



La diversité génétique des arbres forestiers : un enjeu d'importance face aux changements climatiques

Catherine Bastien

► To cite this version:

Catherine Bastien. La diversité génétique des arbres forestiers : un enjeu d'importance face aux changements climatiques. Journée APBG Orléans-Tours. Journée régionale de formation des professeurs de SVT, 2012. hal-02805536

HAL Id: hal-02805536

<https://hal.inrae.fr/hal-02805536>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La diversité génétique des arbres forestiers : un enjeu d'importance face aux changements climatiques

Catherine Bastien

**UR0588, « Amélioration, Génétique et Physiologie forestières »,
INRA-Orléans**

2163 Avenue de la pomme de pin
CS40001, F45075 Orléans Cedex 2

Plan

- La **diversité génétique** au sein des espèces forestières: une composante majeure de biodiversité des écosystèmes forestiers
- Comment **mesurer** la diversité génétique intra-spécifique ?
 - par le phénotype
 - à l'aide d'outils moléculaires
- Les **changements climatiques** et leurs **impacts** sur les forêts
- Quelles **alternatives adaptatives** pour les espèces forestières?
 - plasticité phénotypique ou acclimation
 - adaptation des populations
 - migration
- Quelles **interventions humaines** possibles ?

Laisser faire? Accompagner? Anticiper ? Conserver?

A photograph of a forest landscape. In the foreground, there are several young, green pine trees growing on a slope. In the middle ground, there are taller, mature pine trees, some of which are dead or dying, showing bare branches. The background features a mountain range under a clear blue sky. A semi-transparent purple box is overlaid on the image, containing the title text.

La diversité intraspécifique des arbres forestiers

DIVERSITÉ BIOLOGIQUE :

Le concept de **diversité biologique**, ou **biodiversité**, a été défini par la Convention sur la Biodiversité comme
« *la variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la **diversité au sein des espèces et entre espèces** ainsi que celle des **écosystèmes** »*

(**Article 2** de la Convention sur la Biodiversité, 1992).

Une grande richesse d'espèces même si les dernières glaciations ont appauvri la flore européenne

Nb d'espèces autochtones

	Résineux	Feuillus	
EUROPE	5	45	
AMERIQUE	23	148	(Latitude > 45° N)

→ Exploration de l'intérêt d'espèces exotiques
(Douglas, Chêne rouge, Cèdre)

Effet limité de la domestication

- Début de notre ère: besoins domestiques ou industriels
- XIIe - XVIe siècle: développement de la sylviculture (3 à 5 générations)
- Milieu du XIXe siècle: transfert de populations et introduction d'espèces exotiques

Des aires naturelles de distributions vastes

chêne sessile



hêtre



Pin maritime



Pin sylvestre



Des habitats et climats variés

Des espèces longévives.....



qui doivent s'adapter à des environnements changeants

Des espèces allogames ...

Peuplier noir



Espèce dioïque

Pin sylvestre



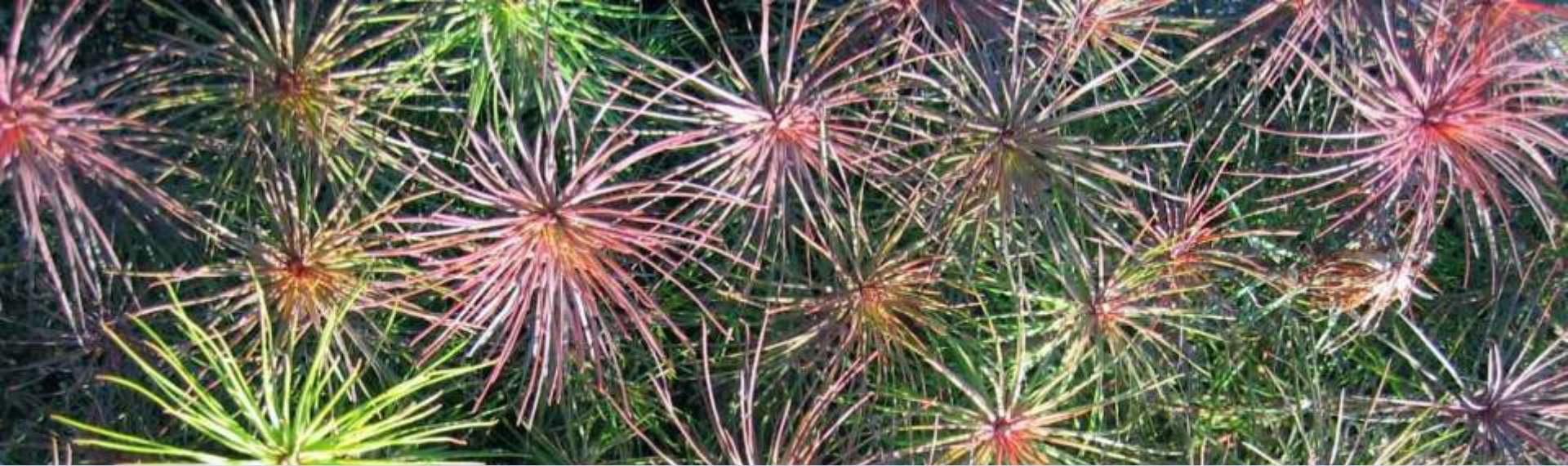
Inflorescences séparées

Merisier



Un système d'auto-incompatibilité

Avec une reproduction favorable au brassage génétique



Comment mesurer la diversité génétique ?

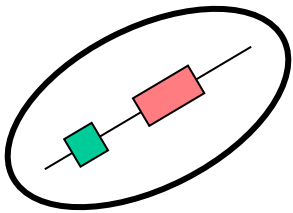


Phénotype et Génotype



P PHENOTYPE

= pour un caractère donné, **valeur observée ou mesurée** sur un individu ou groupe d'individus . Résultat de l'action du milieu sur le génotype



G GENOTYPE

= pour un caractère donné, **arrangement particulier de gènes** caractérisant un individu ou un groupe d'individus

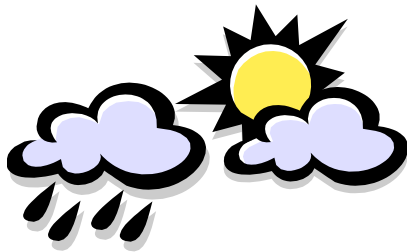
Appréciation de la diversité génétique par le phénotype

$$P = G + E + G \times E$$

G → Génotype

E → Environnement

G × E → Interaction entre le génotype et le milieu



↑ Installation de dispositifs expérimentaux multisites
(*Chênes, Douglas, Mélèzes, Pin sylvestre, Cèdre, Merisier*)

Appréciation de la diversité génétique par le phénotype

- **Rassembler** des collections de populations venant de l'ensemble de l'aire de répartition de l'espèce

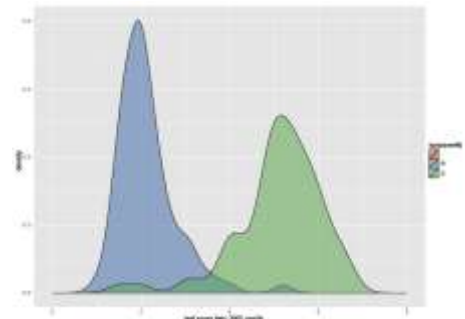


Provenances chênes blancs

- **Comparer** les populations dans un environnement commun en dispositif expérimental (répétition, randomisation)



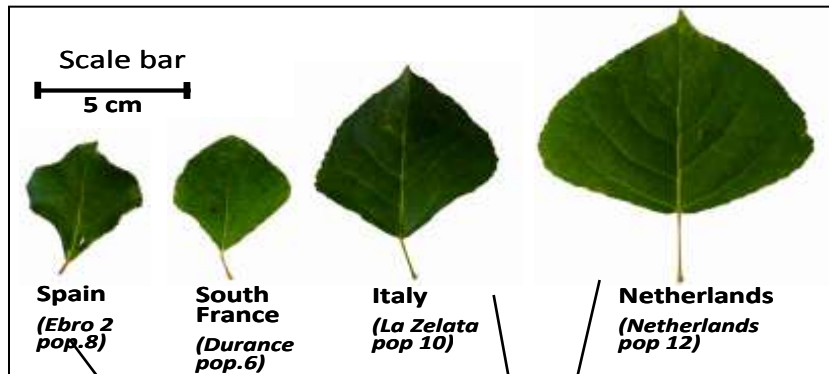
- **Mesurer** les différences entre populations pour un grand nombre de caractères d'intérêt
- Q_{st} = Mesure la différenciation entre populations



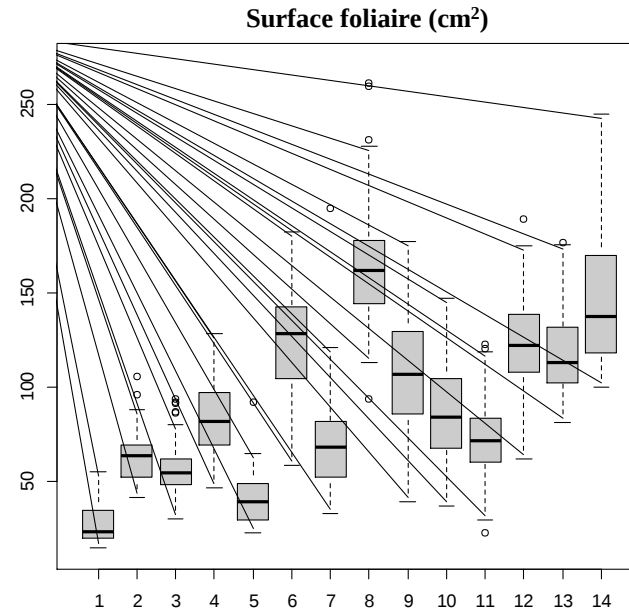
Appréciation de la diversité génétique par le phénotype : quels traits?

Des caractères morphologiques

Surface foliaire, longueur pétiole, ...



Peuplier noir



$Q_{st} = 64.30$

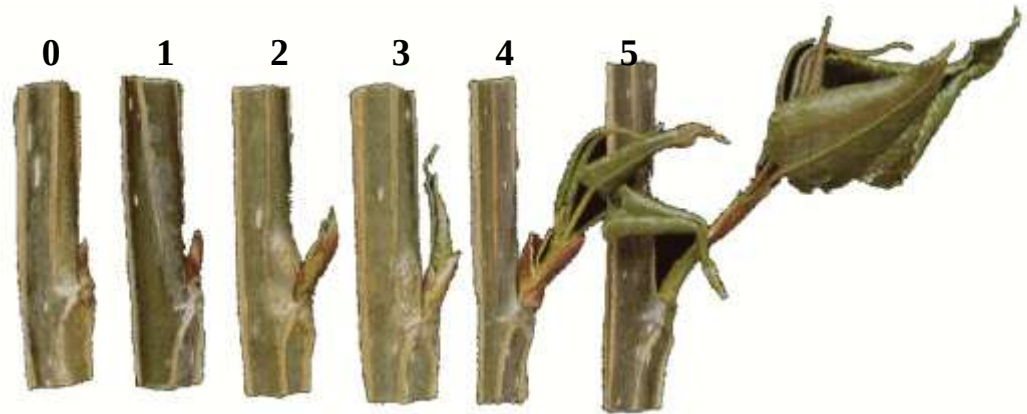
- Une grande variabilité génétique entre populations mais aussi intra-population
- Un gradient latitudinal marqué (adaptation locale)

Appréciation de la diversité génétique par le phénotype : quels traits?

Calage de la phénologie de la croissance

Débourrement végétatif

→ Éviter les gelées tardives de printemps



Formation du bourgeon terminal

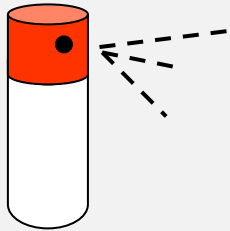
→ Éviter les gelées précoces d'automne
Endurcissement pour l'hiver



Appréciation de la diversité génétique par le phénotype : quels traits?

Résistance aux ravageurs (maladies, insectes)

Inoculation contrôlée



*Contrôle de la variabilité
de l'agent pathogène*

Inoculation naturelle



Score de la feuille la plus infectée

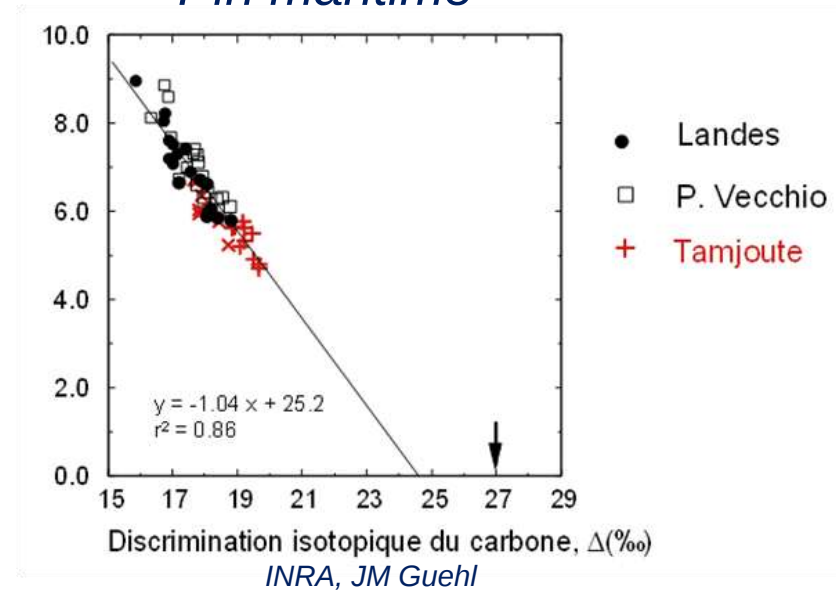
Réponse de la plante

Appréciation de la diversité génétique par le phénotype : quels traits?

Efficience d'utilisation de l'eau
= Photosynthèse / Transpiration
= Matière sèche accumulée / eau consommée



Pin maritime



Une méthode de phénotypage haut-débit
d'un caractère physiologique complexe

La discrimination isotopique du C
durant l'assimilation de CO_2 est liée à
l'efficience d'utilisation de l'eau

Appréciation de la diversité génétique par le phénotype : quels traits?

Qualité du bois

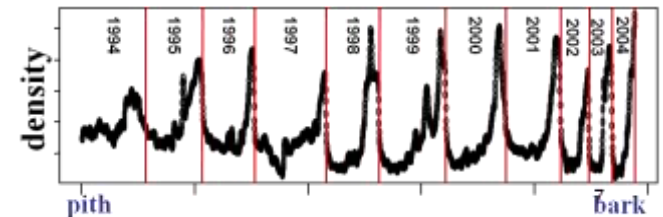
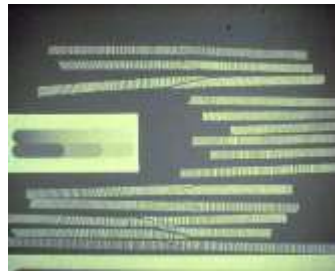
Propriétés
mécaniques

Ressource ligno-
cellulosique

durabilité

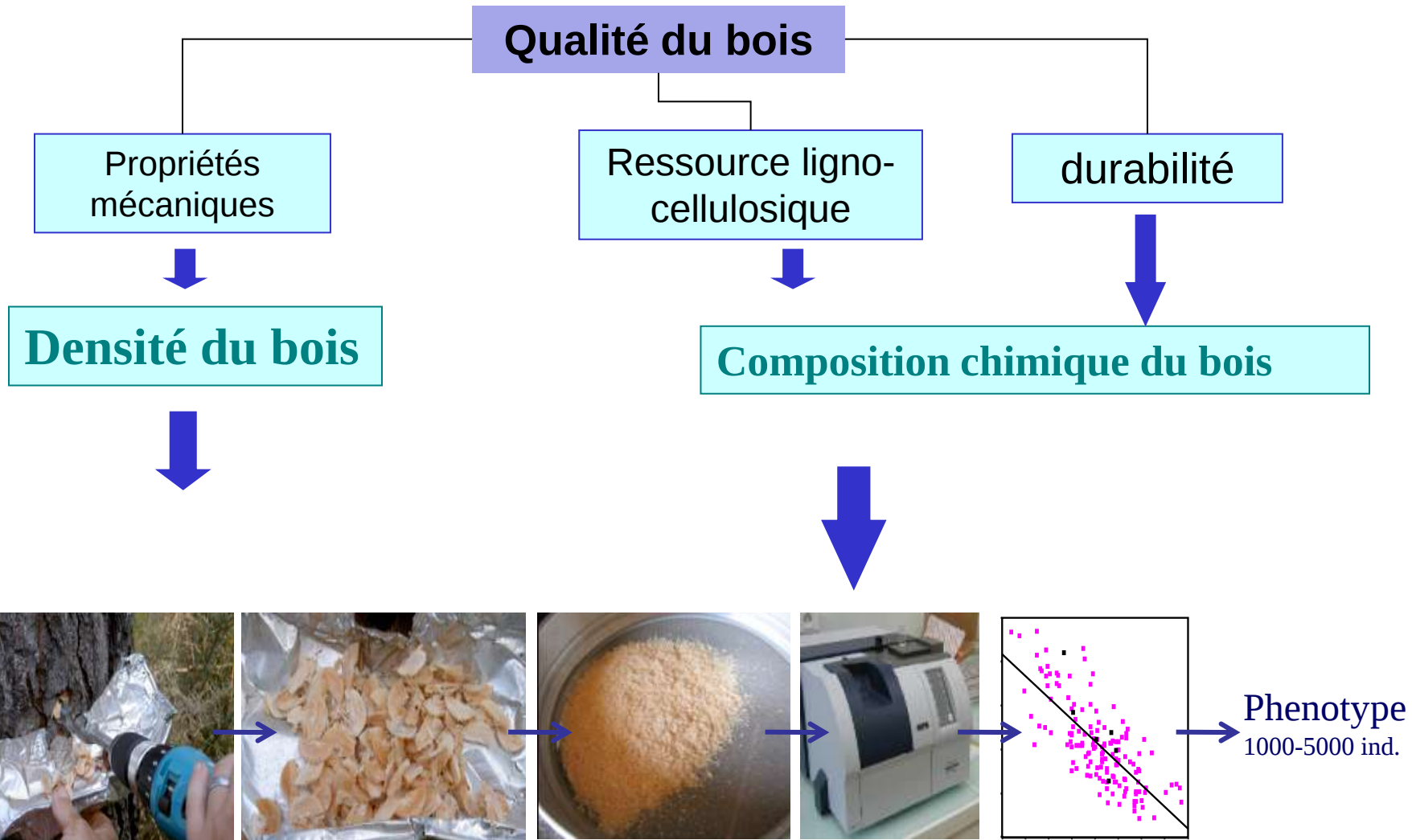
Densité du bois

Composition chimique du bois



La microdensitométrie : Une méthode de phénotypage haut-débit

Appréciation de la diversité génétique par le phénotype : quels traits?



La spectrophotométrie proche infra-rouge : Une méthode de phénotypage haut-débit

Appréciation de la diversité génétique à l'aide de marqueurs moléculaires

Qu'est ce qu'un marqueur moléculaire?



- fragment d 'ADN
- position définie sur un chromosome
- reproductible
- séquence codante ou non
- polymorphe
- reproductible

Qu'est ce que du polymorphisme?

- une différence de séquence entre 2 individus ou 2 allèles d'un individu
- révélé par les marqueurs moléculaires

Appréciation de la diversité génétique à l'aide de marqueurs moléculaires

De quels tissus est extrait l'ADN?

Tissus vivants



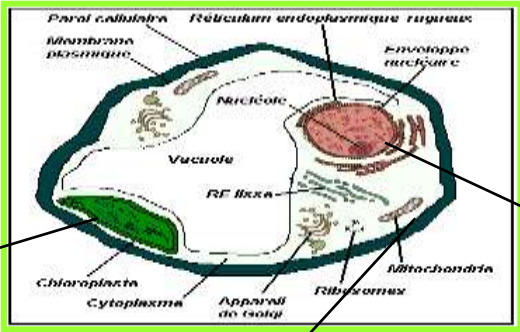
Tissus morts



Possible mais
rendement plus faible

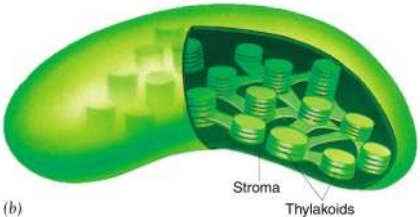
Cambium, feuilles, bourgeons, racines

3 origines d'ADN chez chaque plante



Génome chloroplastique

135-160 kb



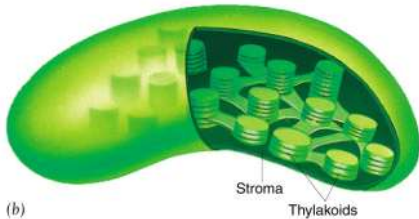
(b)

Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

Stroma

Thylakoids

Hérédité uniparentale



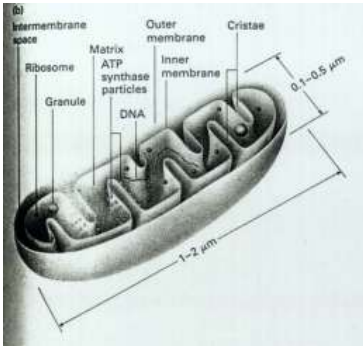
Hérédité uniparentale

Hérédité paternelle (conifères)

Hérédité maternelle (feuillus)

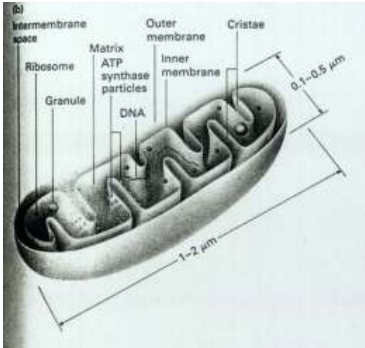
Génome mitochondrial

2500 kb



The diagram illustrates the internal structure of a mitochondrion. Key components labeled include the intermembrane space, matrix, outer membrane, inner membrane, cristae, ribosome, granule, ATP synthase particles, and DNA. Dimensions are provided: the overall length is 1-2 μm and the width is 0.1-0.5 μm . An arrow points to the title 'Génome mitochondrial'.

Hérédité uniparentale



Hérédité uniparentale

Hérédité maternelle (conifères)

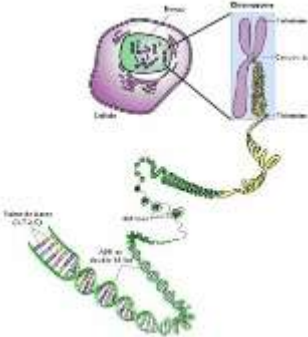
Hérédité paternelle (feuillus)

Génome nucléaire

Le plus grand: 25-30 000 Mb

The diagram illustrates the hierarchy of genetic material. It starts with a cell (cellule) containing a nucleus (noyau). Inside the nucleus, a chromosome (chromosome) is shown, which consists of two sister chromatids (chromatides). The DNA molecule (ADN) is shown as a double helix structure, with base pairing indicated (G-C, T-A). A 3D model of the DNA double helix is also shown, with labels for the sugar-phosphate backbone (saccharide-phosphate) and the nitrogenous bases (bases azotées).

Hérédité maternelle et paternelle

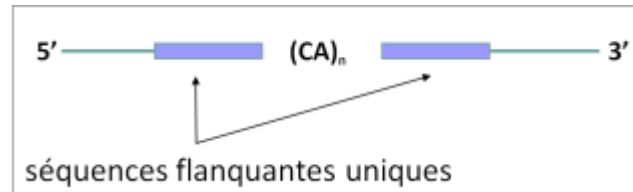


Hérédité maternelle et paternelle

Hérédité maternelle et paternelle

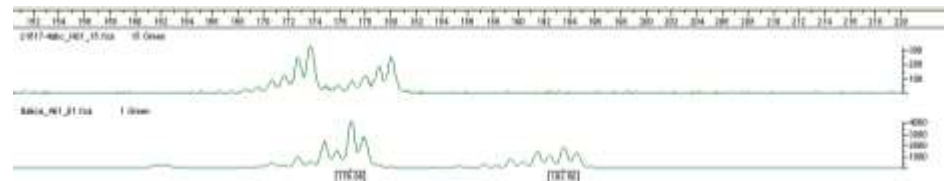
Les deux types de marqueurs les plus utilisés (1)

Marqueurs microsatellites (SSR ou STR)



- **polymorphisme de répétitions** en tandem de 1 à 6 nucléotides
exemple : ...TCTCTCTCTCTC...
 ...TATTATTATTAT...
 ...GATAGATAGATA...
- répétition de quelques unités à plusieurs dizaines
- marqueurs **codominants**
- **polymorphisme très élevé**, multiallélique
- régions flanquantes très conservées

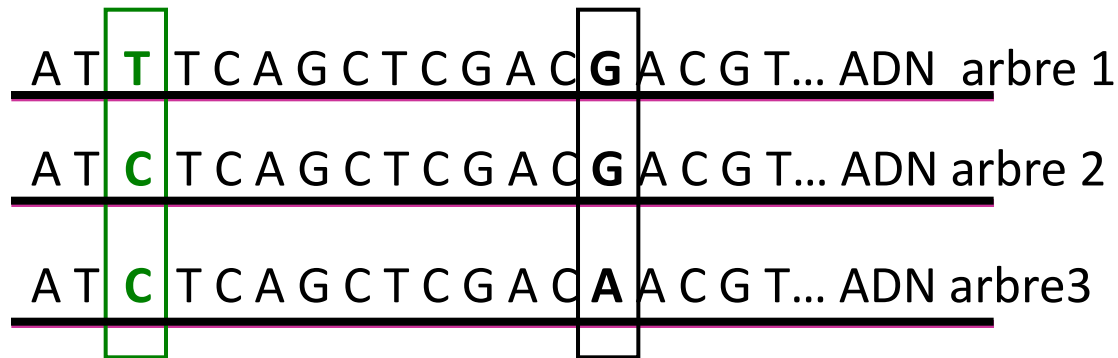
Lecture au séquenceur
Multiplexage possible



Les deux types de marqueurs les plus utilisés (1)

Un saut technologique: les puces à SNP

SNP = « Single Nucleotide Polymorphism »
= polymorphisme de l'ADN en une base



SNP avec 2 allèles : C ou T

SNP avec 2 allèles : G ou A

- marqueurs **codominants**
- polymorphisme **peu élevé** : bi-allèlique
- mais existe en **très grand nombre** dans le génome
- ils se détectent par **séquençage de gènes** ou de **génomés entiers**

Les arbres forestiers ont des génomes de grande taille !!!

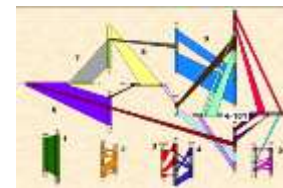
		Organisms	Genome size (bp)	% repetitive
		<i>E. coli</i>	4.6 millions	
		<i>Drosophila</i>	150 millions	
		<i>Humans</i>	3 billions	43%
		<i>A. thaliana</i>	130 millions (2n=10)	10%
Angiospermes	{	<i>Poplar</i>	550 millions (2n=38)	40%
		<i>Eucalyptus</i>	600 millions (2n=22)	6% ?
Gymnospermes	{	<i>Picea</i>	18-22 billions (2n=24)	70-75%
		<i>Pinus</i>	25 billions (2n=24)	-

Peu d'arbres ont leur génome séquencé

Peuplier (*P. trichocarpa*) 2006

Eucalyptus (*E. grandis*) 2011

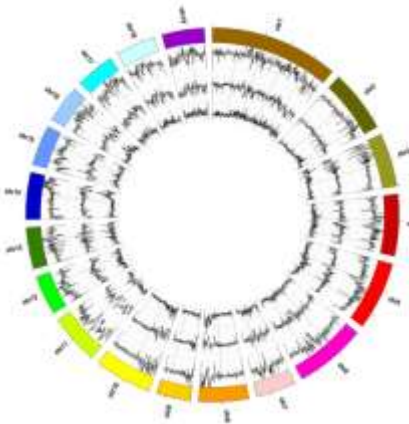
En coursChêne sessile (nov 2011)



Des possibilités de génotypage haut-débit !!

2011

*Reséquençage de 52
individus de Peuplier noir*

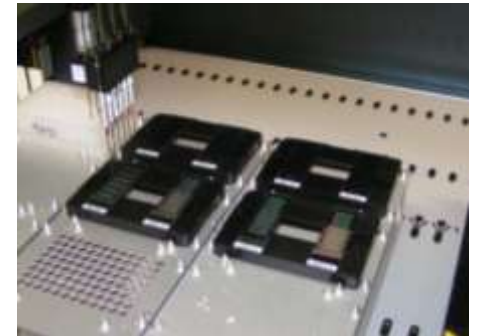


*Identification de plus de
3,000,000 SNP*



2012

*Dessin de la première puce
20 000 SNP Illumina Golden Gate*



*génotypage de 1152 individus
de peuplier noir*

Puce bovine :



20,0

e :

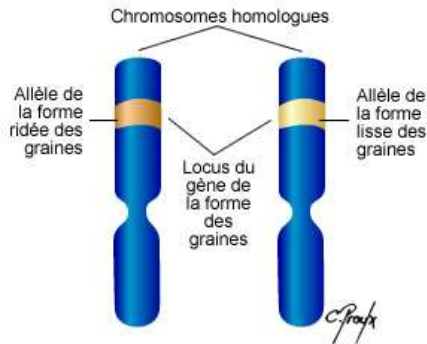
: >1,500,000 SNP

és

0€ en 2012

Quelques définitions liés à la mesure de la diversité génétique

Allèles = différentes versions d'un même gène. Les allèles d'un gène occupent le même emplacement sur le chromosome



Richesse allélique = Nb d'allèles différents au même gène dans une population donnée

Taux d'hétérozygotie = mesure la diversité des deux allèles d'un gène

Haplotype = empreinte individuelle de tous les marqueurs génétiques testés sur un individu

Ind.	Pt302 04.A	Pt719 36.A	Pt873 14.A	Pt1516 9.A	Pt2608 1.A	Pt36480. A	Pt1254. A	Pt4113 1.A	Pt872 68.A	haplo
MC-Arti-1	141	144	112	125	105	141	61	135	162	50
MC-Arti-2	141	139	112	125	105	141	61	135	162	51

Le niveau de **Différenciation génétique** est apprécié à différentes échelles :

- Intra-individu
- Entre individus
- Entre populations
- Entre espèces

Différenciation génétique – intra individu

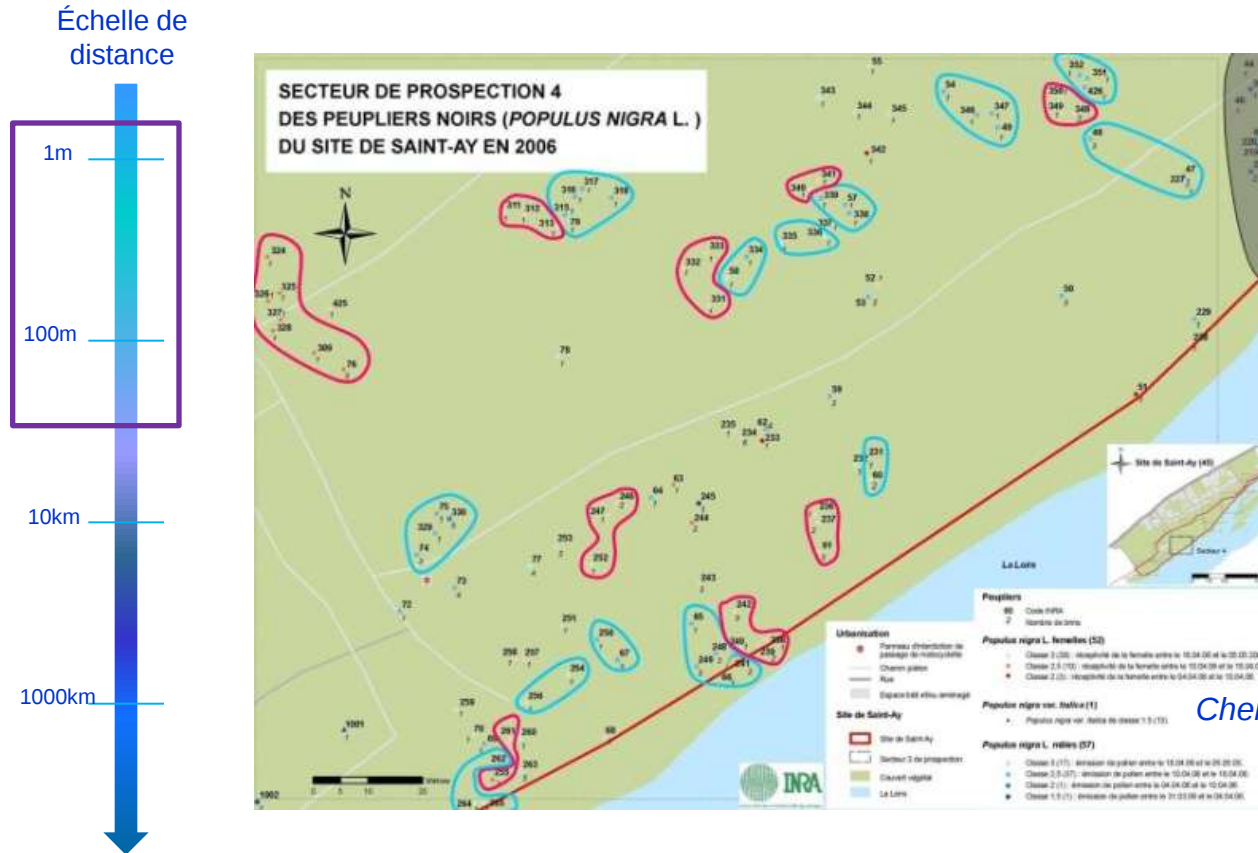
	Ho
<i>Quercus petraea</i>	0,265
<i>Picea abies</i>	0,219
<i>Pseudotsuga mensiezi</i>	0,201
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,187
<i>Populus nigra</i>	0,177
<i>Pinus pinaster</i>	0,157
<i>Abies alba</i>	0,145

Des niveaux d'hétérozygotie élevés par rapport aux autres organismes vivants

	Ho
Plants	0,104
Invertébrés	0,100
Vertébrés	0,079
<i>Homo sapiens</i>	0,060

Une nette différenciation entre individus permettant de caractériser le régime de reproduction

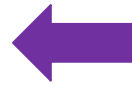
Importance de la multiplication végétative naturelle chez le peuplier noir



- $R=0.47 = (\text{Nb génotypes} \neq / \text{Nb arbres})$ une clonalité significative et uniforme
- des taches clonales bien agrégées de 2 à 18 copies

Une nette différenciation entre individus permettant de caractériser le régime de reproduction

Des flux de pollen significatifs des peupliers d'Italie vers les peupleraies naturelles



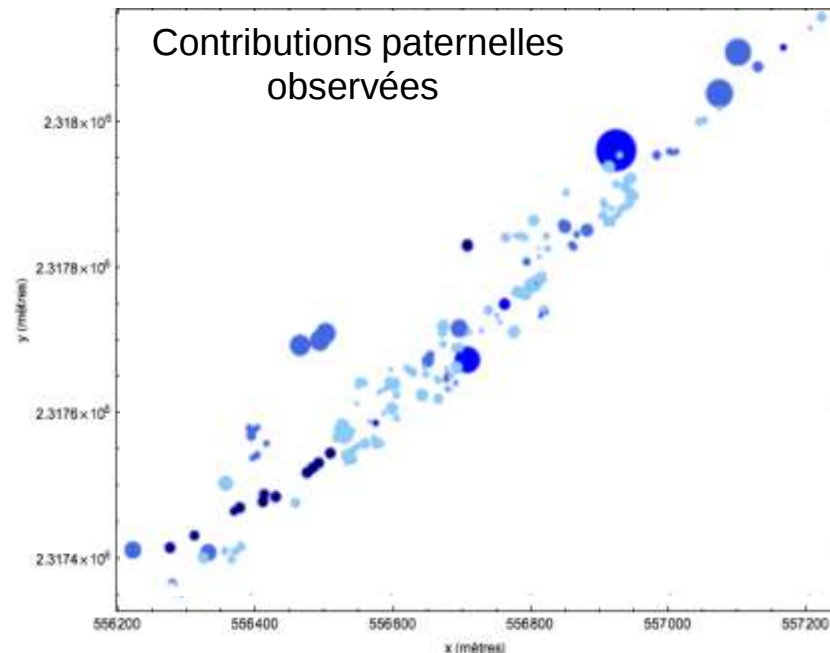
Peuplier d'Italie



413 *P.nigra* (229 ♀, 214 ♂)

13 '*italica*'

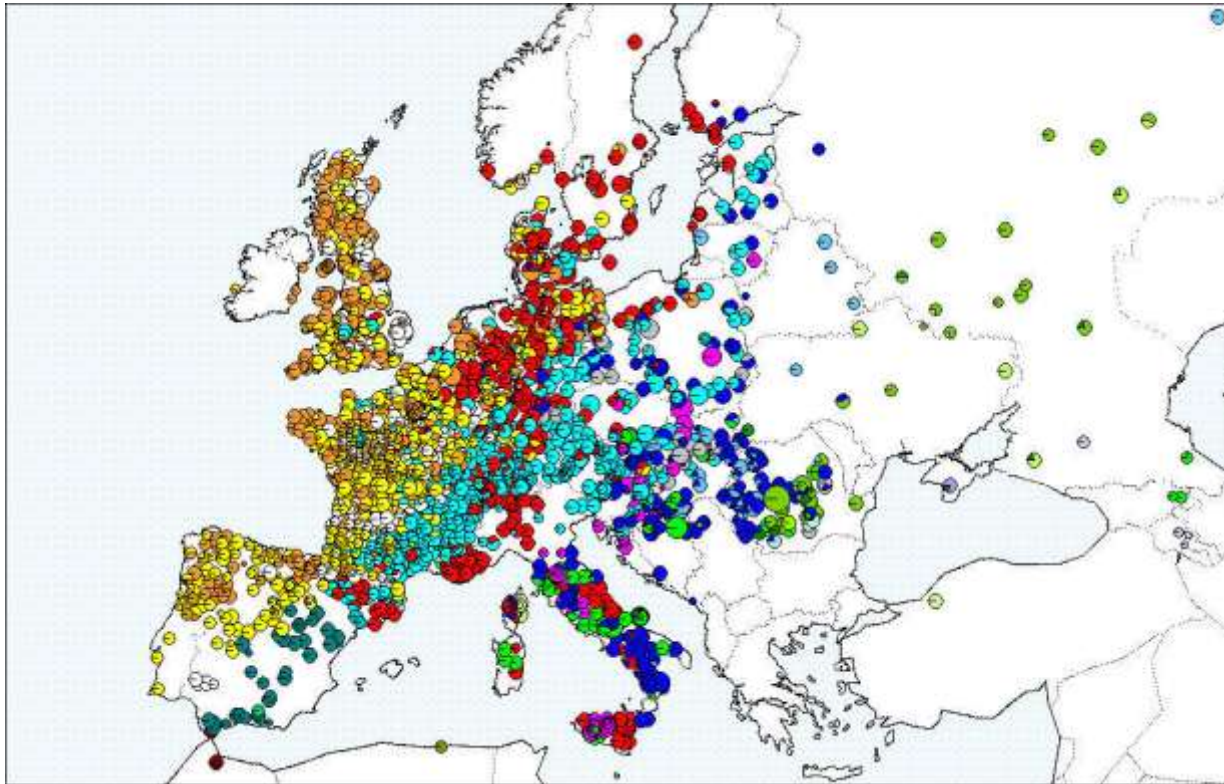
Génotypage 31 desc
(48-96 graines/desc – 9 SSR)



cv '*italica*' : 1,9% (1350 graines)

Une nette différenciation géographique des populations naturelles

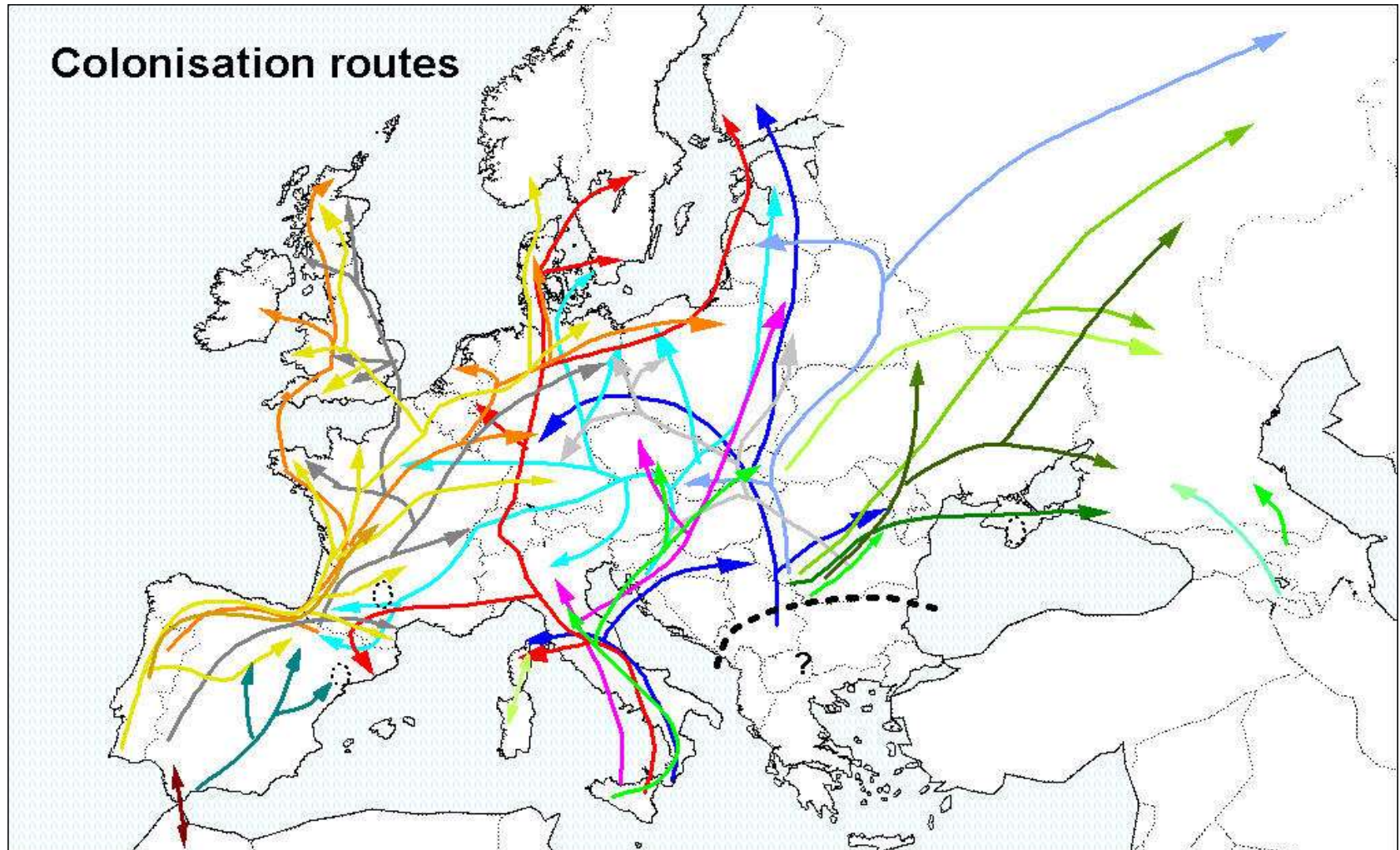
Distribution des haplotypes chloroplastiques



2673 populations
42 haplotypes

Aire naturelle chênes blancs

Une nette différenciation géographique liée à l'histoire évolutive du chêne



Aire naturelle chênes blancs

Une nette différenciation géographique des populations naturelles

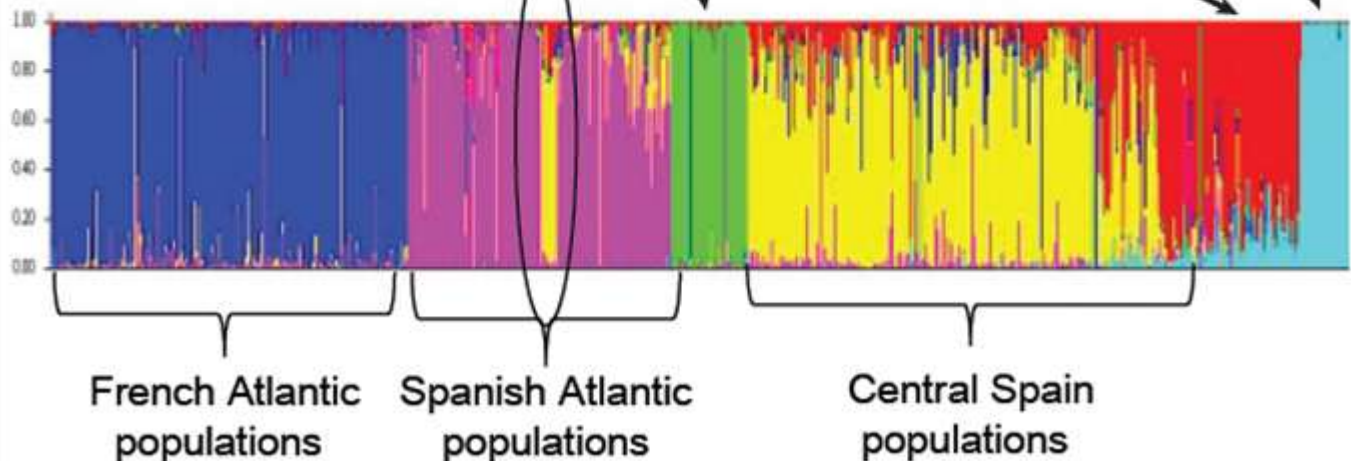
260 SNPs

A plantation with
Central Spain origin!

Corsica

Southern
Spain

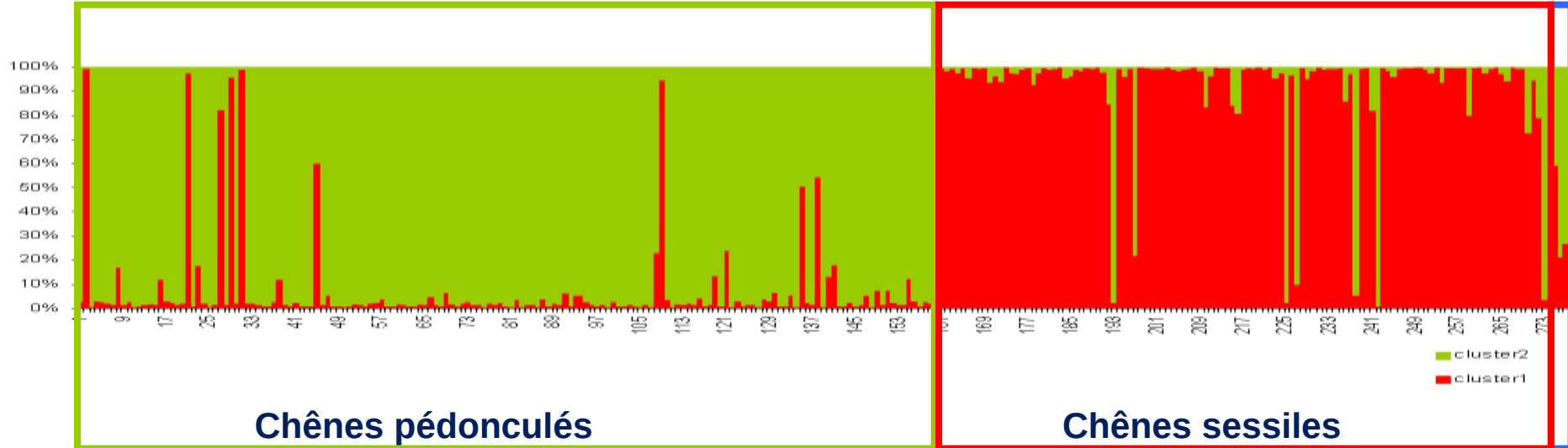
Morocco



Pin maritime

Une bonne différenciation entre espèces

Résultats STRUCTURE 16 marqueurs SSR



Population	Assignation clusters (au seuil de 0.5)		Nombre d'individus
	1	2	
Pédonculé	0.07	0.93	159
Sessile	0.91	0.09	114
Intermédiaire	0.42	0.58	5

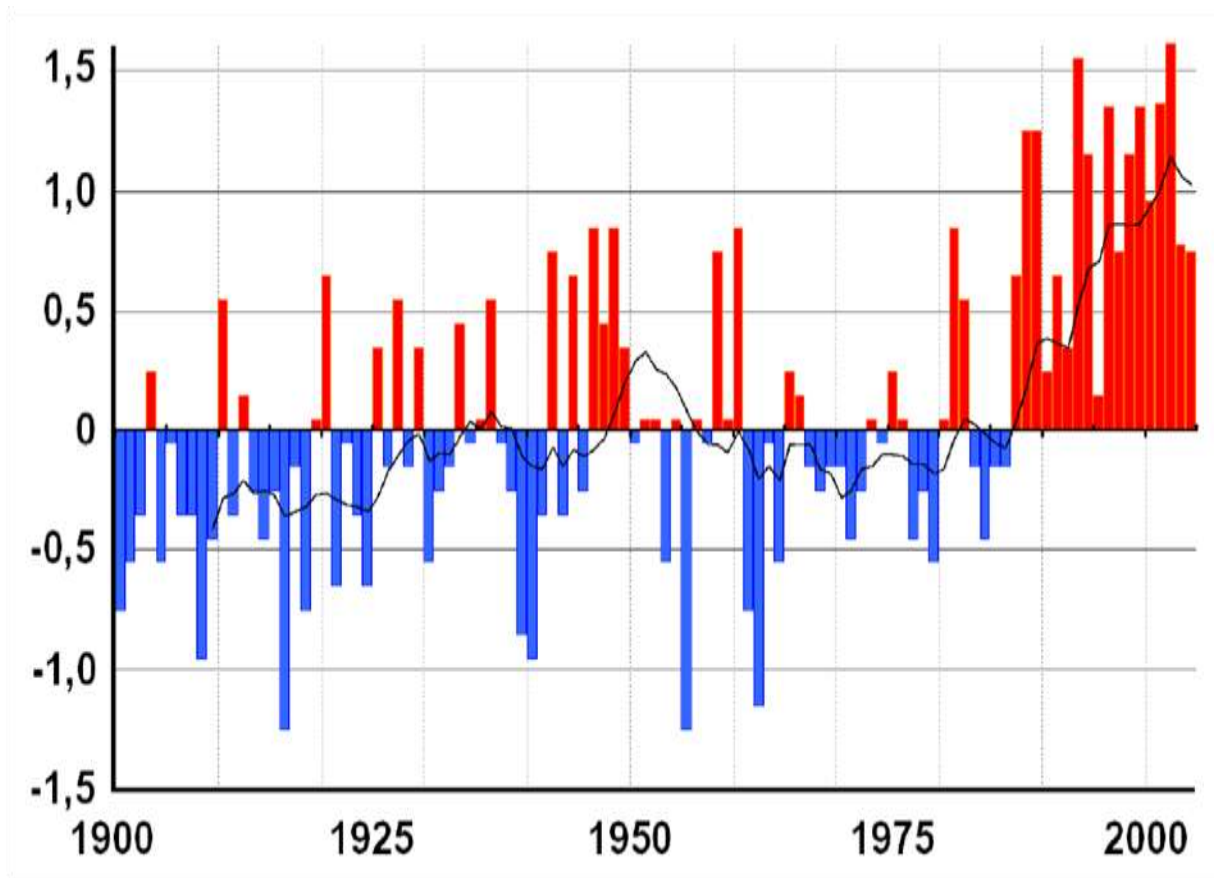


Les changements climatiques et leurs impacts sur les forêts

Mortalité de sapin pectiné en juillet 2005 après la sécheresse 2003, SE France (© ONF)

Evolution de la température moyenne en France

(Source Météo France)



« L'intensité (Δ /unité de temps) des changements climatiques annoncés n'a jamais été atteinte depuis le dernier réchauffement post-glaciaire !

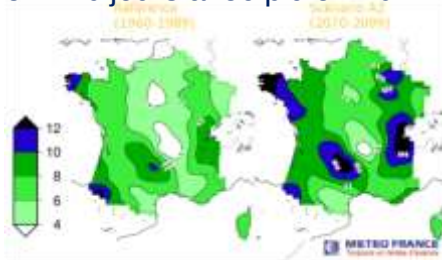
Climat en France: Evolution attendue à l'horizon 2010

Nb jours de canicule en été



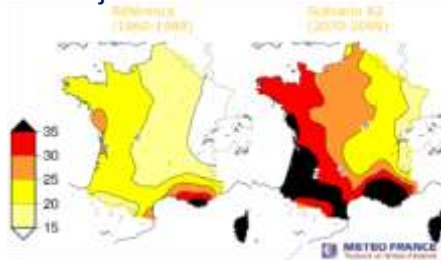
- Des étés plus chauds

Hiver : Nb jours avec pluie >10 mm



- Des pluies hivernales plus marquées

Eté : Nb jours secs consécutifs



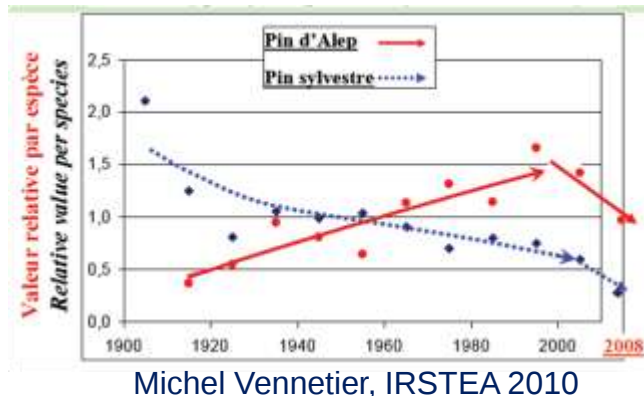
- Plus sec en été surtout dans le Sud

Mais...

Une augmentation des moyennes et des variances
Beaucoup d'incertitudes ➡ utiliser plusieurs scénarios

Impacts visibles sur la croissance et la mortalité des forêts en place

- Des arbres âgés de grande taille dépérissent brutalement
 - Sapin dans le Sud-Est
 - Hêtre sur le Mont Ventoux
 - Chêne pédonculé à Vierzon



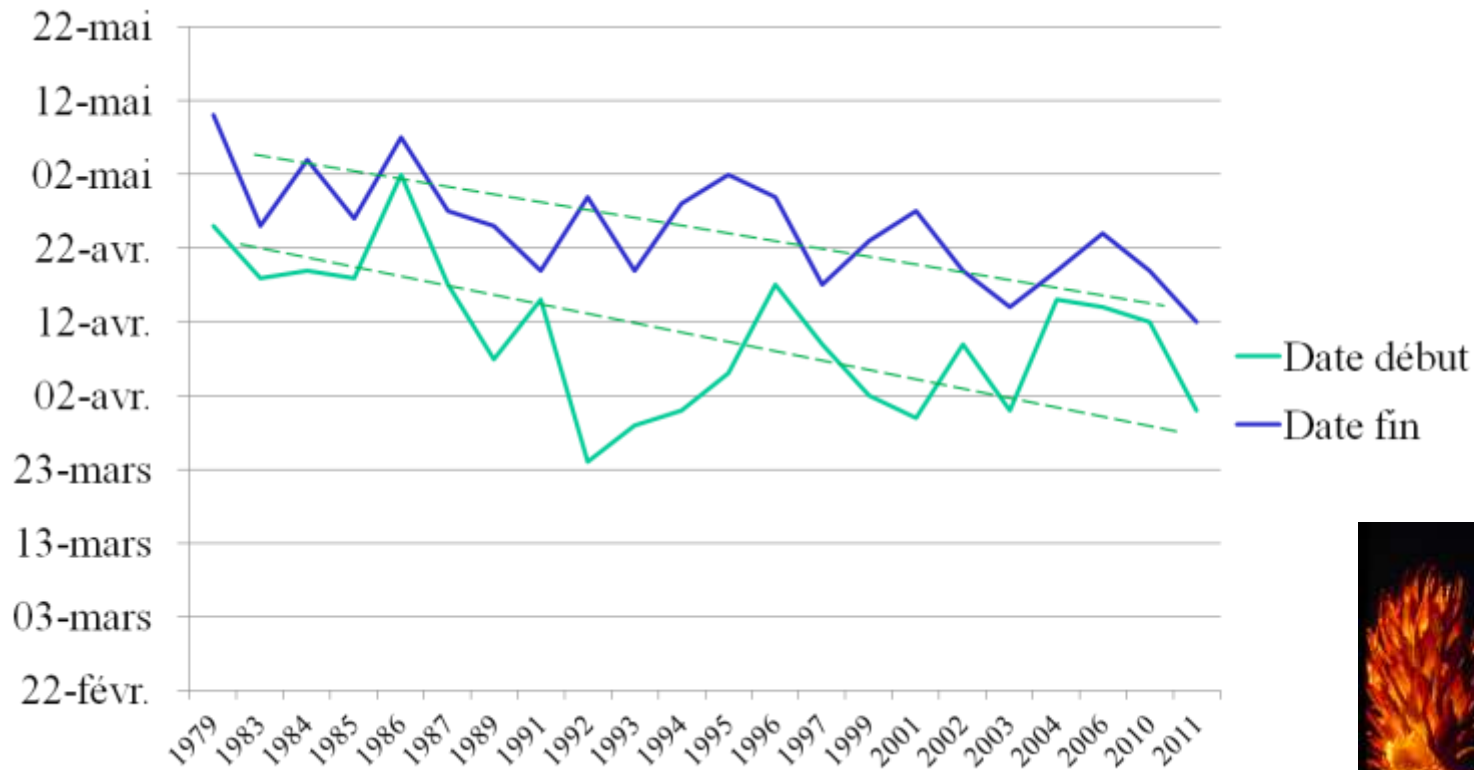
- La biomasse produite décline dans localement

- L'installation de nouveaux semis devient irrégulière et peu fréquente localement



Les rythmes saisonniers changent

- Evolution des dates de début et de fin de croisements contrôlés (floraison) de Douglas à l'INRA d'Orléans



Une augmentation des attaques de ravageurs (Insectes et champignons pathogènes)

Extension des aires de distribution des ravageurs

La chenille processionnaire du pin

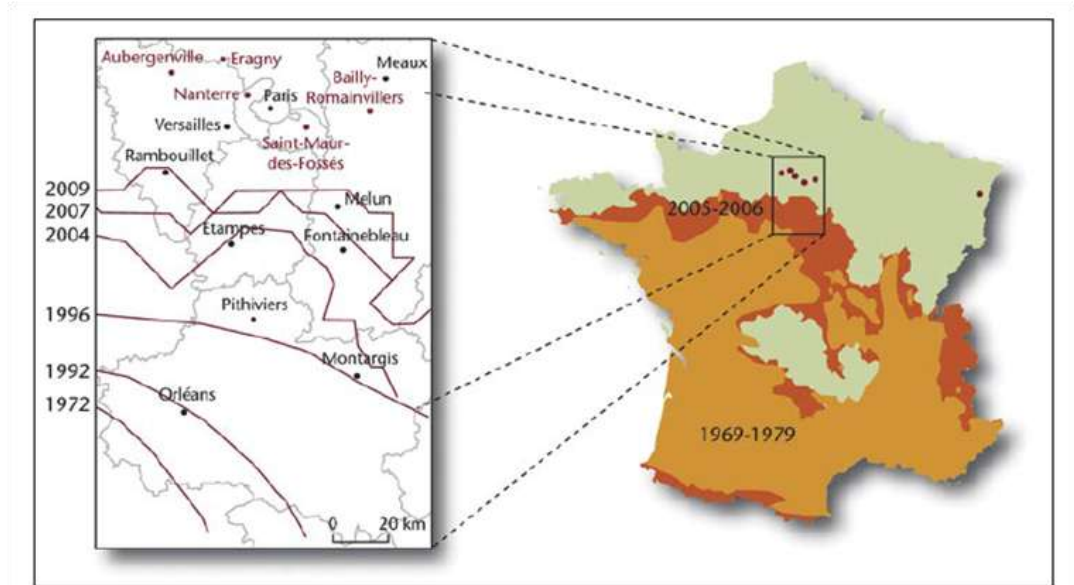


Figure 2 – Progression de la chenille processionnaire du pin en France et zoom sur les Régions Centre et Île-de-France. Les points rouges indiquent les foyers isolés.

Elle migre vers le Nord à la vitesse
de 5,5km par an et en altitude à la
vitesse de 0,5m par an

Une augmentation des attaques de ravageurs (Insectes et champignons pathogènes)

Extension des aires de distribution des ravageurs

Encre du chêne (Phytophthora cinnamomi)

1968-1998 Extension actuelle



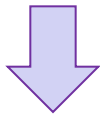
2068-2098 Potentiel d'extension



Une augmentation des risques d'incendies de forêt

+22% entre 1961-1980 et
1980-2005

- Augmentation en
fréquence et intensité



- Les régimes de feu ont
tendance à touché de
plus en plus des arbres
âgés



Une augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes



Klaus

24 Janvier 2009

Sud-Ouest

170 000 ha détruits à plus de 60%



Martin

28 Décembre 1999

Alsace

80% des peuplements autochtones de pin
sylvestre détruits

Pour en savoir plus sur le changement climatique

Page Historique Marque-pages Outils ?

ipcc http://www.ipcc.ch/ RSS ☆ G+ ipcc

Rechercher Games Réparez (15) erreurs PC ipcc

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

WHO UNEP

Languages IPCC web pages

Home

Organization

Procedures

Working Groups / Task Force

Activities

Calendar of Meetings

Meeting Documentation

News and Outreach

Publications and Data

Presentations and Speeches

IPCC Scholarship Programme

Links

Contact

Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation



Report Press Videos SREX Website

SRREN Fifth Assessment Report AR4 - Climate Change 2007

Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN)



RENEWABLE ENERGY SOURCES AND CLIMATE CHANGE MITIGATION

Report

- SRREN Website
- Summary for Policymakers/Technical Summary: [Arabic](#) - [Chinese](#) - [English](#) - [French](#) - [Russian](#) - [Spanish](#)
- Full Report - printed volume now available from Cambridge University Press

Videos

- Youba Sokona on Climate Change TV, SBSTA 34, Bonn

NEWS and EVENTS

IPCC launches Special Report on Extreme Weather Events

The IPCC released its Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX) on 28 March. The report assesses the evidence that climate change has led to changes in climate extremes and the extent to which policies to avoid prepare for, respond to and recover from the risks of disaster can reduce the impact of such events. Please click [here](#) for an IPCC press release on the report, and [here](#) for the report itself.

[Recording](#) of the SREX press conference on 28 March

SREX outreach events - [Media Advisory](#) **New**

IPCC 35th Plenary Session 6-9 June 2012, Geneva, Switzerland

Documents

- [Doc. 2: Programme & Budget](#)

Phone: +41-22-730-8208 /84/84
Email: IPCC-Sec@wmo.int

Copyright 2012
Scams notice
Disclaimer

Share



Quels mécanismes évolutifs
possibles pour les arbres
forestiers ?

Les solutions pour une adaptation aux futurs climats

1- Partir :

migrer/coloniser de nouveaux habitats plus favorables

2- Rester :

- s'acclimater en modifiant son phénotype dans le nouvel environnement subi (plasticité phénotypique)

Pas de changement des fréquences alléliques

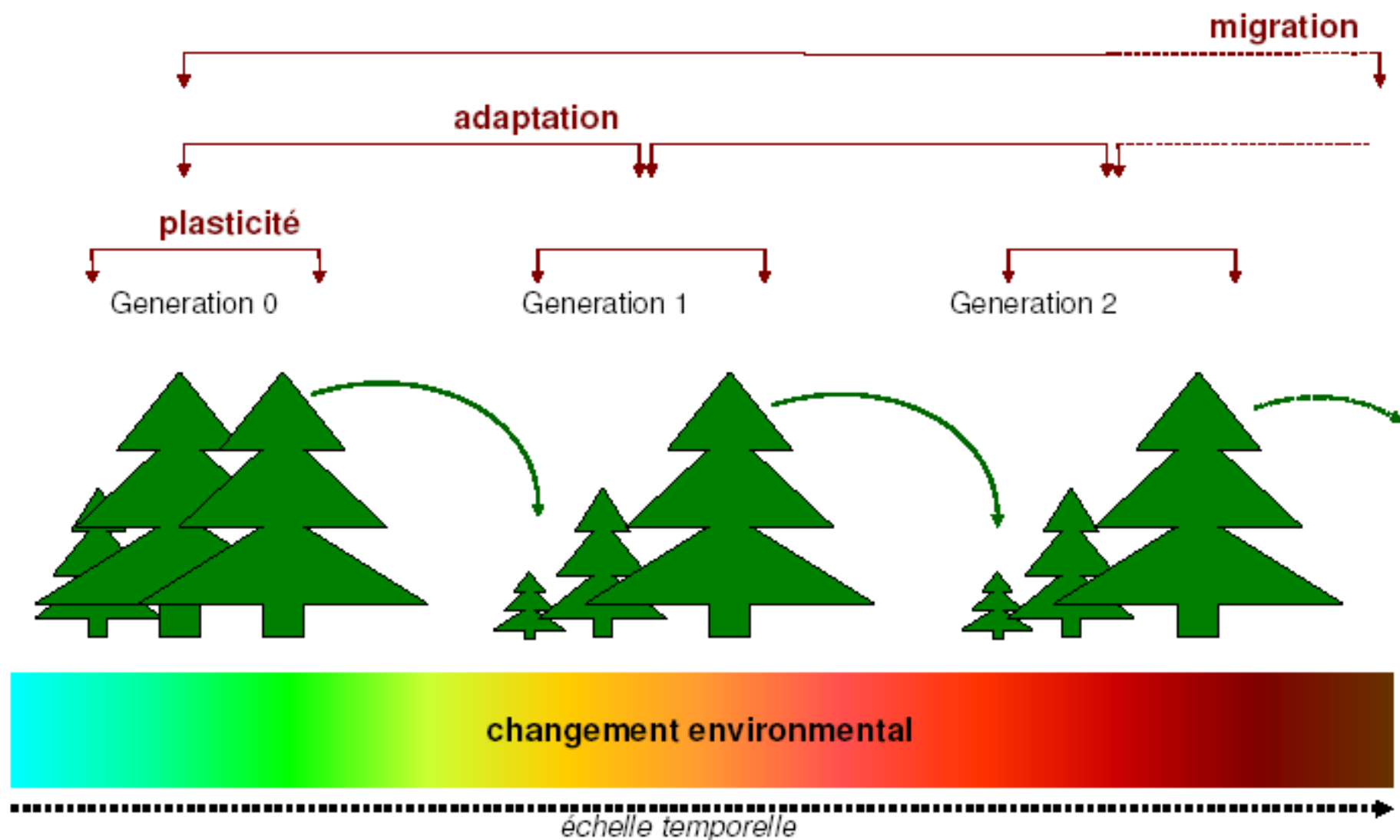
- Évoluer grâce à la sélection naturelle et retenir les individus les mieux adaptés

*Modification significative des fréquences alléliques
(recherche de signature de sélection dans les gènes)*

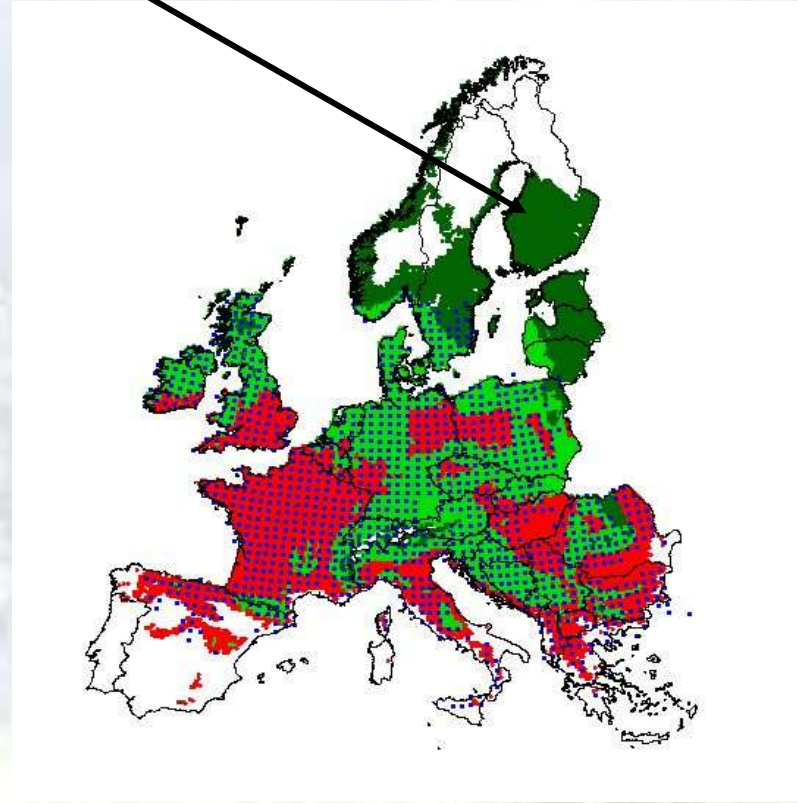
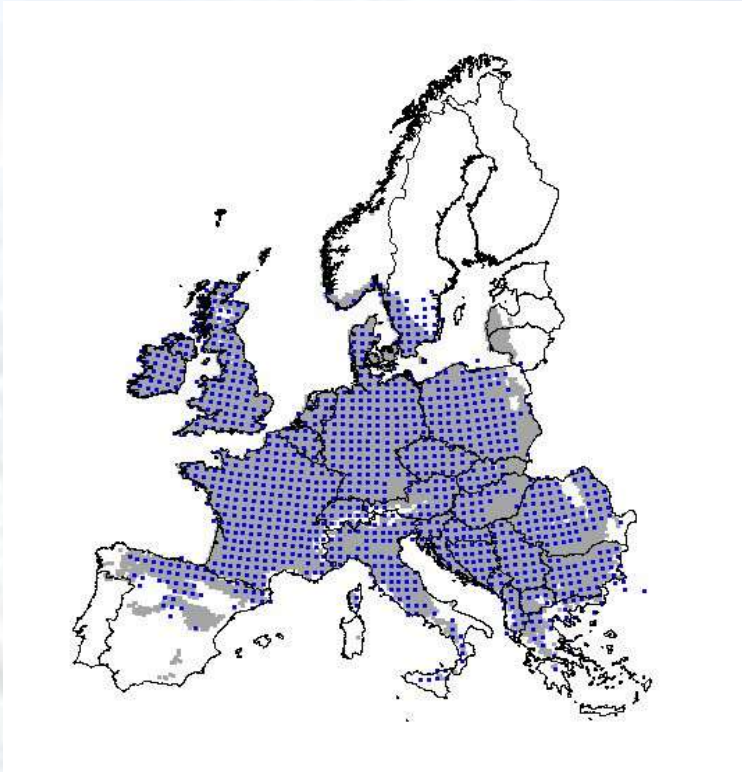
3- Disparaître:

Extinction de populations locales

Temps changement climatique ~ temps d'une génération ~ temps de l'action à son effet



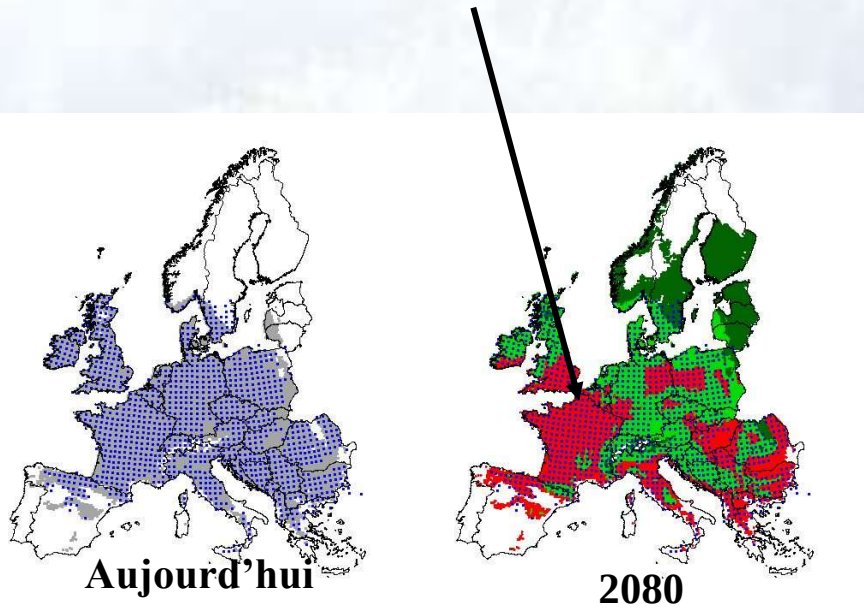
Que se passera-t-il dans la partie nord de l'aire?



***MIGRATION ? COMPETITION AVEC LES ESPECES
PRESENTES ?***

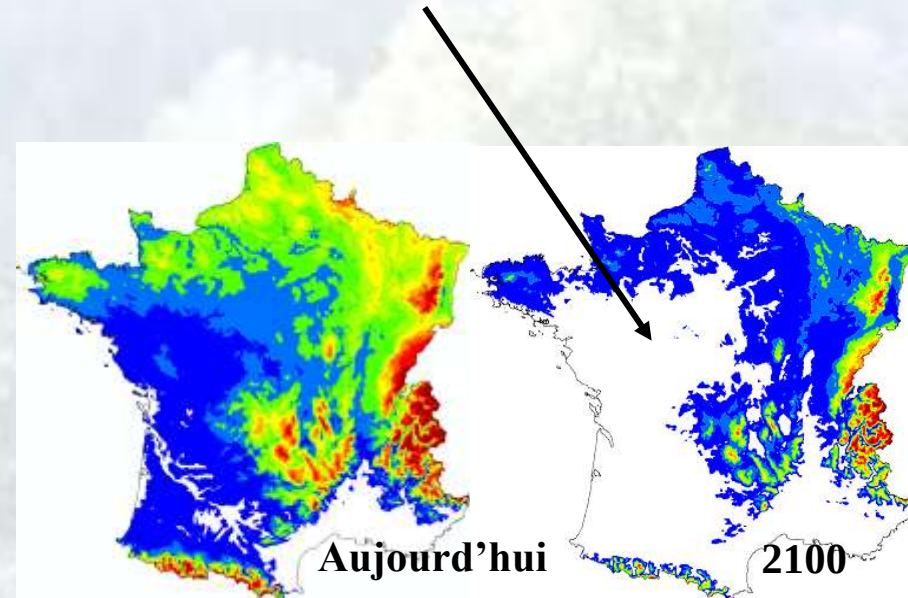
**DEPLACEMENT DE 100 A 500 KM DE LA LIMITE DE
L'ENVELOPPE BIOCLIMATIQUE**

Que se passera-t-il dans les parties centrales de l'aire



Quercus petraea - BIOMOD

Thuiller (2003)



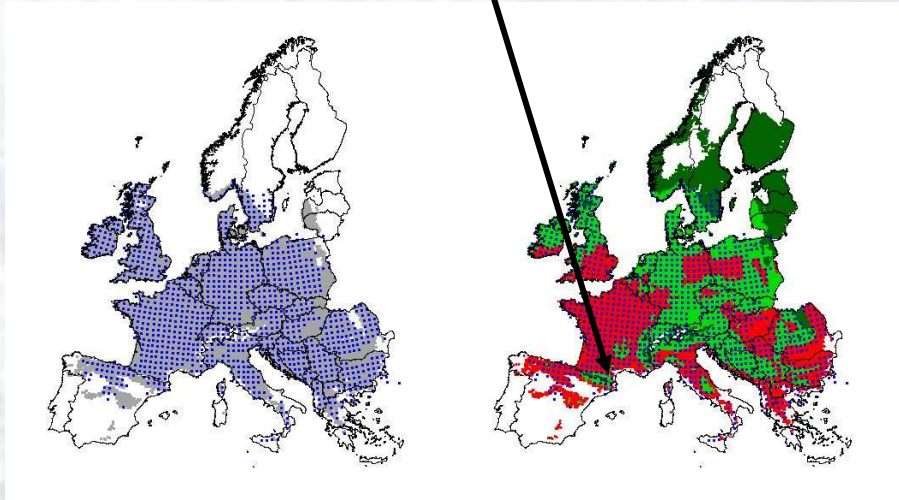
Fagus sylvatica - Nancy NBM

Badeau et al (2005)

DEPERISSEMENT ? ADAPTATION ?

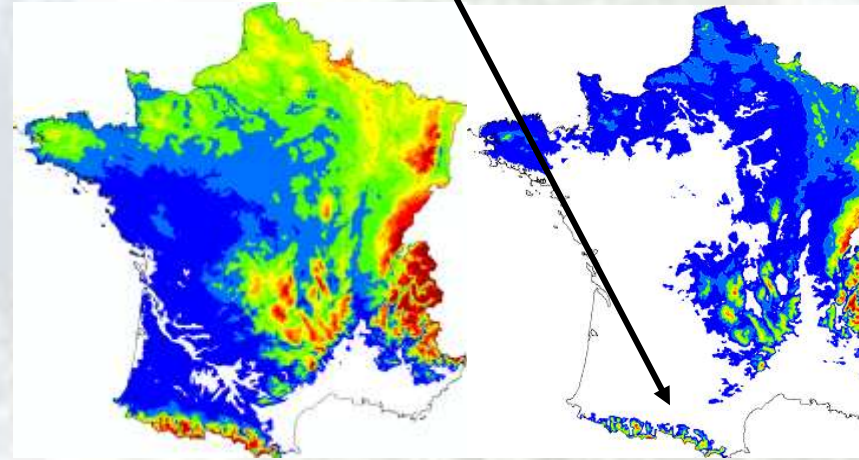
DEPLACEMENT DE **100 A 500 KM** DE LA LIMITE DE
L'ENVELOPPE BIOCLIMATIQUE

Que se passera-t-il au Sud de l'aire ?



Quercus petraea - BIOMOD

Thuiller (2003)



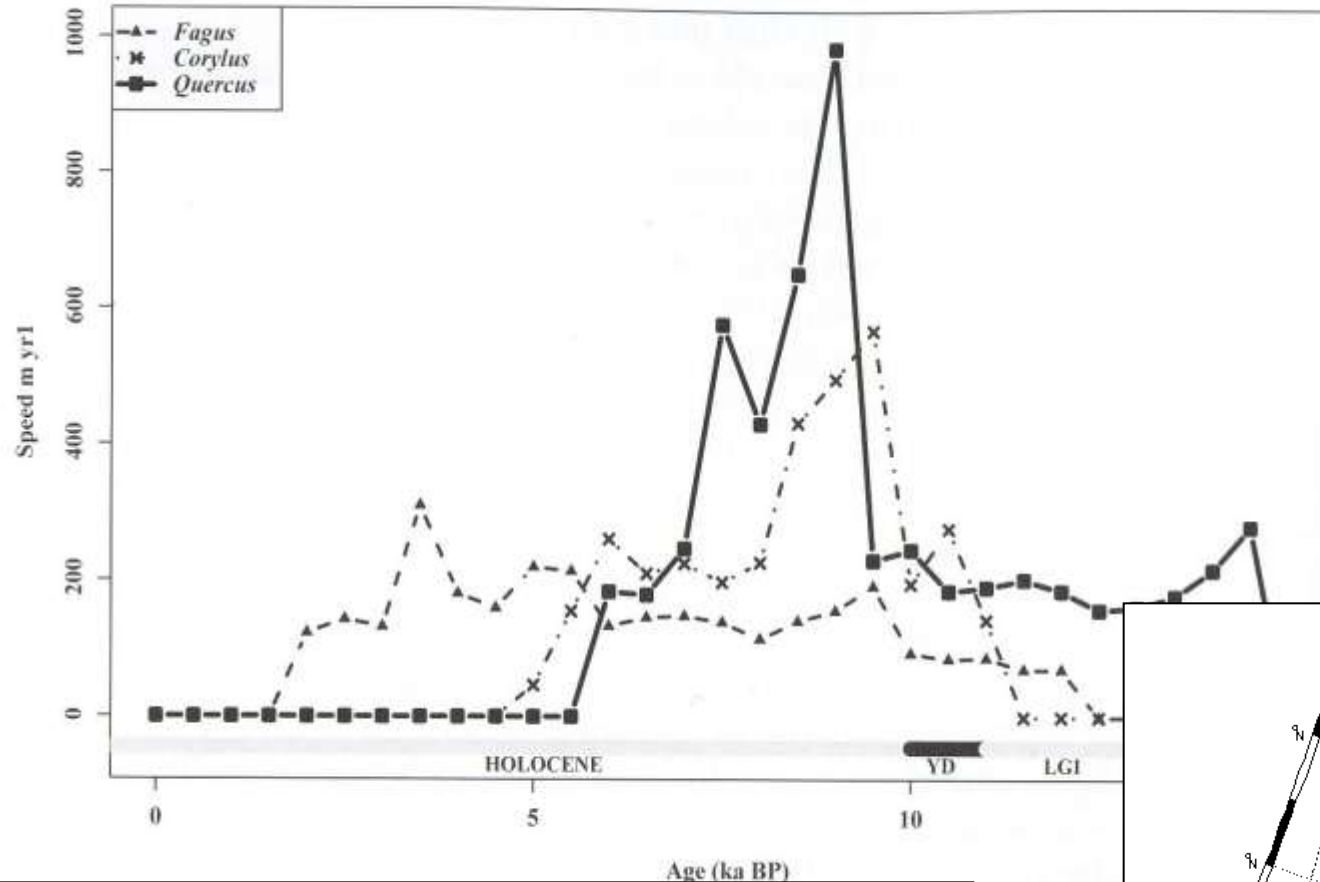
Fagus sylvatica - Nancy NBM

Badeau et al (2005)

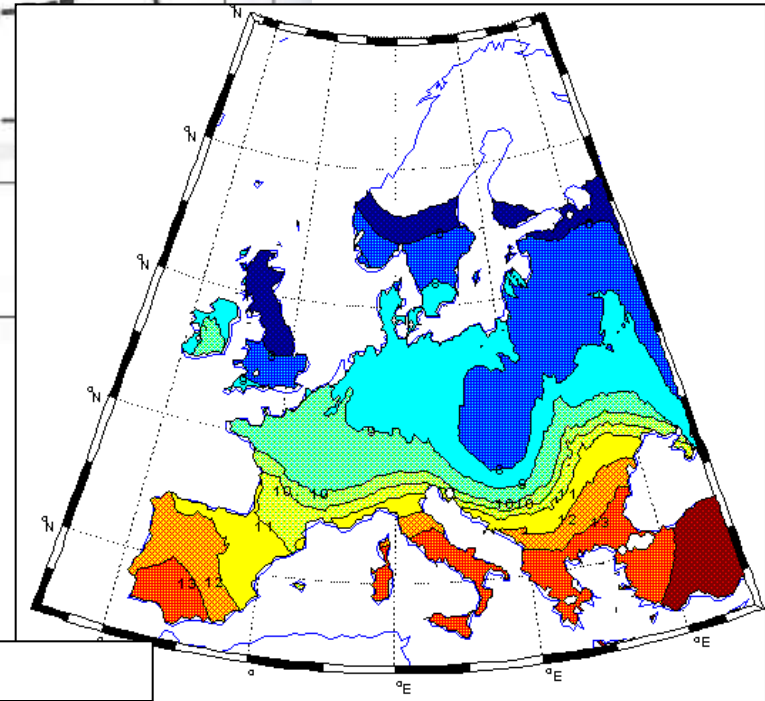
DEPERISSEMENT ? DIFFERENCIATION GENETIQUE ?

REGIONS BIOCLIMATIQUEMENT EQUIVALENTES
MAINTENUES ISOLEES EN ALTITUDE

Migration: les leçons du passé



Carte isochrone des pollens de chêne



Brewer et al., 2005 *Botanical Journal of Scotland* 57: 41-57

20 à 50 Km en 100 ans

100 à 500 Km en 100 ans

Brewer et al., 2002 *Forest Ecology & Management* 156: 27-48

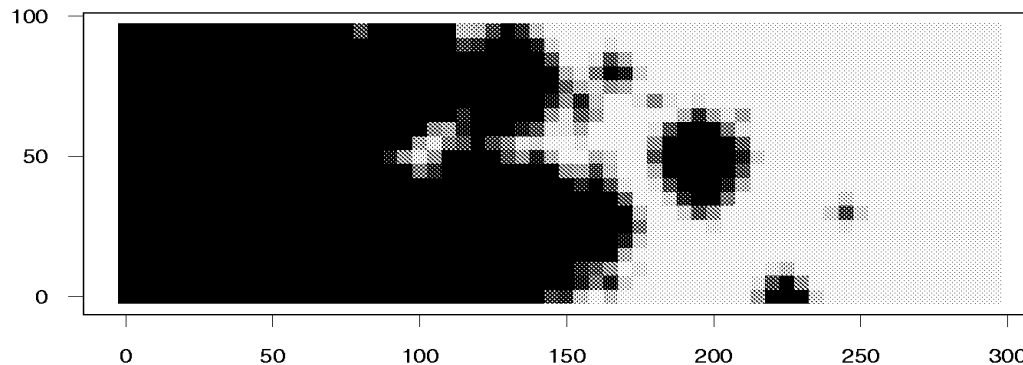
Migration

Espèce		Vitesse recolonisation (m/an)		Distance de dispersion (km/génération)	Type de dispersion	Type biologique des graines
		Grande Bretagne	Europe			
<i>Betula</i>	Bouleau	250	>2000	2,5	vent	Graine ailée
<i>Corylus</i>	Noisetier	500	1500	7,5	animaux	Noix
<i>Ulmus</i>	Orme	550 (100 en limite nord)	500-1000	8	vent	Samare
<i>Quercus</i>	Chêne	350-500 (50 en limite nord)	150 - 500	7 - 10	animaux	Glands
<i>Pinus</i>	Pin	Angleterre: 100 – 700 Ecosse : 150 Irlande: 150 - 200	1500	1 – 7 1,5 1,5 - 2	vent	Graine ailée
<i>Alnus</i>	Aulne	500 – 650 (50-100 limite nord)	500 - 2000	5 - 6	vent	Graine ailée
<i>Tilia</i>	Tilleul	450 – 500 (50 – 100 limite nord)	300 - 500	10	vent	Graine ailée
<i>Fraxinus</i>	Frêne	50 - 200	200 - 500	1 - 3	vent	Samare
<i>Fagus</i>	Hêtre	100 - 200	200 - 300	4 - 8	animaux	noix

Migration

EFFICACITE DES MECANISMES DE DISPERSION

-Dispersion par « saut de puces »



Le Geai



Un grand reboiseur

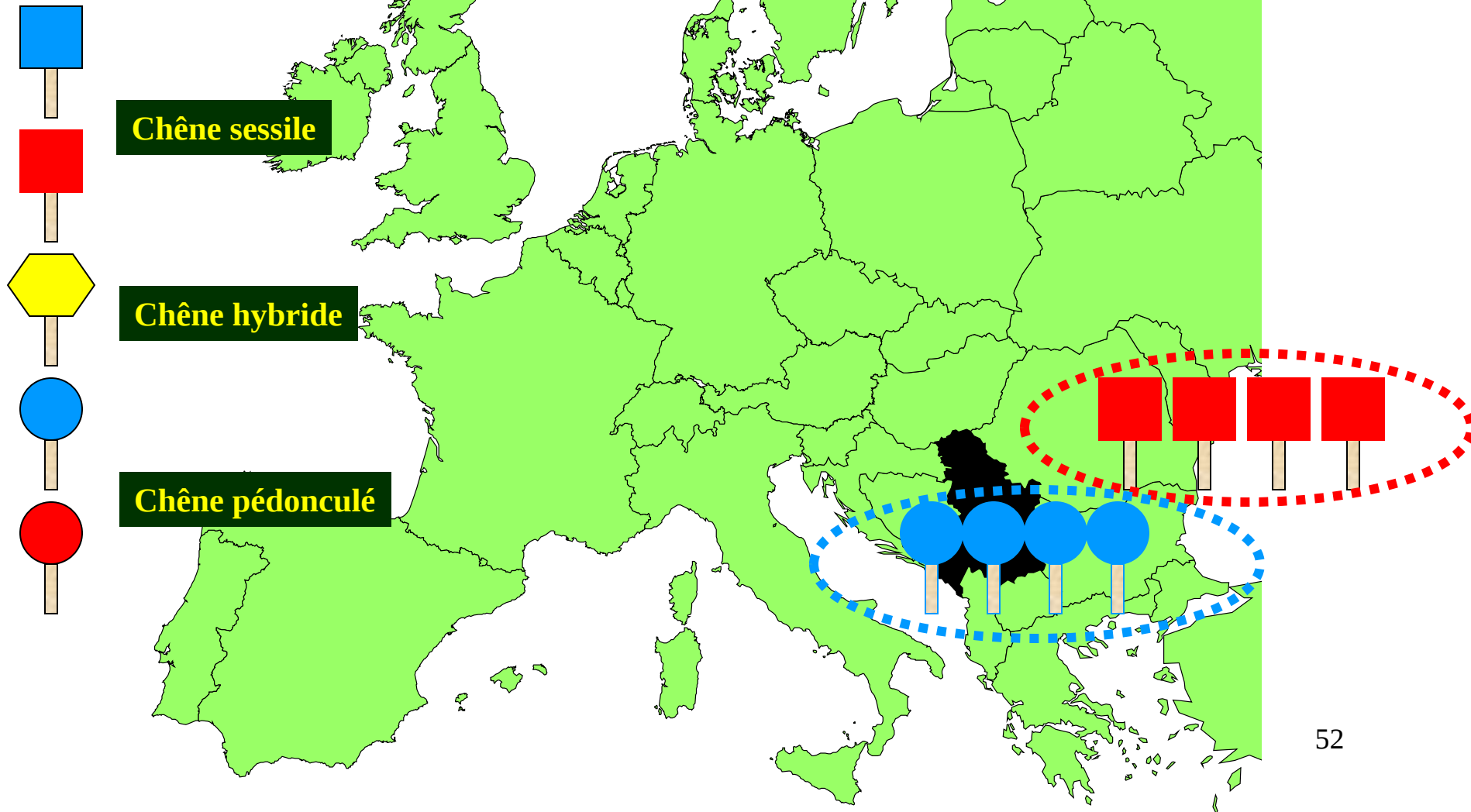
5.000 à 10.000 glands/ an

2.500 à 5.000 plants vivants.....

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

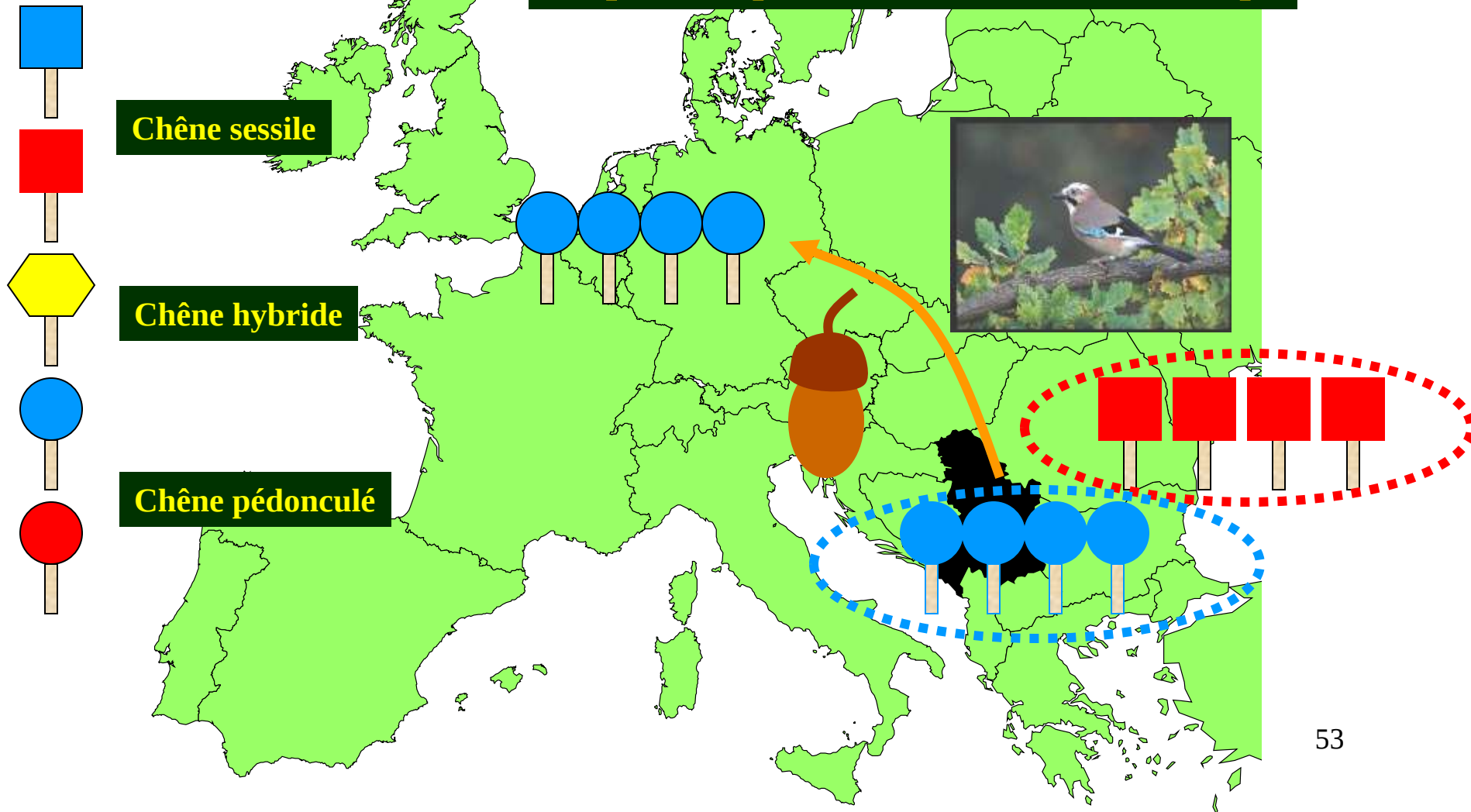
ROLE DES ESPECES DANS LA RECOLONISATION POST-GLACIAIRE

Etape 1 : les chênes sont dans les refuges



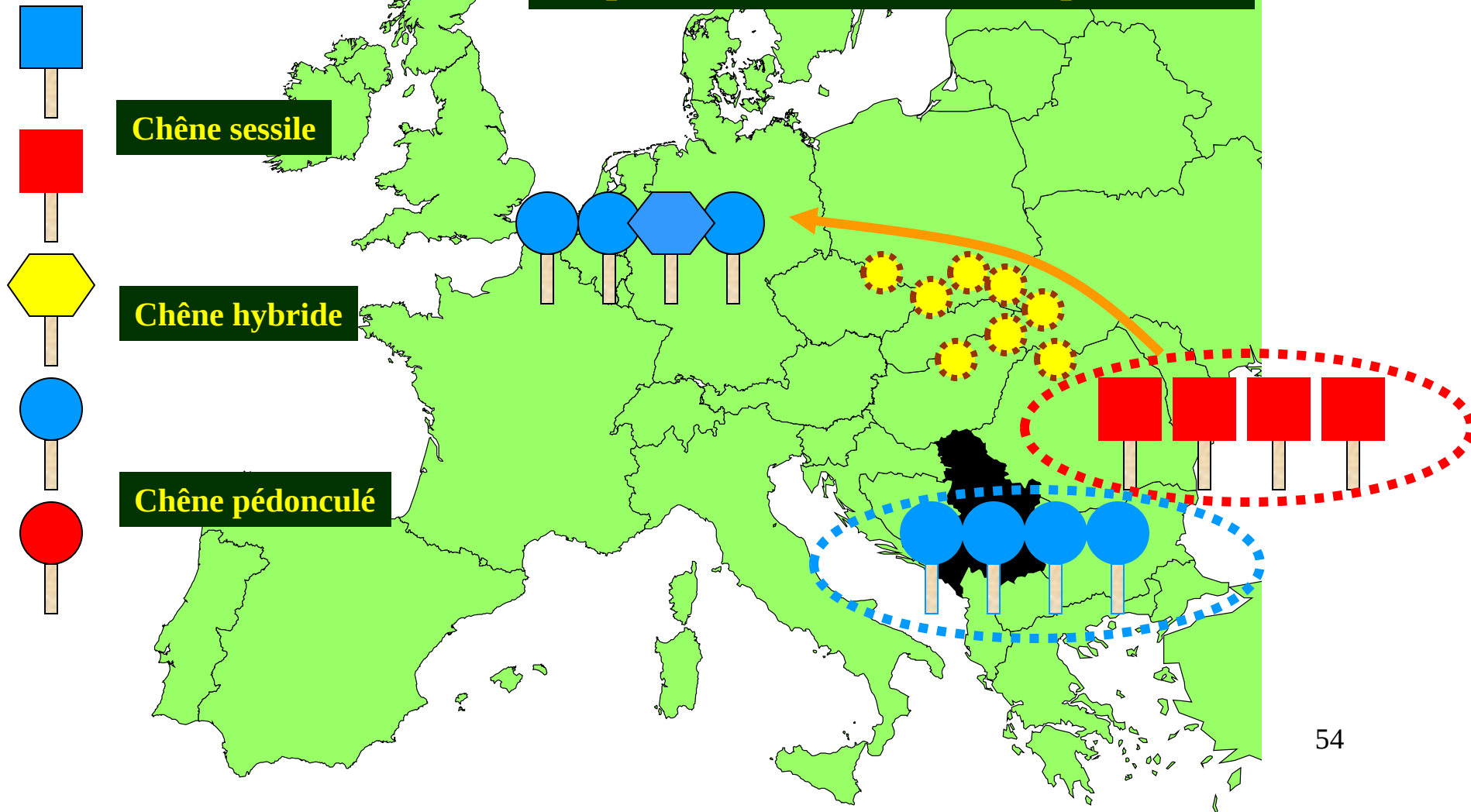
ROLE DES ESPECES DANS LA RECOLONISATION POST-GLACIAIRE

Etape 2 : le pédonculé recolonise l'Europe

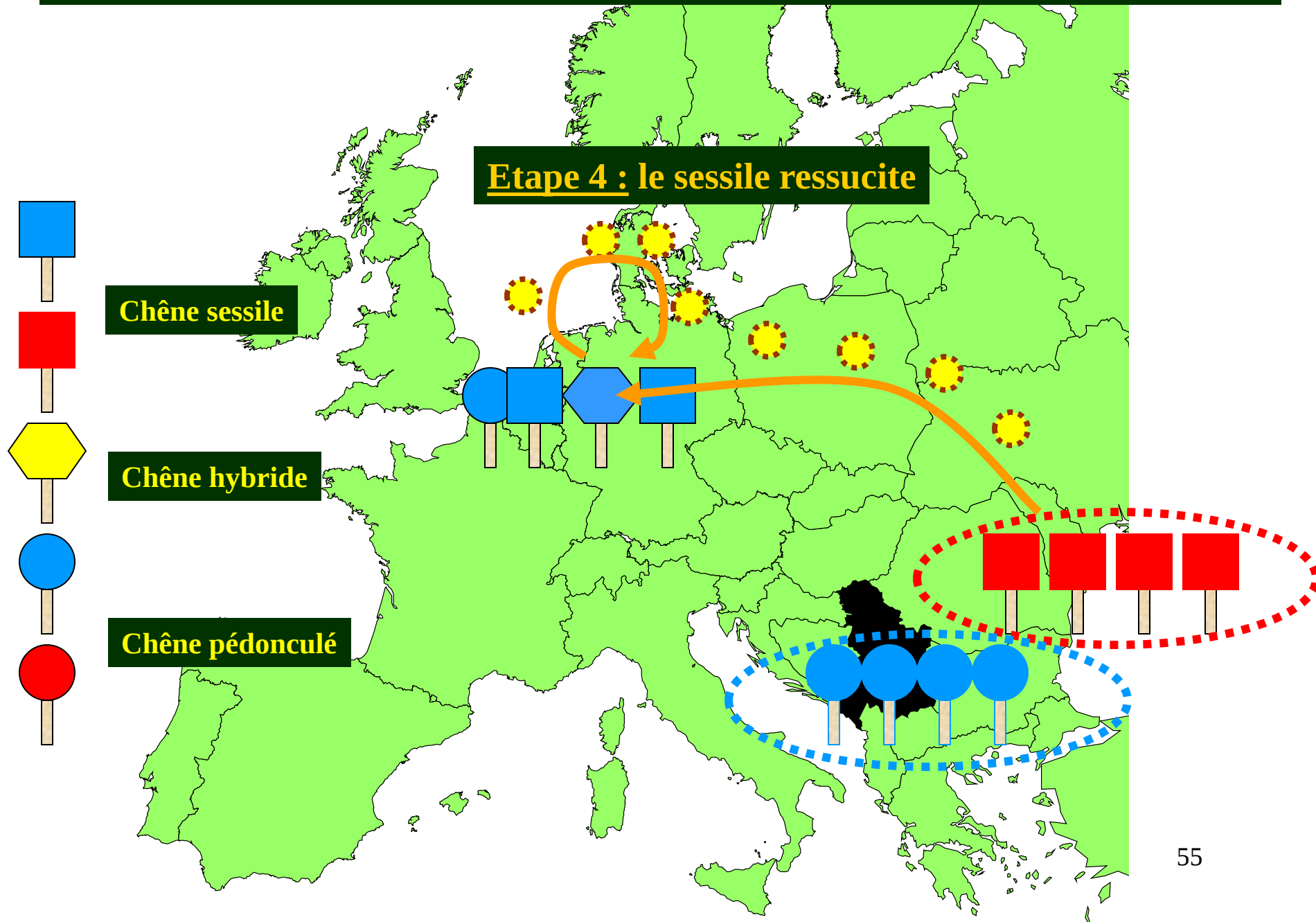


ROLE DES ESPECES DANS LA RECOLONISATION POST-GLACIAIRE

Etape 3 : le sessile colonise le pédonculé

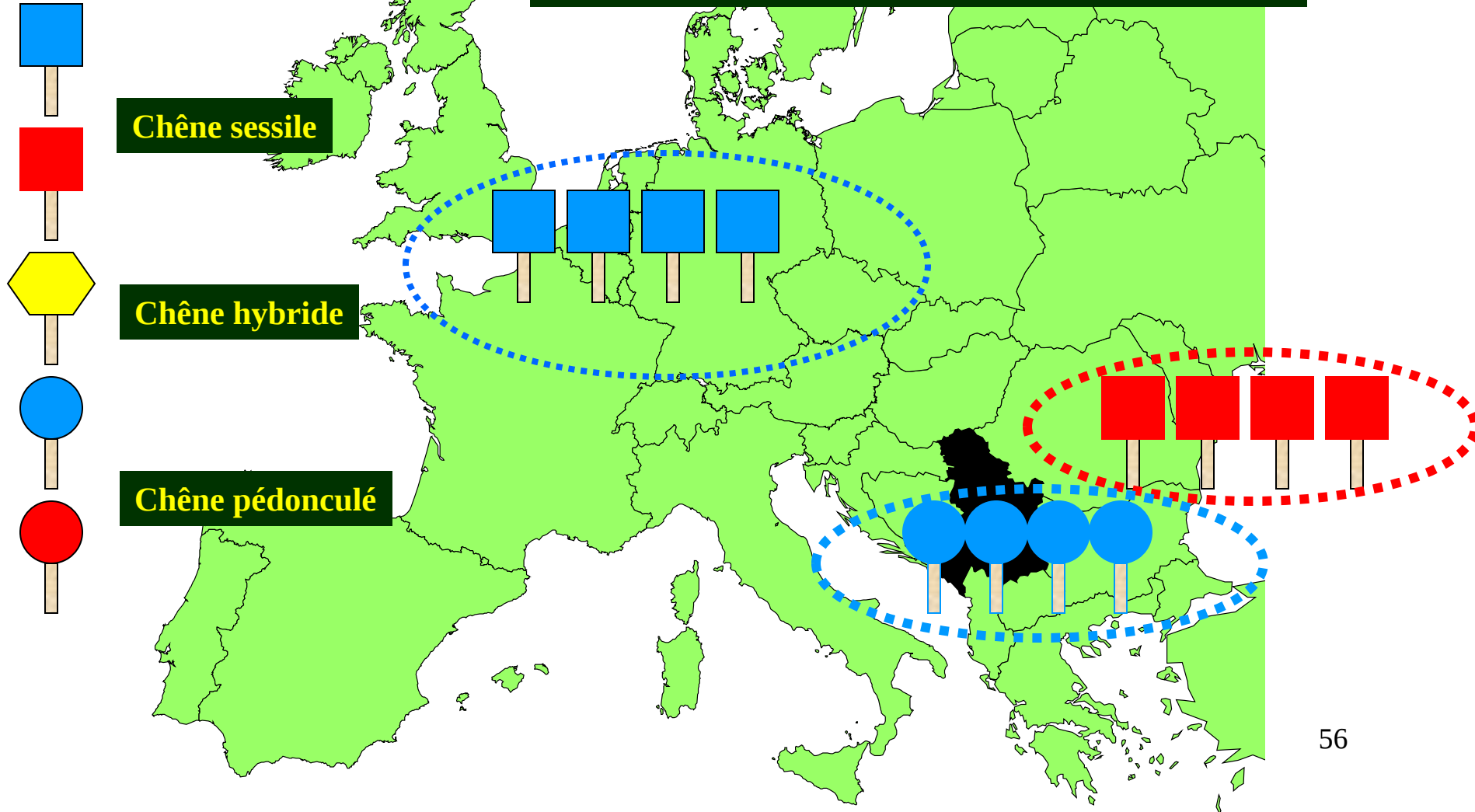


ROLE DES ESPECES DANS LA RECOLONISATION POST-GLACIAIRE



ROLE DES ESPECES DANS LA RECOLONISATION POST-GLACIAIRE

Etape 5 : le sessile s'installe définitivement



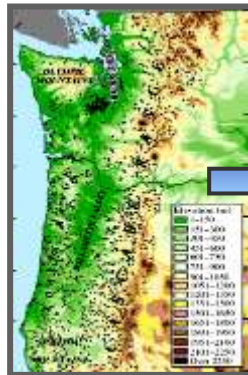
Adaptation

Comment la mettre en évidence ?

Tester les corrélations entre les performances pour un caractère donné et les paramètres décrivant les environnements d'origine

Exemple espèce exotique : Douglas

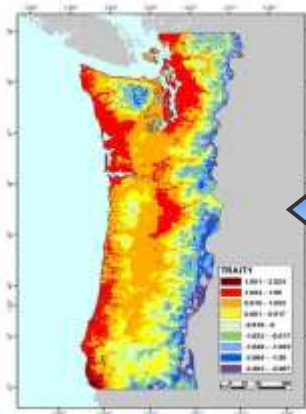
Echantillonnage
dans des milieux
variés



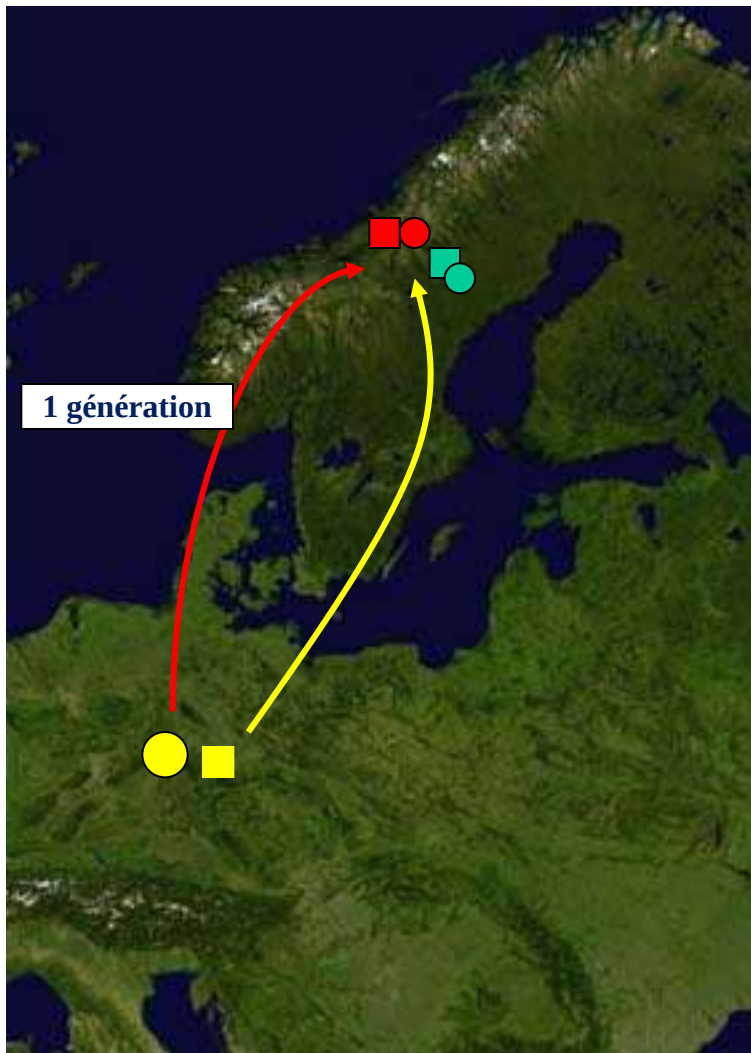
Comparaison dans un
environnement
commun



Observations/Mesures

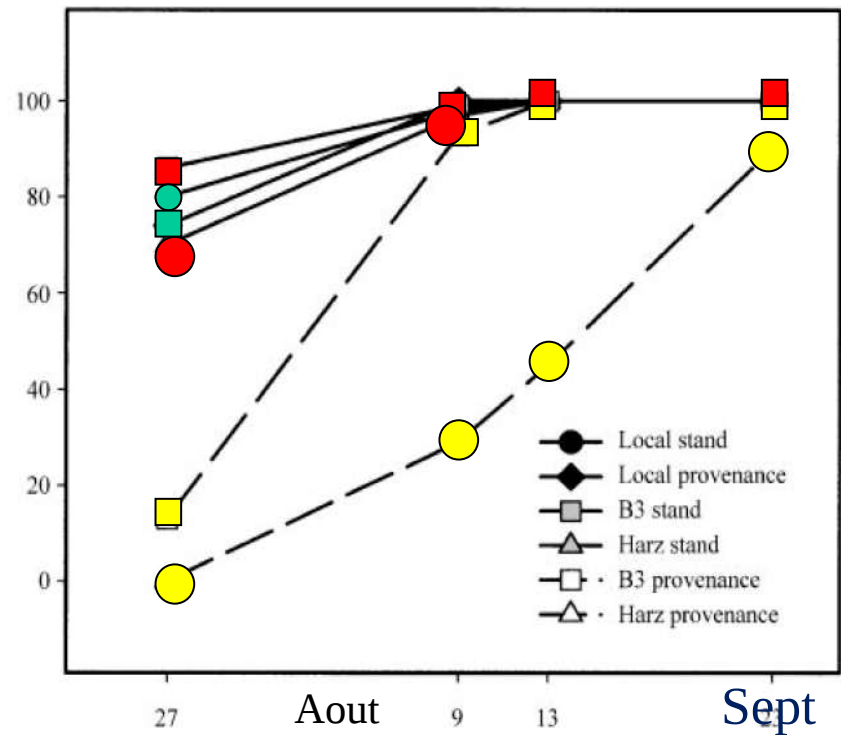


Adaptation locale: elle peut être rapide !



Epicéa commun

% plants avec
bourgeons

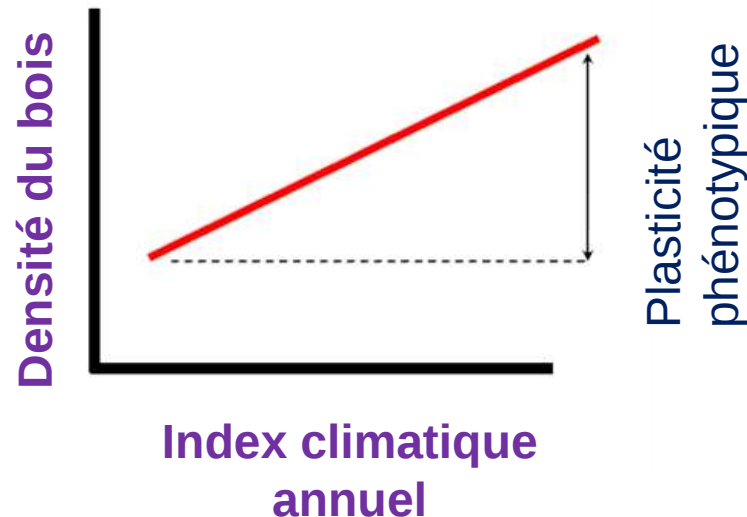
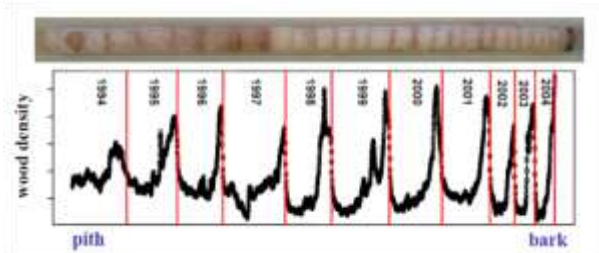


Plasticité phénotypique

= Capacité d'un génotype à produire différents phénotypes en fonction de l'environnement

Exemple : Les arbres modifient leur phénologie et leur croissance en réponse aux changements d'environnements (débourrement, arrêt de croissance, floraison, surface foliaire, transpiration,...)

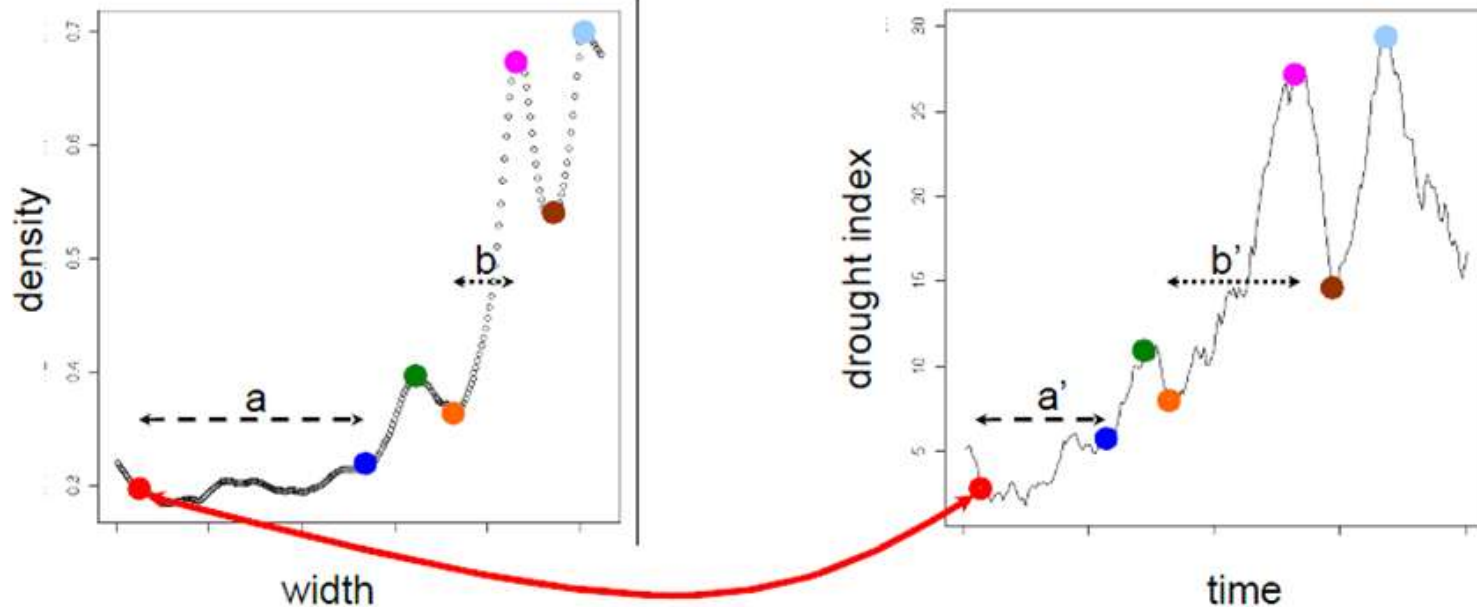
Elle est évaluée à l'aide d'une norme de réaction



Plasticité phénotypique

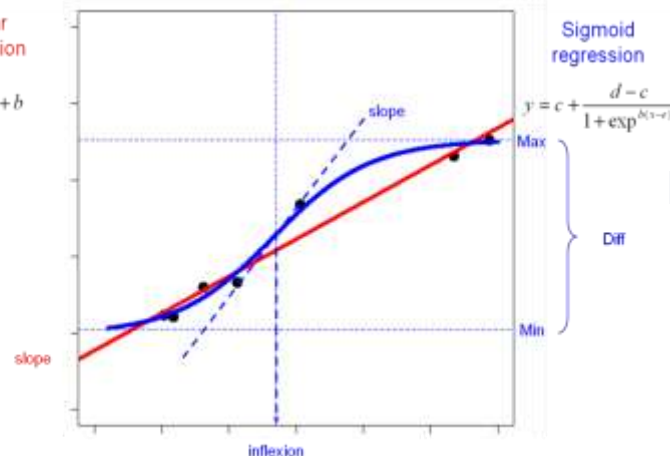
Dendroplasticité

Méthode des points de rupture



Linear
regression

$$y = a \times x + b$$



Les paramètres de la courbes
servent à décrire la plasticité
observée

Chez le pin maritime, une variabilité génétique pour ces paramètres a été mise en évidence

CONCLUSIONS

- **MIGRATION LIMITEE** AU NORD

Migration Naturelle limitée

Compétition entre espèces

- **ADAPTATION LOCALE** AU CENTRE

Favorisée par les flux de gènes

Continuité ou fragmentation de l'aire

- **ADAPTATION LOCALE** AU SUD ??

Comment peut-on aider les arbres forestiers à s'adapter aux climats futurs ?

1. Déplacer les populations dans un environnement favorable dans les 50 à 100 prochaines années (migration assistée)
.... *Qqs essais , beaucoup d'hésitations*
2. Promouvoir une migration naturelle et des flux de gènes entre populations adjacentes: *éviter la fragmentation des populations et maintenir des corridors*

Mais,

- la dispersion de graines peut être insuffisante
- la dispersion du pollen sera elle aussi affectée par l'évolution des températures



Comment peut-on aider les arbres forestiers à s'adapter aux climats futurs ?

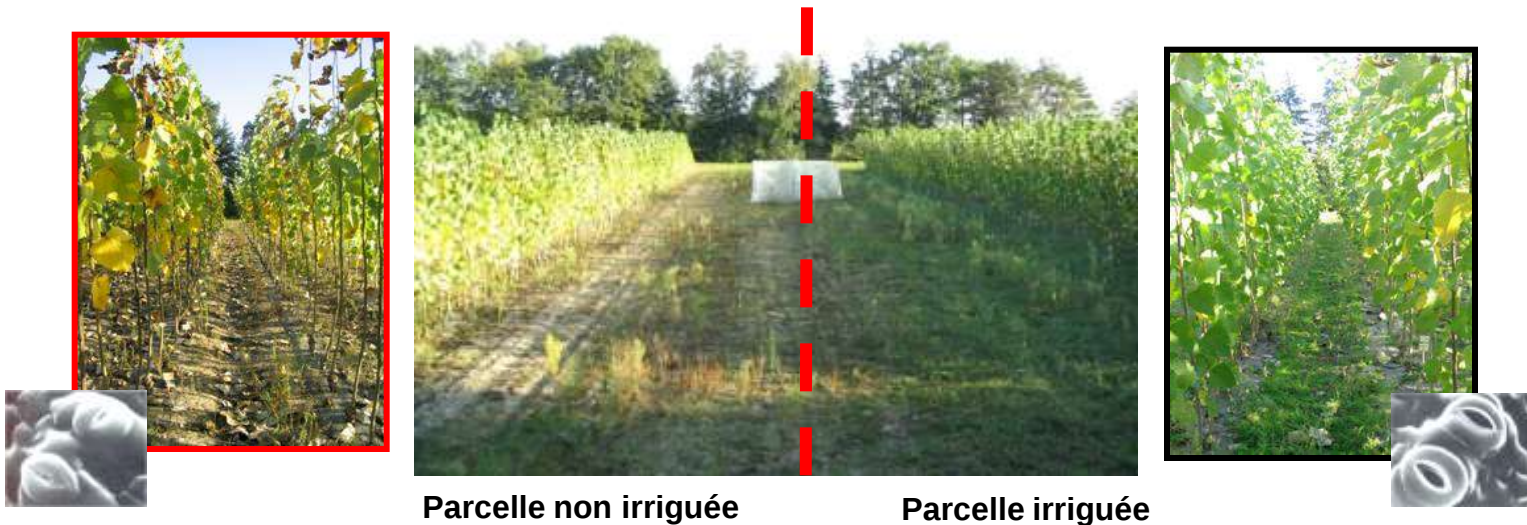
1. Déplacer les populations dans un environnement favorable dans les 50 à 100 prochaines années (migration assistée)
2. Promouvoir une migration naturelle et des flux de gènes entre populations adjacentes
3. Augmenter la diversité génétique:
 - installer des mélanges de populations sur des paysages assez grands
 - maintenir grâce à une gestion raisonnée la diversité au sein des populations

Comment peut-on aider les arbres forestiers à s'adapter aux climats futurs ?

1. Déplacer les populations dans un environnement favorable dans les 50 à 100 prochaines années (migration assistée)
2. Promouvoir une migration naturelle et des flux de gènes entre populations adjacentes
3. Augmenter la diversité génétique
4. Promouvoir la sélection de nouvelles variétés sélectionnées sur des caractères adaptatifs

Préparer des variétés forestières pour un contexte climatique (et économique) en évolution

- 1- Définition de critères de sélection liés à plasticité / adaptation
 - Dissection de caractères d'adaptation/plasticité dans un contexte environnemental changeant :
 - Survie : résistance / tolérance (pathogènes, temp. extrêmes, sécheresse, saison de veg.)
 - Prod. biomasse : allocation du carbone, efficacité d'utilisation de l'eau
 - Qualité du matériau bois : Lignine/cellulose, durabilité, ..
 - Liaisons entre caractères (notamment prod. biomasse vs autre car.)
 - Compromis de sélection multi caractère en fonction des contraintes environnementales (latitude, climat, sol)



Préparer des variétés forestières pour un contexte climatique (et économique) en évolution

•2- Développer des stratégies d'amélioration pour des objectifs à court et long termes

- Recombinaison, évaluation, sélection
- Structuration optimale des populations pour des stratégies d'amélioration à long terme
- Méthodes de diffusion (espace / temps) de variétés associant optimisation du gain économique et contrôle de l'impact environnemental

Comment peut-on aider les arbres forestiers à s'adapter aux climats futurs ?

1. Déplacer les populations dans un environnement favorable dans les 50 à 100 prochaines années (migration assistée)
2. Promouvoir une migration naturelle et des flux de gènes entre populations adjacentes
3. Augmenter la diversité génétique
4. Promouvoir la sélection de nouvelles variétés sélectionnées sur des caractères adaptatifs
5. Raisonner la conservation des ressources génétiques

Un engagement national



Comment gérer les ressources génétiques naturelles originales ?



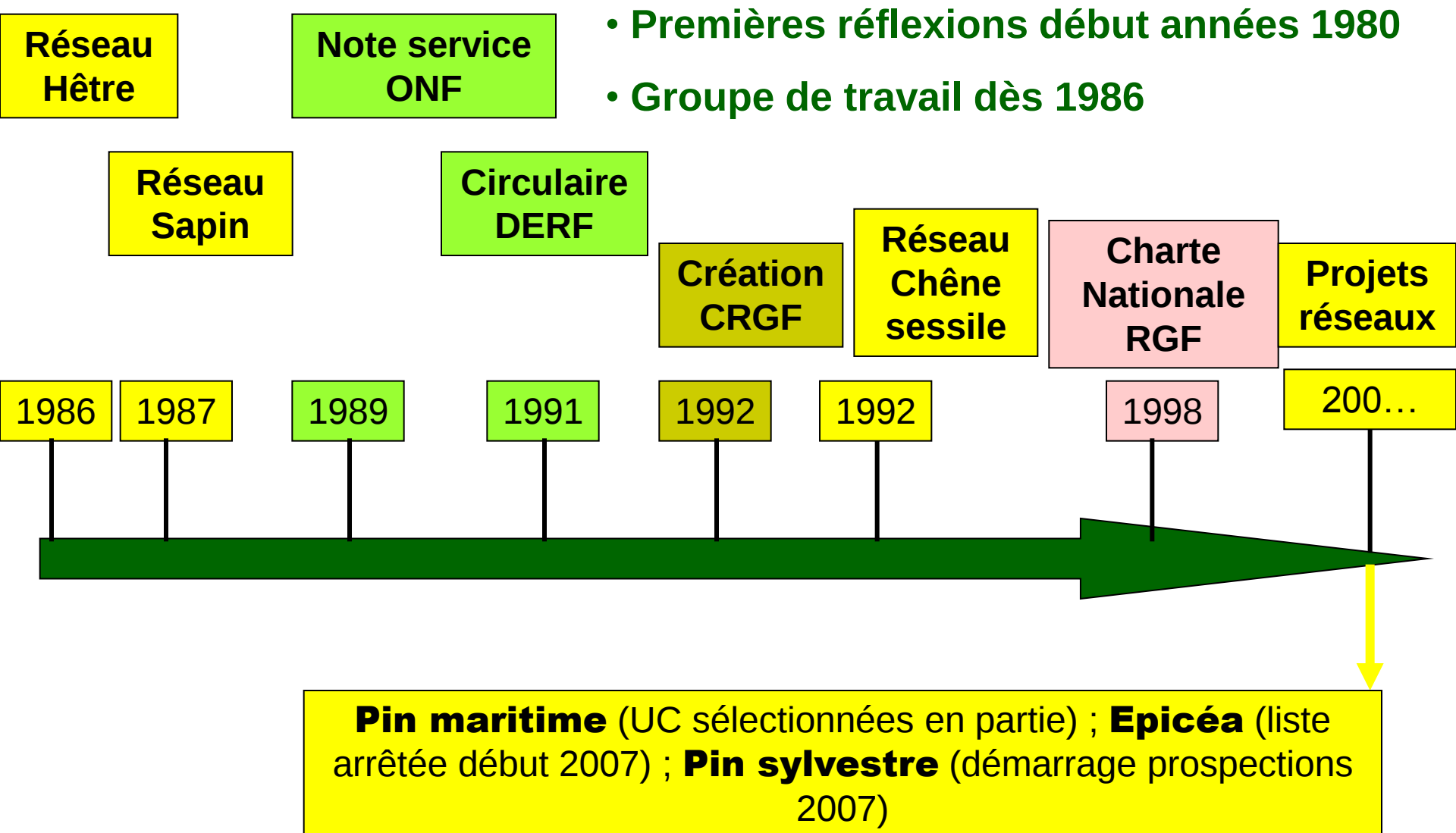
Les niveaux actuels de
ne sont ni des états stables,
ni idéaux,
mais des valeurs instantanées
résultant de processus dynamiques

taille de population
diversité génétique
adaptation

=> Gérer l'**évolution** de la ressource
(gestion dynamique)

=> conservation statique en cas d'urgence

Historique au niveau national



La conservation *in situ* vise :

- à **préserver le potentiel d'adaptation** des espèces ou des populations **sur le long terme**,
- tout en les **laissant évoluer dans leur milieu**, pour répondre aux **évolutions futures** de leur environnement.

Ce sont les **générations futures** plutôt que les arbres en place qui importent.

Objectifs :

- assurer la réalisation d'une **régénération par voie sexuée en quantité suffisante** pour permettre le renouvellement des unités du réseau de conservation ;
- assurer une **diversité et une structuration génétiques de cette régénération** lui permettant d'assurer son propre renouvellement ;
- **maintenir les caractéristiques** écologiques et génétiques des unités du réseau de conservation **au fil des générations**

Merci de votre attention

PHILADELPHIA MUSEUM OF ART



MONET

