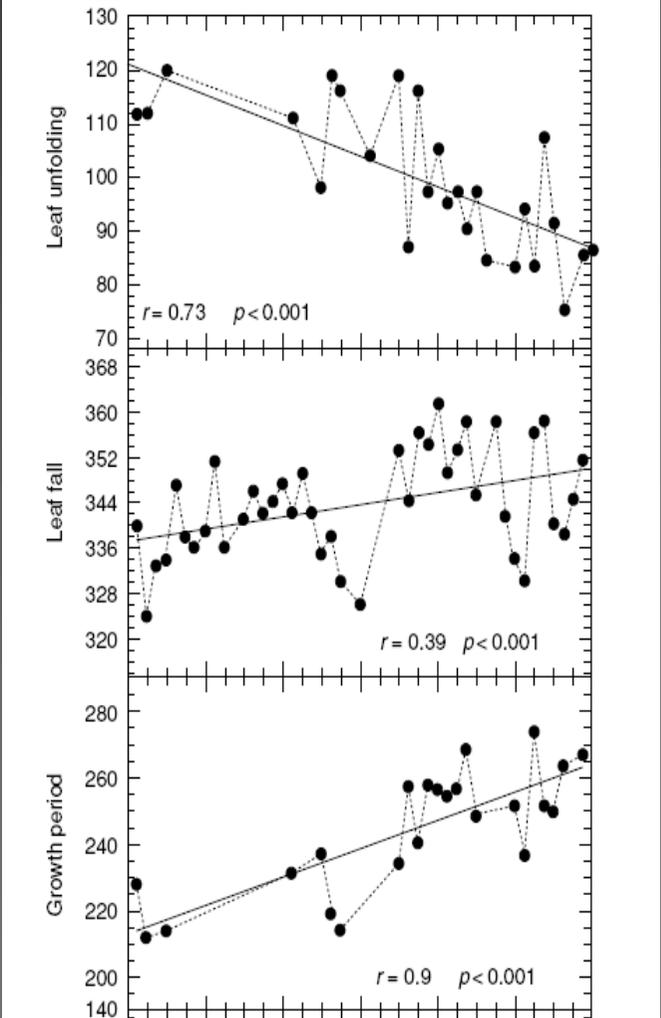
(Walther et al. 2002)

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

Changement de phénologie



Espagne

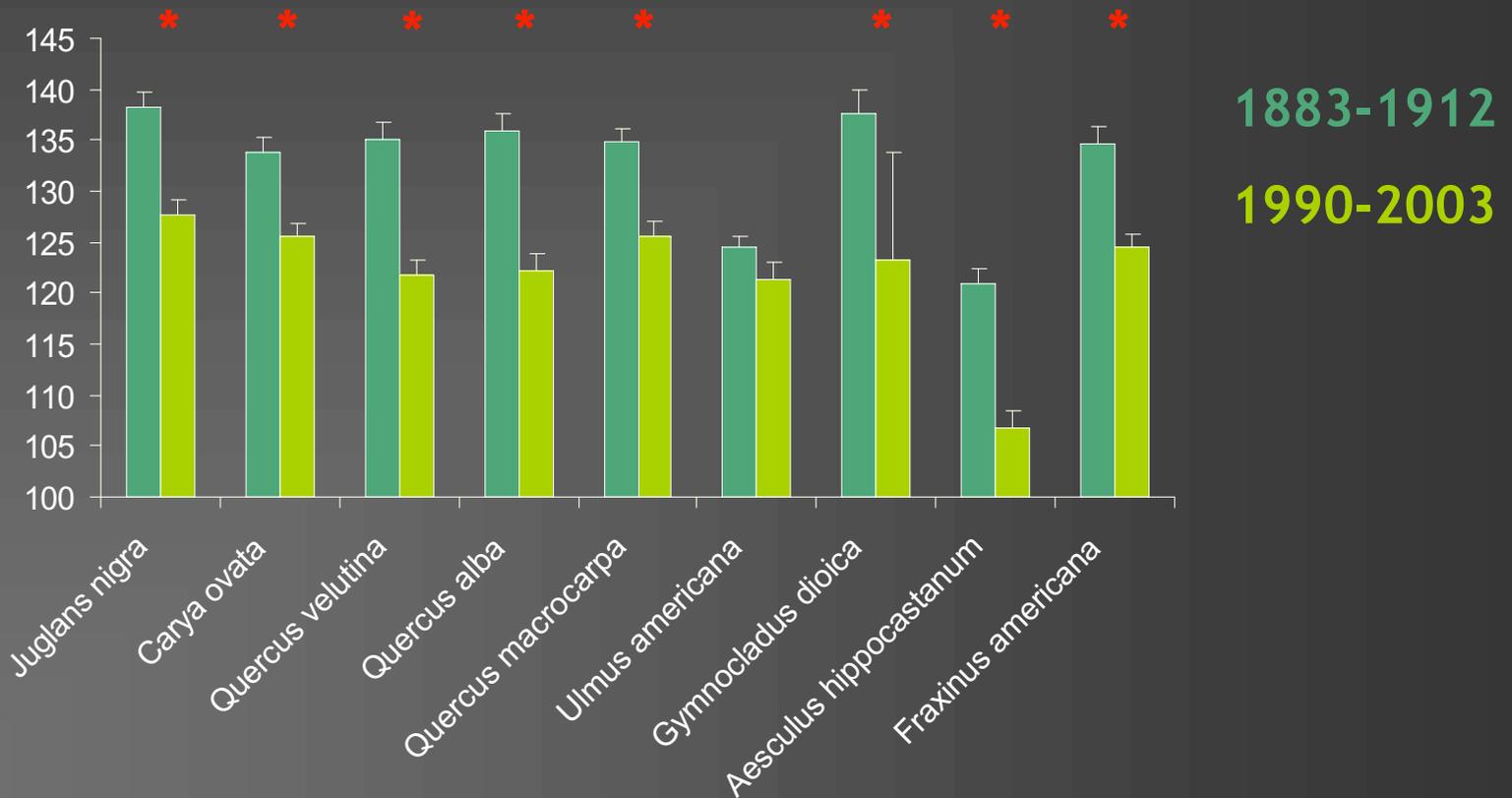


Penuelas et al. GCB 2002

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

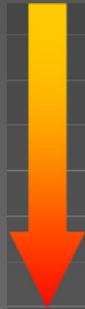
↗ croissance

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)*

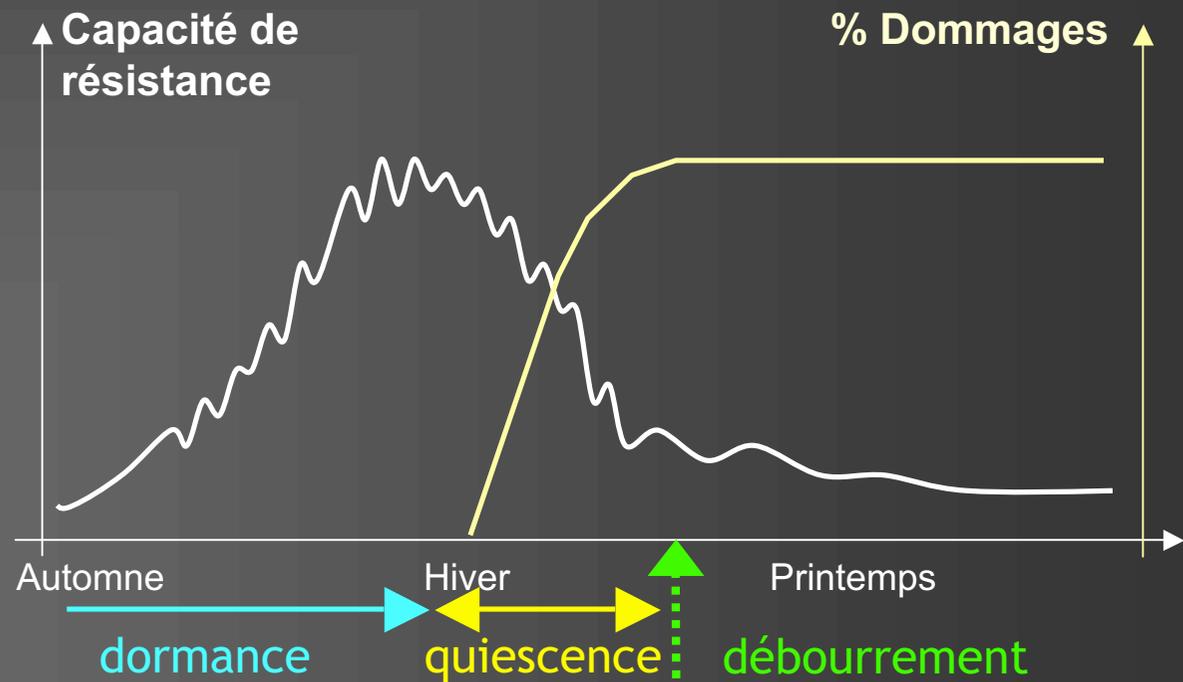
Température

Photopériode

État hydrique

Nutriments

Stade de développement

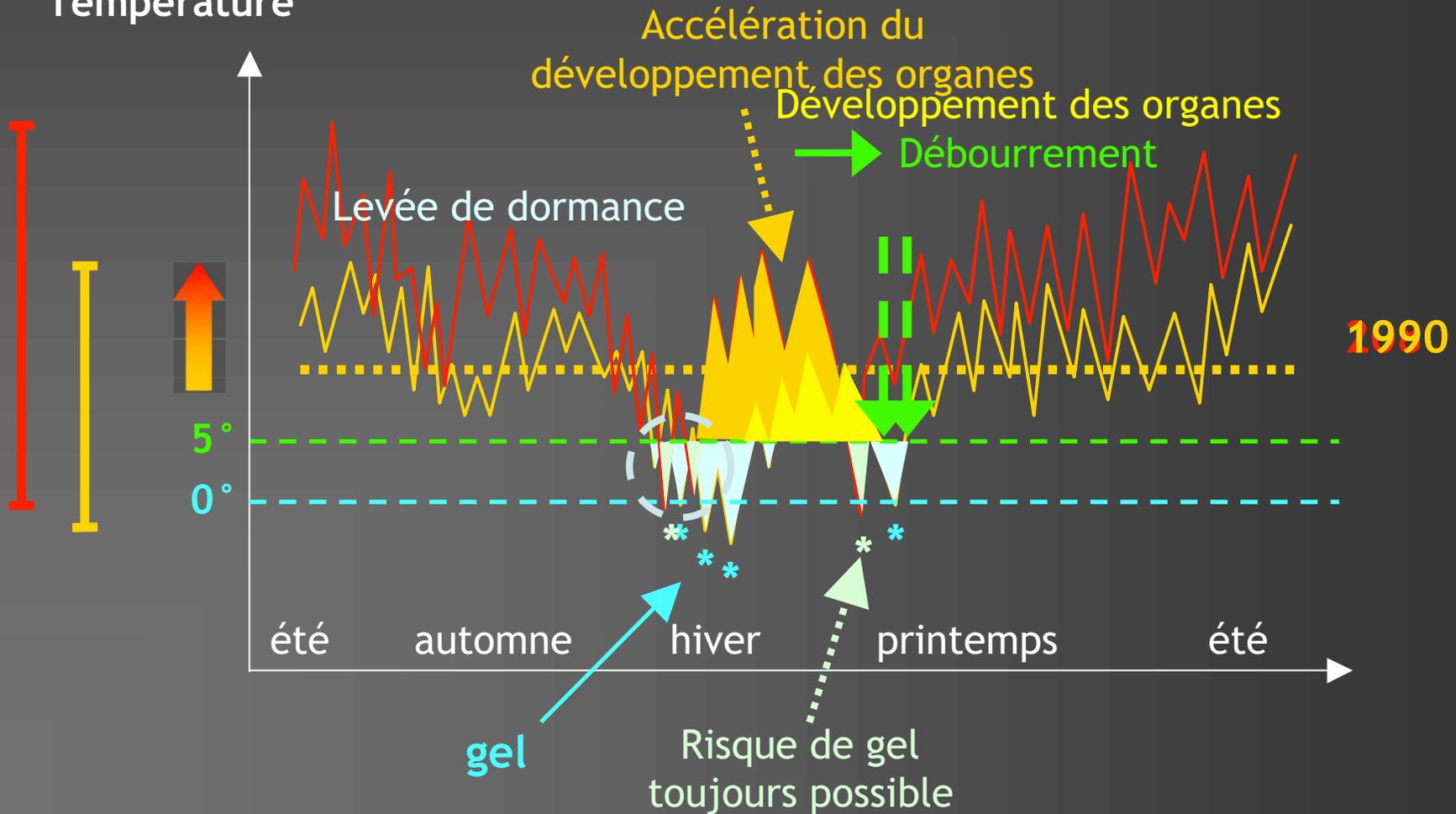


Déterminisme environnemental de l'endurcissement

Impact du changement climatique sur les arbres

Risque de gel ??

Température



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^{ème} et le 21^{ème} siècle

22 espèces nord américaines

1 à 4 populations / espèce

1 Ajuster des modèles phénologiques à entrée climatique

Déterminisme environnemental de la
phénologie



pas de temps journalier

selon méthode Chuine (2000)

Espèces tempérées nord américaines

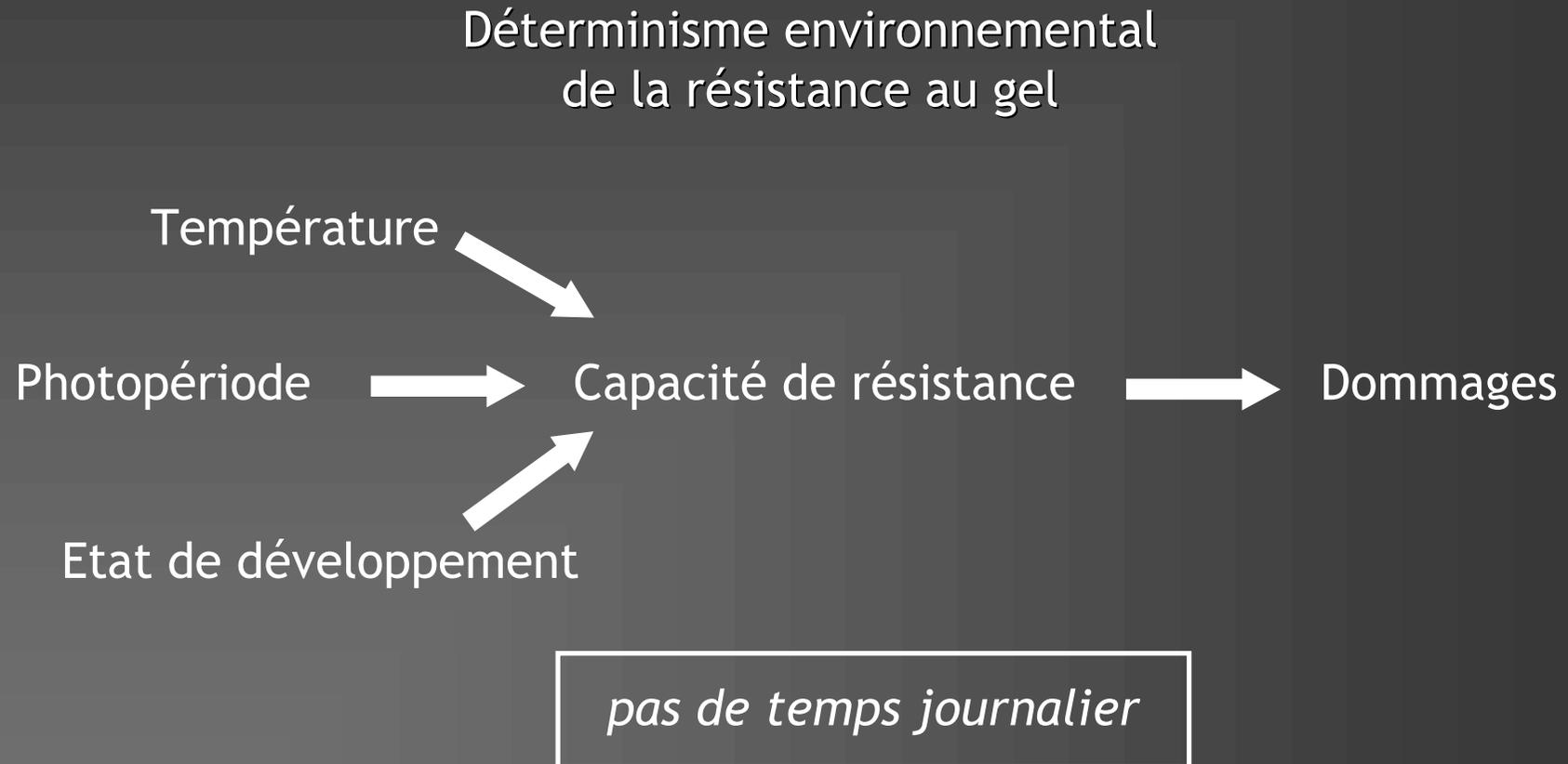
1 Ajuster des modèles phénologiques à entrée climatique

	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^{ème} siècle

CRU TS 2.0

21^{ème} siècle

HadCM3

A2 B2

(IPCC 2001)

Température

Photopériode

Date
débourement

Indice de gel

Date moy 1901-2000

gel 1901-2000

Date moy 2000-2099

gel 2000-2099

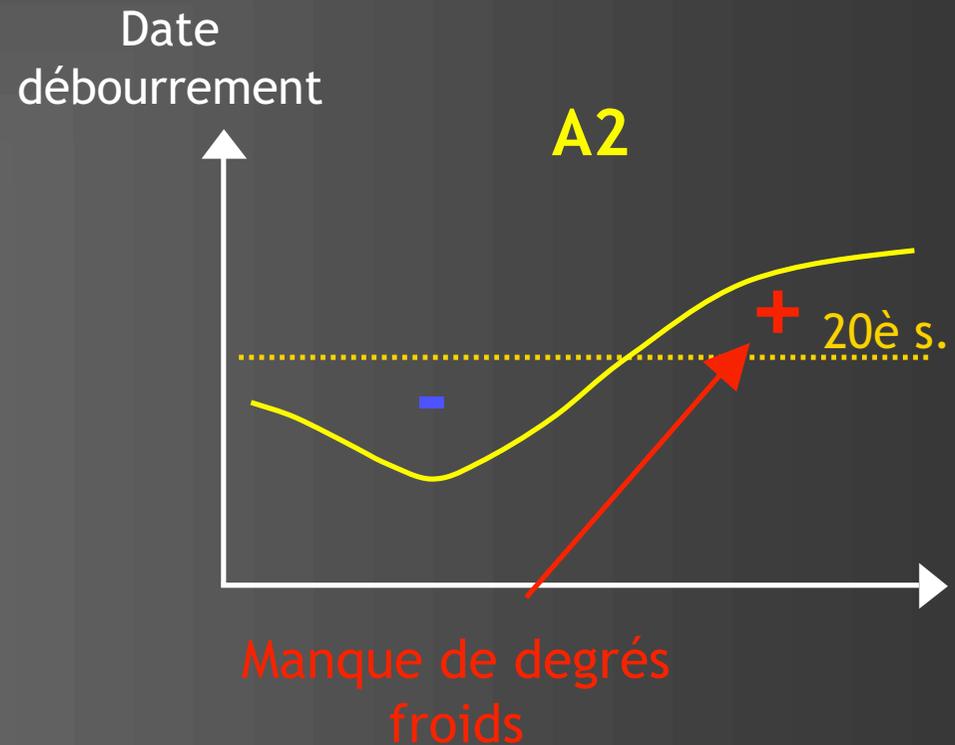
→ Evolution

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

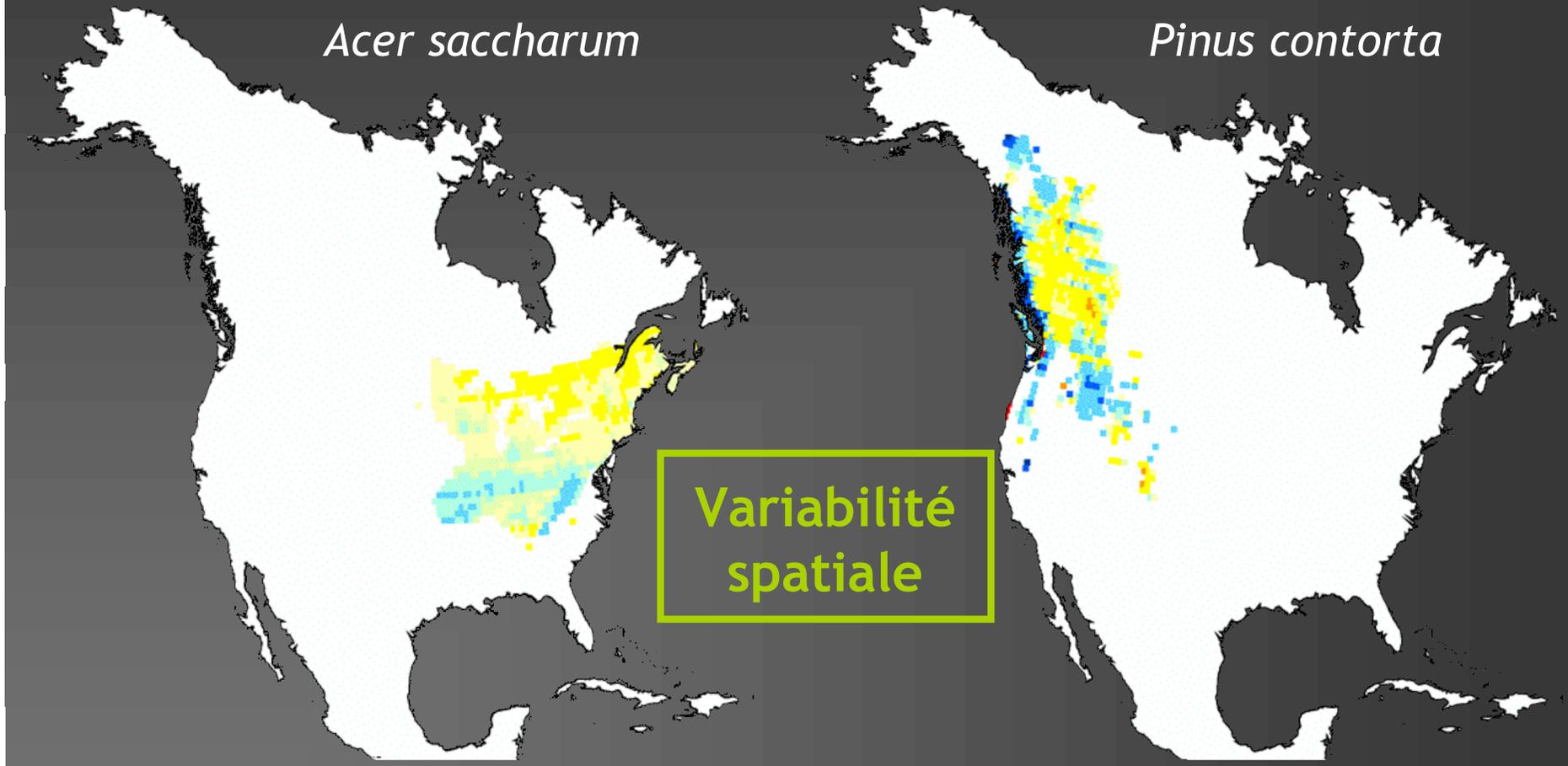
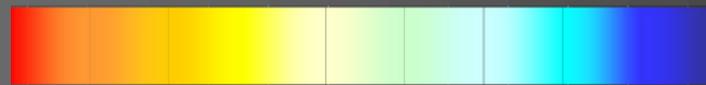
Pinus contorta

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

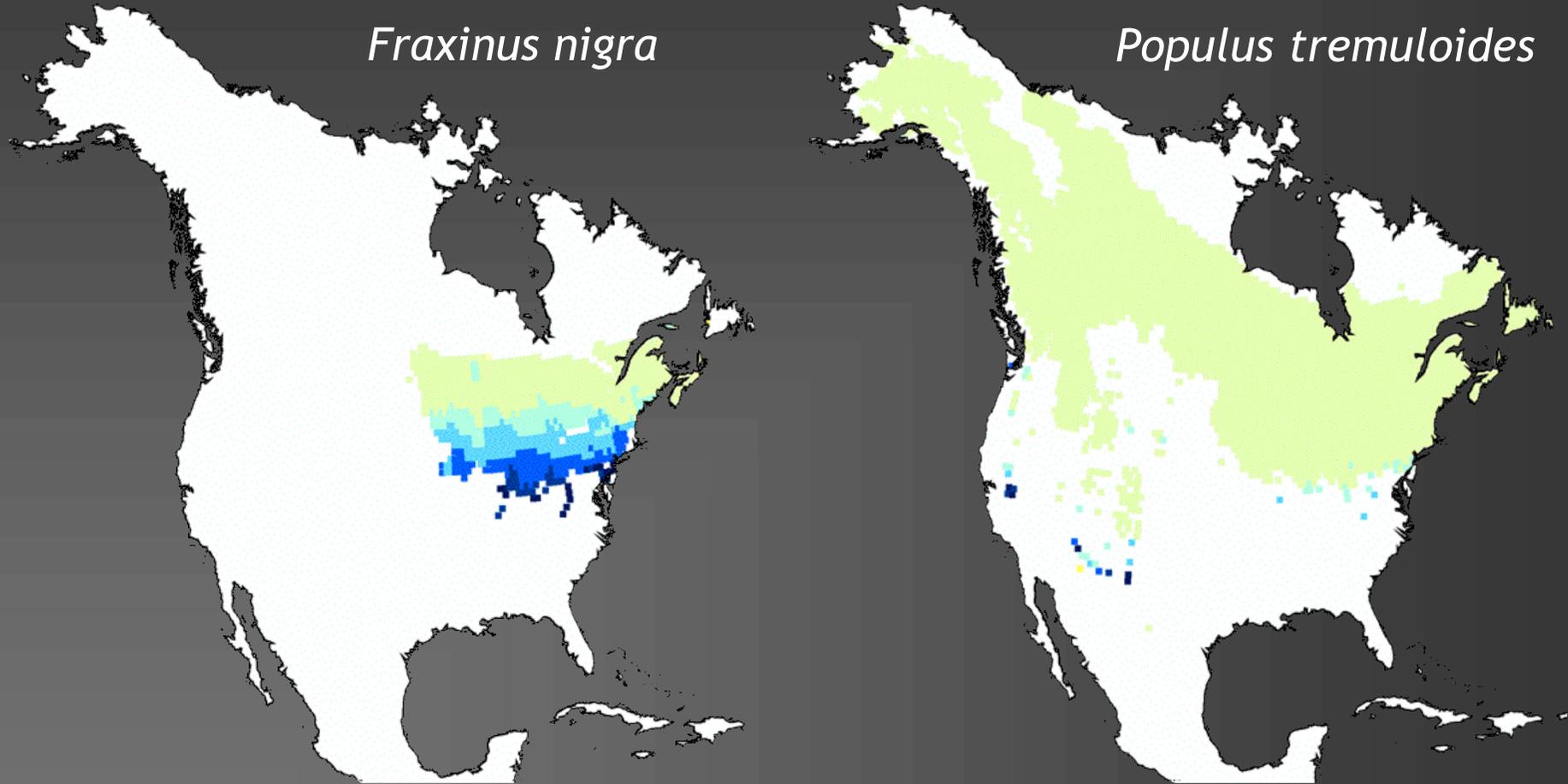
+/- 0.96

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

Années sans débourrement

Fraxinus nigra

Populus tremuloidea



+ débournements

Pas de
changement

- débournements

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

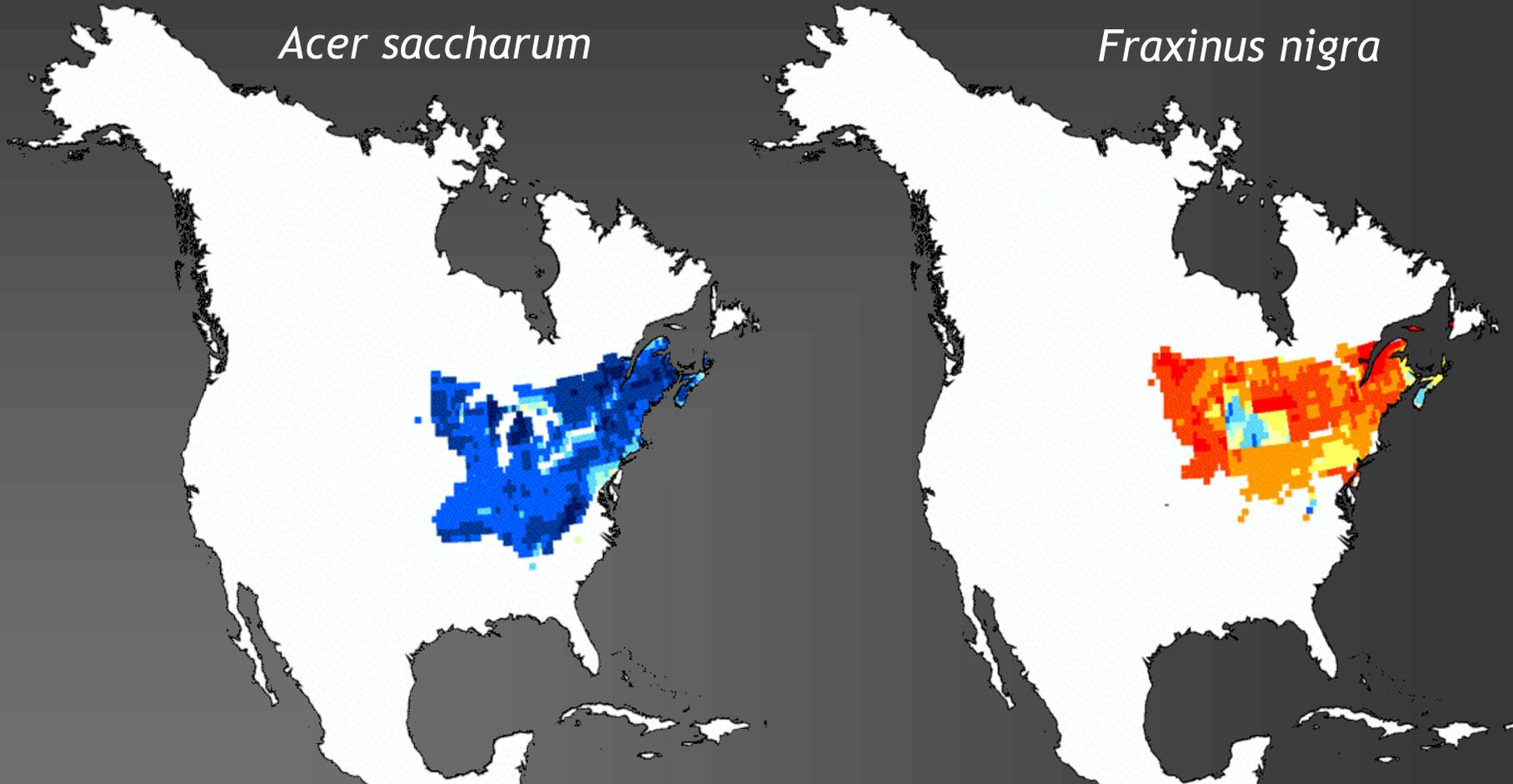
	+	-
A2	3	19
B2	3	19

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

Risque de gel

Acer saccharum

Fraxinus nigra



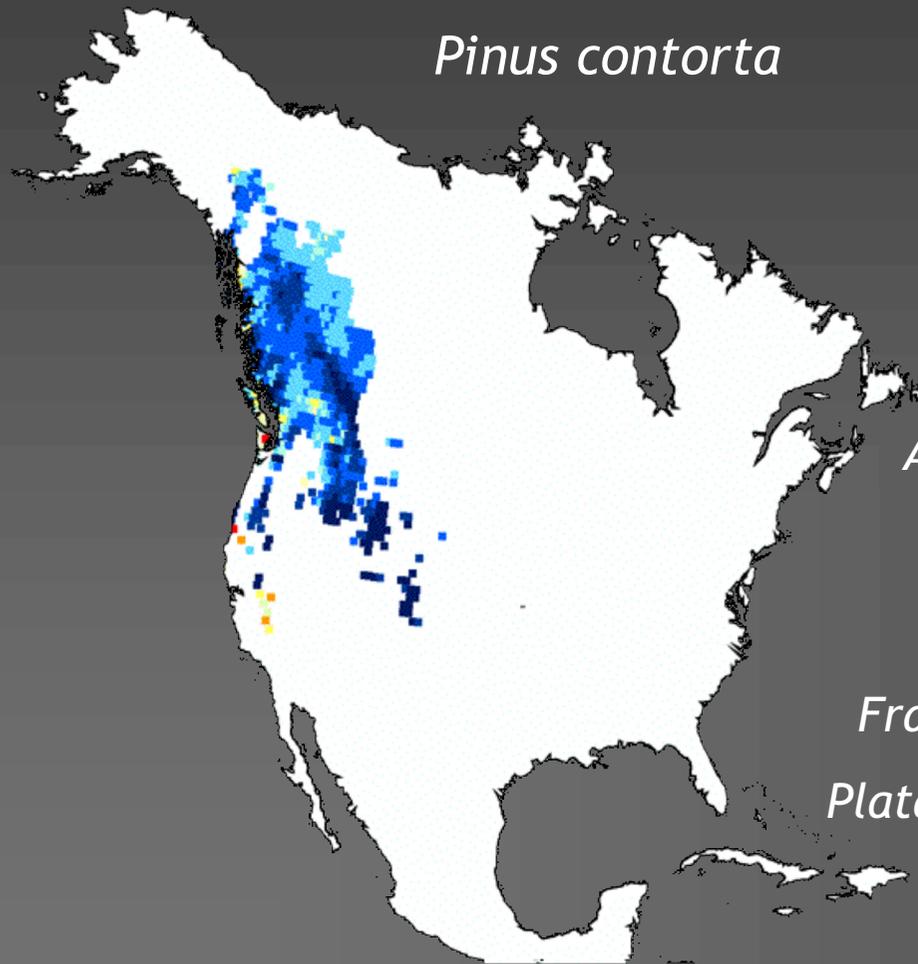
+ risque

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

Juglans nigra

Acer saccharinum

Populus tremuloides

Acer saccharum

Quercus macrocarpa

Aesculus glabra

Quercus bicolor

Fraxinus Americana

Pinus contorta

Platanus occidentalis

Pinus monticola

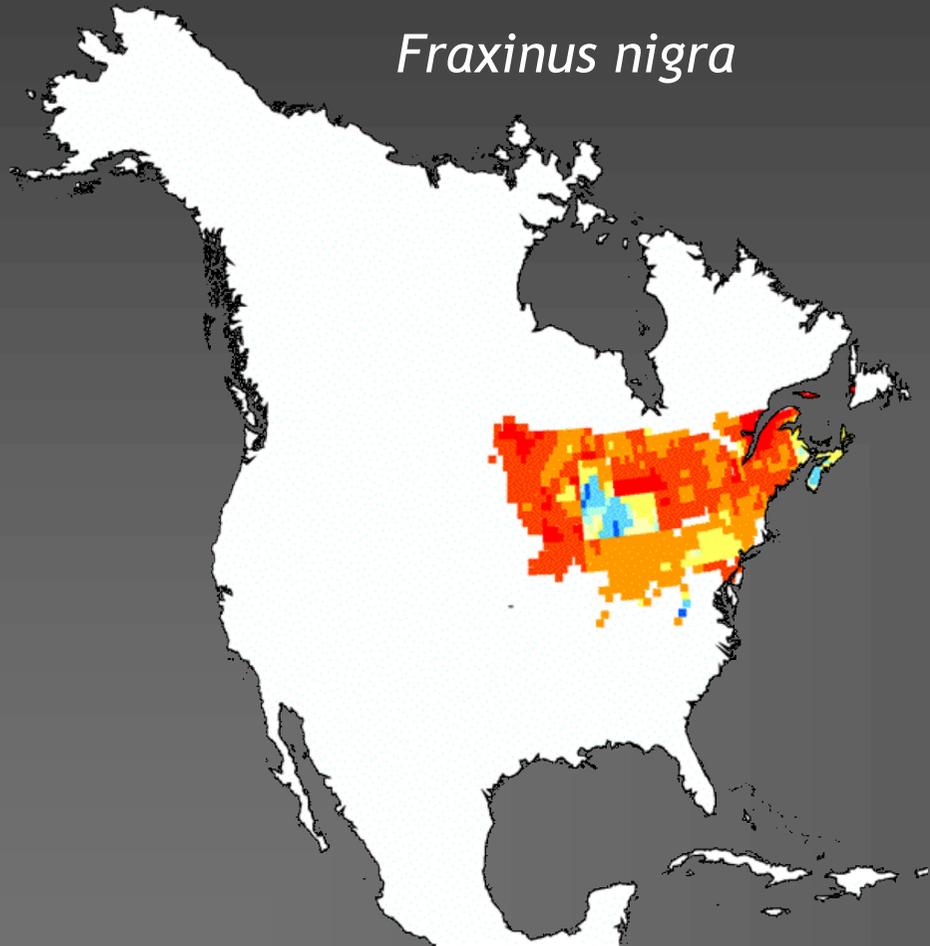
Quercus velutina

Salix nigra

Sassafras albidum

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

Risque de gel



Fraxinus nigra

Baisse du risque
sur l'ensemble de l'aire

Augmentation du risque
sur l'ensemble de l'aire

Carya glabra

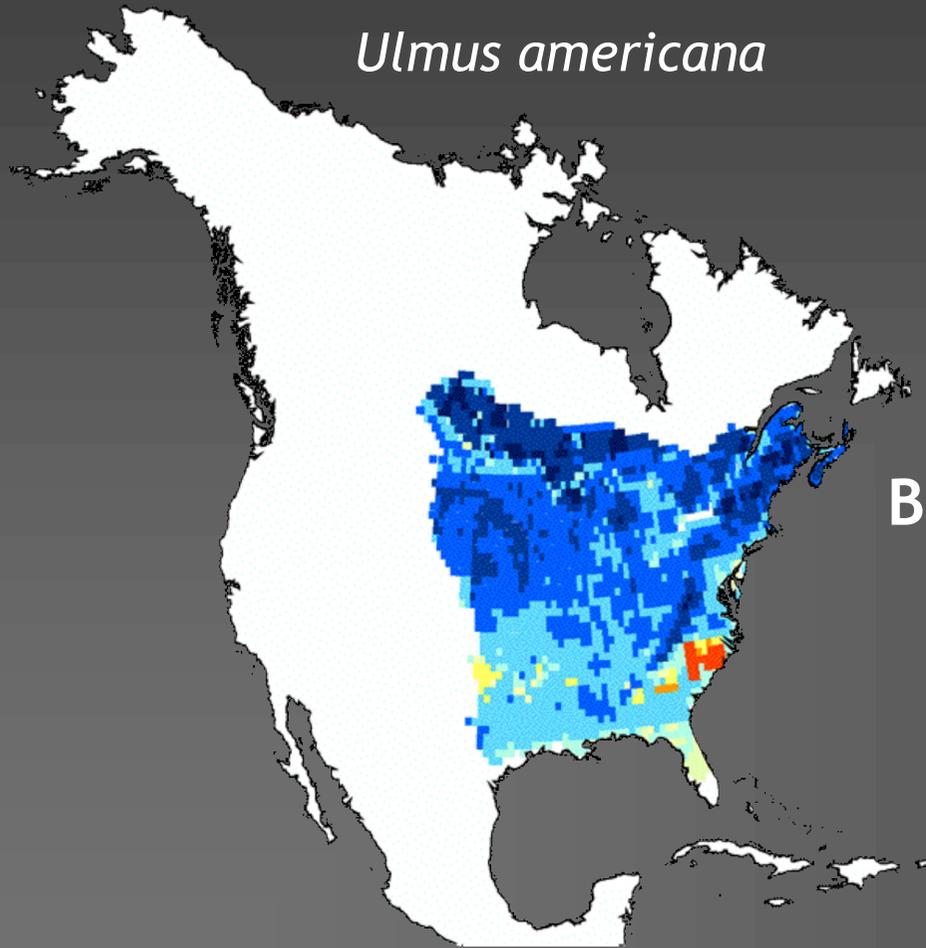
Carya ovata

Fraxinus nigra

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

Risque de gel

Ulmus americana



Baisse du risque
sur l'ensemble de l'aire

Augmentation du risque
sur l'ensemble de l'aire

Baisse du risque au Nord mais
augmentation au Sud

Ostrya virginiana *Quercus alba*

Quercus rubra *Ulmus americana*

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

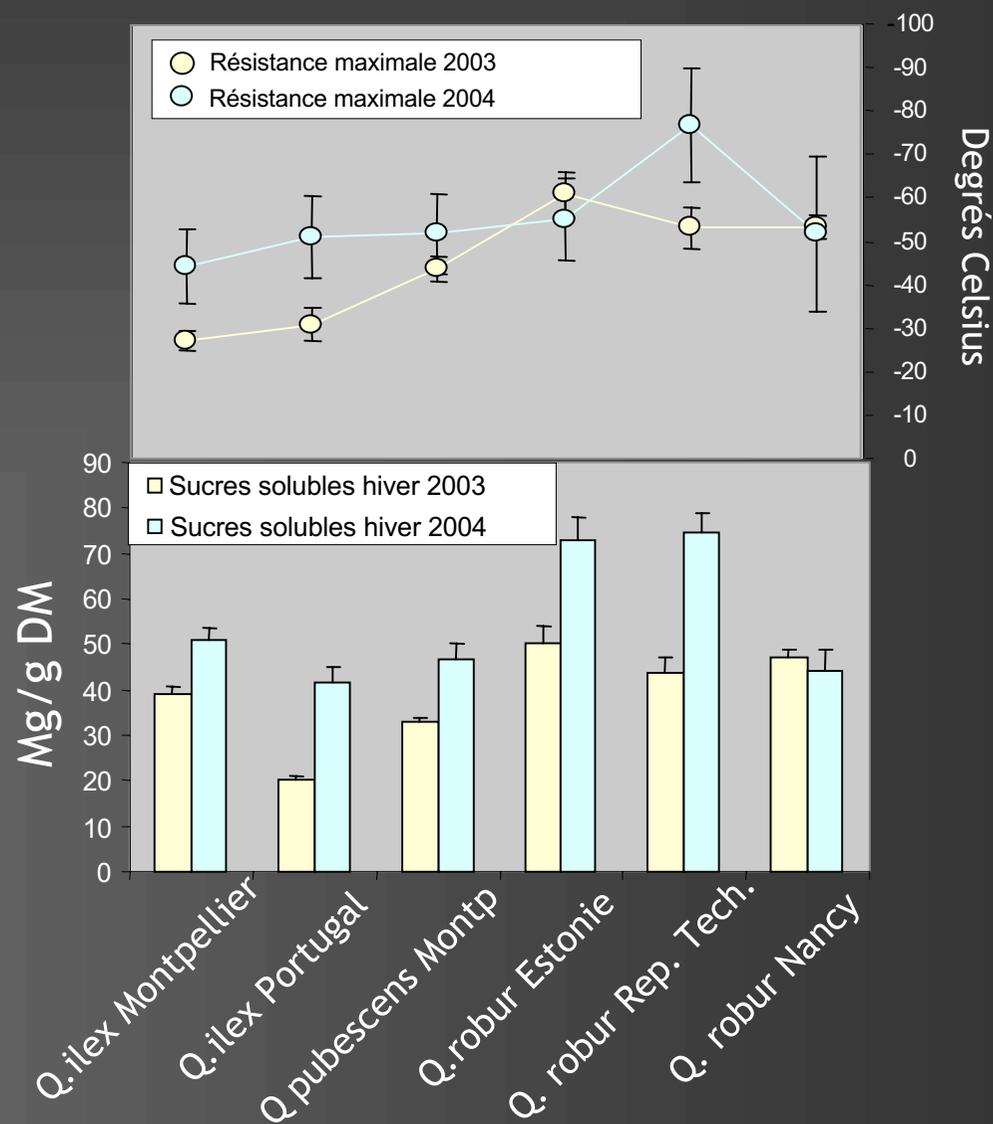
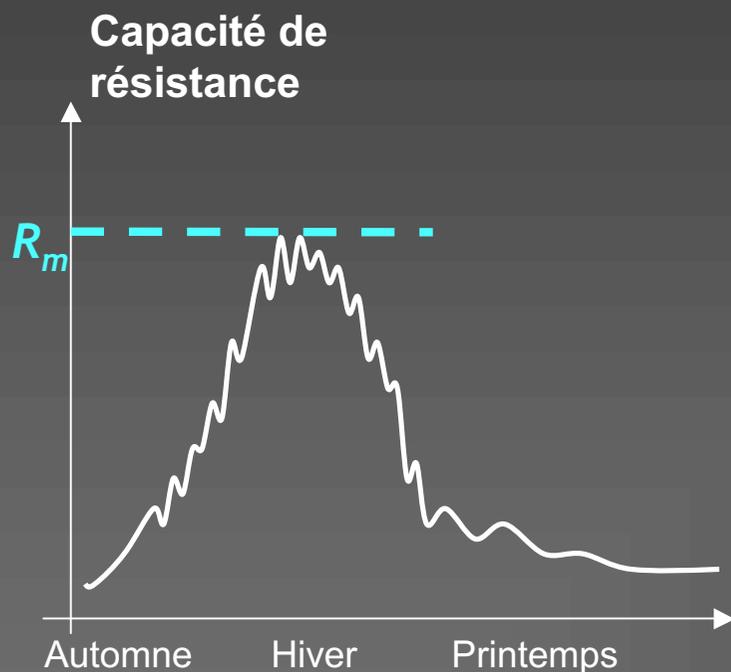


« frost damage hypothesis » pas vérifiée

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 (*)

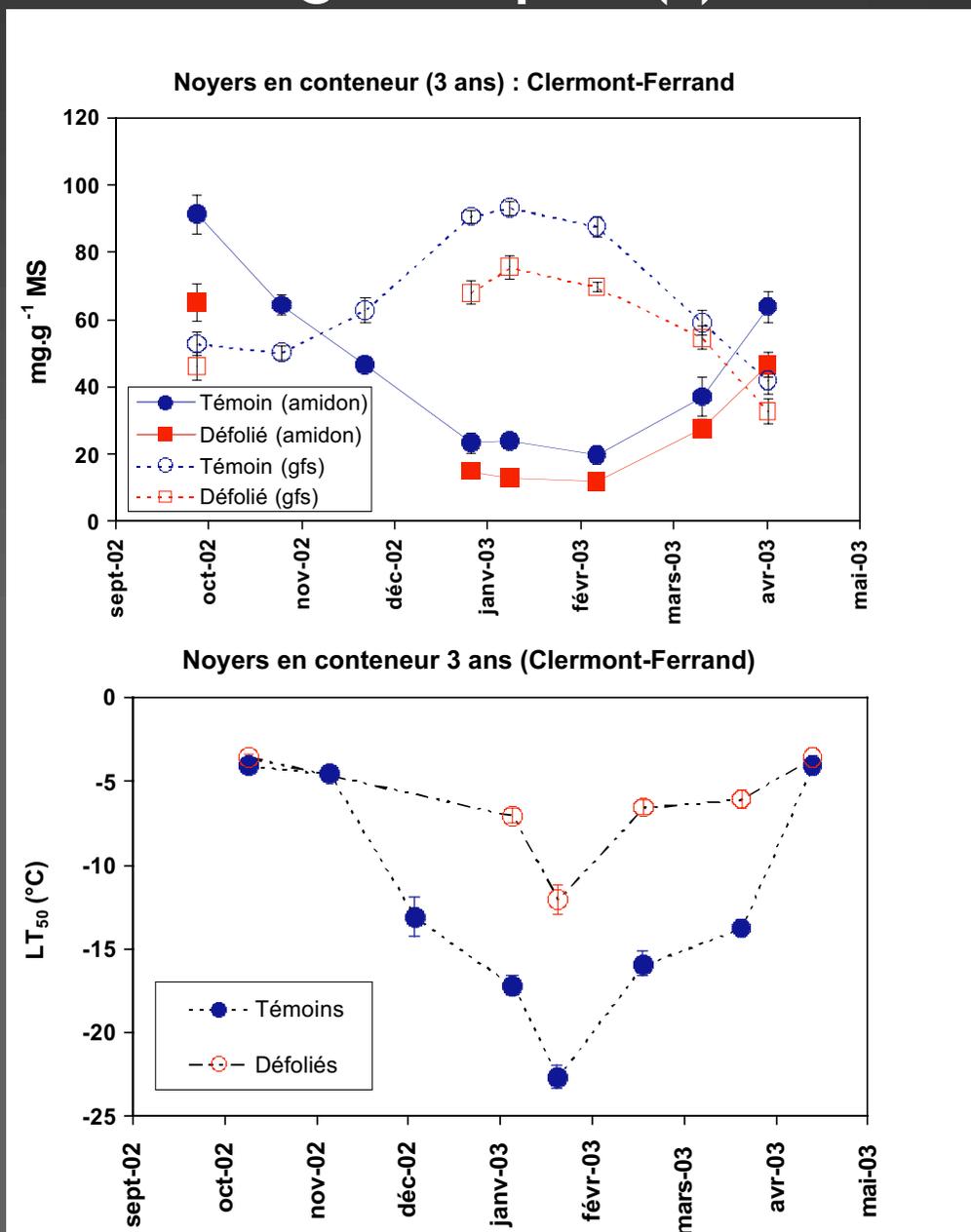


Défoliation précoce (fin juillet)

Arbre défolié : Glucides ↘

Arbre défolié : résistance au gel ↘

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



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 CO₂ ?



Changement climatique



Physiologie



Croissance

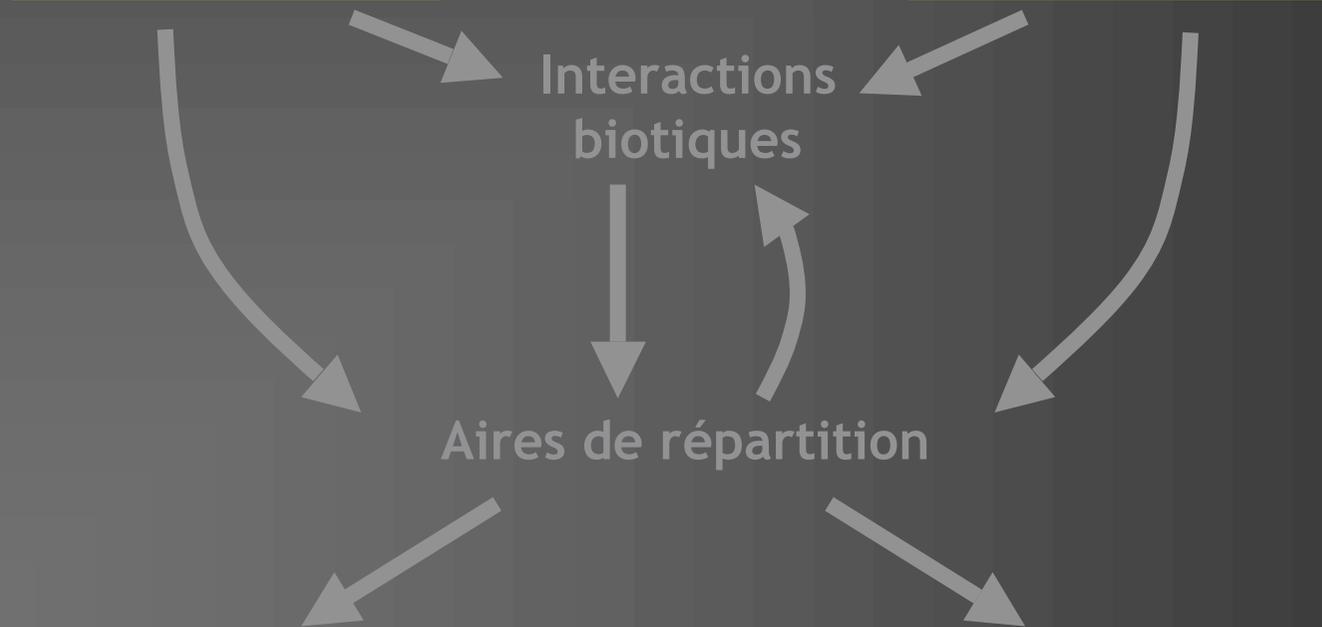
Phénologie

Interactions
biotiques

Aires de répartition

Composition communautés

Biodiversité



1 Ajuster des modèles phénologiques à entrée climatique

	<i>pop</i>	<i>obs</i>	<i>R_</i>	<i>R_cr</i>		<i>pop</i>	<i>obs</i>	<i>R_</i>	<i>R_cr</i>
<i>Acer saccharinum</i>	1	26	0.774	0.555	<i>Ostrya virginiana</i>	1	18	0.620	0.434
<i>Acer rubrum</i>	1	13	0.891		<i>Platanus occidentalis</i>	1	19	0.624	0.689
<i>Aesculus glabra</i>	1	11	0.922		<i>Quercus alba</i>	1	13	0.793	
<i>Carya glabra</i>	1	19	0.938	0.797	<i>Quercus bicolor</i>	1	17	0.929	0.640
<i>Carya ovata</i>	2	21	0.932	0.660	<i>Quercus macrocarpa</i>	1	19	0.878	0.741
		11	0.865		<i>Quercus rubra</i>	1	13	0.776	
<i>Fraxinus nigra</i>	1	16	0.937	0.729	<i>Quercus velutina</i>	1	19	0.875	0.763
<i>Fraxinus americana</i>	3	19	0.887	0.586	<i>Salix nigra</i>	1	21	0.592	0.499
		13	0.868		<i>Sassafras albidum</i>	1	21	0.846	0.531
		11	0.870		<i>Ulmus americana</i>	2	26	0.716	0.494
<i>Juglans nigra</i>	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 ??

