

Ecole thématique CNRS- ECOFOR
Fréjus 21-25 mai 2007

Réponses des écosystèmes forestiers tropicaux aux changements globaux



**Thème 7 : Mécanismes génétiques et écologiques
d'adaptation aux changements climatiques**

Contexte et problématique

Changements climatiques et biodiversité

Un sujet d'actualité....

- Miles L., Grainger A., Phillips O. (2004). The impact of global climate change on the tropical forest biodiversity in Amazonia. *Global Ecol. Biogeogr.* **13**: 553-565

43% des espèces amazoniennes « non viables » en 2095

- Malcolm J et al. (2006) Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots. *Conservation Biology*, **20**(2): 538-548

Extinction de <1% à 43% espèces endémiques selon les hypothèses

- AR4 de l'IPCC (2007)

20 à 30% des espèces menacées

...et des prévisions alarmistes, mais partielles

Changements climatiques et biodiversité

- **Diversité des écosystèmes (échelle régionale)**
 - facteurs climatiques et géomorphologiques
 - perturbations récurrentes à grandes échelles
 - quels sont les facteurs de fragilité ?
 - disparition ou transformation ?
- **Diversité des espèces (échelle locale)**
 - diversité des réponses selon les espèces ?
 - extinction, adaptation ou migration ?
 - modifications des inter-relations au sein des communautés?
 - nouvel assemblage d'espèces ?
- **Diversité génétique intra-spécifique**

comment les espèces peuvent s'adapter aux changements ?

Quelles conséquences des changements sur la diversité génétique d'une espèce?

Changements climatiques et biodiversité

- impossibilité de faire une expérimentation classique
- nécessité de tirer des informations du passé (paléoclimatologie, paléobotanique)
- « paradoxe » apparent au quaternaire / prévisions
 - après une extinction massive au tout début de l'ère (68% des genres d'arbres en Europe) peu d'extinctions d'espèces arbres ont été documentées (1 espèce en Amérique du nord) malgré plus de 15 cycles glaciation-réchauffement
 - le réchauffement passé moyen est souvent estimé à 1°C par siècle mais dans les glaces du groenland et de l'antartique, des relevés (isotopes de O₂) sur une série de 400 000 ans, indiquent des périodes de réchauffement extrêmement rapide (7 à 12°C en 50 ans Macdougall 2006)

Botkin D.B. *et al.* (2007). Forecasting the effects of global warming on biodiversity. *Bioscience* , **57**(3): 227-236

**REPONSES ADAPTATIVES DES ARBRES AUX
CHANGEMENTS CLIMATIQUES :
MECANISMES EVOLUTIFS ET VITESSES DE REPONSES**

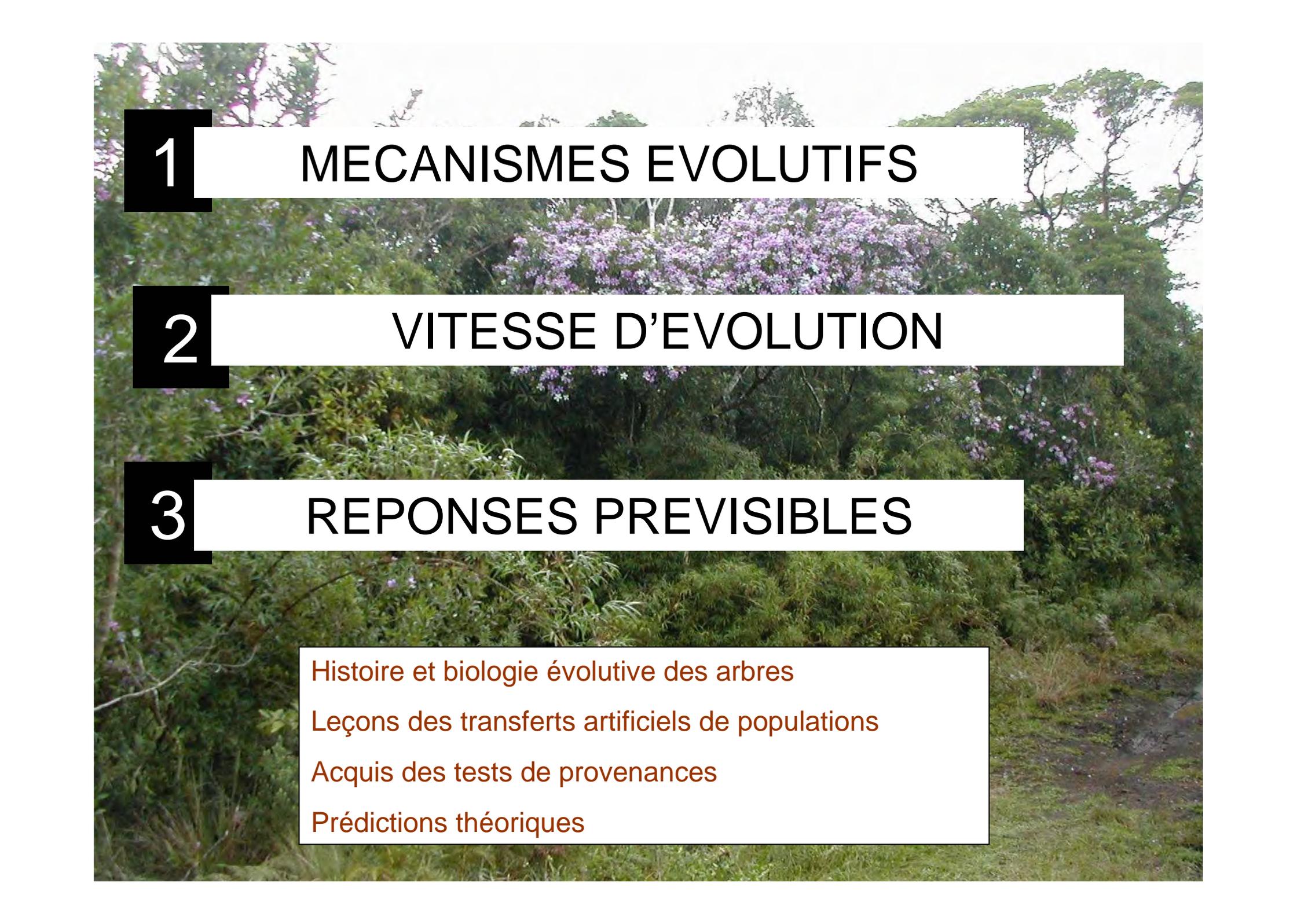


*Antoine Kremer – Henri Caron
INRA - UMR BIOGECO - Cestas*

Ecole Chercheurs ECOFOR-CNRS

réponse des écosystèmes forestiers tropicaux aux changements globaux

Fréjus 21-25 mai 2007

A background image of a lush forest with green foliage and numerous purple flowers in bloom. The scene is captured from a slightly elevated perspective, showing a dense canopy of trees and bushes.

1

MECANISMES EVOLUTIFS

2

VITESSE D'EVOLUTION

3

REPONSES PREVISIBLES

Histoire et biologie évolutive des arbres

Leçons des transferts artificiels de populations

Acquis des tests de provenances

Prédictions théoriques

A background image of a lush green forest with many purple flowers, possibly a tropical or subtropical environment. The text is overlaid on this image.

1

MECANISMES EVOLUTIFS

MECANISMES AU NIVEAU INDIVIDUEL

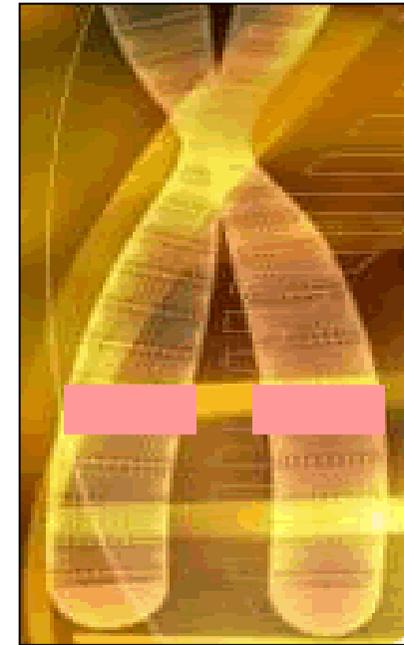
MECANISMES AU NIVEAU DES POPULATIONS

MECANISMES AU NIVEAU DE L'ESPECE

***MECANISMES DE NATURE GENETIQUE
HERITABLES***

MECANISME AU NIVEAU INDIVIDUEL:

Dus à des variation de structure des gènes

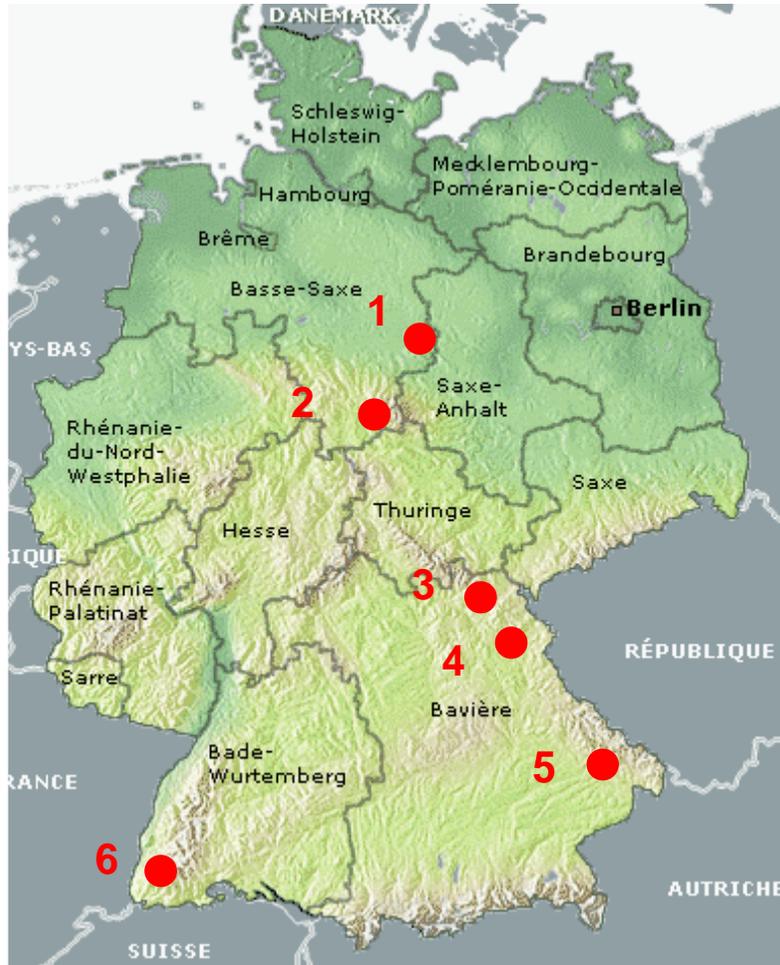


**DIVERSITE INTRA ARBRE:
HETEROZYGOTIE INDIVIDUELLE
SUPERDOMINANCE**



**ADAPTATION A DES
SITUATIONS VARIABLES**

Relations Hétérozygotie – Adaptation chez le hêtre

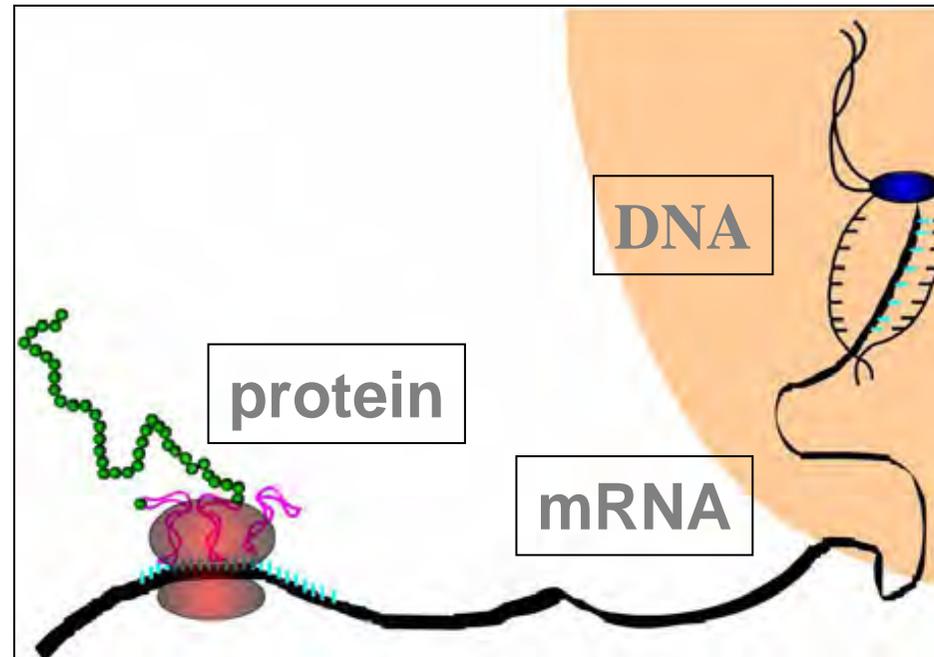


	Altitude	Ha Tolérants	Ha Sensitifs
1	230-250	25.4	22.6
2	450-500	28.9	22.6
3	550-600	24.2	19.5
4	850-900	28.3	20.3
5	810-830	31.4	27.4
6	770-870	27.7	22.4

14 à 17 loci isoenzymatiques

MECANISMES AU NIVEAU INDIVIDUEL

Dus à des variations d'expression des gènes

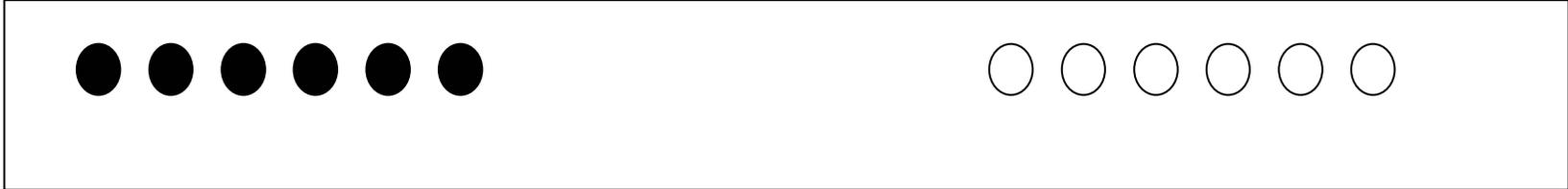
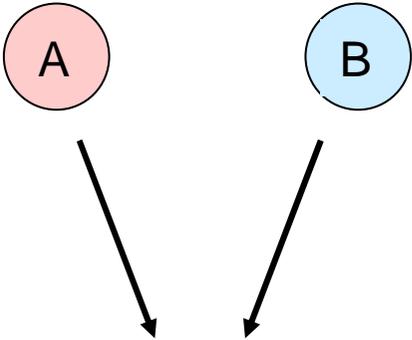


Même génotype



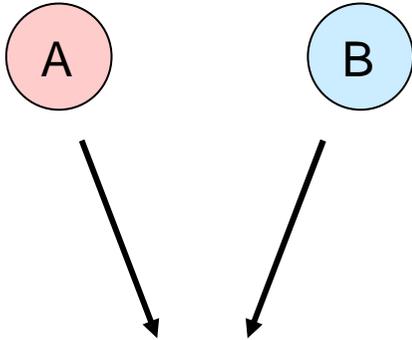
Phénotypes différents

Verger à 62 °N



Arrêt de croissance plus tardif
Débourrement plus précoce

Verger à 66 °N



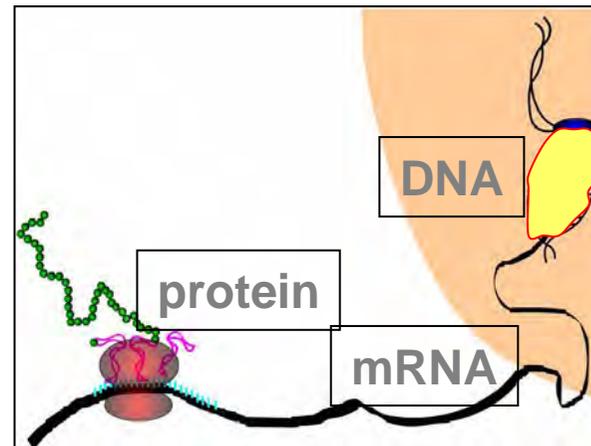
Arrêt de croissance plus précoce
Débourrement plus tardif

Meilleure adaptation aux condition nordiques
(résistance au gel..)

MECANISMES AU NIVEAU INDIVIDUEL

Dus à des variations d'expression des gènes

Embryogenèse
sous θ élevée



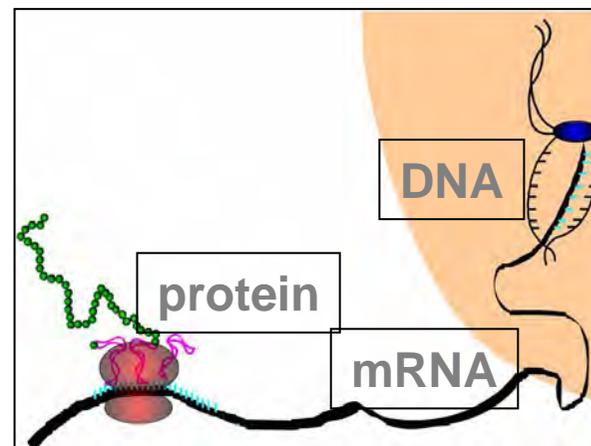
Débourrement
précoce

Même génotype



Phénotypes différents

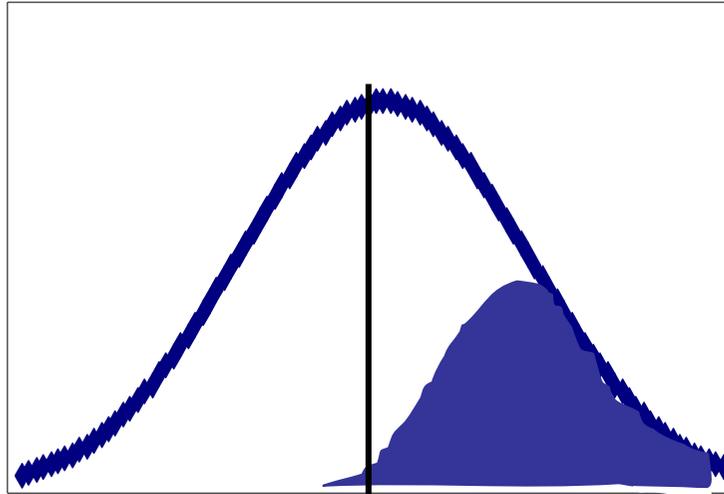
Embryogenèse
sous θ + faible



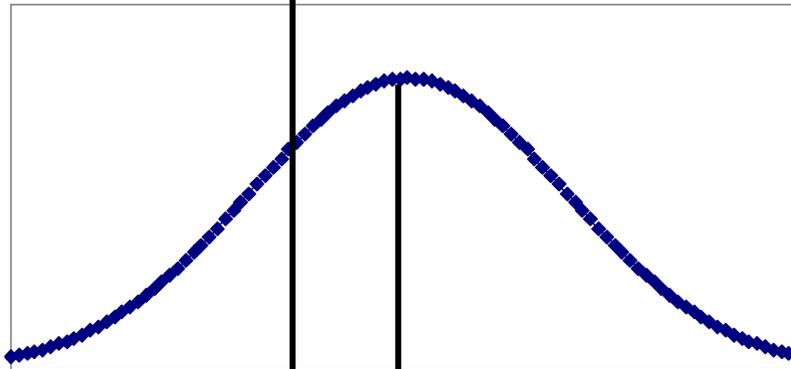
Débourrement
tardif

SELECTION DARWINIENNE

Génération n



Génération n+1



R

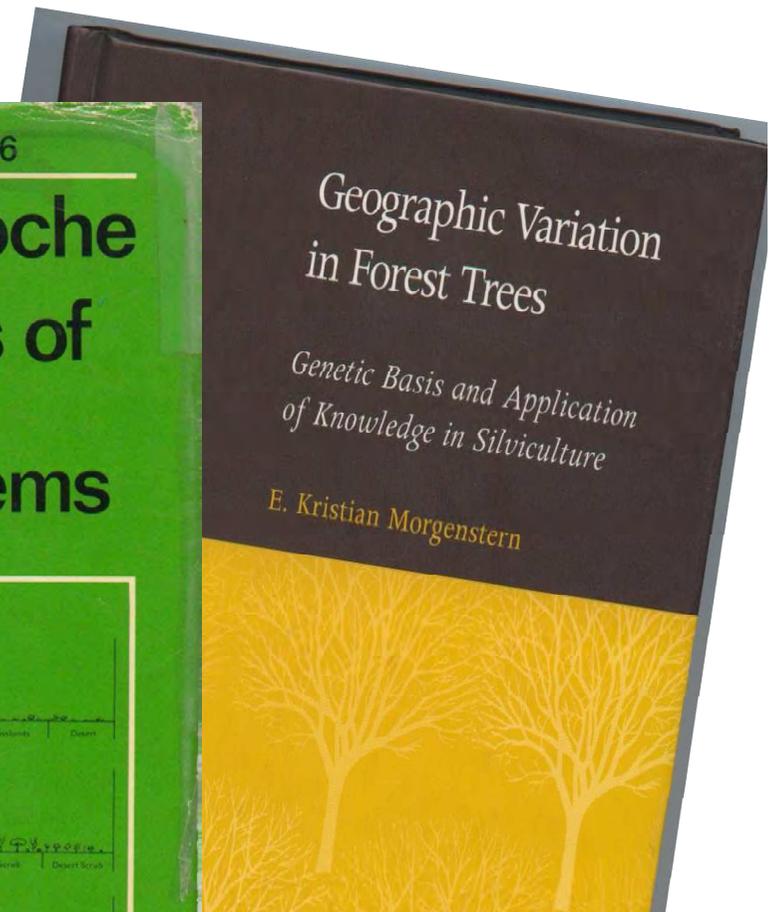
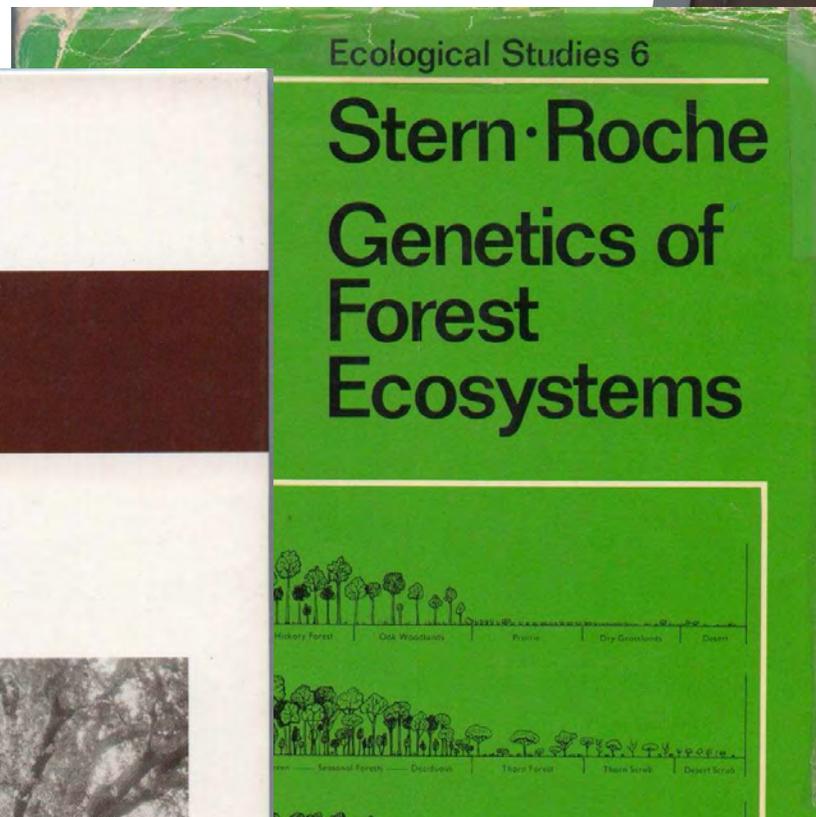
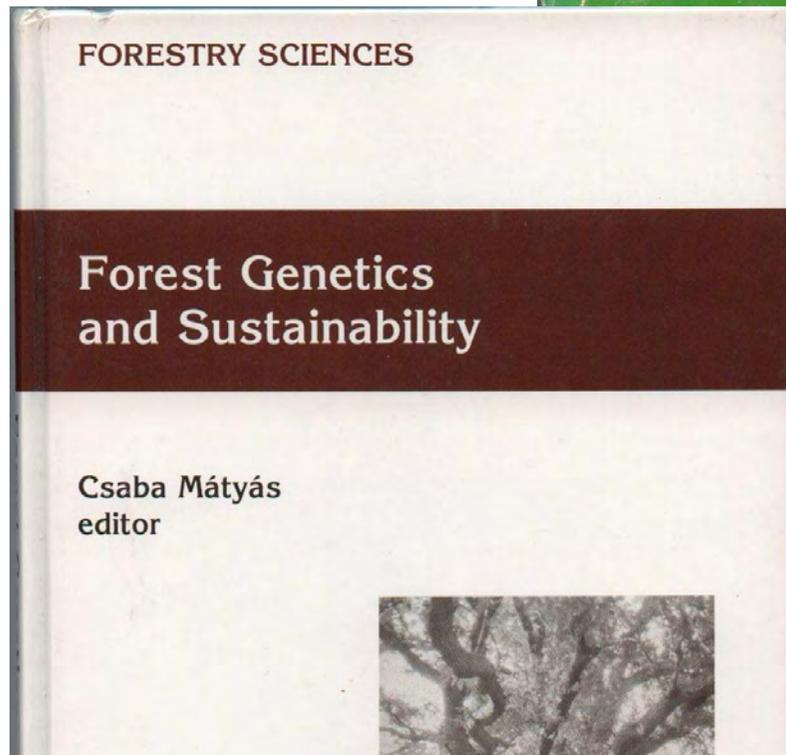
Caractères
phénologiques

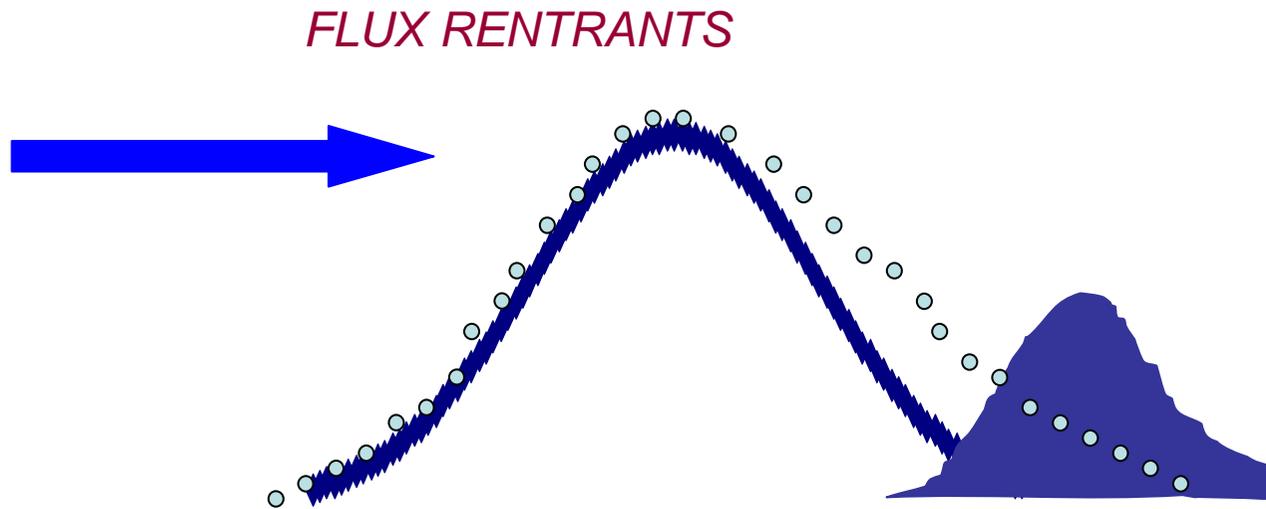
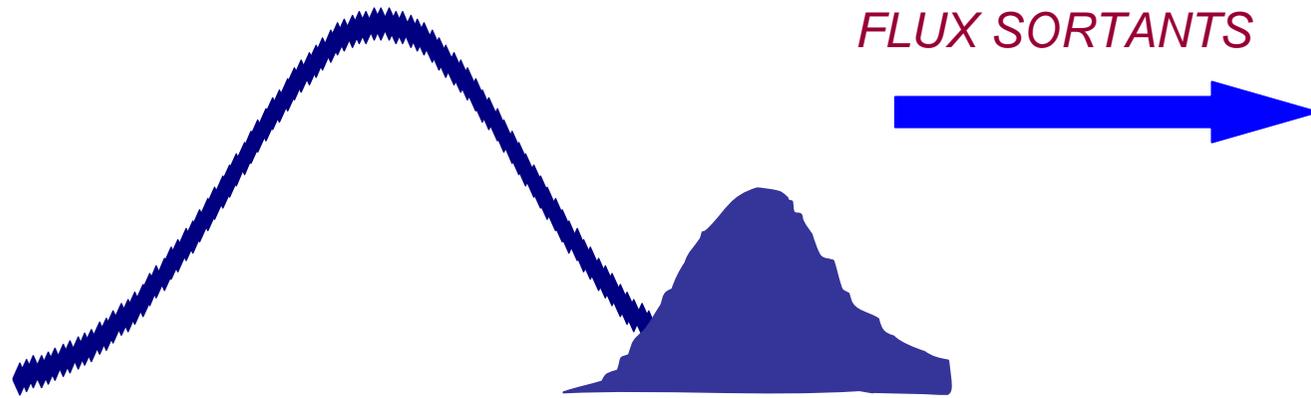


Caractères de
croissance



Caractères
morphologiques





	<i>Mécanismes</i>	<i>Moteurs</i>	<i>Expression au cours du temps</i>
<i>NIVEAU INDIVIDUEL</i>			
	Superdominance	Diversité intra arbre : hétérozygotie	1 génération: Rompu par méiose
	Mécanisme épigénétique	Méthylation ADN	1 génération processus cumulatif ?
<i>NIVEAU POPULATIONNEL</i>			
	Sélection darwinienne	Diversité génétique	Cumulatif sur plusieurs générations
<i>NIVEAU DE L'ESPECE</i>			
	Migration	Fécondité, Composantes des flux	Cumulatif sur plusieurs générations

2

VITESSE D'EVOLUTION DES ESPECES FORESTIERES

DONNEES « EXPERIMENTALES »

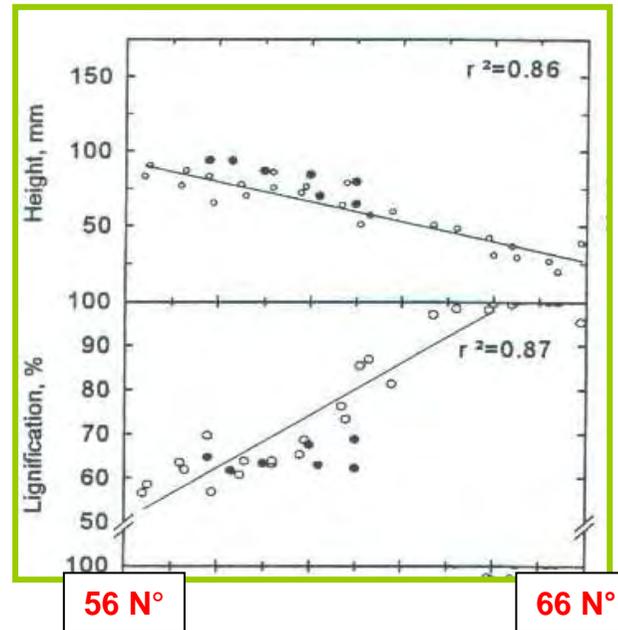
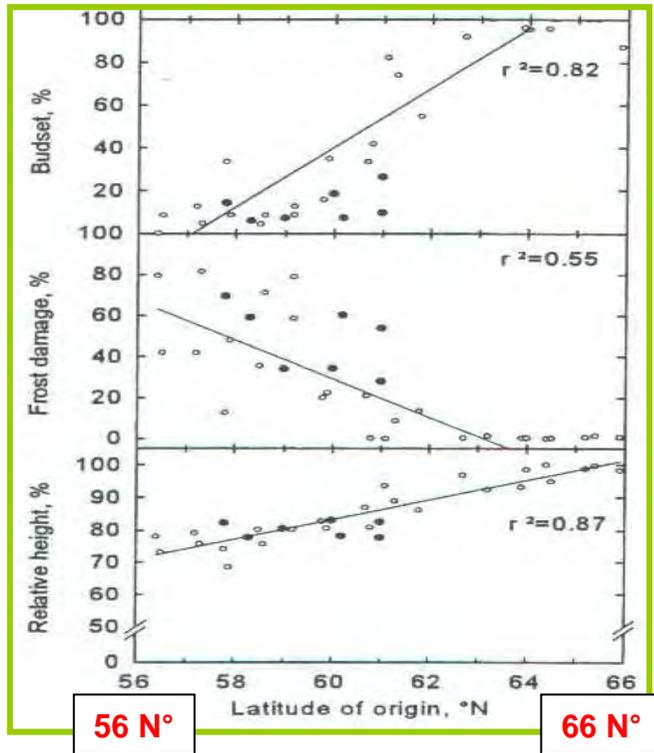
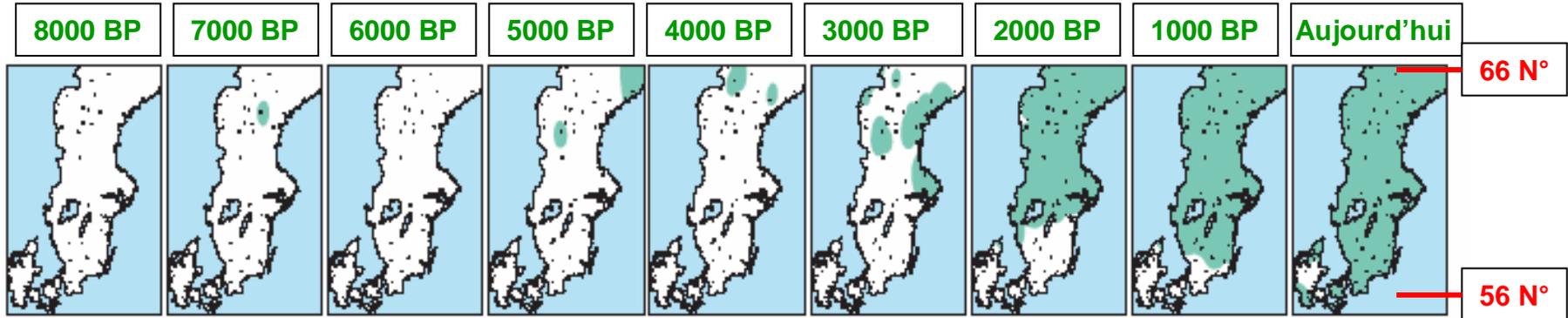
COLONISATION NATURELLE RECENTE

TRANSFERT ARTIFICIEL ESPECE AUTOCHTONE

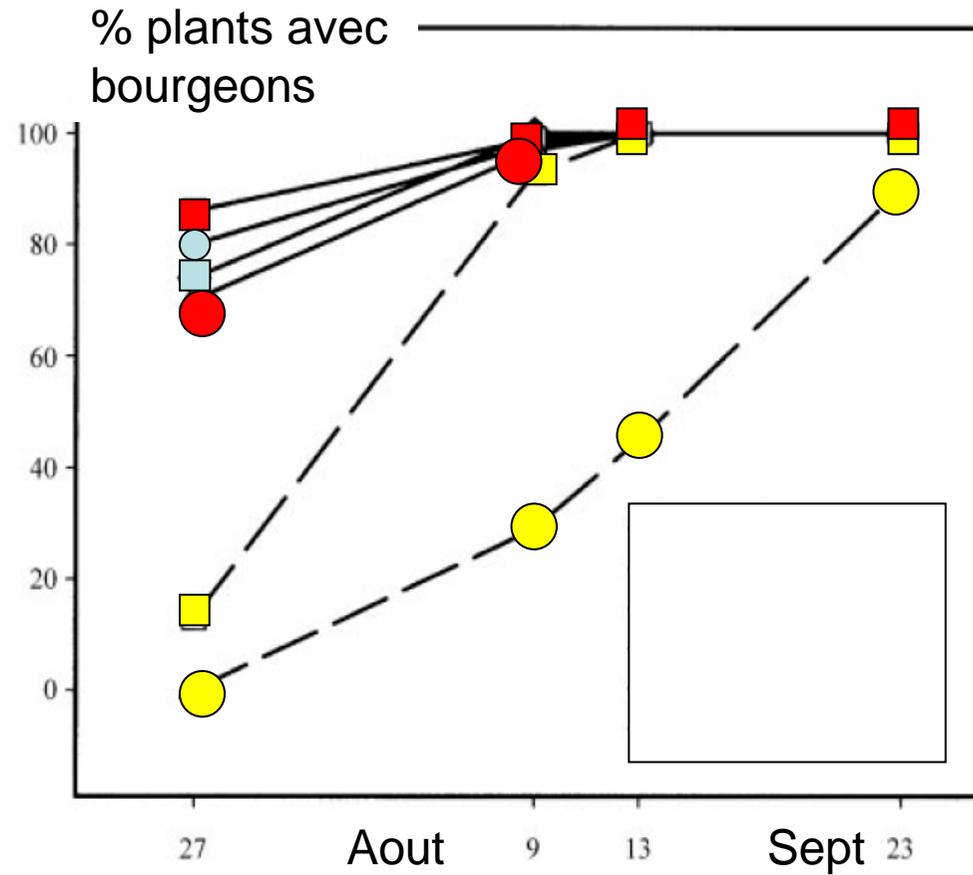
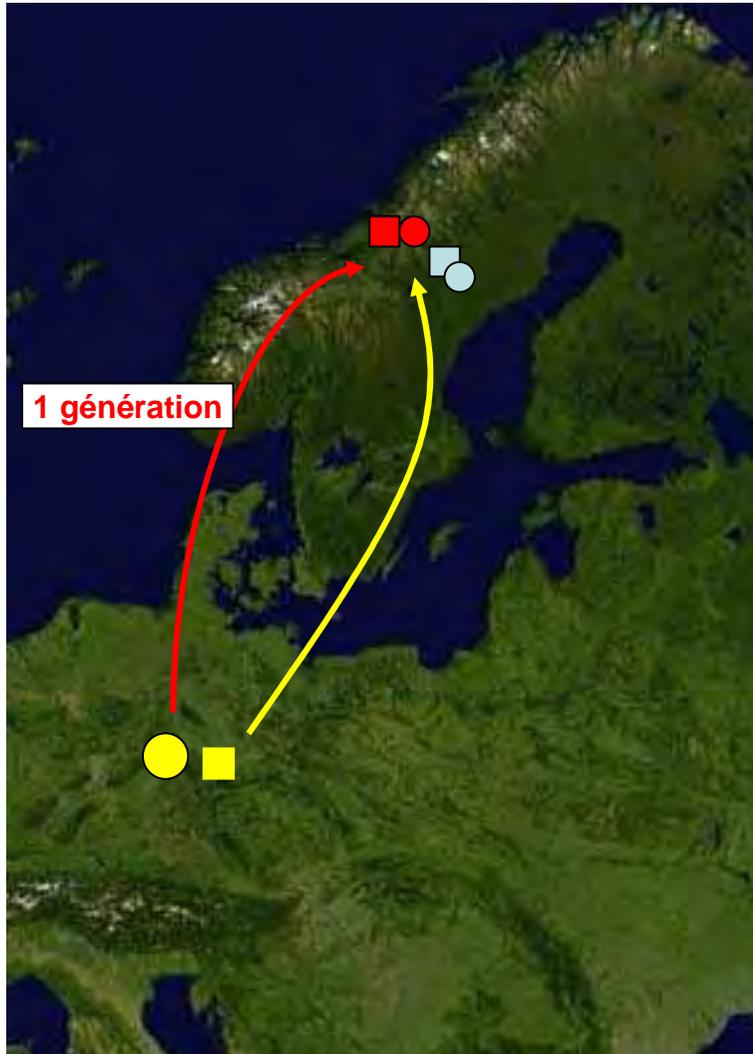
TRANSFERT ARTIFICIEL ESPECE INTRODUITE

PREDICTIONS THEORIQUES

COLONISATION NATURELLE RECENTE

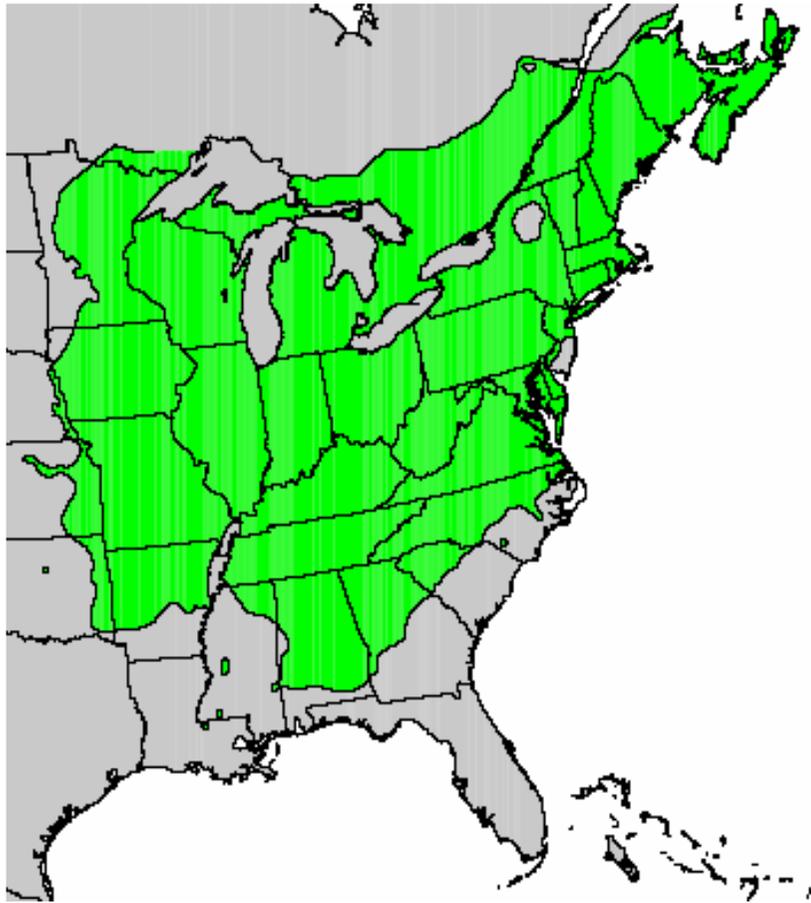


TRANSFERT ARTIFICIEL ESPECE AUTOCHTONE



TRANSFERT ARTIFICIEL ESPECES EXOTIQUE

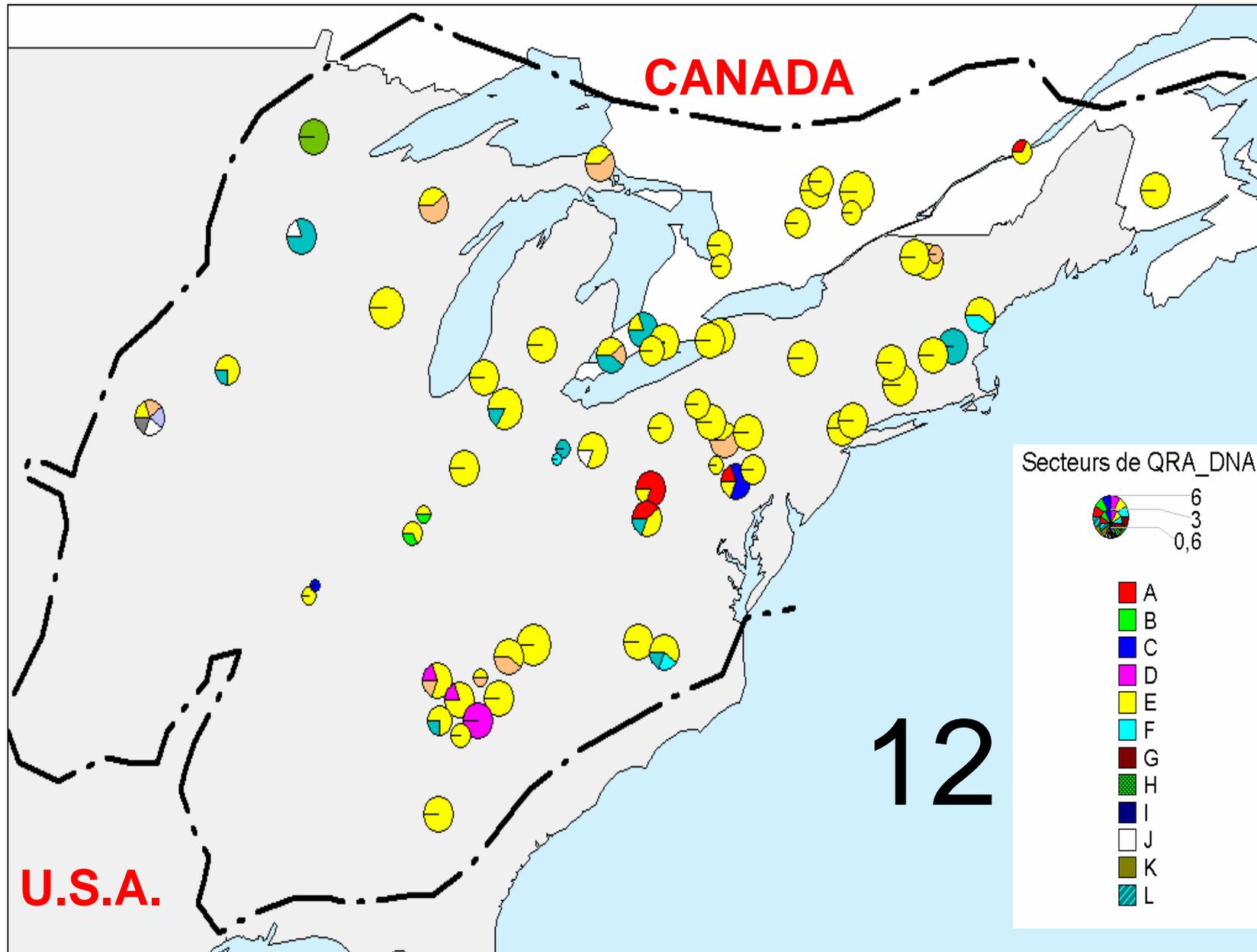
LE CAS DU CHENE ROUGE



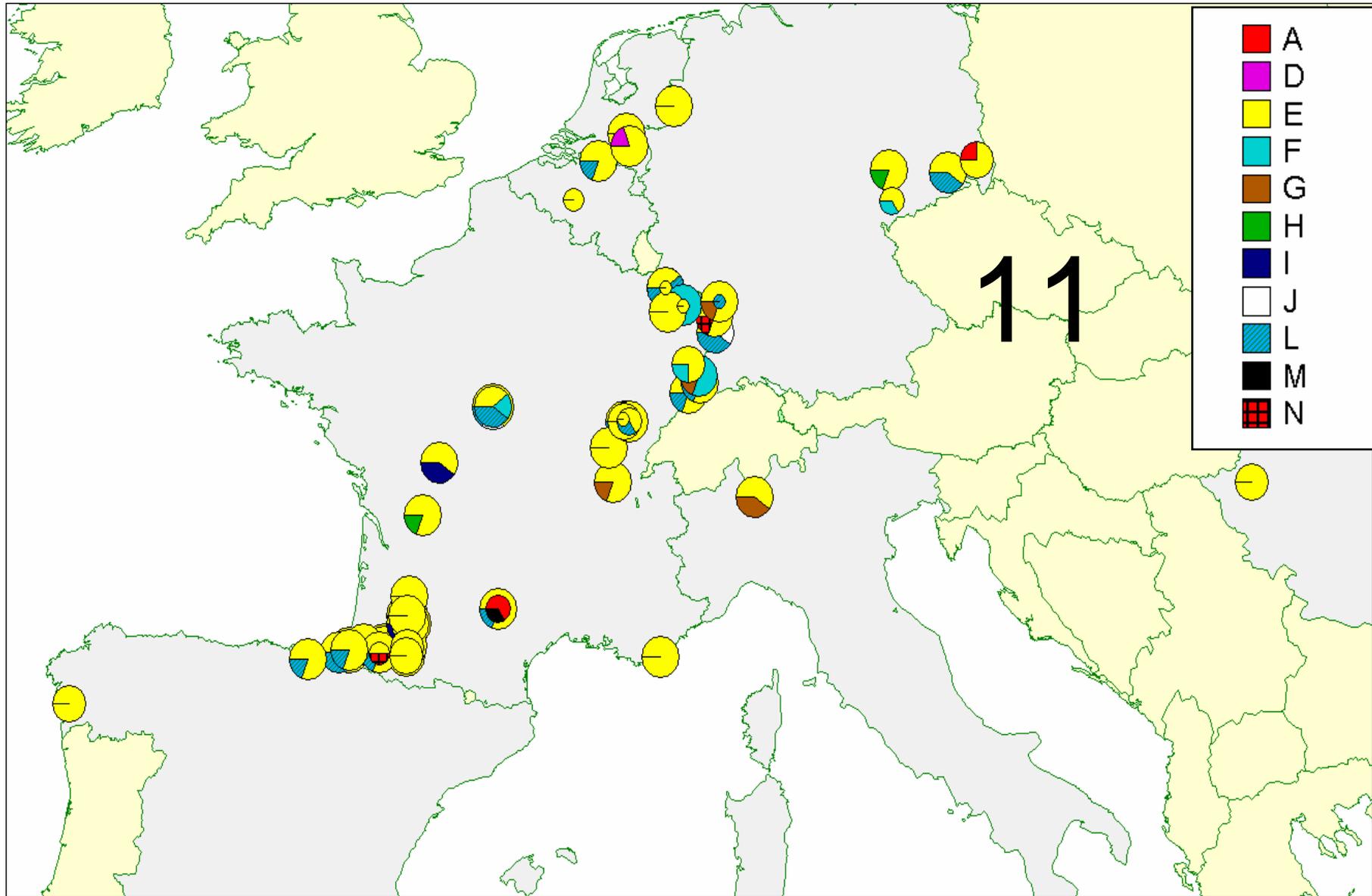
Introduction au 19^{ième} siècle



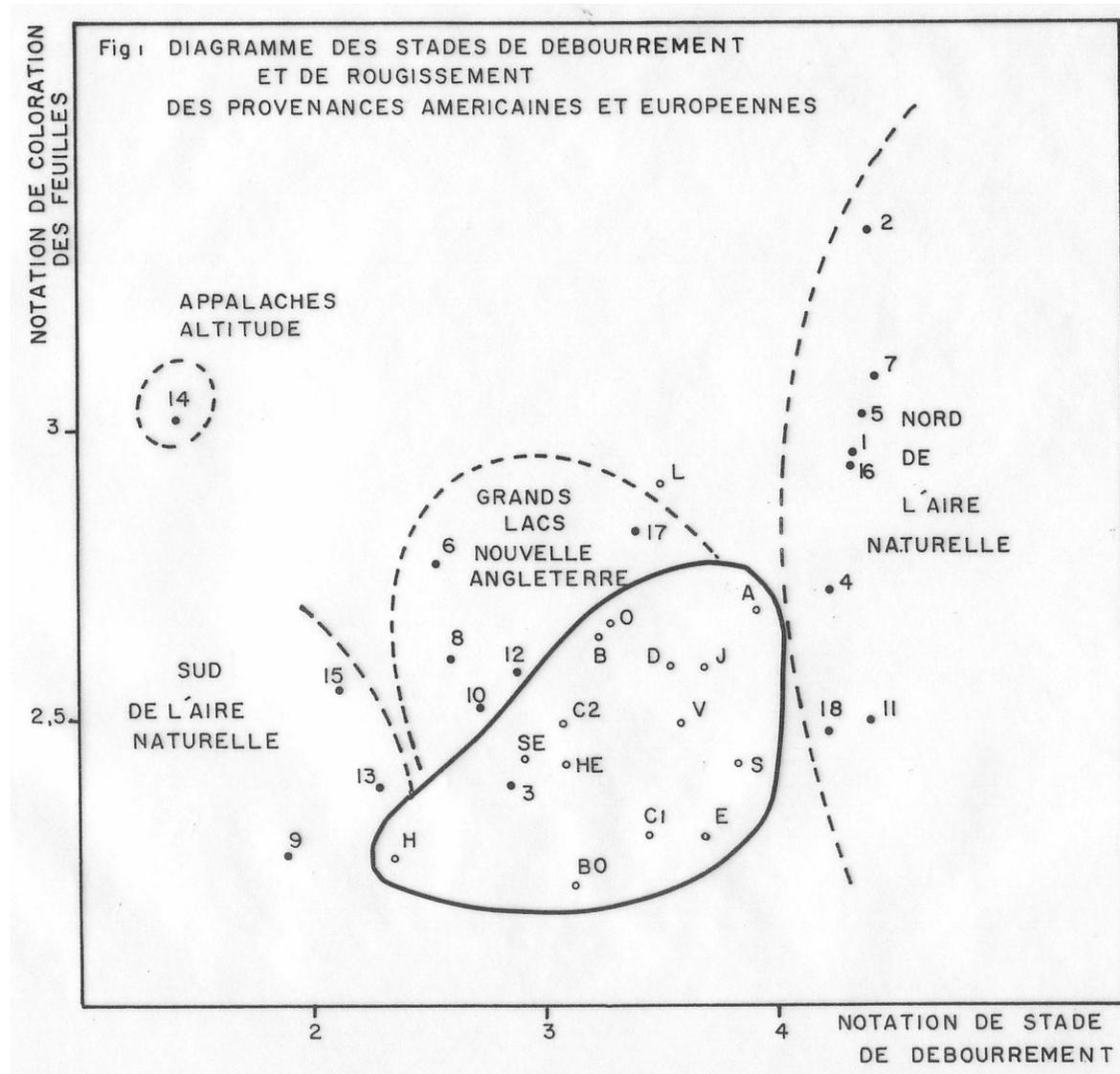
ORIGINE DES POPULATIONS INTRODUITES 1/2



ORIGINE DES POPULATIONS INTRODUITES 2/2

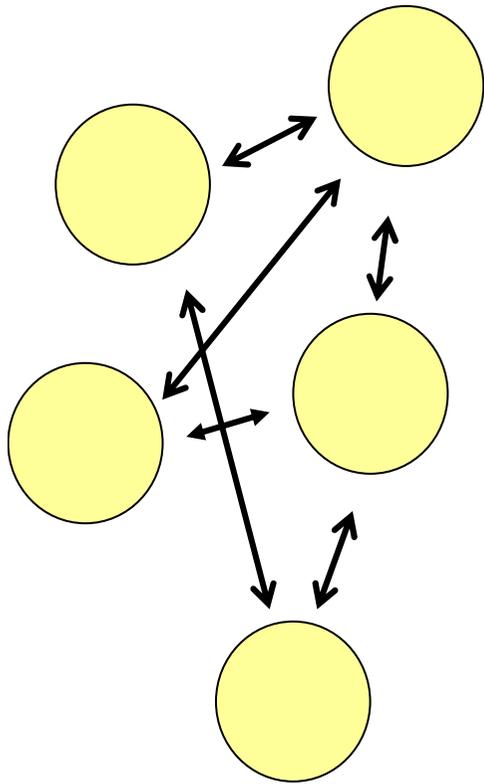


DIFFERENCIATION ENTRE POPULATIONS INTRODUITES ET NATURELLES

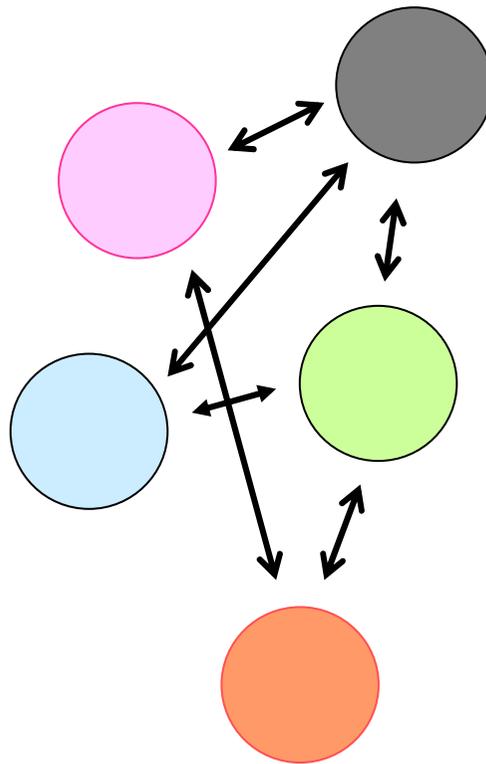


PREDICTIONS THEORIQUES

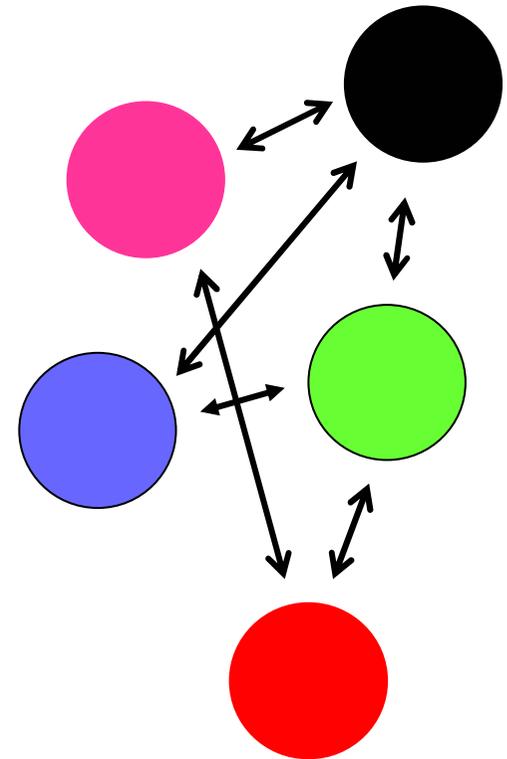
Génération 0



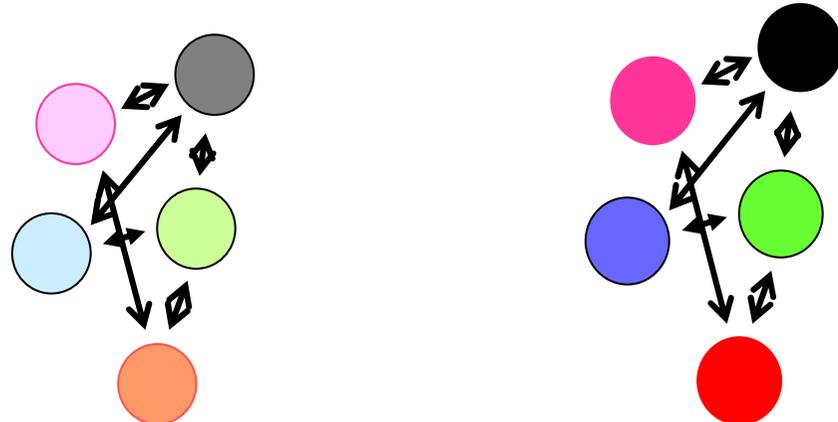
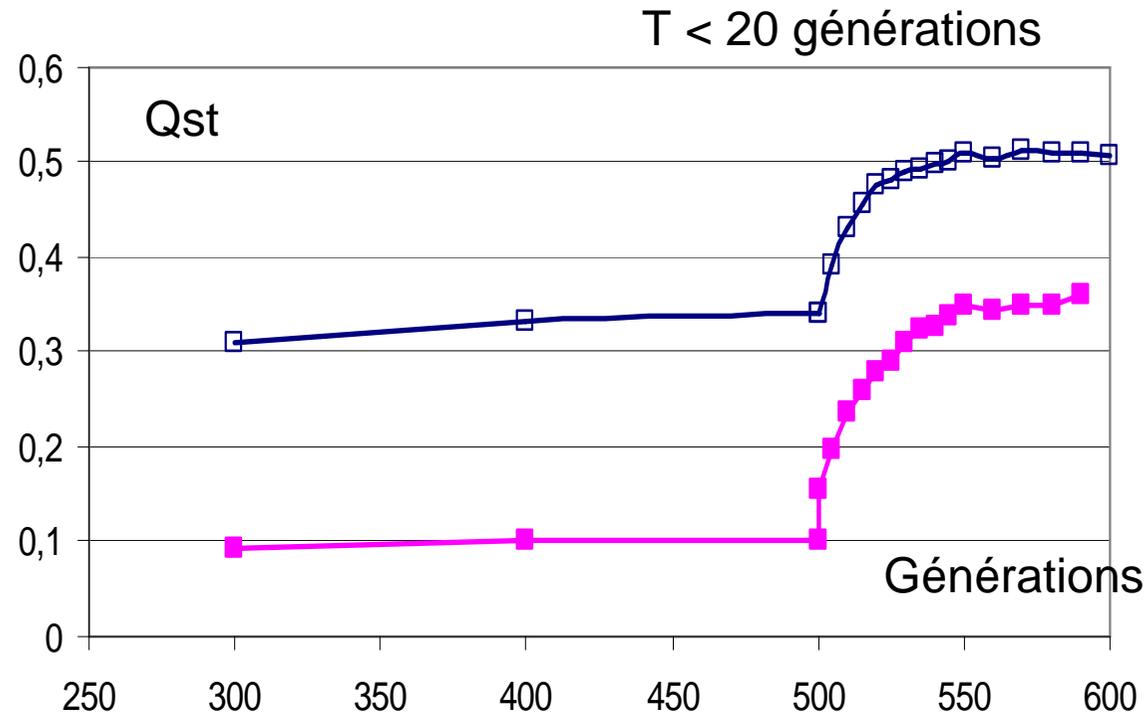
Génération 1 à 500



Génération 501



EVOLUTION DE LA DIFFERENCIATION ENTRE POPULATIONS

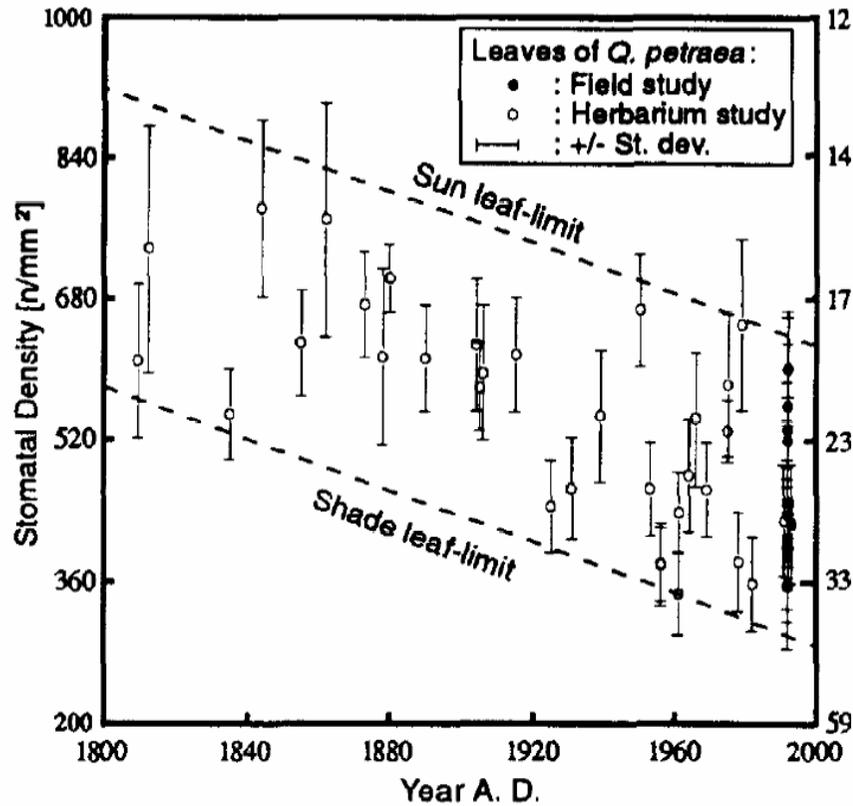


*EVOLUTION RAPIDE EN DEPIT DES LONGUEURS DE
GENERATION*

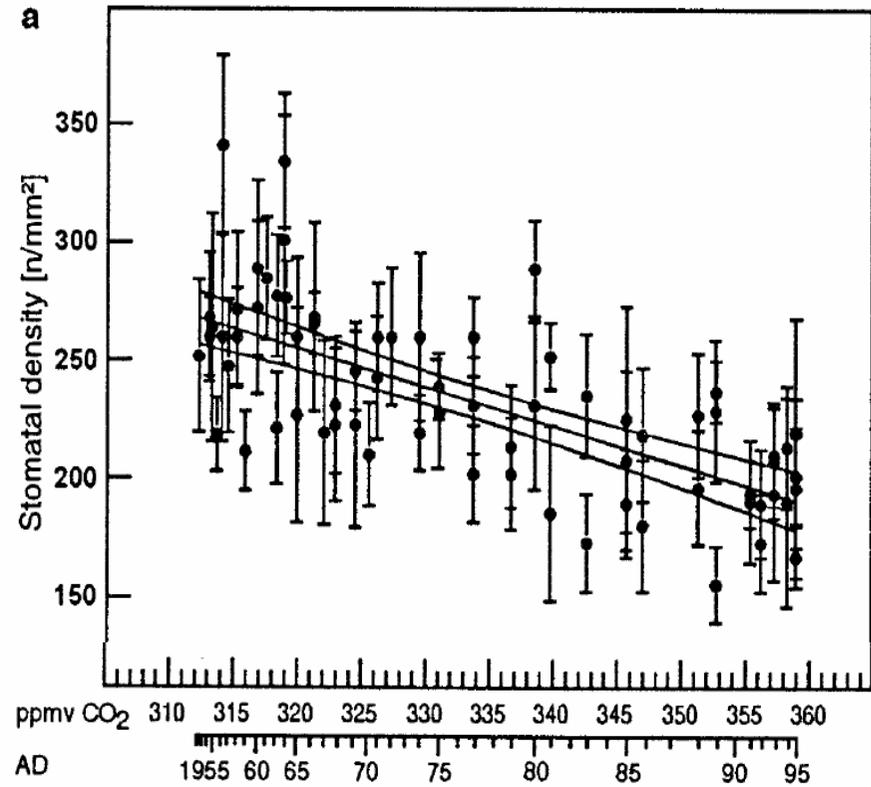
*CONSEQUENCE DIRECTE DE LA DIVERSITE ELEVEE
ET DES FLUX DE GENES ELEVES*

Evolution de la densité de stomates

Quercus petraea



Betula pendula



3

REPONSES PREVISIBLES

EXTINCTION ??

ADAPTATION LOCALE ??

MIGRATION ??

EXTINCTION

Les espèces européennes sont passés par des filtres sélectifs récurrents de grande intensité au cours du quaternaire (plus d'une dizaine)

Les extinctions ont eu lieu au tout début du quaternaire (*Magnolia, Liriodendron, Nyssa, Taxodium, Sequoia* etc..)

Les espèces restantes ont été sélectionnées soit pour leur meilleure adaptation soit pour leur capacité de dispersion plus efficace

Intraspecific responses to climate in *Pinus sylvestris*

GERALD E. REHFELDT†, NADEJDA M. TCHEBAKOVA‡, YELENA I. PARFENOVA‡,
WILLIAM R. WYKOFF†, NINA A. KUZMINA‡ and LEONID I. MILYUTIN‡

†US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 1221 S. Main, Moscow, Idaho 83843 USA,

‡Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036 Russia

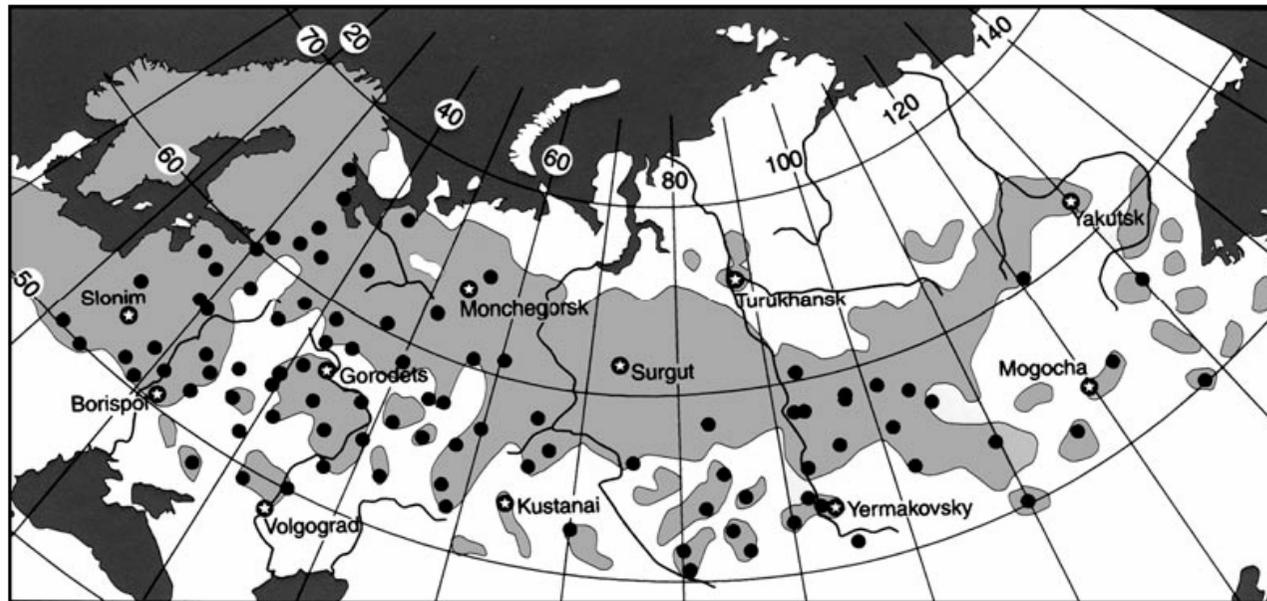
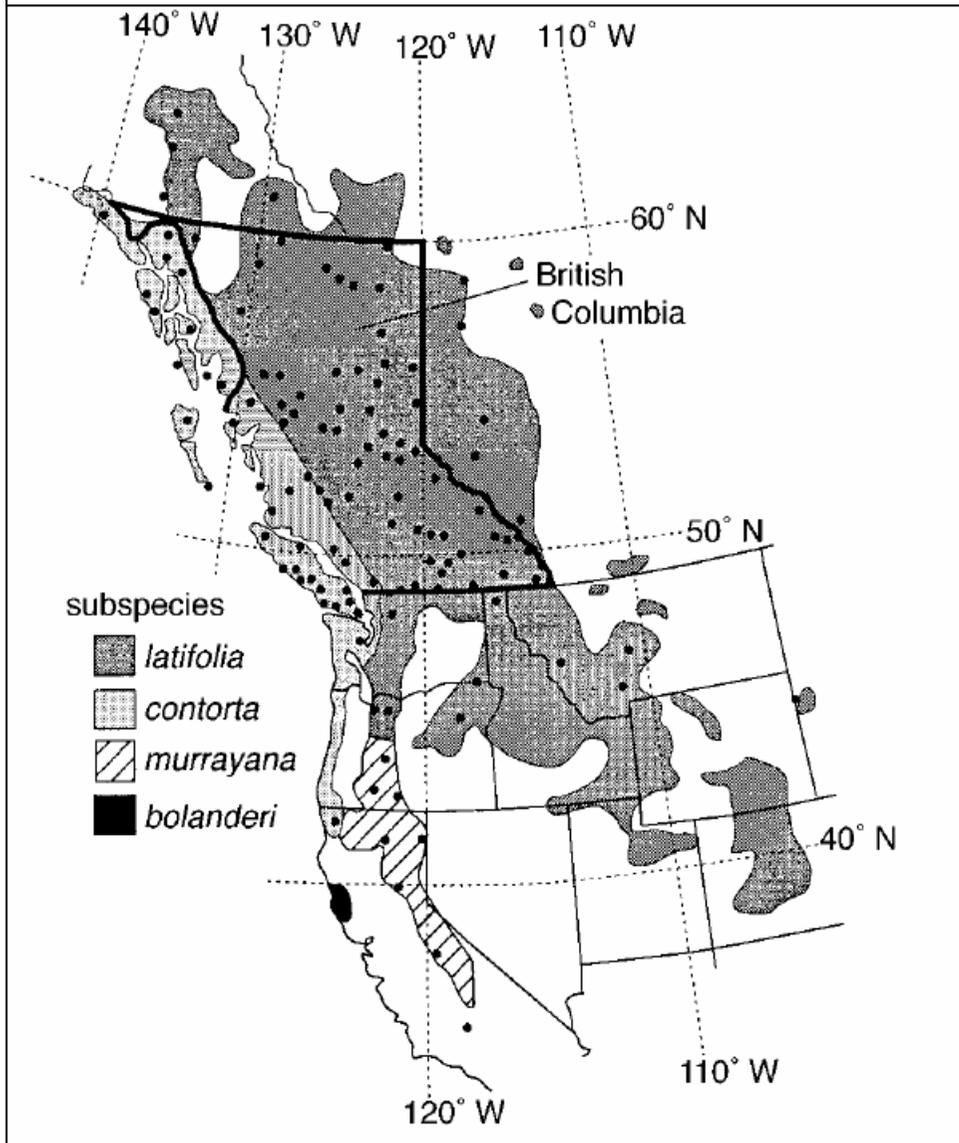


Fig. 1 Distribution (shading) of *P. sylvestris* (after Critchfield & Little, 1966) and location of populations (dots) sampled. Locations that are named are used throughout the paper to illustrate geographical effects.

47 tests de provenances (39 en Europe + 8 en Amérique du Nord)
110 provenances dans 6 tests au moins

GENETIC RESPONSES TO CLIMATE IN *PINUS CONTORTA*: NICHE BREADTH, CLIMATE CHANGE, AND REFORESTATION

GERALD E. REHFELDT,^{1,3} CHENG C. YING,² DAVID L. SPITTLEHOUSE,² AND DAVID A. HAMILTON, JR.¹



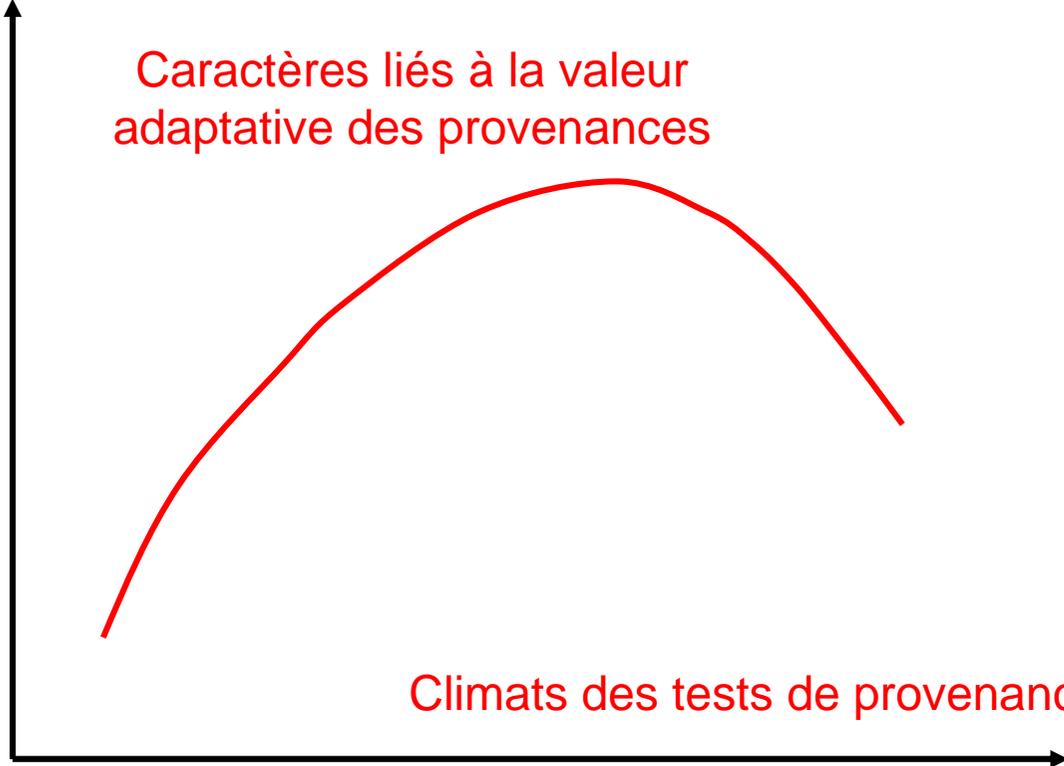
63 tests de provenances
126 populations dans 5 tests au moins

Rehfeldt et al., 2001 Climatic change 50: 355 - 376
Rehfeldt et al., 1999 Ecology Monographs, 69: 175-407

COURBES DE REPONSE DES PROVENANCES

SURVIE
HAUTEUR A UN AGE DE REF

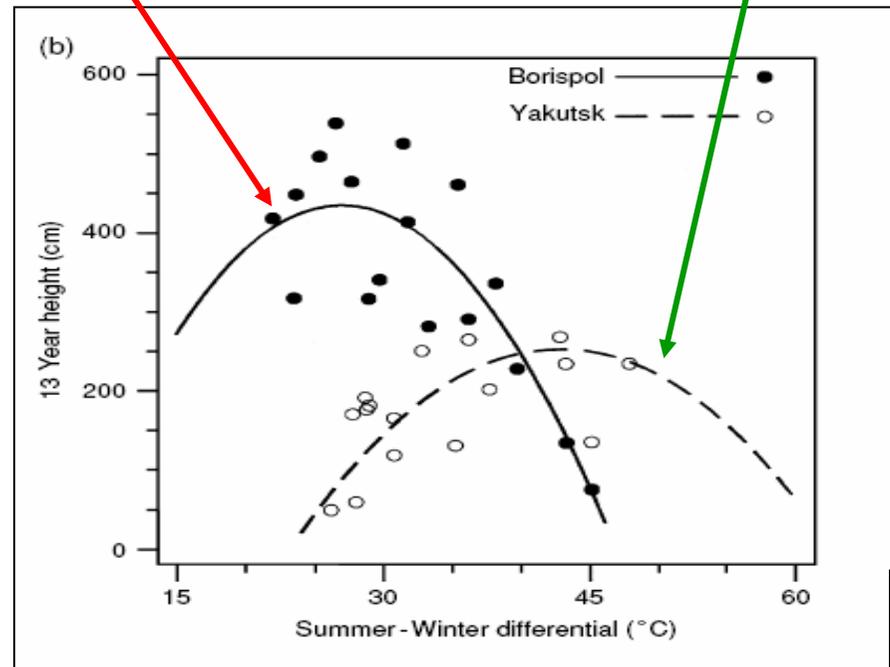
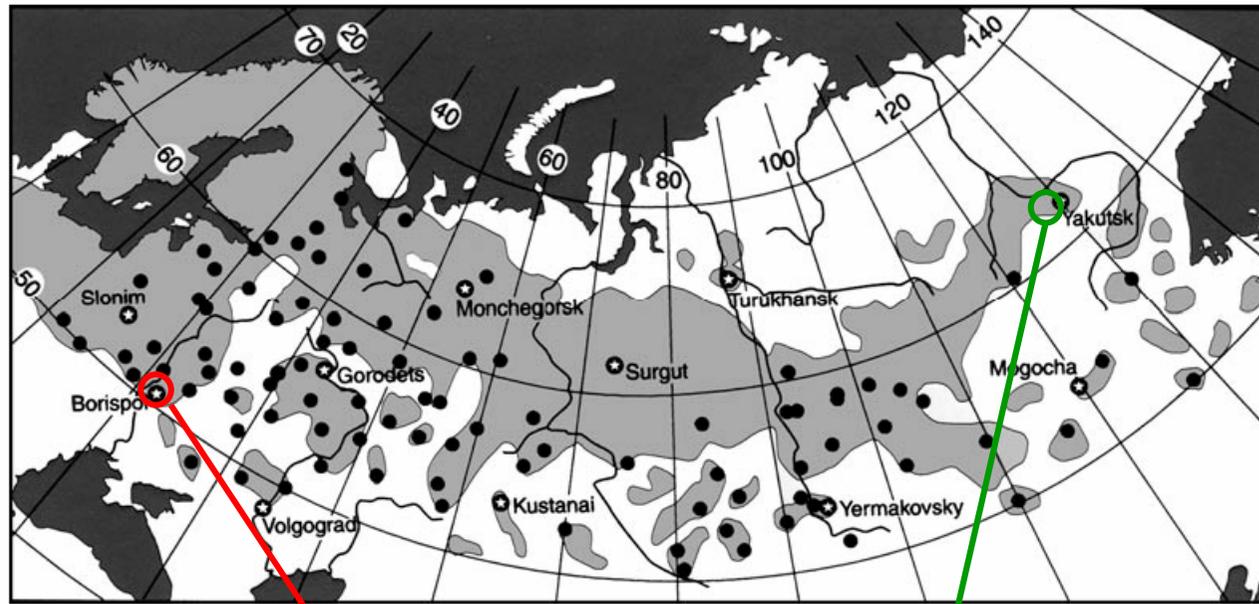
Caractères liés à la valeur adaptative des provenances



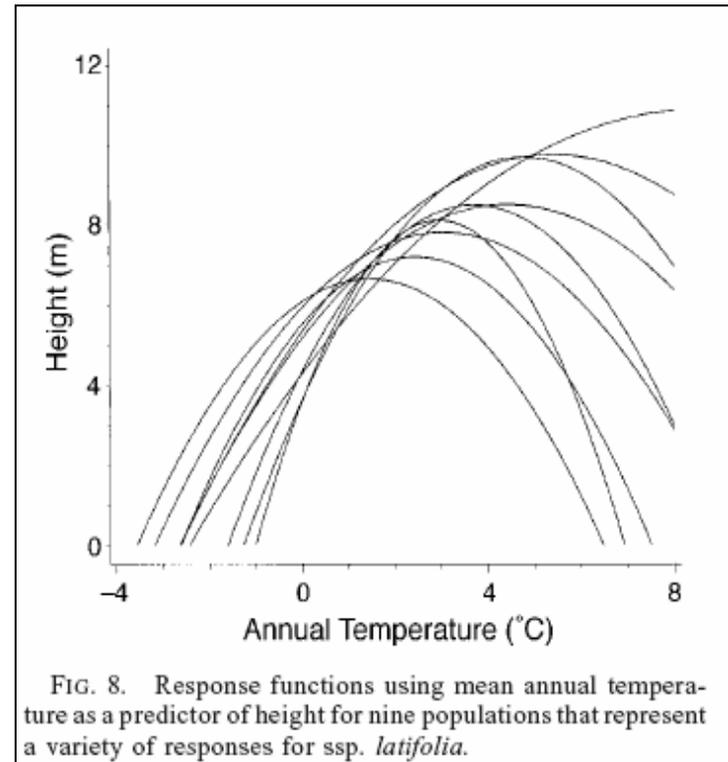
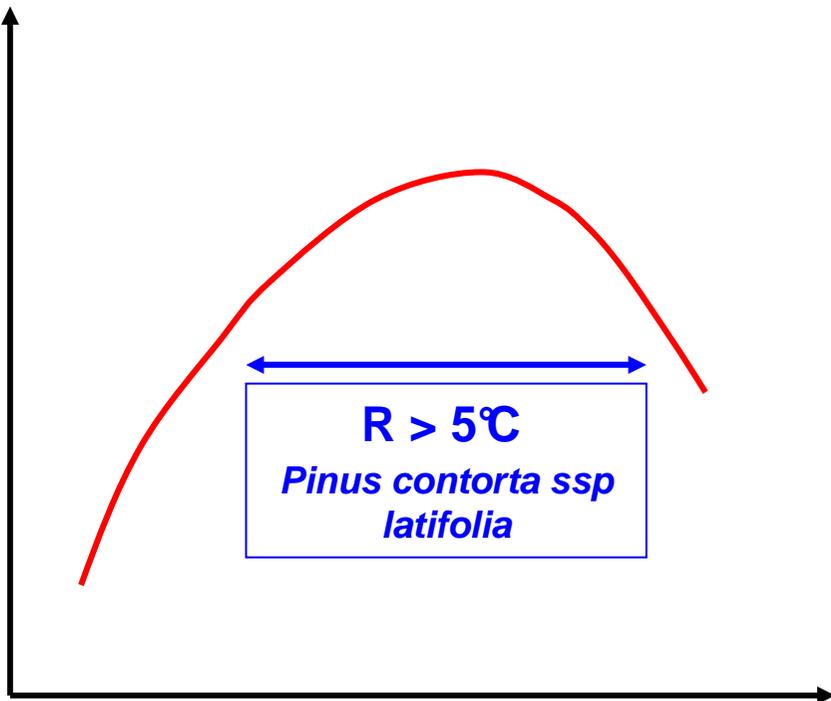
Climats des tests de provenances

Pinus contorta
Température annuelle moyenne
 Θ du mois le + chaud
 Θ du mois le + froid
Nbre de jours sans gel
Période sans gel
Précipitation annuelle
Précipitation estivale

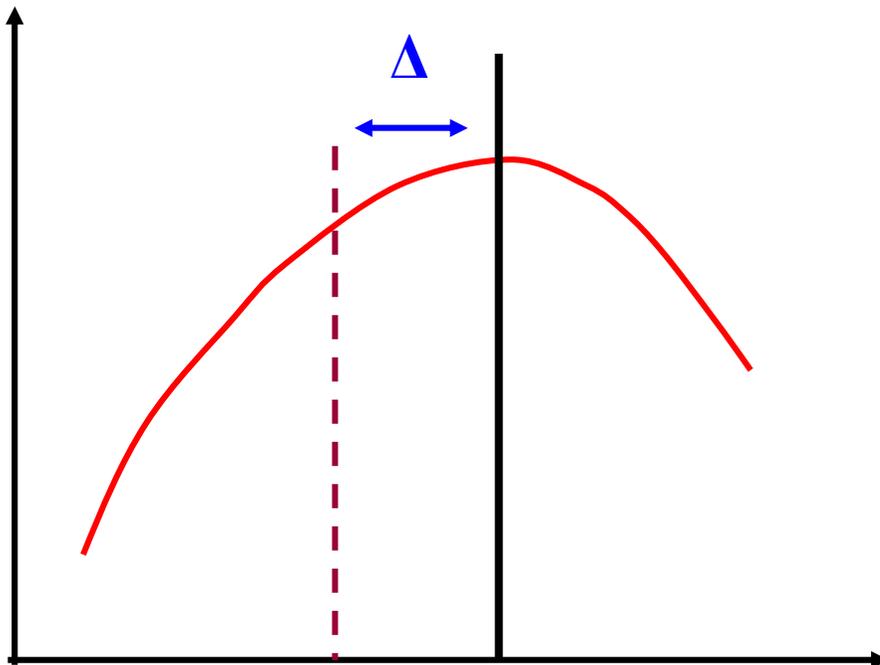
Pinus sylvestris
Température annuelle moyenne
Degrés jours > 5°C
 Θ du mois le + froid
Différence Θ été-hiver
Précipitation annuelle



Rehfeldt et al., 2002
Global Change Biology 50: 355 - 376

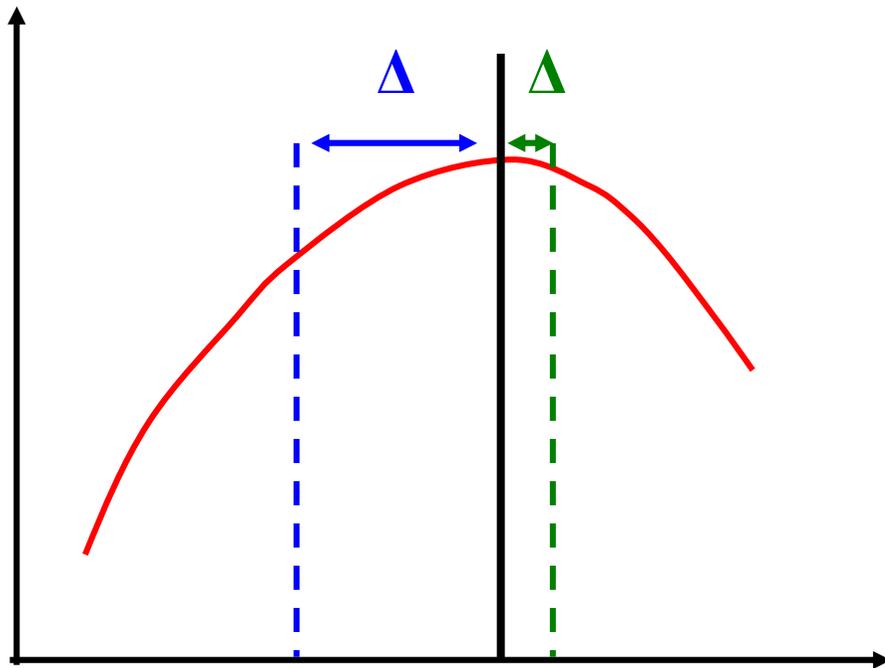


CAPACITE DE REPONSES ADAPTATIVES DES PROVENANCES

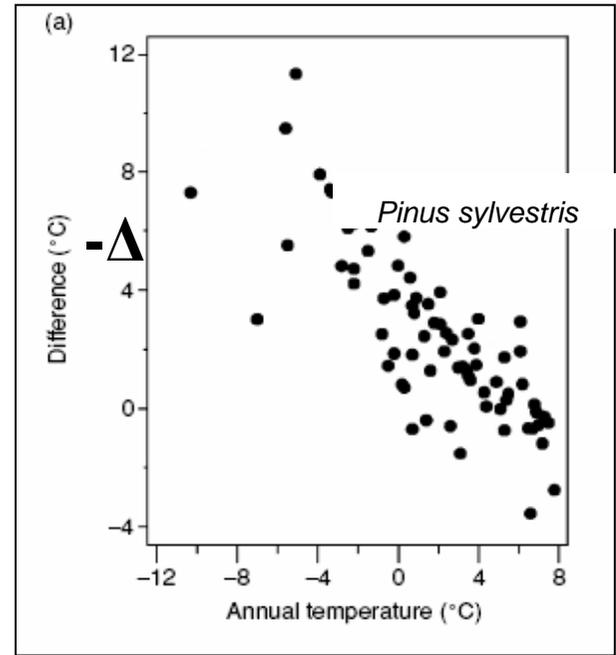
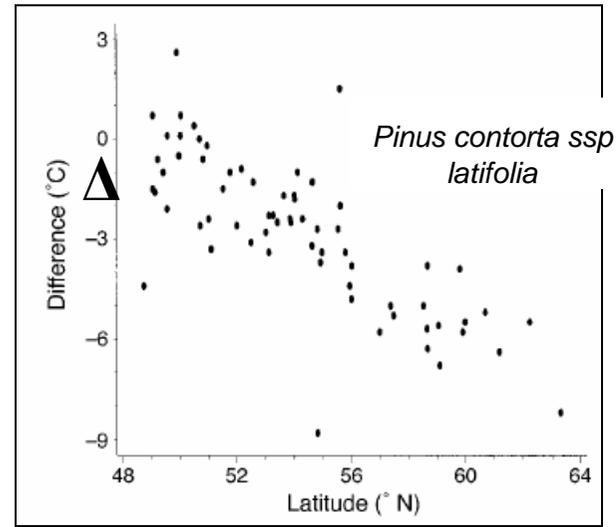


	Δ moyen
<i>Pinus sylvestris</i>	2,7°C
<i>Pinus contorta</i> <i>Ssp latifolia</i>	2,8°C

REPONSES DIFFERENTIELLES DES PROVENANCES



$$\Delta = \theta_{\text{prov}} - \theta_{\text{opt}}$$

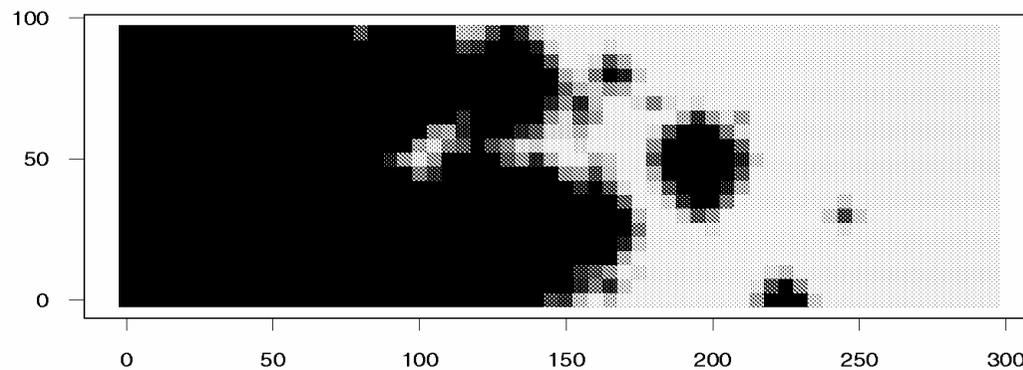


Rehfeldt et al., 2002 Global Change Biology 50: 355 - 376
 Rehfeldt et al., 1999 Ecology Monographs, 69: 175-407

MIGRATION

EFFICACITE DES MECANISMES DE DISPERSION

-Dispersion par « saut de puces »



- Populations reliques en faible densité

-Migration « par pollen » via hybridation par une espèce relais

10 à 50 km / siècle << 200 à 500 km de déplacement enveloppe climatique

CONCLUSIONS

EFFICACITE DES MECANISMES EVOLUTIFS

EVOLUTION RAPIDE

ADAPTATION LOCALE

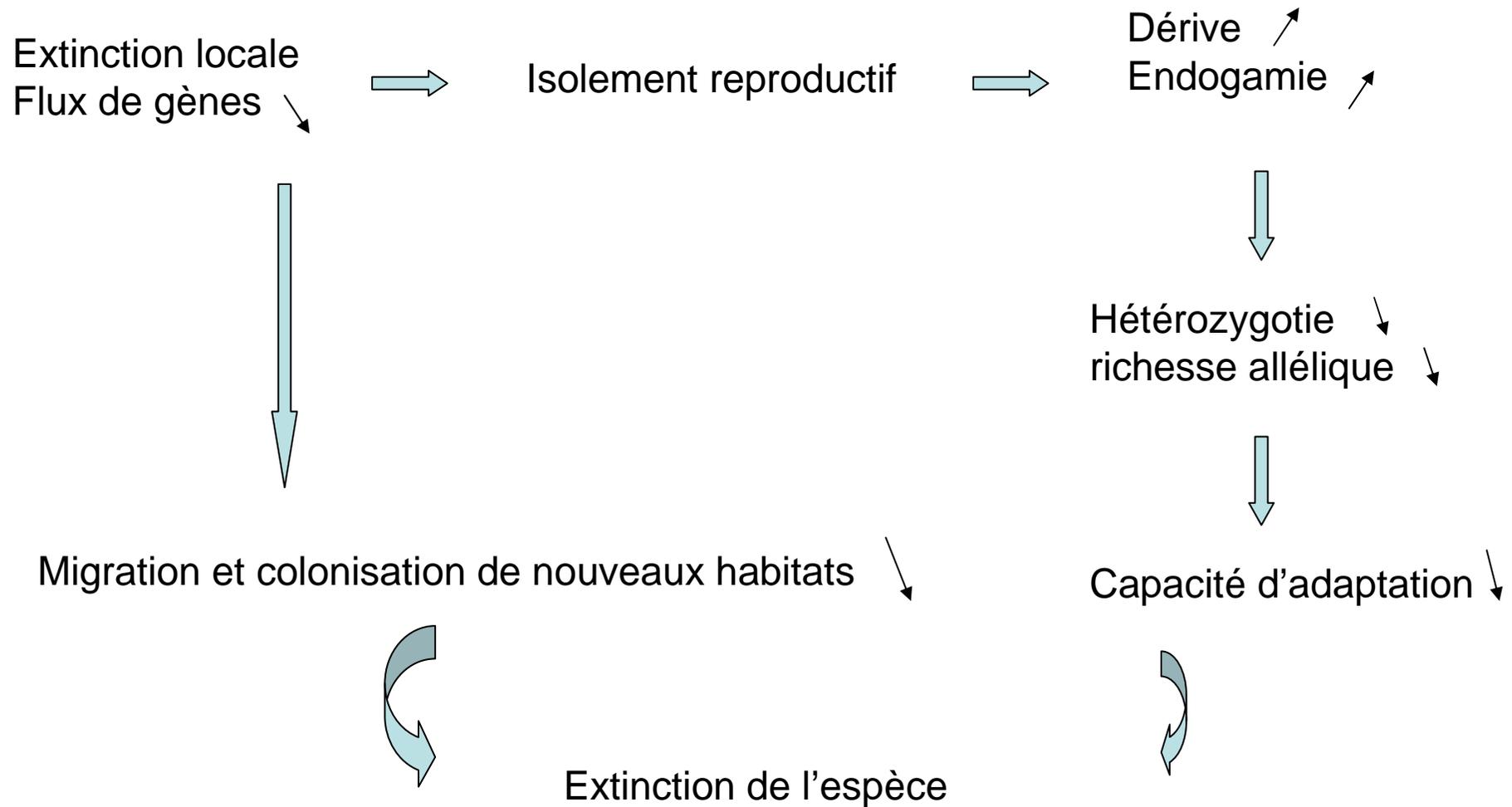
NOUVEAUX FLUX MIGRATOIRES

CONCLUSIONS

....mais la situation actuelle des espèces tropicales diffère assez de celle passée des espèces tempérées

- populations fragmentées; faible densité
- espèces endémiques;
- interactions importantes avec les animaux (pollinisation, dissémination des graines)
- compétition
- modification importante du paysage par l'action de l'homme: perte d'habitats et fragmentation

CONCLUSIONS



Sur le court terme, le risque d'extinction est sans doute surestimé, mais à long terme un processus cumulatif risque d'être enclenché