



**HAL**  
open science

## **Petite synthèse sur le sapin : son histoire démographique, sa capacité d'adaptation à réagir aux variations environnementales, des pistes pour sa gestion future**

Caroline Scotti-Saintagne

### ► To cite this version:

Caroline Scotti-Saintagne. Petite synthèse sur le sapin : son histoire démographique, sa capacité d'adaptation à réagir aux variations environnementales, des pistes pour sa gestion future. Séminaire hebdomadaire, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). Avignon, FRA., Jun 2017, Avignon, France. 46 p. ⟨hal-02785843⟩

**HAL Id: hal-02785843**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02785843v1>**

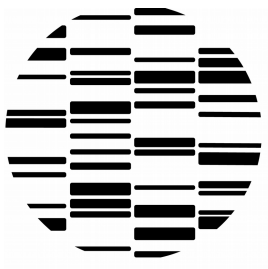
Submitted on 4 Jun 2020

**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.

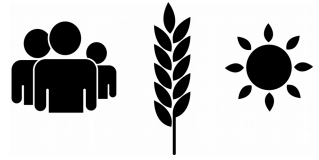
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization



**INRA**  
SCIENCE & IMPACT



Petite synthèse sur le sapin :

son histoire démographique,  
sa capacité à réagir aux  
variations environnementales,  
des pistes pour sa gestion  
future

Caroline Scotti-Saintagne

IRD Montpellier le 13 juin 2017



# Qui suis-je?

On me retrouve à des **altitudes** variant de **400 à 2000** mètres, des Pyrénées aux montagnes de l'Europe centrale.  
En France, **je couvre 4%** du territoire forestier.  
Peu m'importe la nature du **sol**, à condition qu'il soit **frais**, drainé et peu compact. Il faut aussi que je puisse m'enraciner profondément !  
Quant au **climat**, je suis assez exigeant : il me faut de l'air **humide**, **assez froid** et de nombreuses précipitations.  
De plus, **je crains les gelées tardives** et **les fortes chaleurs d'été**



Office National des Forêts

Chercher  + de critères

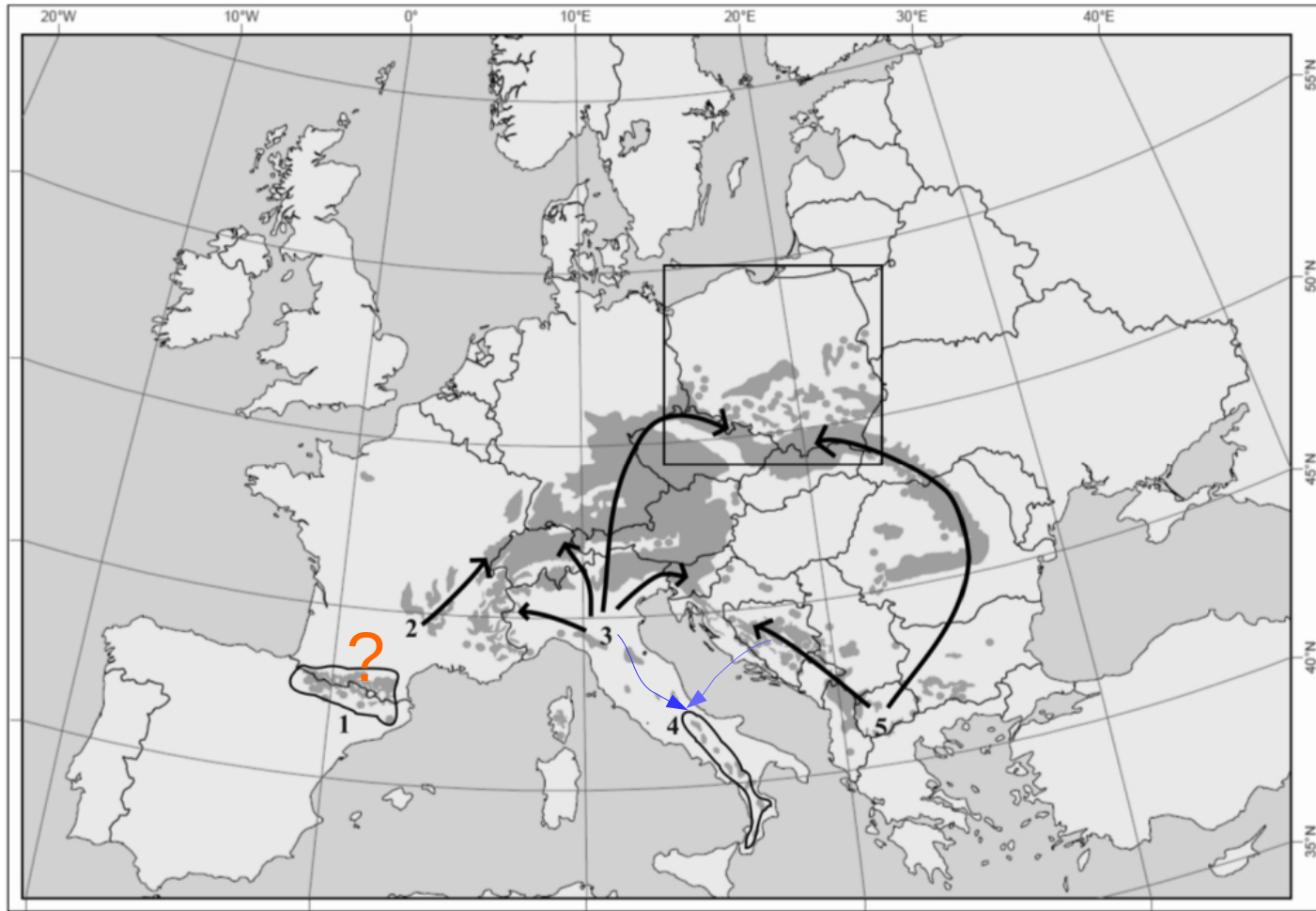
↳ tout le portail

loisirs en forêt

[Home](#) > [Connaissez-vous la forêt ?](#) > [Arbres](#) > [Résineux](#) > [Le Sapin des Vosges](#)

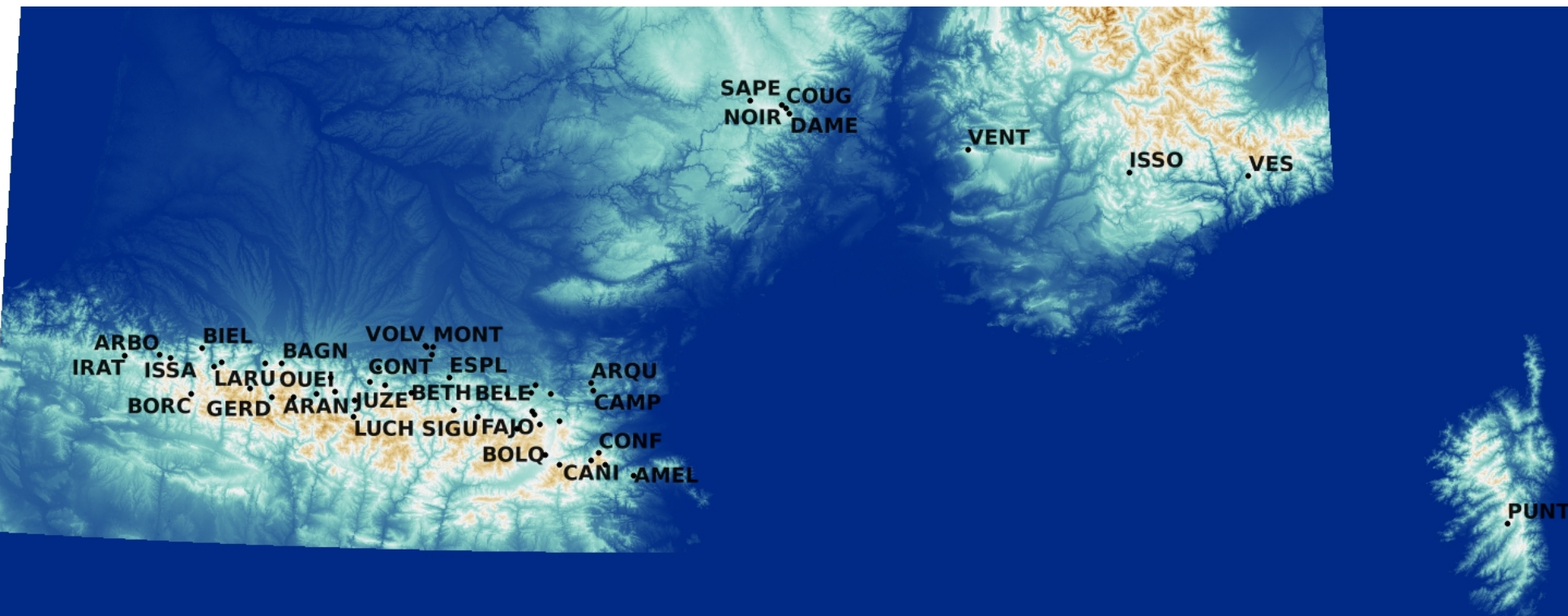
# D'où viens-je ? Une histoire de refuges

Litkowiec et al., Forests 2016, 7, 284



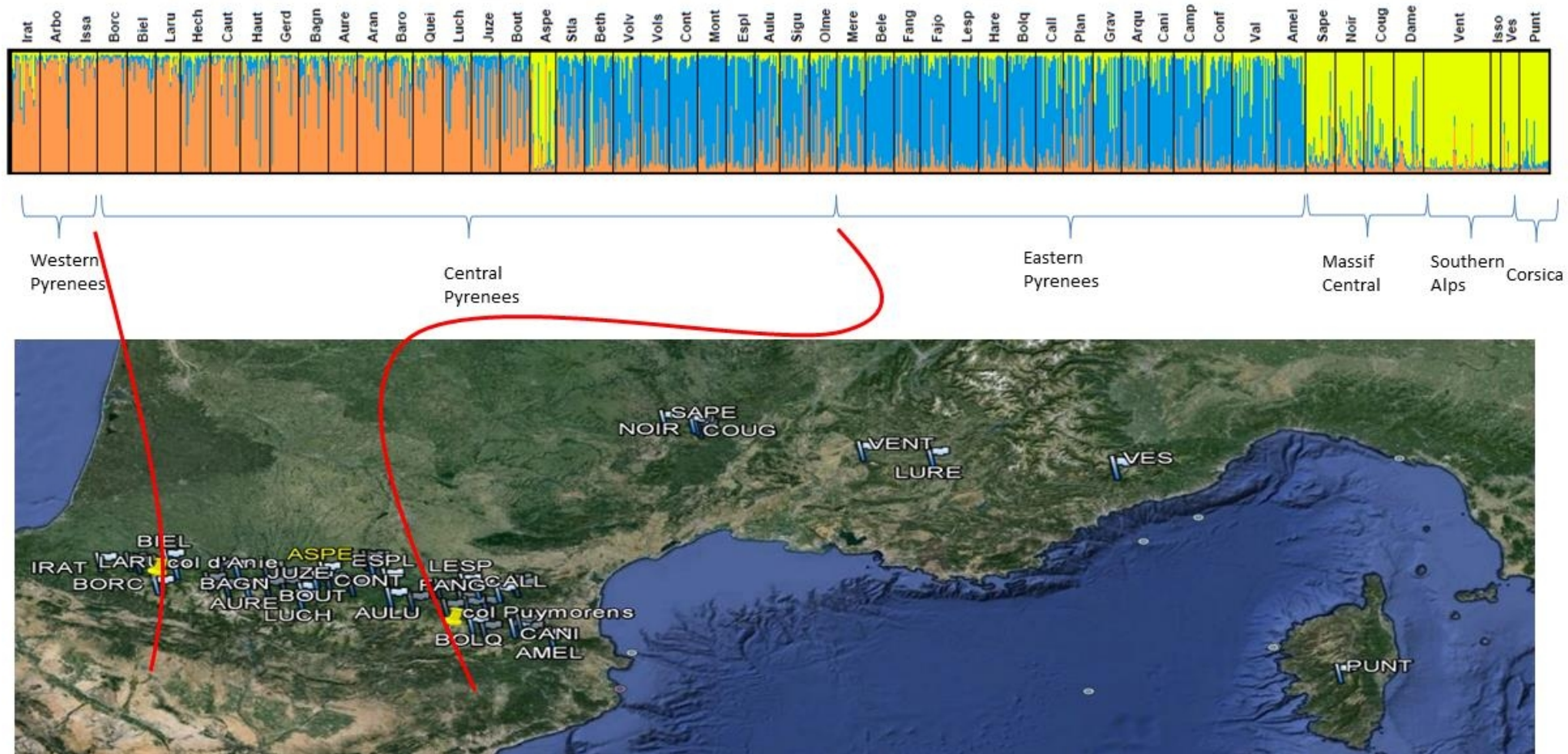
Piotti et al., 2017. Journal of Biogeography ; Bosela et al. 2016 Journal of Ecology, 104, 716–724

# *Un échantillonnage pyrénéen dense*

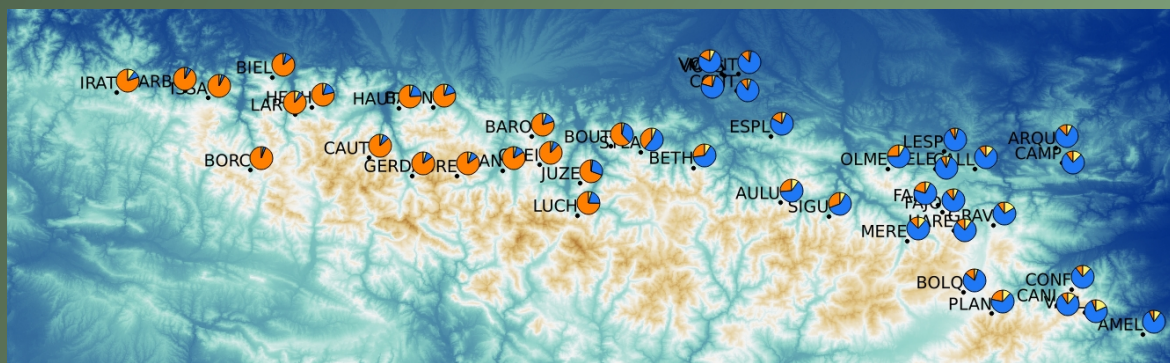
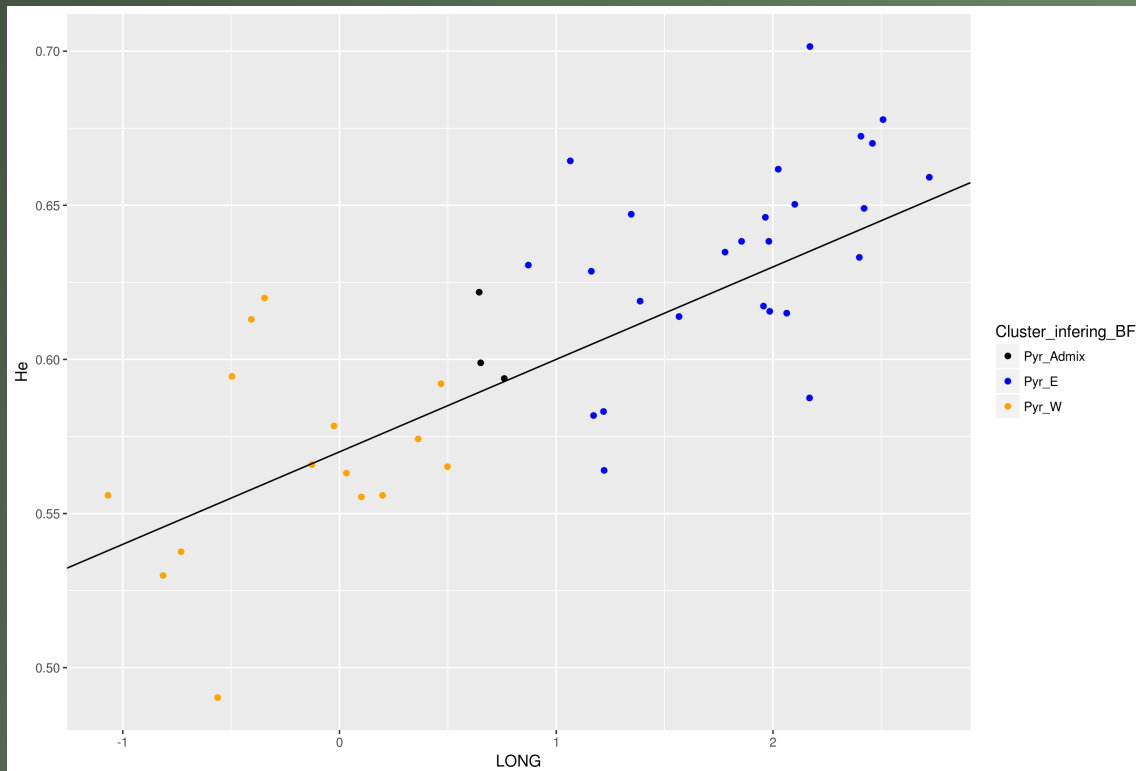


45 Pyrénées  
4 Massif central  
3 Alpes maritimes  
1 Corse  
1655 individus  
10 marqueurs microsatellites nucléaires

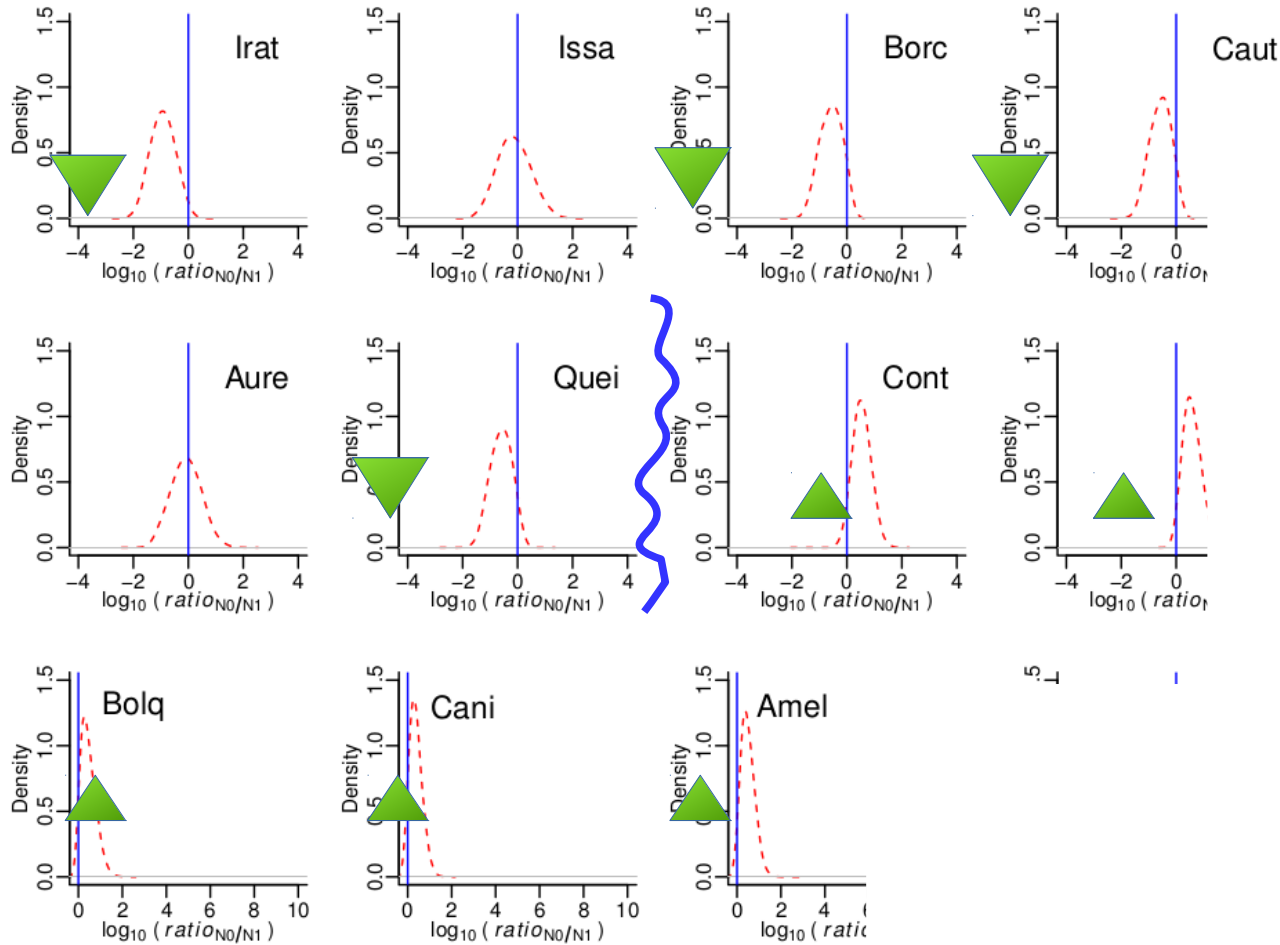
# Une structure génétique forte dans les Pyrénées



# Une diversité génétique non homogène

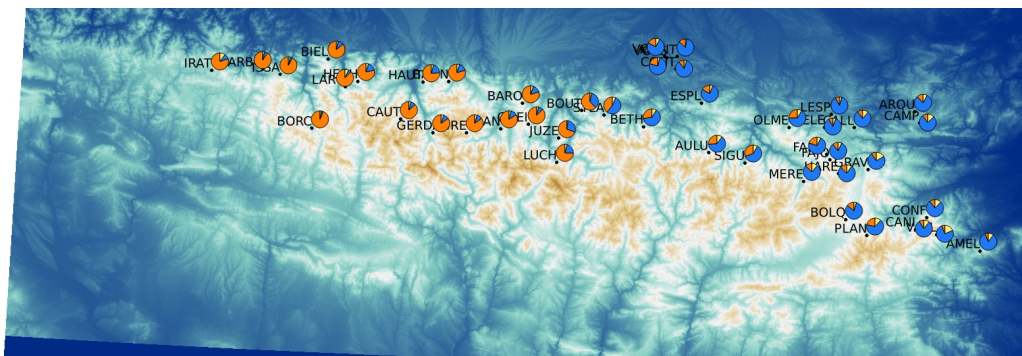


# Une histoire démographique différente entre l'ouest et l'est des Pyrénées

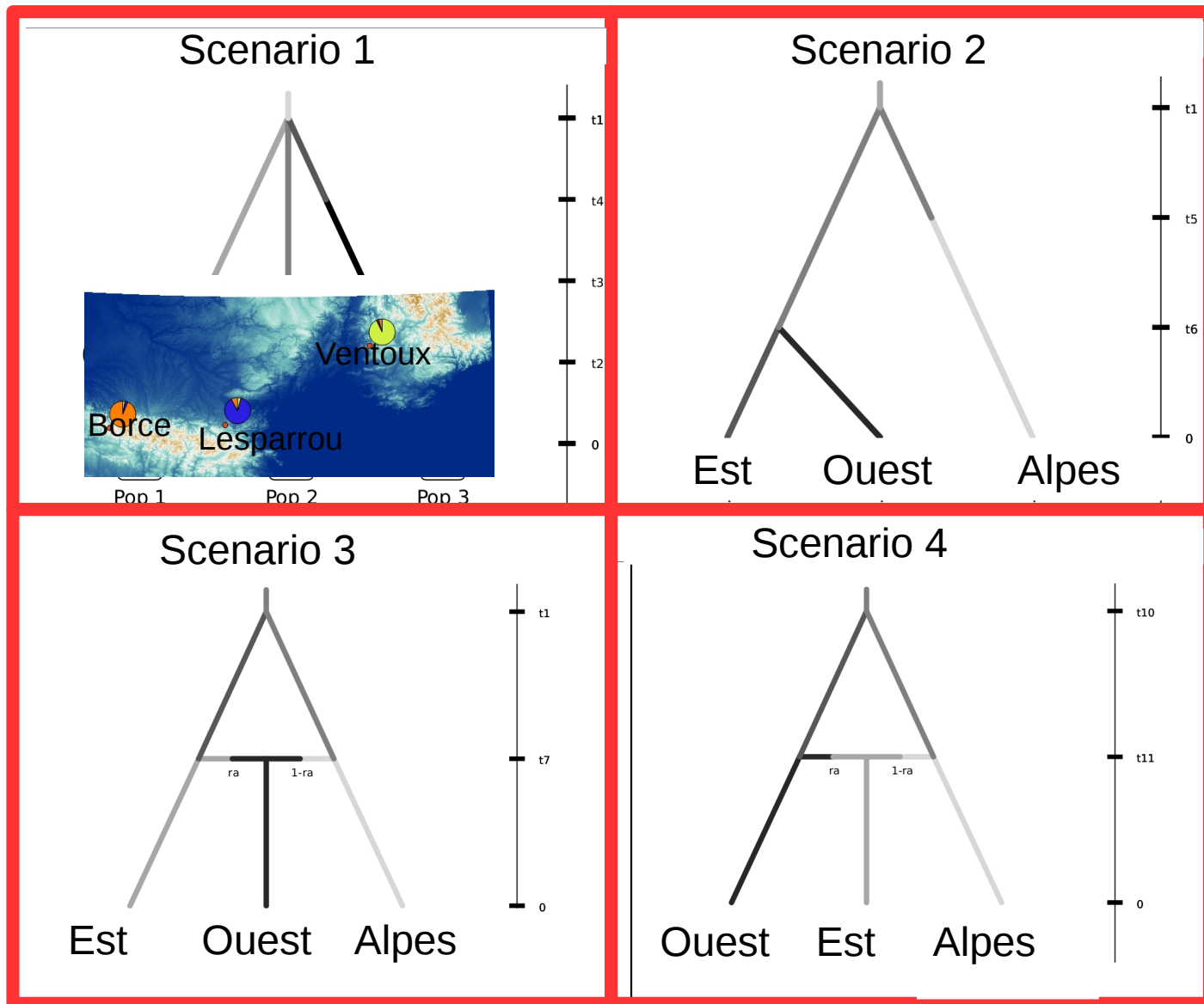


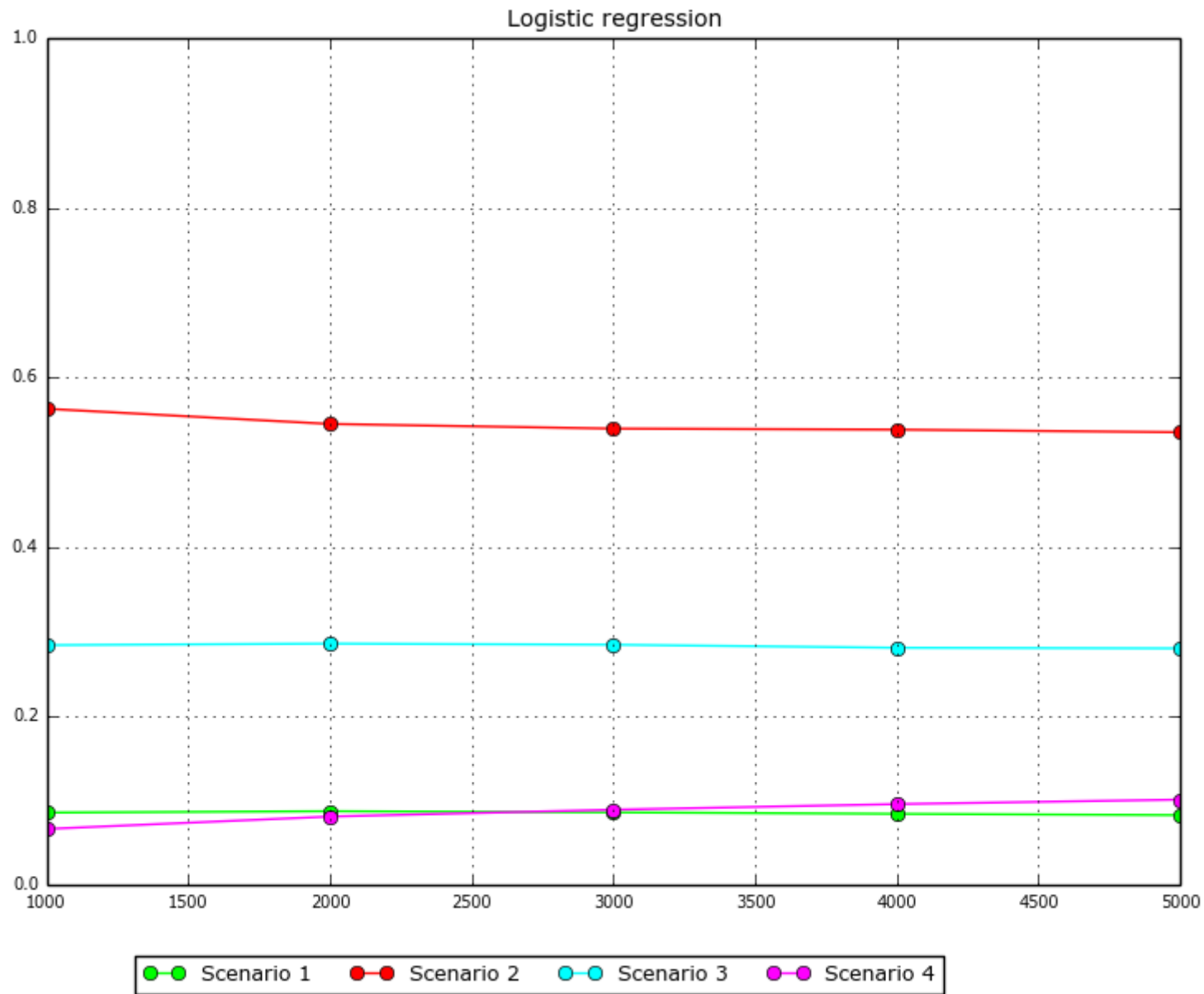
DIYABC  
 Cornuet et al., 2014. Bioinformatics  
 vol 30

Barthe et al., 2017 Mol Ecol

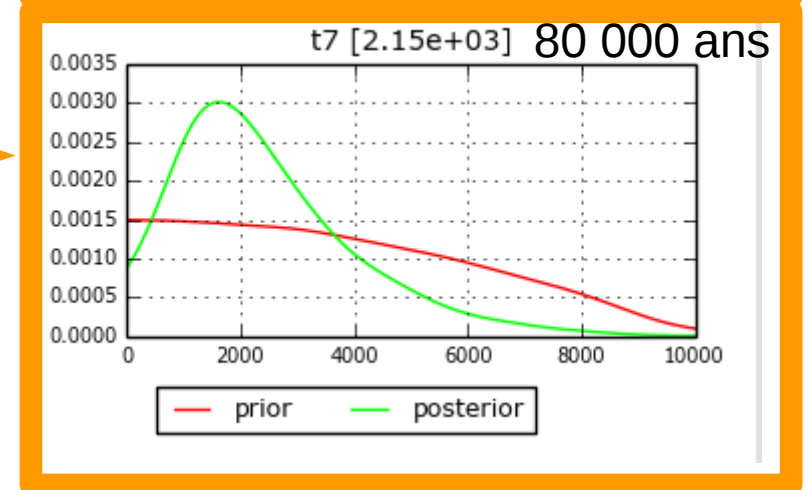
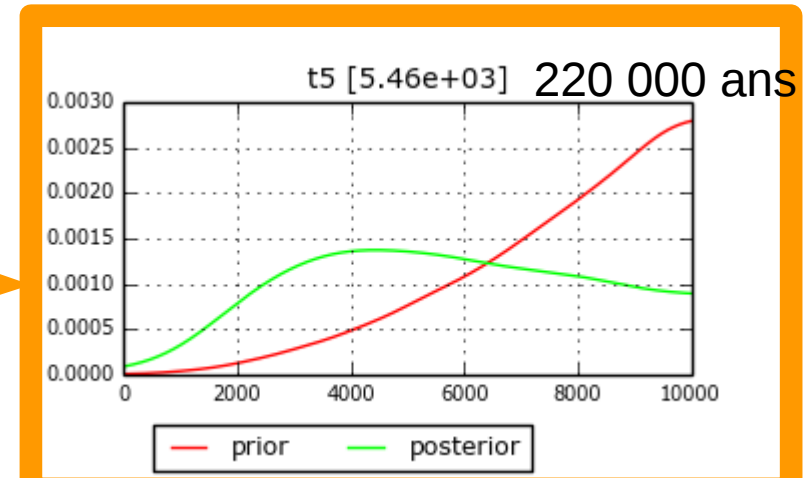
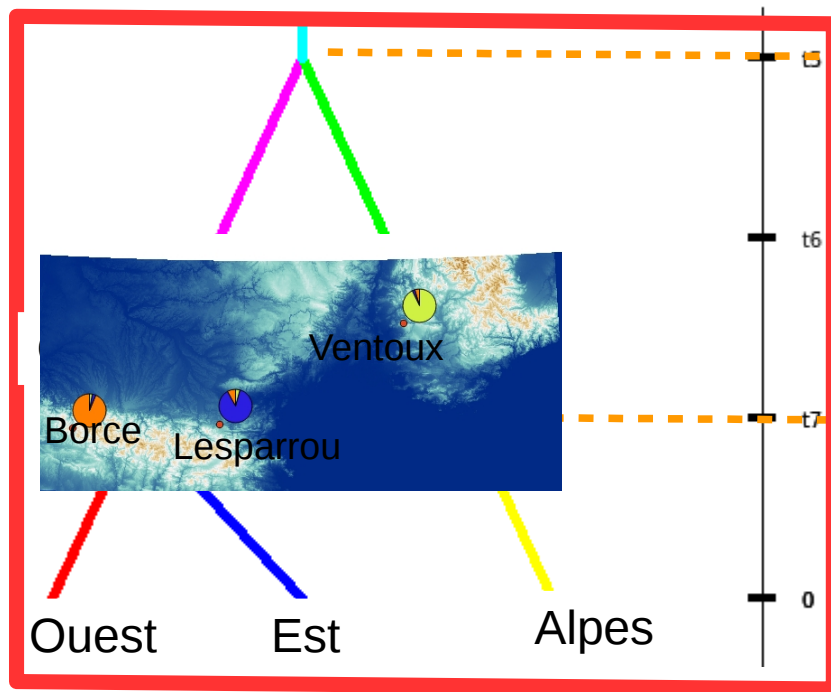


# Quel scénario pour les Pyrénées?

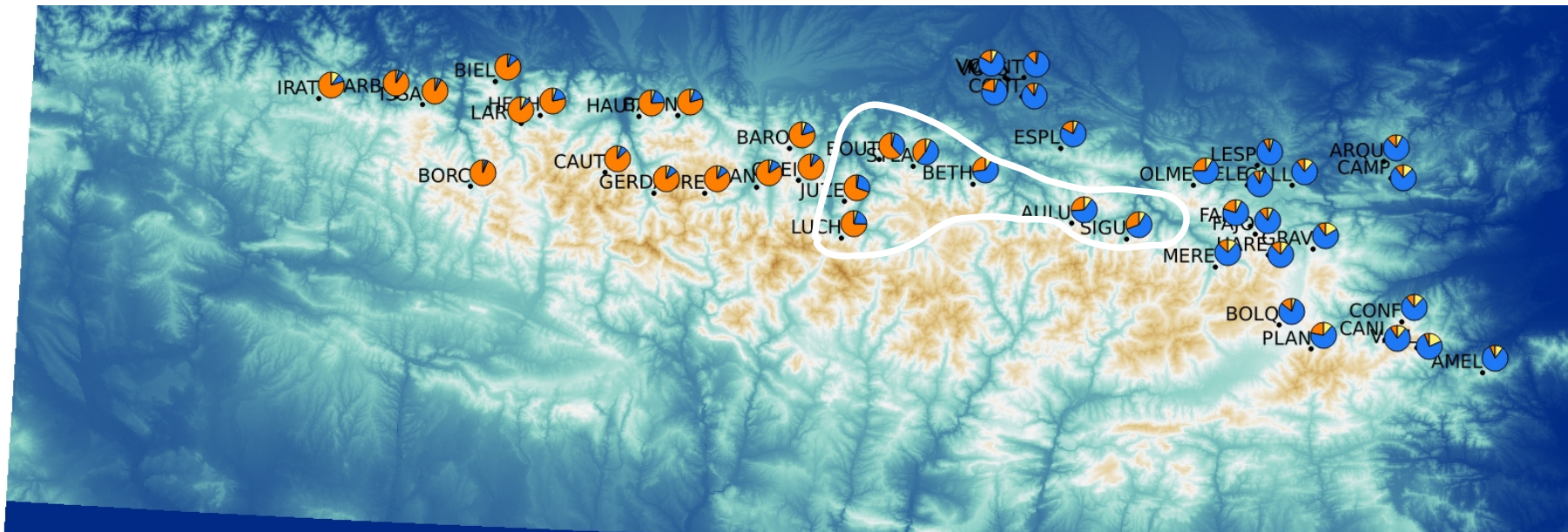




# Divergence des lignées durant la dernière glaciation

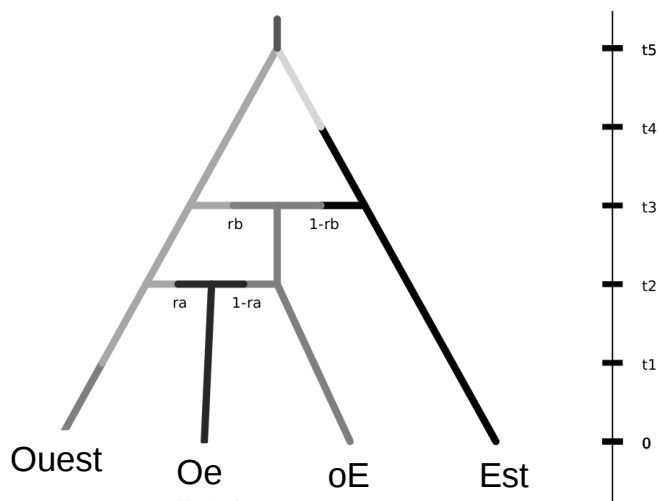


# Quel scénario pour la zone d'admixture?

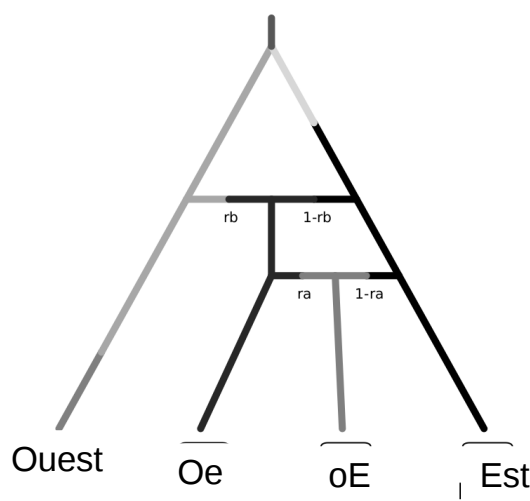


# 3 scénarios d'admixture testés

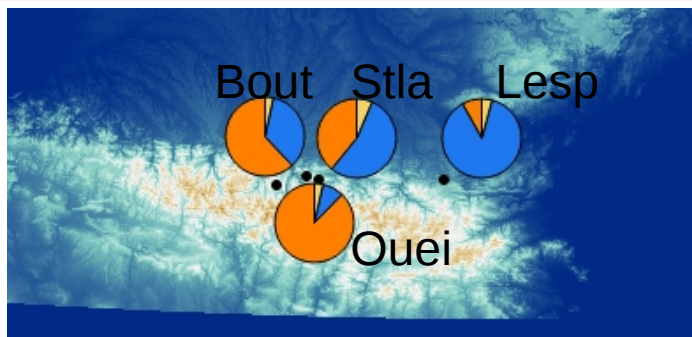
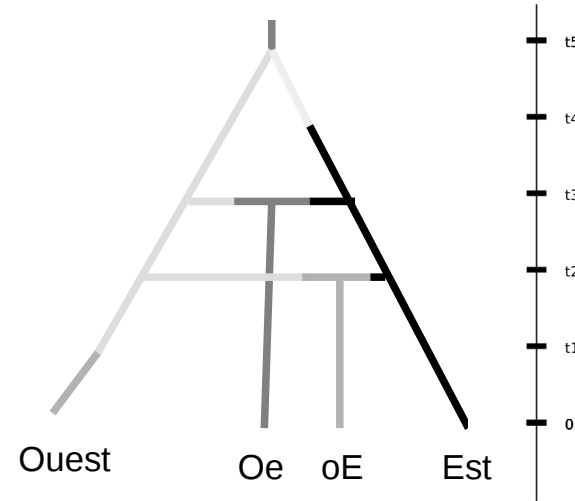
Scenario 1



Scenario 2



Scenario 3



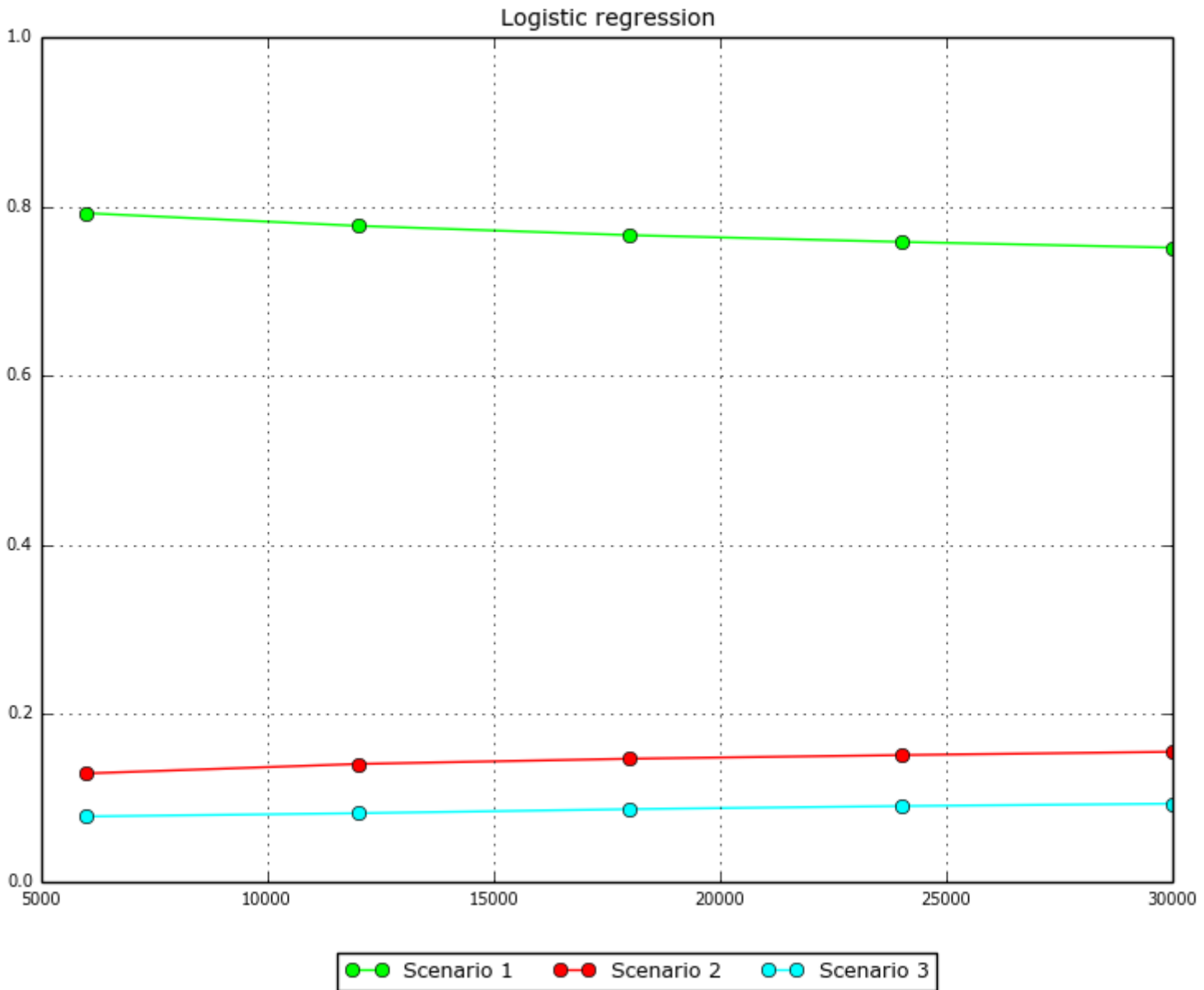
Proportion d' individus appartenant à la lignée 1 (ouest):

Bourg d'Oueil = 0.88

Boutx = 0.60

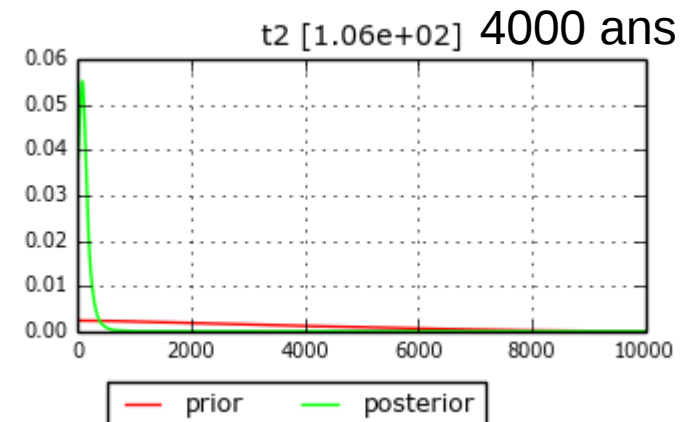
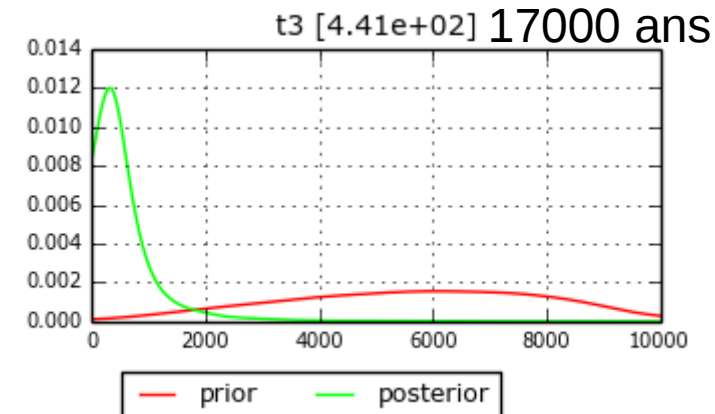
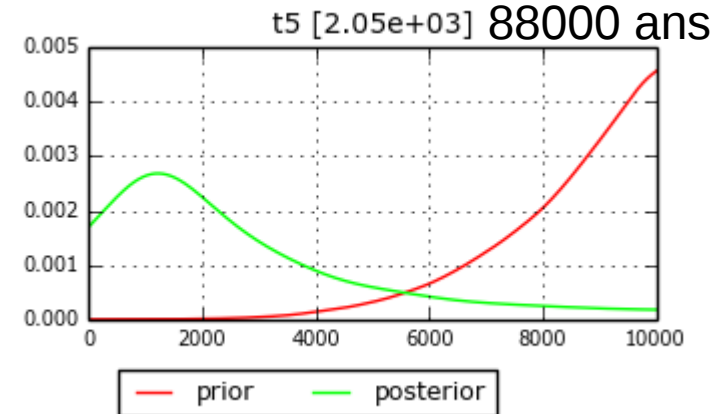
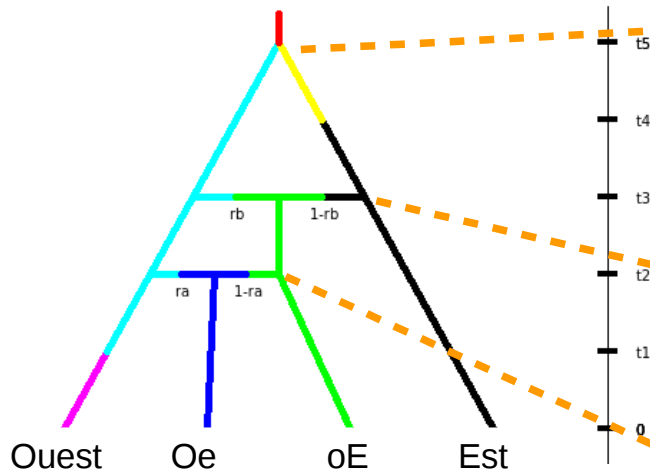
St Lary = 0.40

Lesparrou = 0.18

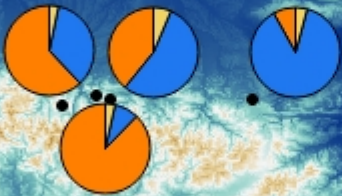


# Contacts secondaires en fin de glaciation et durant l'holocène

Scenario 1

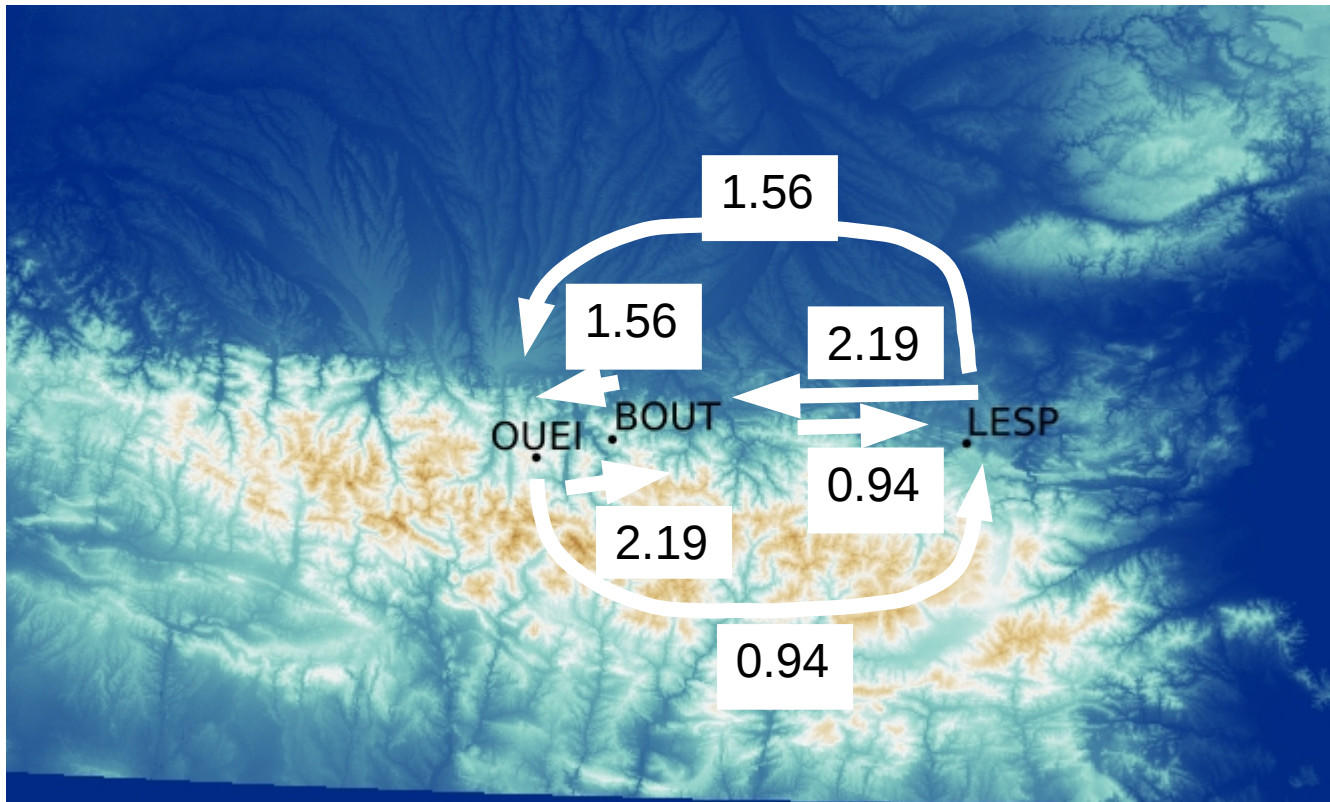


Bout STLA LESP



Ouei

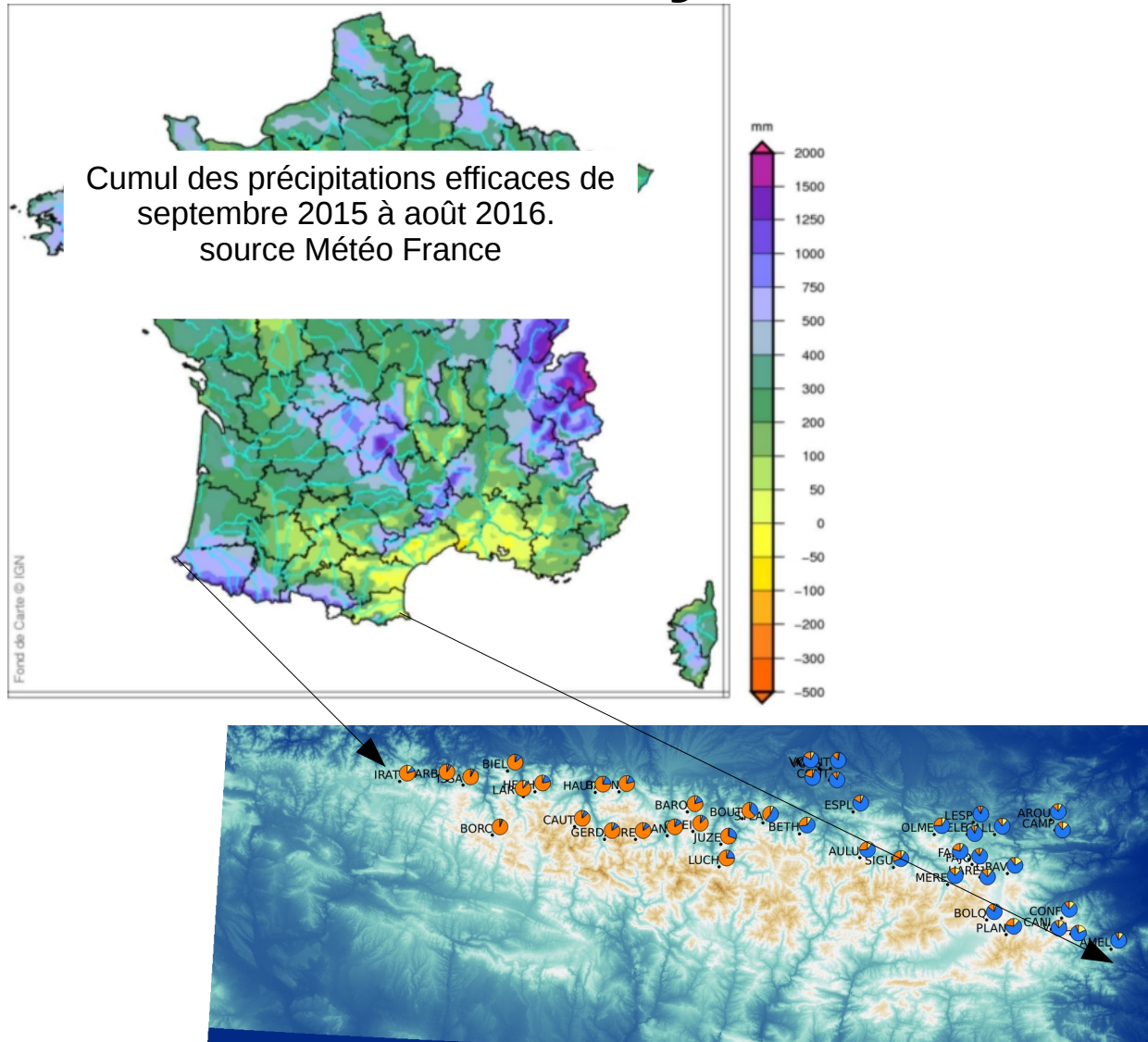
# Un flux de gènes directionnel préférentiel Ouest ← ——— Est



$M=4Nem$  : nombre de migrants par génération

Migrate Beerli 2009 Population Genetics for Animal Conservation, volume 17 of Conservation Biology

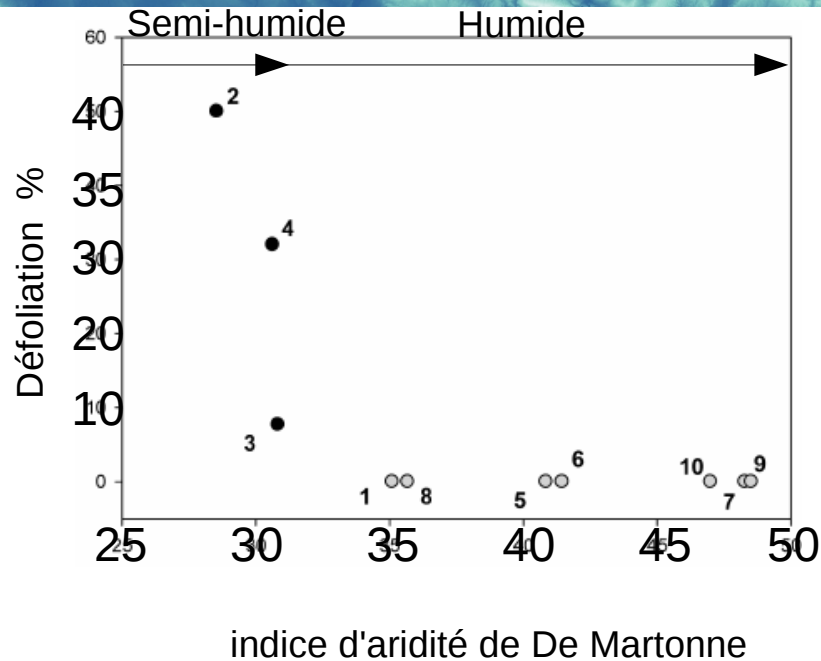
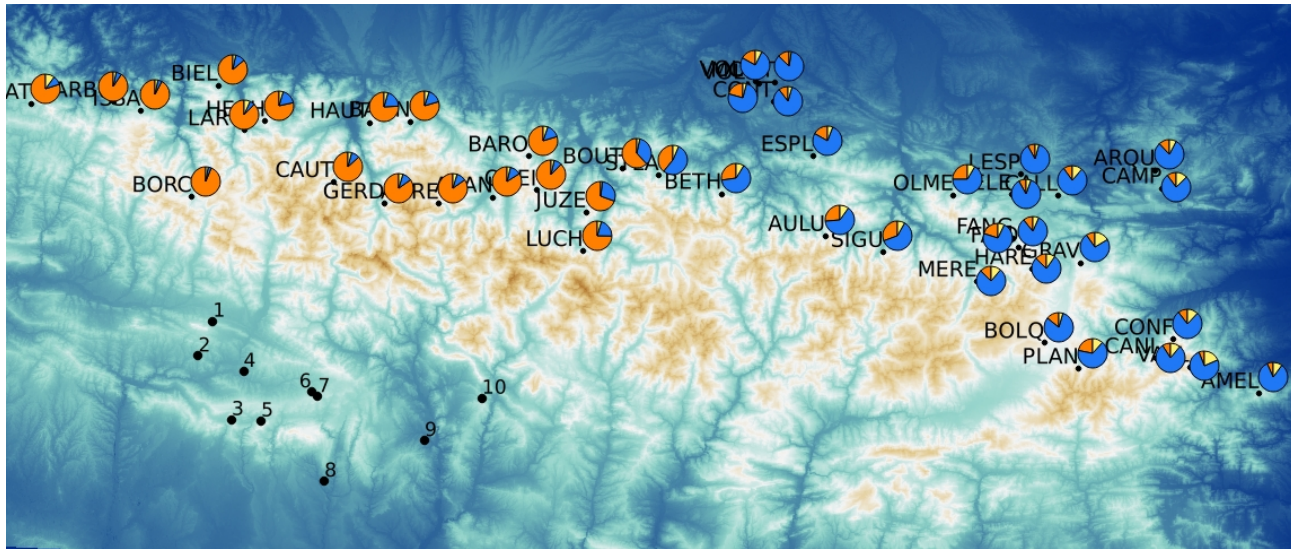
# Un gradient climatique dans les Pyrénées



Existe t-il des différences de performances adaptatives entre les deux lignées génétiques ?

Bosela et al. 2016 Journal of Ecology, 104, 716–724

# Des signes de dépérissement en Espagne dans les zones moins humides de l'Aragon



Sancho et al., 2014. Pirineos. Revista de Ecología de Montaña. Vol 169

# Mécanismes induisant la mort des arbres



- Facteurs **pré-disposants** (sols superficiels)
- Facteurs **déclencheurs** (sécheresse entre 2003 et 2006)

Sapin pectiné : Sensible au stress hydrique estival

Stratégie d'évitement : ferme rapidement ses stomates :  
marge de sécurité importante pour éviter l'embolie

Mécanismes écophysologiques ? :

Privation de carbone >>> Cavitation hydraulique

Défoliation : oui si >40%

Cailleret, thèse 2011, H. Davi 2016 HDR, Cailleret et al., 2014 Ann For Sci, 71.

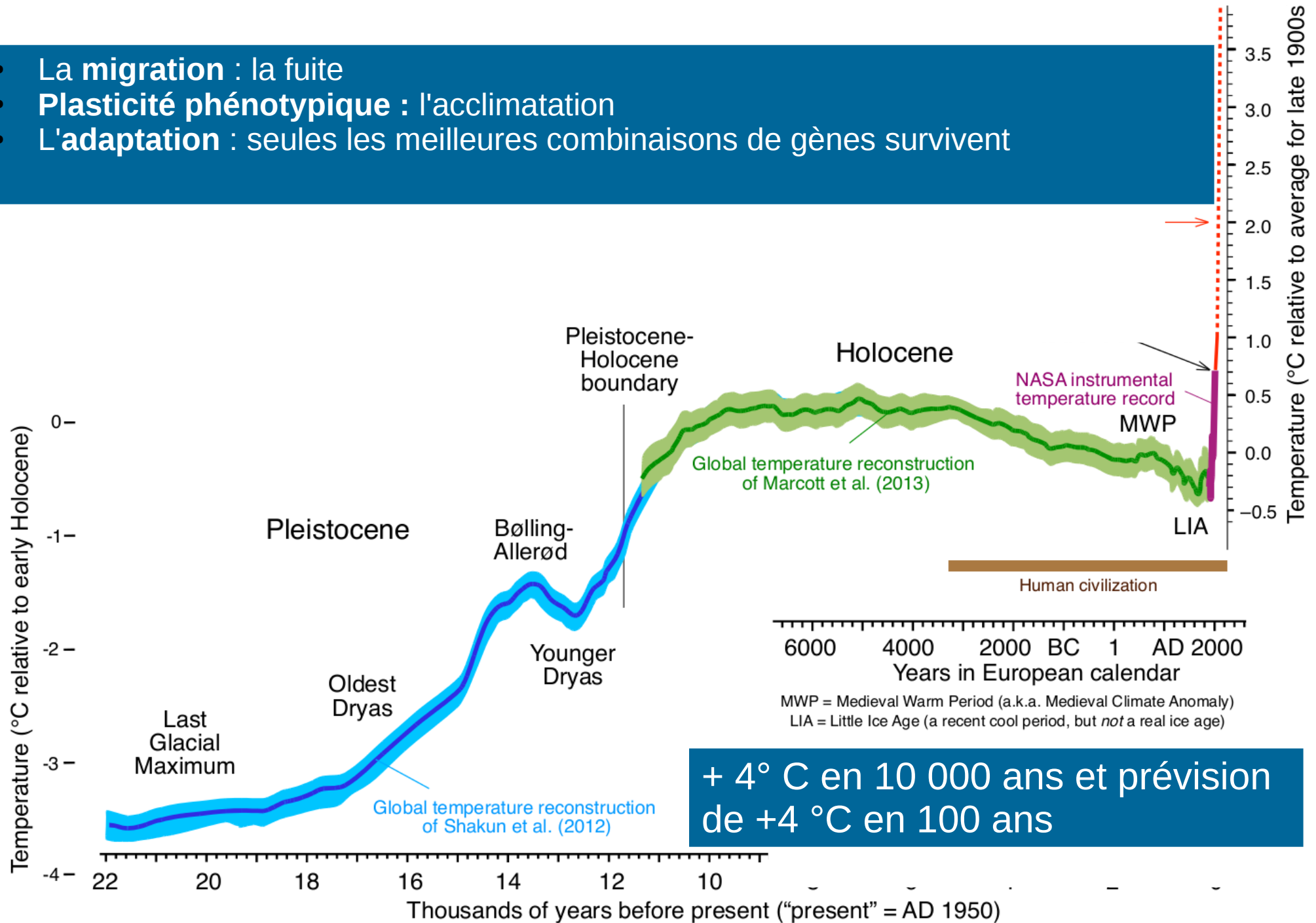
- **Facteurs aggravants** ( scolytes, gui )

Durand-Gillmann et al., Ann For Sci. 2012



# Trois stratégies complémentaires pour répondre aux variations de l'environnement

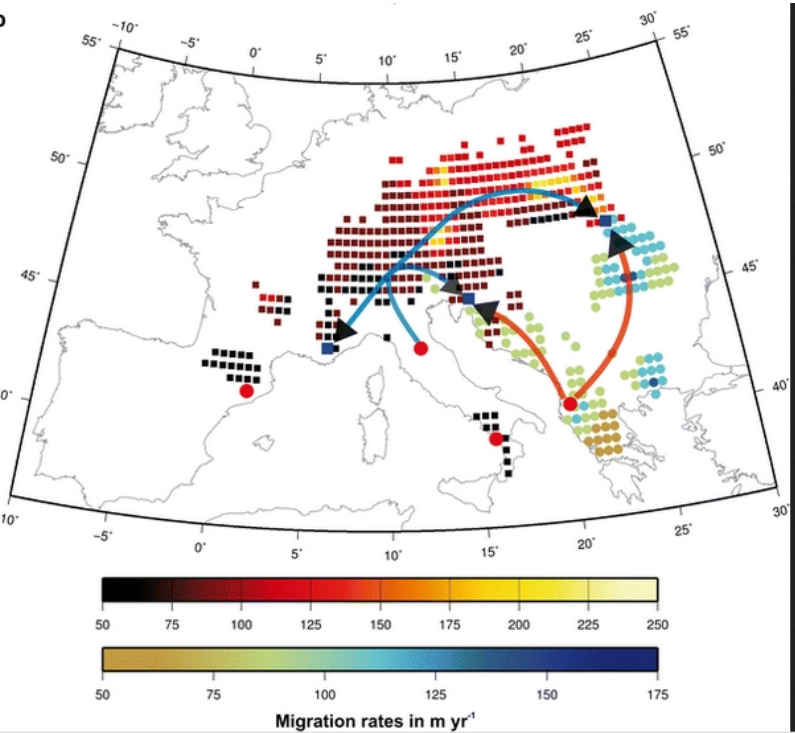
- La migration : la fuite
- Plasticité phénotypique : l'acclimatation
- L'adaptation : seules les meilleures combinaisons de gènes survivent



# LA MIGRATION



# Des estimations TRÈS différentes



## Aire de distribution :

Recolonisation durant l'holocène : **250 m /an**

- Cheddadi et al., Veget Hist Archaeobot (2014) 23:113–122

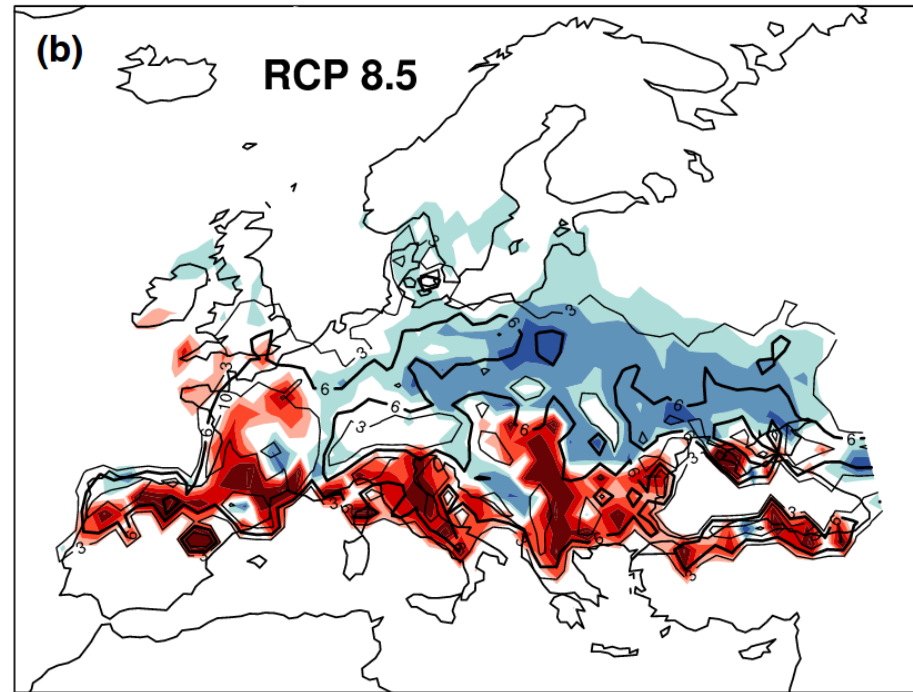
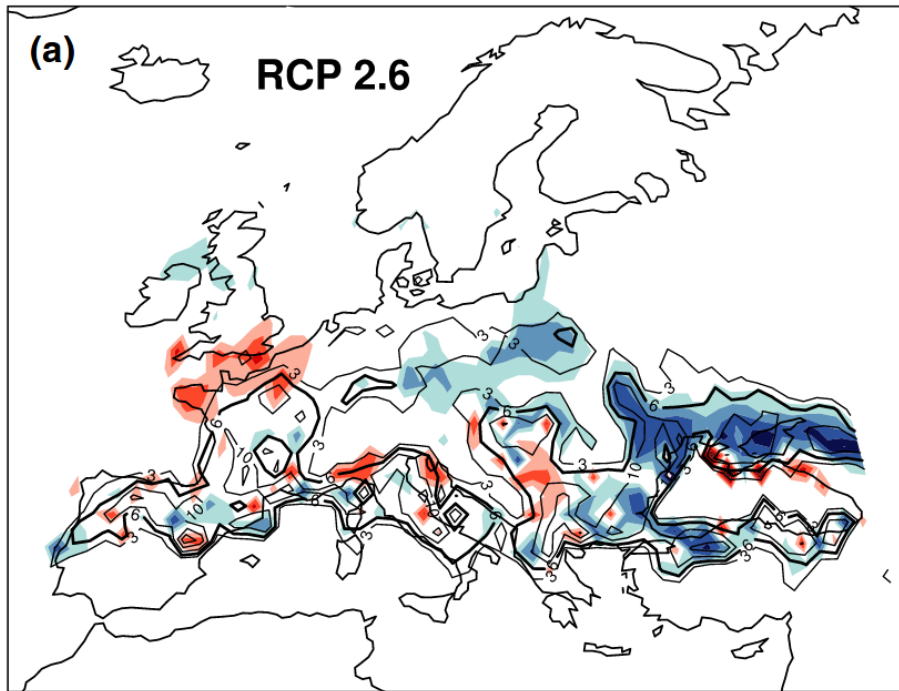
## Massif forestier :

Dispersion graines : **15 à 20 m /an**

Ann et al., 2012. Ann Forest Science  
Restoux, 2009. Thèse



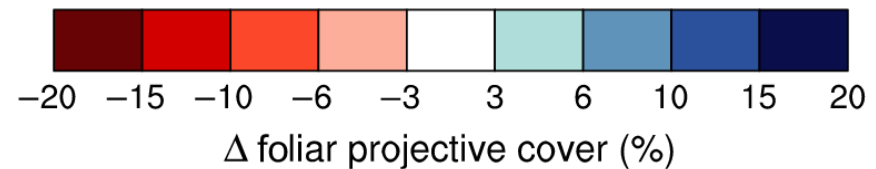
# Prévision d'un dépérissement dans les marges sud de la distribution



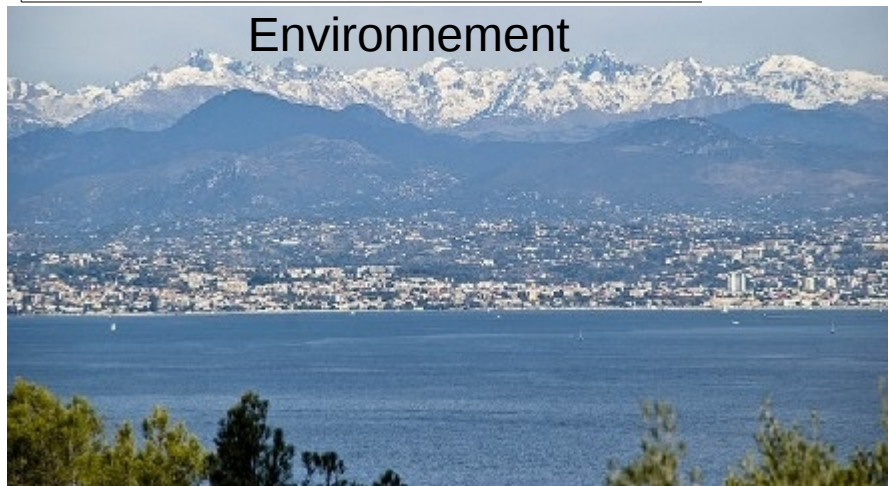
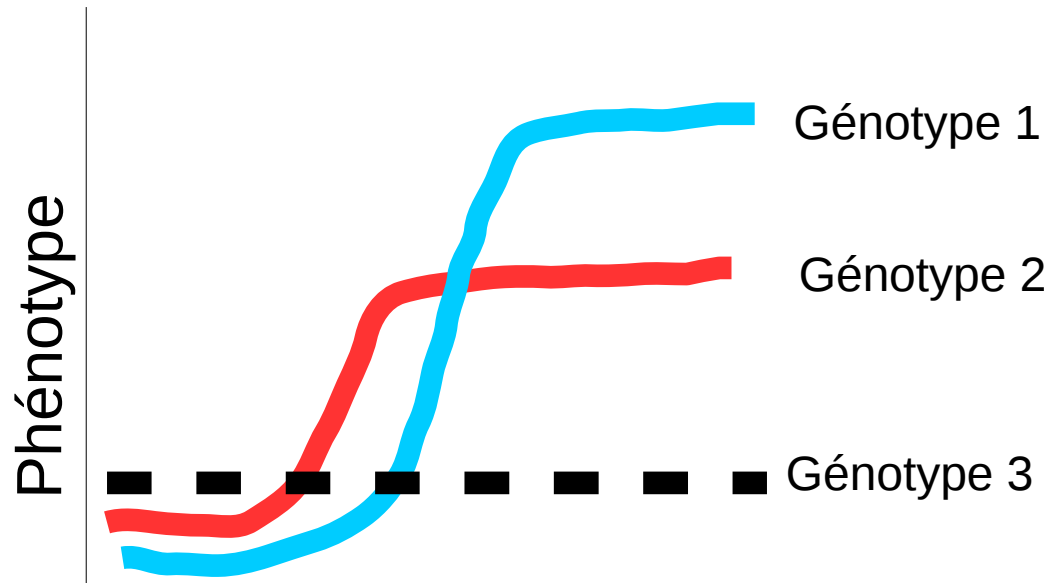
Global Change Biology (2016) 22, 727–740, doi: 10.1111/gcb.13075

Past and future evolution of *Abies alba* forests in Europe – comparison of a dynamic vegetation model with palaeo data and observations

MELANIE RUOSCH<sup>1,2</sup>, RENATO SPAHNI<sup>1,2</sup>, FORTUNAT JOOS<sup>1,2</sup>, PAUL D. HENNE<sup>1,3</sup>, WILLEM O. VAN DER KNAAP<sup>1,3</sup> and WILLY TINNER<sup>1,3</sup>



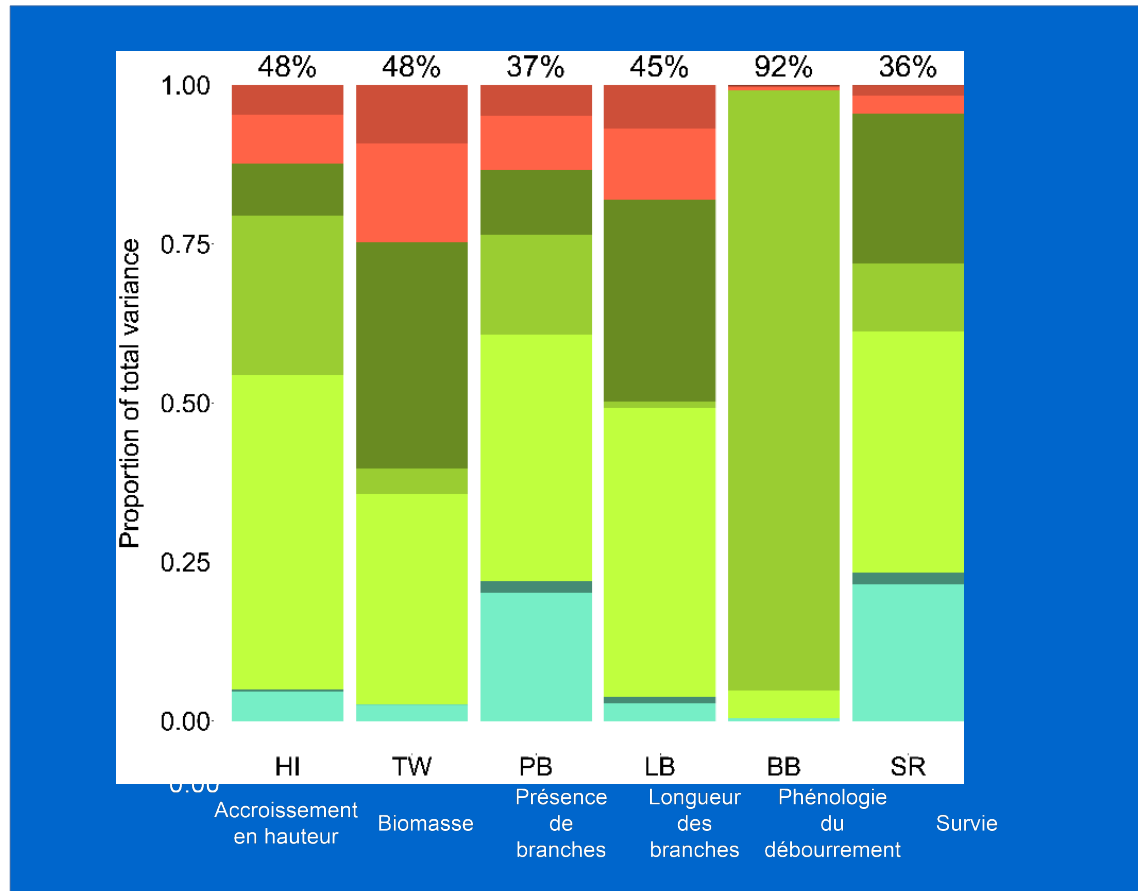
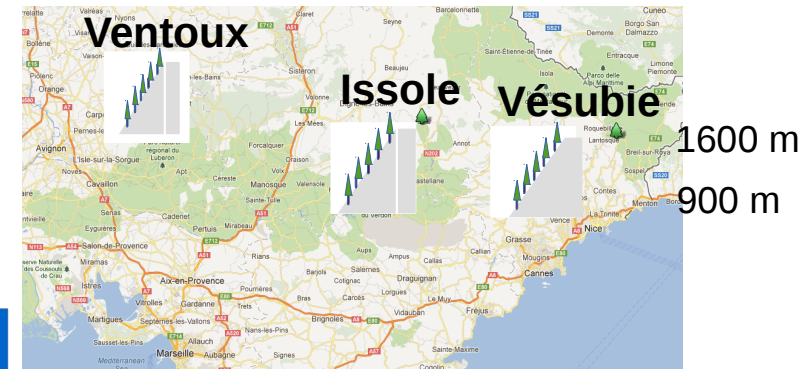
# Plasticité phénotypique



Est ce que le phénotype d'un génotype varie en fonction du milieu ?

# Plasticité phénotypique forte

Un dispositif complexe (transplantations réciproques) qui intègre : Comparaisons de provenances (effet E) + jardins communs ( effet G) + (GxE)



## 18 000 plantules

- Massif d'origine 3
- Provenance (=altitude d'origine) 3
- Famille 57
- Massif de plantation 3
- Jardin commun (=altitude de plantation) 3
- Micro-environnement (Bloc) 5
- Provenance x Jardin commun
- Autres interactions

Latreille, 2017 Thèse

# Variation Génétique



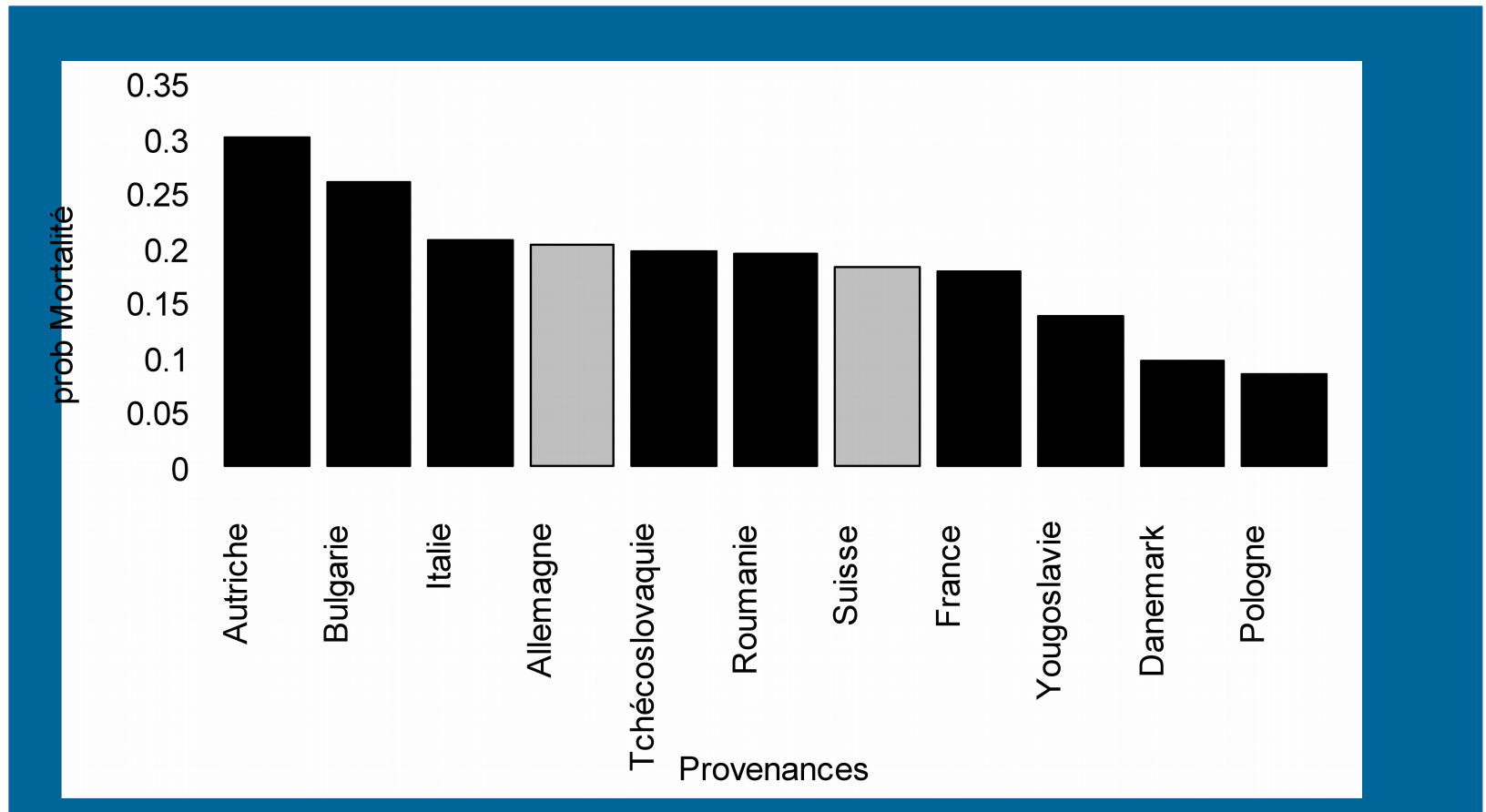
Le jardin commun : Un environnement dans lequel on compare des génotypes

# A l'échelle de l'Europe

Jardin commun : Hérault : Sagnasol forêt de Grandsagne, 900 m

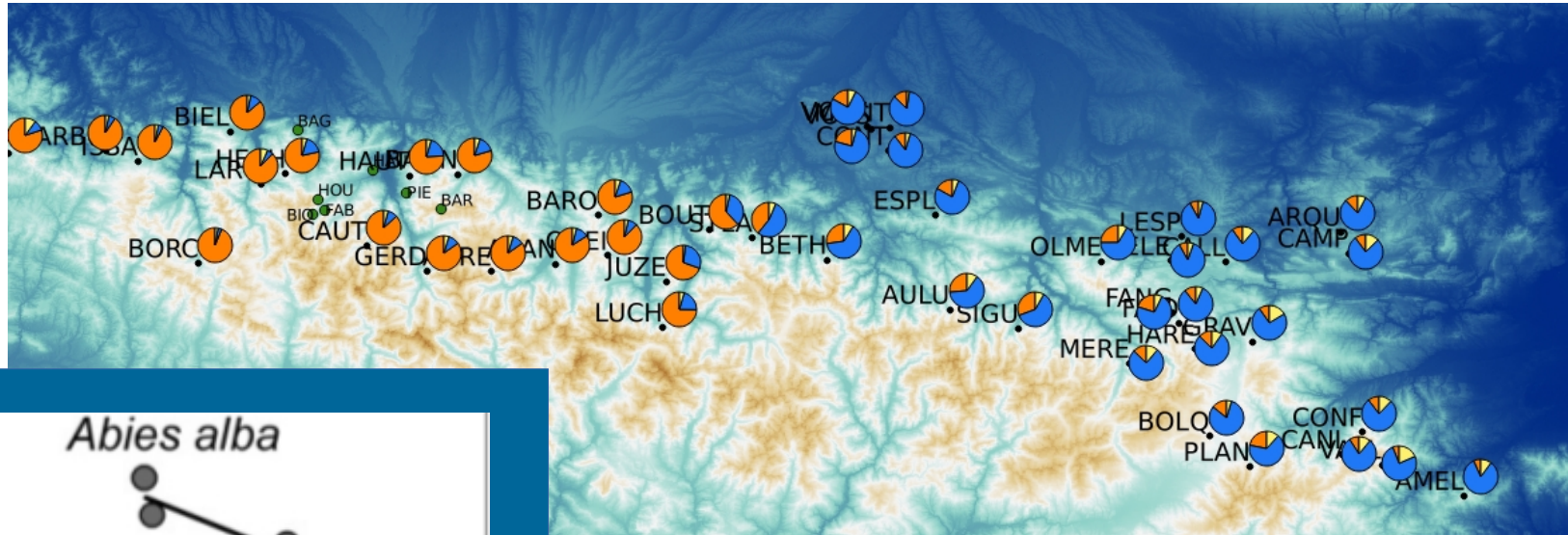
31 provenances

Plantation en 1970-1971



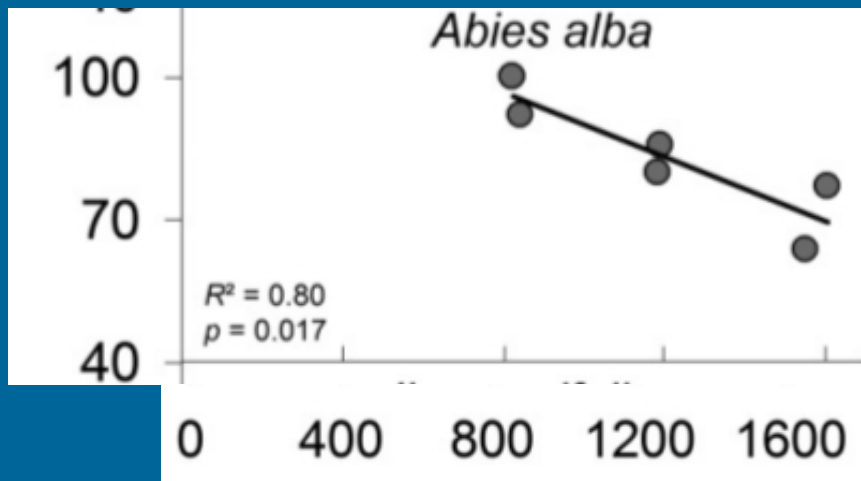
# A l'échelle du massif dans les Pyrénées

1 jardin commun : niveau de la mer , proche Arcachon,  
T moy =13.2, 8°C précipitation moy = 836 mm  
Mesure à 3 ans



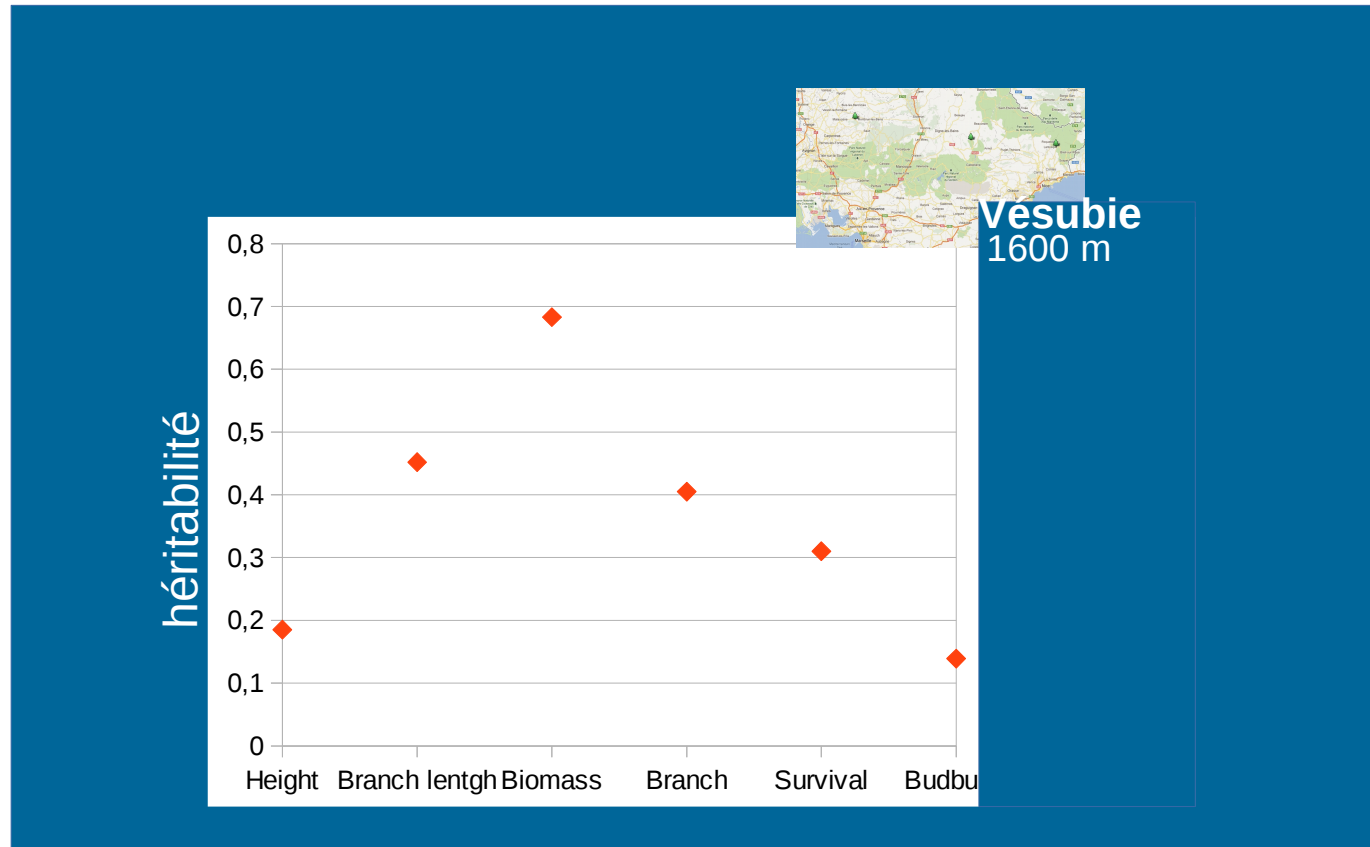
Mortalité plus importante pour les provenances de hautes altitudes

Survie



Origine : Altitude

# Quantification de la variance d'origine génétique



Latreille thèse , 2017

# Adaptation génétique

La variation du trait phénotypique vers son optimum adaptatif va dépendre en partie de :

Variation génétique ✓

Nombre de gènes ?

Intensité de la sélection ?

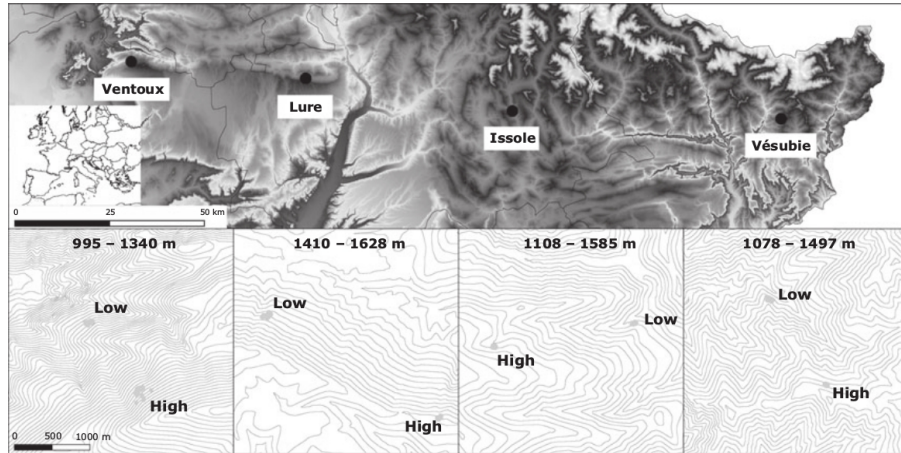
Flux de gènes ✓

Taille de populations (dérive génétique) ✓

Migration ✓

Pour une revue : Considering evolutionary processes in adaptive forestry. Lefèvre et al., 2014 Ann Forest Science 71

# Des gènes soumis à la sélection divergente à l'échelle du **paysage**



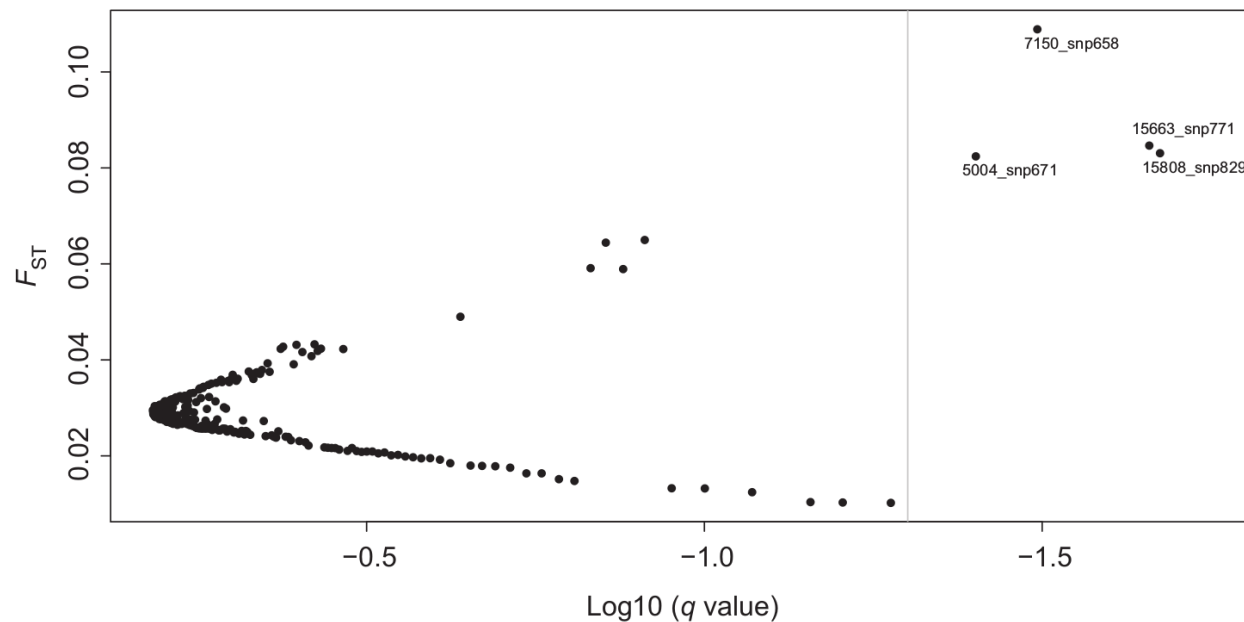
Roschanski et al., 2016 Mol Ecol 25

Approche gènes candidats  
267 SNPs (175 gènes)

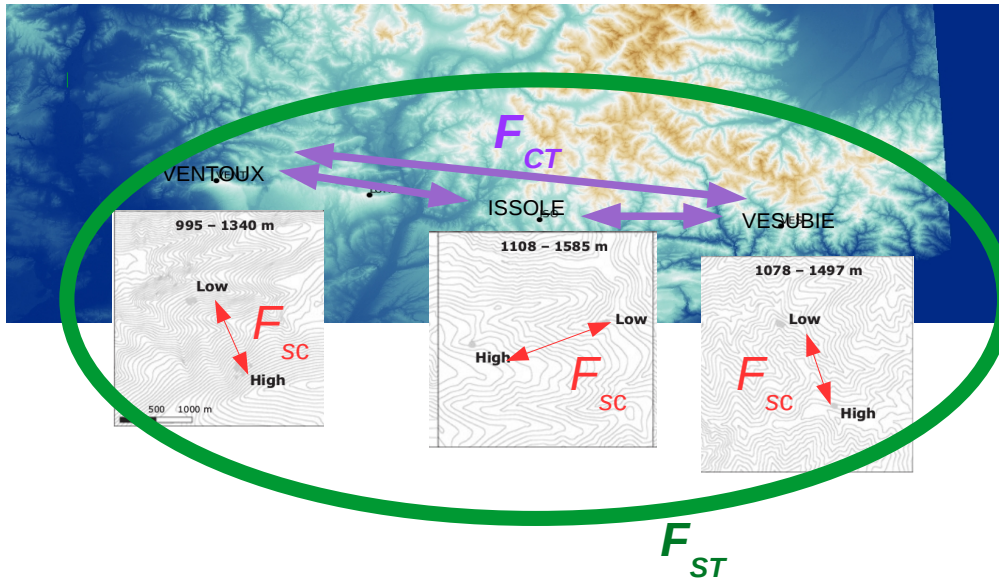


Échelle du paysage (Alpes du sud) :

16 SNPs montrent un patron de sélection divergente



# Des gènes soumis à la sélection divergente à l'échelle **locale**



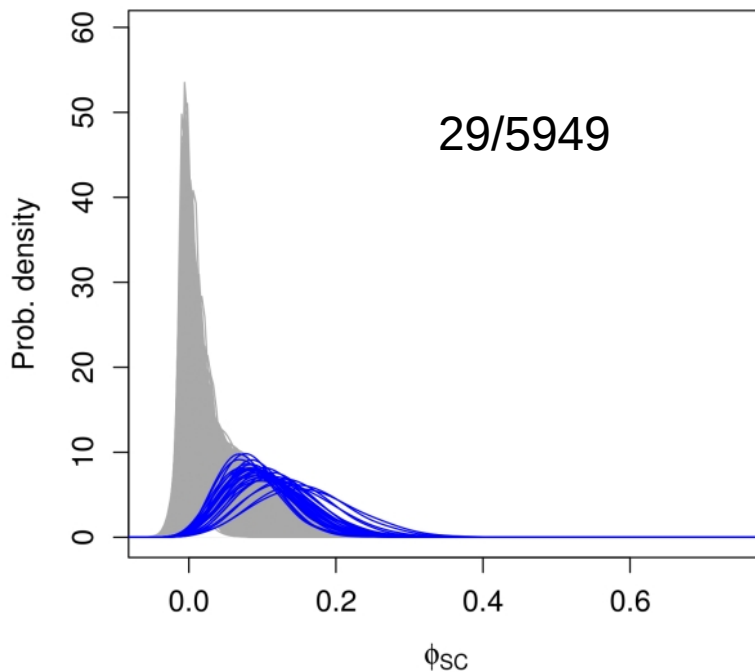
Projet FLAG, I.SCOTTI

10 000 sondes (universelles conifères) pour cibler le séquençage des exons (régions transcrites du génome)

5949 SNP analysés

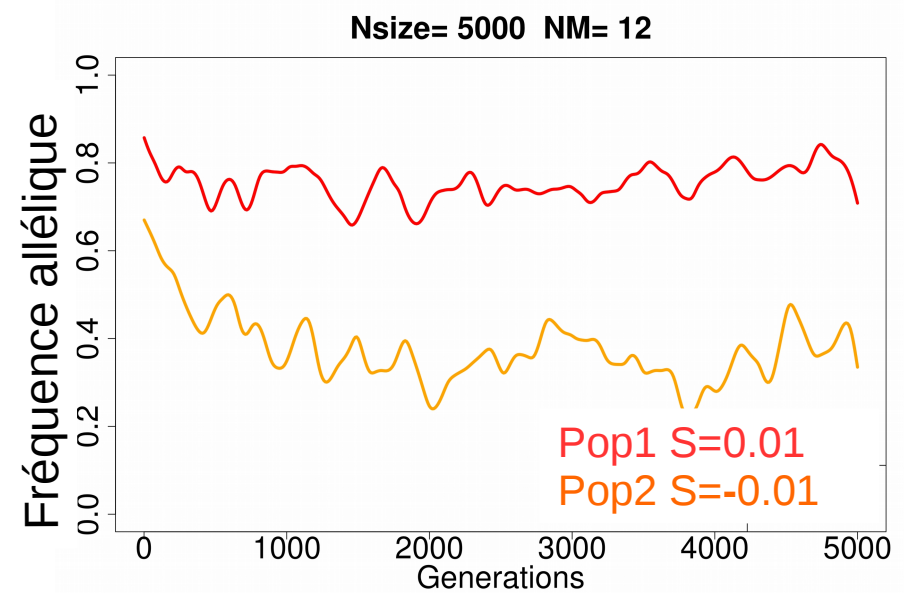
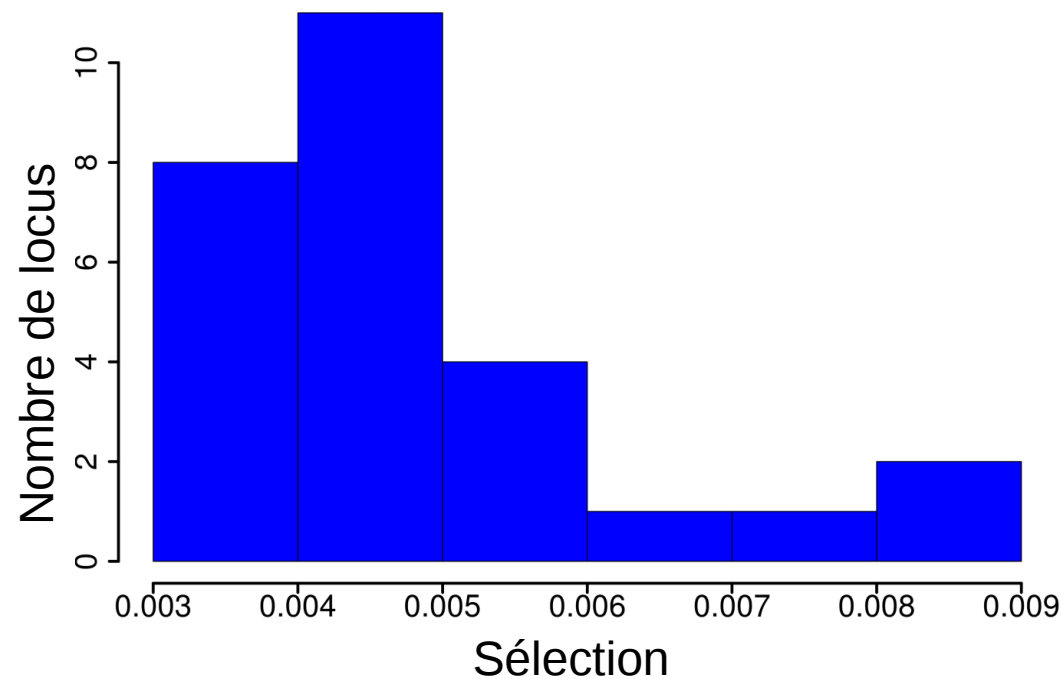
Une approche hiérarchique pour identifier **seulement** les locus outliers à l'adaptation **locale**  
Bamova (Gompert & Burkle (2011) *Genetics* **187**: 903)

29 SNP outliers



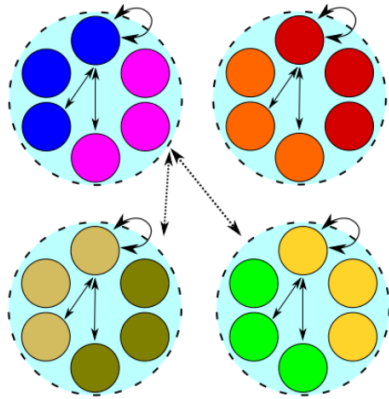
# Une sélection qui n'atteint pas la fixation des allèles

Distribution du mode de 29 distributions postérieures de la sélection



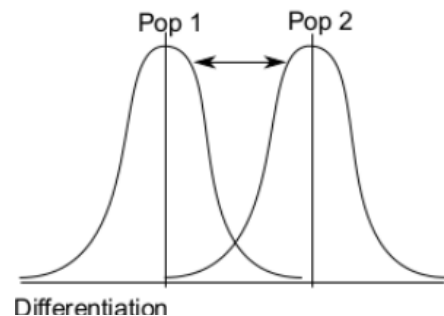
# Prédire les capacités à la sélection future : modèle théorique de demo-génétique

Plateforme Nemo



► Modèle en îles hiérarchisé  
4 pops \* 2 environnements

- Différents jeux de paramètres
- Patron d'hétérogénéité inter & intra populations
  - Nbe de QTL (10, 50)
  - Modèle de mutation (diallelique, cotinu)
  - Régime de reproduction
  - Fécondité
  - Intensités de sélection

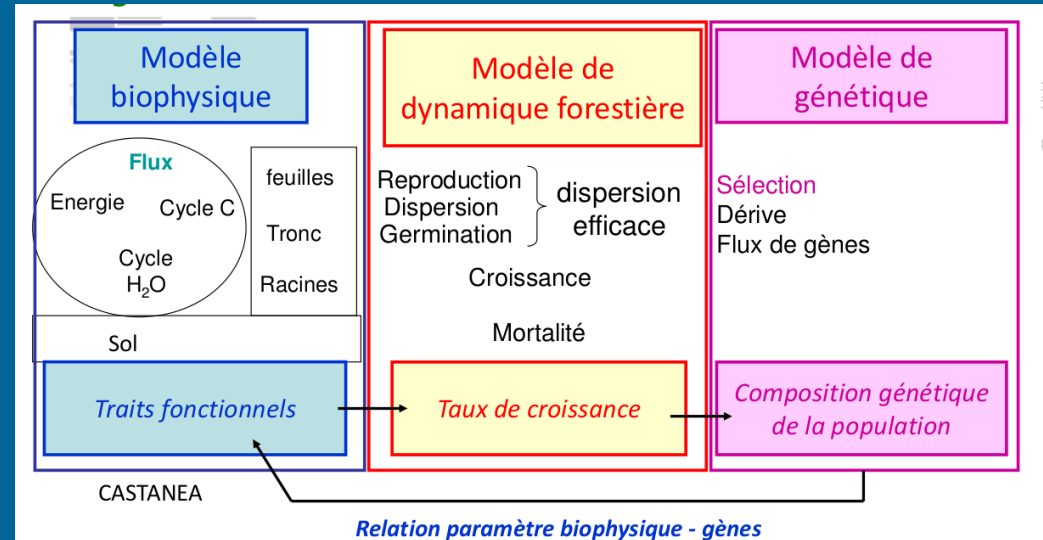


- ♣ L'adaptation locale se met en place pour des intensités de sélection intermédiaires
- ♣ Si QTL ↑ alors la différenciation génétique ↑

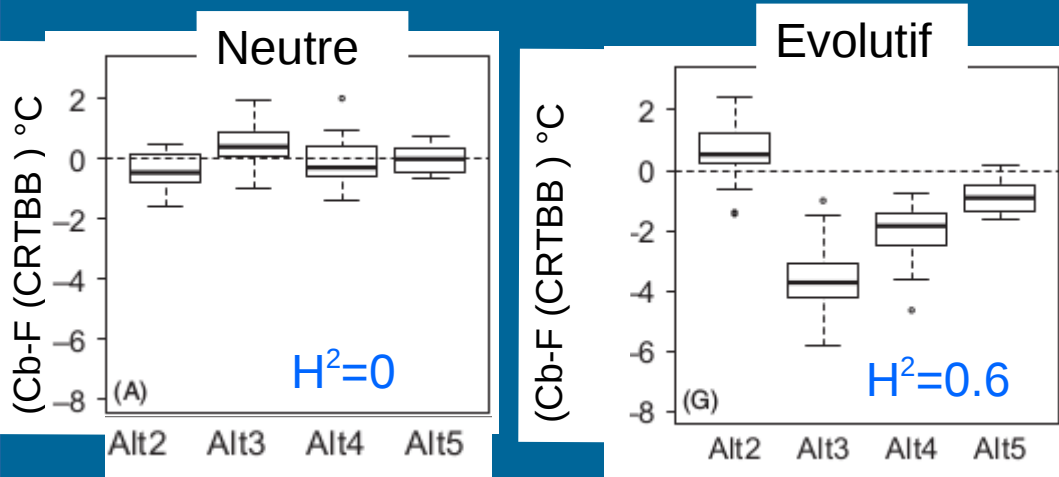
Cubry et al., en révision

# Prédire les capacités à la sélection future : modèle **Physio-Demo-Génétique**

Le modèle **PDG** :



Écart entre G0 et G5 de la somme des températures nécessaires au débourrement en réponse à des variations climatiques (chez le hêtre) :



En 5 générations :

- Réponse plastique ( $V_p$ )
- Réponse évolutive ( $V_a$ )
- Différenciation génétique qui s'installe ( $F_{st}$ )

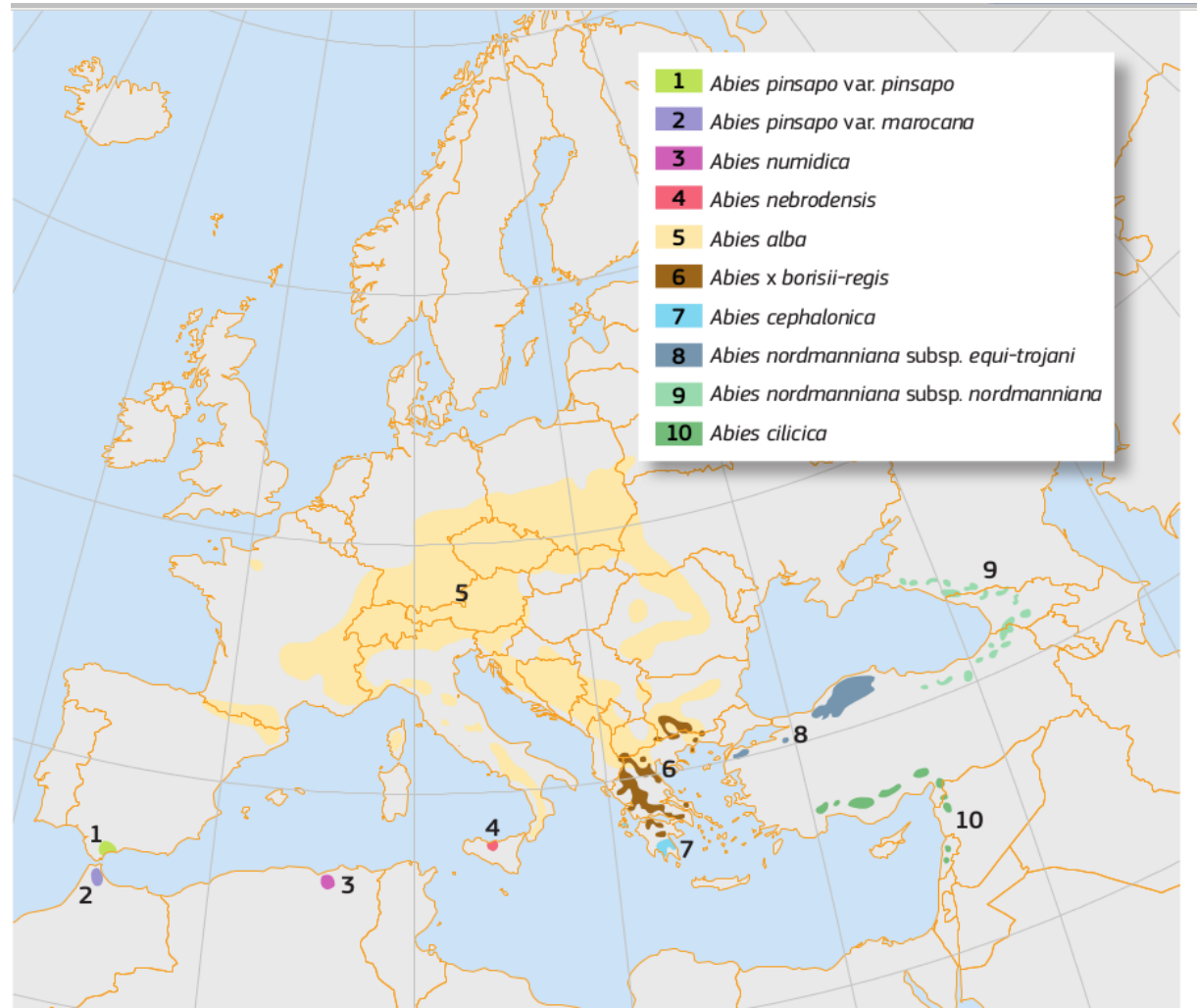
Importance de la mortalité dans le processus adaptatif

Rôle mineur du différentiel de reproduction

# Gestion forestière du futur : vers des forêts mieux adaptées à la sécheresse

## Espèces proches méditerranéennes

G. Caudullo, W. Tinner. European Atlas of Forest Tree Species | Tree species

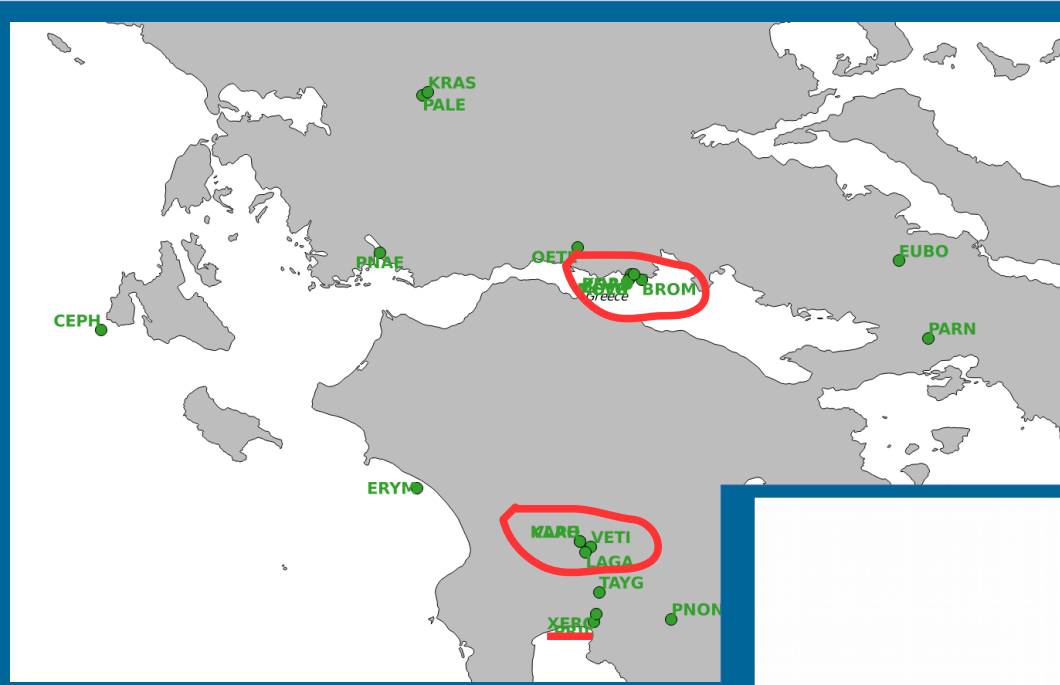


Map 1: Plot distribution and simplified chorology map.

Chorology of the native spatial range for the Circum-Mediterranean firs. Derived after Alizoti *et al.* and Jalas and Suominen<sup>17, 31</sup>.

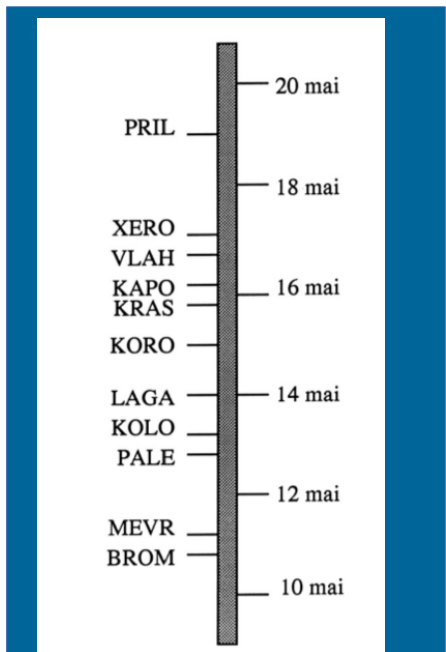
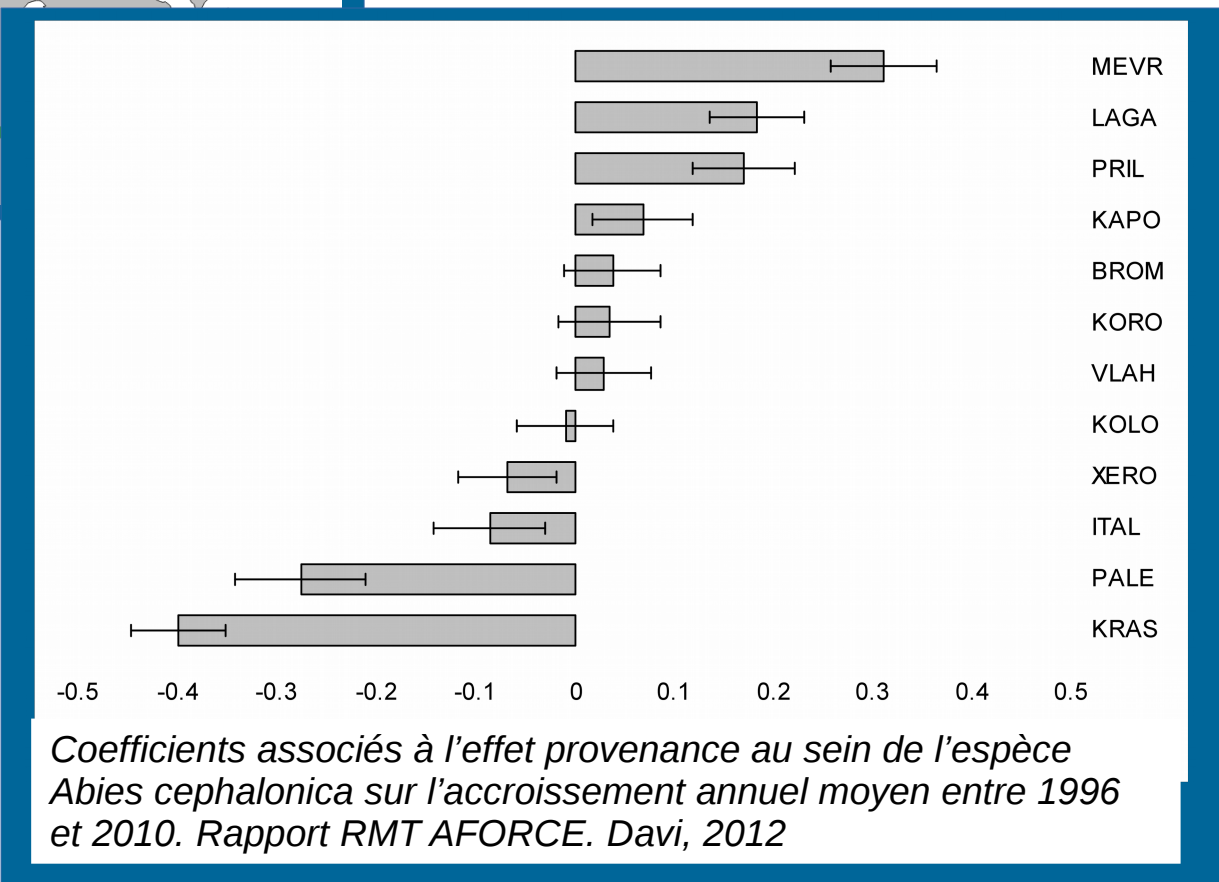
# Sapin de céphalonie : Un réseau de comparaison de provenances





Des performances de croissance différentes en fonction des provenances :  
 The BEST : **Mainalon et Parnosos**

Mais attention aux provenances précoces :

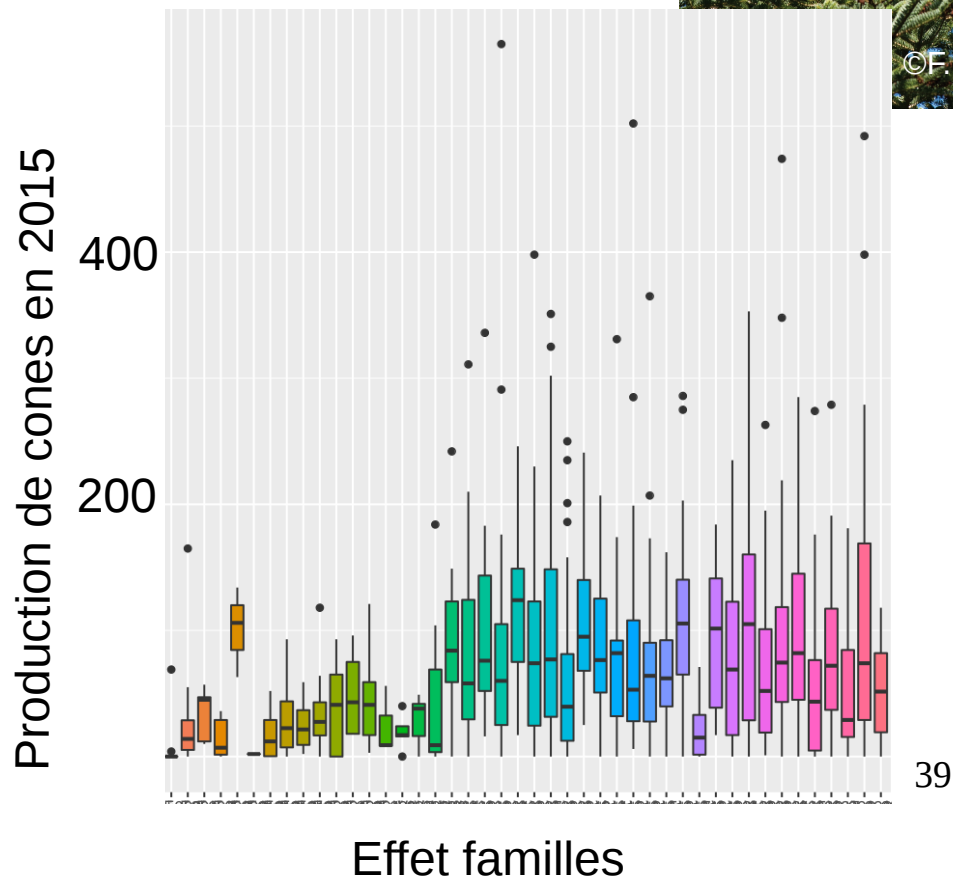
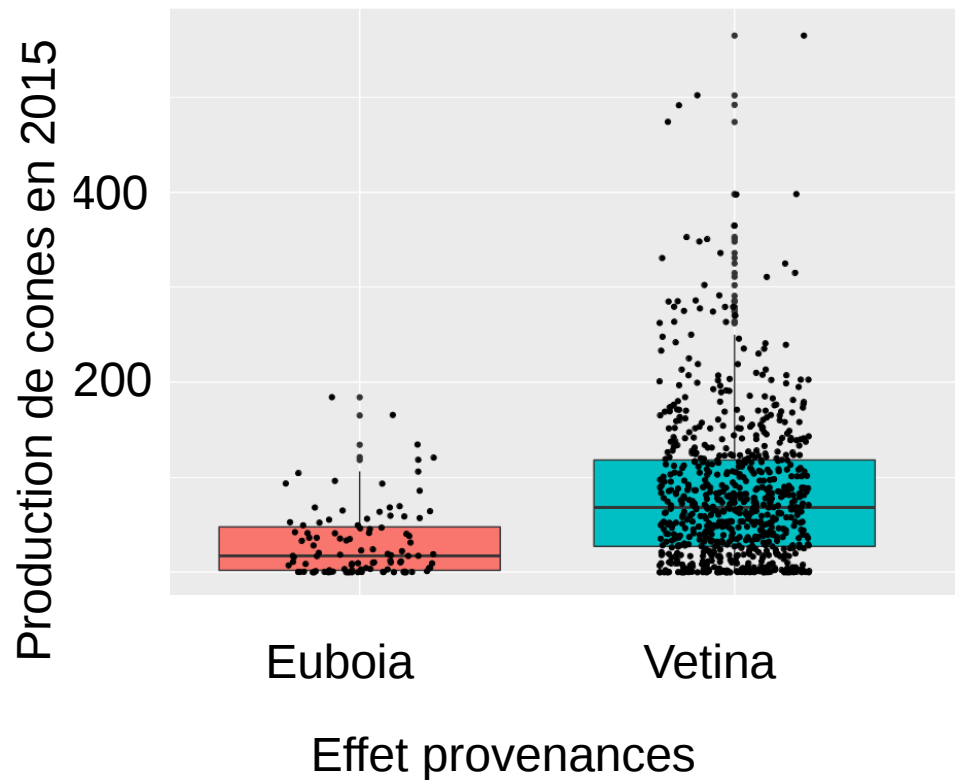


Variabilité du débournement  
 Ducrey, 1998

Ducci et al., 1998  
 Fady & Vauthier, 1998



# Un verger à graines de 35 ans très productif



# Une prise de conscience générale

Vendredi 7 avril 2017

VOIRES

## Forêt : introduction d'essences méditerranéennes

Le réchauffement climatique impose aux gestionnaires forestiers d'adapter les peuplements aux conditions plus rigoureuses de la météo.

Certains essences comme le sapin pectiné risquent de souffrir du manque d'eau et des pics de chaleur annoncés. Les futurs reboisements doivent donc prendre en compte ces paramètres.

Fort de la réussite de ses plantations de sapins du Caucase (Nordman) des années 70, la commune de Voires a accepté la proposition de l'ONF de tester de nouvelles plantations d'essences méditerranéennes. Sur 1,5 ha, il sera planté 5 placeaux de sapins méditerranéens (2500 plants), tous proposés en godet, deux de provenance de Turquie (sapins de Borrmüller), une de Grèce (sapins de Céphalonie), et deux pyrénéennes (sapins de l'Aude et de l'Hérault). Le taux de reprise, la croissance, la résistance aux gelées et à la séche-



Dans la grande parcelle coupée à blanc, le technicien forestier (à droite), en compagnie du maire Jean-Pierre Peugeot et du responsable de la plantation, avec des plants de Grèce dans les mains.

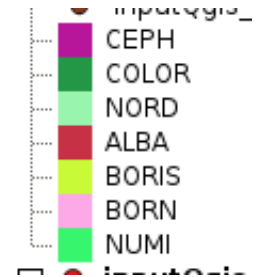
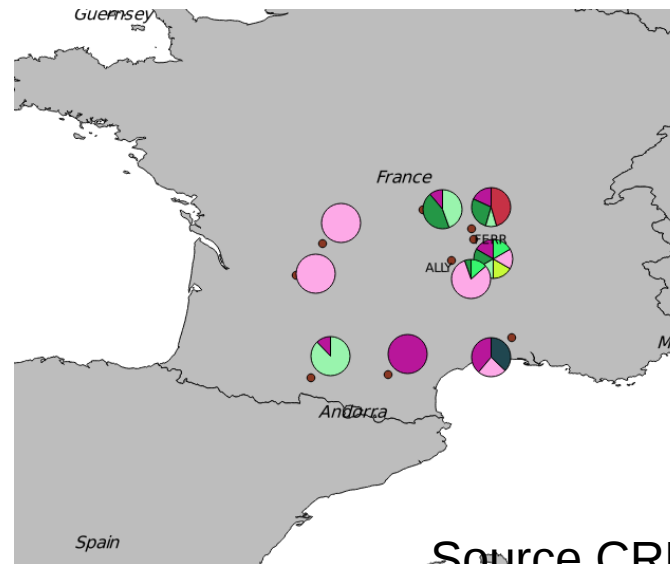
resse seront suivis par l'ONF sur le moyen terme.

Pour Pascal Genestier, le technicien forestier, les résultats devraient être encourageants, car ces plants sont les « cousins proches de nos sapins jurassiens ». Ils ont

été fournis par la pépinière expérimentale de l'ONF de Peyrat-le-Château ; la mise en place est entièrement financée par la commune de Voires, celle-ci s'étant vu refuser une subvention par le ministère de l'Environnement.



## Des plantations aussi chez les propriétaires privés



Source CRPF

# Contributions aux travaux en cours

## Démographie du Sapin dans les Pyrénées

B. Fady  
T. Boivin  
B. Musch  
M. Suez  
A. Roig  
M. Lingrand  
Météo France

## Ressources génétiques / Sapins méditerranéens

B. Fady  
F. Rei  
D. Vauthier  
H. Davi  
Plantacomp

## Adaptation locale : projet FLAG

### The TEAM

- Ivan SCOTTI (1)
- Sylvie ODDOU-MURATORIO (1)
- Bruno FADY (1)
- Anne ROIG (1)
- François LEFEVRE (1)
- Caroline SCOTTI-SAINTAGNE (1)
- Philippe CUBRY (1) → (7)
- Hadrien LALAGÜE (6)
- Rose RUIZ DANIELS (2)
- Delphine GRIVET (2)
- Santiago GONZALEZ-MARTINEZ (2) → (5)
- Isabelle LESUR (5)
- Christophe PLOMION (5)
- Giovanni G. VENDRAMIN (3)
- Francesca BAGNOLI (3)



- 1 - INRA – URFM
- 2 - INIA – CIFOR
- 3 - CNR – IBBR
- 4 - INRA – AGPF
- 5 - INRA – BIOGECO
- 6 - INRA – ECOFOG
- (7 – IRD)



**MERCI POUR VOTRE ATTENTION**