

# Biogéographie et génomique de l'introgression entre *Picea mariana* et *P. rubens*

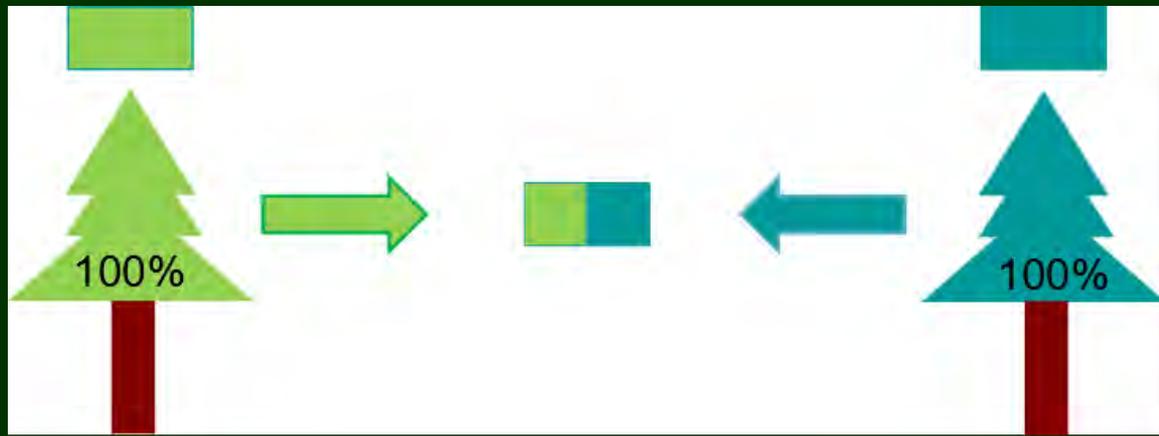
Guillaume de Lafontaine & Jean Bousquet

9<sup>e</sup> colloque annuel du CEF



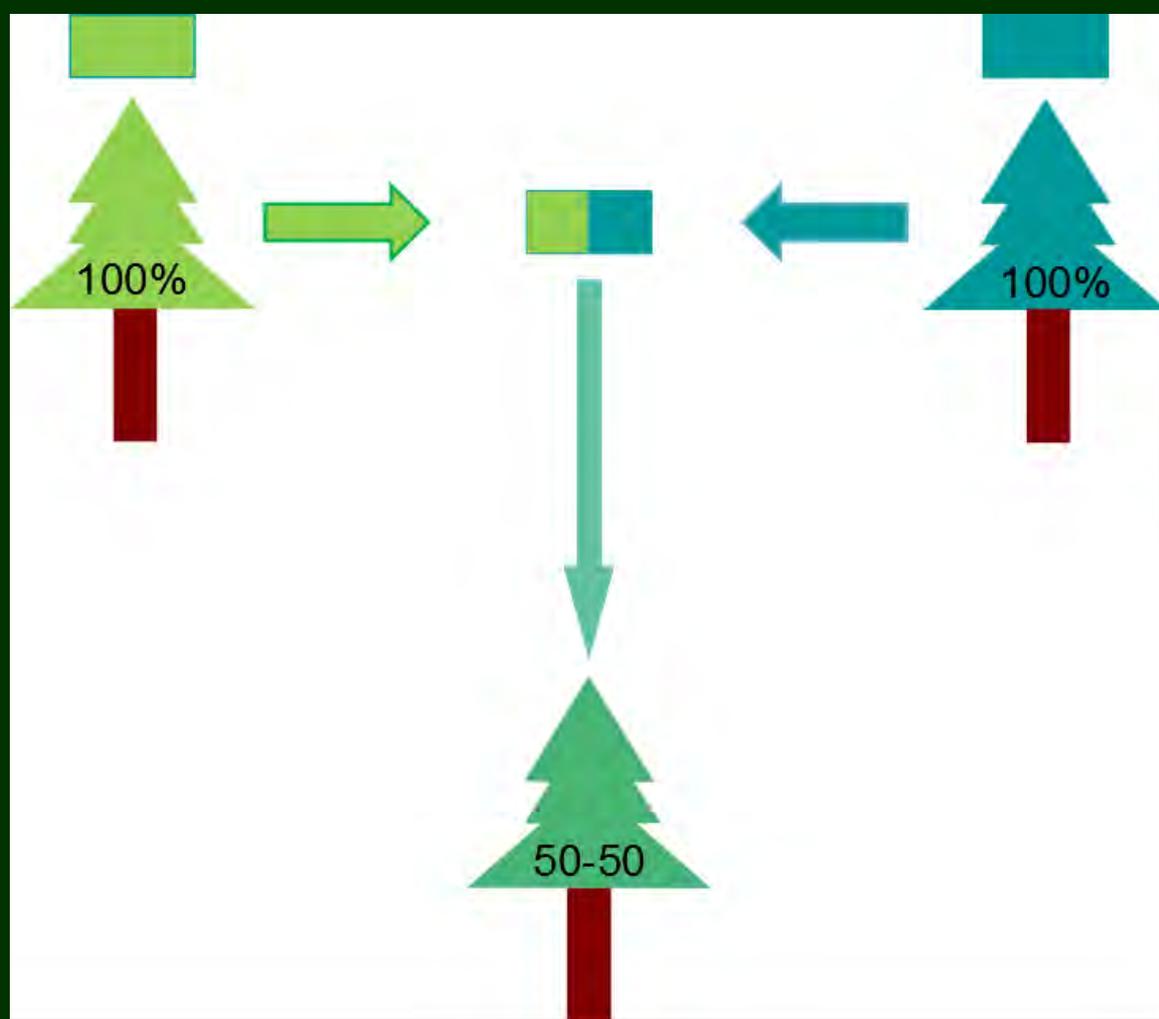
# Hybridation

Reproduction entre les membres de populations génétiquement distinctes



## Hybridation

Reproduction entre les membres de populations génétiquement distinctes, produisant une progéniture d'ascendance mélangée

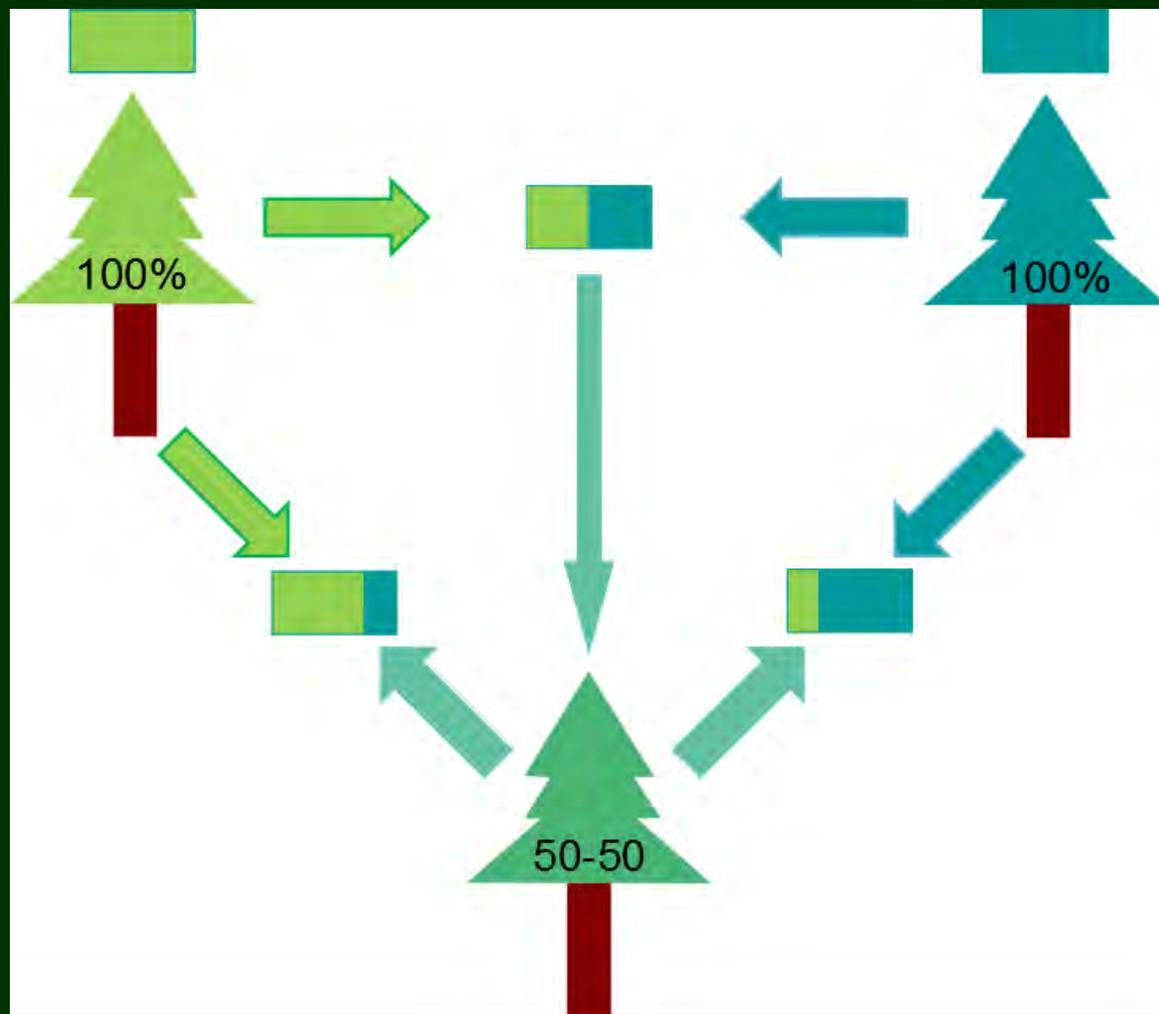


## Hybridation

Reproduction entre les membres de populations génétiquement distinctes, produisant une progéniture d'ascendance mélangée

## Introgression

Le résultat de l'hybridation et le rétrocroisement des hybrides avec les espèces parentales

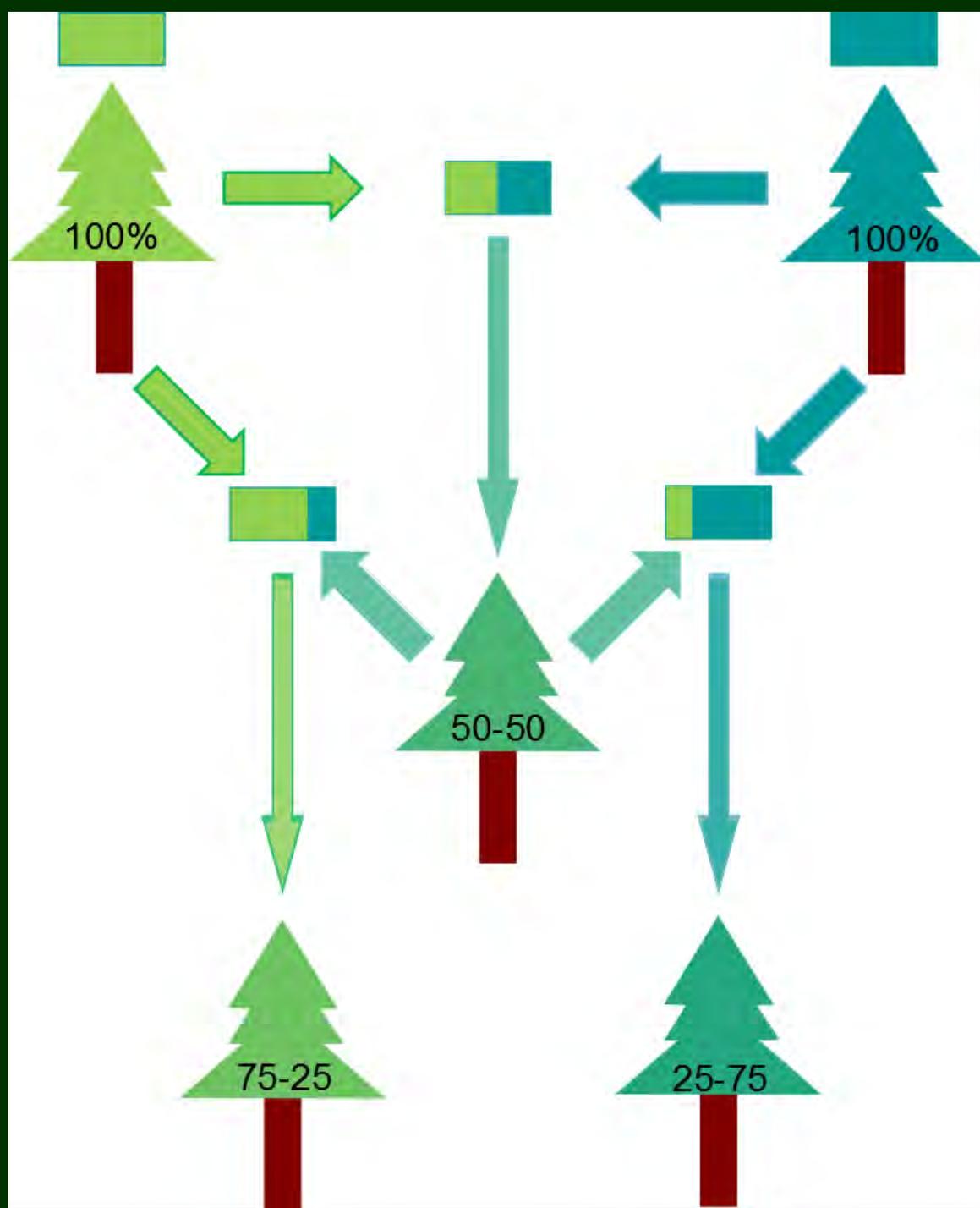


## Hybridation

Reproduction entre les membres de populations génétiquement distinctes, produisant une progéniture d'ascendance mélangée

## Introgression

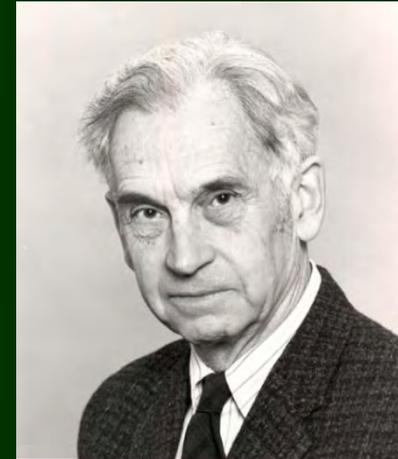
Le résultat de l'hybridation et le rétrocroisement des hybrides avec les espèces parentales



# Concept d'espèce

## **Concept biologique d'espèce (Mayr 1942, 1963)**

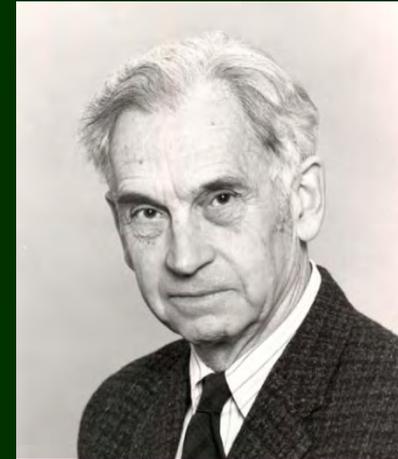
Groupe d'individus pouvant se reproduire entre eux mais qui ne peuvent se reproduire avec de tels autres groupes (alors reconnus comme des 'espèces' distinctes)



# Concept d'espèce

## Concept biologique d'espèce (Mayr 1942, 1963)

Groupe d'individus pouvant se reproduire entre eux mais qui ne peuvent se reproduire avec de tels autres groupes (alors reconnus comme des 'espèces' distinctes)



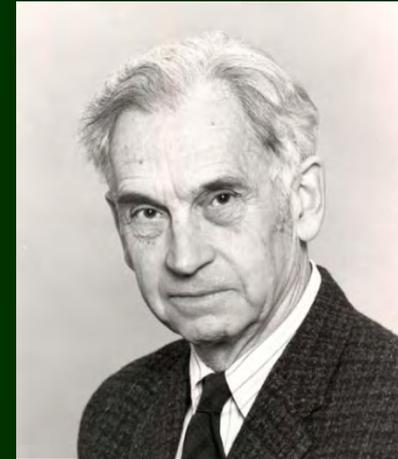
Implique une  
complète absence de  
reproduction  
interspécifique en  
milieu naturel



# Concept d'espèce

## Concept biologique d'espèce (Mayr 1942, 1963)

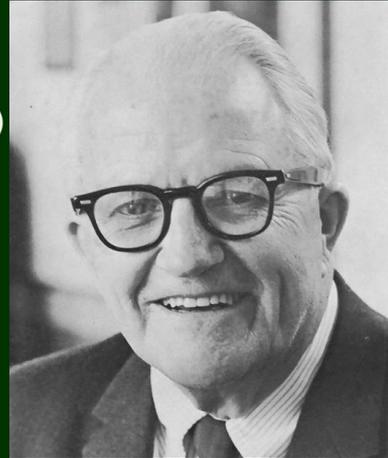
Groupe d'individus pouvant se reproduire entre eux mais qui ne peuvent se reproduire avec de tels autres groupes (alors reconnus comme des 'espèces' distinctes)



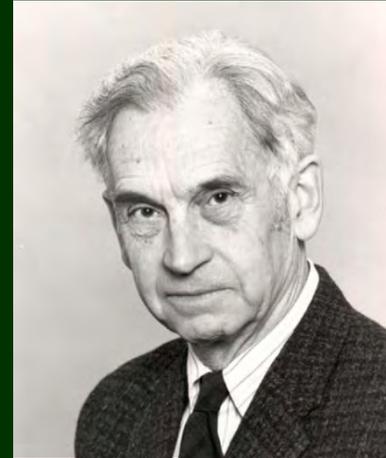
Implique une  
complète absence de  
reproduction  
interspécifique en  
milieu naturel



# Introgression: deux vues s'opposent au XX<sup>ième</sup> siècle



hétérodoxie du botaniste VS orthodoxie du zoologiste



Ernst Mayr (1904-2005)  
*'the evolutionary importance of hybridization seems small in the better-known groups of animals'*

Edgar Anderson (1897-1969)  
*'all the readily detectable variation can be ascribed to introgression'*

*'We used to make fun of Edgar Anderson by saying that he was finding hybrids under every bush. Then we realized that even the bushes were hybrids'.*

Warren H. Wagner (1920-2000) dans Abbott *et al.* 2013 (Hybridization and speciation, *J Evol Biol*)

**Au moins 25% des 'espèces' végétales sont impliquées dans l'hybridation ou l'introgression avec d'autres 'espèces'** (Mallet 2005 *Trends Ecol Evol*)

## Problème

En définissant l'espèce par son incapacité à se reproduire avec d'autres espèces, en toute logique, l'hybridation et l'introggression ne peuvent pas exister!!!

La majorité des concepts théoriques d'espèce abordent maladroitement l'échange de gènes entre espèces



## Solution

Le concept biologique d'espèce suppose l'isolement des génomes entiers (architecture génomique coadaptée = homogénéité du génome)

### Concept génique d'espèce (Wu 2001 *J Evol Biol*)

- Au niveau génomique, la barrière à la reproduction interspécifique est semi-perméable au flux de gènes
- Les espèces peuvent se différencier malgré un échange de gènes affectant la majeure partie de leur génome (hétérogénéité du génome)

Les approches en génomique des populations permettent l'identification des 'gènes de spéciation'

- gènes soumis à sélection divergente,
- gènes résistants à l'hybridation,
- gènes impliqués dans des fonctions biologiques adaptatives,
- incompatibilités génétiques

## Objectif

Tester le concept génique d'espèce chez *Picea mariana* et *Picea rubens*.

Évaluer l'hétérogénéité des patrons d'introggression à plusieurs gènes candidats dans la zone de sympatrie.

## Hypothèse

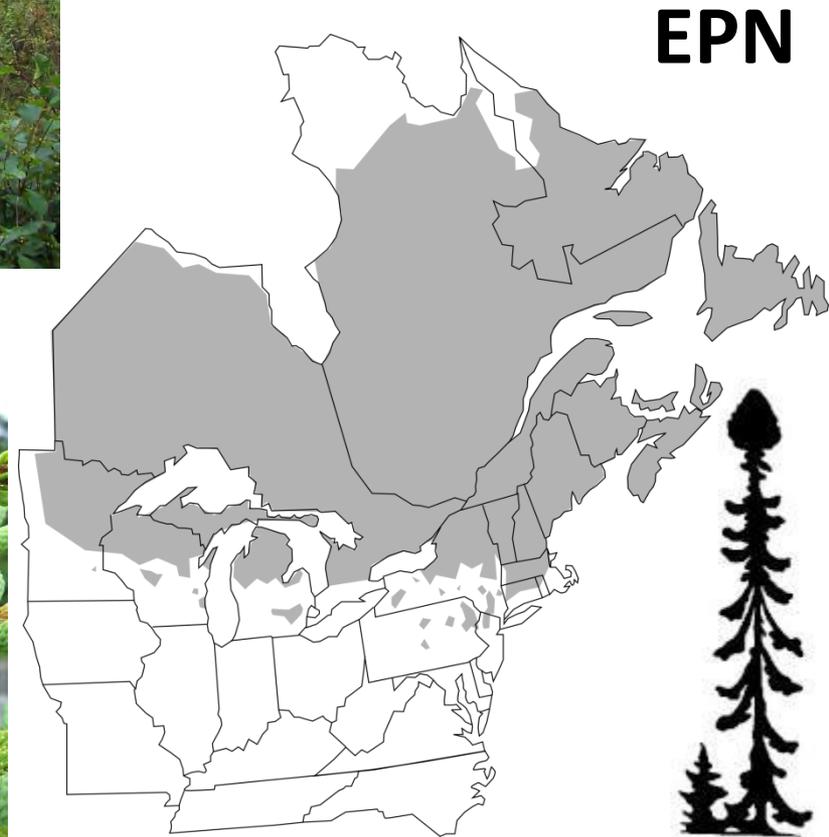
Une barrière génomique semi-perméable à la reproduction interspécifique sera révélée par des loci indicateurs de

- Régions génomiques hermétiques à l'introggression
- Régions génomiques qui introgressent librement



## *Picea mariana*

- Pionnière (peuplements équiens après feu)
- Sols humides/organiques
- Répartition: Transcontinentale boréale

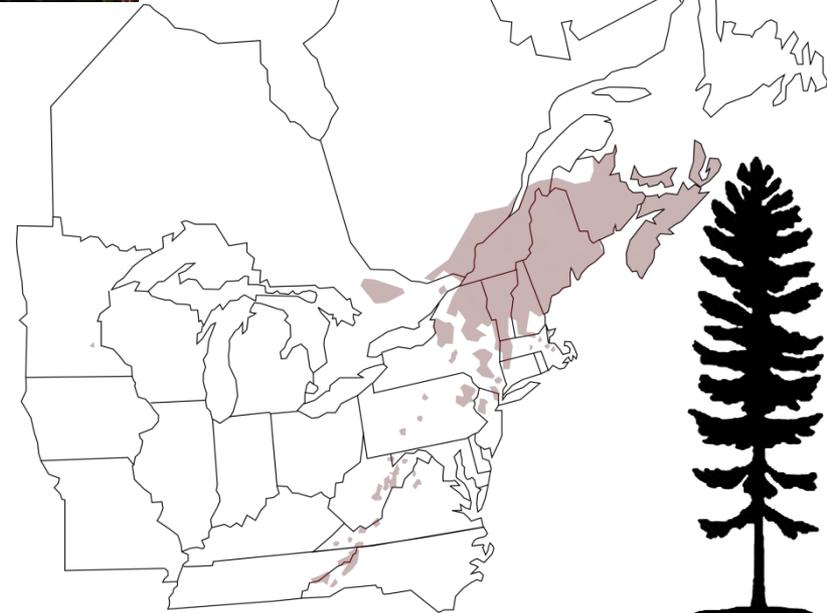




## *Picea rubens*

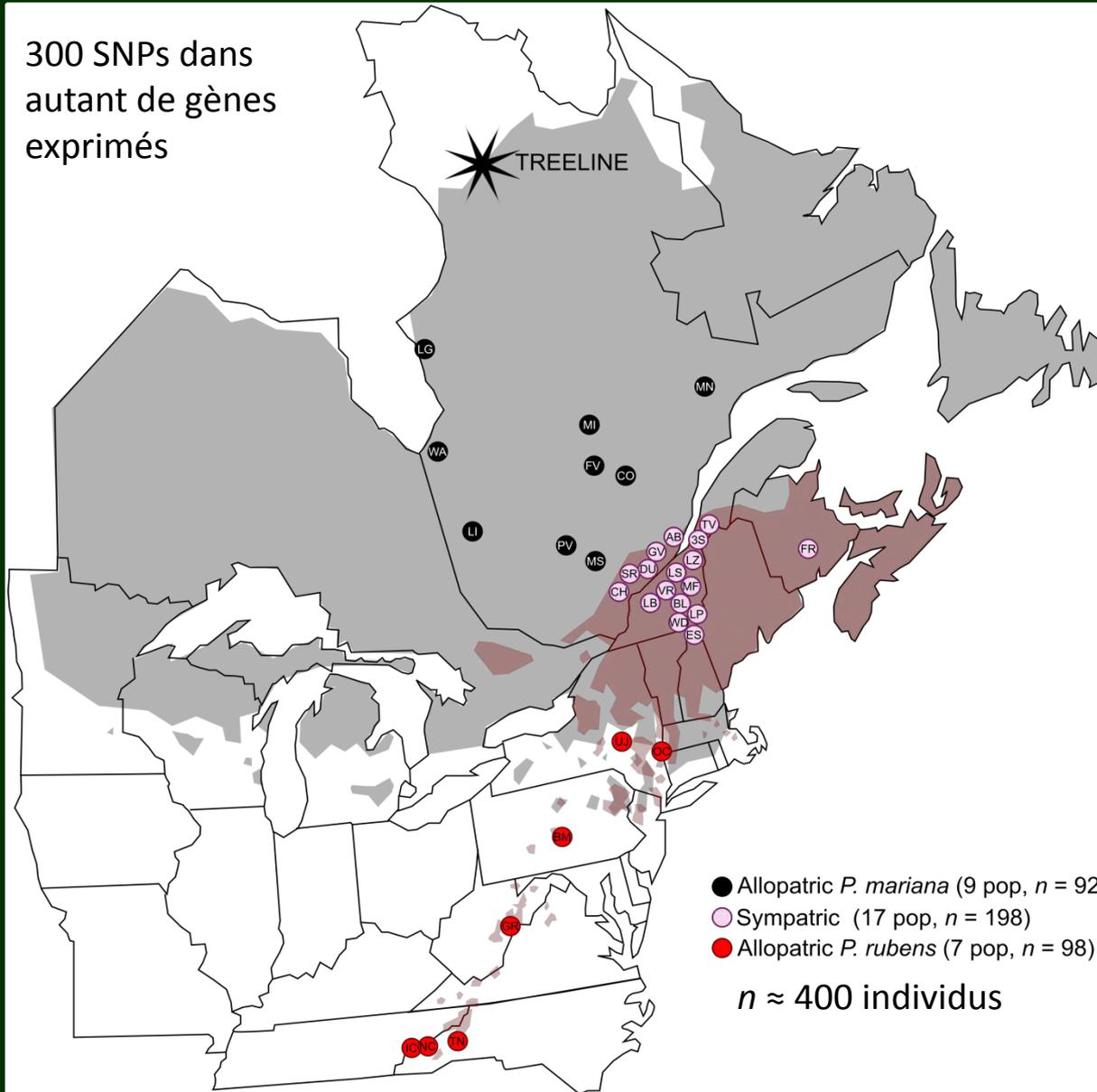
- Climacique (peuplements inéquiens)
- Sols bien drainés
- Répartition : Appalaches (forêt montagnarde), Maritimes (forêt acadienne), vallée du St-Laurent (forêt mixte)

**EPR**

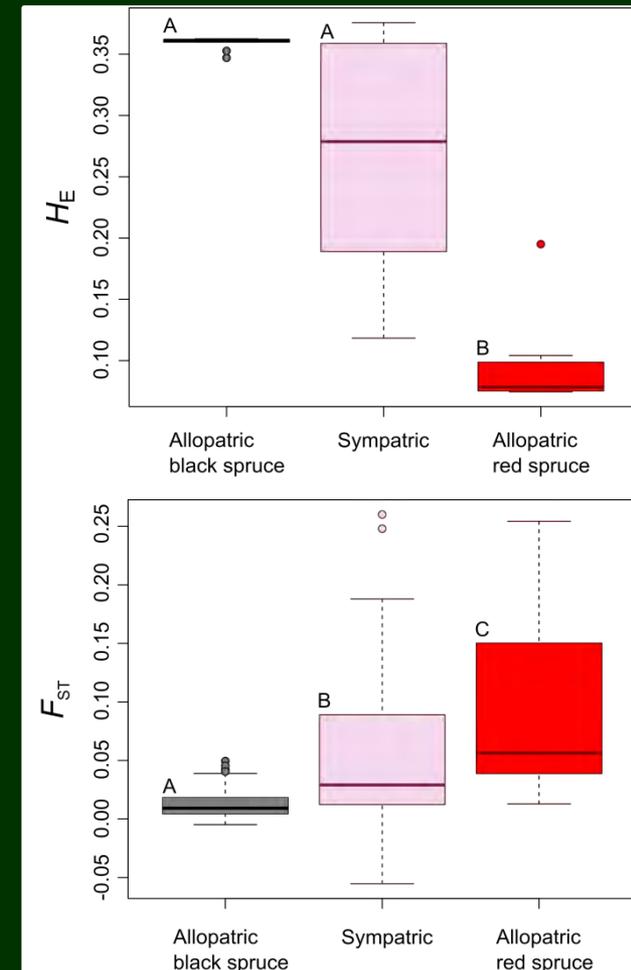


# Échantillonnage

300 SNPs dans  
autant de gènes  
exprimés



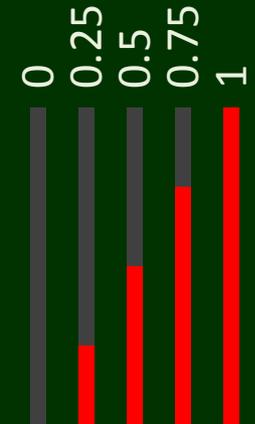
- Spéciation d'origine récente.
- EPR dérive d'EPN.
- Isolement glaciaire au Pléistocène.
- Contact secondaire depuis l'Holocène tardif.



# Structure génétique des populations

## STRUCTURE

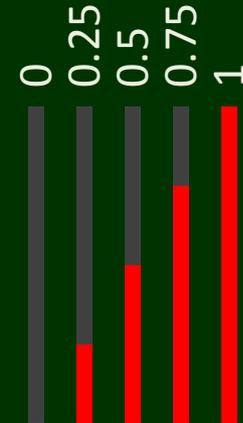
- Détermine le nombre de groupes génétiques ( $k = 2$ )
- Assigne à chaque individu une proportion d'ascendance à chacun des groupes (hybrid index)



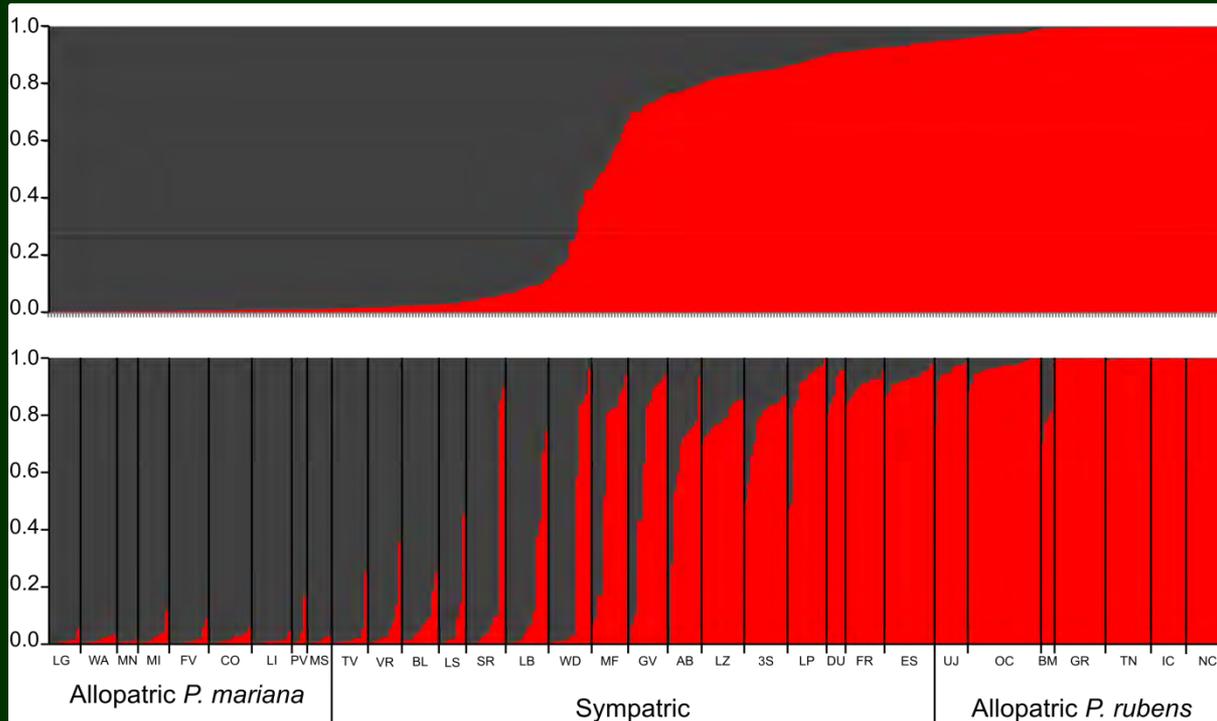
# Structure génétique des populations

## STRUCTURE

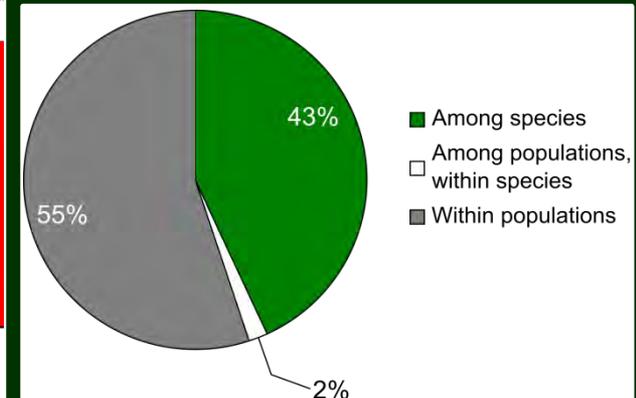
- Détermine le nombre de groupes génétiques ( $k = 2$ )
- Assigne à chaque individu une proportion d'ascendance à chacun des groupes (hybrid index)



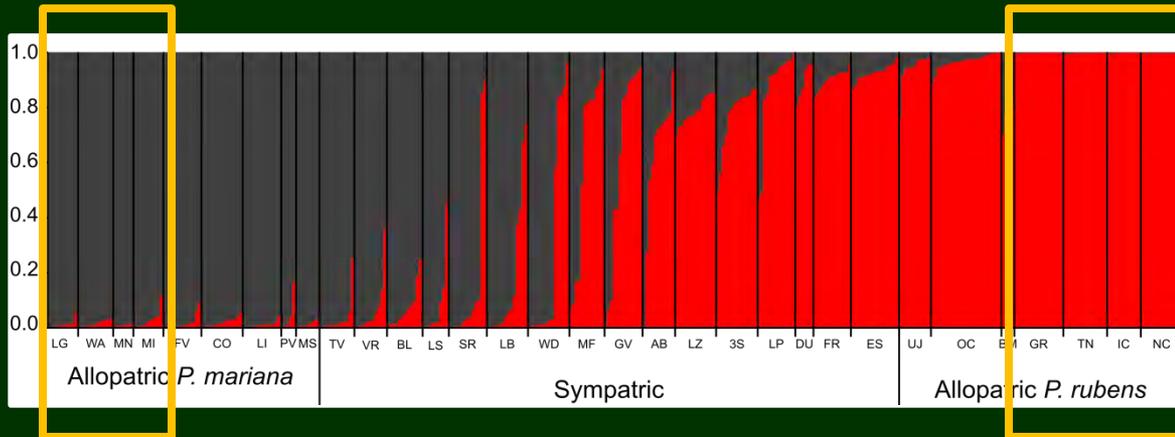
## Ascendance de chaque individu au niveau multilocus



## AMOVA zones allopatriques

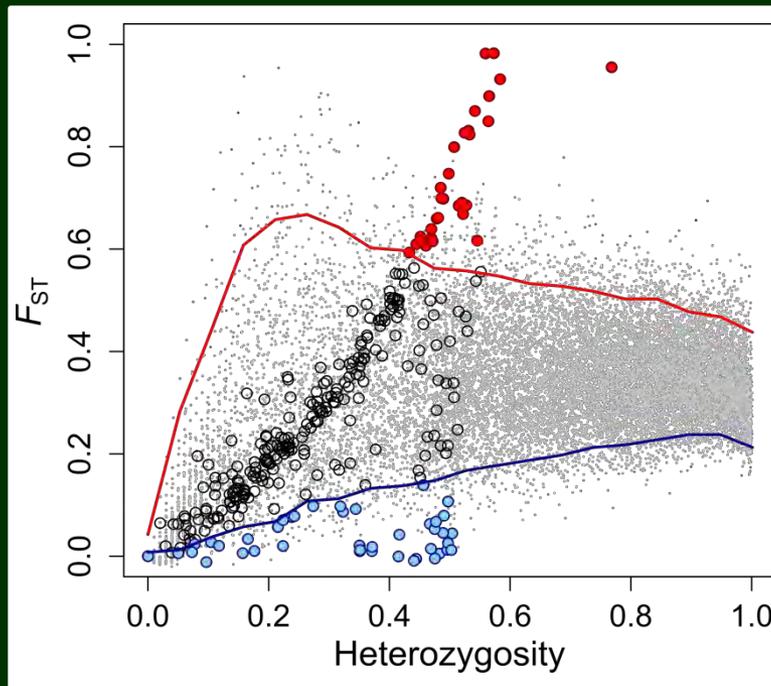


# Balayage génomique 1: $F_{ST}$ outliers



Calcul de la différenciation interspécifique à chaque locus

Comparaison avec une distribution nulle des  $F_{ST}$

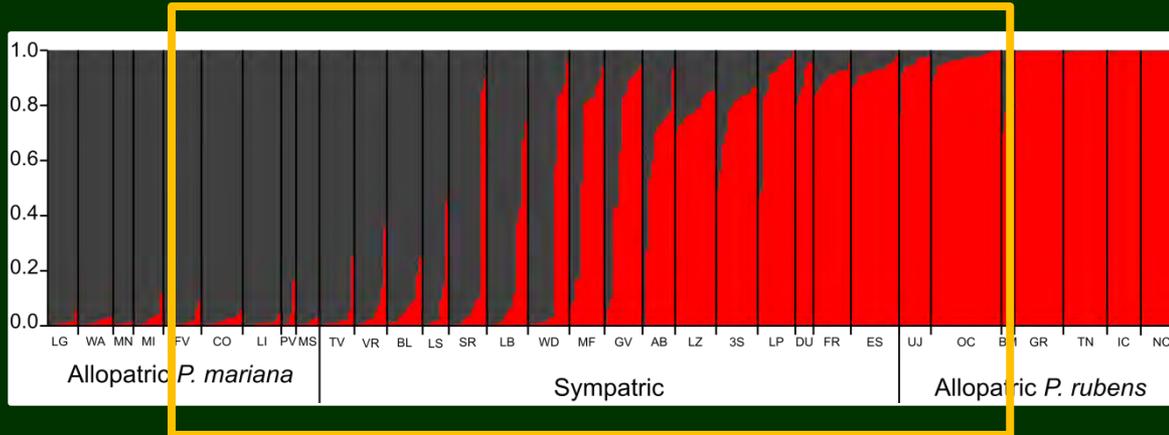


31 loci significativement plus différenciés

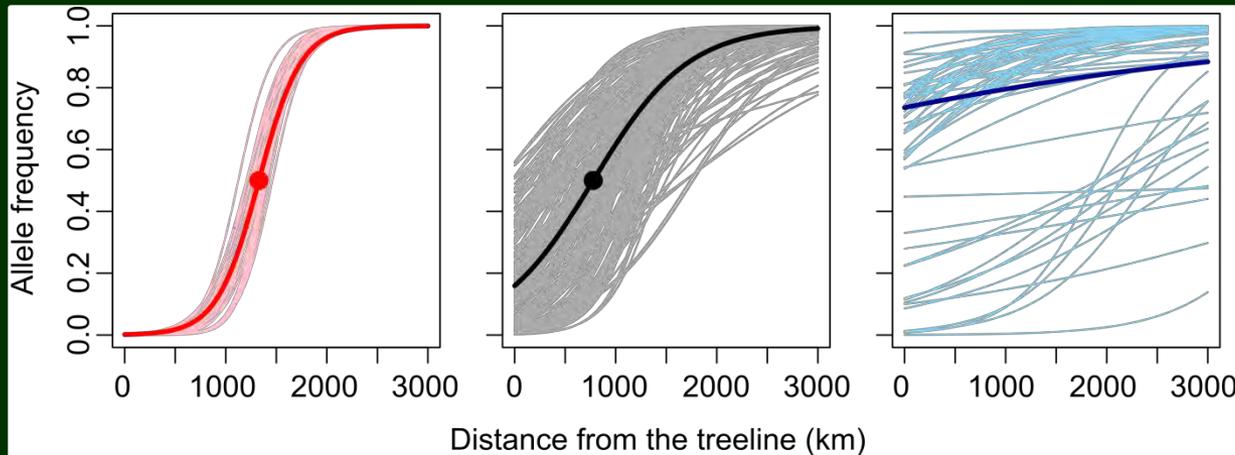
231 loci neutres

41 loci significativement moins différenciés

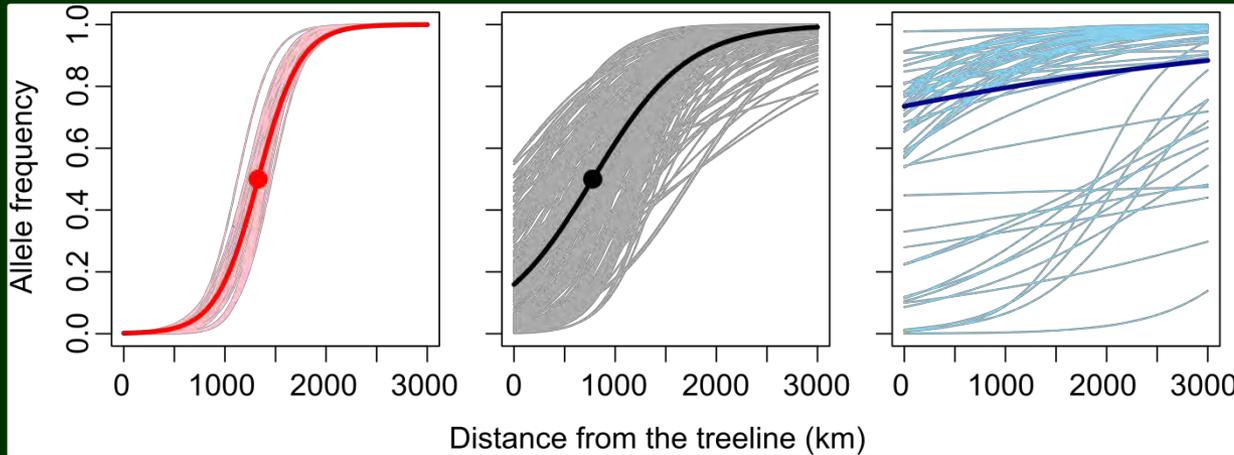
# Balayage génomique 2: Clines géographiques



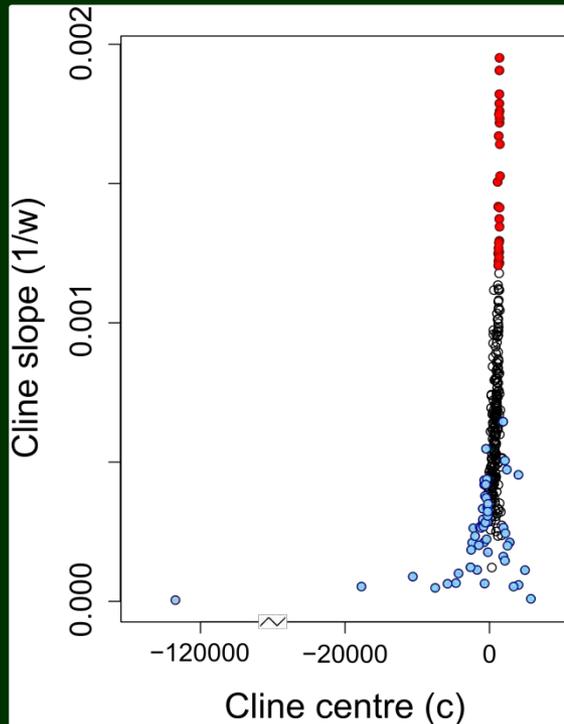
À chaque locus, le changement des fréquences alléliques en traversant la zone de contact décrit un cline (courbe sigmoïdale) dont la forme permet d'estimer la force de la sélection



# Balayage génomique 2: Clines géographiques



Outliers multivariés:  
Comparaison des paramètres des courbes sigmoïdales pour détecter les clines significativement différents.

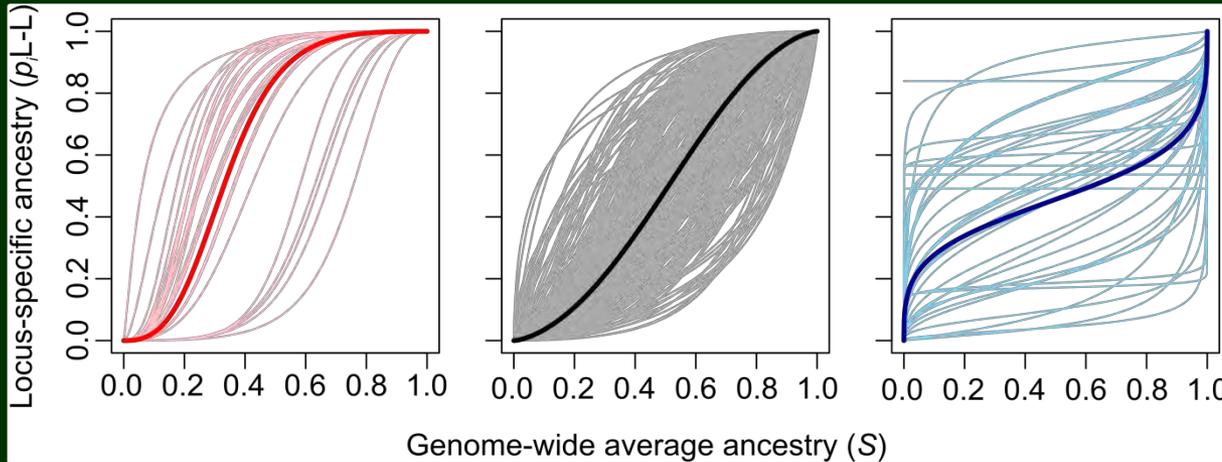


27 clines significativement plus abruptes

219 loci neutres

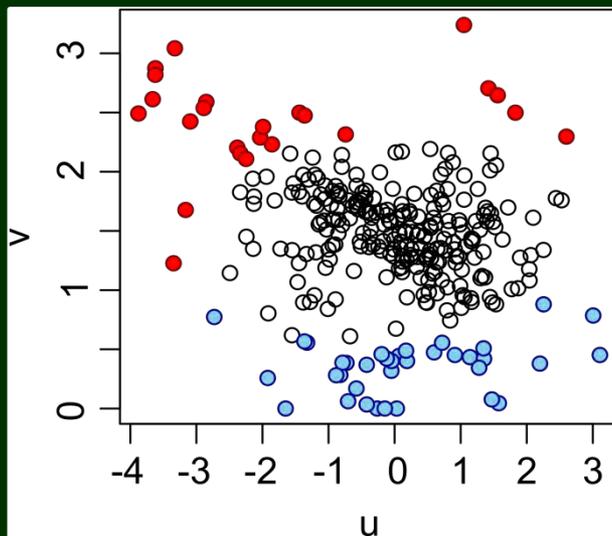
53 clines significativement moins abruptes

# Balayage génomique 3: Clines génomiques



À chaque locus, on met en relation le mélange interspécifique observé au locus par rapport au background génomique moyen (ascendance multilocus)

Outliers multivariés pour détecter les clines significativement différents



24 clines significativement plus abruptes

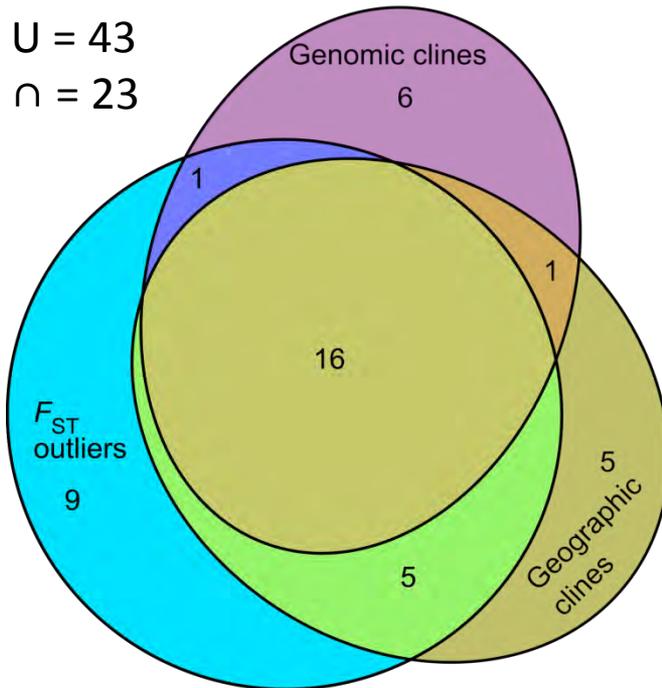
237 loci neutres

36 clines significativement moins abruptes

# Approche intégrative: Union / intersection des méthodes

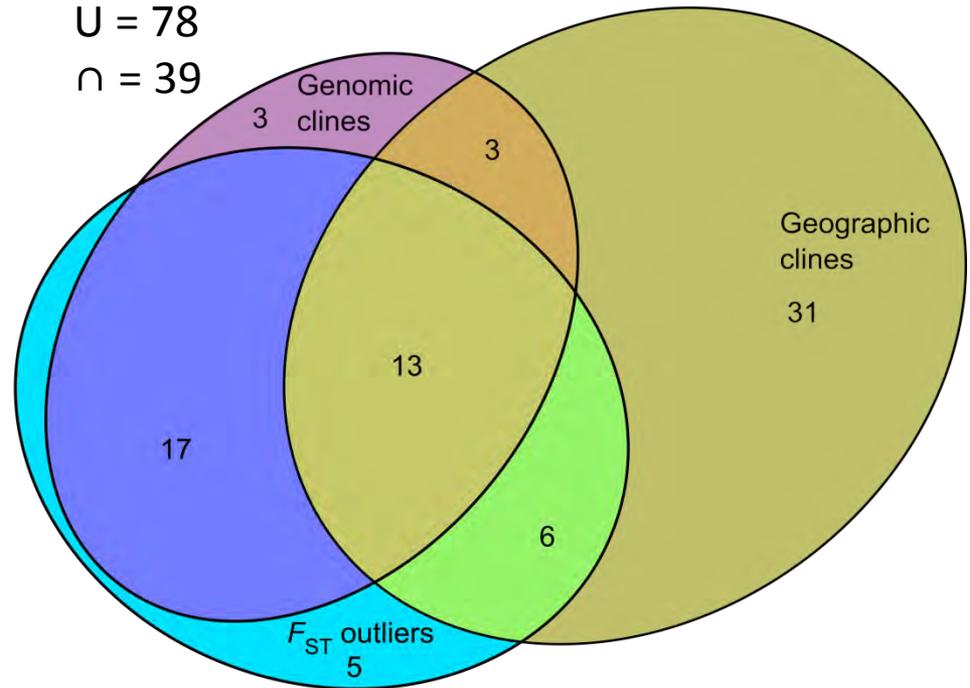
## Impermeable loci

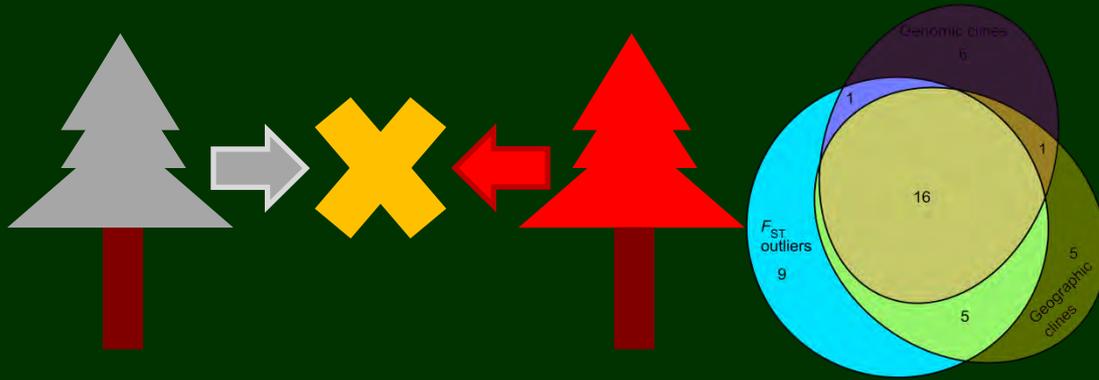
$U = 43$   
 $n = 23$



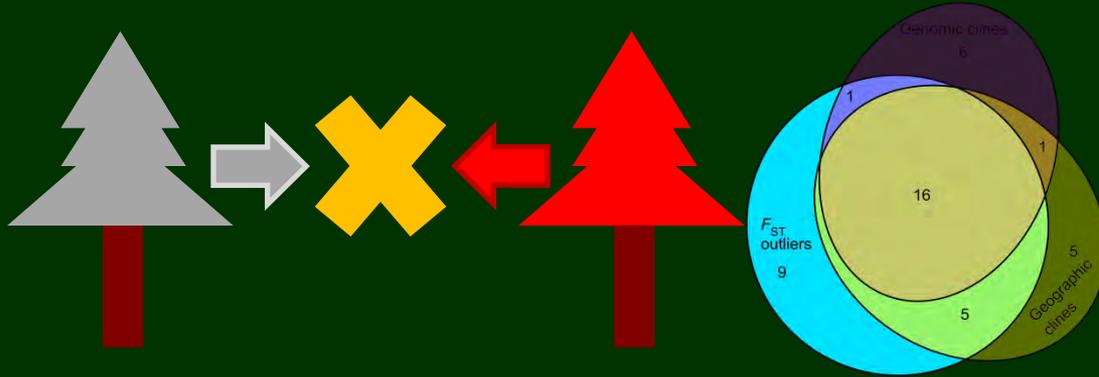
## Highly permeable loci

$U = 78$   
 $n = 39$

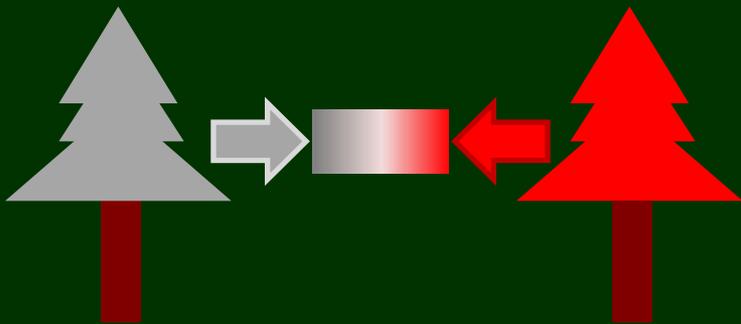




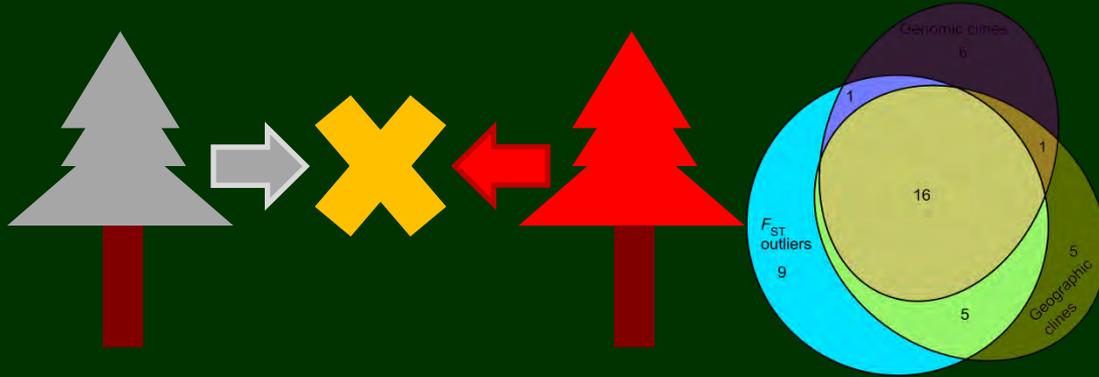
Quelques loci (23)  
imperméables, sous  
sélection divergente, et  
impliqués dans la  
délimitation d'espèce.



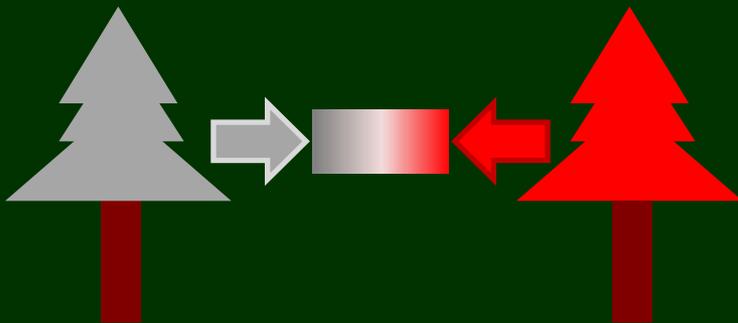
Quelques loci (23)  
impermeables, sous  
sélection divergente, et  
impliqués dans la  
délimitation d'espèce.



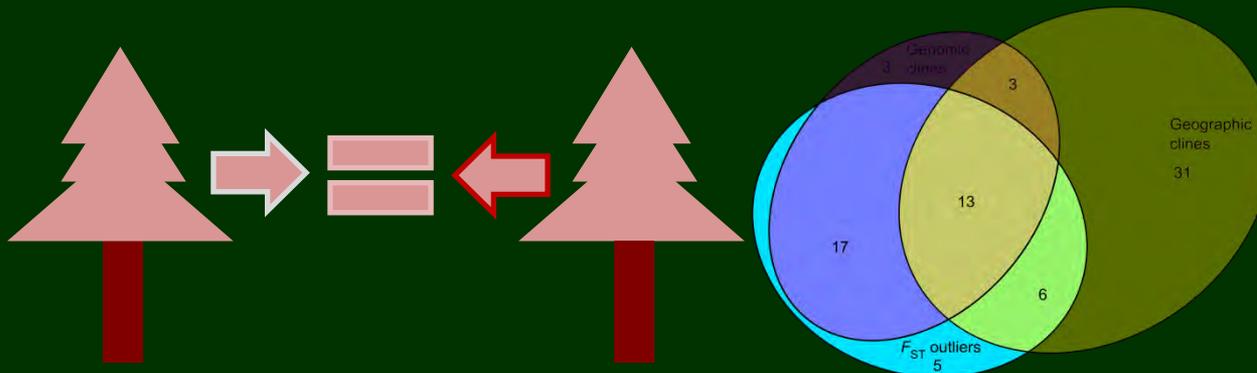
Une majorité de loci (238)  
neutres et 'poreux',  
soumis aux aléas de la  
démographie des deux  
espèces.



Quelques loci (23) imperméables, sous sélection divergente, et impliqués dans la délimitation d'espèce.



Une majorité de loci (238) neutres et 'poreux', soumis aux aléas de la démographie des deux espèces.



Plusieurs loci (39), très perméables, sous sélection stabilisante, et impliqués dans des fonctions communes aux deux espèces???

# Prochaines étapes

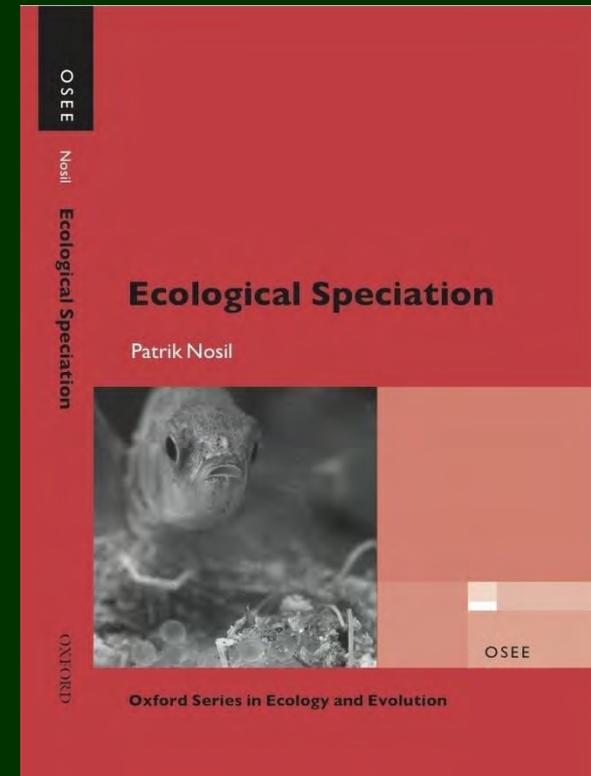
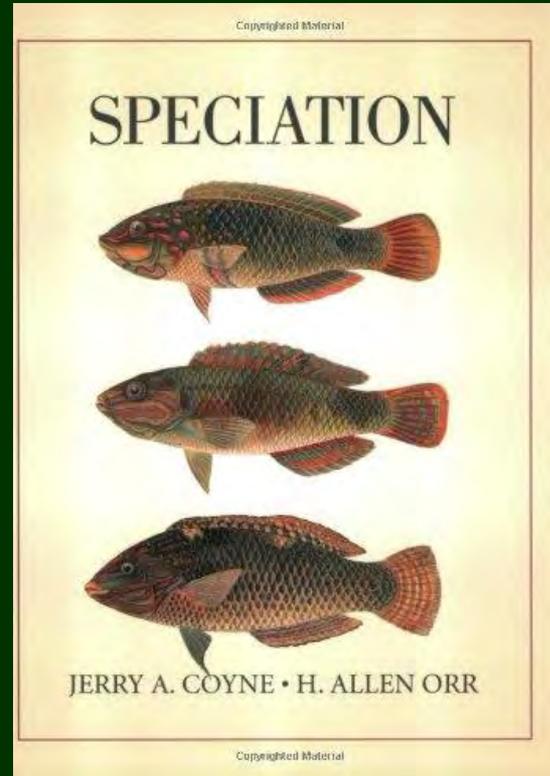
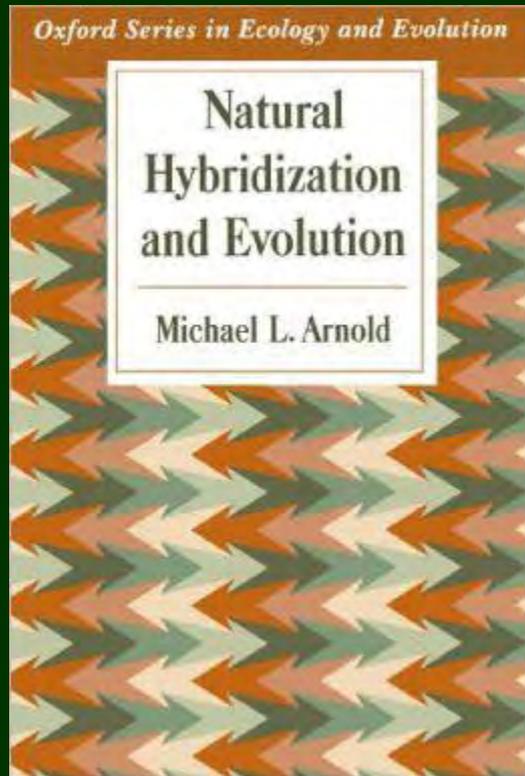
## Avec ce jeu de données

- Annotation fonctionnelle des loci sous sélection: lien avec des facteurs environnementaux
- Répartition des loci sous sélection sur la carte chromosomique
- Analyses multilocus en génétique des populations selon le type de marqueurs: diversité et structure génétique, asymétrie de l'introgession, etc...

## Avec cette approche

Diagnostiquer le commencement de la spéciation: Peut-on identifier de telles régions génomiques imperméables dans les zones de sutures entre deux lignées postglaciaires d'une même espèce?

# Hybridation & spéciation



Courriel: [guillaume.delafontaine@gmail.com](mailto:guillaume.delafontaine@gmail.com)