



WEBINAIRE
« ARBRES DU FUTUR »
19 Février 2021

MECANISMES D'ADAPTATION DES CHENES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Antoine Kremer

université
de **BORDEAUX**



ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

ADAPTATION
« NATURELLE »

GESTION
« ADAPTATIVE »

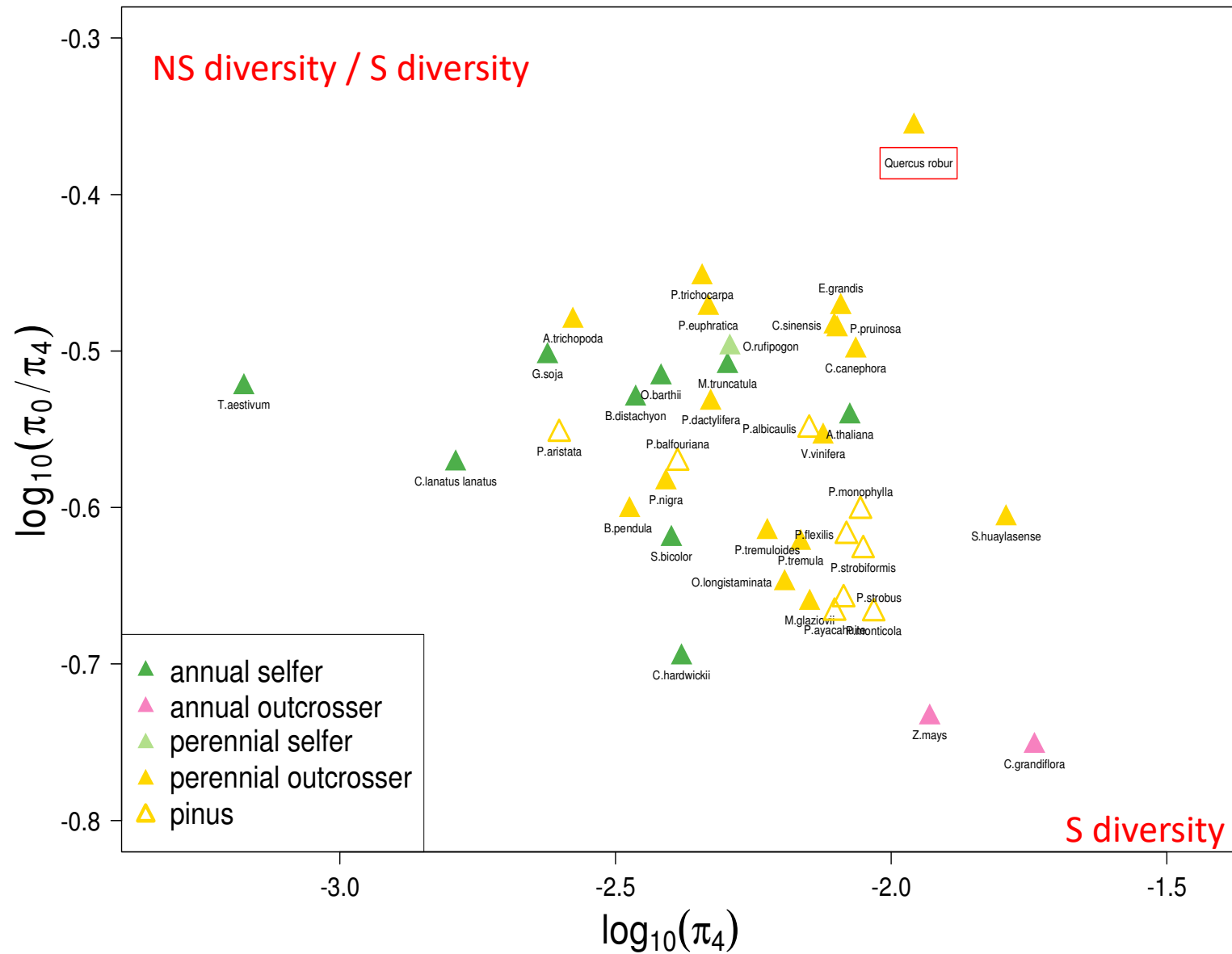


Dans le renouvellement de peuplements

ADAPTATION « NATURELLE » : LES INGREDIENTS NECESSAIRES

- Diversité génétique
 - Transmission (héritabilité)
 - Capacité de reproduction
 - Sélection «naturelle»
- > Potentiel adaptatif !

ETUDE COMPARATIVE DES NIVEAUX DE DIVERSITE



VALEURS D'HERITABILITE IN SITU (*Q. petraea*)

	TRAIT	HERITABILITY	EVOLVABILITY
CROISSANCE	Circumference	0.87 (0.01 - 0.98)	0.021 (1e-04 - 0.027)
	Height	0.93 (0.01 - 0.99)	0.003 (0-0.004)
	Ring width (mm)	0.13 (0.09 - 0.17)	
	Ring area (mm ²)	0.29 (0.22 - 0.36)	
BOIS	Infradensity	0.50 (0.004 - 0.96)	0.001 (0-0.003)
METABOLITES	Castaline	0.17 (2e-04 - 0.96)	0.073(1e04 – 0.440)
	Grandinine	0.29 (2e-04 - 0.97)	0.040 (1e04 - 0.152)
	Pantolactone	0.57 (4e-04 - 0.98)	0.152 (1e04 – 0.3046)
	Roburined	0.14(1e-04 - 0.95)	0.022 (0-0.155)
	Vescaline	0.07 (1e-04 - 0.95)	0.044 (1e-04 - 0.542)
	t_whisky lactone	0.88 (0.01 – 0.98)	2.813 (0.018-3.669)
PHENOLOGIE	Female flowering date	0.24 (0.07 - 0.38)	
	Male flowering date	0.32 (0.15 - 0.45)	
	Senescence	0.56 (0.41 - 0.71)	
	Budburst	0.79 (0. 58 - 0.89)	
PHYSIOLOGIE	d13C	0.16 (se= 0.43)	
	Mean_leaf_area	0.50 (se= 0.46)	
	WUE	0.26 (se= 0.07)	

FRUCTIFICATION ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

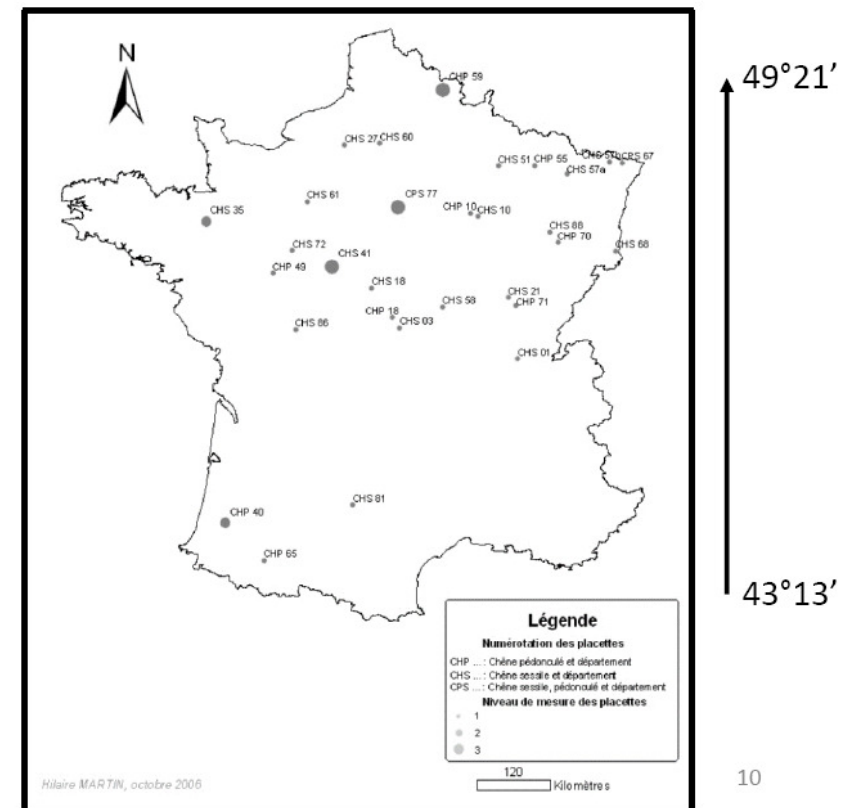
Observations dans le réseau Renécofor

30 Stations

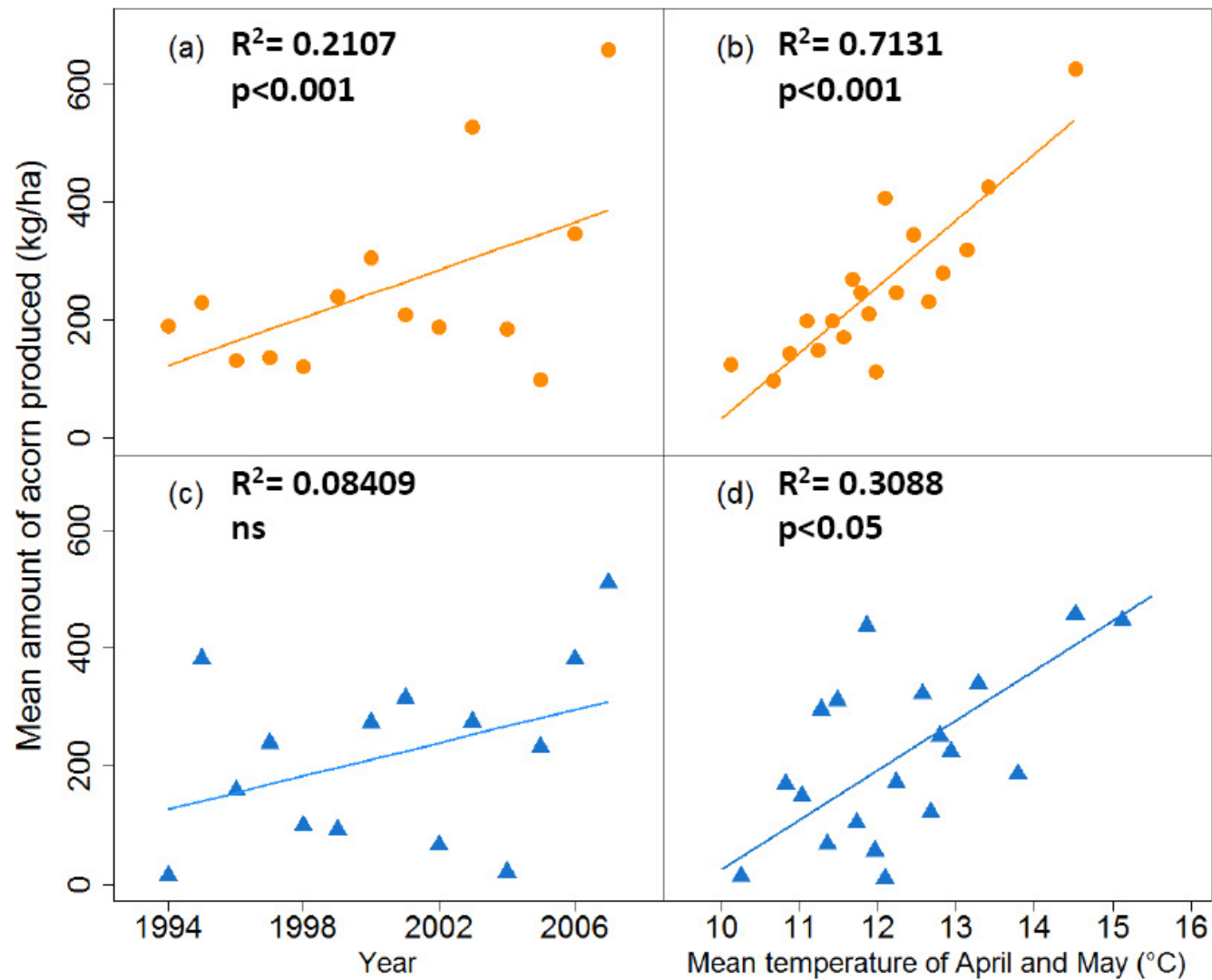
- 19 *Quercus petraea*
- 9 *Quercus robur*
- 2 *Q.petraea* & *Q.robur*

Fructification mesurée pendant 14 ans

1994 À 2007



REPRODUCTION & CLIMATS



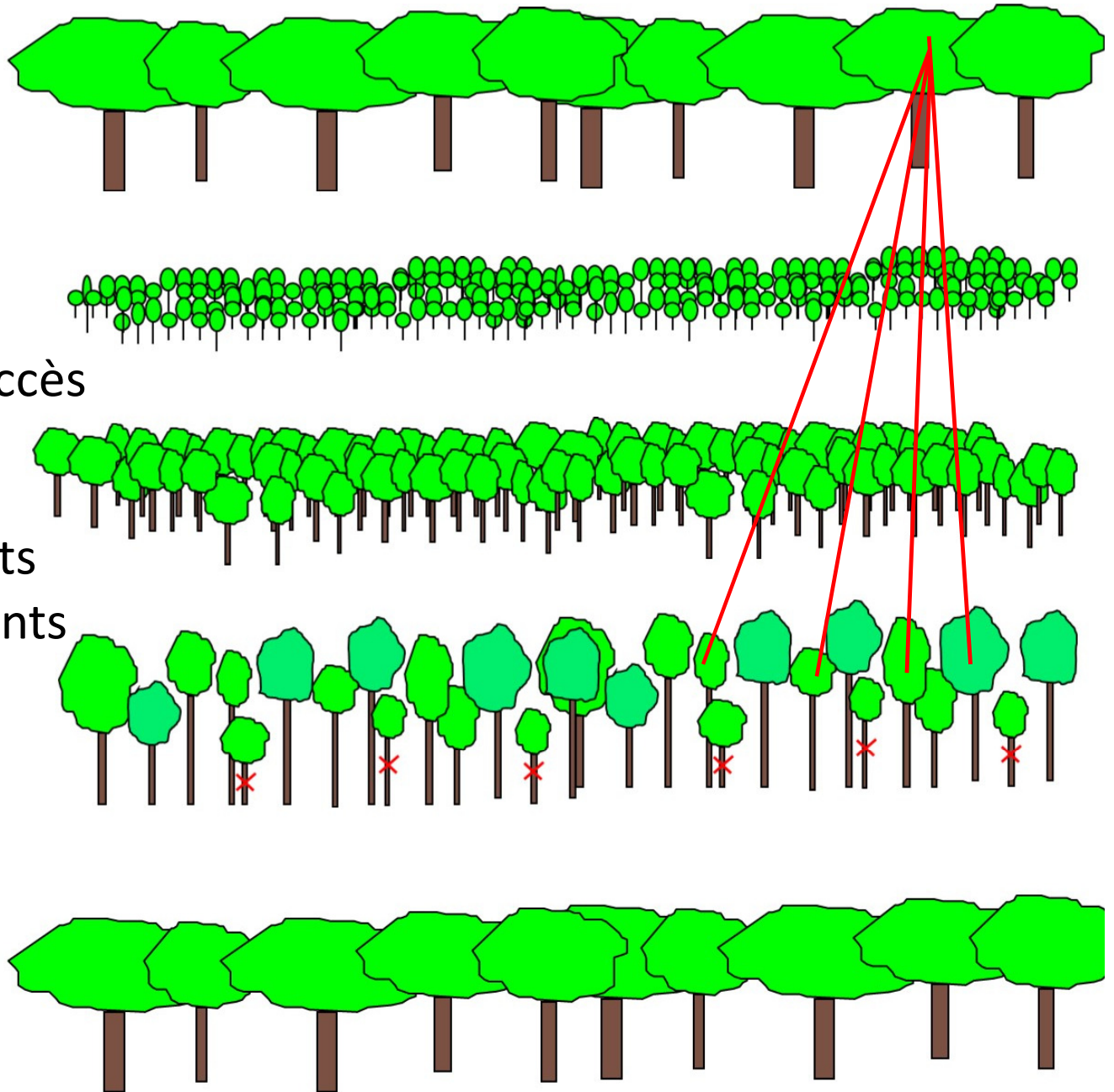
Q. petraea



Q. robur



ADAPTATION: Valeur adaptative

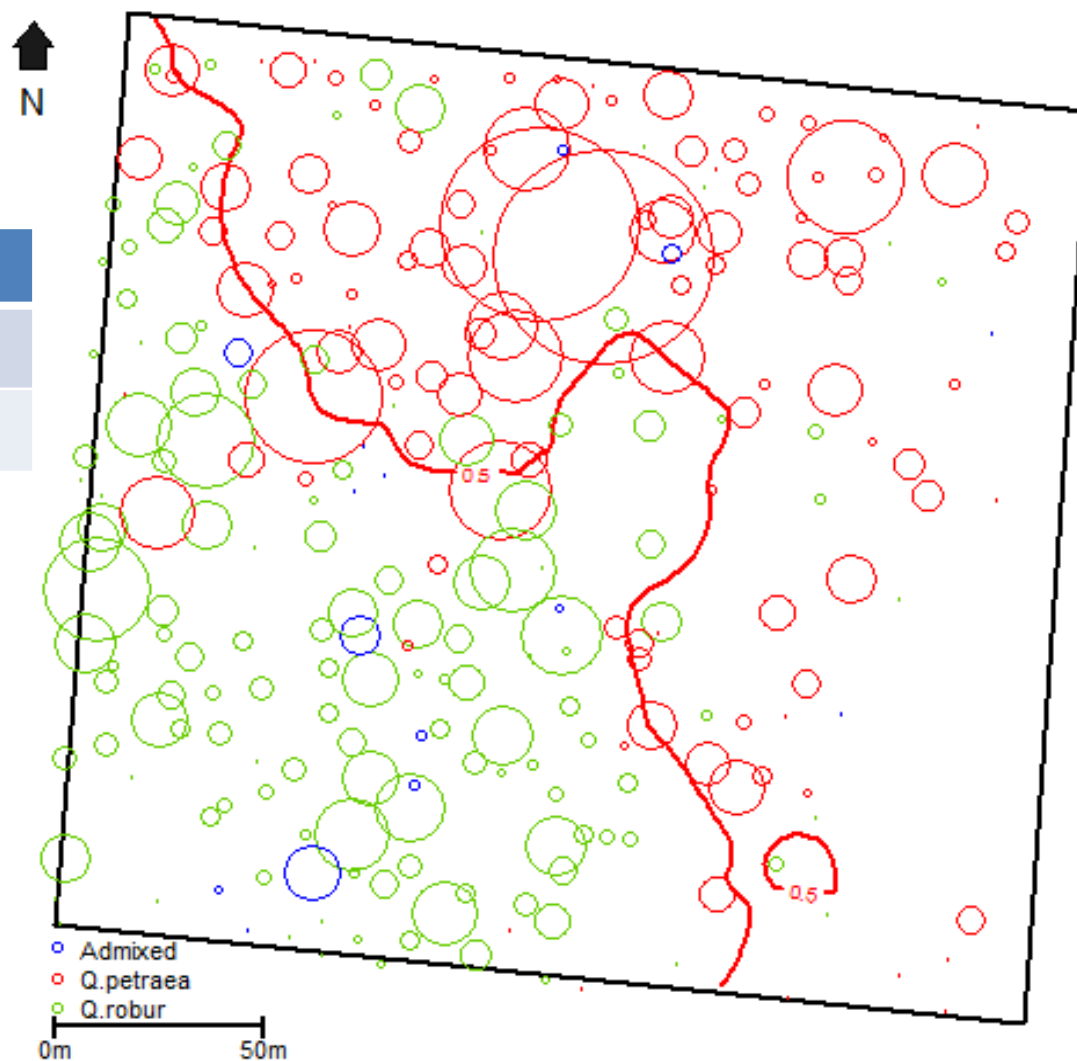


Valeur adaptative = Succès reproducteur inclus:

- Fécondité des parents
- Survie des descendants

DISTRIBUTION DES VALEURS ADAPTATIVES

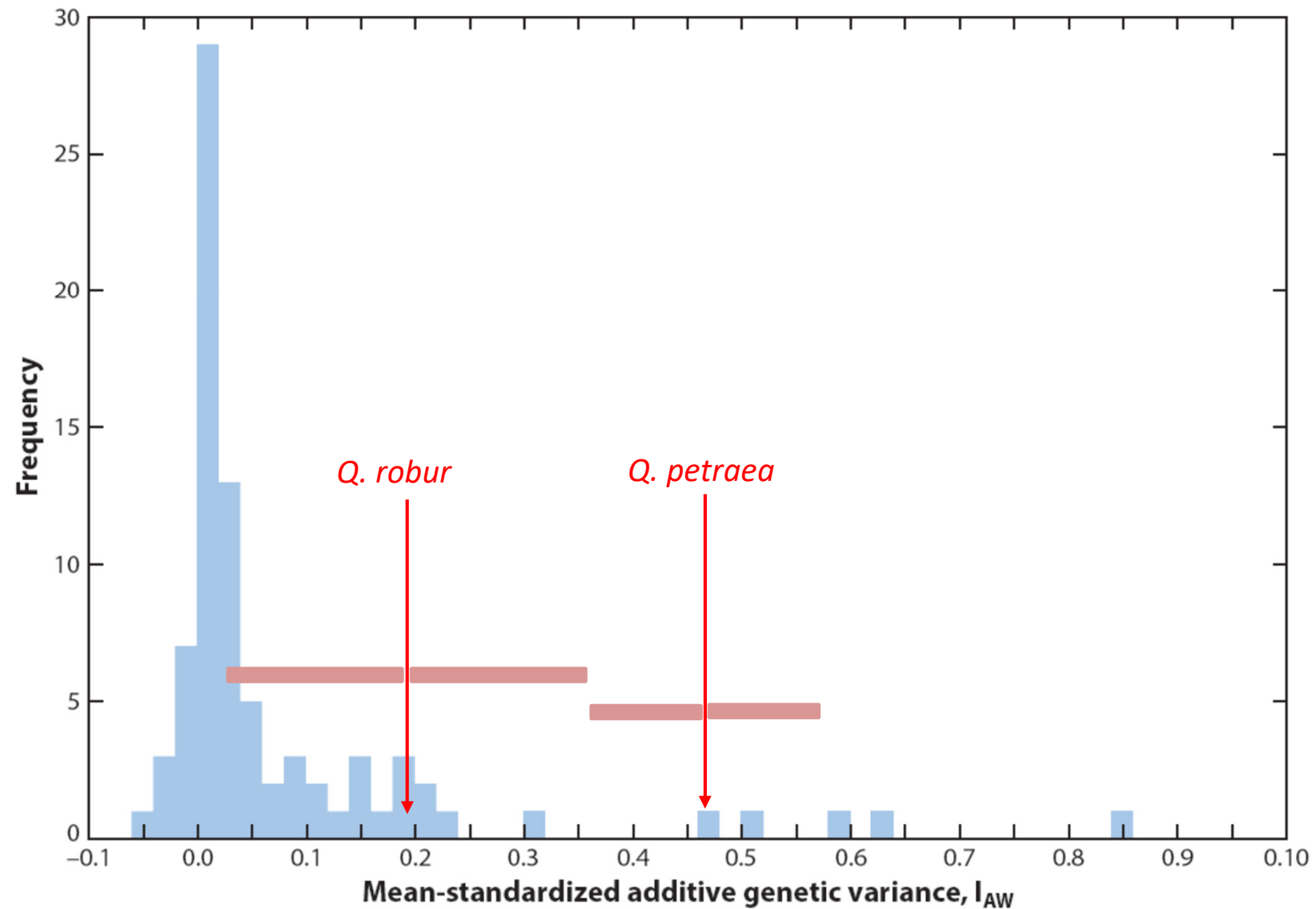
	Mean	Min/Max
Q. petraea	8.1	0 / 57
Q. robur	6.2	0 / 26



VARIANCE GENETIQUE DES VALEURS ADAPTATIVES
= POTENTIEL ADAPTATIF

Species	Overall variance	Genetic variance (V_A)	SE (V_A)
<i>Quercus petraea</i>	0.611	0.468	0.105
<i>Quercus robur</i>	0.420	0.193	0.168

VARIANCE GENETIQUE DE LA VALEUR ADAPTATIVE



Hendry et al.,2018. Annual Review of Ecology, Evolution & Systematics 49: 457-476

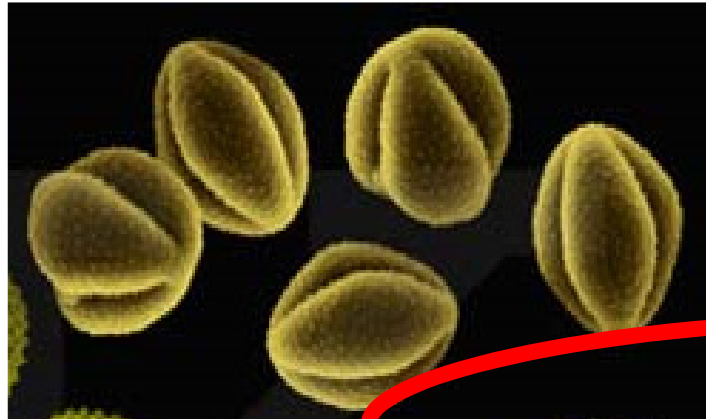
ADAPTATION « NATURELLE » : LES INGREDIENTS NECESSAIRES

- Diversité génétique

DE QUELLE DIVERSITE PARLE-T-ON ?

- Diversité résidente
- Diversité immigrante (par flux pollen ou de graines)
Intra ou interspécifique

DIVERSITE IMMIGRANTE INTRASPECIFIQUE : LES FLUX DE POLLEN



UN EXEMPLE DE FLUX DE POLLEN A LONGUE DISTANCE CHEZ LE CHENE PEDONCULE

Journal of Heredity Advance Access published April 27, 2011

Journal of Heredity
doi:10.1093/jhered/esr023

© The American Genetic Association. 2011. All rights reserved.
For permissions, please email: journals.permissions@oup.com.

Efficient Long-Distance Gene Flow into an Isolated Relict Oak Stand

JUTTA BUSCHBOM, YULAY YANBAEV, AND BERND DEGEN

From the Johann Heinrich von Thünen-Institute, Institute of Forest Genetics, Sieker Landstrasse 2, 22927 Grosshansdorf, Germany (Buschbom and Degen); and the Bashkirian State Agricultural University, 50 let Oktyabrya Street-34, Ufa, Russia (Yanbaev).

35 % des graines produites dans un peuplement donné ont été pollinisées par du pollen venant de + de 80kms

REVIEW AND SYNTHESES

Long-distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change

Antoine Kremer,^{1,2*†} Ophélie Ronce,^{3†} Juan J. Robledo-Amancio,⁴ Frédéric Guillaume,⁵ Gil Bohrer,⁶ Ran Nathan,⁷ Jon R. Bridle,⁸ Richard Gomulkiewicz,⁹ Etienne K. Klein,¹⁰ Kermit Ritland,¹¹ Anna Kuparinen,¹² Sophie Gerber^{1,2} and Silvio Schueler¹³

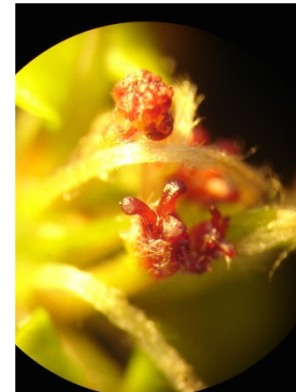
Abstract

Forest trees are the dominant species in many parts of the world and predicting how they might respond to climate change is a vital global concern. Trees are capable of long-distance gene flow, which can promote adaptive evolution in novel environments by increasing genetic variation for fitness. It is unclear, however, if this can compensate for maladaptive effects of gene flow and for the long-generation times of trees. We critically review data on the extent of long-distance gene flow and summarise theory that allows us to predict evolutionary responses of trees to climate change. Estimates of long-distance gene flow based both on direct observations and on genetic methods provide evidence that genes can move over spatial scales larger than habitat shifts predicted under climate change within one generation. Both theoretical and empirical data suggest that the positive effects of gene flow on adaptation may dominate in many instances. The balance of positive to

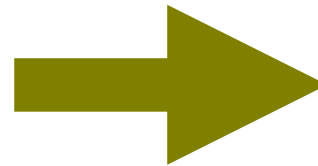
LE FLUX DE POLLEN PEUT CONTRIBUER A UNE MEILLEURE
ADAPTATION S'IL INTRODUIT DES GENES FAVORABLES... S'IL VA
DANS LE SENS SOUHAITE PAR RAPPORT AU CHANGEMENT
CLIMATIQUE

HYBRIDATION INTERSPECIFIQUE

Chêne sessile – Chêne pédonculé



Sessile

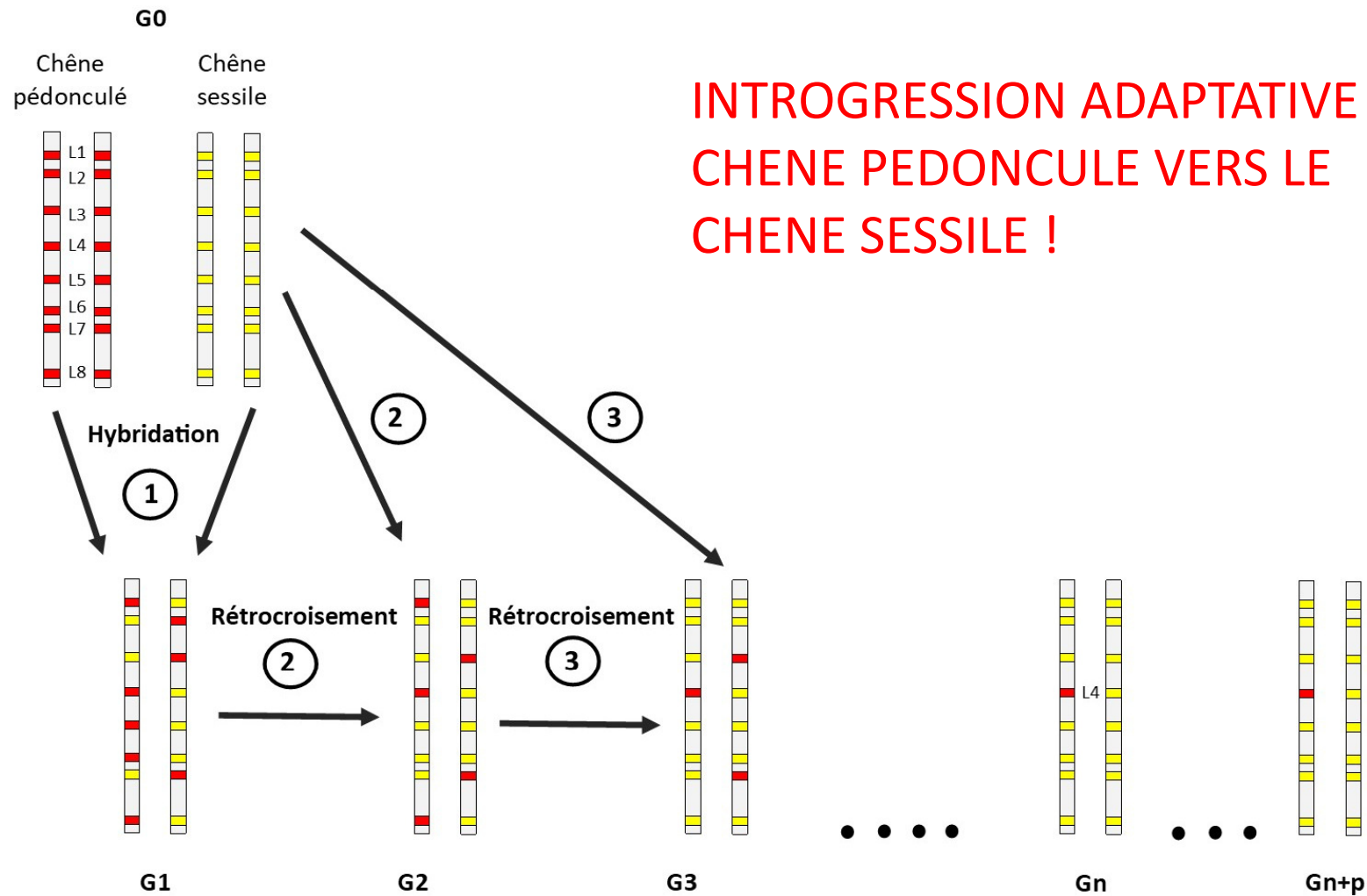


Pédonculé

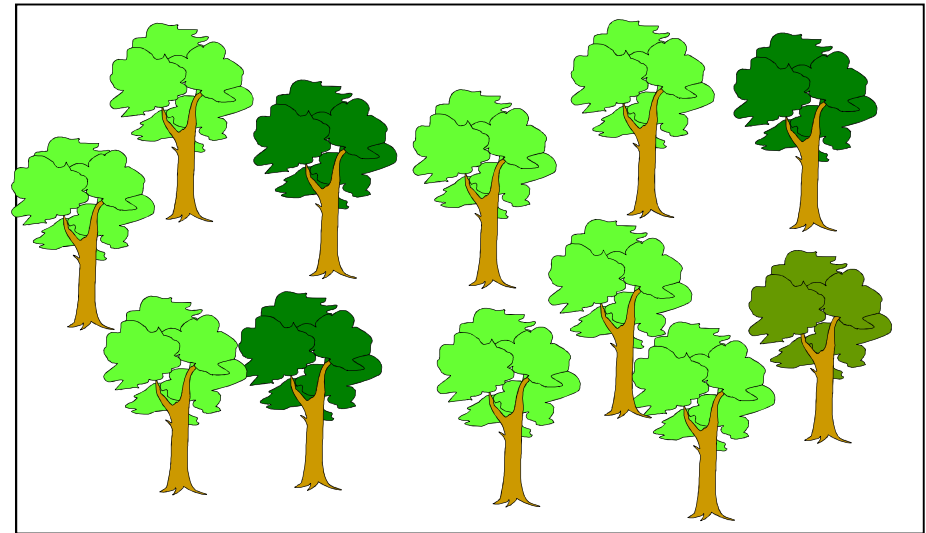
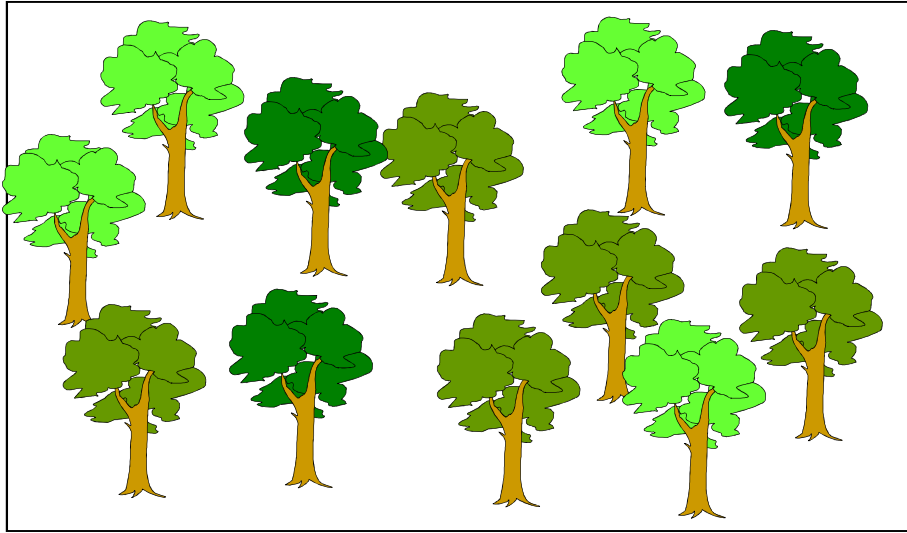


Curtu, A. L. et al. BMC Evolutionary Biology 2007
Bacilieri et al., Evolution, 1995

HYBRIDATION ET ADAPTATION



INTROGRESSION ADAPTATIVE DU
CHENE PEDONCULE VERS LE
CHENE SESSILE !

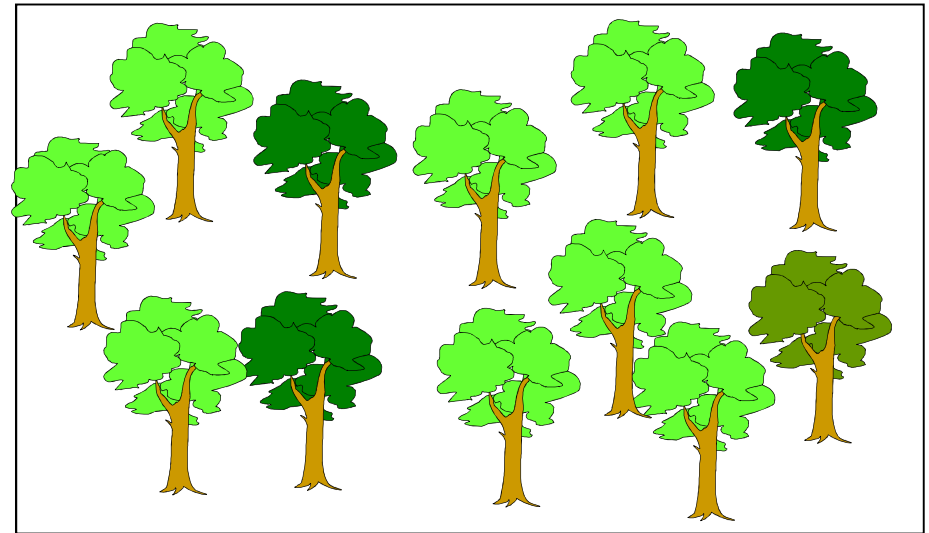
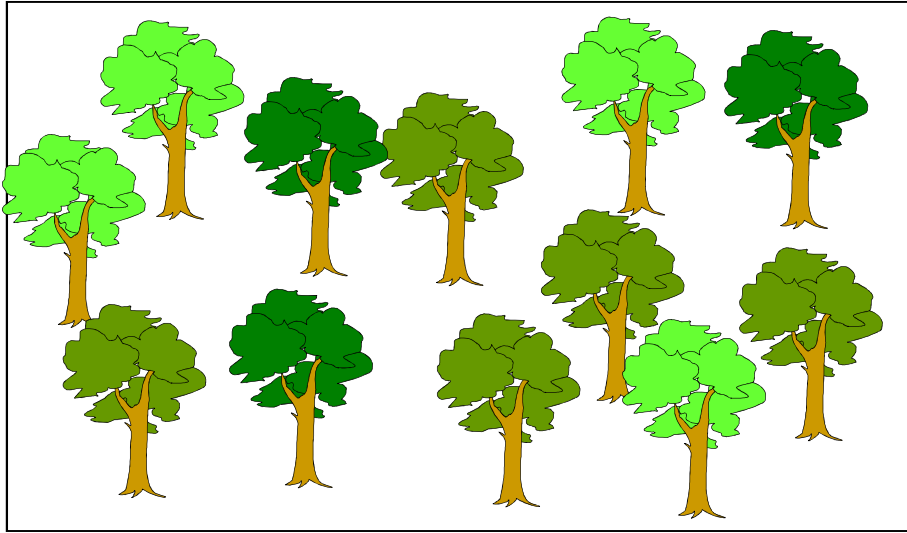


MECANISMES SUR **LE TEMPS LONG**

PROCESSUS QUI METTENT EN JEU LES FLUX DE POLLEN
INTRA OU INTERSPECIFIQUES

Introgression adaptative ... une dizaine de générations

Exemple: Adaptation du chêne sessile en altitude dans les
Pyrénées n'a été possible que parce que le chêne sessile
a récupéré des gènes du chêne pédonculé



MECANISMES SUR LE TEMPS COURT PROCESSUS QUI VALORISENT LA DIVERSITE RESIDENTE

- Exemple: Date de Débourrement (Depuis le petit âge glaciaire, 2 derniers siècles)
- Croissance : en une ou deux générations

ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

ADAPTATION
« NATURELLE »

GESTION
« ADAPTATIVE »



ADAPTATION « NATURELLE »

Comment stimuler les mécanismes de l'adaptation naturelle ?

- Enrichir la diversité

Régénération assistée (complémentation)

- Maintenir la mixité des peuplements

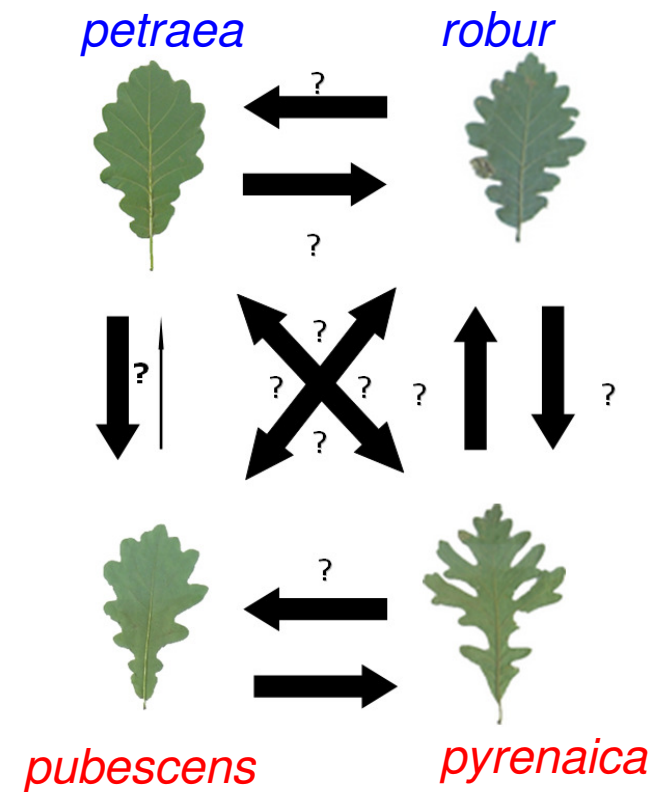
- Actionner la sélection naturelle

Réduction des rotations

DIVERSITE IMMIGRANTE INTERSPECIFIQUE HYBRIDATION NATURELLE



F. Spada, 2010



Q. petraea

Q. robur

Q. pubescens

Q. pyrenaica

GESTION « ADAPTATIVE »

PLANTATION

- Enrichir la **diversité génétique locale** en s'inspirant des tests de provenances
- Limiter la substitution des populations locales par des populations « allochtones »
- Utiliser la diversité intra et interspécifique
- Raisonner diversité à plusieurs échelles spatiales (peuplement, forêt, paysage)



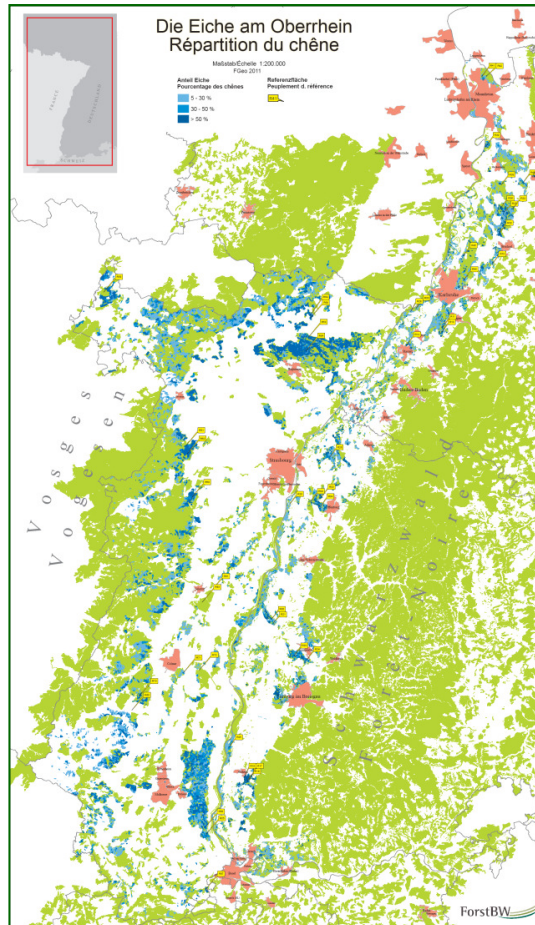
GENETIQUE DES CHENES D' ALSACE

DIVERSITE DES CHENES DE LA VALLEE DU RHIN

ORIGINE (Lignée Chloroplastiques)

VARIABILITE DU CHENE SESSILE DANS LES
TESTS DE PROVENANCE

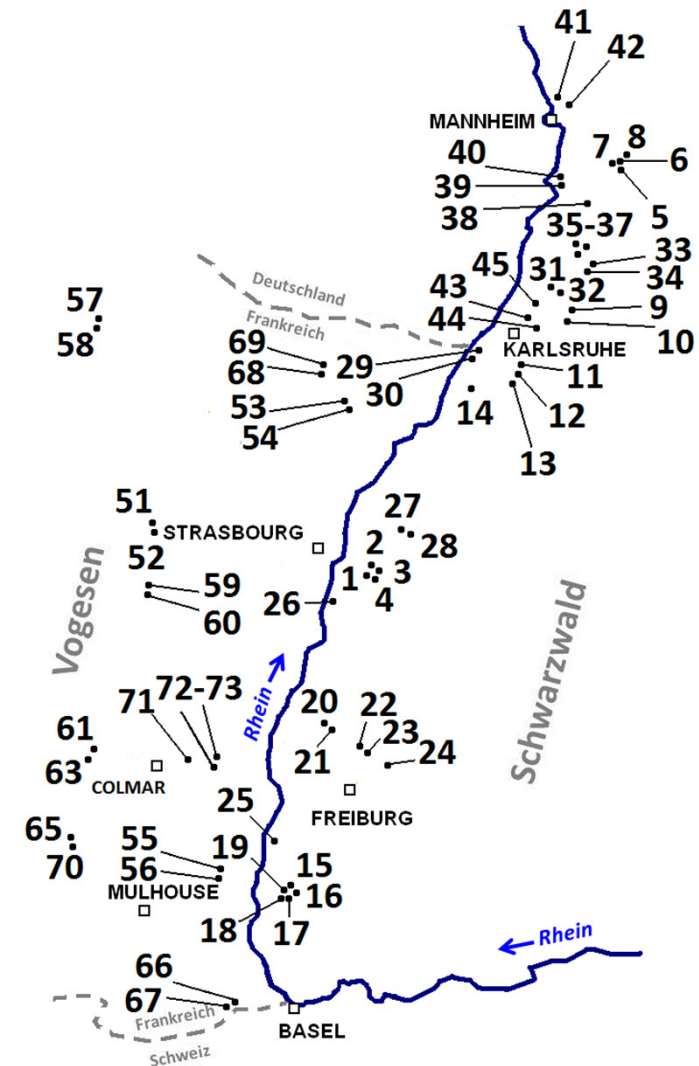
Bestände

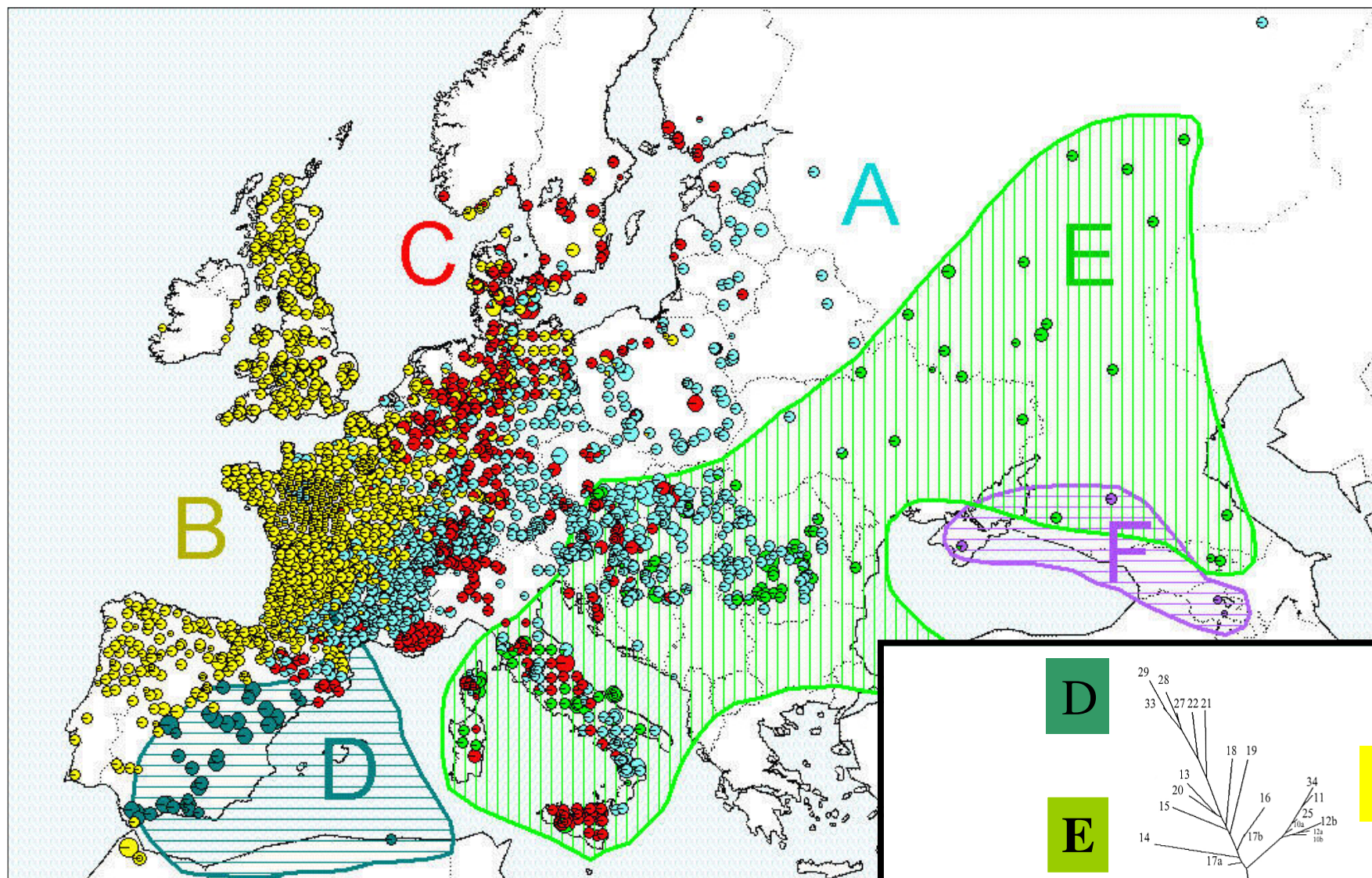


Peuplements

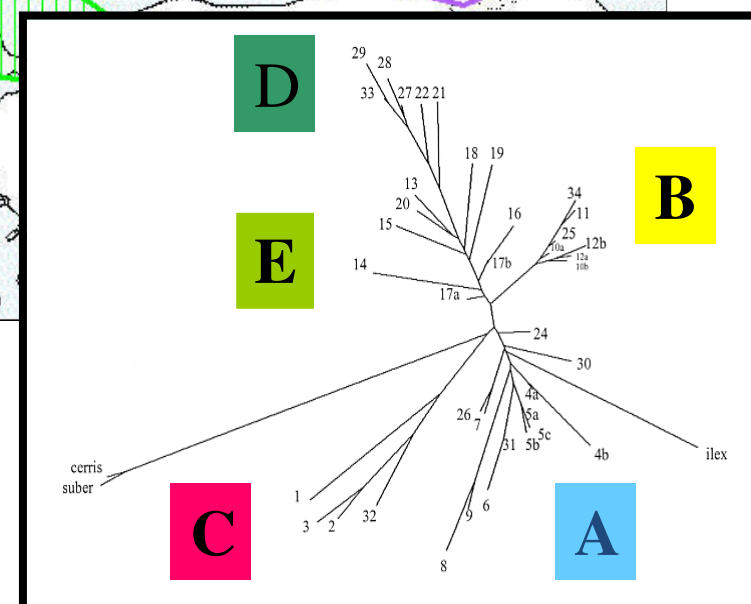
66 repräsentative
Eichenbeständen / peuplements
du chêne représentatifs

- 40 mit / avec *Quercus robur*
- 11 mit / avec *Quercus petraea*
- 15 gemischte / mixtes
- Insgesamt / globalement 1907
Bäume / arbres

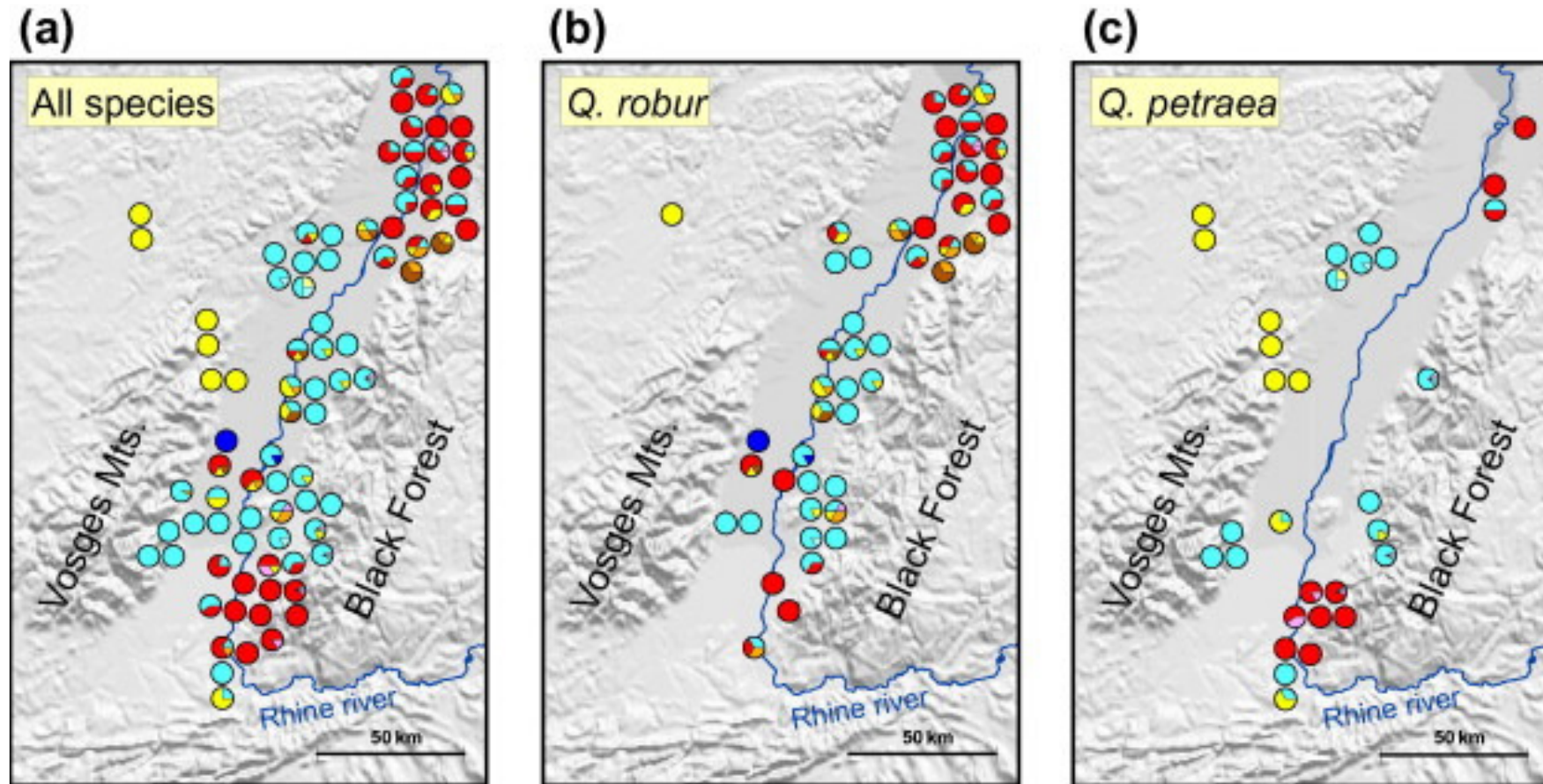




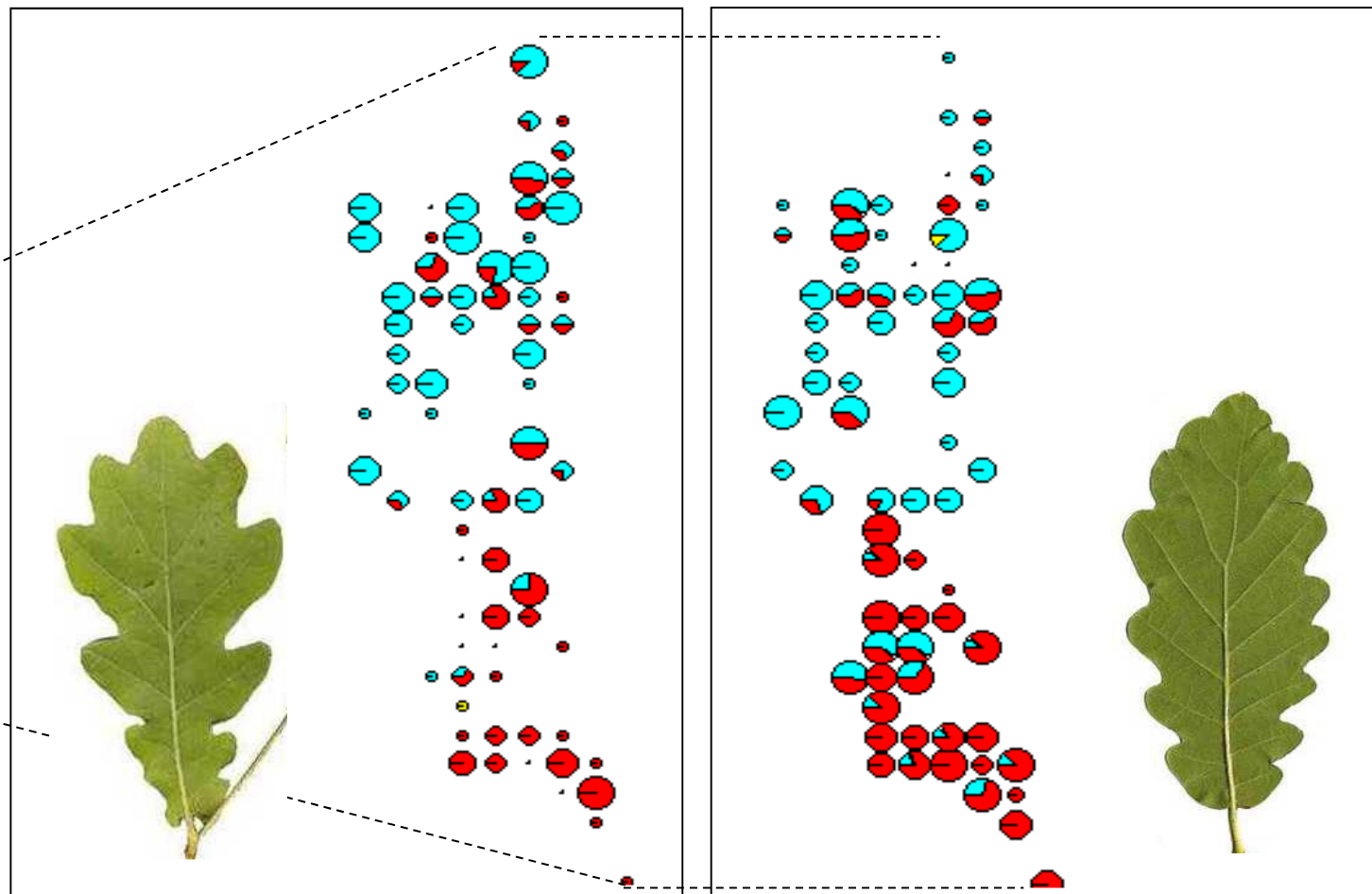
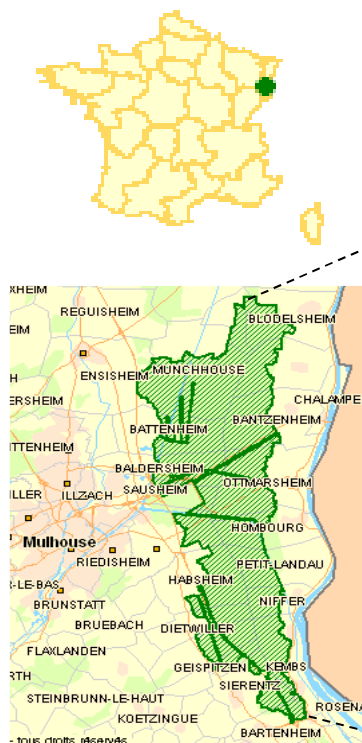
DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE DES LIGNEES



DISTRIBUTION DES LIGNEES CHLOROPLASTIQUES

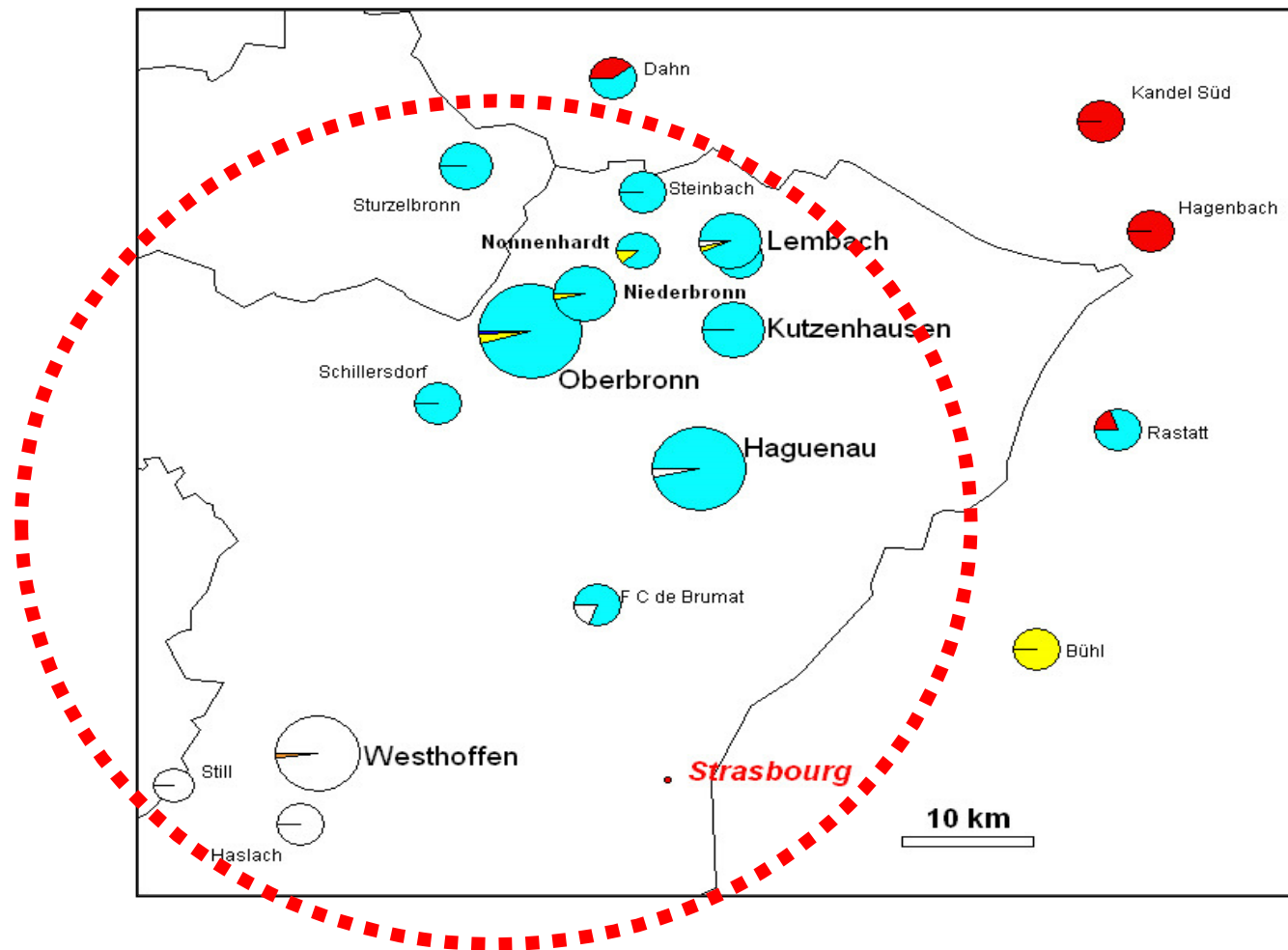


DISTRIBUTION DES LIGNEES EN FORET DE LA HARDT



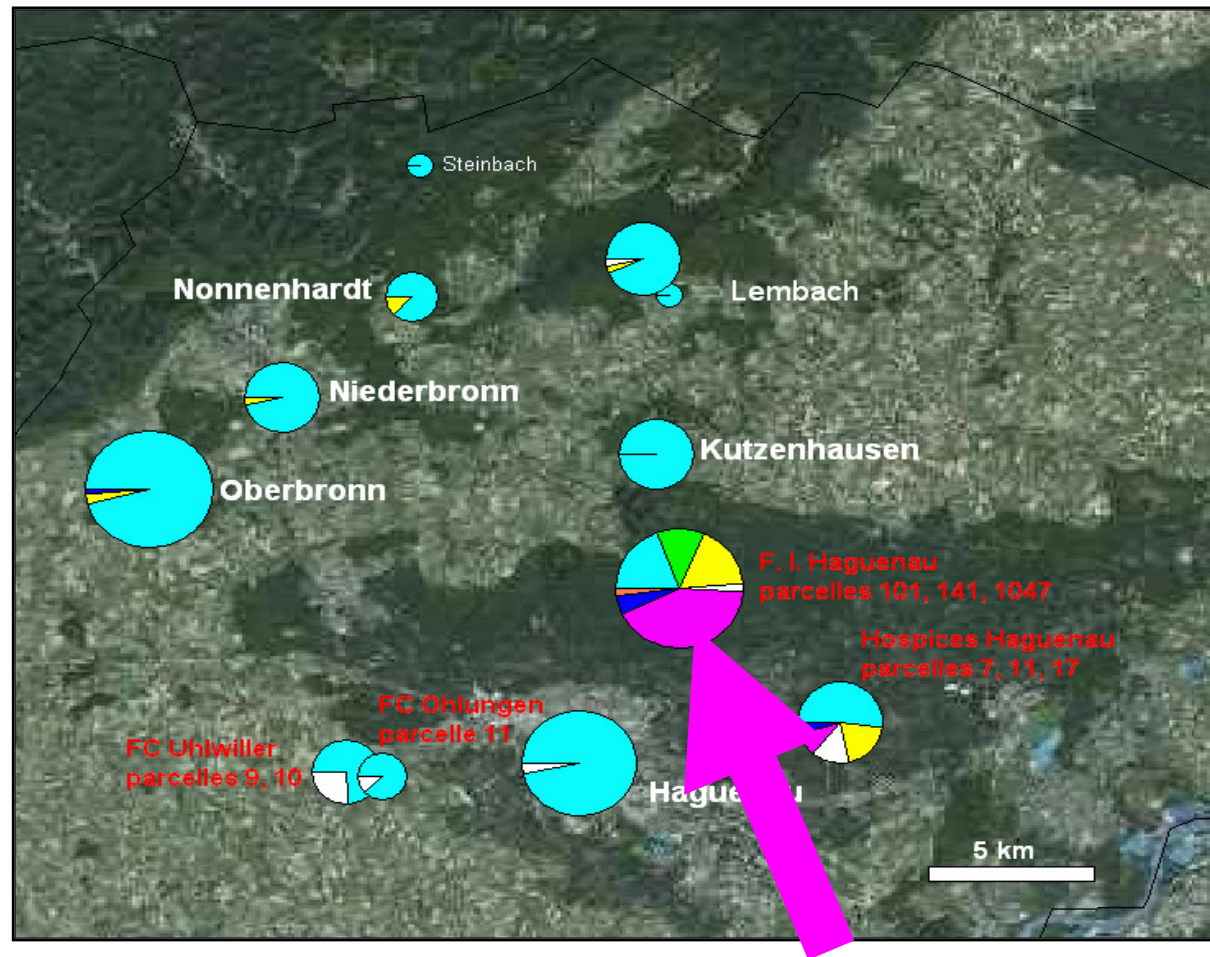
Travaux
financés par
l'ONF

DISTRIBUTION DES LIGNEES DANS LE NORD DE L'ALSACE



Travaux financés
par le SERFOB
(peuplements
classés) et par la
DGFAR
(Haguenau)

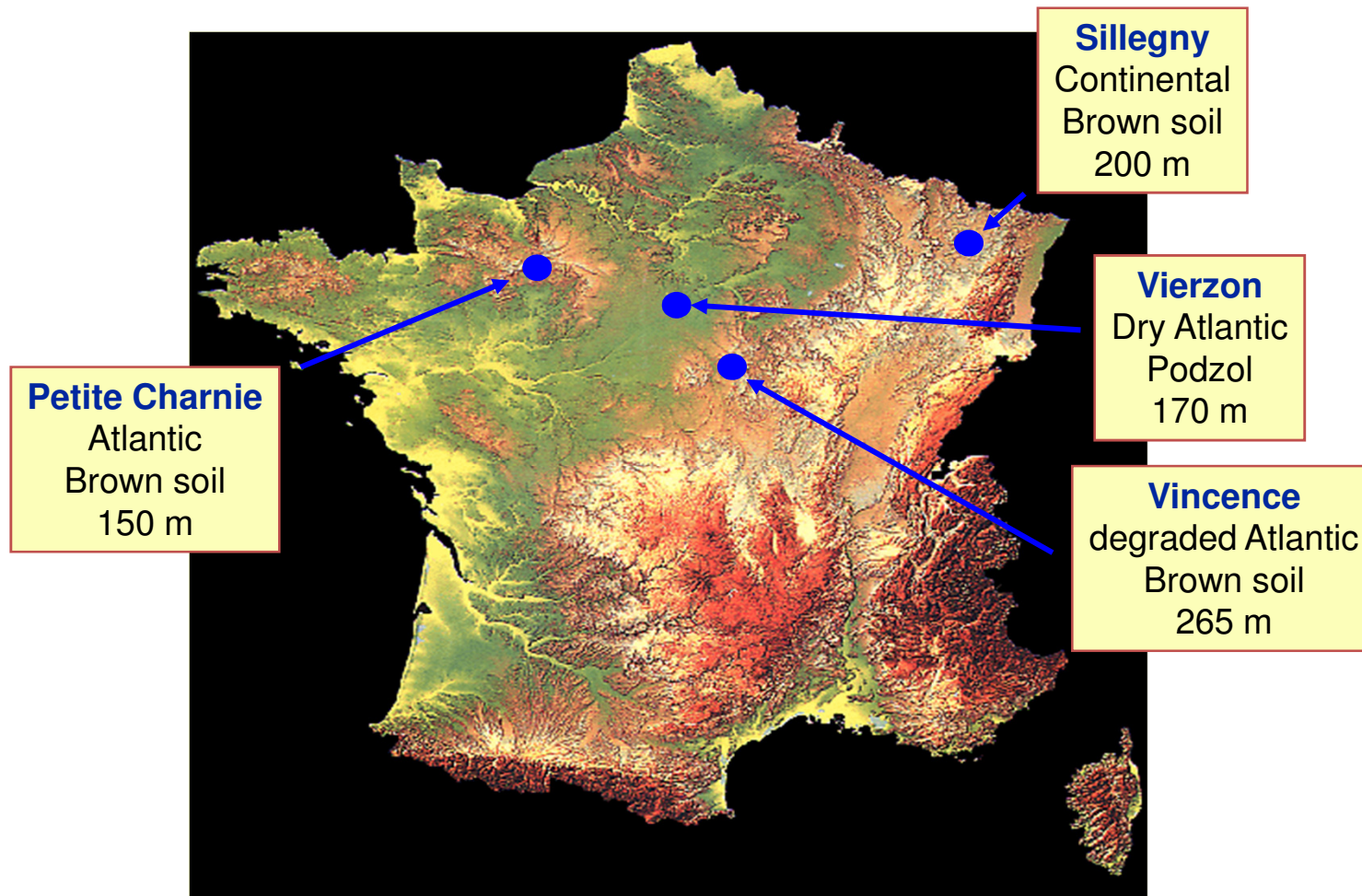
IDEM AVEC PLANTATIONS EN FORET DE HAGUENAU



ADN chloroplastique

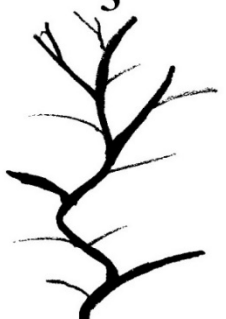
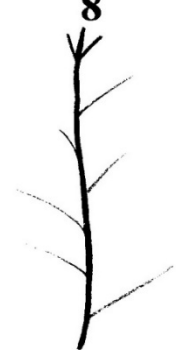
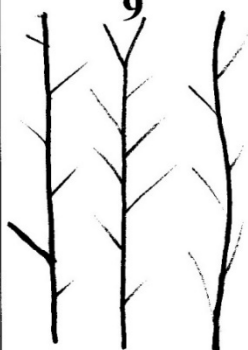
Travaux financés
par le SERFOB
(peuplements
classés) et par la
DGFAR
(Haguenau)

TESTS DE PROVENANCES DE CHENE SESSILE



120 Pops (range wide collection)
tested in 4 plantations

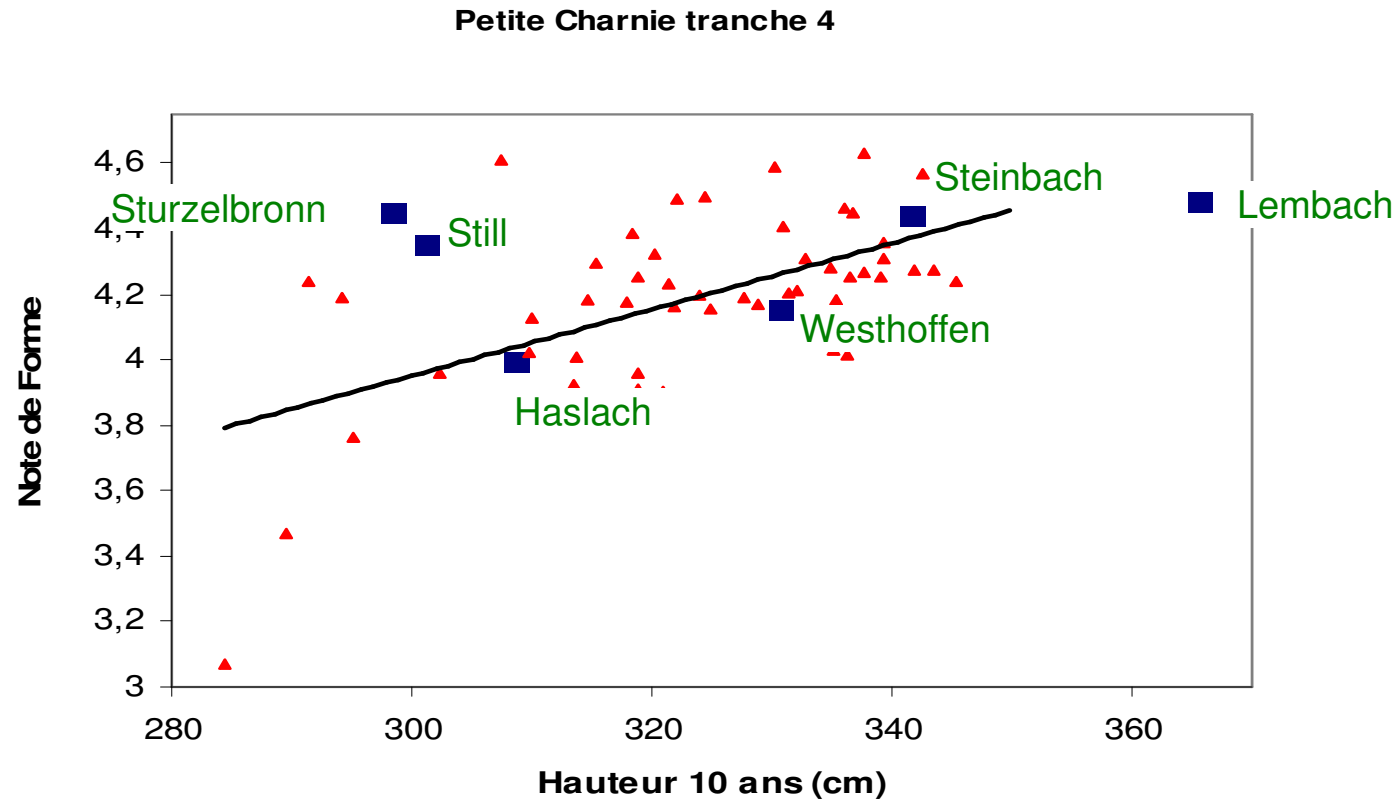
NOTATION DE L'ARCHITECTURE DU CHENE SESSILE VERS 10 ANS

0  Arbre dont l'avenir est incertain : dépérissement...	1  pas de tige principale ou sur une faible hauteur (forme « pommier »)	2  Pas d'axe apparent, très nombreux défauts majeurs	3  Présence d'un axe visible mais plusieurs défauts majeurs	4  Présence d'un axe visible mais un défaut majeur élimine toute qualité sylvicole	5  Arbre ayant de nombreux défauts moyens (angle de branchaison, diamètre des branches, densité des branches, flexuosité) mais récupérable par une taille de formation
Note de forme chêne sessile <i>Ducousso A., INRA Dechaume A., ONF Louvet J.M., INRA Vieux C., ONF</i>	6  Un gros défauts récupérable ou plusieurs défauts moyens	7  Deux défauts moyens ou nombreux petits défauts, note maximum pour un arbre à tige multiple	8  Deux défauts légers ou un défaut moyen	9  Un petit défaut (fourche en cime, légère flexuosité, quelques branches de diamètres moyen...)	10  Arbre idéal : aucun défaut

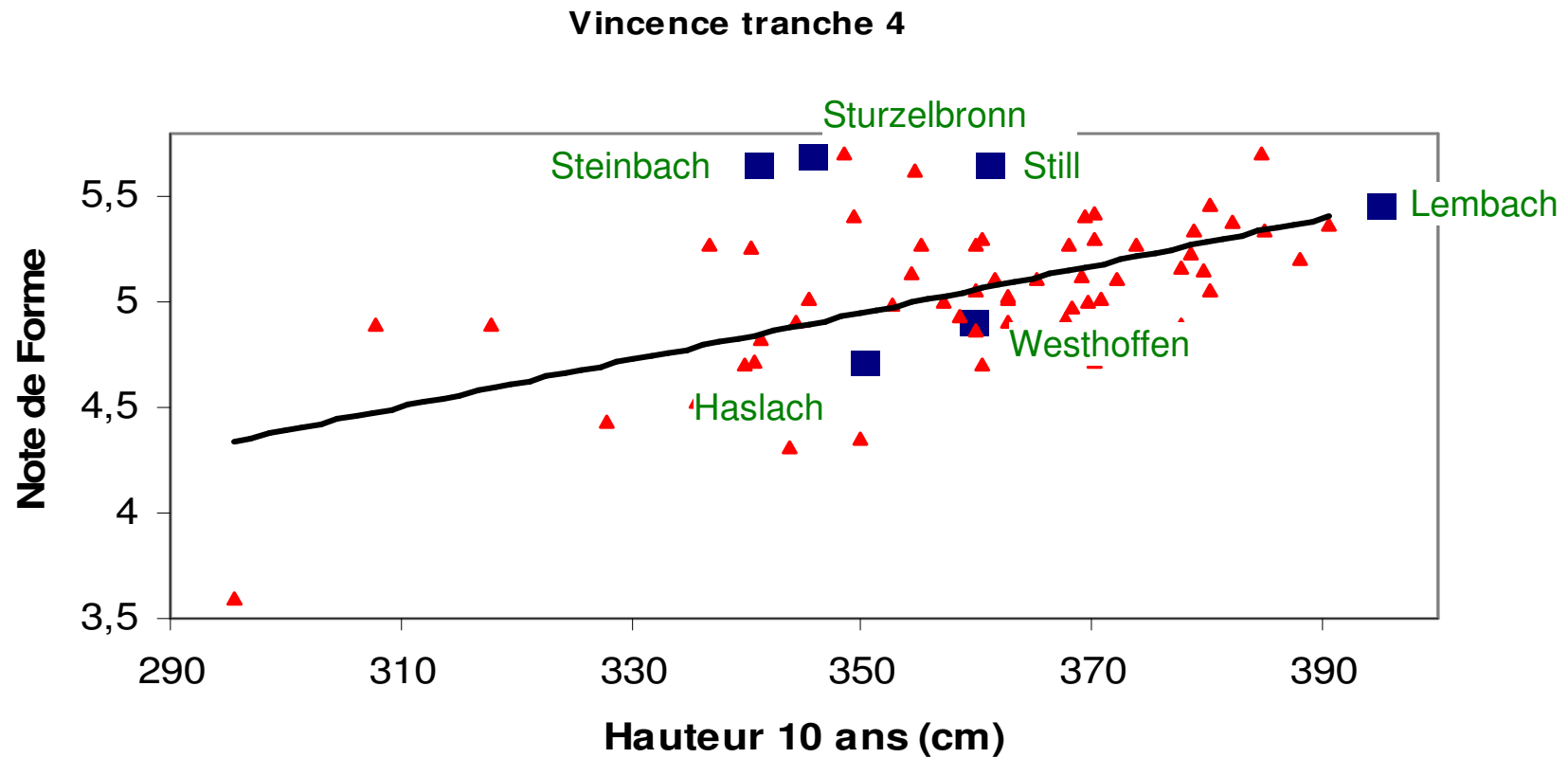
Caractères à observer :

- branchaison : densité, diamètre et angle d'insertion
- fourchaison : plus la fourche est proche du sommet moins elle est pénalisante dans la note
- flexuosité
- autres caractères : descente de cime, nœuds vicieux, pathologie grave....

RESULTATS DANS LE TEST DE LA PETITE CHARNIE



RESULTATS DANS LE TEST DE VINCENCE



RESULTATS DANS LE TEST DE SILLEGNY

