



**HAL**  
open science

# La diversité génétique des arbres forestiers permettra-t-elle à nos forêts de s'adapter aux changements climatiques ?

Catherine Bastien

## ► To cite this version:

Catherine Bastien. La diversité génétique des arbres forestiers permettra-t-elle à nos forêts de s'adapter aux changements climatiques ?. Les "Mardis de la Science" du Museum d'Histoire Naturelle d'Orléans, Centre Régional de Promotion de la Culture Scientifique, Technique et Industrielle de la Région Centre - Val de Loire (CCSTI). FRA., Feb 2014, Orléans, France. hal-02791823

**HAL Id: hal-02791823**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02791823>**

Submitted on 5 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 permettra t-elle à nos forêts de  
s'adapter aux changements climatiques ?**



**Catherine Bastien**  
UR0588  
« Amélioration, Génétique et Physiologie forestières »  
INRA-Val de Loire



- Une composante méconnue de la biodiversité : la diversité intra-spécifique
- les changements climatiques en cours et leurs impacts visibles sur nos forêts
- Les dilemmes évolutifs face aux changements climatiques
  - ✓ Extinction
  - ✓ Migration
  - ✓ Adaptation
- Comment pouvons nous accompagner les arbres forestiers à répondre à ces changements?

# DIVERSITÉ BIOLOGIQUE :

Le concept de **diversité biologique**, ou **biodiversité**:

*« 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).**

# Diversité génétique intraspécifique

*Des aires naturelles de distribution vastes ...*

## Chêne sessile



EUFORGEN Development  
c/o Botanical Garden  
University of Cologne  
Zoo-Station 1  
D-50676 Cologne  
Germany  
Tel: +49 229 274-2200  
Fax: +49 229 274-2201  
www.euforgen.org

This distribution map, showing the natural distribution area of Quercus robur was compiled by members of the EUFORGEN Network  
Citation: Distribution map of Quercus robur (Quercus robur) | EUFORGEN 2009, www.euforgen.org

First published online on 10 November 2004 - Updated on 24 July 2008

0 250 500 1,000 Km

## Hêtre



EUFORGEN Development  
c/o Botanical Garden  
University of Cologne  
Zoo-Station 1  
D-50676 Cologne  
Germany  
Tel: +49 229 274-2200  
Fax: +49 229 274-2201  
www.euforgen.org

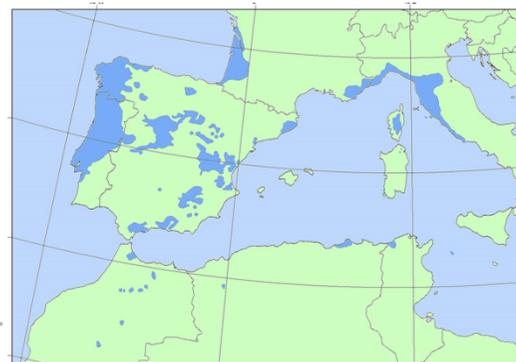
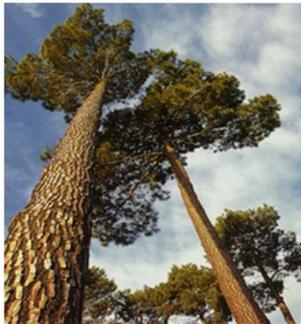
This distribution map, showing the natural distribution area of Fagus sylvatica was compiled by members of the EUFORGEN Network based on an earlier map published in:  
Purk R. (2003) Palaeodistribution and vegetation-long-term vegetation dynamics in central Europe with particular reference to beech. Phytocoenologia 33(3-4): 385-533

Citation: Distribution map of Beech (Fagus sylvatica) | EUFORGEN 2009, www.euforgen.org

First published online on 20 August 2006 - Updated on 23 July 2008

0 250 500 1,000 Km

## Pin maritime



EUFORGEN Development  
c/o Botanical Garden  
University of Cologne  
Zoo-Station 1  
D-50676 Cologne  
Germany  
Tel: +49 229 274-2200  
Fax: +49 229 274-2201  
www.euforgen.org

This distribution map, showing the natural distribution area of Pinus pinaster was compiled by members of the EUFORGEN Networks

Citation: Distribution map of Maritime pine (Pinus pinaster) | EUFORGEN 2009, www.euforgen.org

First published online on 2003 - Updated on 30 July 2008

0 125 250 500 Km

## Pin sylvestre



EUFORGEN Development  
c/o Botanical Garden  
University of Cologne  
Zoo-Station 1  
D-50676 Cologne  
Germany  
Tel: +49 229 274-2200  
Fax: +49 229 274-2201  
www.euforgen.org

This distribution map, showing the natural distribution area of Pinus sylvestris in Europe was compiled by members of the EUFORGEN Networks

Citation: Distribution map of Scots pine (Pinus sylvestris) | EUFORGEN 2009, www.euforgen.org

First published online on September 2004 - Updated on 24 July 2008

0 250 500 1,000 Km

*... avec des habitats et climats variés*

# Des espèces longévives.....



qui doivent s'adapter à des environnements changeants

## Des espèces à reproduction sexuée **allogame** ...

Peuplier noir



Espèce dioïque

Pin sylvestre



Inflorescences séparées

Merisier



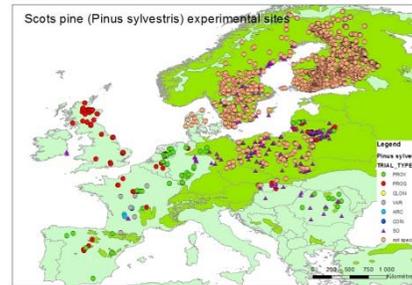
Un système d'auto-incompatibilité

## favorable au brassage génétique

# Diversité génétique et Adaptation locale

Une expérience de plus de 200 ans de tests de provenances

Echantillonnage  
de l'aire d'origine



Comparaison dans plusieurs  
environnements communs



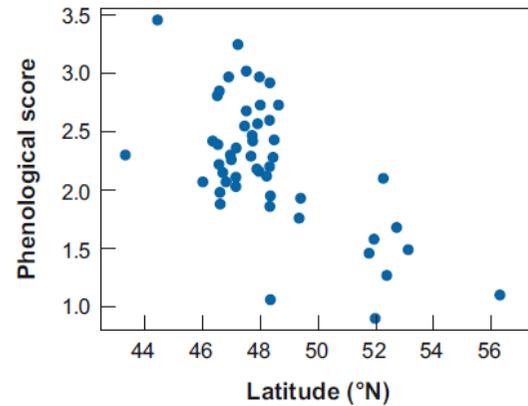
Observations/Mesures



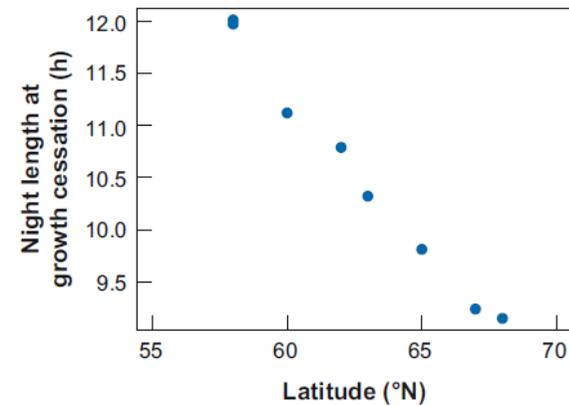
# Diversité génétique et Adaptation locale

Analyse des relations performance / climat d'origine

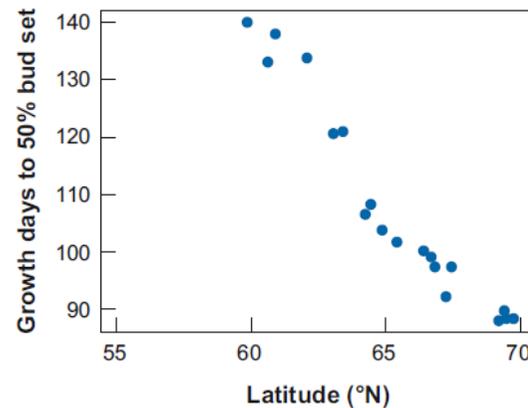
a **Chêne** -Débourrement



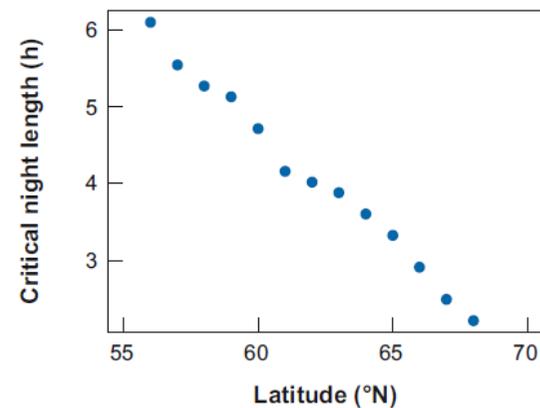
b **Bouleau** – Arrêt de croissance



c **Pin sylvestre** - aoûtement



d **Epicéa** – Arrêt de croissance

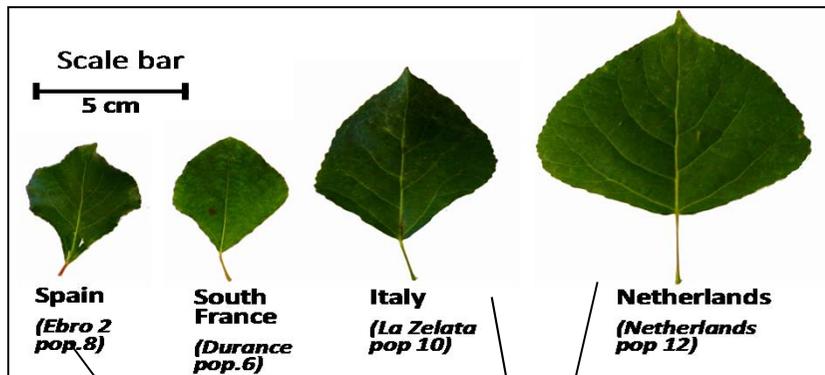


Savolainen et al Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 2007. 38:595–619

# Diversité génétique et Adaptation locale

Une diversité génétique individuelle maintenue dans les populations

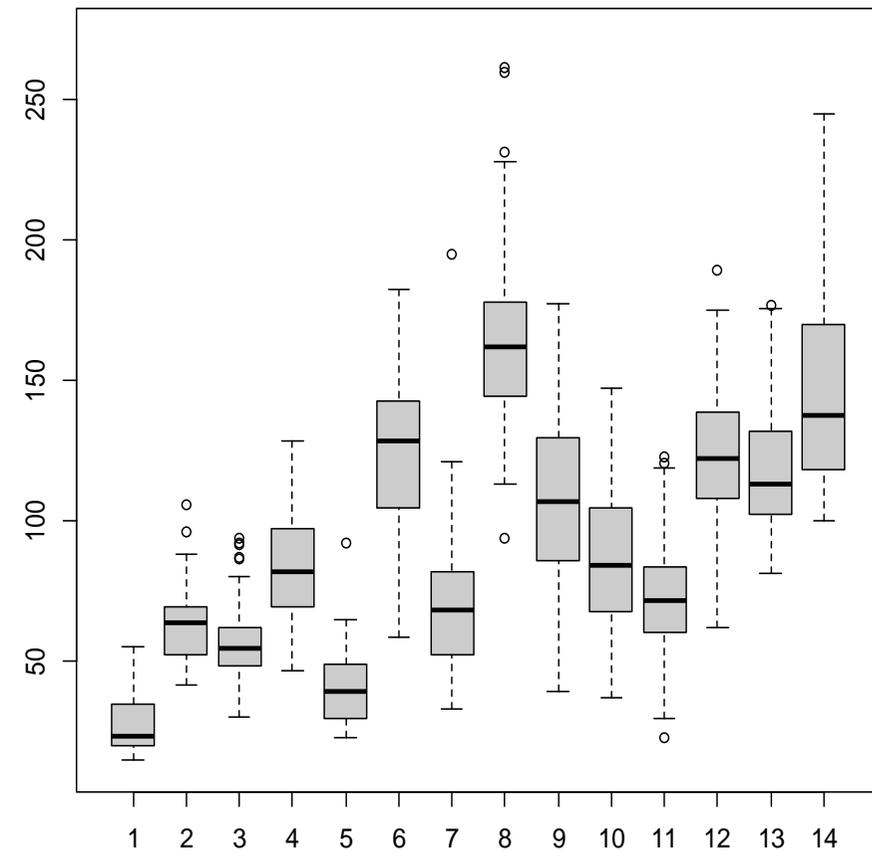
Surface foliaire, longueur pétiole, ...



Peuplier noir

Bastien et al, NOVELTREE

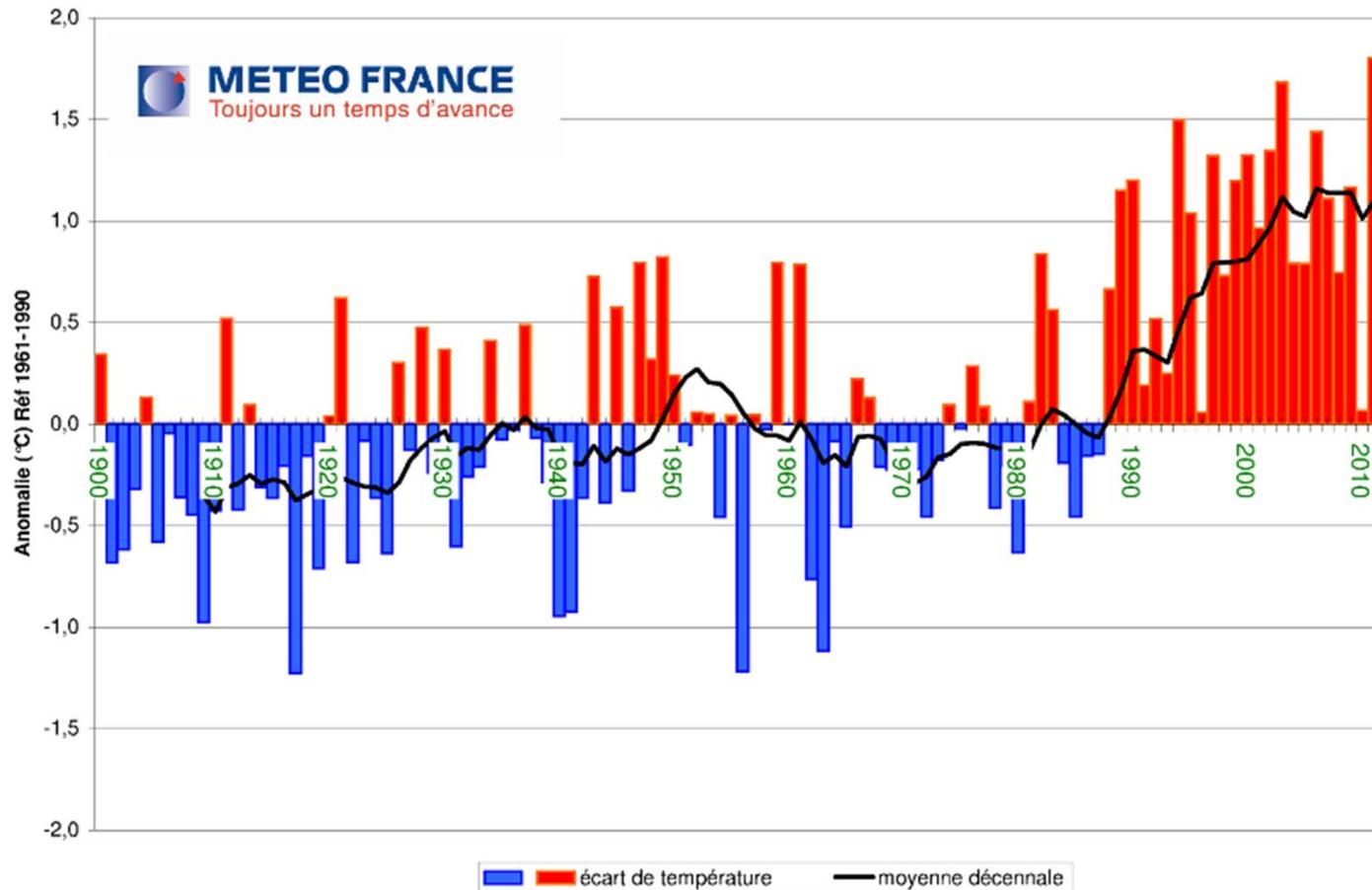
Surface foliaire (cm<sup>2</sup>)



- Une composante méconnue de la biodiversité : la diversité intra-spécifique
- **les changements climatiques en cours et leurs impacts visibles sur nos forêts**
- Les dilemmes évolutifs face aux changements climatiques
  - ✓ Extinction
  - ✓ Migration
  - ✓ Adaptation
- Comment pouvons nous accompagner les arbres forestiers à répondre à ces changements?

# Evolution de la température moyenne en France

(Source Météo France)



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

## Des impacts visibles sur les forêts en place

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



### Martin

28 Décembre 1999

Alsace

80% des peuplements autochtones de pin sylvestre détruits



### Klaus

24 Janvier 2009

Sud-Ouest

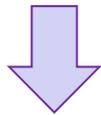
170 000 ha détruits à plus de 60%

## Des impacts visibles sur les forêts en place

- 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 toucher de  
plus en plus des arbres  
âgés



## Des impacts visibles sur les forêts en place

- Des arbres âgés de grande taille dépérissent brutalement



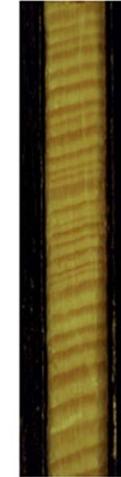
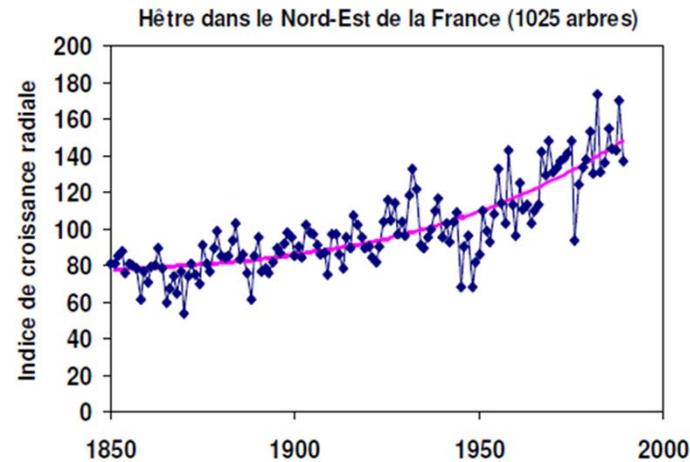
Sapin pectiné dès 2005  
dans le Sud-Est



Chêne pédonculé en  
forêt de Vierzon

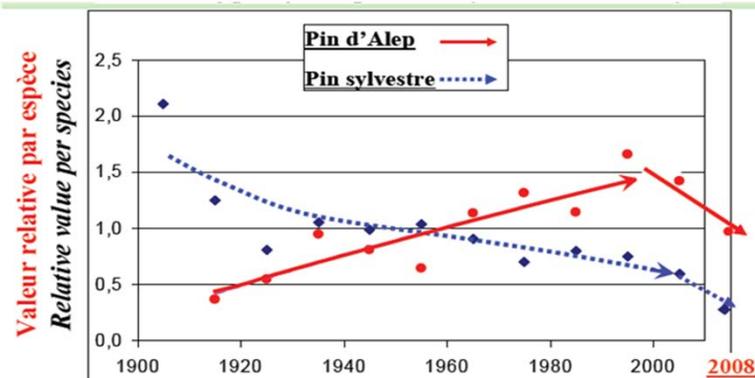
## Des impacts visibles sur les forêts en place

- Une production primaire **accrue** dans les régions les plus froides



Bontemps et al,  
INRA, 2005

- mais **en réduction** dans les régions les plus sèches

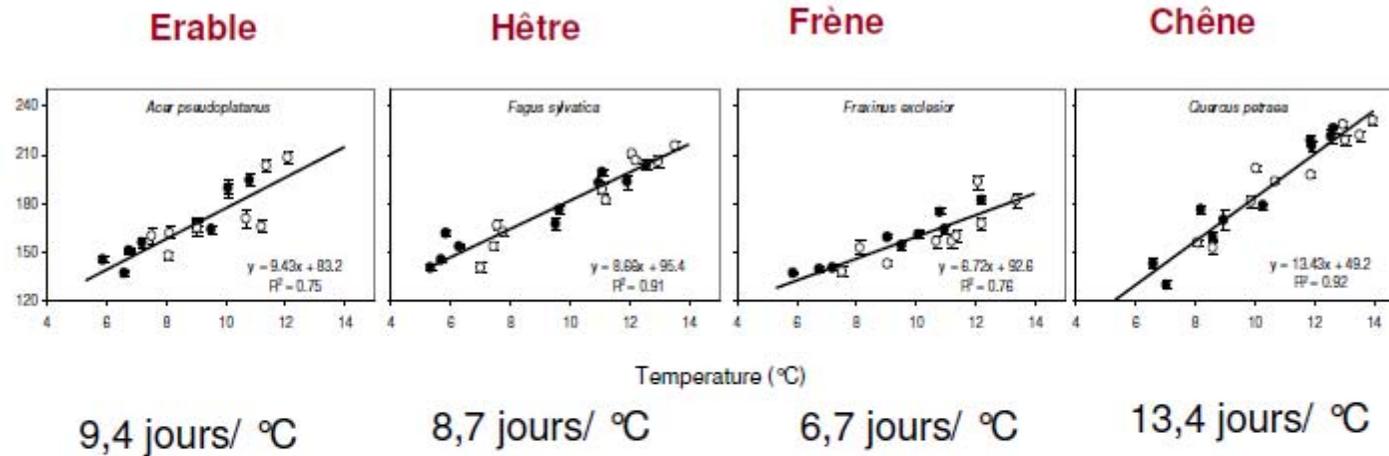


Michel Vennetier, IRSTEA  
2010

# Des impacts visibles sur les forêts en place

- variations de la **phénologie**

## Longueur de la saison de végétation



Vitasse et al. 2009, Agricultural & Forest Meteorology 149: 735-744

# Des impacts visibles sur les forêts en place

- Extension des aires de distribution des ravageurs

La chenille processionnaire  
du pin

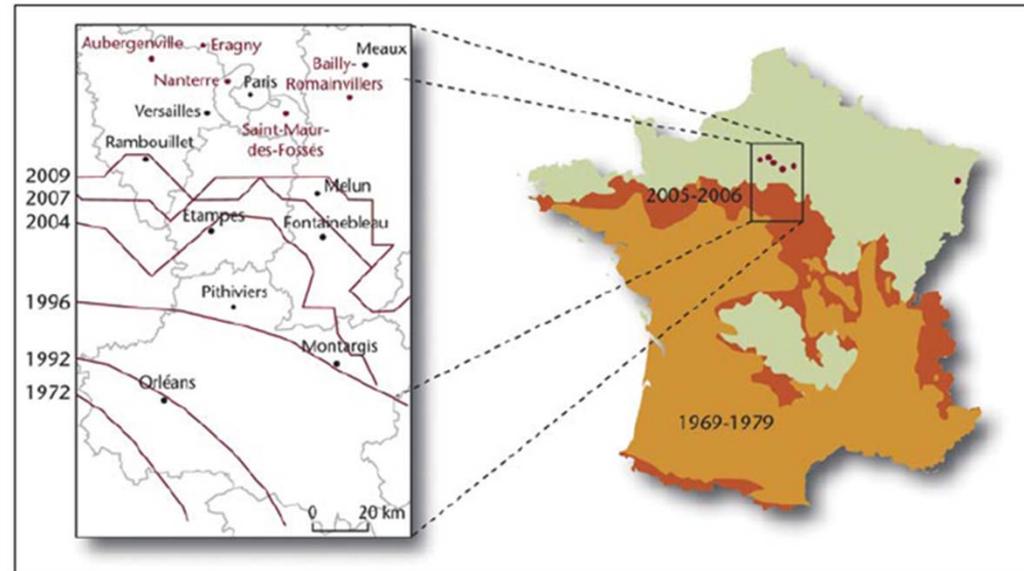


Figure 2 – Progression de la chenille processionnaire du pin en France et zoom sur les Régions Centre et Île-de-France. Les points rouges indiquent les foyers isolés.

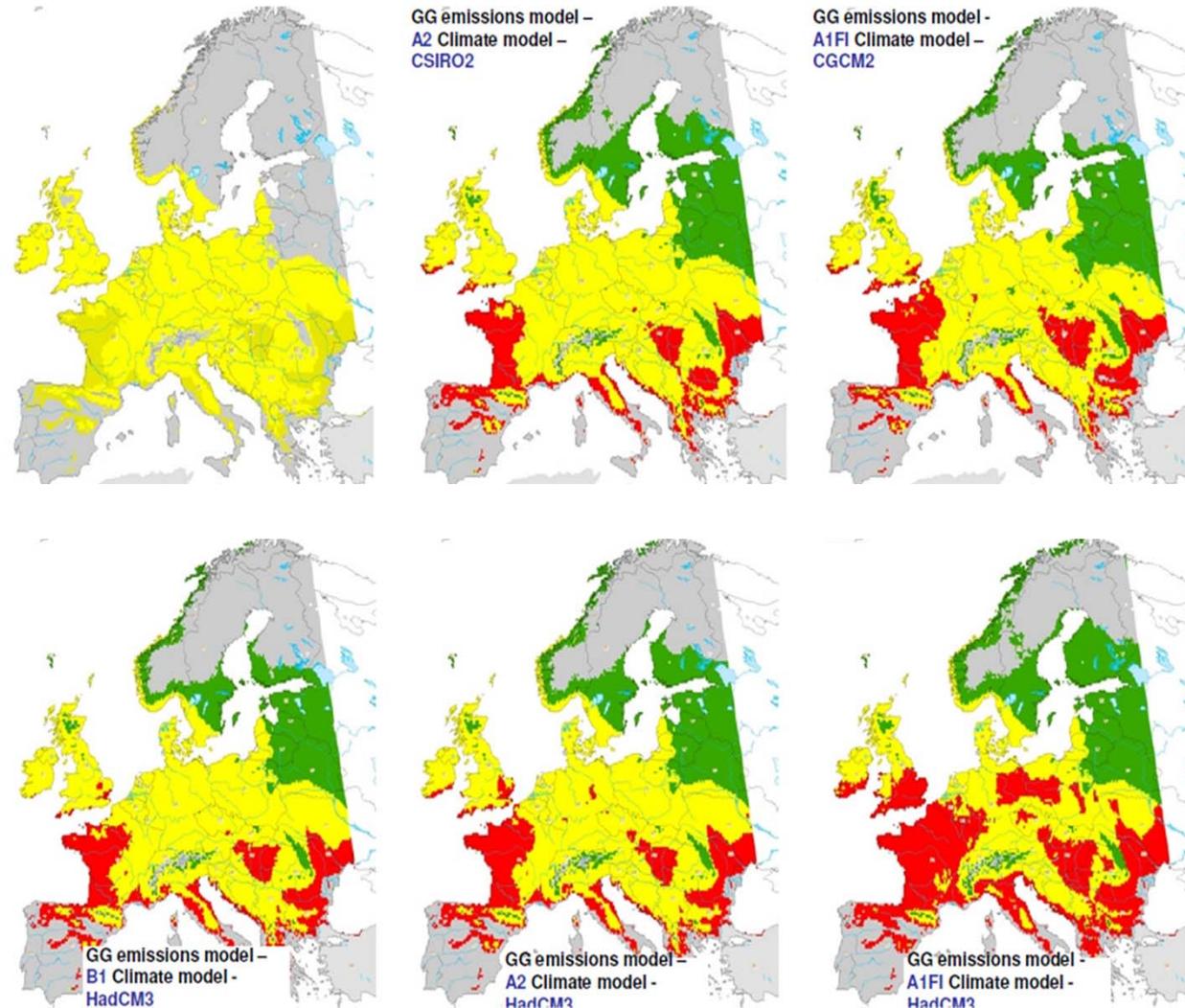
Elle migre vers le Nord à la vitesse  
de 5,5km par an et en altitude à la  
vitesse de 0,5m par an

Source INRA-Val de Loire: J Rousselet & C. Robinet

- Une composante méconnue de la biodiversité : la diversité intra-spécifique
- les changements climatiques en cours et leurs impacts visibles sur nos forêts
- **Les dilemmes évolutifs face aux changements climatiques**
  - ✓ **Extinction**
  - ✓ **Migration**
  - ✓ **Adaptation**
- Comment pouvons nous accompagner les arbres forestiers à répondre à ces changements?

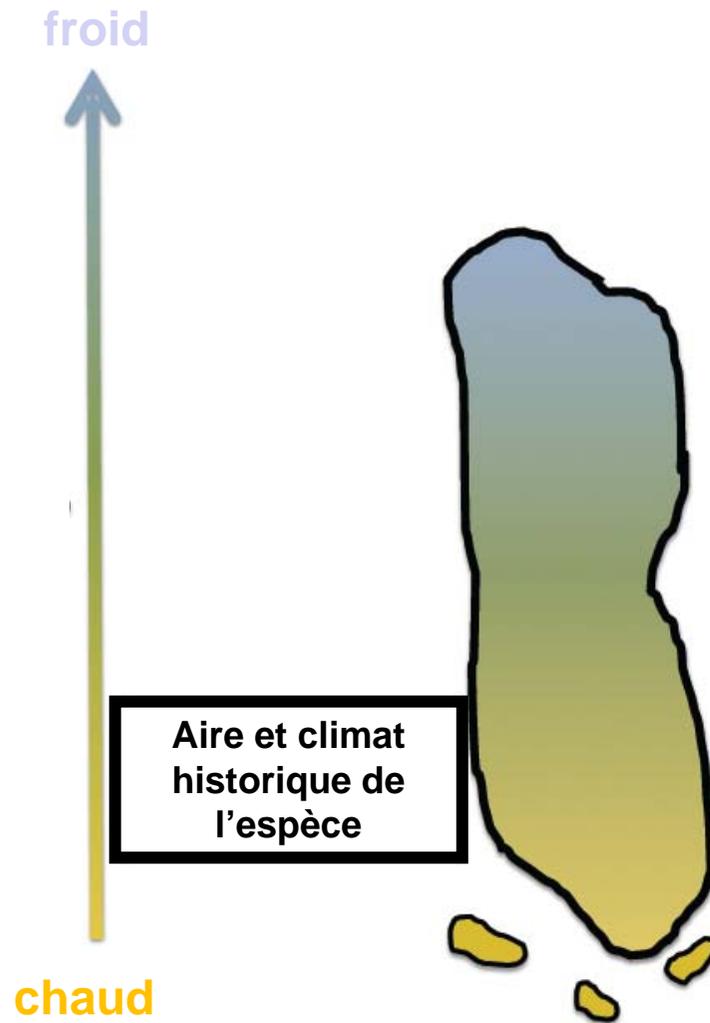
# Les prédictions des modèles climatiques sur la base de la présence actuelle

Cas du chêne sessile  
à  
l'horizon 2080

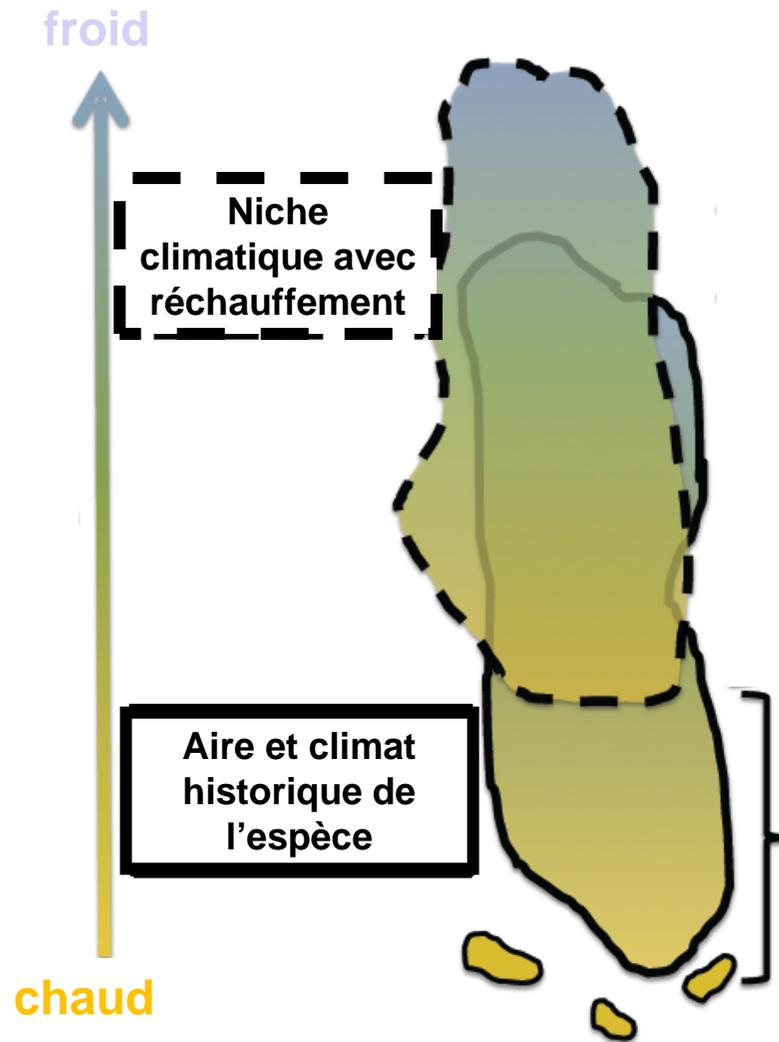


Thuiller W. 2003. *Global Change Biol.* 9: 1353–1362  
Thuiller et al 2005. *PNAS* 102, 8245-8250

# Les dilemmes évolutifs face aux changements climatiques



# Les dilemmes évolutifs face aux changements climatiques

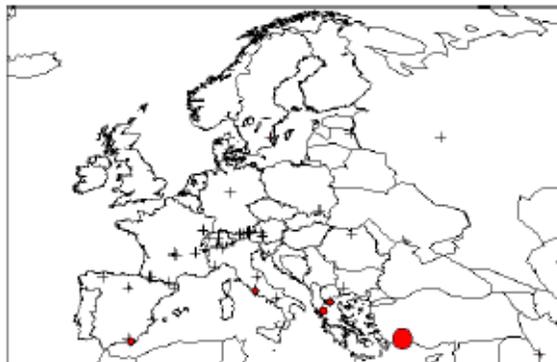


## 1- Disparaître

*fragmentation suivie d'extinction de populations locales*

## 1- Disparaitre : Leçons du passé

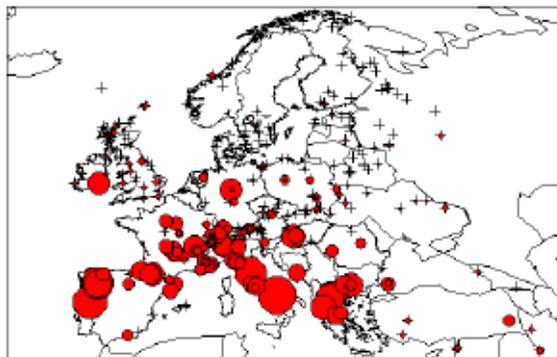
- Peu de disparition totale à la marge Sud des aires
- De fortes différenciations entre populations
- Une perte significative de diversité génétique intrapopulation



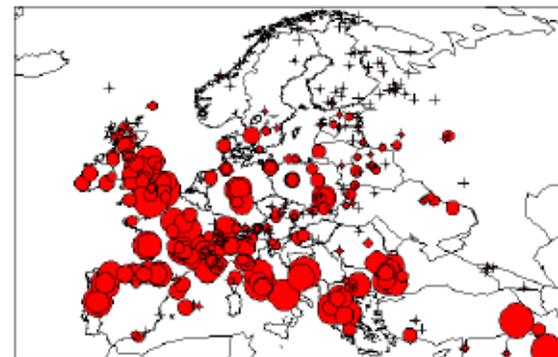
**15 000 BP**



**13 000 BP**

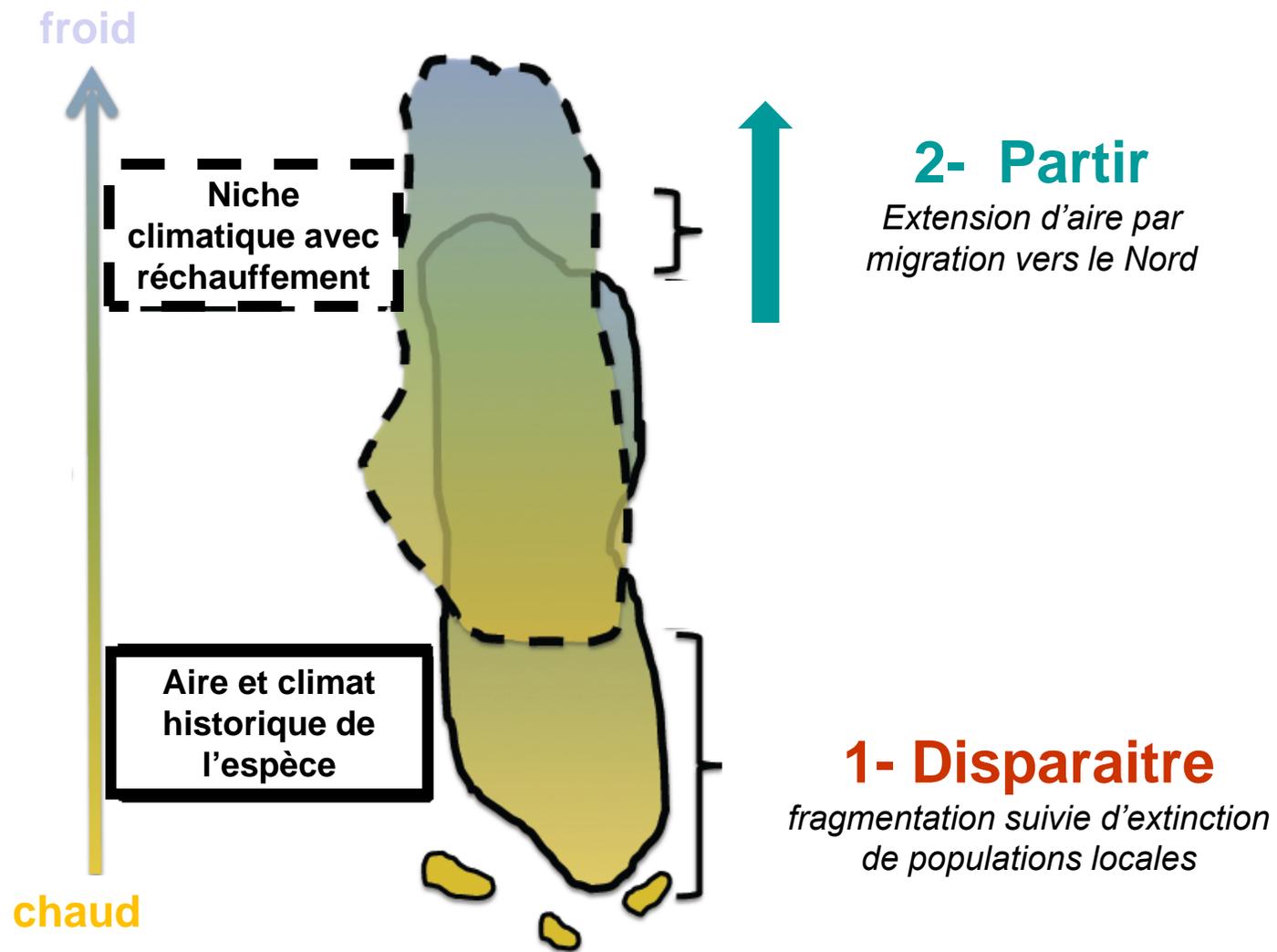


**9 000 BP**



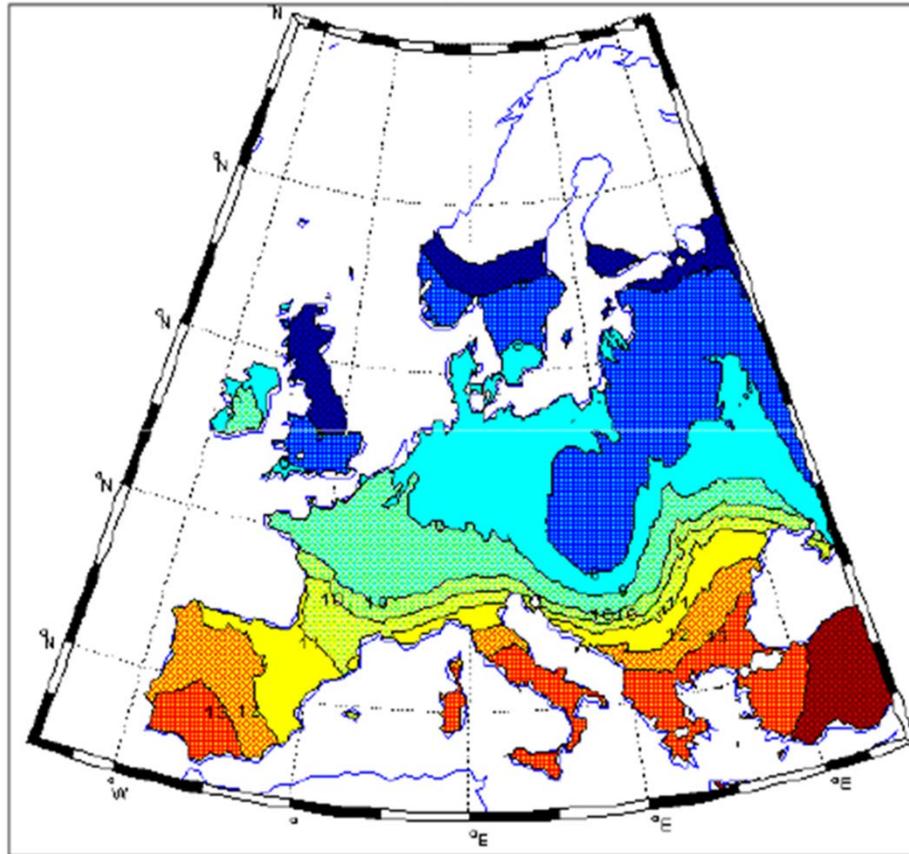
**6 000 BP**

# Les dilemmes évolutifs face aux changements climatiques



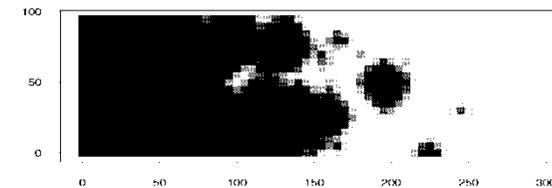
# La migration naturelle est-elle une solution réaliste ?

- La migration postglaciaire moyenne a été de **400 mètres** par an



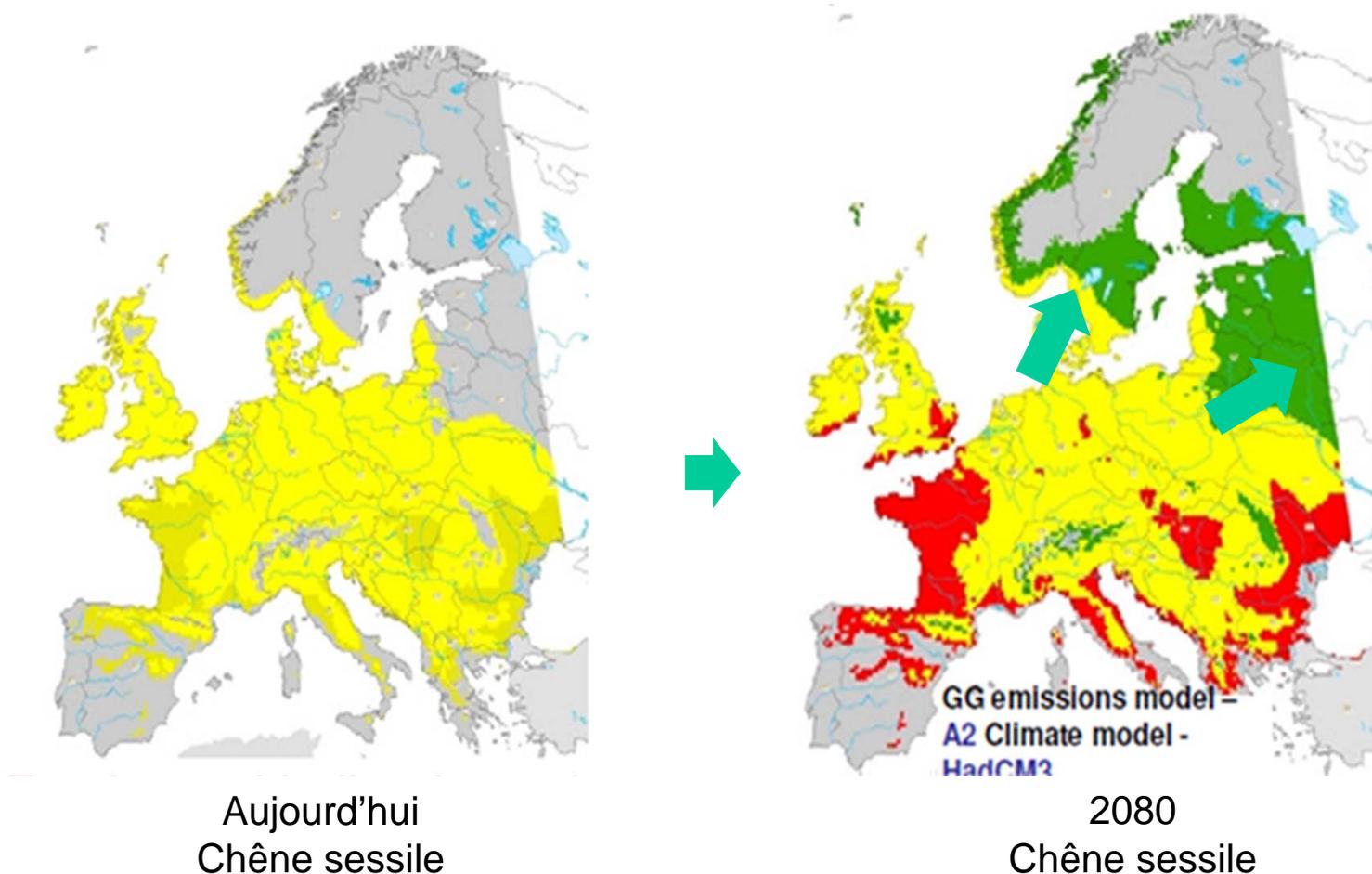
European Pollen Database,  
Université Aix-Marseille

Modèle de dispersion  
Diffusion  
+  
dispersion à longue distance

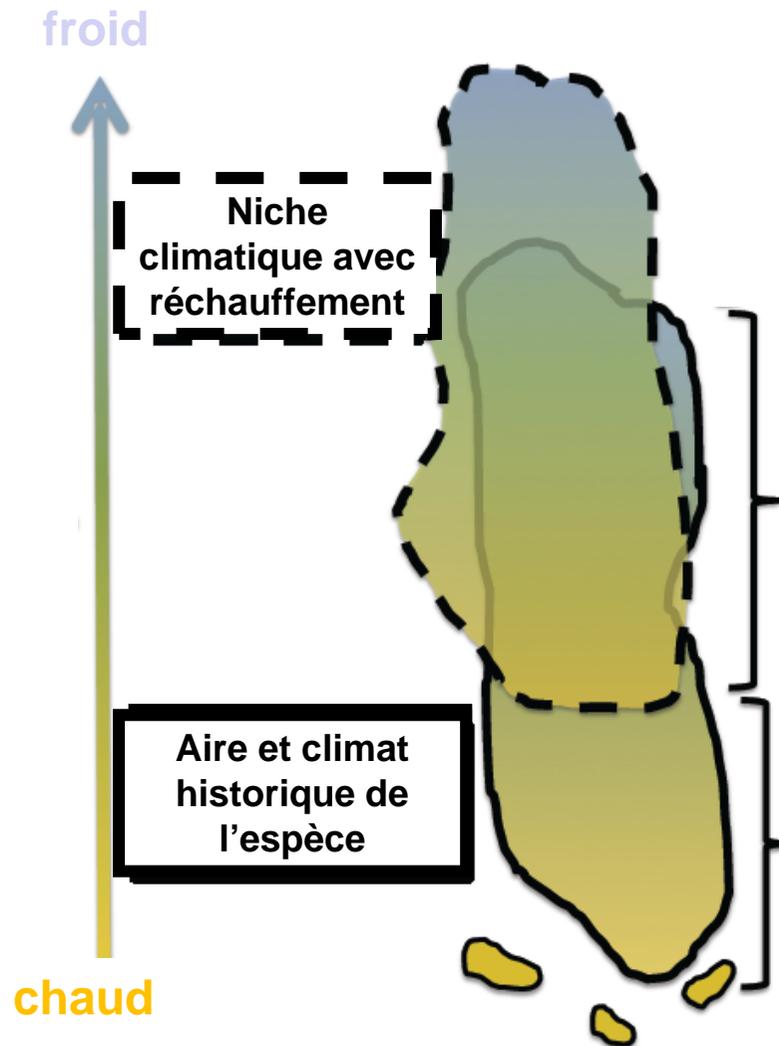


# La migration naturelle est-elle une solution réaliste ?

- La migration nécessaire pour rejoindre les enveloppes bioclimatiques prédites dans 100 ans est de **5 à 7 km** par an



# Les dilemmes évolutifs face aux changements climatiques



## 3- Rester

à court terme – 1 génération  
s'acclimater en modifiant son  
phénotype dans le nouvel  
environnement subi  
(**plasticité phénotypique**)

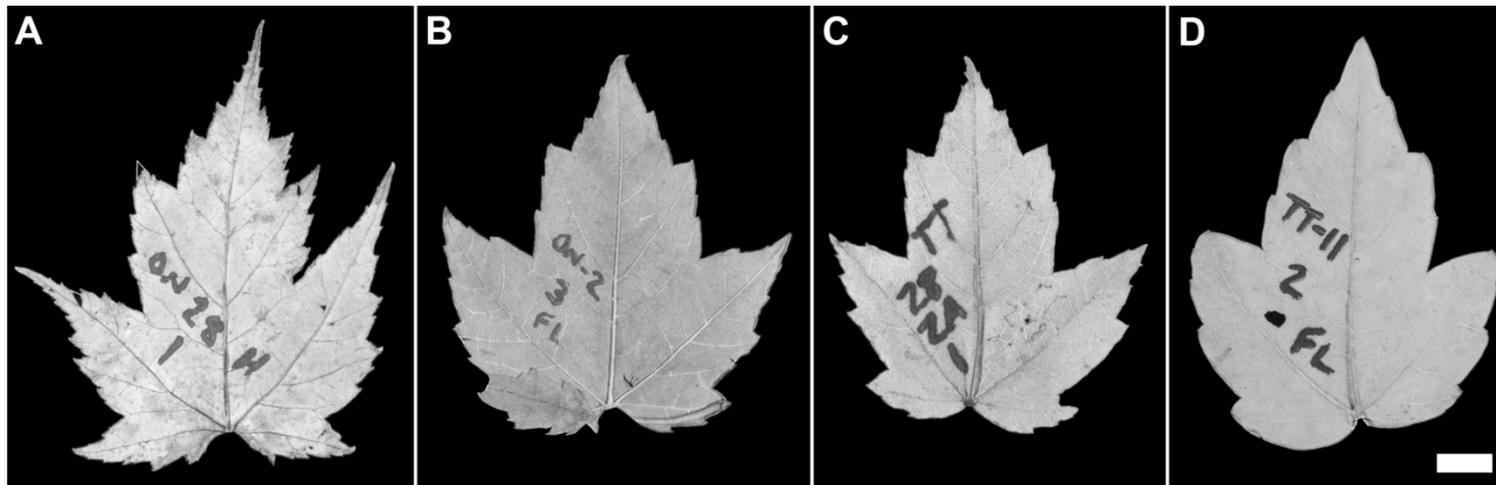
à long terme - >2 générations  
évoluer grâce à la **sélection  
naturelle** et retenir les  
individus les mieux adaptés

### 3- Rester : solution à court terme

#### La plasticité phénotypique

=

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



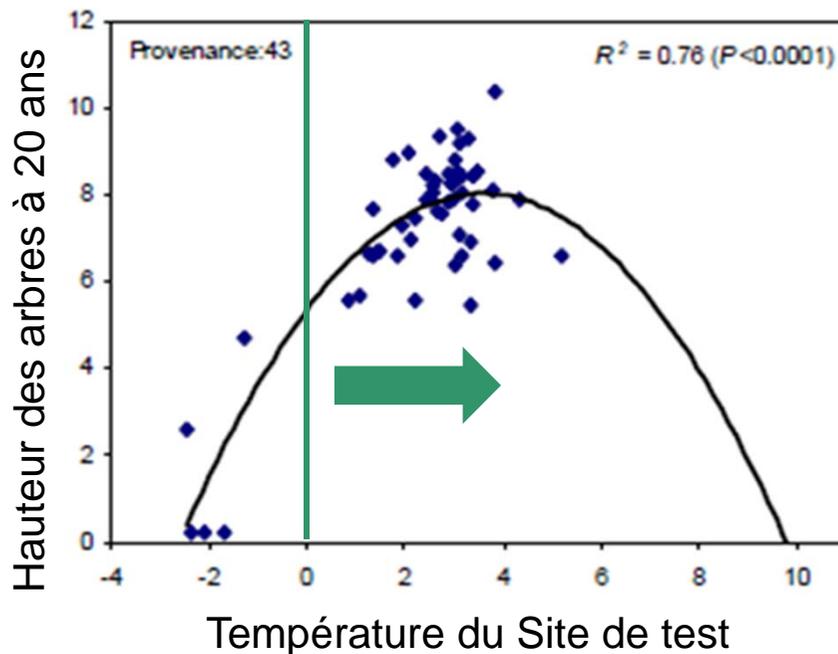
*Acer rubrum* – Royer et al 2009 Plos One



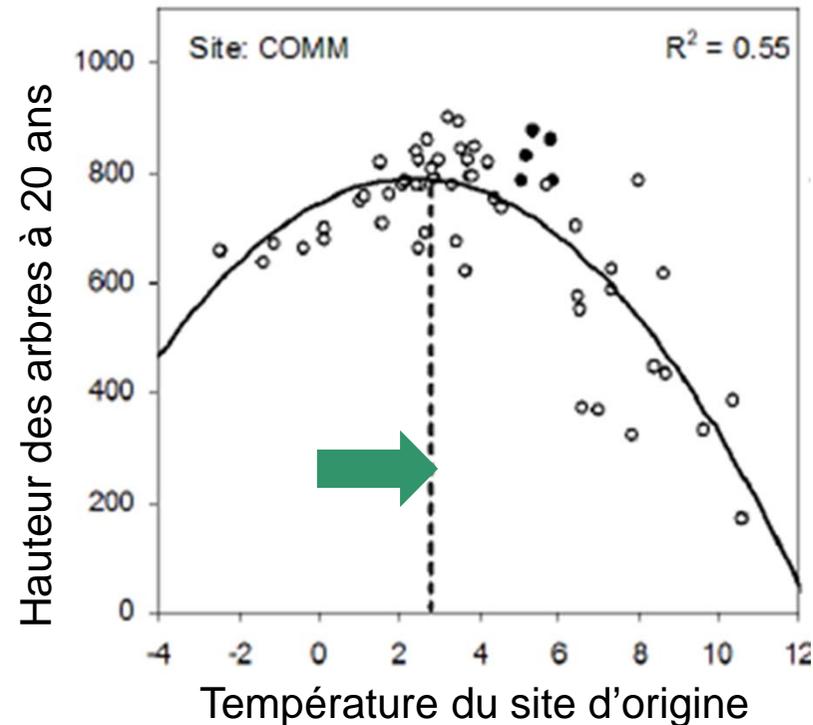
Température

### 3- Rester : solution à court terme

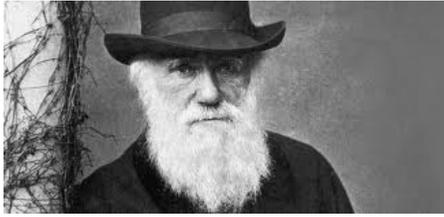
- Les réseaux de tests de provenances permettent de décrire cette plasticité et d'élaborer des conseils d'utilisation



Conditions d'utilisation  
d'une origine donnée



Meilleure origine pour  
un site donné

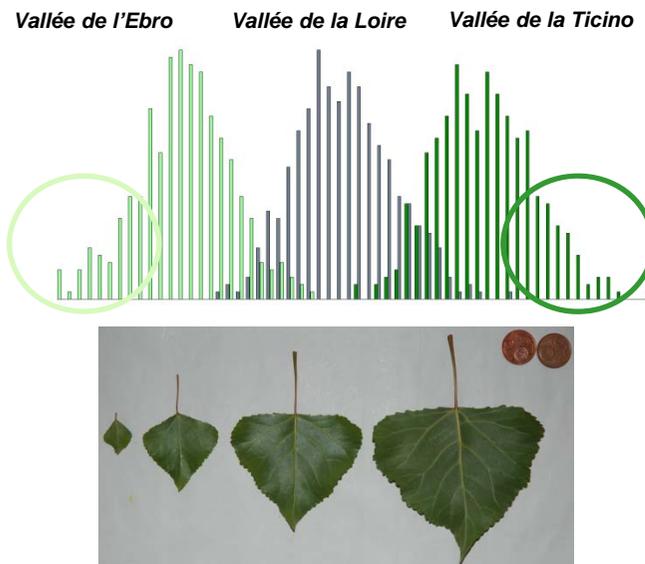


### 3- Rester : solution à long terme

#### L'adaptation génétique

=

évolution par **sélection naturelle** au sein d'une espèce,  
nécessite plusieurs générations,  
est possible si la diversité génétique est suffisante,  
s'est révélée toutefois efficace en 1 génération (épicéa, chêne rouge)



Exemple Peuplier noir – Bastien et al, NOVELTREE

### 3- Rester : l'adaptation génétique

L'adaptation génétique se traduit par un changement des fréquences alléliques (signature moléculaire)

SNP = polymorphisme de l'ADN en une base

Gene variant 1.....ACCTGA**A**TACAGGATA.....

Gene variant 2.....ACCTGA**G**TACAGGATA.....

3 catégories d'individus

AA

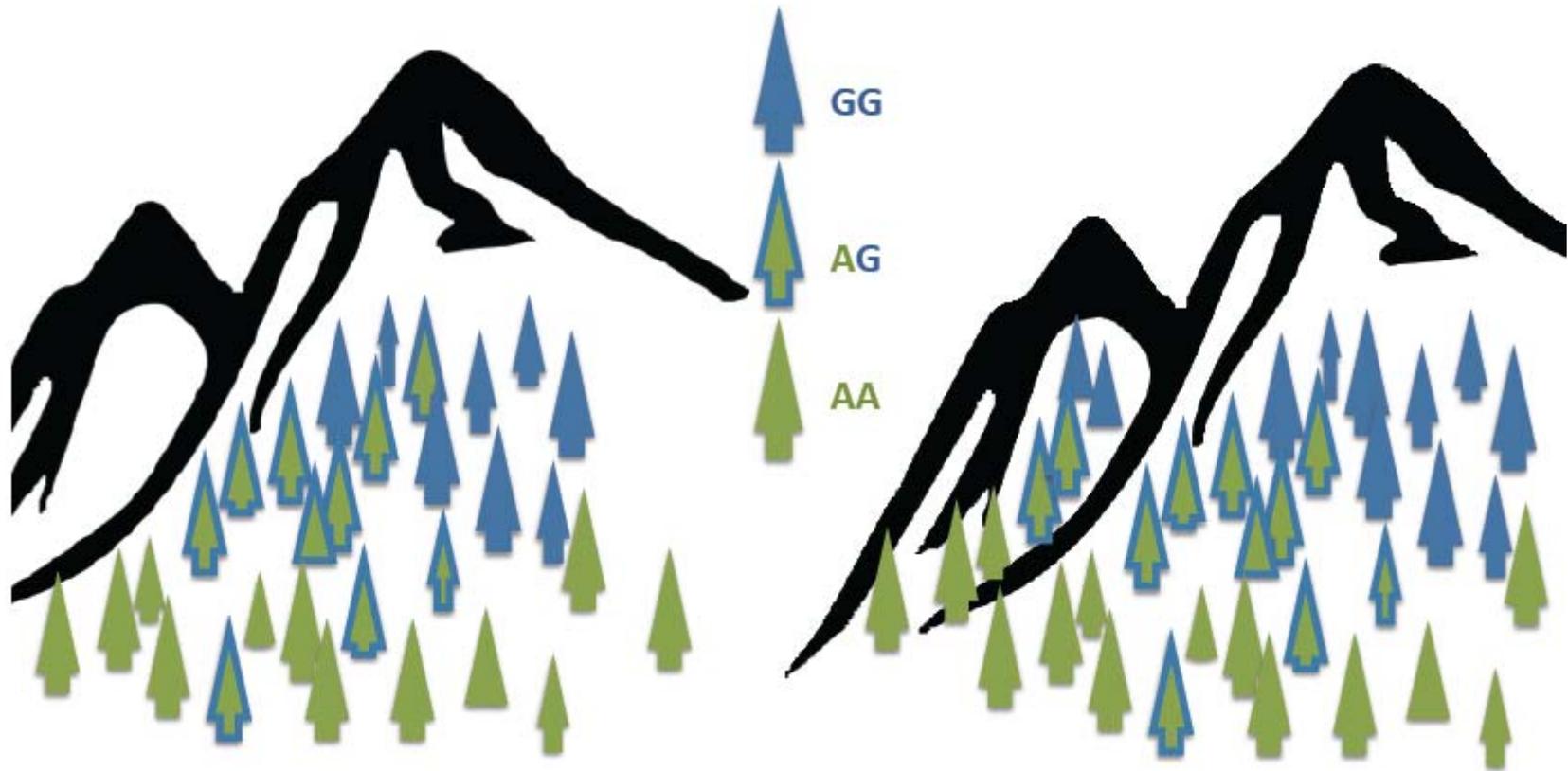
AG

GG



# Comment la biologie moléculaire peut nous aider à comprendre et suivre l'adaptation génétique ?

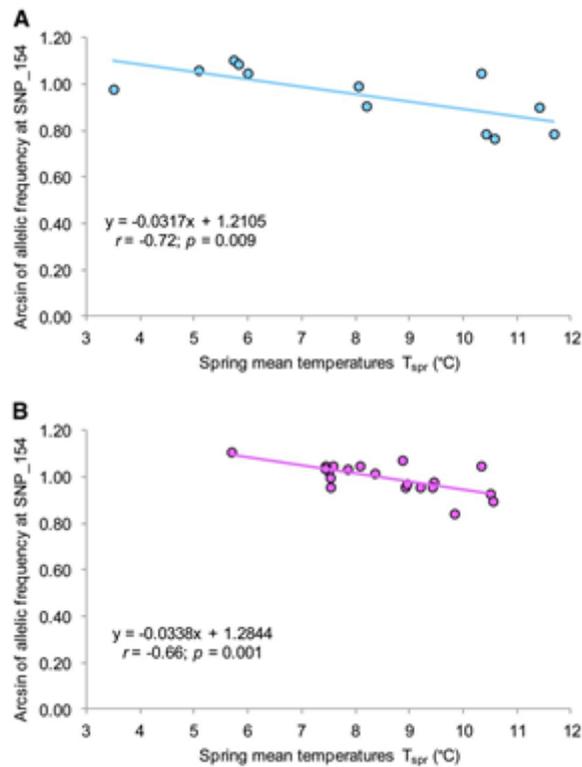
Corrélations entre  $f(GG,AG,AA)$  et le climat d'origine des populations?



# Comment la biologie moléculaire peut nous aider à comprendre et suivre l'adaptation génétique ?

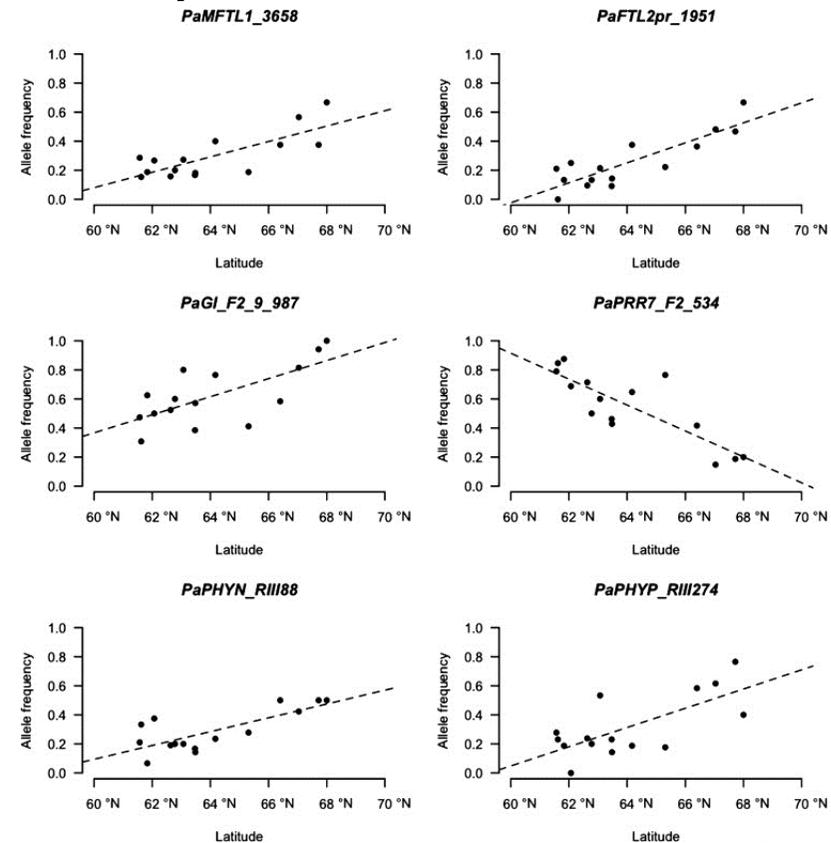
Des SNP « adaptatifs » dans des gènes candidats de « phénologie » montrent des variations clinales de leurs fréquences

## Chêne



Alberto F J et al. Genetics 2013;195:495-512

## Epicéa commun



Chen et al, Genetics 2012

- Une composante méconnue de la biodiversité : la diversité intra-spécifique
- les changements climatiques en cours et leurs impacts visibles sur nos forêts
- Les dilemmes évolutifs face aux changements climatiques
  - ✓ Extinction
  - ✓ Migration
  - ✓ Adaptation
- **Comment pouvons nous aider les arbres forestiers à répondre à ces changements?**

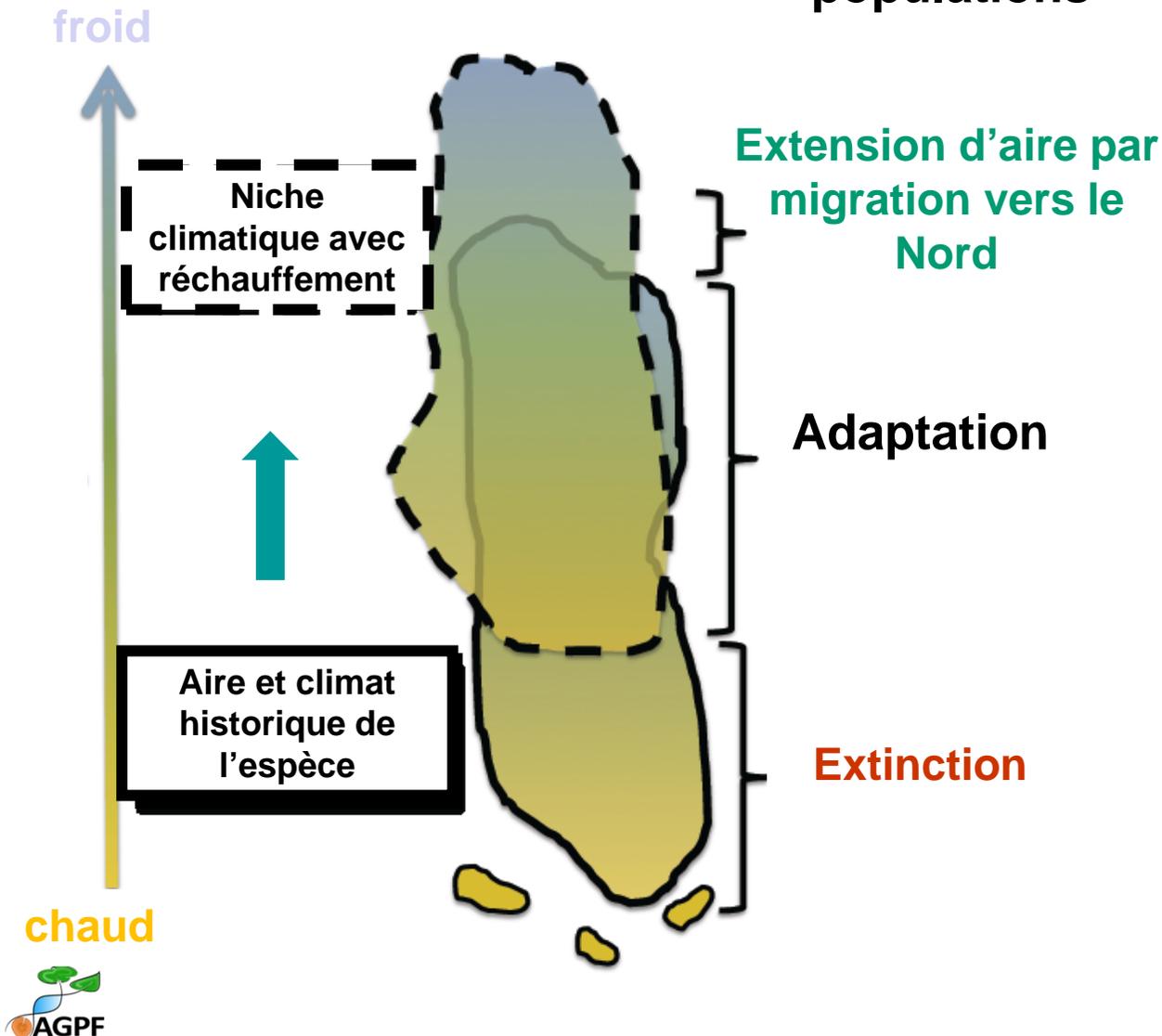
## Quels risques prenons-nous à ne RIEN faire ?



- Perte de la productivité des forêts
- Réduction de la taille des populations et fragmentation
- Ralentissement de la réponse adaptative possible
- Disparition de populations originales en marge des aires de distribution et perte de diversité génétique
- Disparition d'habitats et pertes des services écosystémiques associés

# Quelles interventions de gestion possible ?

## Réponses des populations

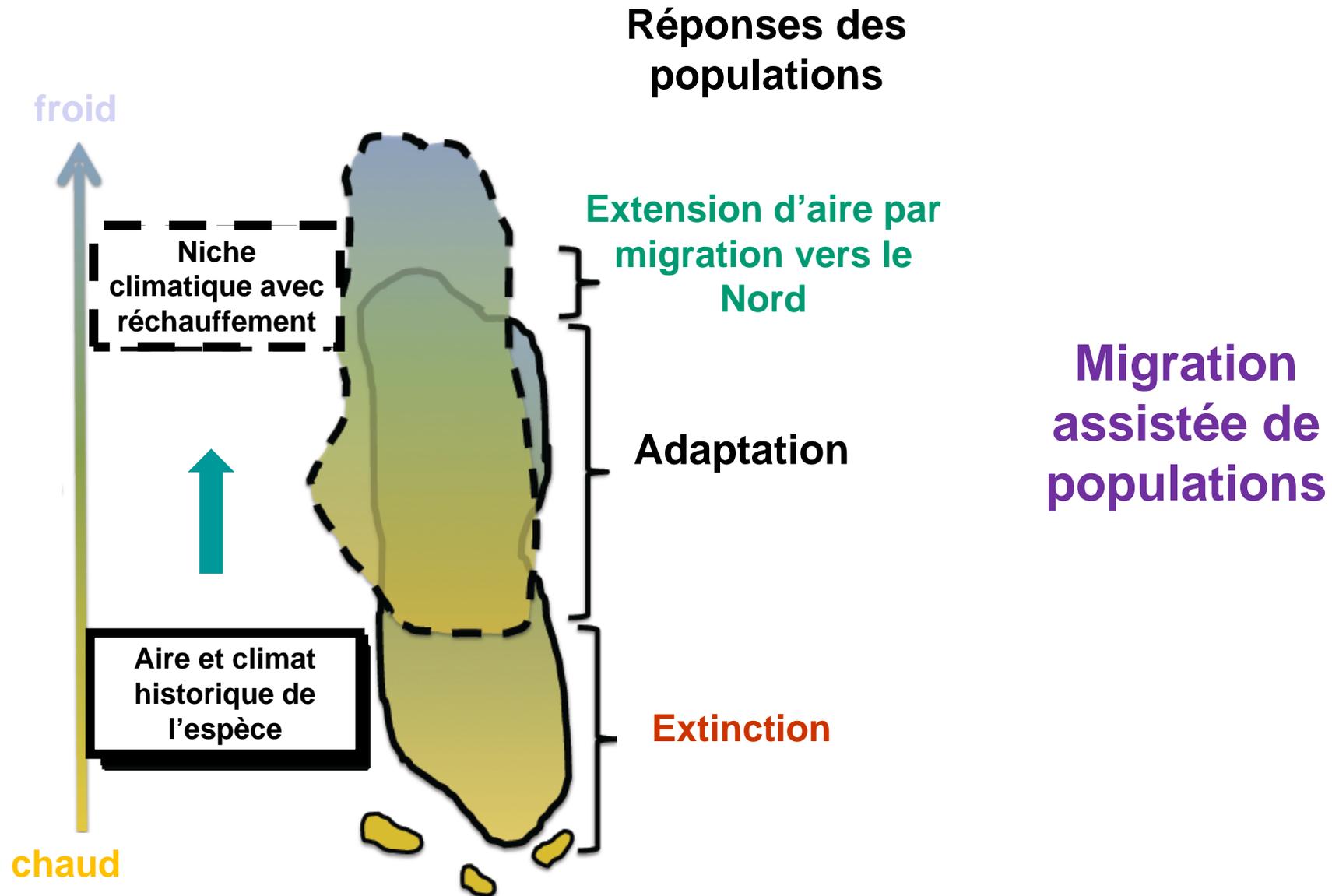


**Extension d'aire assistée par plantations**



**Exple du  
Pin maritime  
Pin laricio de Corse  
Espèces méditerranéennes**

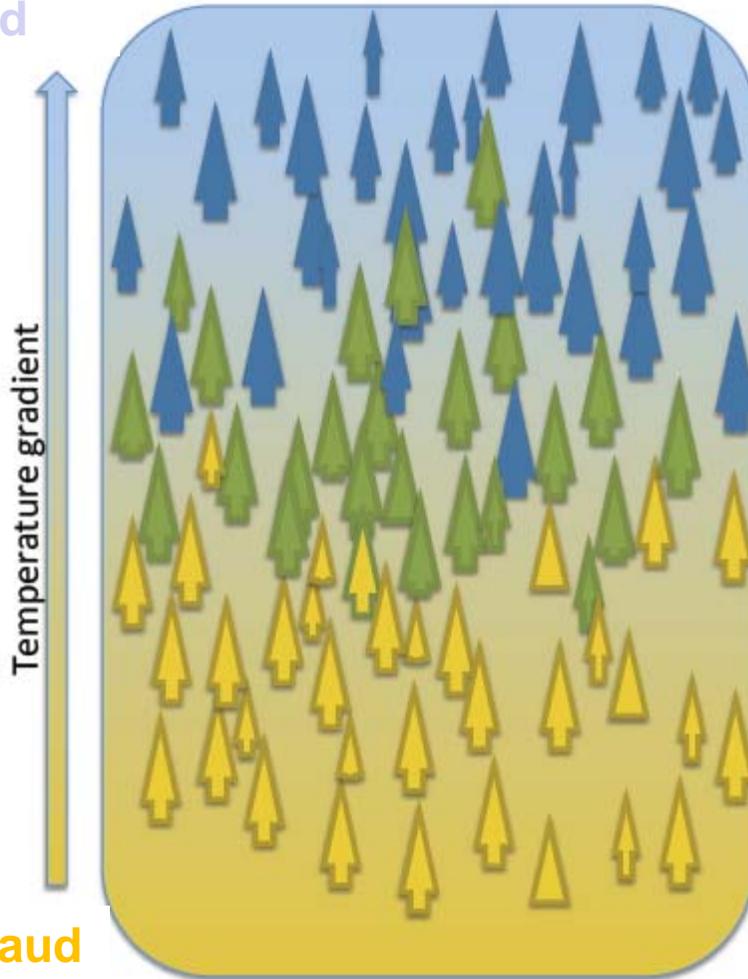
# Quelles interventions de gestion possible ?



# La migration assistée de populations

Aujourd'hui

froid



Au sein d'une espèce



Adapté aux t°  
froides



Adapté aux t°  
modérées



Adapté aux t°  
chaudes

# La migration assistée de populations

Que planter aujourd'hui ?

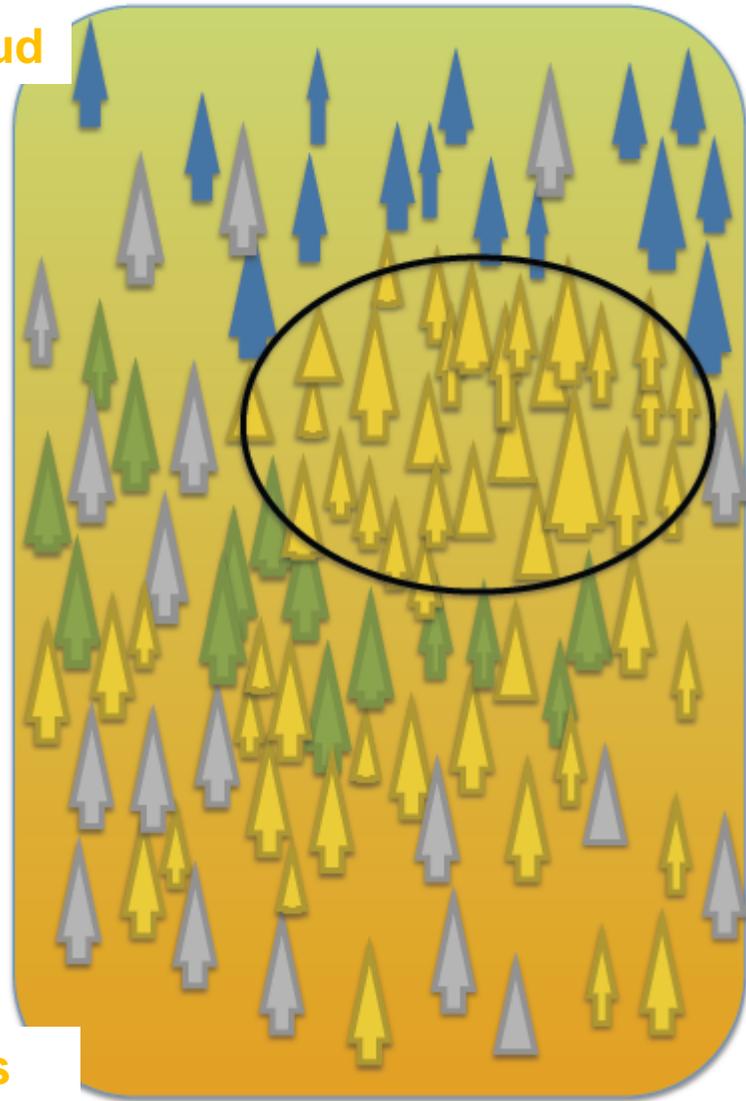
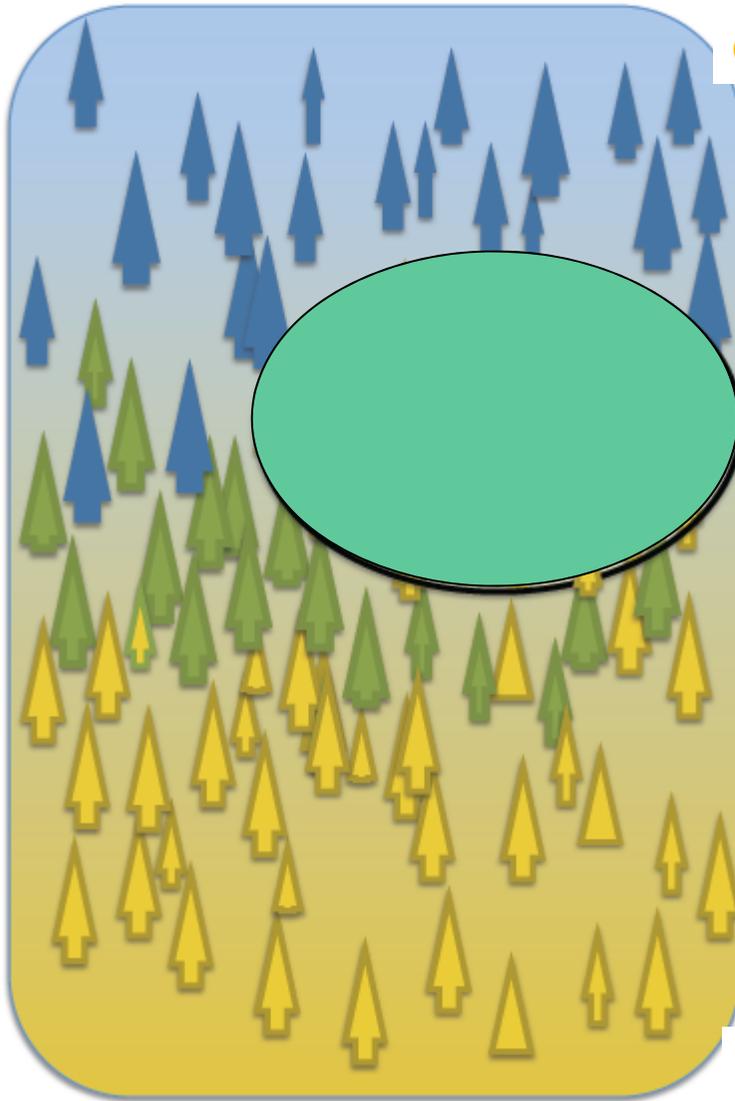
Penser au climat de demain

froid

chaud

chaud

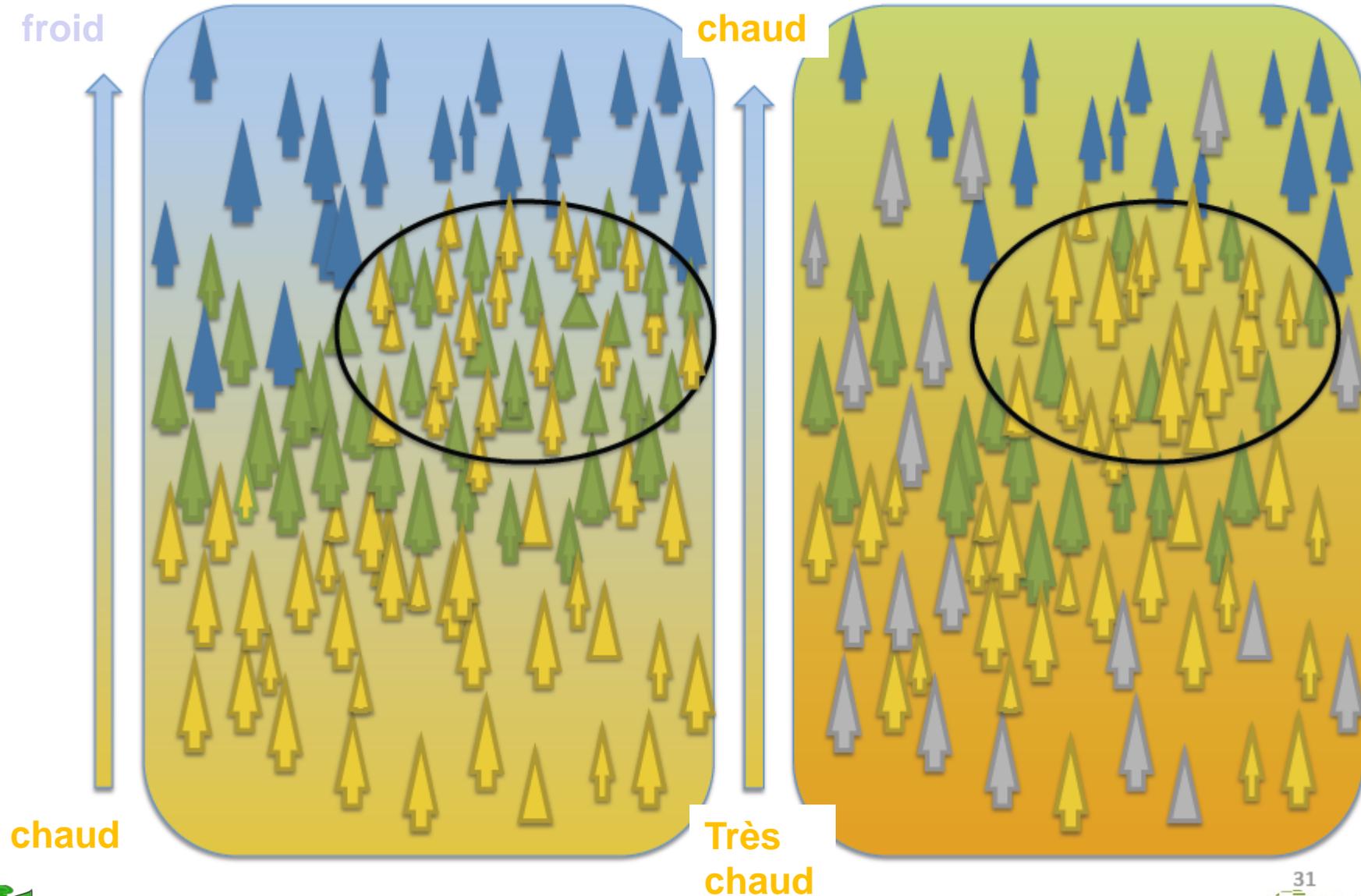
Très  
chaud



# La migration assistée de populations

Pourquoi ne pas planter un mélange de populations ?

En espérant augmenter la résilience des forêts



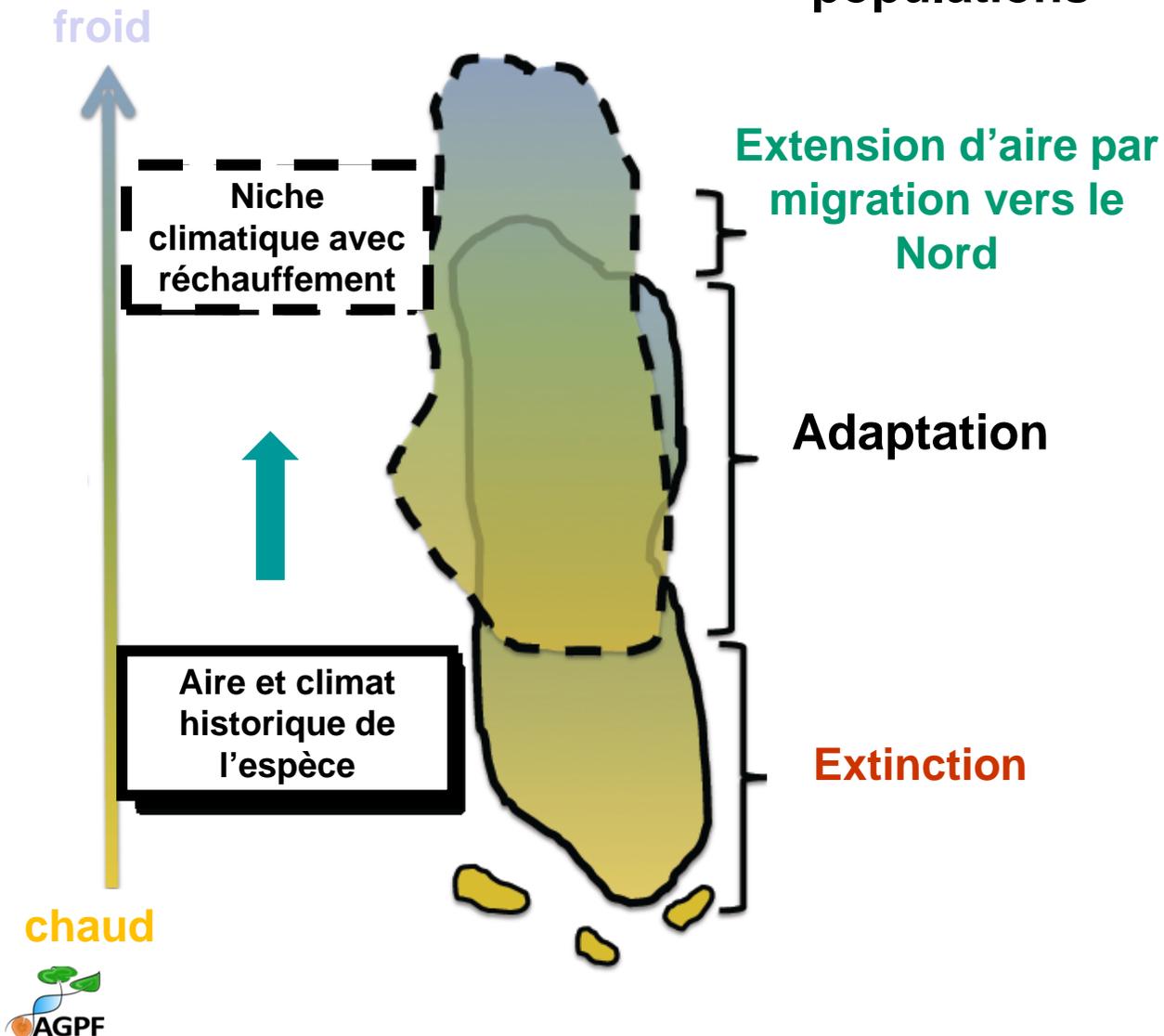
# La migration assistée de populations

**Déplacer** les populations dans un environnement favorable dans les 50 à 100 prochaines années nécessite :

- de préparer des recommandations sur la base de relevés de performances dans les réseaux expérimentaux existants
- d'installer de nouveaux tests dans des environnements plus diversifiés
- de modifier la réglementation en vigueur
- de s'assurer de l'approvisionnement en graines et plants de qualité du matériel installé
- de s'assurer des possibilités de flux de gènes futurs
- d'assurer un suivi à moyen terme des transferts réalisés

# Quelles interventions de gestion possible ?

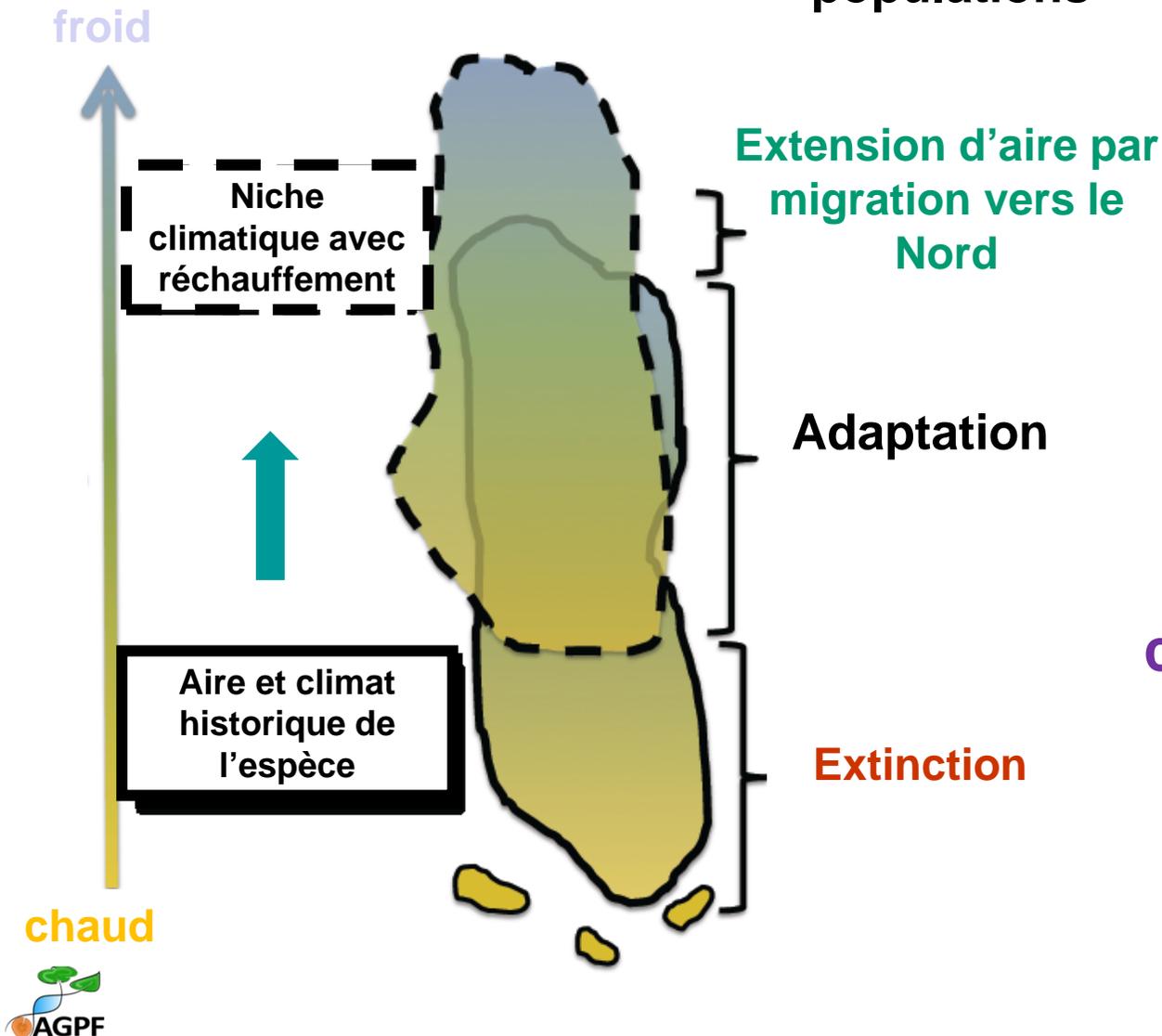
## Réponses des populations



Développer de nouvelles variétés améliorées à infuser dans les populations

# Quelles interventions de gestion possible ?

## Réponses des populations



Actions de conservation *ex-situ*

Maintien de corridors et d'une taille efficace min.

## Conclusions

1. Dans leur histoire, les arbres ont subi de manière récurrente des changements environnementaux majeurs
2. Les espèces d'aujourd'hui ont fait preuve de leur capacité de migration et d'adaptation
3. Les arbres ont développé des mécanismes évolutifs qui leur ont permis de s'adapter :  
maintien d'une diversité génétique élevée, des flux de gènes importants, plasticité phénotypique

## Conclusions

4. Ces mécanismes sont et seront sollicités par les changements climatiques en cours
5. Il n'est pas sûr que ces mécanismes naturels suffisent du fait du rythme accéléré des changements
6. L'homme, par des interventions raisonnées peut faciliter cette adaptation

A scenic view of a mountain forest. The foreground is filled with tall, slender pine trees with dense green needles. Some trees are bare, suggesting a high-altitude or winter environment. The background shows a deep valley with more mountains under a clear blue sky. The text "Merci de votre attention" is overlaid in white at the bottom center.

Merci de votre attention