

**Diversité génétique chez les chênes :
quelles conséquences pour le forestier?**

DUCOUSSO Alexis

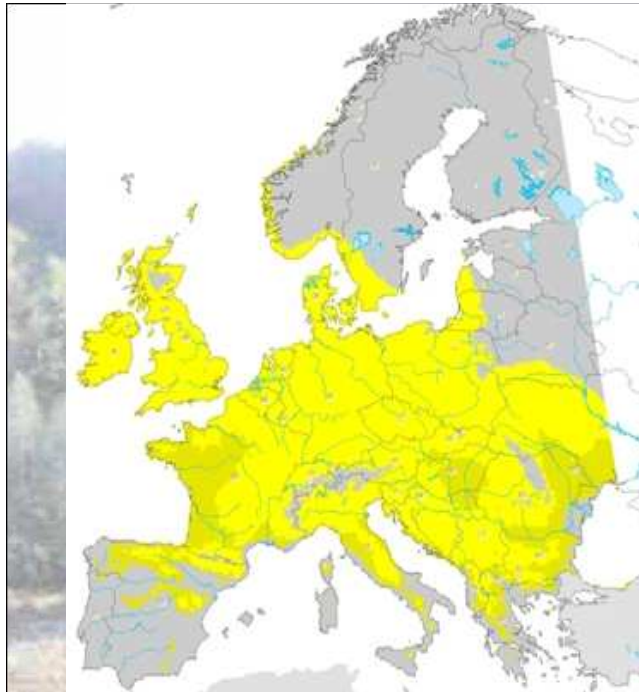


UMR BioGeCo

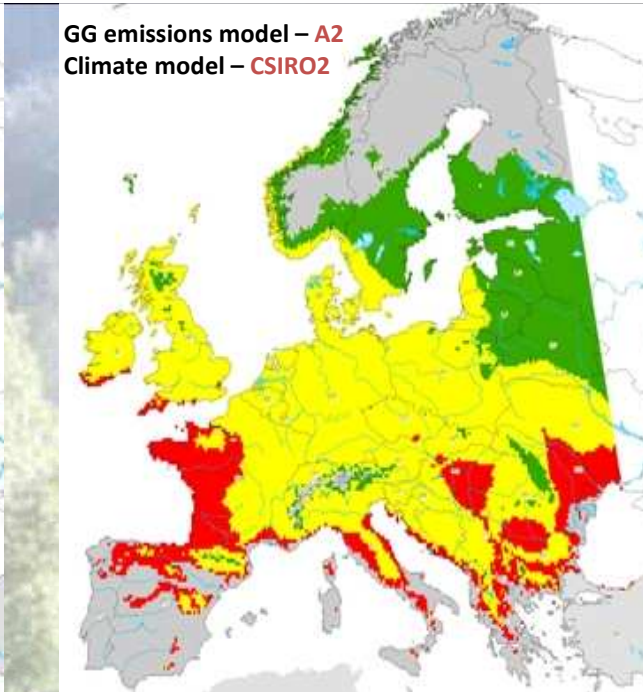


« La génétique, un élément clé pour l'adaptation des forêts au changement climatique »

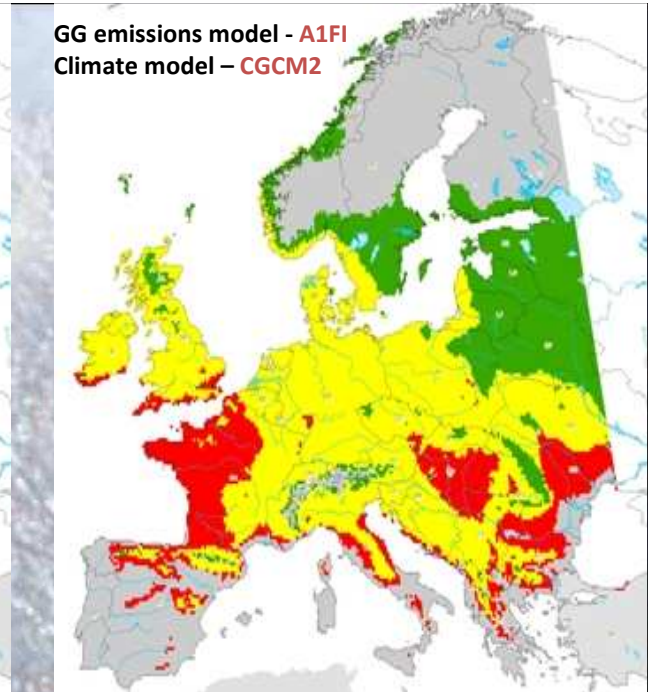
Paris, 12 mai 2011



GG emissions model – A2
Climate model – CSIRO2

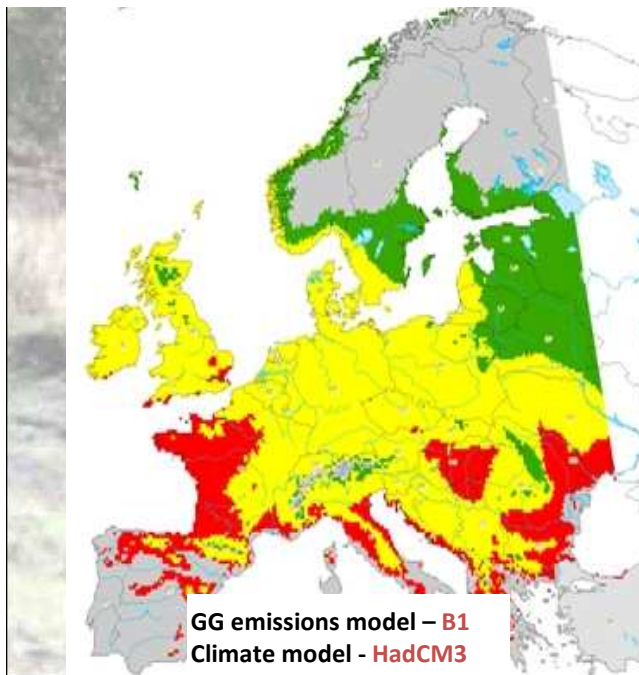


GG emissions model - A1FI
Climate model – CGCM2

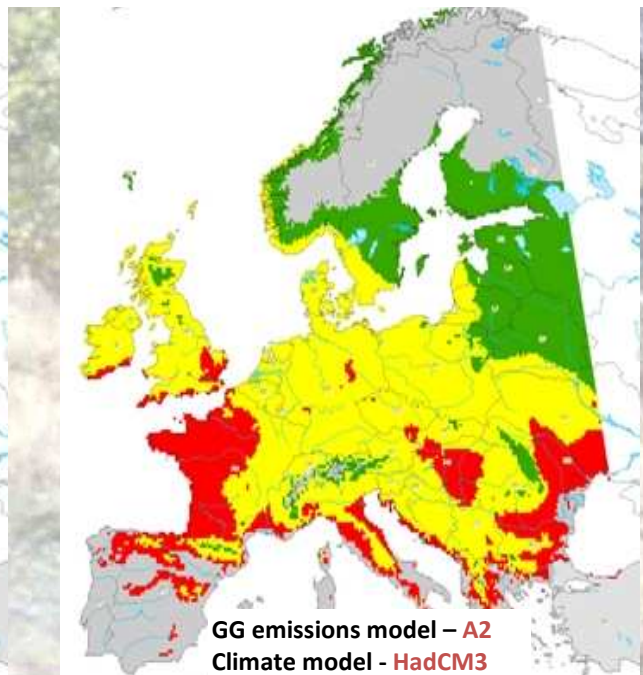


PREDICTED BIOCLIMATIC ENVELOPES OF *Q. petraea* IN 2080

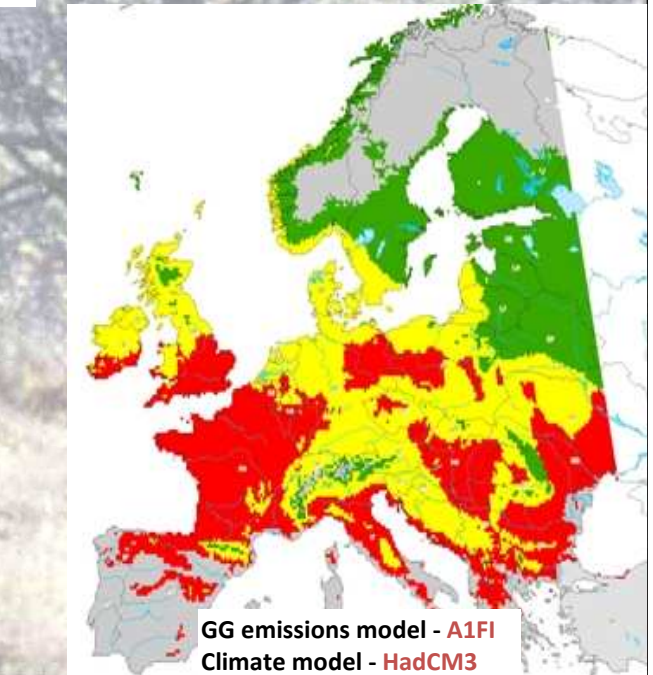
Thuiller GCB 2003, Thuiller et al. PNAS 2005



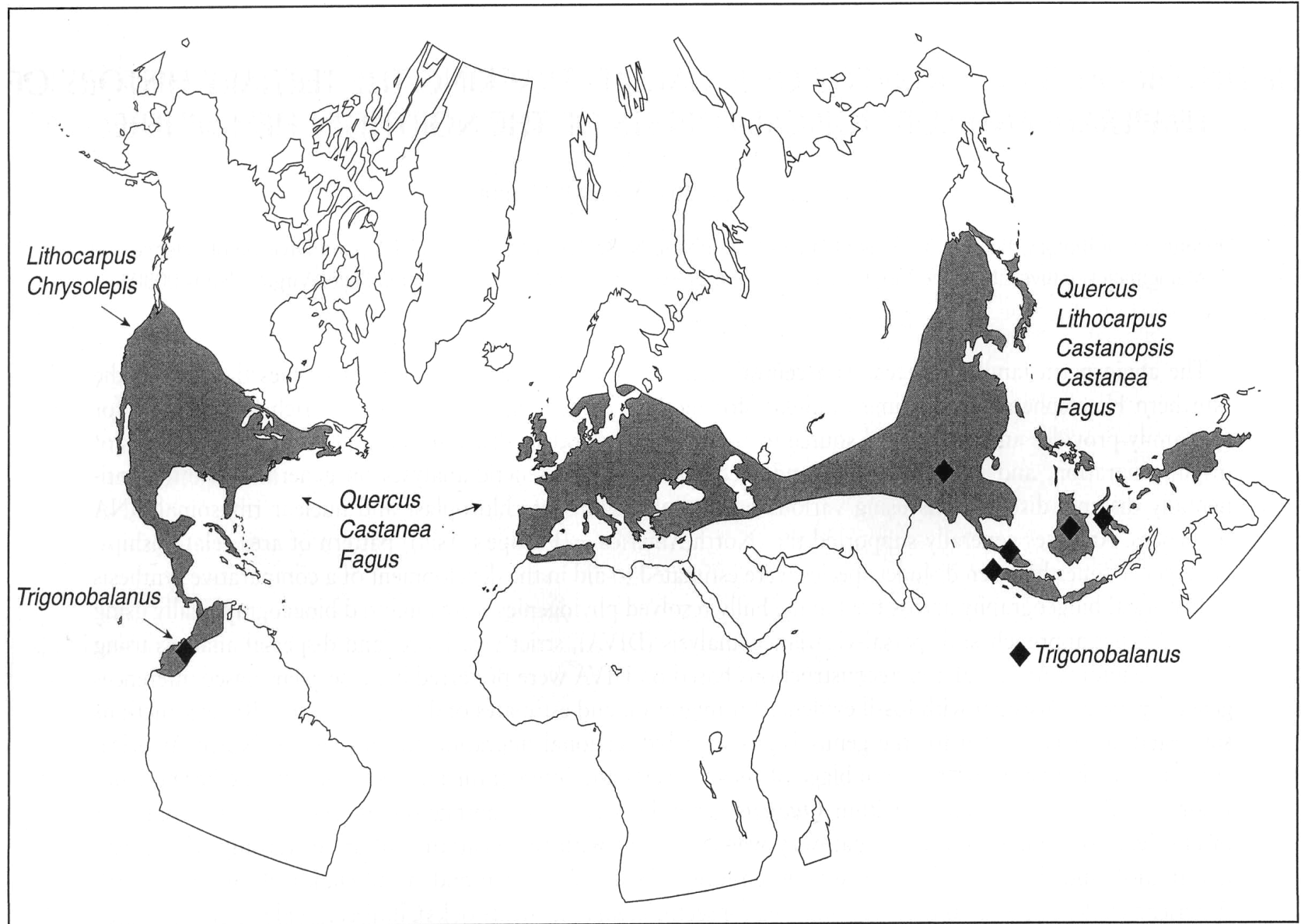
GG emissions model – B1
Climate model - HadCM3



GG emissions model – A2
Climate model - HadCM3

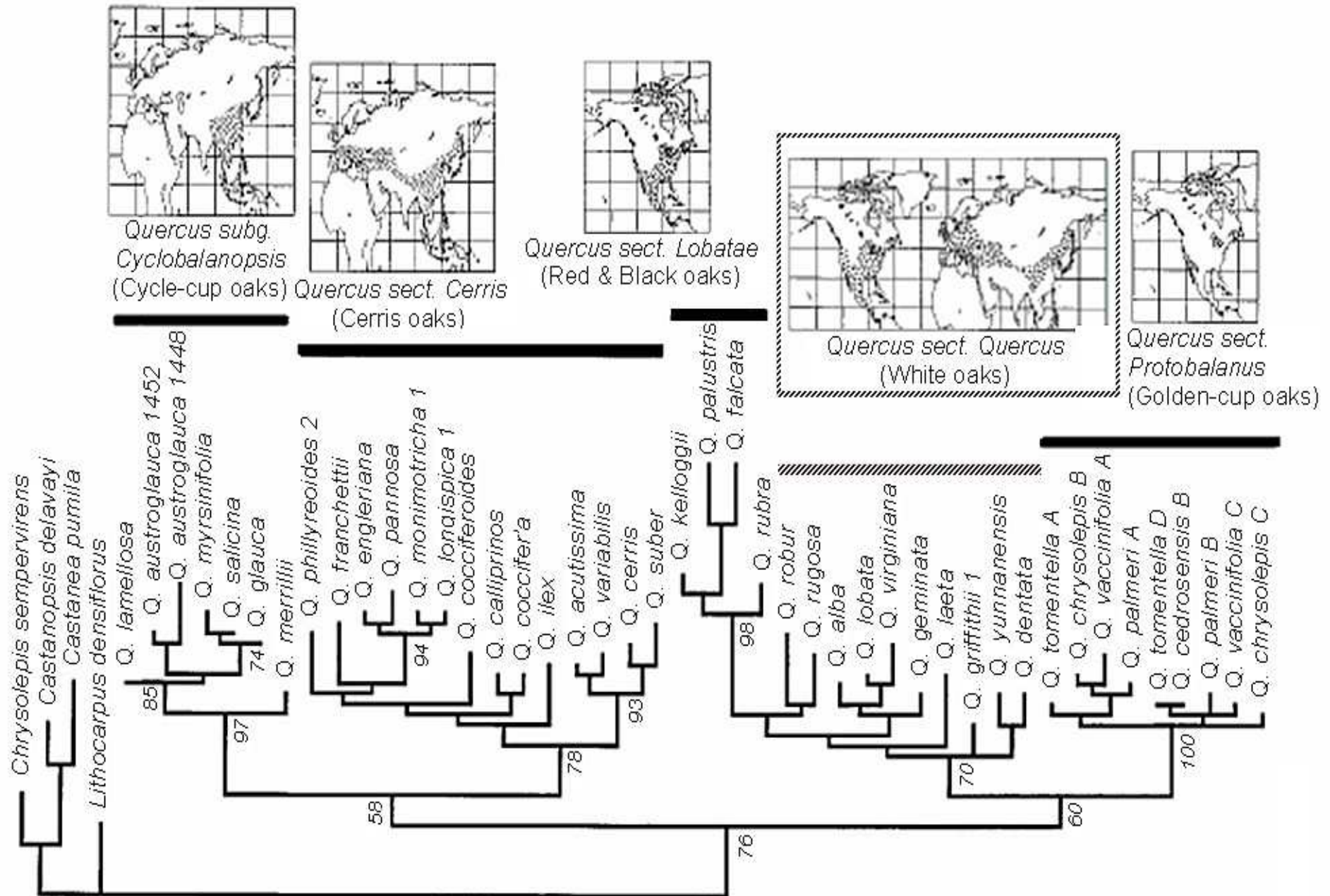


GG emissions model - A1FI
Climate model - HadCM3



Répartition moderne des Fagacées (Manos et Stanford, 2001)

Classification des chênes (Manos, 2001 adaptée par Lepais, 2008)



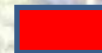
Espèce	Thermophilie
<i>Quercus afares</i>	Red
<i>Quercus alnifolia</i>	Red
<i>Quercus aucheri</i>	Red
<i>Quercus brantii</i>	Red
<i>Quercus canariensis</i>	Red
<i>Quercus cerris</i>	Red
<i>Quercus coccifera</i>	Red
<i>Quercus congesta</i>	Red
<i>Quercus dalechampii</i>	Red
<i>Quercus faginea</i>	Red
<i>Quercus frainetto</i>	Red
<i>Quercus hartwissiana</i>	Red
<i>Quercus ilex</i>	Red
<i>Quercus infectoria</i>	Red
<i>Quercus ithaburensis</i>	Red
<i>Quercus libani</i>	Red
<i>Quercus lusitanica</i>	Red
<i>Quercus macranthera</i>	Red
<i>Quercus petraea</i>	Green
<i>Quercus pontica</i>	Red
<i>Quercus pubescens</i>	Red
<i>Quercus pyrenaica</i>	Red
<i>Quercus robur</i>	Green
<i>Quercus rotundifolia</i>	Red
<i>Quercus sicula</i>	Red
<i>Quercus suber</i>	Red
<i>Quercus trojana</i>	Red
<i>Quercus vulcanica</i>	Red

Liste des chênes européens et du pourtour méditerranéen

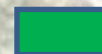
⇒ 28 espèces

⇒ 41 taxons (espèces + sous espèce)

⇒ 26 espèces thermophiles



Espèces thermophiles



Espèces non-thermophiles

⇒ Majorité de chênes thermophiles

Les chênes français :

10 espèces : 5 de la section *Quercus* et 5 de la section *Cerris*

- *Quercus robur*
- *Quercus petraea*
- *Quercus pubescens*
- *Quercus pyrenaica*
- *Quercus faginea*

Section *Quercus*

- *Quercus ilex*
- *Quercus suber*
- *Quercus coccifera*
- *Quercus crenata*
- *Quercus cerris*

Section *Cerris*

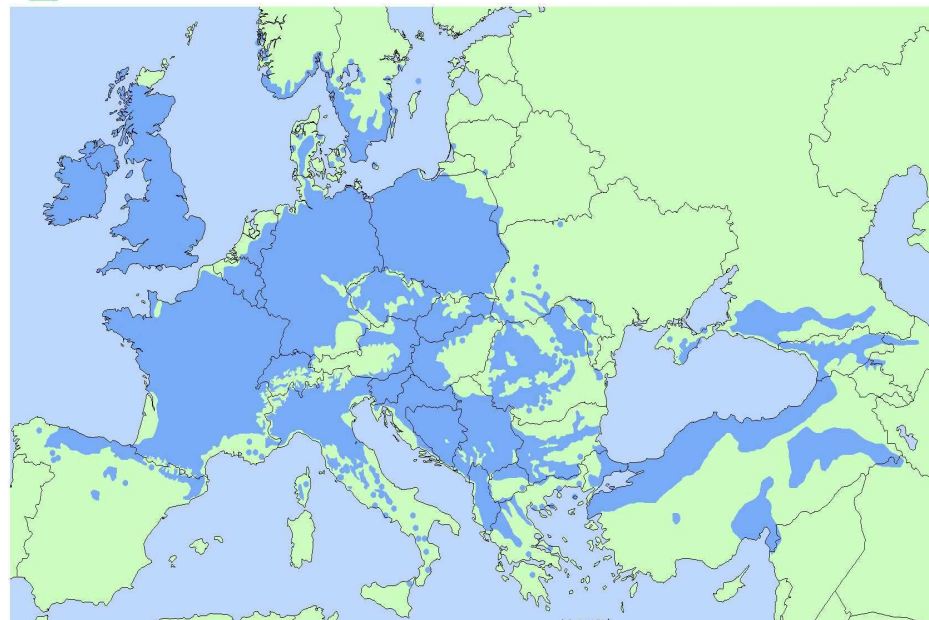
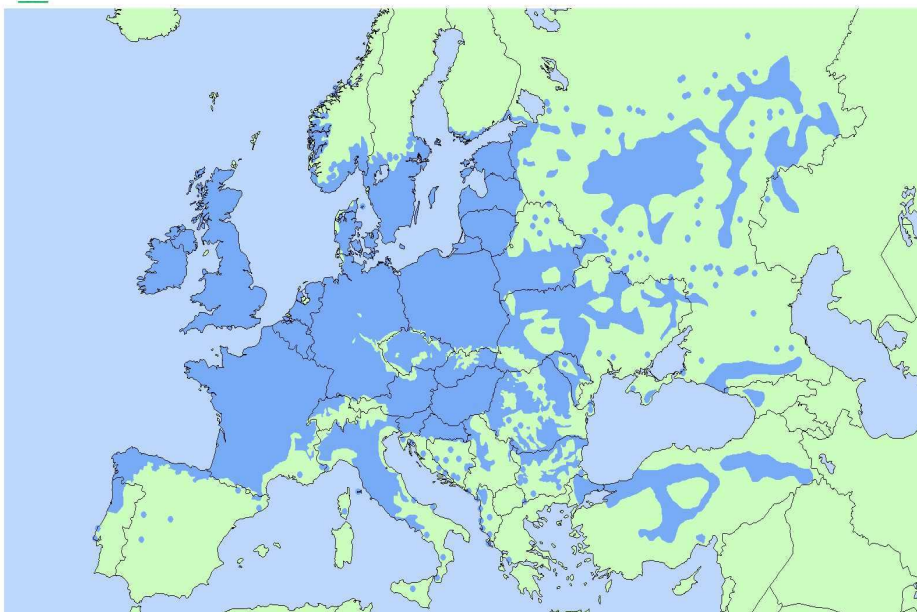


Quercus robur

Aires de répartition



Quercus petraea



This distribution map was compiled by members of the EUFORGEN Temperate Oaks and Beech and published in: Ducouso, A. and S. Bordacs. 2004. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 6 pages.

This distribution map is being compiled by members of the EUFORGEN Temperate Oaks and Beech and will be published in: Ducouso, A. and S. Bordacs. 2004. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 6 pages.

Espèce	Surface ha	Surface %
Total (forêt de production)	15 135 000	
Chêne pédonculé	1 890 000	12,5
Chêne rouvre	1 653 000	10,9
Chêne pubescent	1 275 000	8,4
Hêtre	1 394 000	9,2

Surface des chênes en France

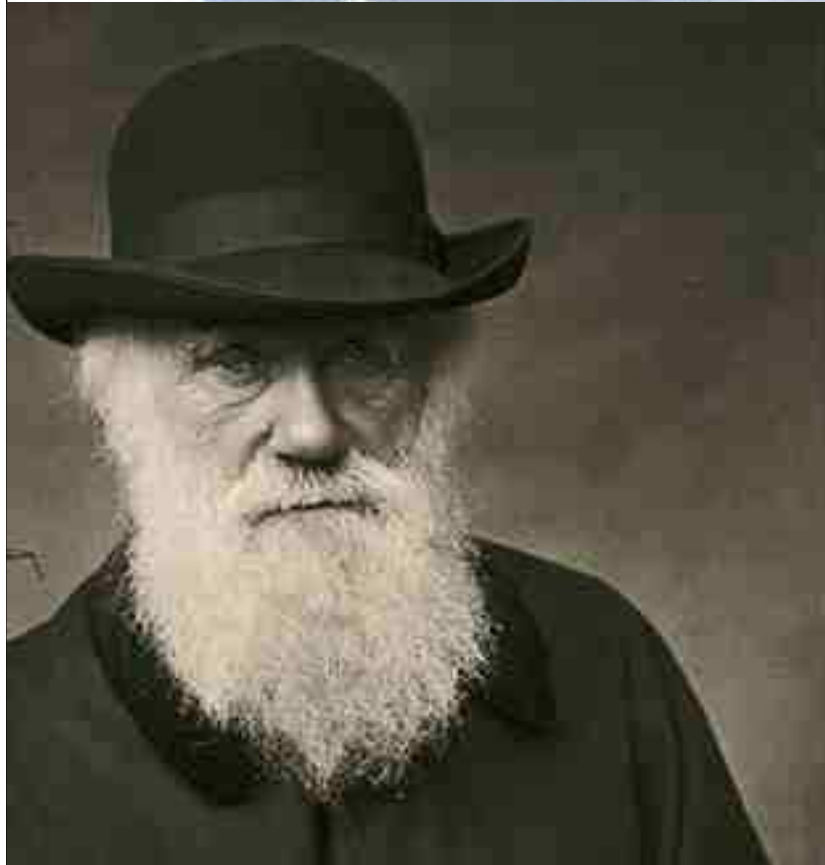
Objectifs de la sylviculture

- Gestion de forêts semi naturelles
- Production de bois de haute qualité
- Régime de la futaie
- Régénération
 - Naturelle : une priorité
 - Artificielle : les semences sont récoltées dans des peuplements naturels (peuplements sélectionnés)

Objectifs de la recherche

- Gestion des ressources génétiques
 - Régénération artificielle
 - Régénération naturelle
- Conservation des ressources génétiques

=> Pas de programme d'amélioration génétique



ON
THE ORIGIN OF SPECIES

BY MEANS OF NATURAL SELECTION,

OR THE

PRESERVATION OF FAVOURED RACES IN THE STRUGGLE
FOR LIFE.

By CHARLES DARWIN, M.A.,

FELLOW OF THE ROYAL, GEOLOGICAL, LINNEAN, ETC., SOCIETIES;
AUTHOR OF 'JOURNAL OF RESEARCHES DURING H. M. S. BEAGLE'S VOYAGE
ROUND THE WORLD.'

LONDON:
JOHN MURRAY, ALBEMARLE STREET.

1859.

The right of Translation is reserved.

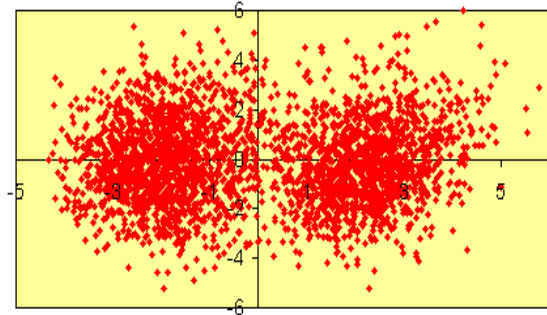
L'origine des espèces, Charles Darwin

Chapitre 2 :

Les chênes sont des espèces douteuses....

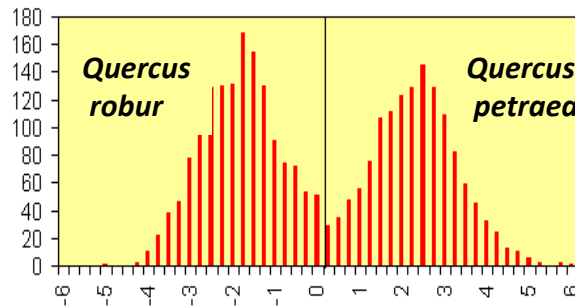
All sites
Graph of the 2 first components

9 I.P.S. en Europe



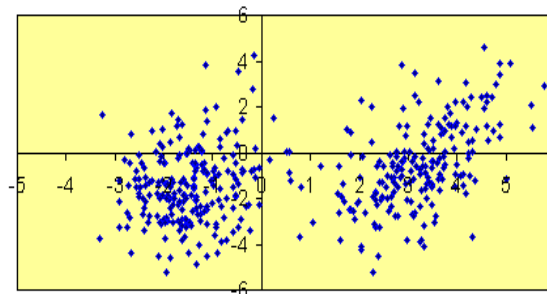
Threshold value of component 1 between the two species is : 0.25

All sites
Distribution of component 1 **N = 2865 trees**

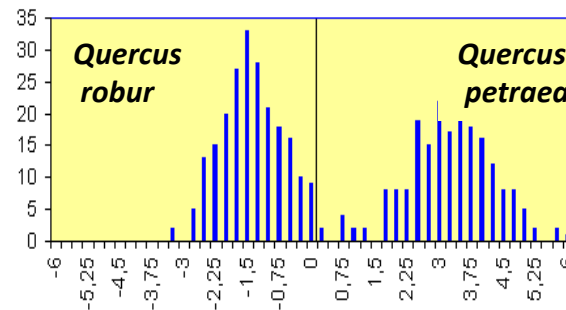


Graph of the 2 first components

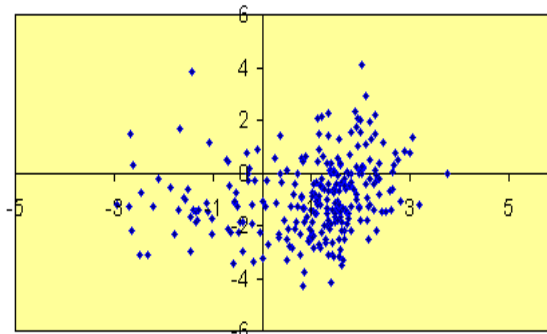
France, FD Petite Charnie (72)



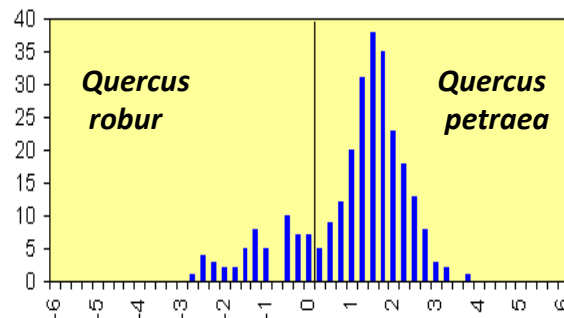
All sites
Distribution of component 1 **N = 422 trees**



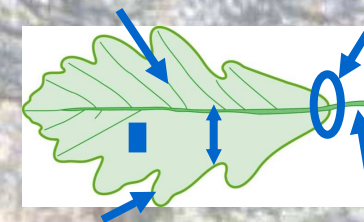
Grande Bretagne, Roudsea Wood



All sites
Distribution of component 1 **N = 272 trees**



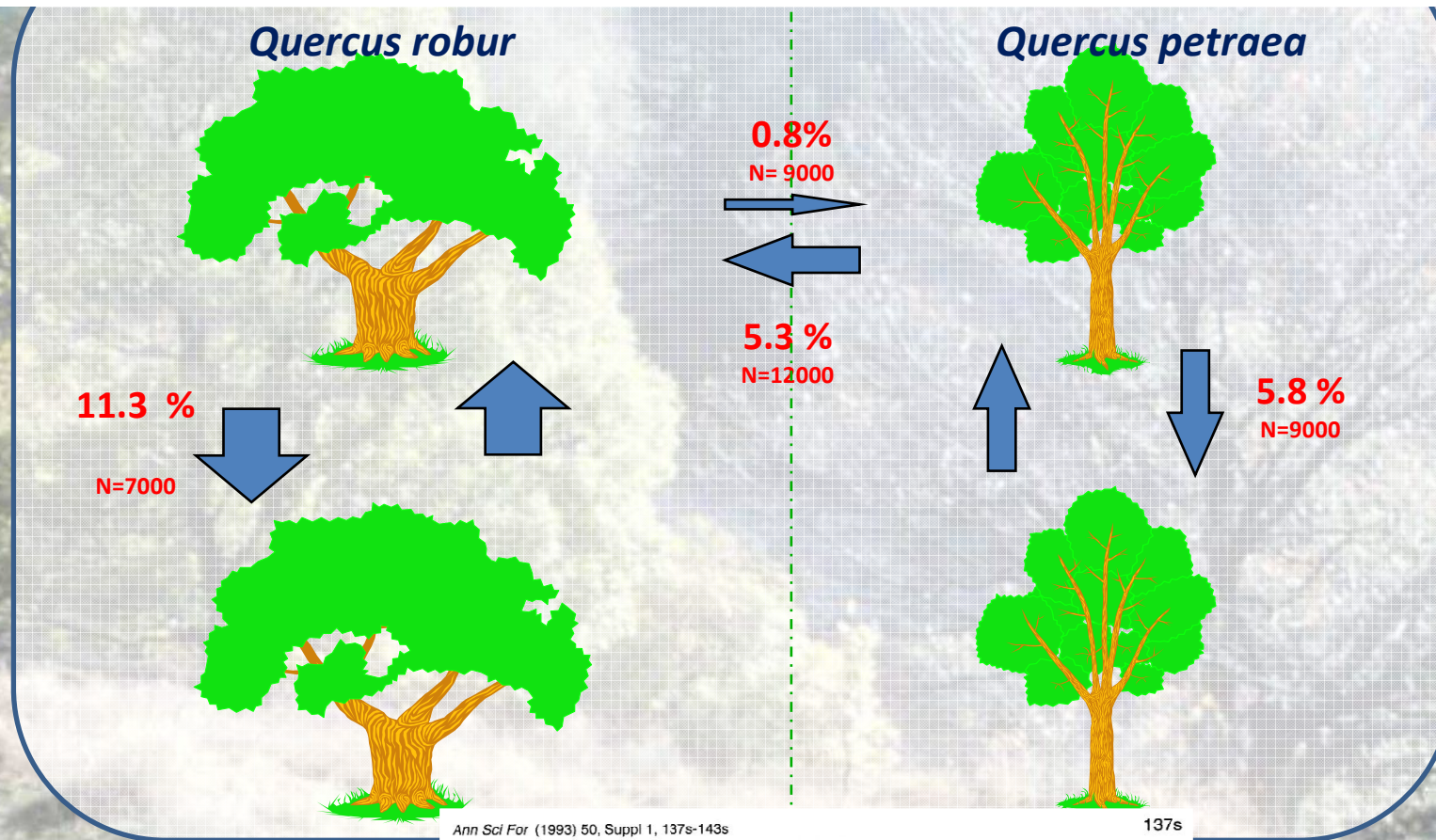
Espèce morphologique (Linnée)



ACP, 13 caractères : longueur du pétiole, longueur du limbe, pilosité, oreillette,....

Espèce biologique: un groupe d'individus capables de se reproduire et donnant des descendants fertiles mâle et femelle et c'est un groupe isolé des autres groupes avec lesquels la reproduction n'existe (normalement) pas (E. Mayr, 1942 et 1963).

Croisements contrôlés entre *Quercus robur* et *Q. petraea*



Ann Sci For (1993) 50, Suppl 1, 137s-143s
© Elsevier/INRA

137s

Original article

Results of species hybridization with
Quercus robur L and *Quercus petraea* (Matt) Liebl

S Steinhoff



Leigh Van Valen, 1935-2010

Leigh Van Valen (1976). Ecological species, multispecies, and oaks. *Taxon*, 25:233-239.

Espèce écologique : Un groupe d'individus adaptés à des ressources de l'environnement appelé niche écologique. Selon ce concepts, les populations forme des regroupements phénétique* qui sont identifiés comme des espèces car les processus écologique et évolutif contrôlant l'allocation des ressources tend à produire ces regroupements.

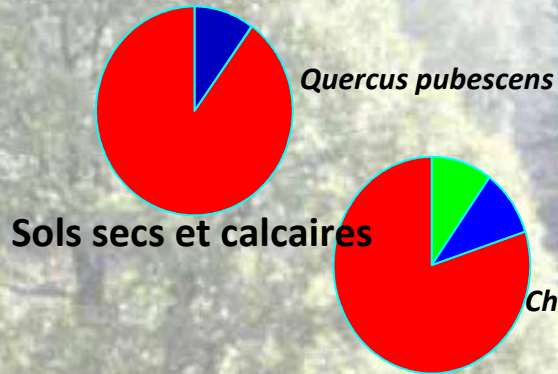
(*La phénétique repose sur le postulat de base que le degré de ressemblance est corrélé au degré de parenté. Elle suppose donc de quantifier la ressemblance entre les êtres vivants à classer)

Niche écologique des chênes blancs dans le centre de la France

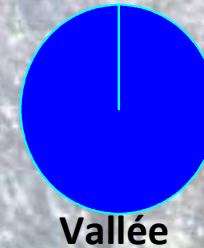
Contribution à la taxonomie et à l'écologie des chênes du Berry

G. GRANDJEAN, P. SIGAUD

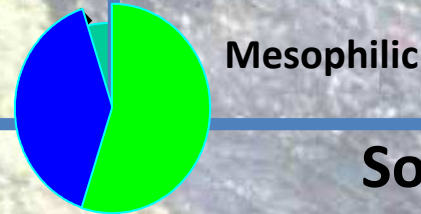
E.N.I.T.E.F., Domaine des Barres, F 45290 Nogent-sur-Vernisson



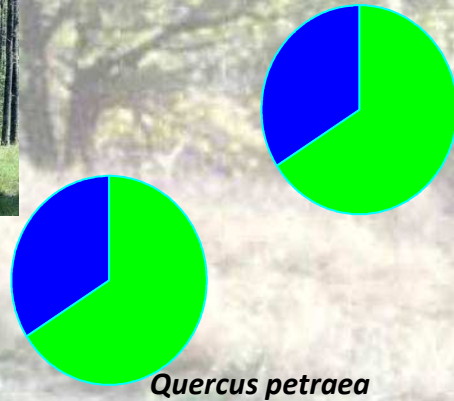
Quercus robur



Sols secs



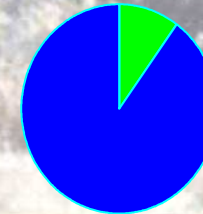
Sols bien alimentés en eau



Podzols secs



Podzol shydromorphes



Sols pauvres et acides

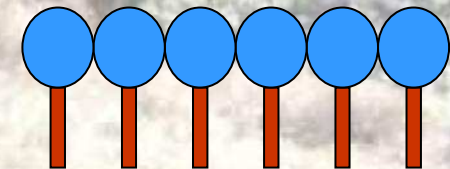
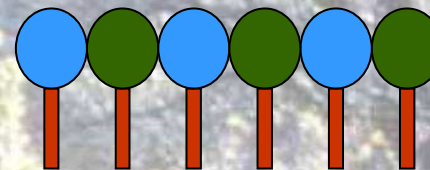
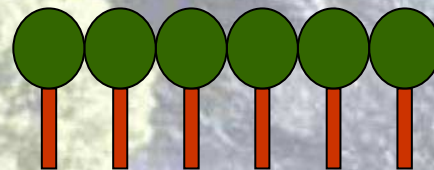
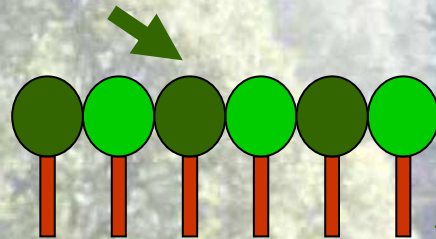
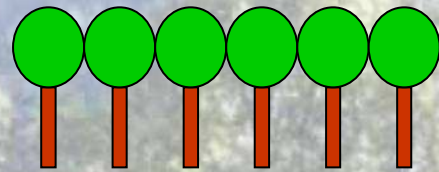
COMPORTEMENT DYNAMIQUE
DU CHÊNE PÉDONCULÉ
ET DU CHÊNE SESSILE
DANS LES
SUCCESSIONS FORESTIÈRES

J.-C. RAMEAU

Rev. For. Fr., 2, 1990



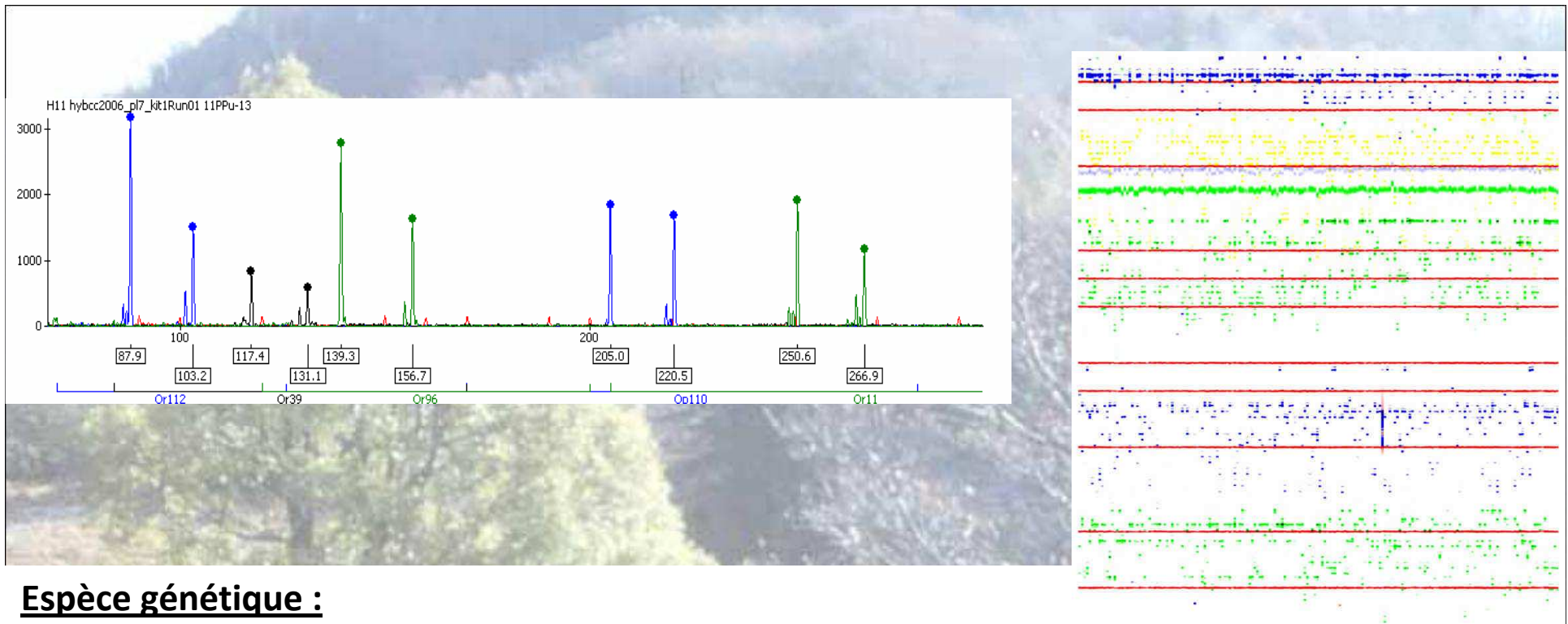
Rameau JC, 1943-2005



Quercus robur

Quercus petraea

Fagus sylvatica

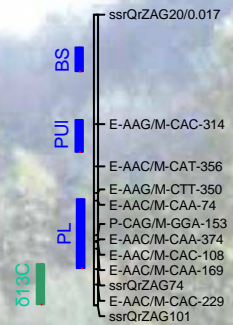


Espèce génétique :

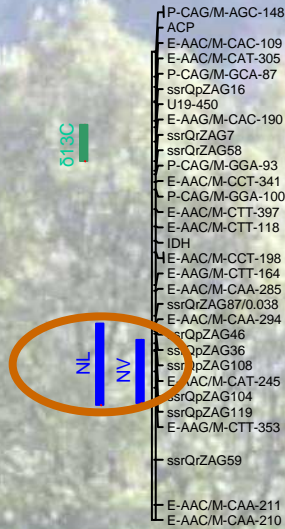
elle se base sur la similitude des marqueurs moléculaires ou des séquences ADN des individus ou des populations.

- ⇒ Pas de marqueurs spécifique
- ⇒ Pas de différenciation spécifique avec les marqueurs cytoplasmique
- ⇒ Identification possible de l'espèce avec 10 loci nucléaire microsatellites et la méthode d'assignement par regroupement bayésien.

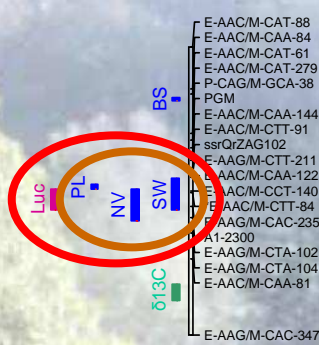
Consensus 1



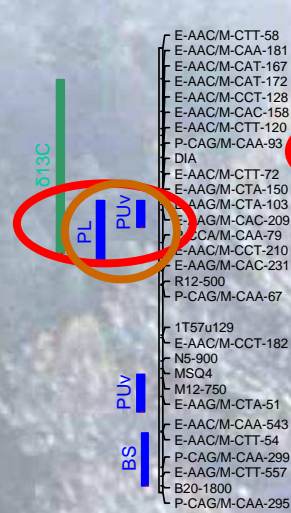
Consensus 2



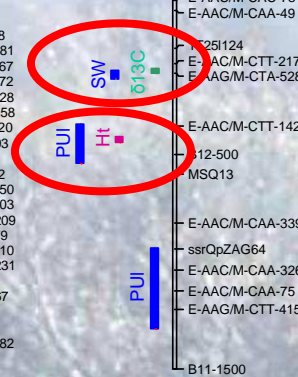
Consensus 3



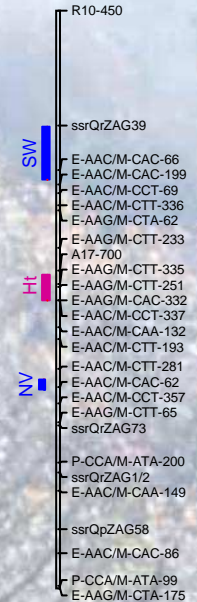
Consensus 4



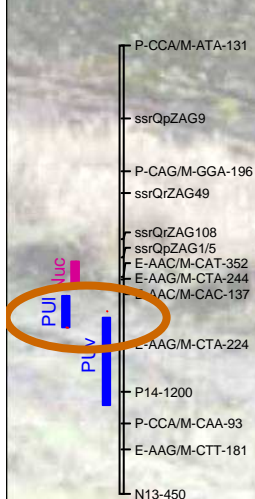
Consensus 6



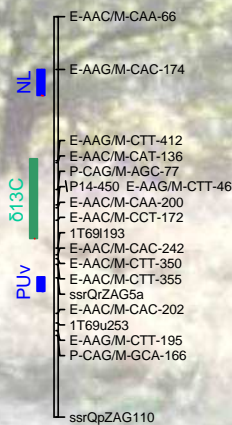
Consensus 5



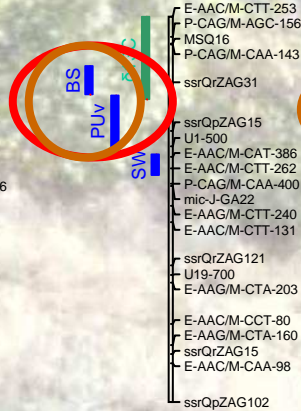
Consensus 7



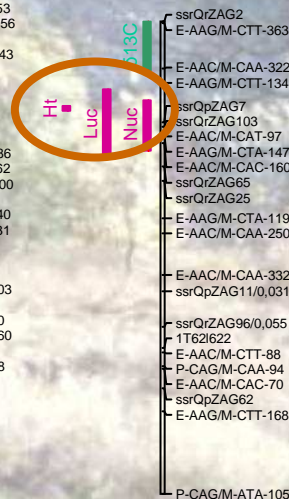
Consensus 8



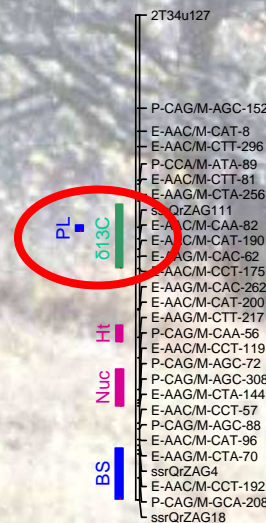
Consensus 9



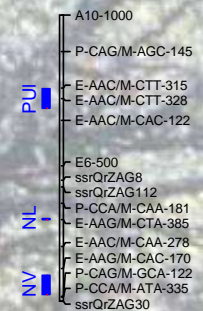
Consensus 10



Consensus 11



Consensus 12



CONCLUSION SUR LE CONCEPT D'ESPECES CHEZ LES CHENES BLANCS

Espèce morphologique: oui, mais!

Espèce biologique: non, mais il existe une isolation asymétrique!

Espèce écologique: oui, mais!

Espèce génétique: oui

Complexe d'espèces (Pernès, 1984) oui

Groupe d'espèces distincts qui échangent des gènes. Ces échanges sont évolutivement stables.

(Pernès, J. (1984). *Gestion des Ressources Génétiques des Plantes, Tome 2. Lavoisier, Paris, 346 pp.*)

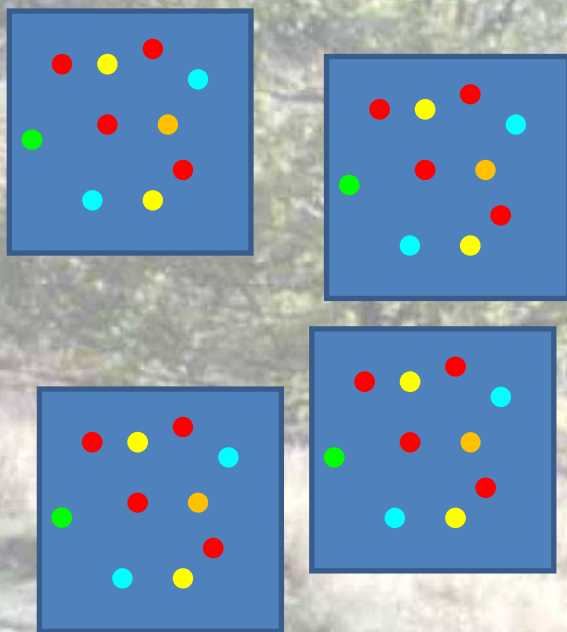
Le G_{st} : indice de mesure de la différenciation génétique (Nei, 1973 et 1977)

$$G_{st} = 1 - (H_s/H_t)$$

H_s = moyenne des diversités génétiques intra-population

H_t = moyenne des diversités génétiques de l'ensemble des populations

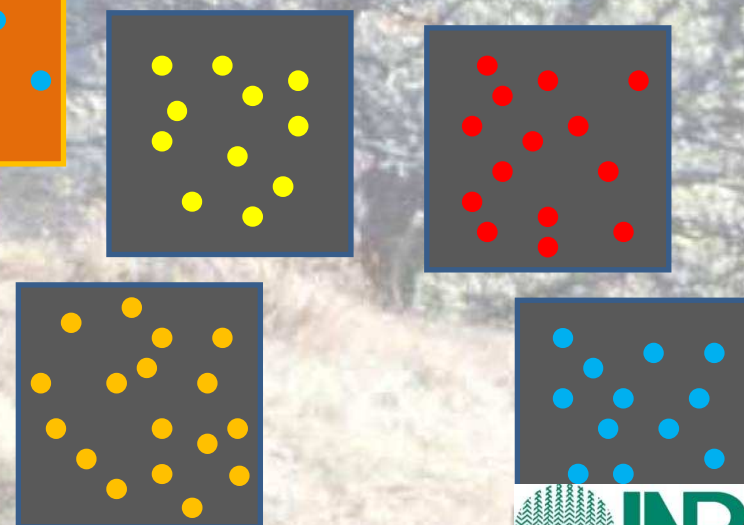
$G_{st} = 0$



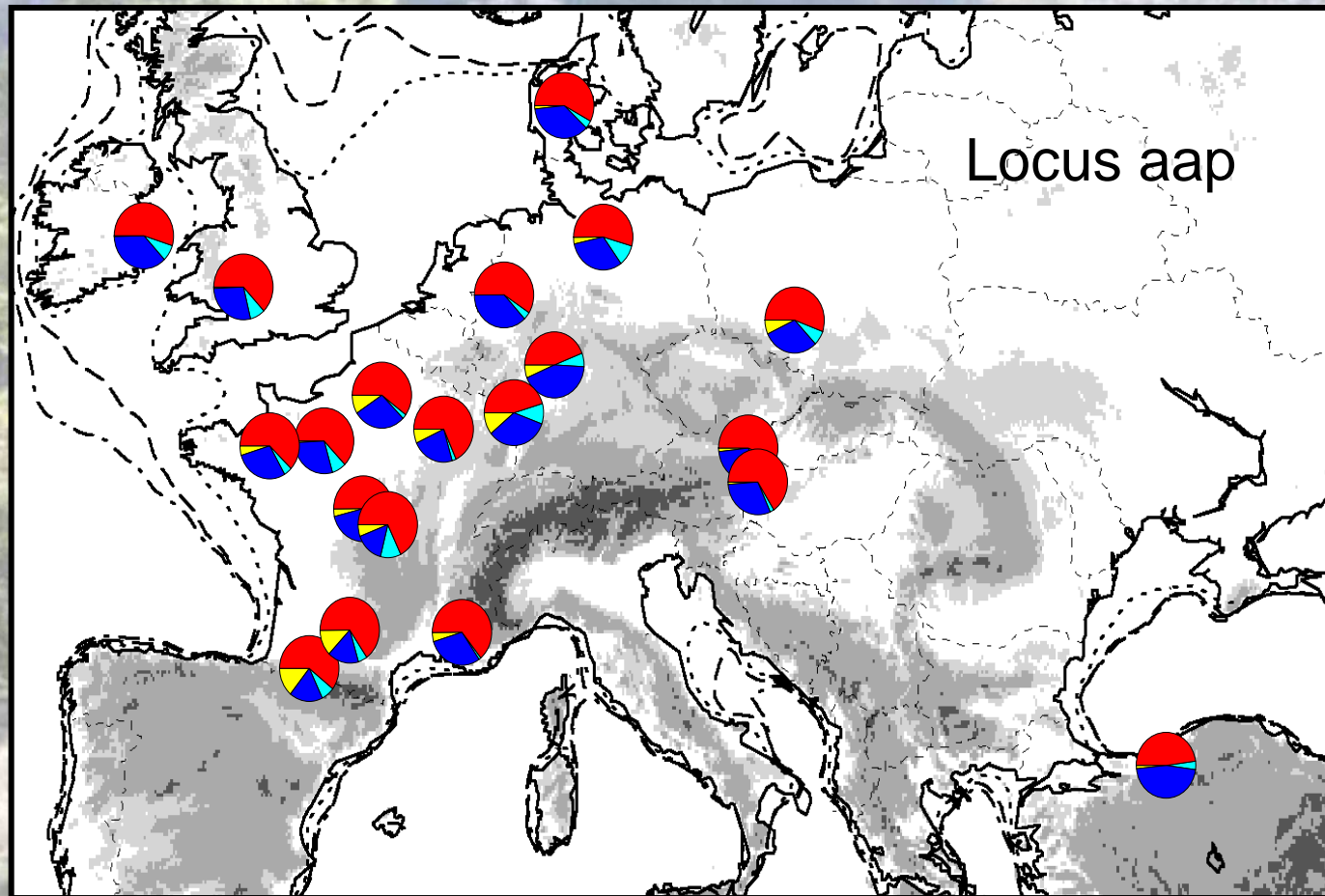
$G_{st} = 0,5$



$G_{st} = 1$



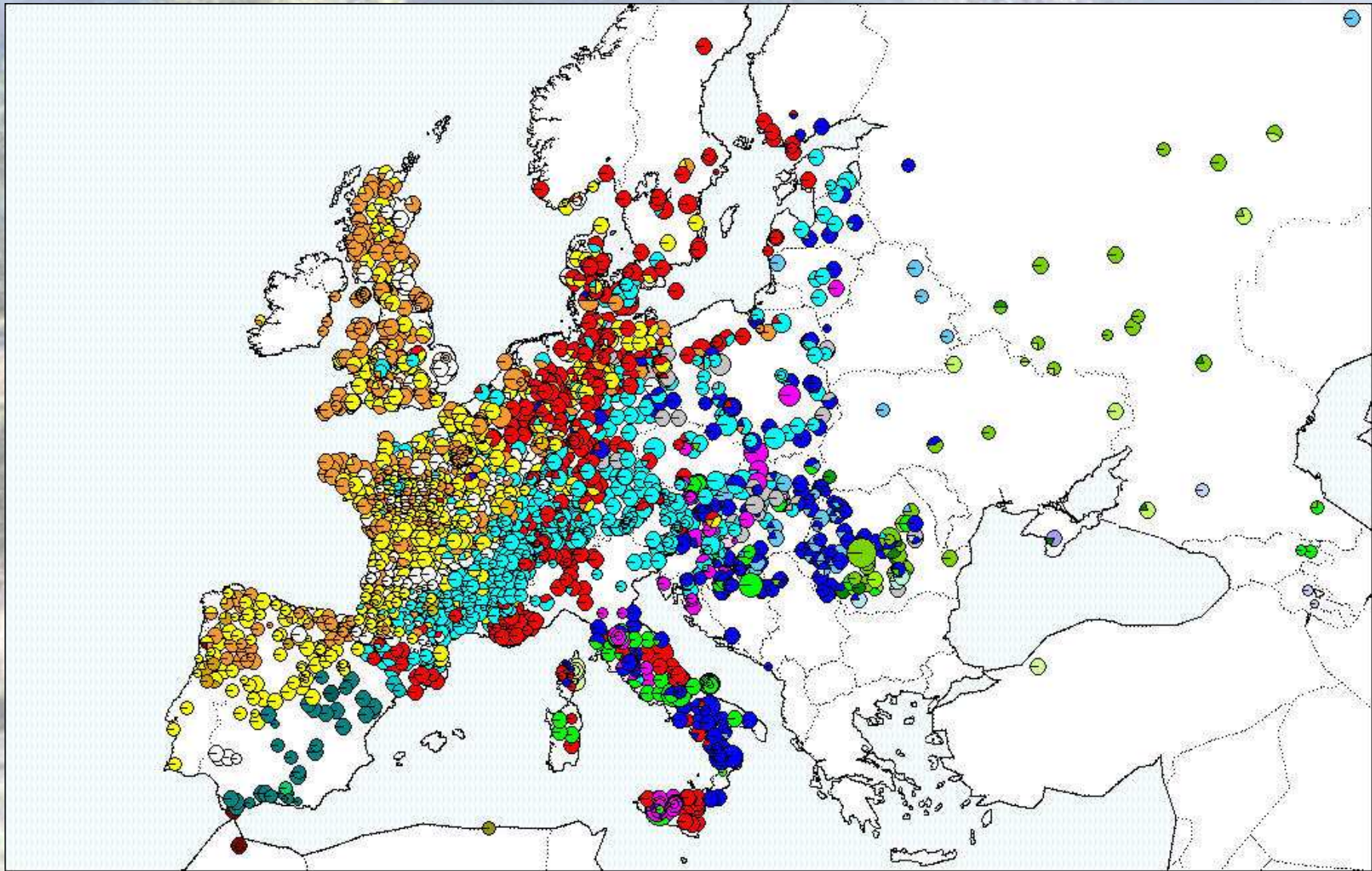
Structuration de la diversité génétique : exemple des AAP (isoenzymes)



Gst : 0,026

Kremer et al, 2002

Carte de répartition des cytotypes (ADNcp)



Gst : 86.3

Petit *et al.*, 1997

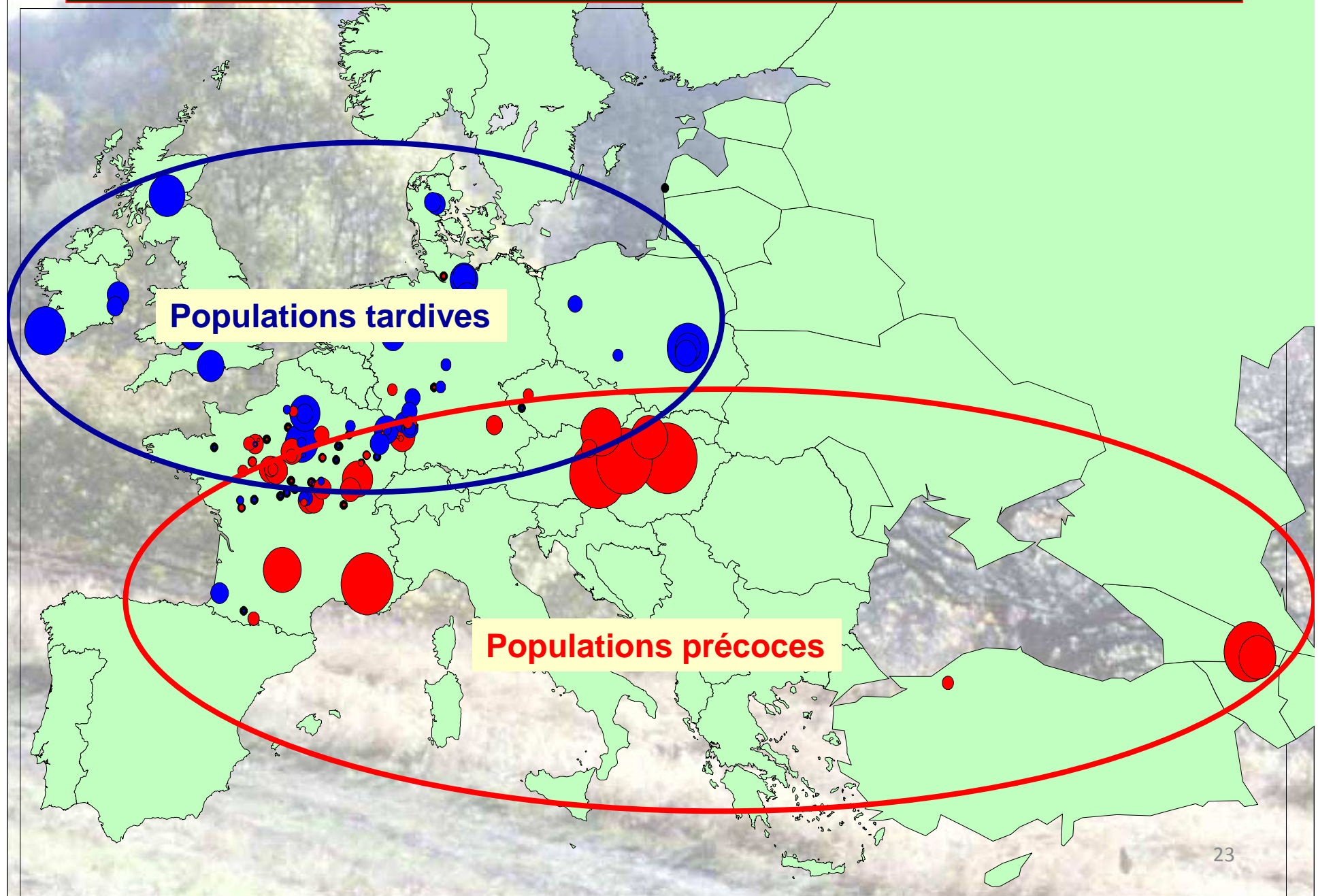
Qst pour différents caractères

Caractères	Qst _{moy}	Qst _{min} - Qst _{max}
PHENOLOGIE (h ² = 0.2; 0.4; 0.6)		
Débourrement	0.55	0.71 – 0.45
Marcescence	0.54	0.71 – 0.44
Rugosité écorce	0.36	0.51 – 0.26
Croissance (h ² =0.05;0.1;0.2)		
ht4	0.61	0.76 – 0.44
ht10	0.70	0.82 – 0.54
ARCHITECTURE (h ² =0.01; 0.1; 0.2)		
Hauteur 1ère branche	0.24	0.76 - 0.14
Nombre de branches	0.36	0.85 – 0.22
Nombre de fourches	0.10	0.54 - 0.06
flexuosité	0.68	0.96 – 0.52
Note de forme	0.71	0.96 – 0.55

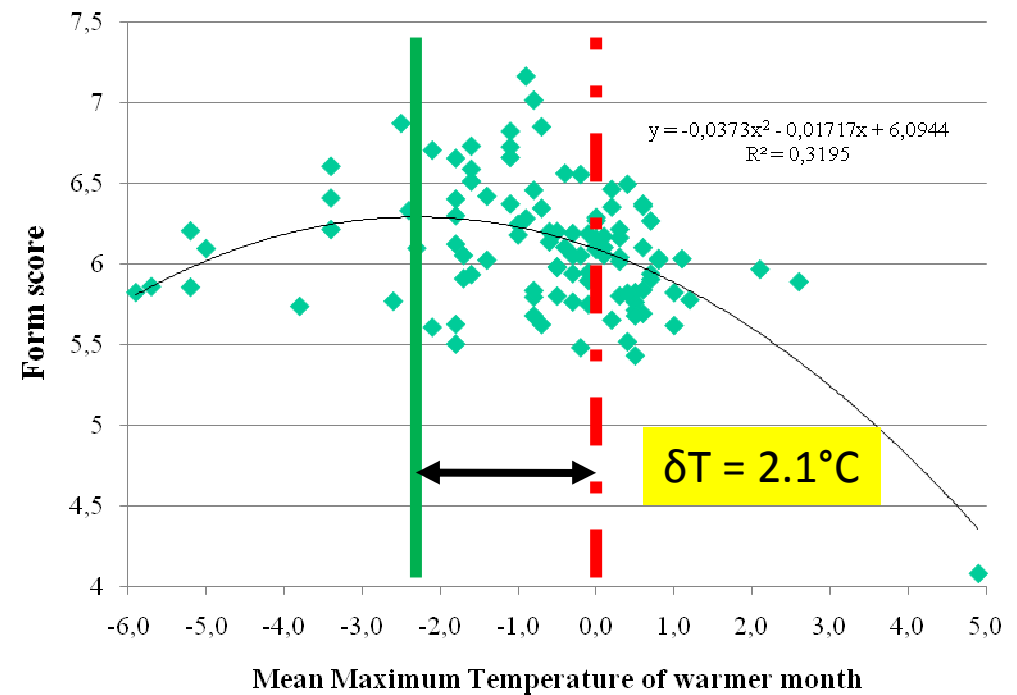
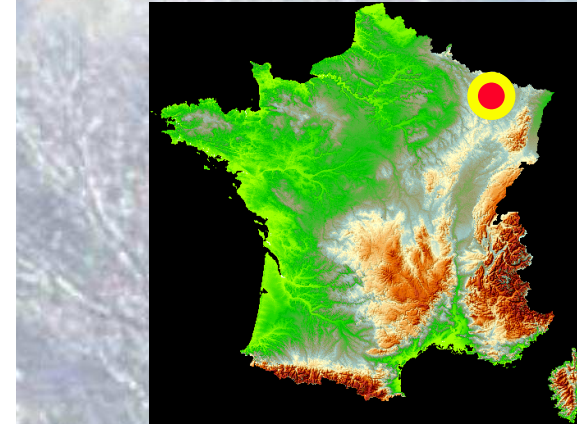
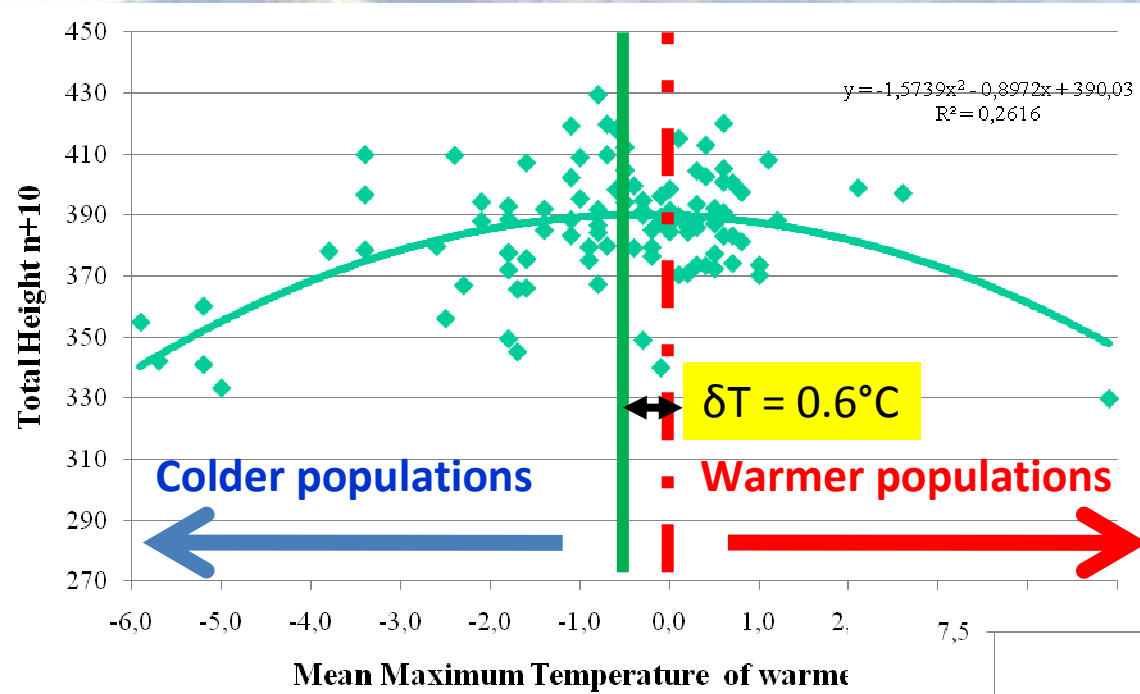
Organisation de la diversité génétique

Type de marqueurs	Marqueurs	Transmission	Gst ou Qst
Neutres	Isoenzymes	Nucléaire	0,033
	RAPD SCAR's	Nucléaire	0,051
	SSR's	Nucléaire	0,055
	ADNcp	cytoplasmique	0,863
Sélectifs	SNP	Nucléaire	0.036 – 0.024
	Phénologie		0,36 – 0,55
	Croissance		0,61 - 0,70
	Architecture		0,10 – 0,71

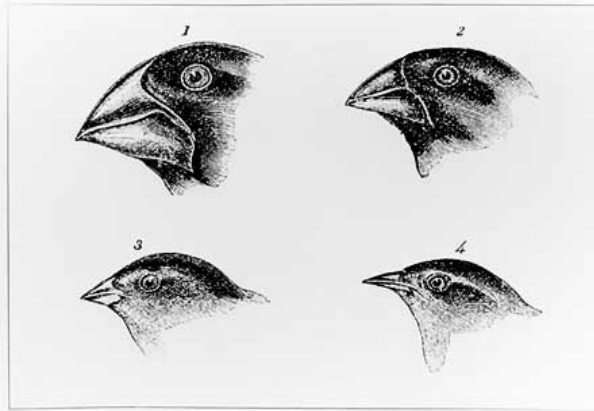
Carte de répartition du débourrement









Ressources génétiques optimales (test de provenances de Sillegny)

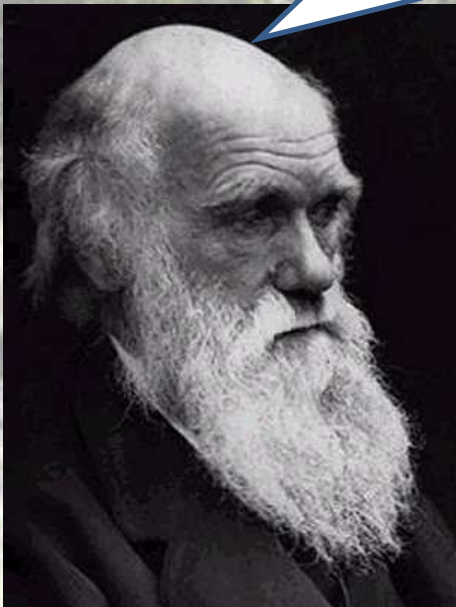


- Facteur d'évolution de la diversité génétique



		gametes	
		A $\frac{1}{2}$	a $\frac{1}{2}$
gametes	A $\frac{1}{2}$	AA 	Aa 
	a $\frac{1}{2}$	Aa 	aa 

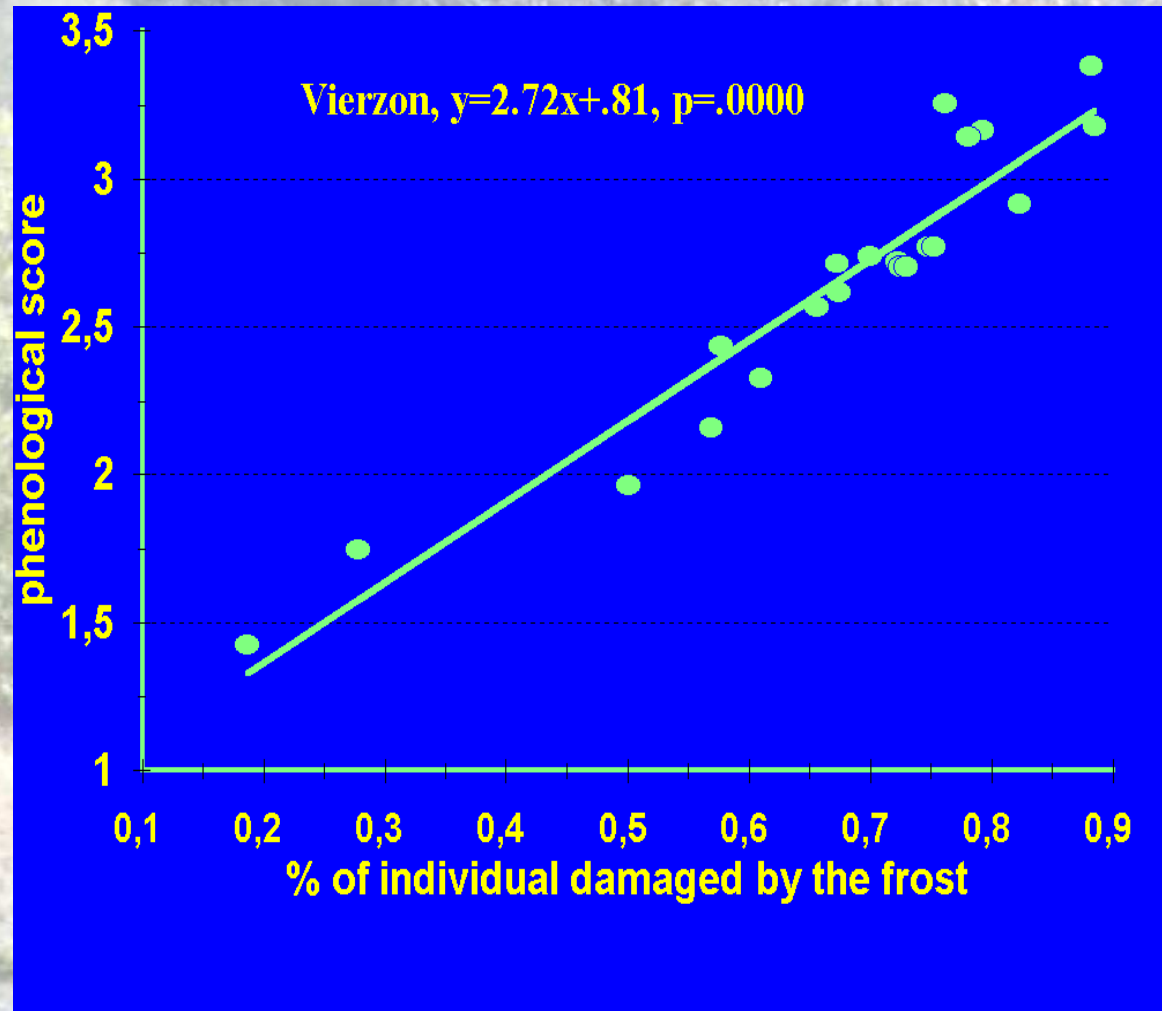
3  yellow : 1  green



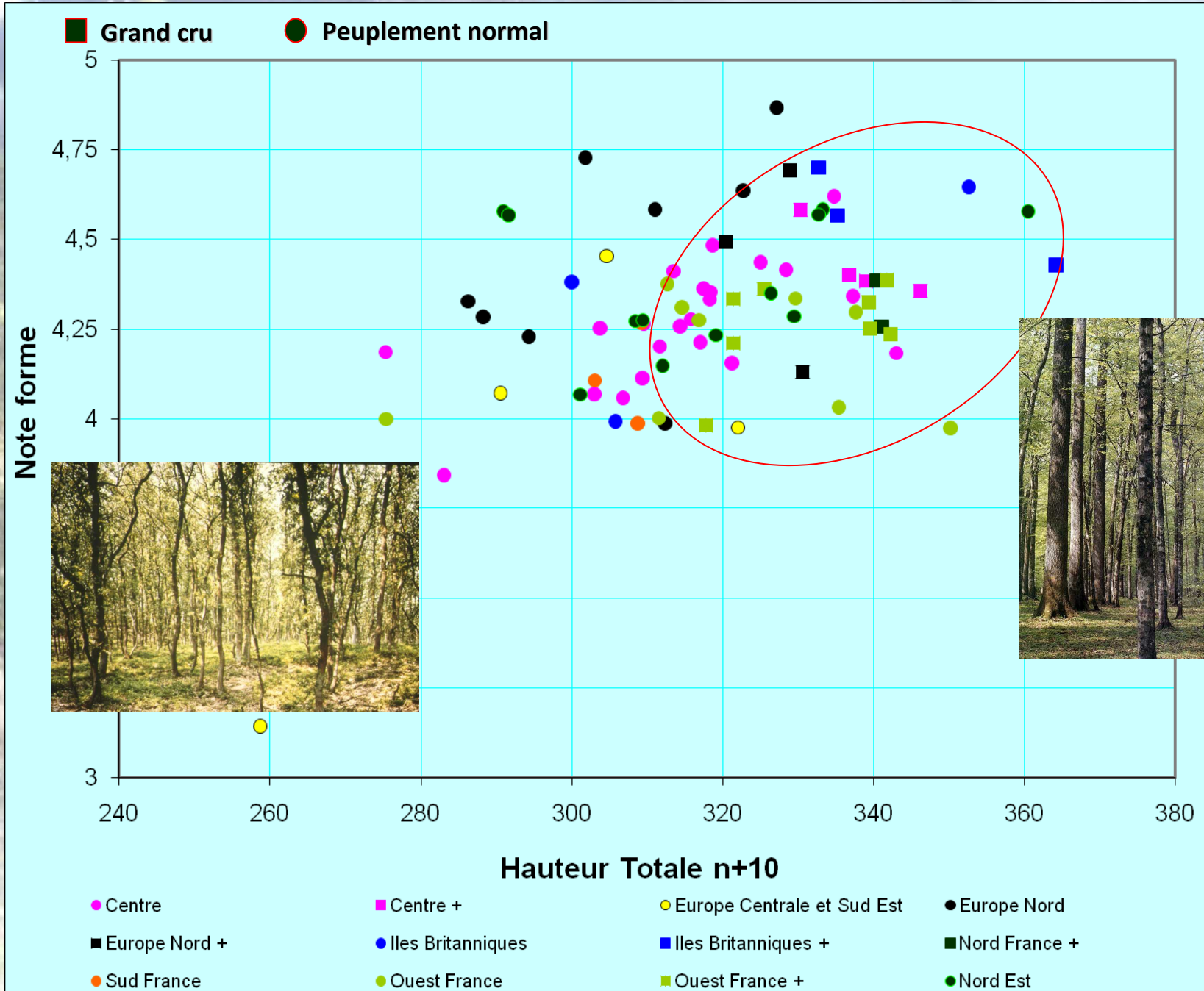
- **Mutation**
- **Flux de gènes**
- **Sélection**
- **Dérive**



Précocité et sensibilité aux gelées

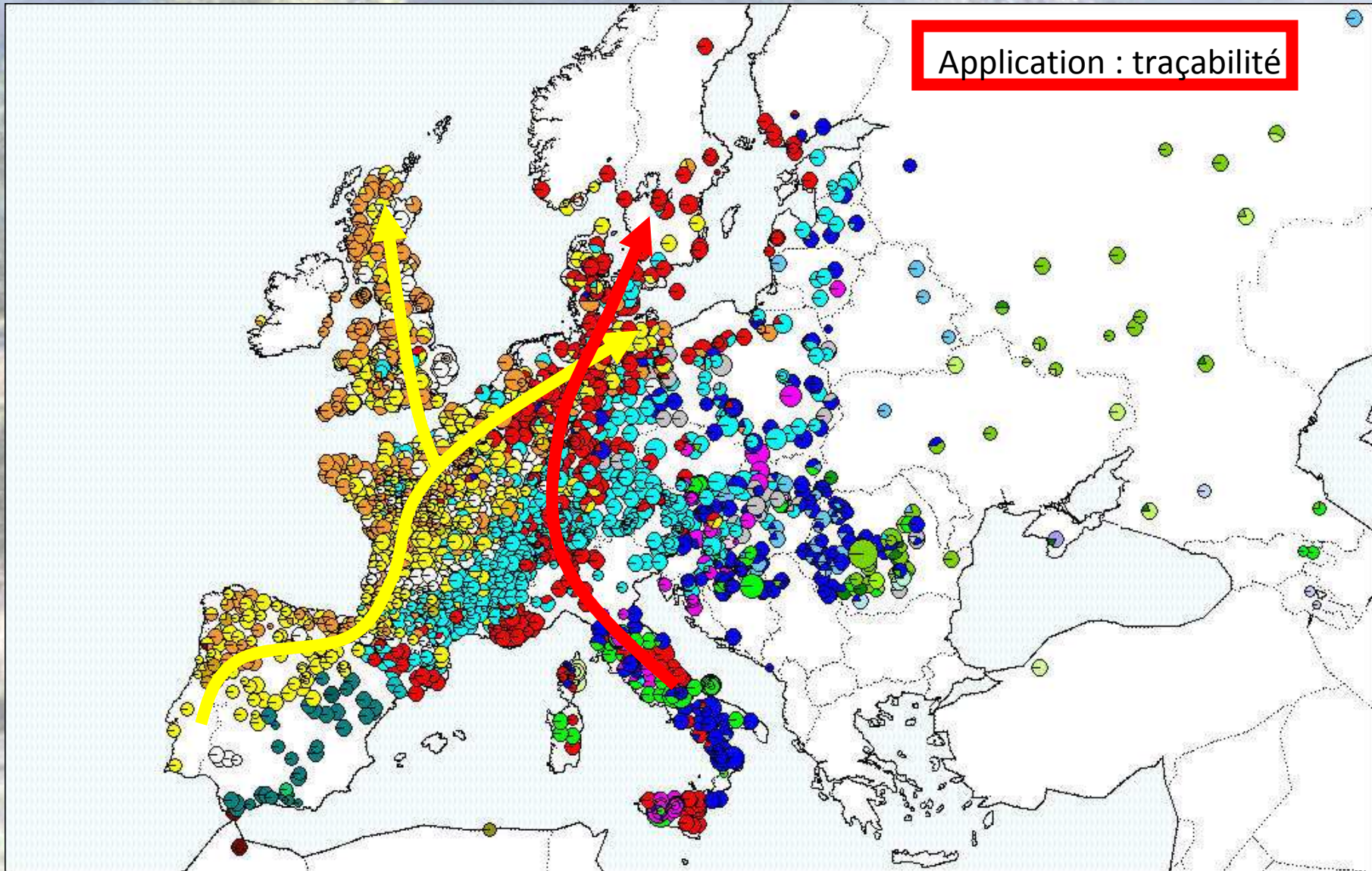


Impact du forestier sur les ressources génétiques ?



Carte de répartition des cytotypes (ADNcp)

Application : traçabilité



Gst : 86.3

Petit *et al.*, 1997

ROLE DES ESPECES DANS LA RECOLONISATION POST-GLACIAIRE

Sylvigénèse : remplacement du pédonculé par le sessile

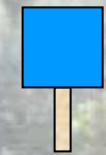
Hybridation : le sessile hybride le pédonculé

Diversité génétique : toutes les espèces partagent le même cytotype dans une forêt (transmission maternelle uniquement)

=> ANCETRE MATERNEL COMMUN

ROLE DES ESPECES DANS LA RECOLONISATION POST-GLACIAIRE

Etape 1 : les chênes sont dans les refuges



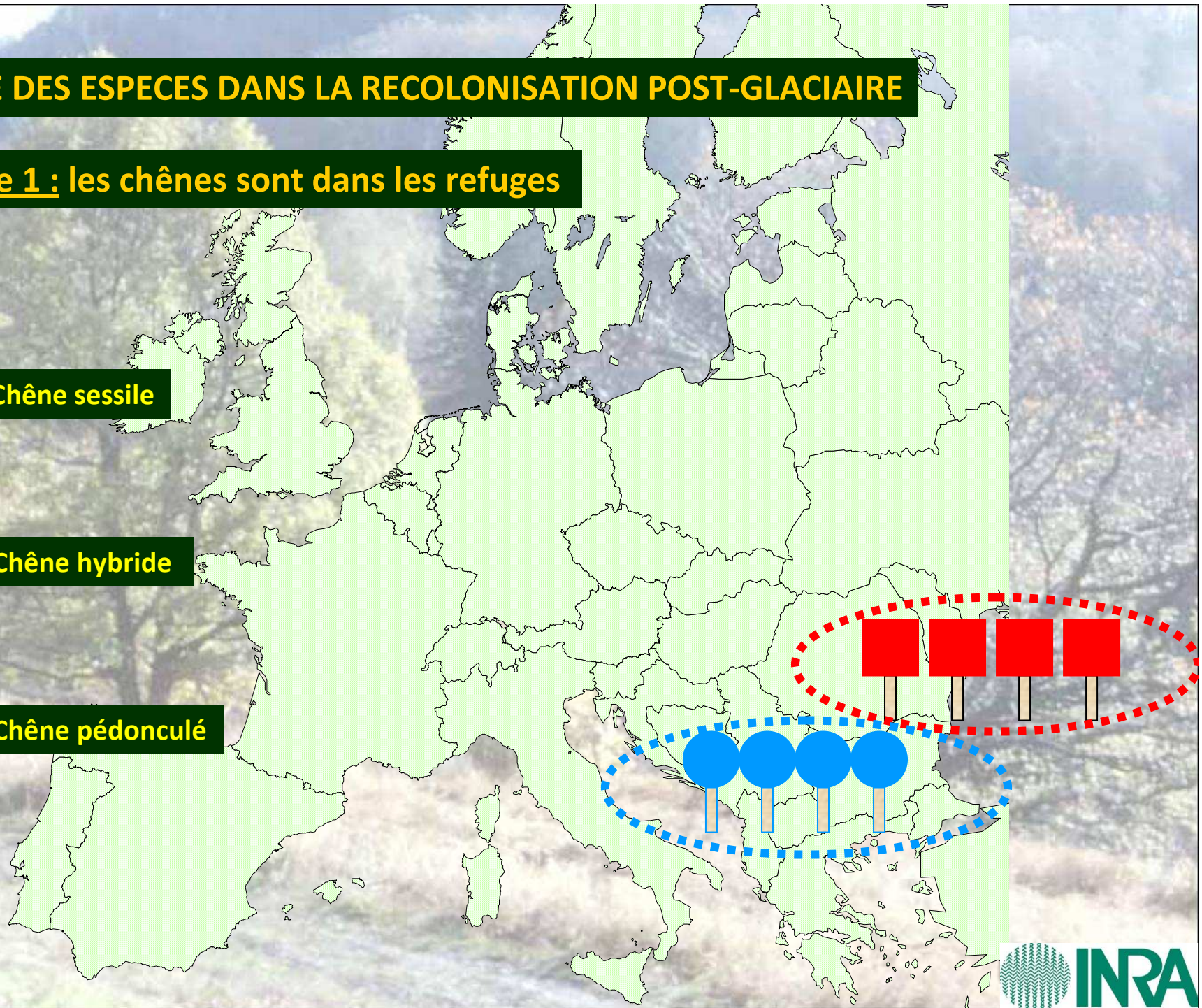
Chêne sessile



Chêne hybride

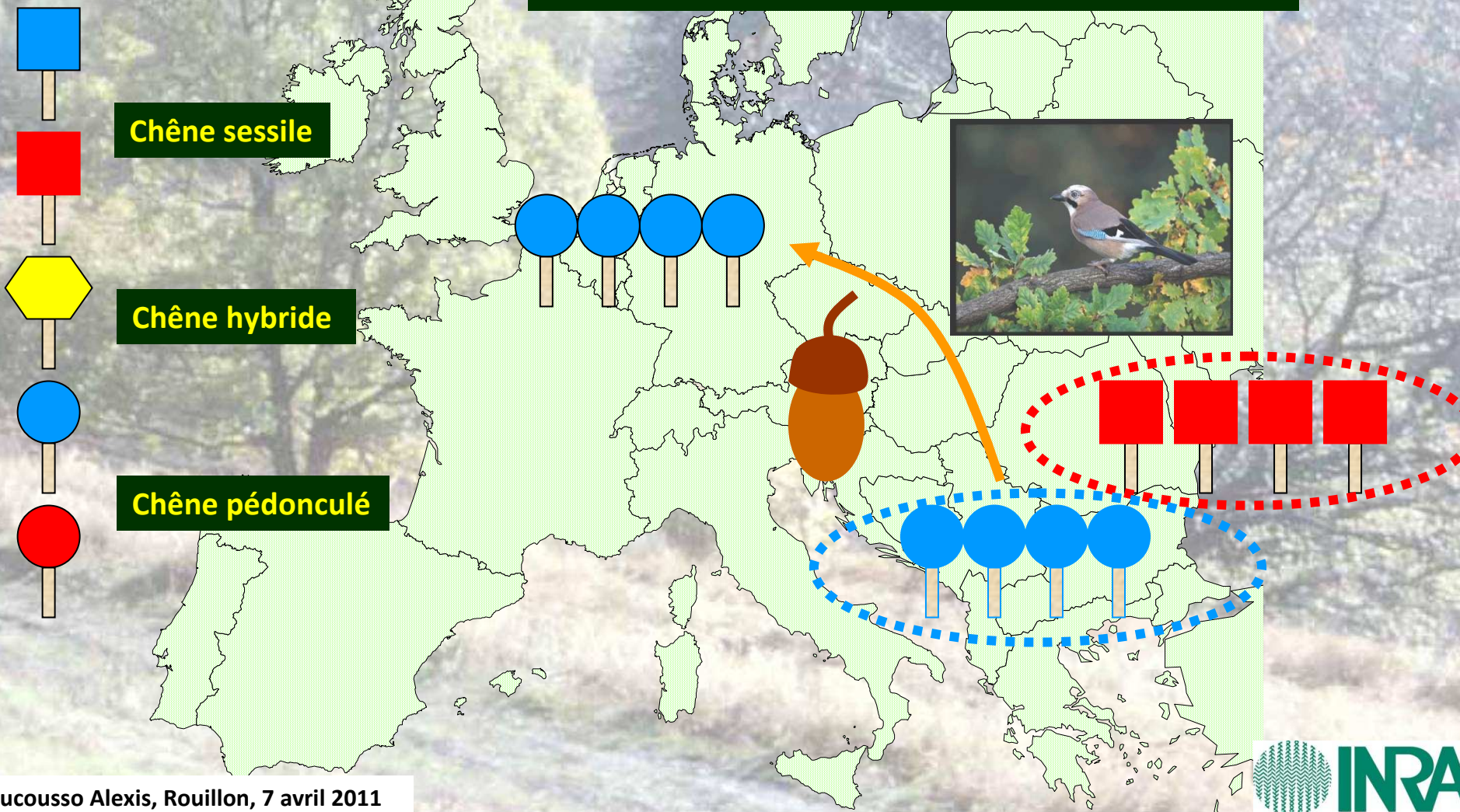


Chêne pédonculé



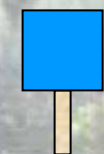
ROLE DES ESPECES DANS LA RECOLONISATION POST-GLACIAIRE

Etape 2 : le pédonculé recolonise l'Europe

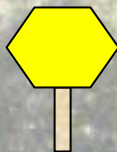


ROLE DES ESPECES DANS LA RECOLONISATION POST-GLACIAIRE

Etape 3 : le sessile colonise le pédonculé



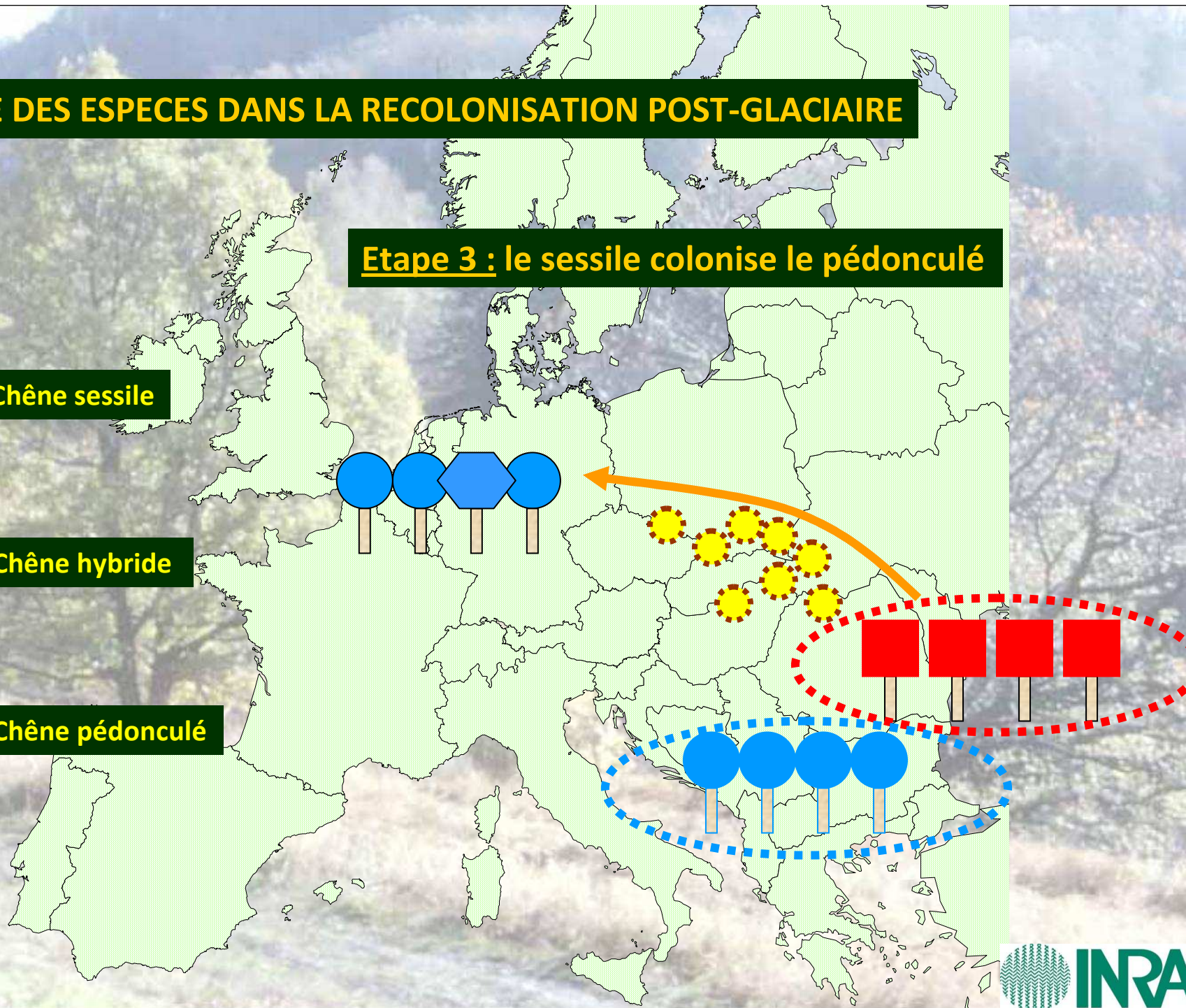
Chêne sessile



Chêne hybride



Chêne pédonculé



ROLE DES ESPECES DANS LA RECOLONISATION POST-GLACIAIRE

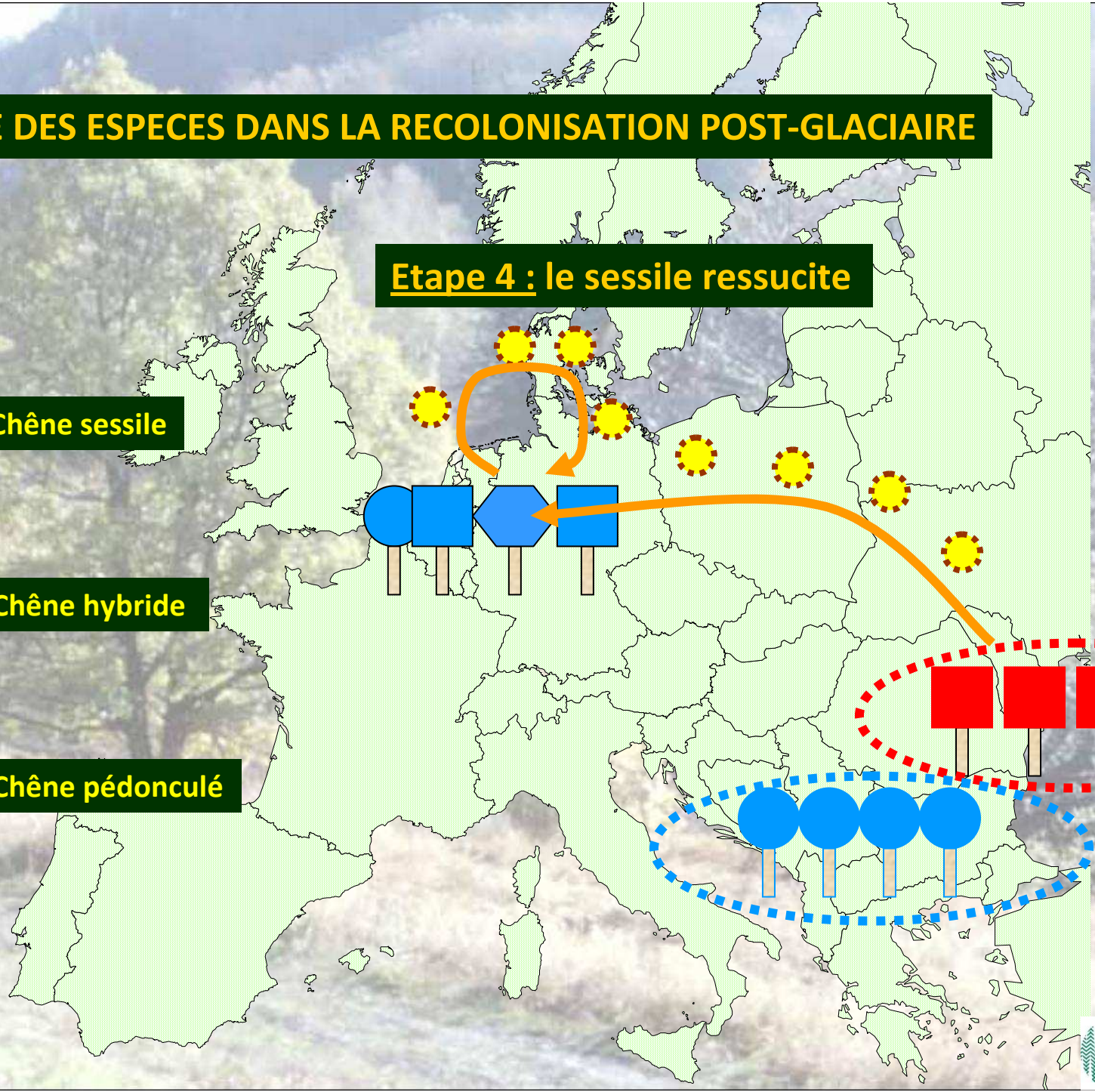
Etape 4 : le sessile ressucite

- Chêne sessile
- Chêne hybride
- Chêne pédonculé

Chêne sessile

Chêne hybride

Chêne pédonculé



ROLE DES ESPECES DANS LA RECOLONISATION POST-GLACIAIRE

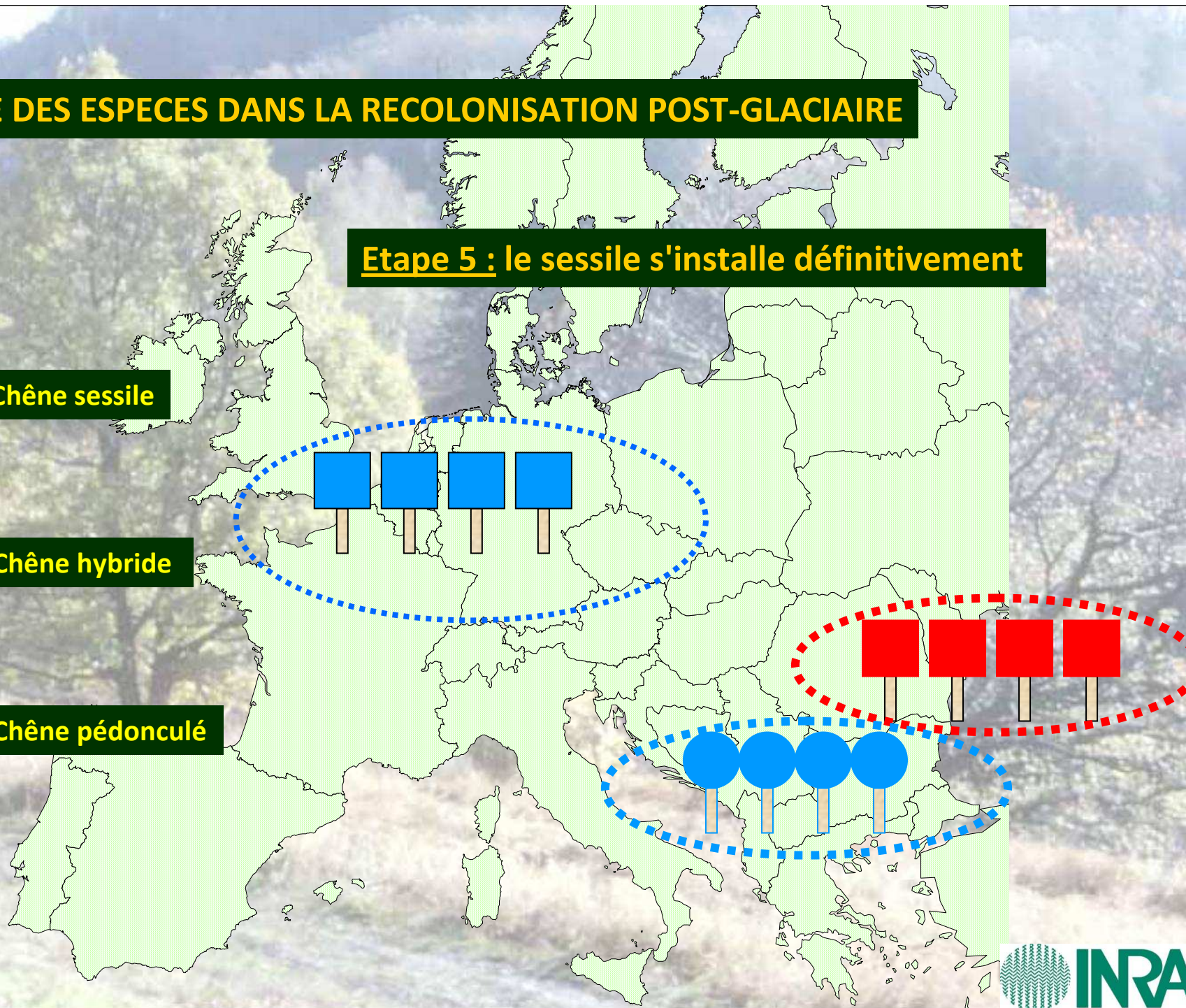
Etape 5 : le sessile s'installe définitivement



Chêne sessile

Chêne hybride

Chêne pédonculé



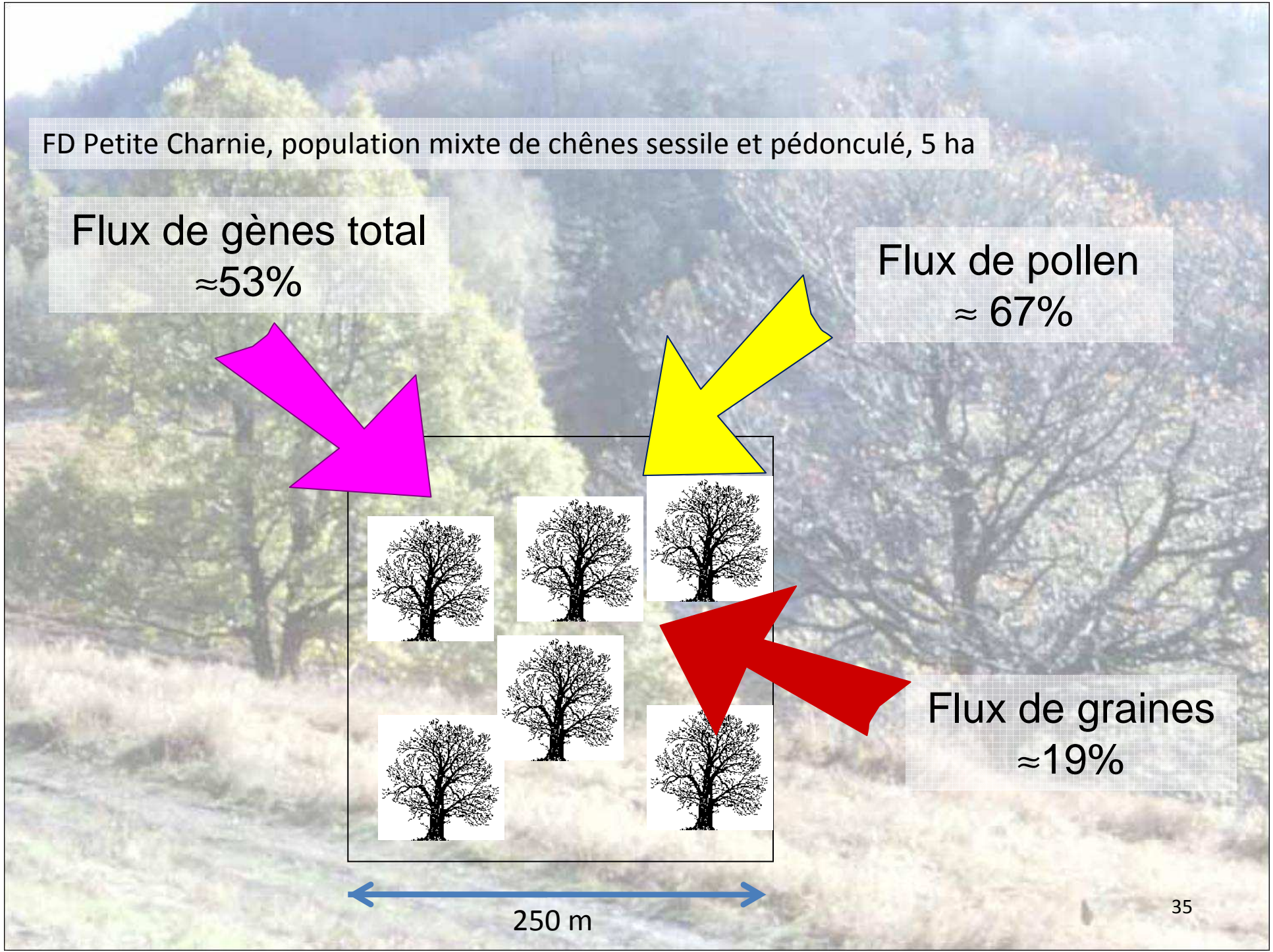
FD Petite Charnie, population mixte de chênes sessile et pédonculé, 5 ha

Flux de gènes total
≈53%

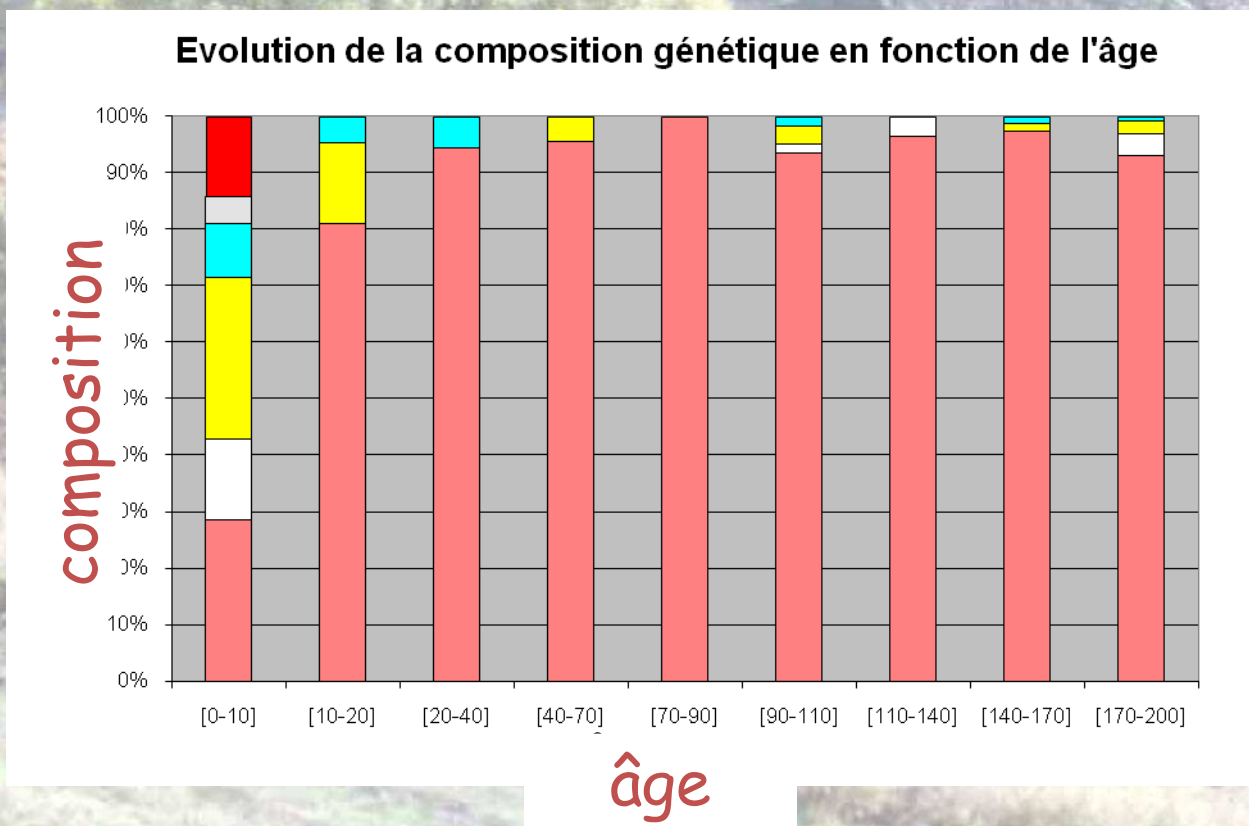
Flux de pollen
≈ 67%

Flux de graines
≈19%

250 m



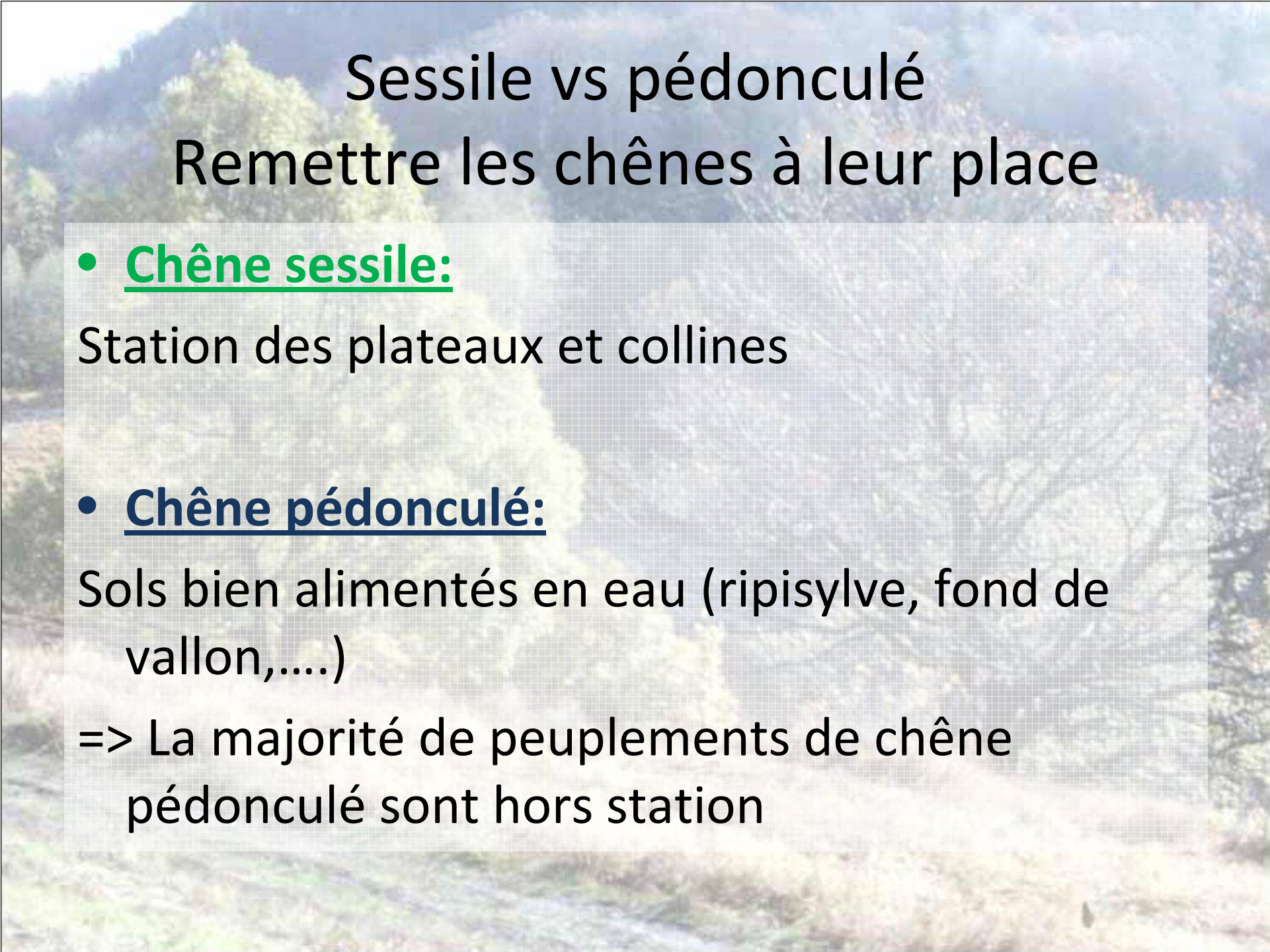
Evolution de la composition génétique en fonction de l'âge (FD Compiègne)



© Luc THIBAUD 2006

- Adaptation des forêts face aux changements climatiques : le volet gestion et conservation des ressources génétiques





Sessile vs pédonculé

Remettre les chênes à leur place

- Chêne sessile:

Station des plateaux et collines

- Chêne pédonculé:

Sols bien alimentés en eau (ripisylve, fond de vallon,....)

=> La majorité de peuplements de chêne pédonculé sont hors station

Gestion ressources génétiques

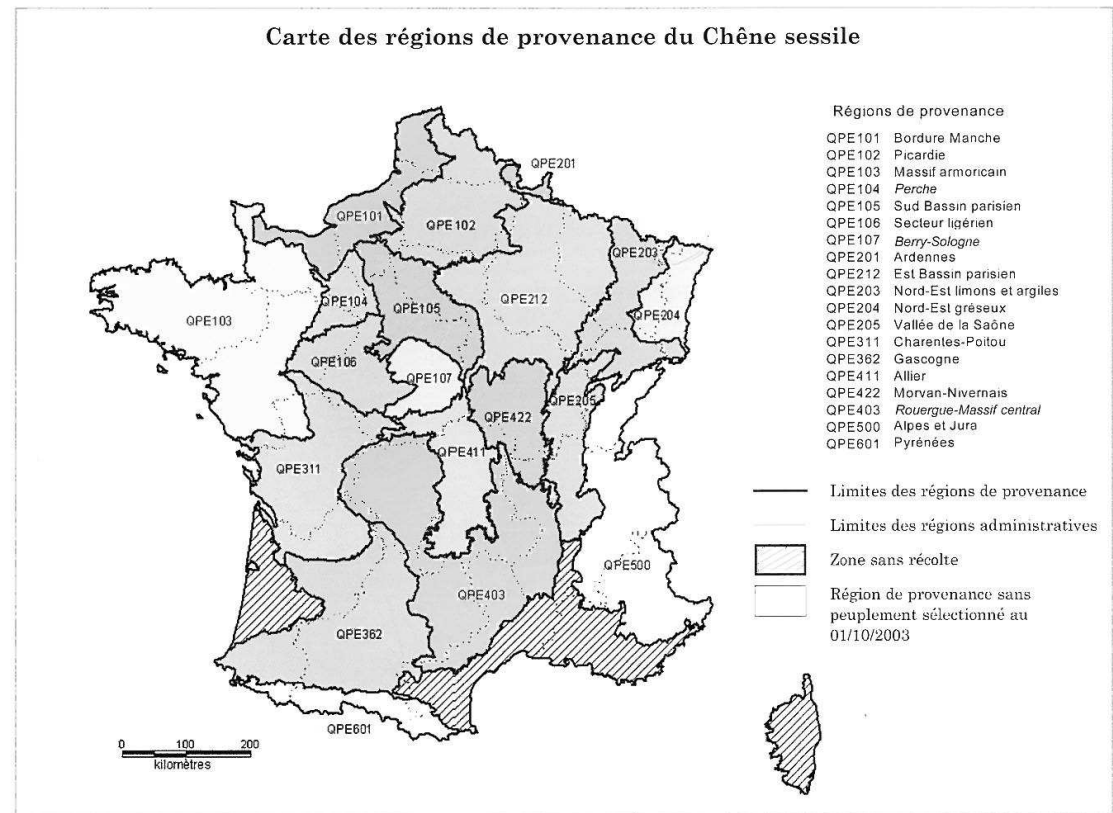
Octobre 2003

Conseils d'utilisation des matériels forestiers de reproduction



Régions de provenance
variétés améliorées

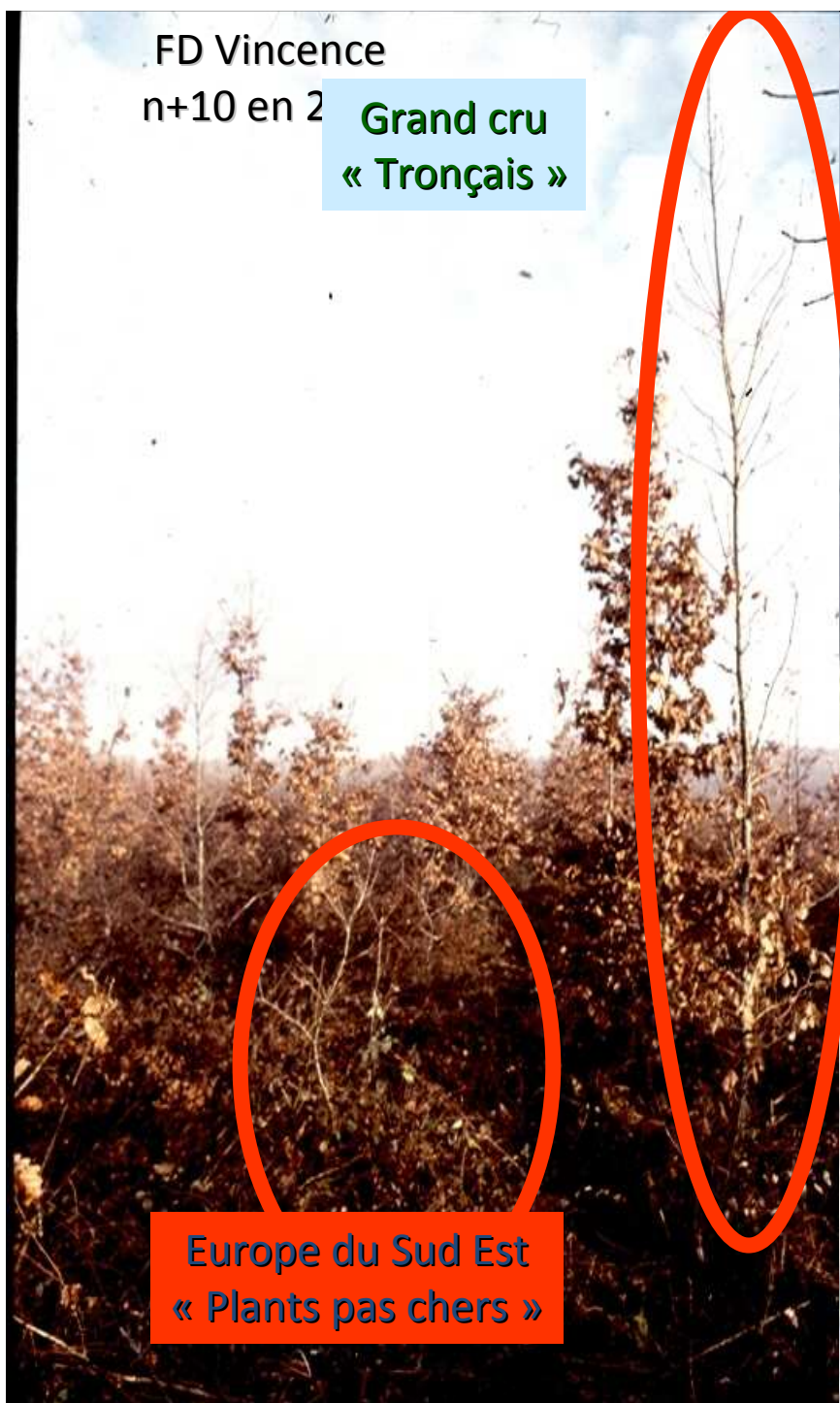
Carte des régions de provenance du Chêne sessile



<http://agriculture.gouv.fr/graines-et-plants-forestiers>

FD Vincence
n+10 en 2

Grand cru
« Tronçais »



Europe du Sud Est
« Plants pas chers »

Petite Charnie 1^{er} mars 1997



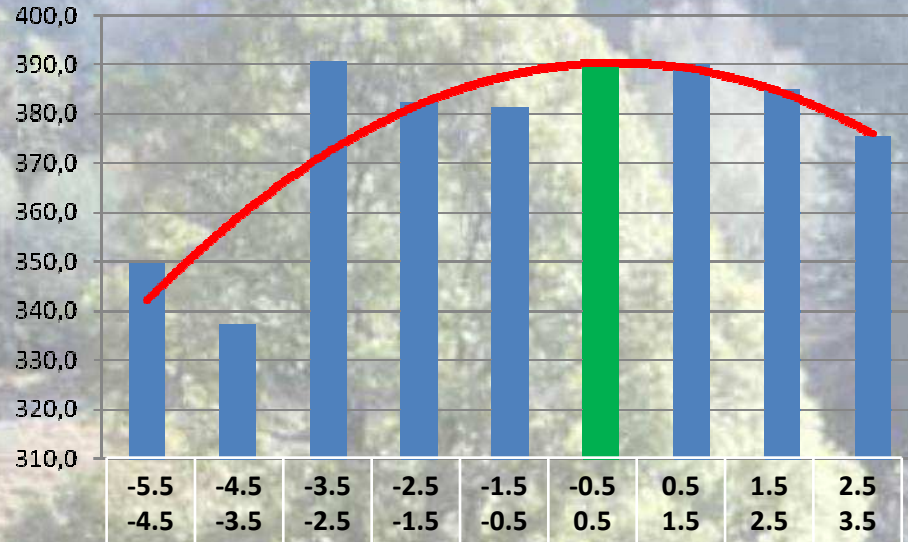
Origine allemande

Origine turque

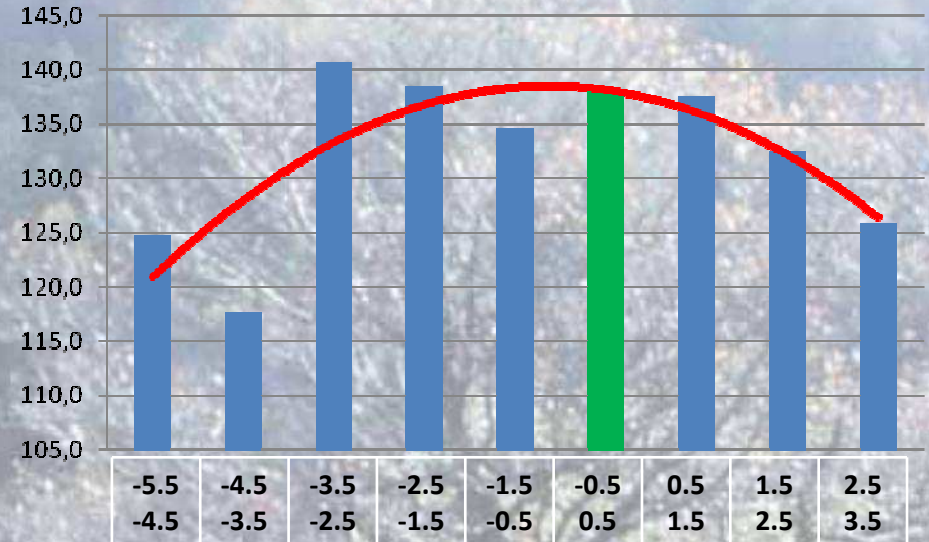


Transfert de population thermophile: une bonne idée mais.....

Hauteur Totale à 10 ans

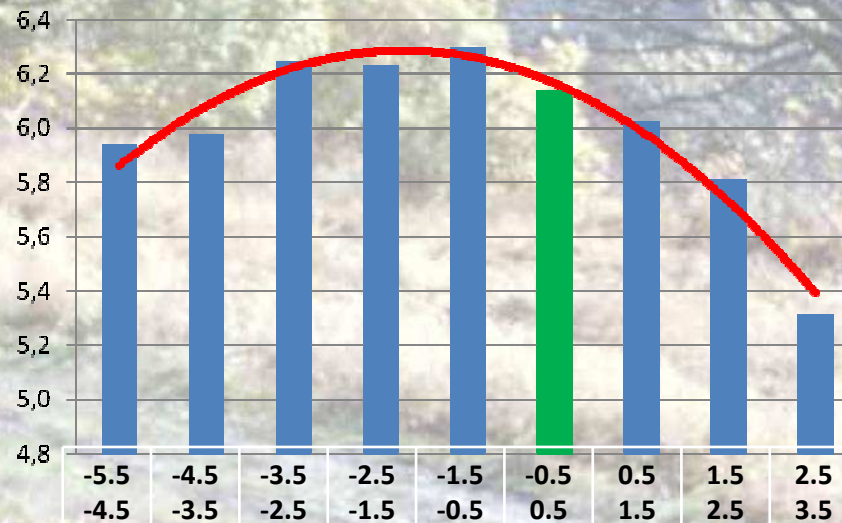


Circonférence à 10 ans

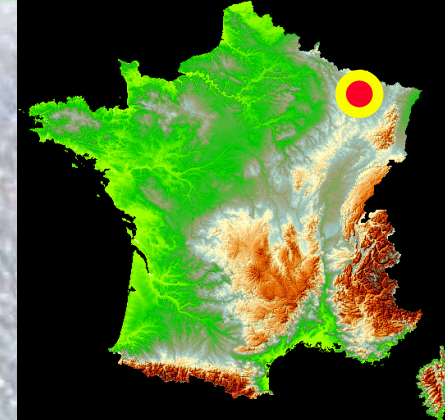


Maximum Mean Temperature Warmer Month in Population – Maximum Mean Temperature Warmer Month in Population Provenances test

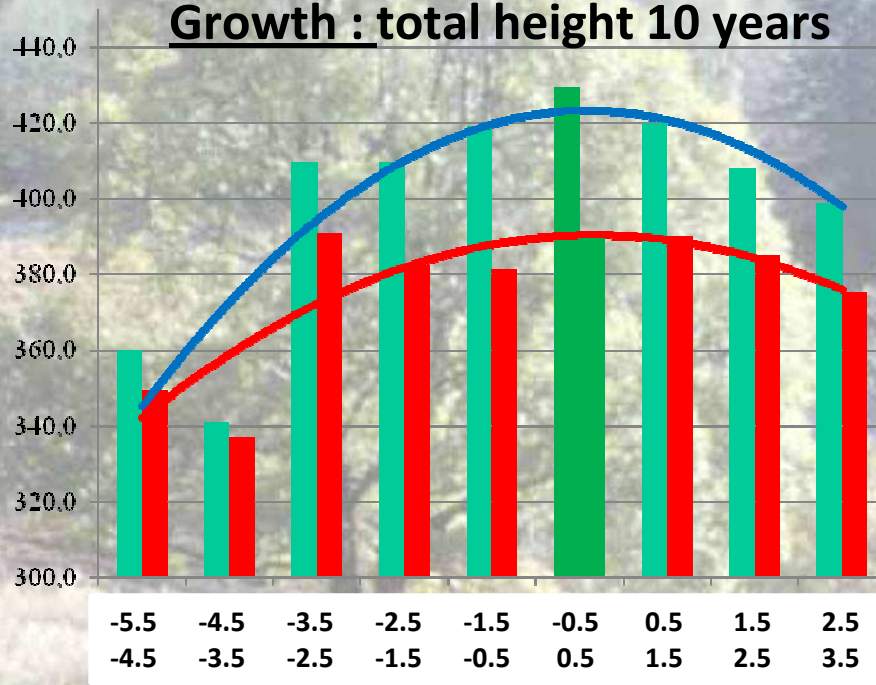
Note de forme



Mesure d'attenuation : selection des populations

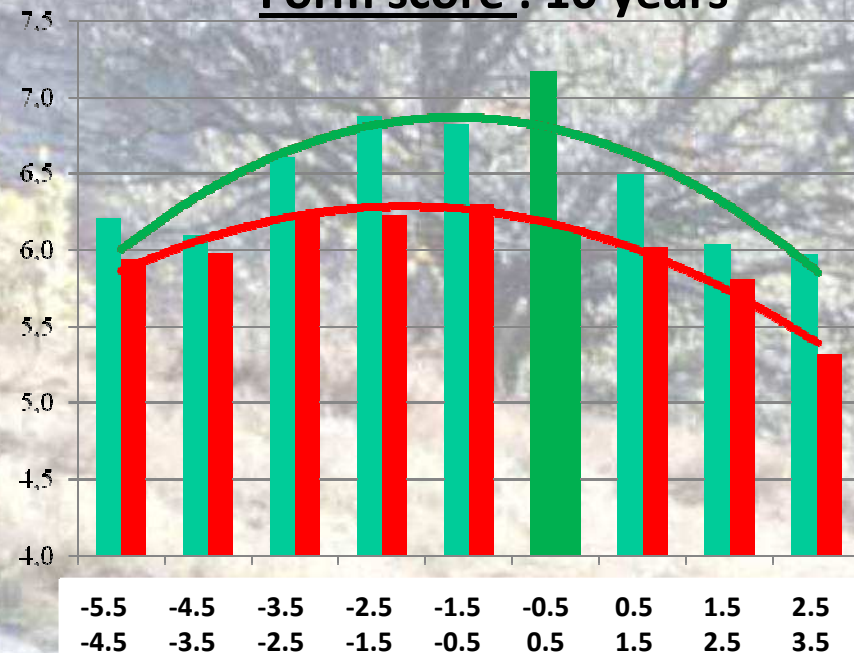


Growth : total height 10 years



Difference with the provenance test for temperature maximum of the warmest month

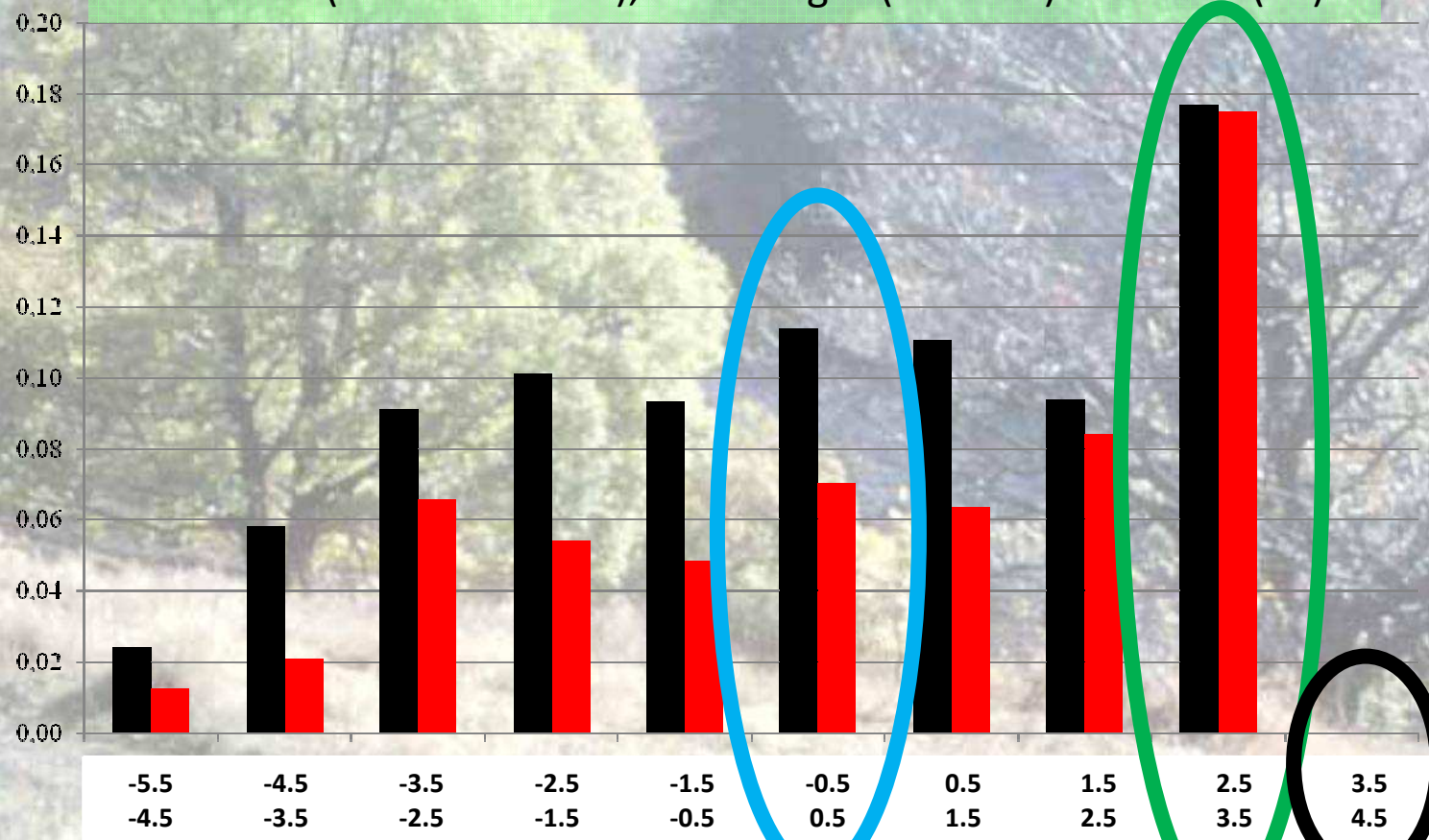
Form score : 10 years



Mesures d'attenuation: sélection intra-provenances

Deux sélections différentes:

- Bud burst (early individual), total height (>300cm) and form (>7)
- Bud burst (model CSIRO2), total height (>300cm) and form (>7)



Maximum Mean Temperature Warmer Month in Population –

- Maximum Mean Temperature Warmer Month in Population Provenances test

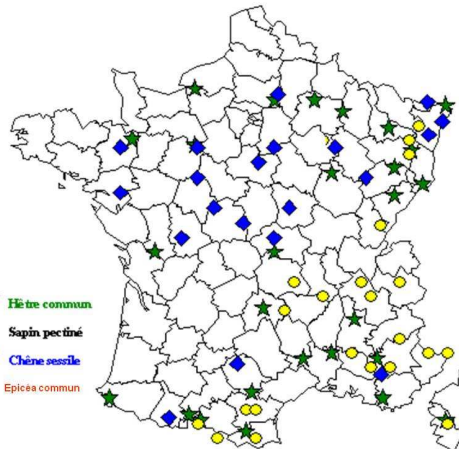
Conservation des ressources génétiques



Forêt Domaniale de l'Aigoual

UNITE DE CONSERVATION DES RESSOURCES GENETIQUES DU HETRE

Surface de la zone centrale : 13,8 ha : Surface de la zone tampon : 110 ha



La biodiversité comprend trois niveaux: (i) écosystèmes, (ii) espèces et (iii) ressources génétiques. Des programmes nationaux et européens ont été mis en place pour conserver les ressources génétiques des principales espèces forestières. Cette parcelle a été identifiée pour la particularité de ses ressources génétiques. La zone centrale, cœur de la réserve, est entourée par une zone tampon qui la protège de l'arrivée de pollen étranger.

Cette Unité de Conservation des ressources génétiques fait parti du réseau national qui en comprend 29 pour le hêtre

La régénération naturelle y est une priorité absolue et toute plantation éventuelle est réalisée avec des ressources génétiques strictement locales.

Espèce	Risques
<i>Quercus afares</i>	
<i>Quercus alnifolia</i>	
<i>Quercus aucheri</i>	
<i>Quercus brantii</i>	
<i>Quercus canariensis</i>	
<i>Quercus cerris</i>	
<i>Quercus coccifera</i>	(<i>calliprinos</i>)
<i>Quercus congesta</i>	
<i>Quercus dalechampii</i>	
<i>Quercus faginea</i>	
<i>Quercus frainetto</i>	
<i>Quercus hartwissiana</i>	
<i>Quercus ilex</i>	
<i>Quercus infectoria</i>	
<i>Quercus ithaburensis</i>	
<i>Quercus libani</i>	
<i>Quercus lusitanica</i>	
<i>Quercus macranthera</i>	
<i>Quercus petraea</i>	
<i>Quercus pontica</i>	
<i>Quercus pubescens</i>	
<i>Quercus pyrenaica</i>	
<i>Quercus robur</i>	
<i>Quercus rotundifolia</i>	
<i>Quercus sicula</i>	Disparu
<i>Quercus suber</i>	
<i>Quercus trojana</i>	
<i>Quercus vulcanica</i>	

Liste des chênes européens

⇒ 28 espèces

⇒ 41 taxons (espèces + sous espèce)

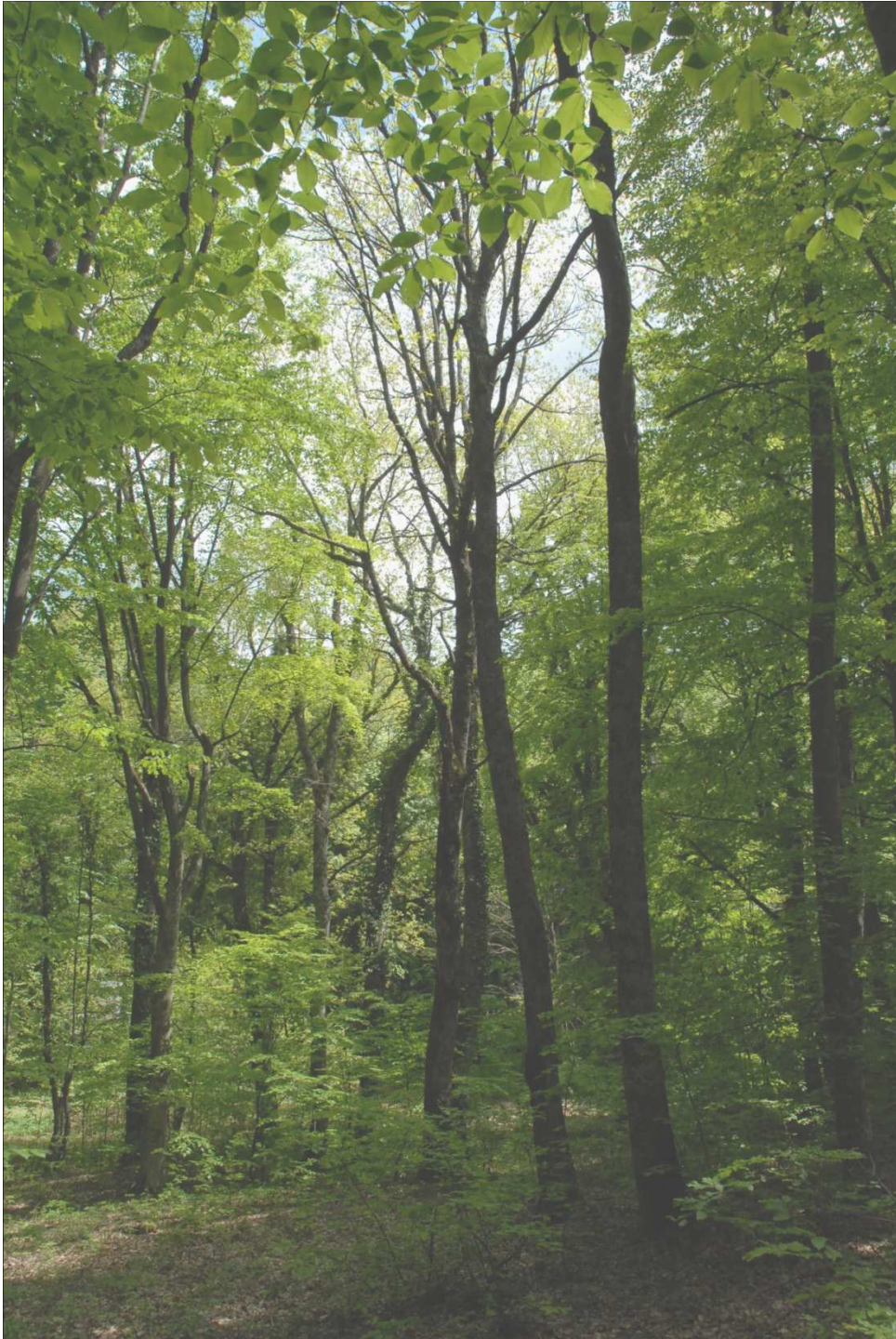
⇒ 26 espèces thermophiles

■ ⇒ 1 espèce disparue

■ ⇒ X espèces menacées de disparition

■ ⇒ Y espèces dont les ressources génétiques sont fortement menacées

■ => Menaces moyennes sur les RG



Quercus frainetto
Chêne de Hongrie
ou frainetto
Grèce





Quercus vulcanica

**Chaîne du Taurus,
Turquie**

=> 7 populations

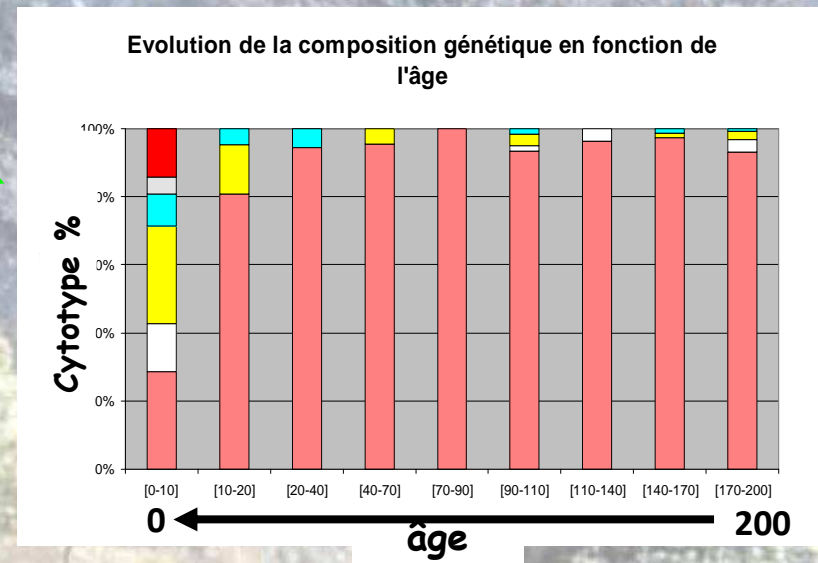
Le chêne sessile POURQUOI CONSERVER LES RESSOURCES GENETIQUES D'ESPECES AUSSI COURANTES ?

Menaces sur les ressources génétiques

Sylviculture

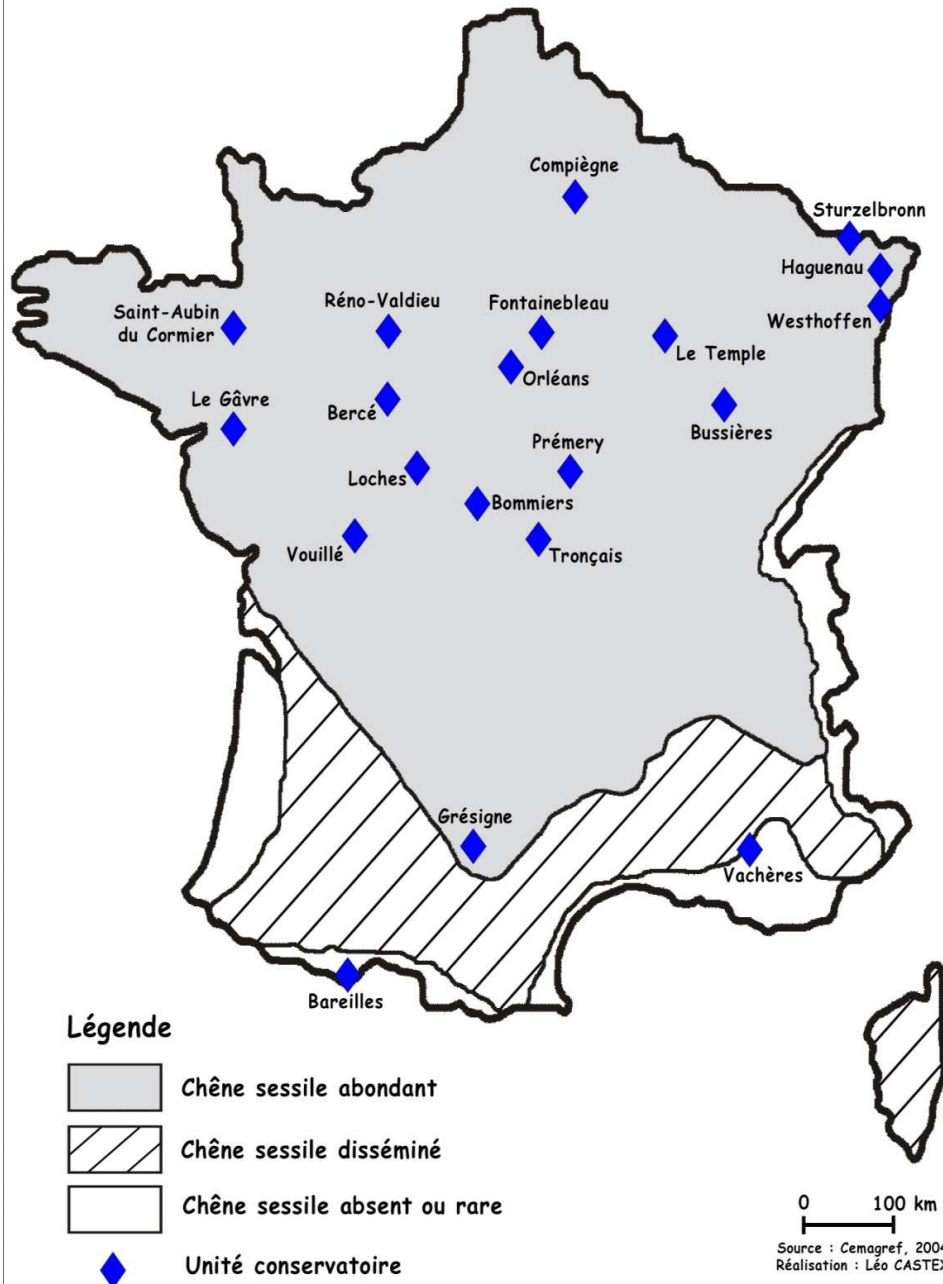
Populations marginales :

- effectifs faibles
- zones sensibles
- aménagement, feux,...
- ressources d'avenir



Introduction génotypes exotiques

Réseau de conservation *in situ* des ressources génétiques du chêne sessile (*Quercus petraea*)



Quatre objectifs :

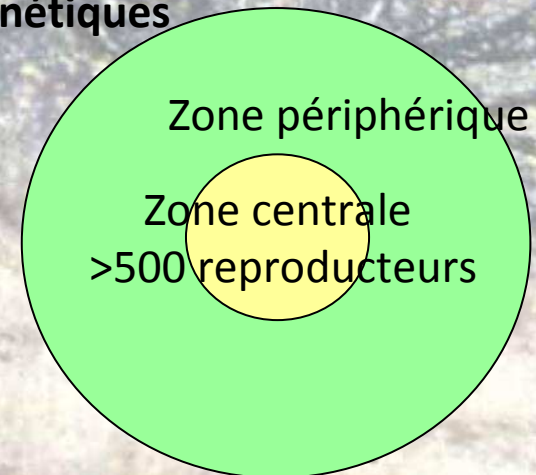
- Objectif 1 : échantillonnage de la diversité


- Objectif 2 : mécanisme de maintien de la diversité

- Objectif 3 : conservation des crus et des chênaies

- Objectif 4 : espèces mineures, populations marginales et ressources en danger


Unités de Conservation Des Ressources Génétiques





- **Gestion des ressources génétiques face aux changements climatiques**

- **Booster la machine évolutive :**

- **Maximiser la diversité génétique (régénération naturelle et artificielle)**
 - **Réduire les rotations**
 - **Favoriser les flux de gènes**
 - **Gestion et protection des disperseurs de graines et pollen**
 - **Connectivité entre les écosystèmes**
 - **Transfert de ressources génétiques et d'espèces thermophiles**
 - **Hybridation aux sein des complexes d'espèces**
- 



Merci pour votre attention