

# Camille Roux

## Projet : ÉVOLUTION EXPÉRIMENTALE DE LA SPÉCIATION

**2007 – 2010** : Doctorat (Lille 1)

**Génomique de la spéciation** chez *Arabidopsis*

Xavier Vekemans et Vincent Castric

**2011 – 2013** : post-doctorat (Montpellier 2)

**Génomique comparative de la spéciation**

Nicolas Galtier et Nicolas Bierne

**2013 – 2016** : post-doctorat (Lausanne)

**Spéciation et polyploidisation**

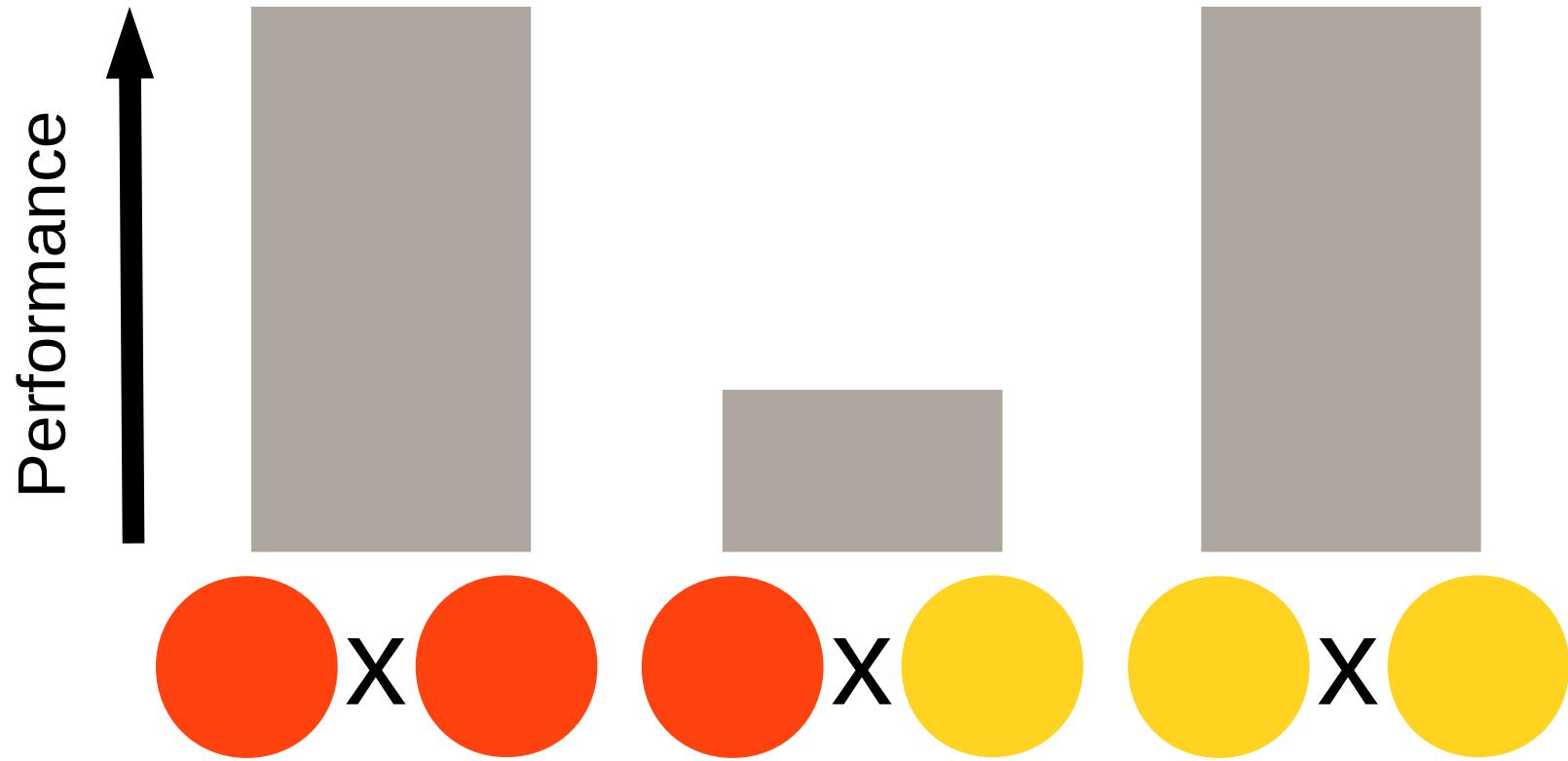
John Pannell

**2017 – 2019** : post-doctorat (Cambridge UK)

**Introgession adaptative**

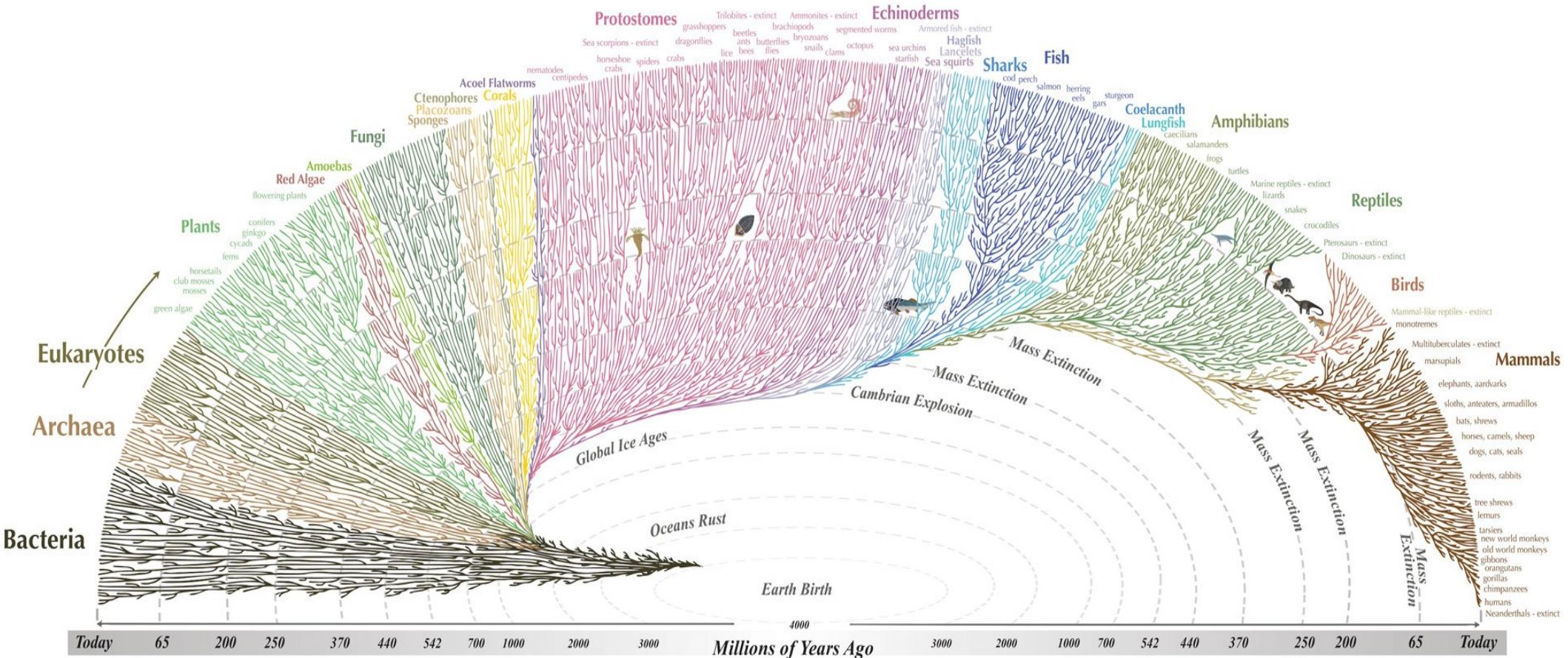
Chris Jiggins

# SPÉCIATION: ACCUMULATION DE BARRIÈRES GÉNOMIQUES



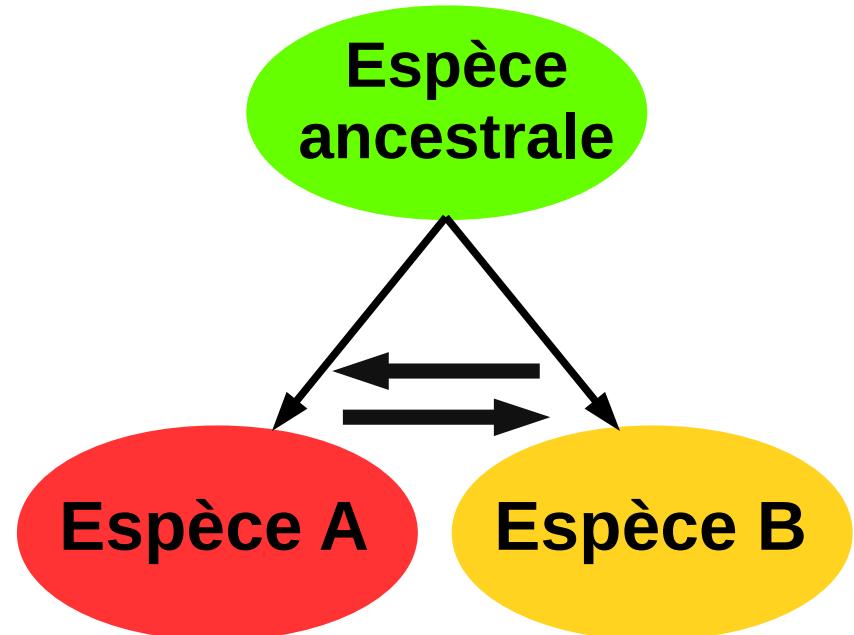
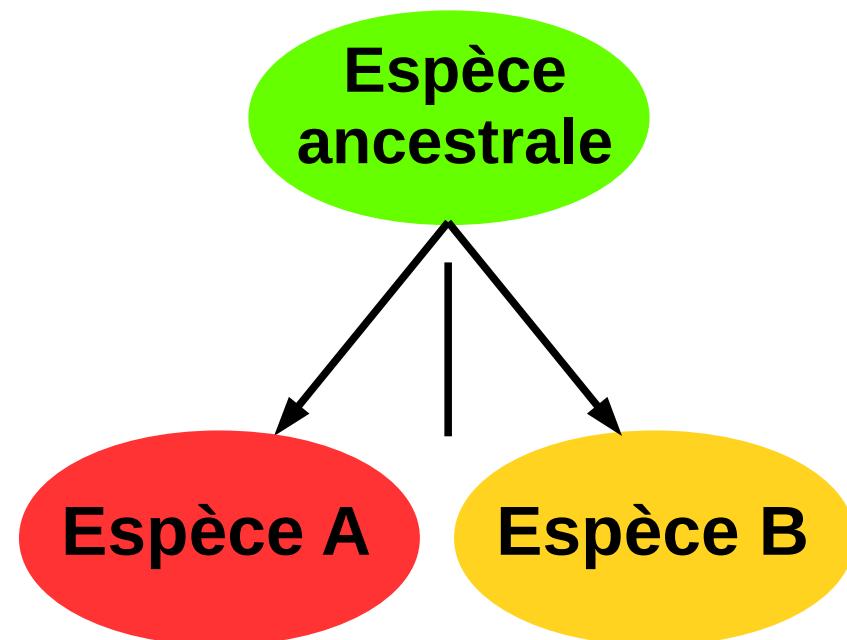
Performances intra-espèce > Performances des hybride

# SPÉCIATION: ACCUMULATION DE BARRIÈRES GÉNOMIQUES



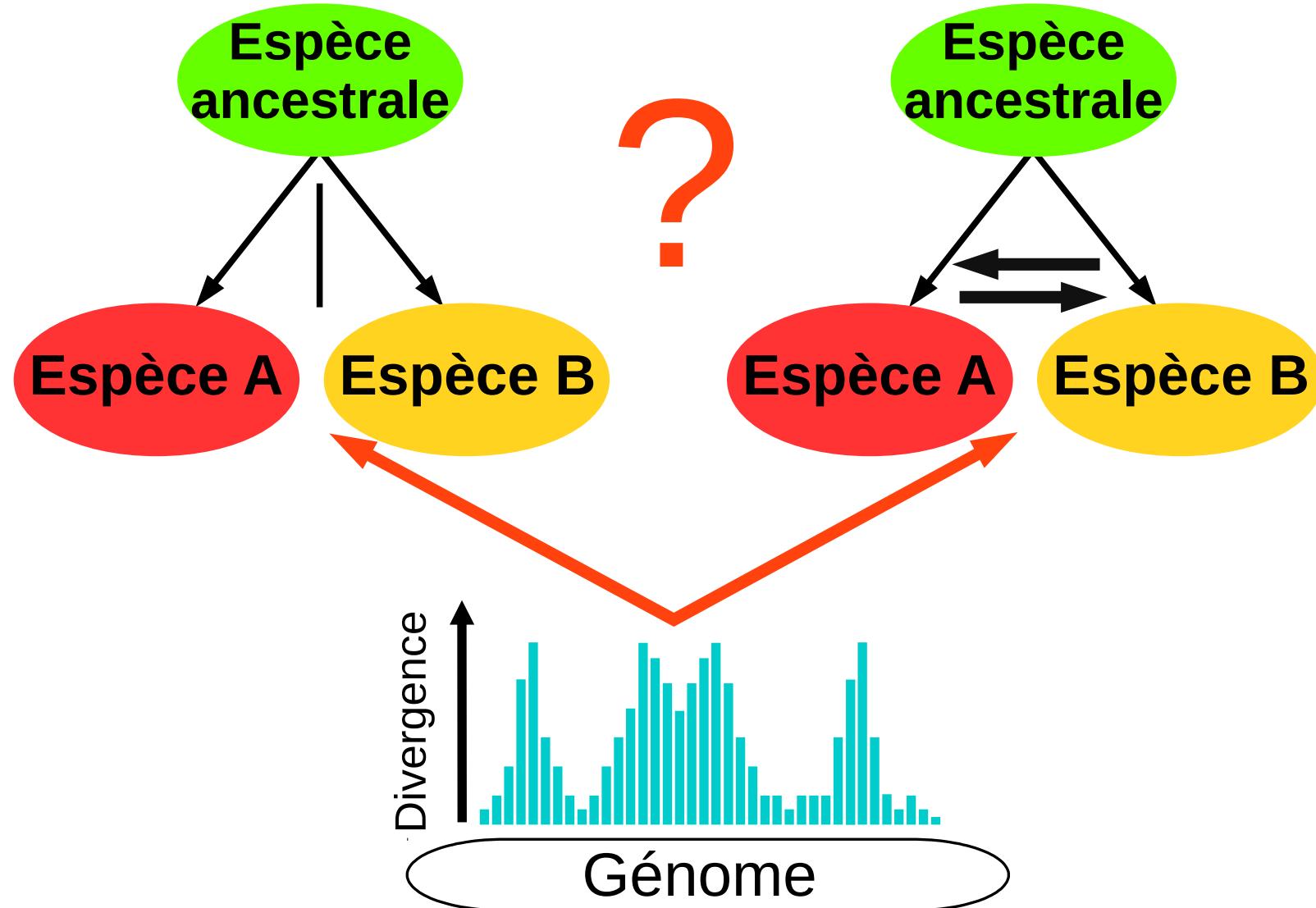
Les barrières maintiennent la diversité du vivant

# DANS QUEL CONTEXTE HISTORIQUE APPARAISSENT LES BARRIÈRES ?



Endler (1977) Barton & Hewitt (1985)  
Noor & Bennett (2009) Bierne et al (2013) Cruickshank & Hahn (2014)

# DANS QUEL CONTEXTE HISTORIQUE APPARAISSENT LES BARRIÈRES ?

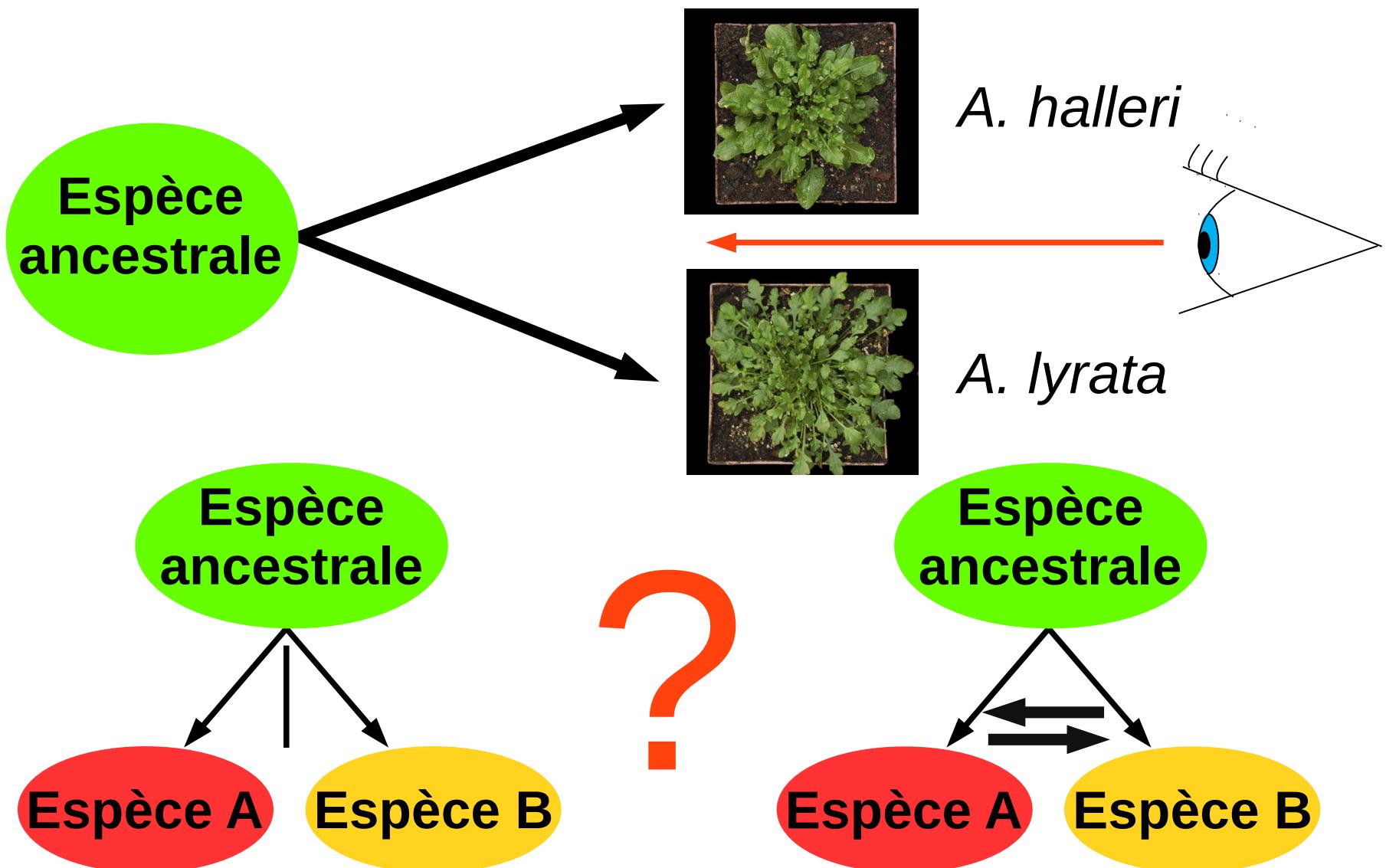


Thèse et postdoc : approche *a posteriori* pour comparer des scénarios alternatifs

Endler (1977) Barton & Hewitt (1985)

Noor & Bennett (2009) Bierne et al (2013) Cruickshank & Hahn (2014)

# ÉTUDIER LA SPÉCIATION : APPROCHES *A POSTERIORI*

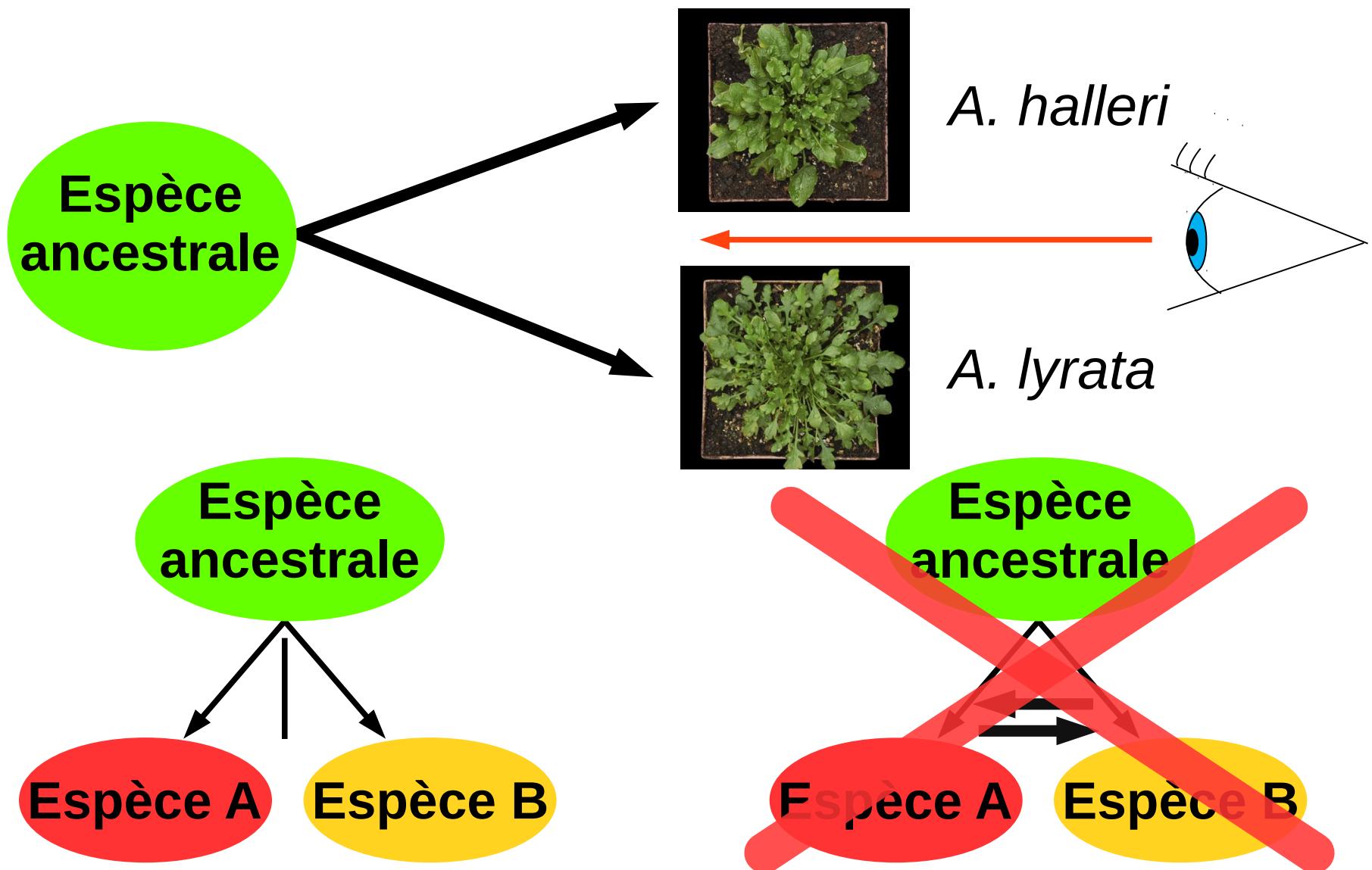


Doctorat à Lille : 2007 à 2010 (Vincent Castric et Xavier Vekemans)

Roux et al., 2011, *PLOS ONE* (I.F = 3,234)

Roux et al., 2012, *Molecular Biology and Evolution* (I.F = 13.649)

# ÉTUDIER LA SPÉCIATION : APPROCHES *A POSTERIORI*

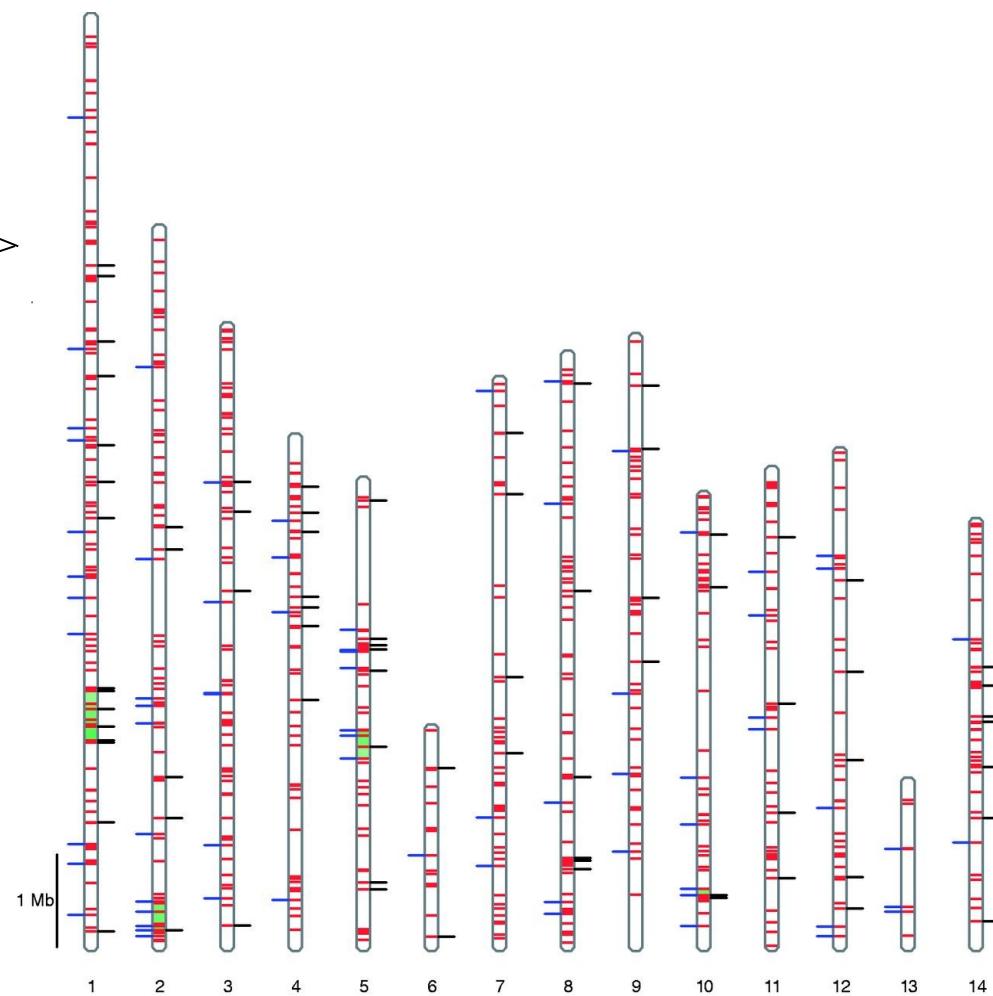
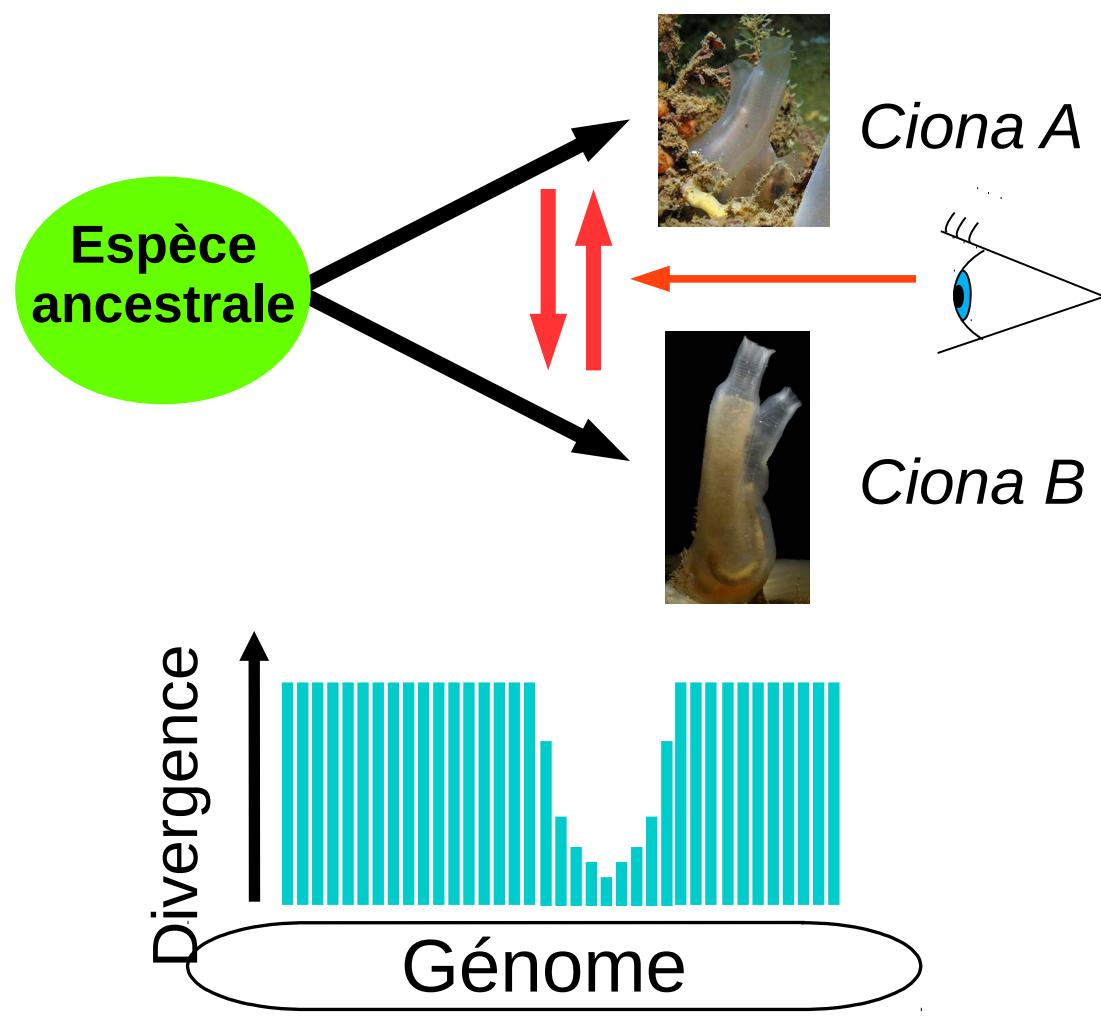


Doctorat à Lille : 2007 à 2010 (Vincent Castric et Xavier Vekemans)

Roux et al., 2011, *PLOS ONE* (I.F = 3,234)

Roux et al., 2012, *Molecular Biology and Evolution* (I.F = 13.649)

# ÉTUDIER LA SPÉCIATION : APPROCHES *A POSTERIORI*



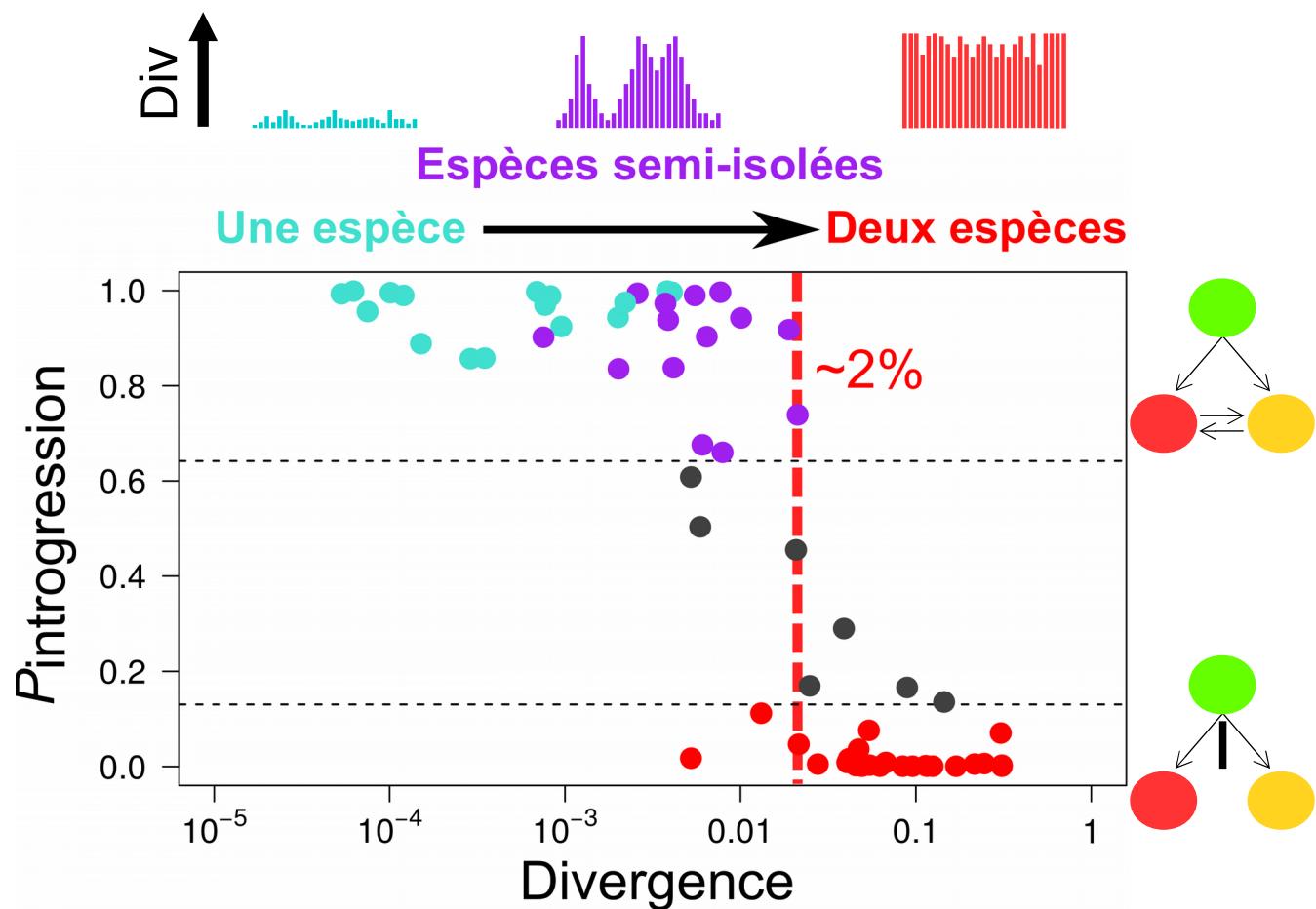
Post-doctorat à Montpellier: 2011 à 2012 (Nicolas Bierne et Nicolas Galtier)

Roux et al., 2013, *Molecular Biology and Evolution* (I.F = 13.649)

Roux et al., 2014, *Journal of Evolutionary Biology* (I.F = 3.483)

# ÉTUDIER LA SPÉCIATION : APPROCHES *A POSTERIORI*

61 paires d'espèces



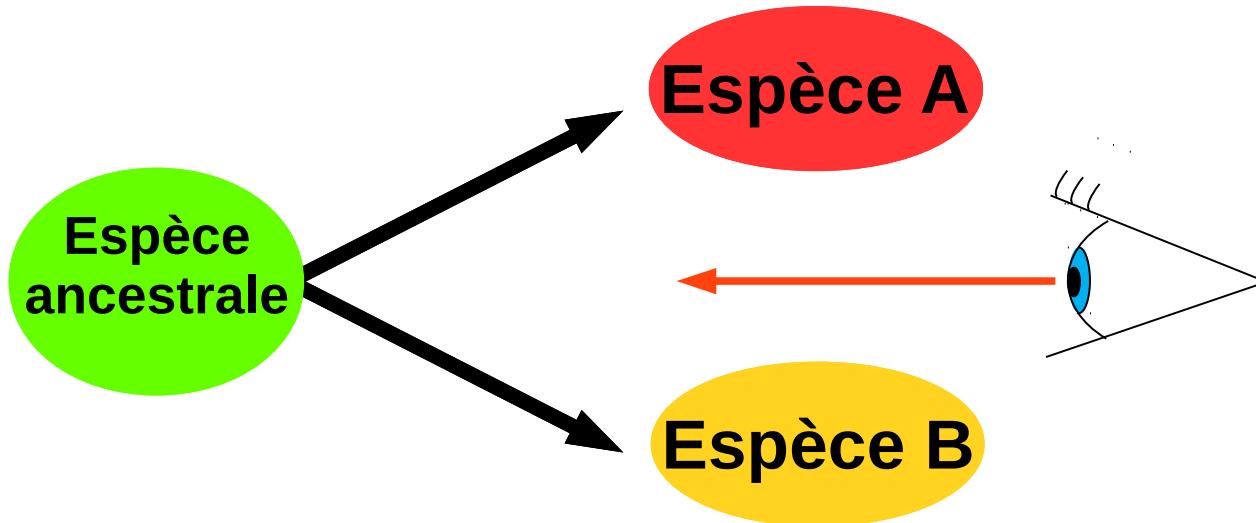
- 1) Horloge moléculaire de la spéciation
- 2) Aucun flux de gène en population naturelle au-delà de 2 %

Post-doctorat à Montpellier: 2011 à 2012 (Nicolas Bierne et Nicolas Galtier)

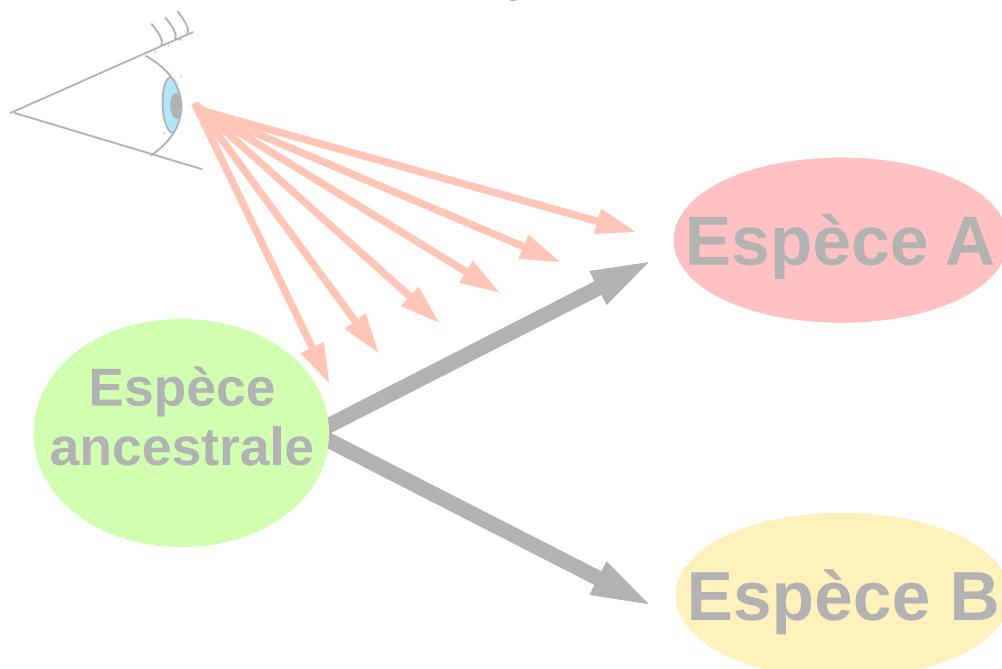
Roux et al., 2016, *PLOS Biology* (I.F = 9,343)

# ÉTUDIER LA SPÉCIATION

Approche adoptée pendant **doctorat et post-doctorat** :

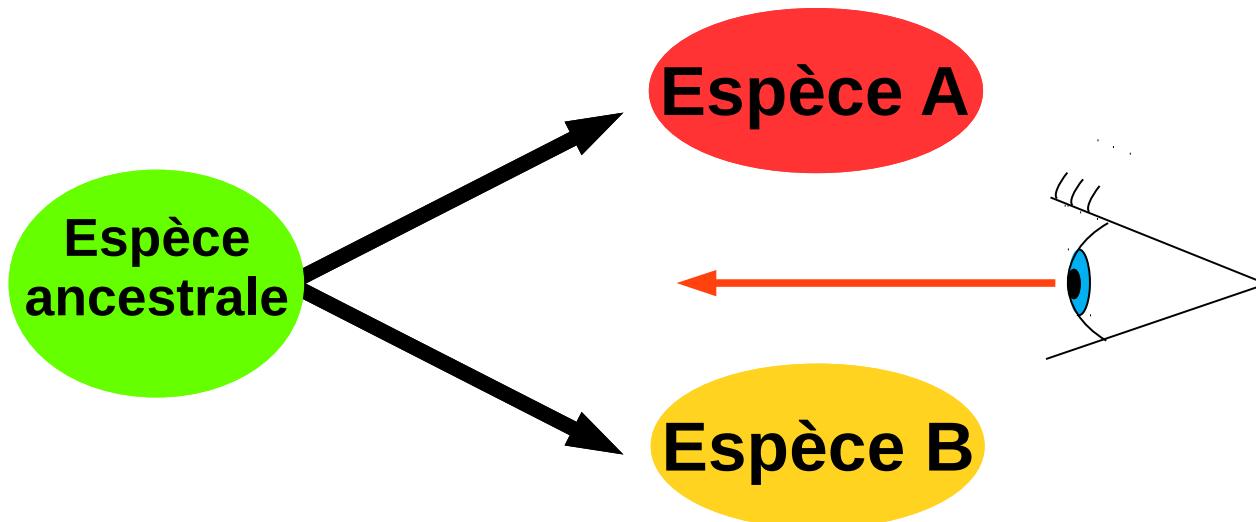


Projet CNRS : évolution expérimentale de la spéciation

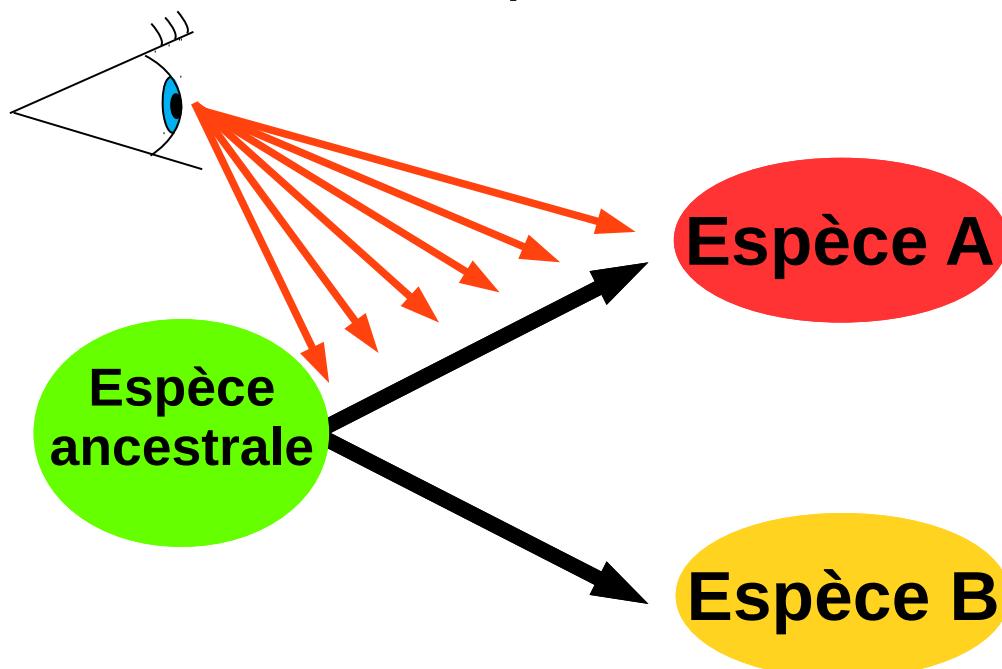


# ÉTUDIER LA SPÉCIATION

Approche adoptée pendant **doctorat et post-doctorat** :

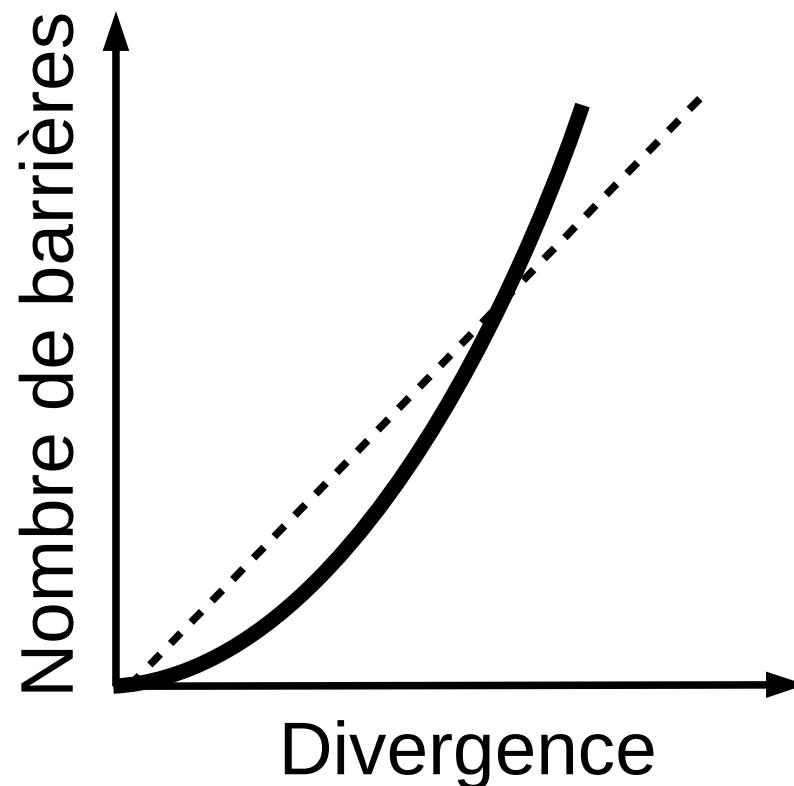


**Projet CNRS : évolution expérimentale de la spéciation**



# TAUX D'ACCUMULATION DES BARRIÈRES D'ESPÈCES

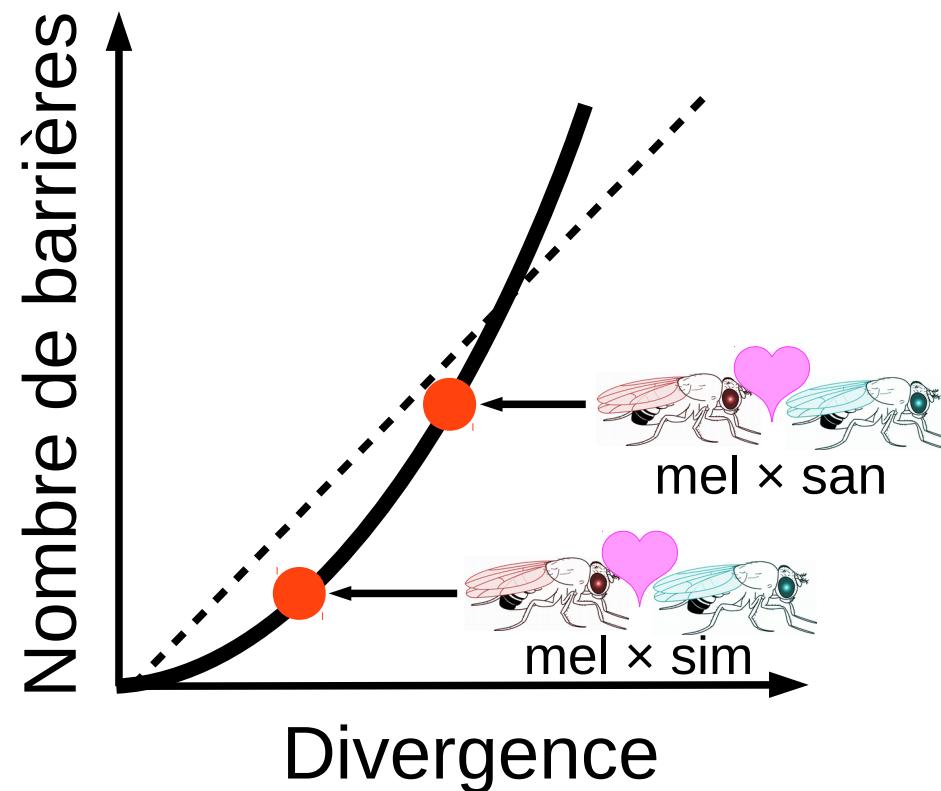
Effet « boule de neige »



**La théorie** → Probabilité qu'une nouvelle mutation soit une barrière **augmente plus vite que la divergence**

# TAUX D'ACCUMULATION DES BARRIÈRES D'ESPÈCES

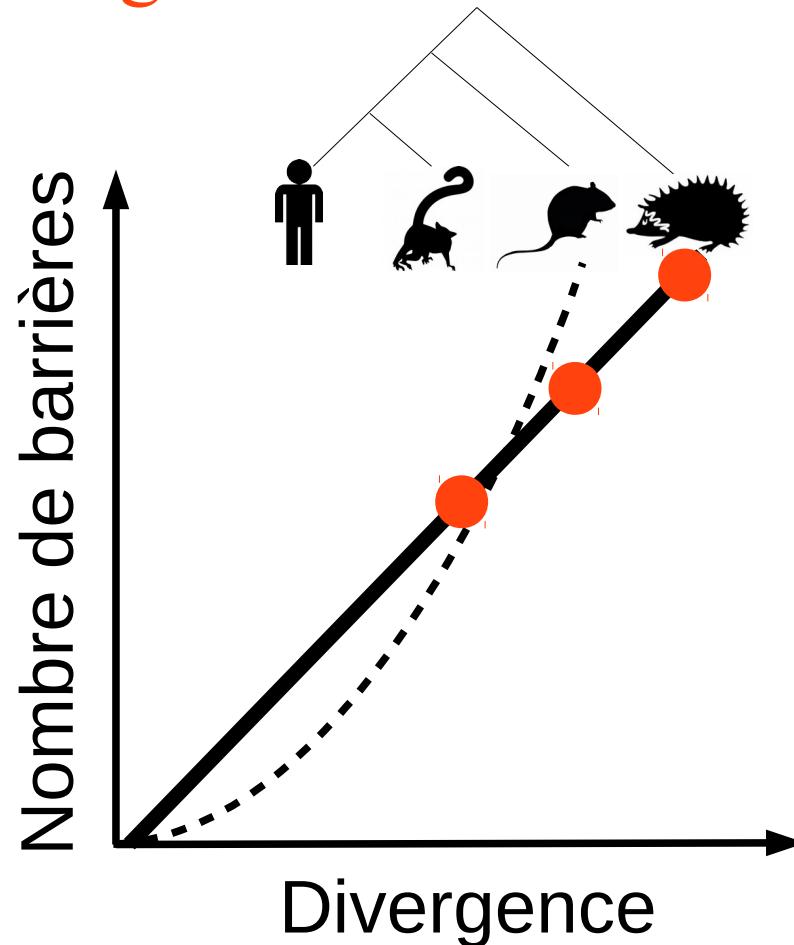
Effet « boule de neige » ?



**Mais** : testent relation avec deux observations temporelles

# TAUX D'ACCUMULATION DES BARRIÈRES D'ESPÈCES

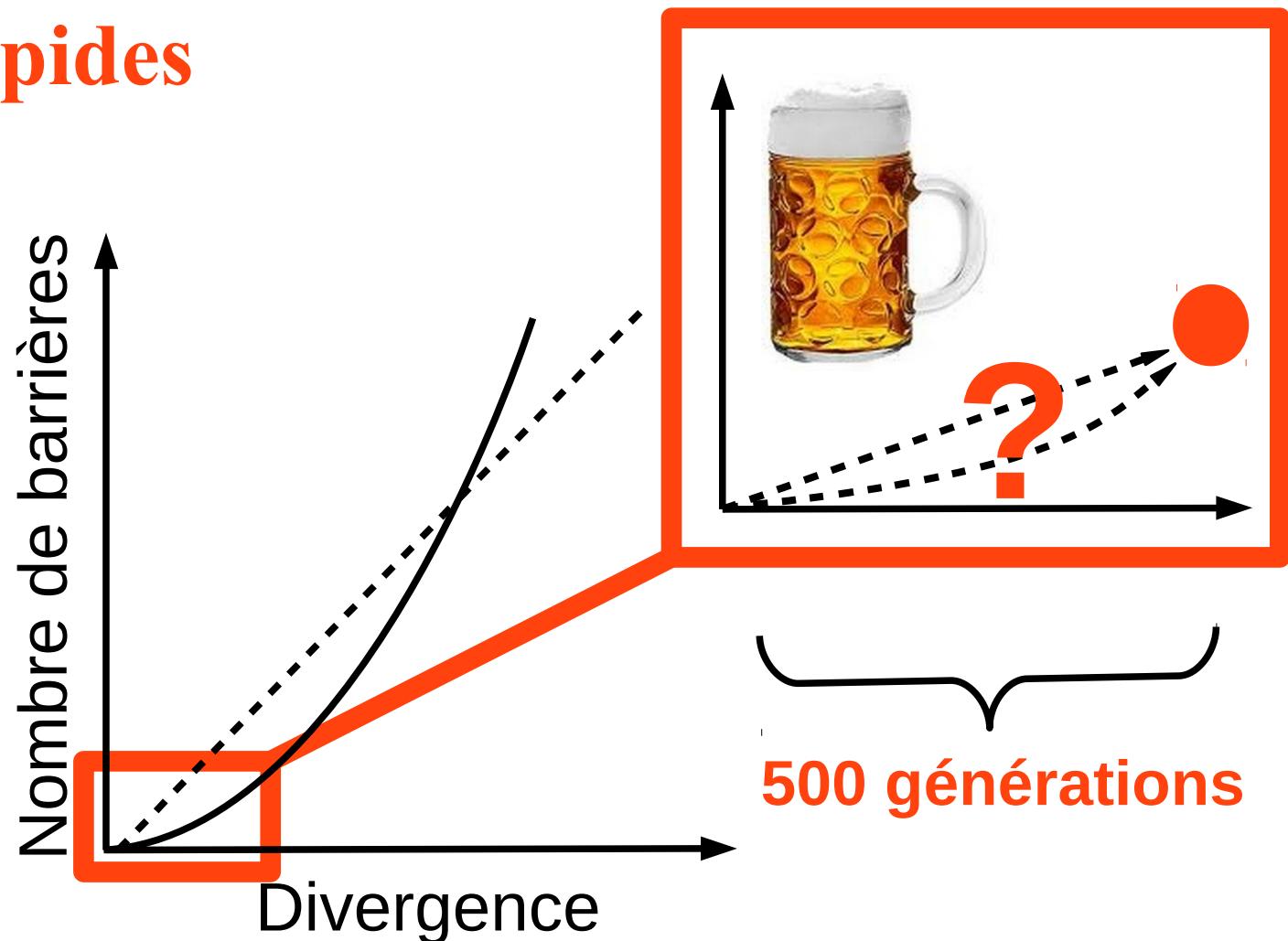
Effet « boule de neige » ?



**Mais** : espèces très divergentes

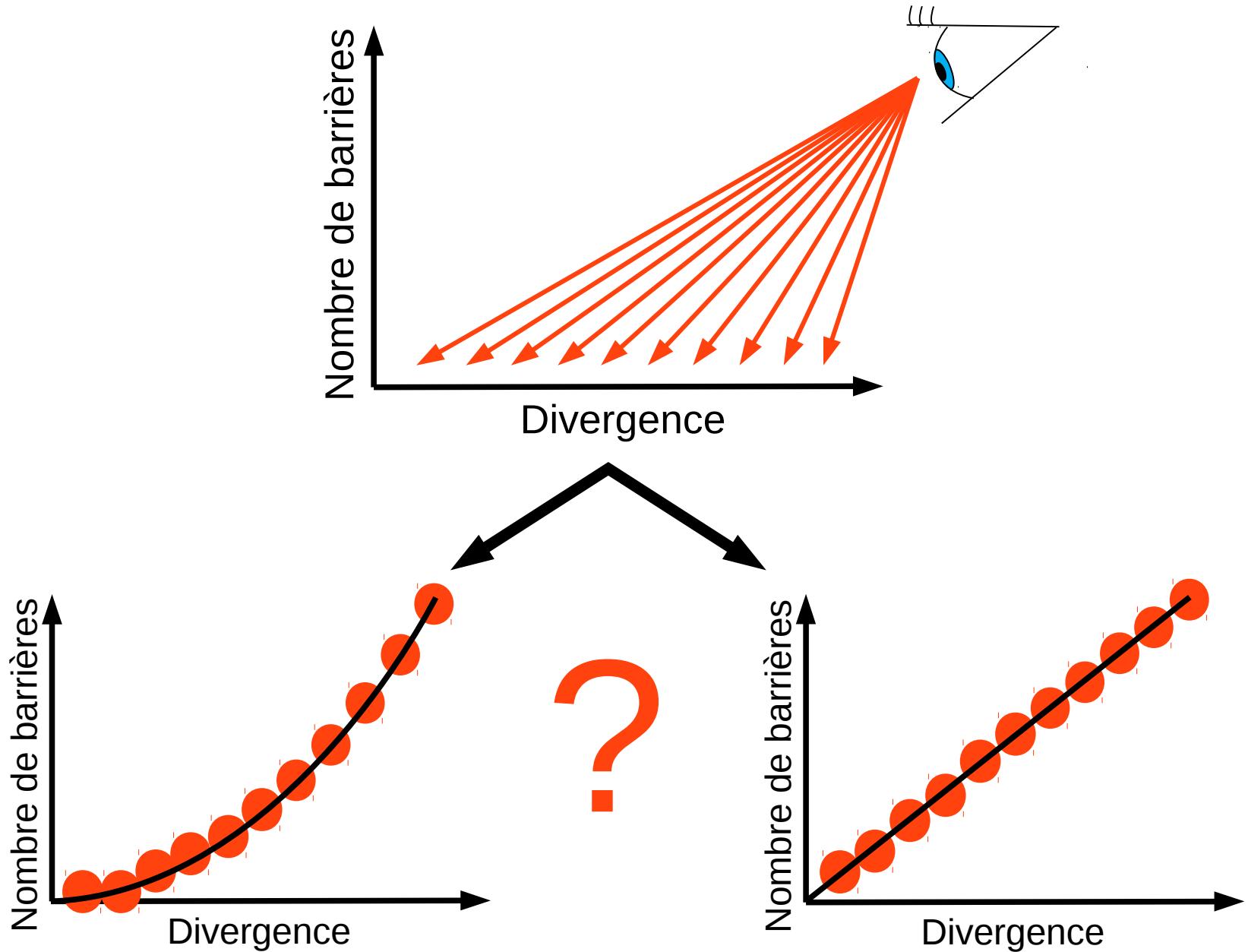
# TAUX D'ACCUMULATION DES BARRIÈRES D'ESPÈCES

## Barrières rapides

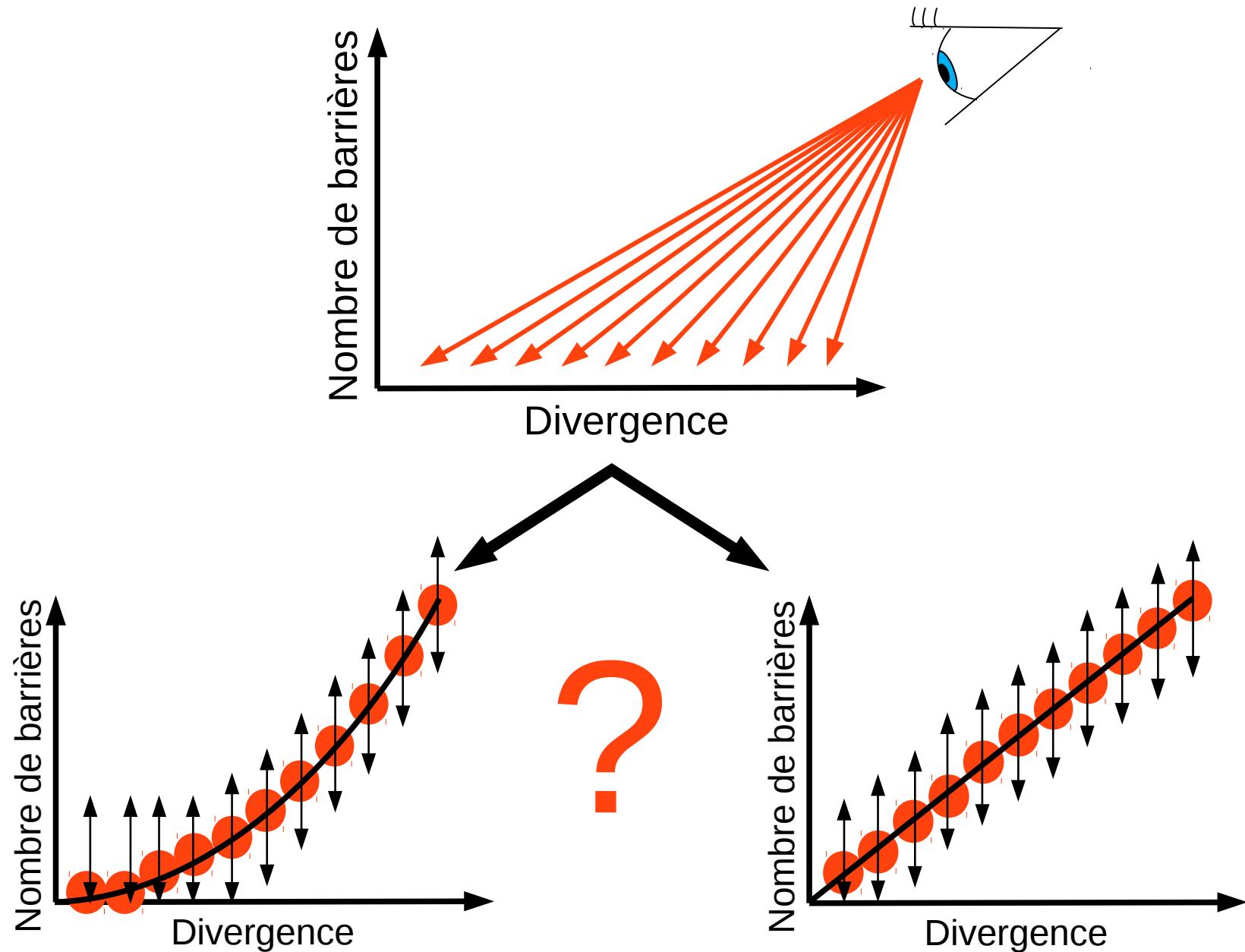


**Mais** : ne cherchent pas les bases génétiques des barrières

# SUIVRE EXPÉIMENTALEMENT L'ACCUMULATION



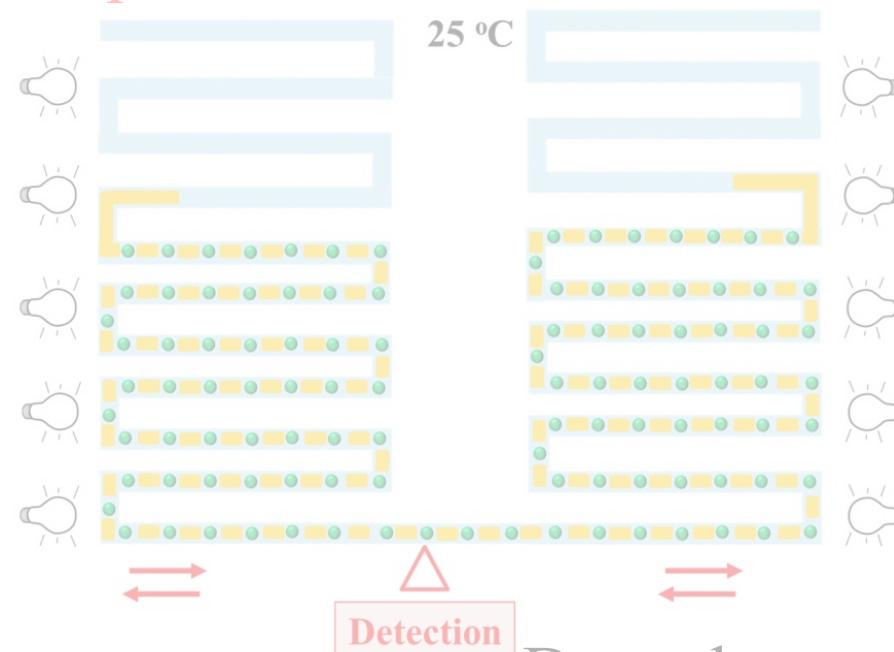
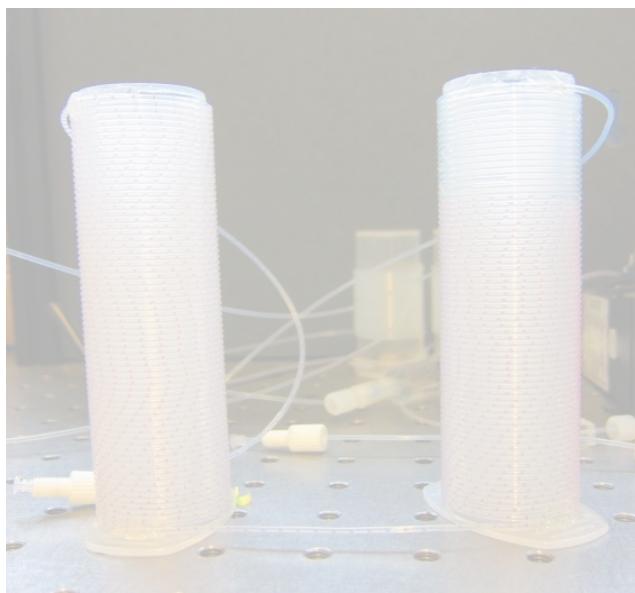
# SUIVRE EXPÉIMENTALEMENT L'ACCUMULATION



Apport des réplications expérimentaux → tester la prédictibilité de la spéciation

# ÉVOLUTION EXPÉRIMENTALE CHEZ *CHLAMYDOMONAS REINHARDTII*

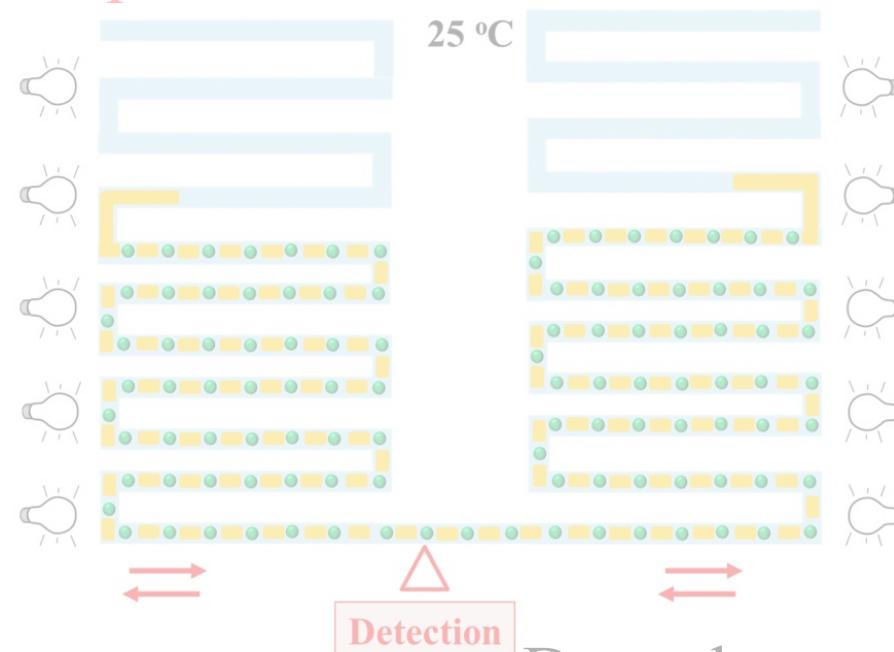
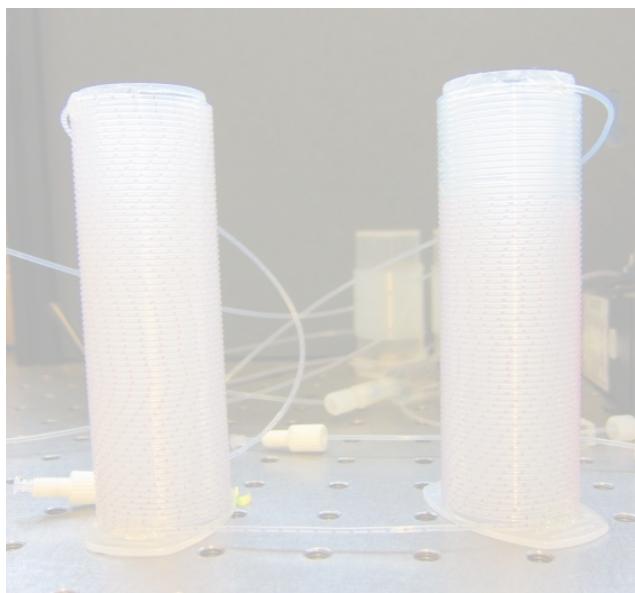
- Algue unicellulaire
- Cellules végétatives haploïdes
- Reproduction sexuée inductible
- 3-4 générations par jour
- Génome entièrement séquencé et annoté (120Mb)
- Méthode de phénotypage à haut débit  
→ mesure de la performance pour ~10,000 individus



Damodaran et al., 2015

# ÉVOLUTION EXPÉRIMENTALE CHEZ *CHLAMYDOMONAS REINHARDTII*

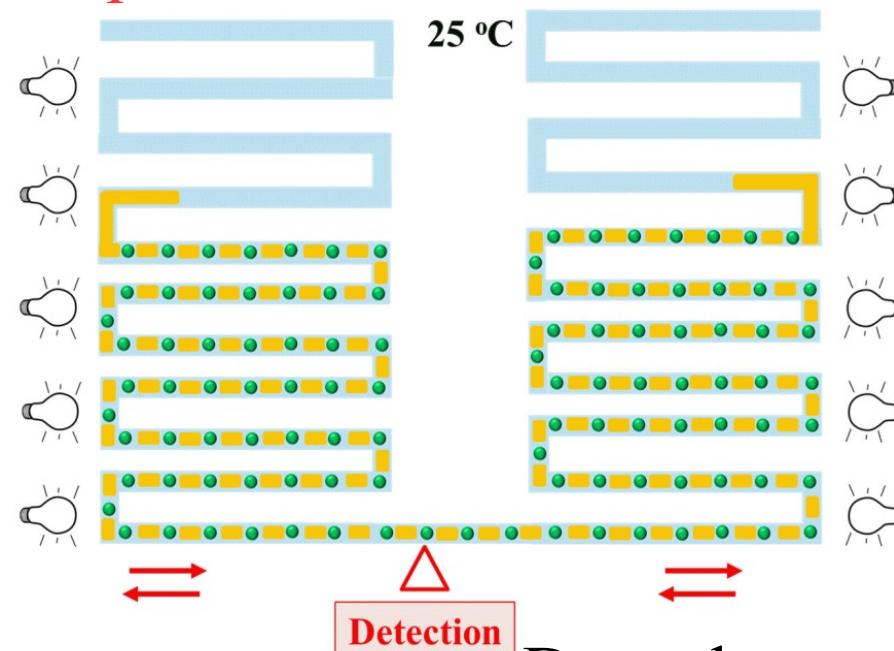
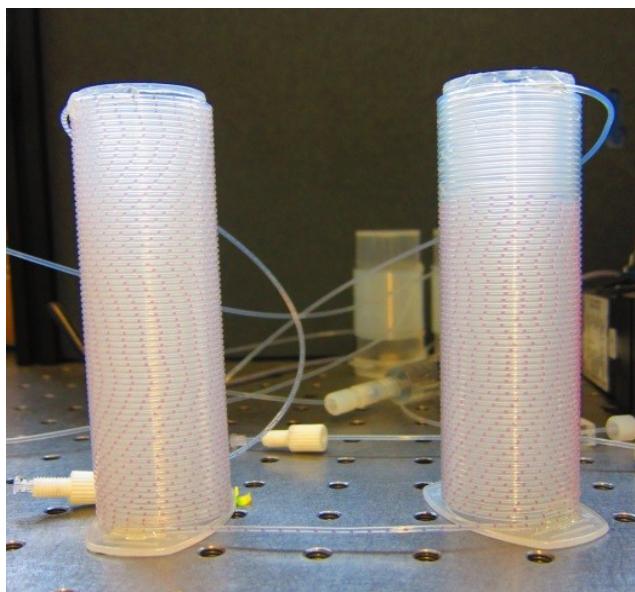
- Algue unicellulaire
- Cellules végétatives haploïdes
- Reproduction sexuée inductible
- 3-4 générations par jour
- Génome entièrement séquencé et annoté (120Mb)
- Méthode de phénotypage à haut débit  
→ mesure de la performance pour ~10,000 individus



Damodaran et al., 2015

# ÉVOLUTION EXPÉRIMENTALE CHEZ *CHLAMYDOMONAS REINHARDTII*

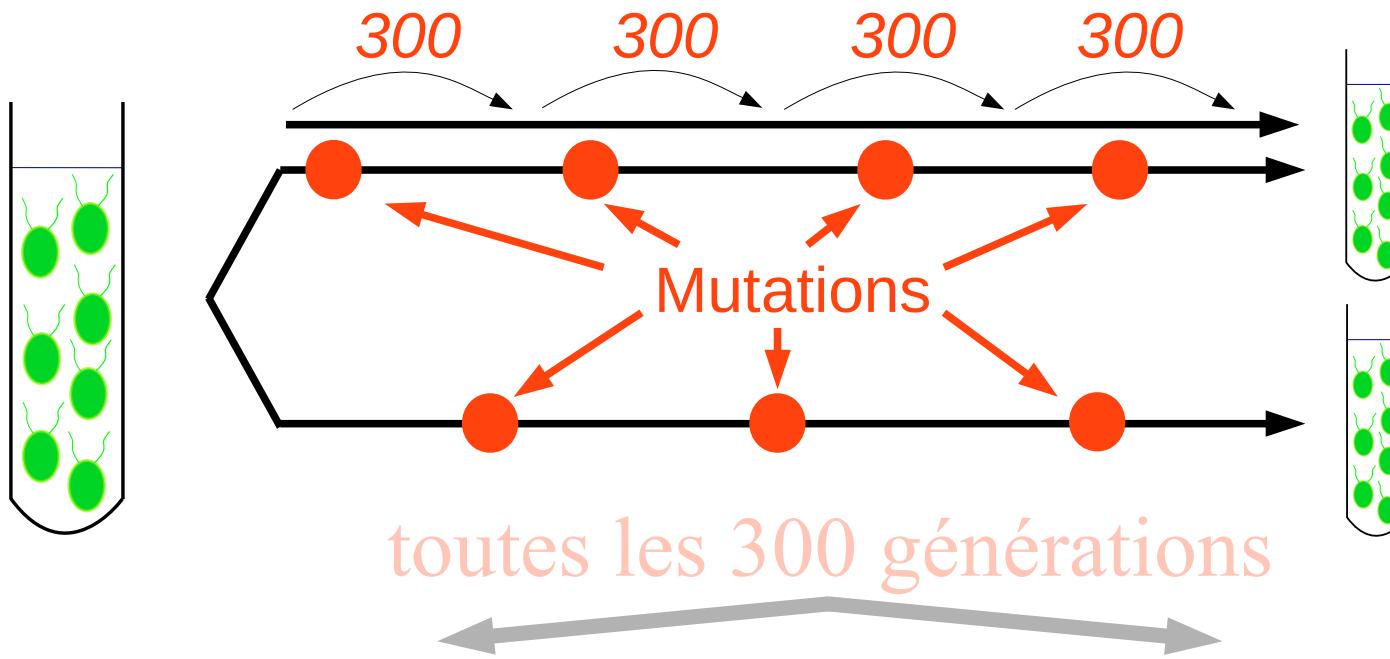
- Algue unicellulaire
- Cellules végétatives haploïdes
- Reproduction sexuée inductible
- 3-4 générations par jour
- Génome entièrement séquencé et annoté (120Mb)
- Méthode de phénotypage à haut débit  
→ mesure de la performance pour ~10,000 individus



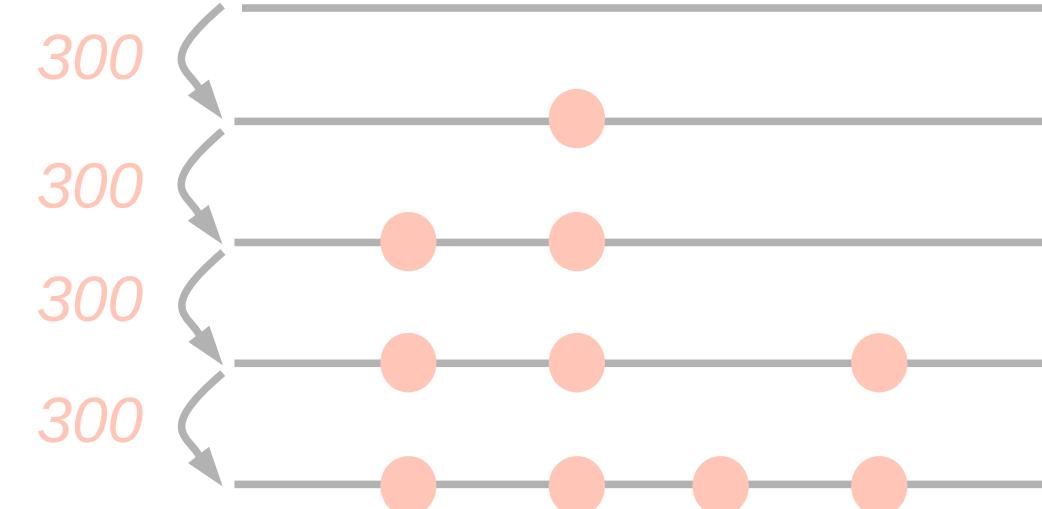
Damodaran et al., 2015

# MESURER LES TAUX D'ACCUMULATION DES BARRIÈRES

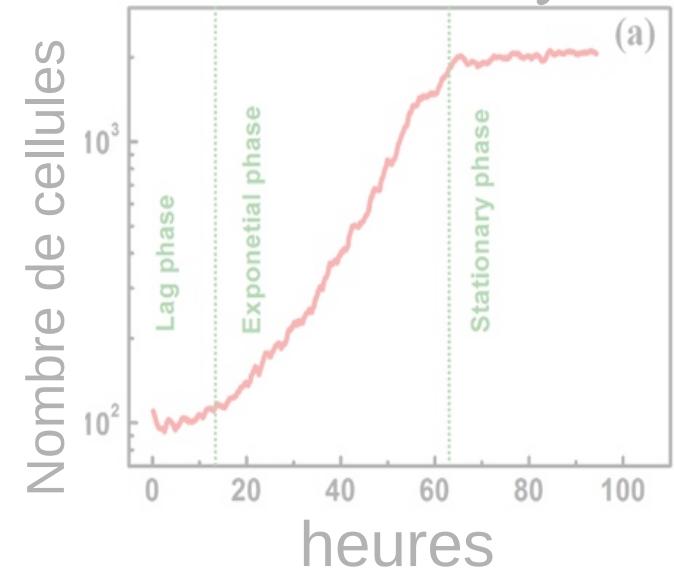
► Évolution de lignées isolées à partir d'une **souche hypermutatrice**



► Re-séquençage des lignées

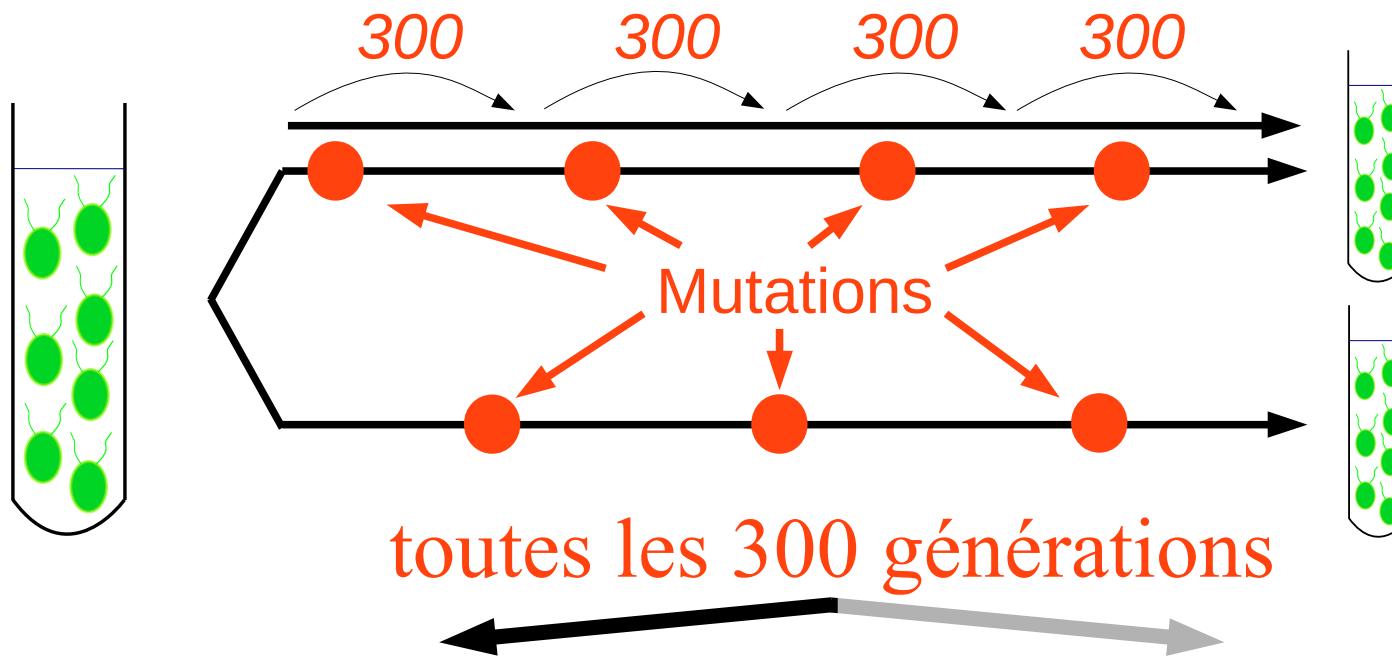


► Performance des hybrides

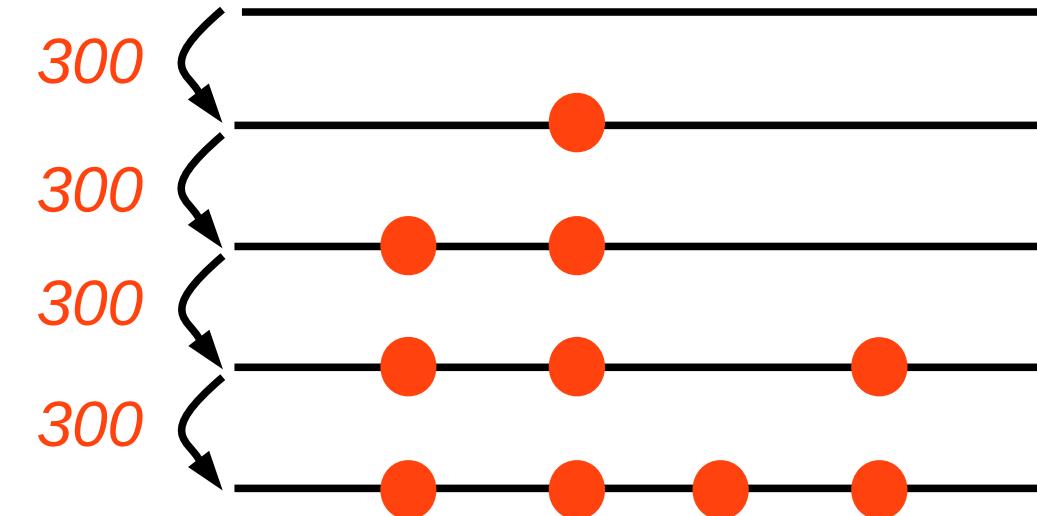


# MESURER LES TAUX D'ACCUMULATION DES BARRIÈRES

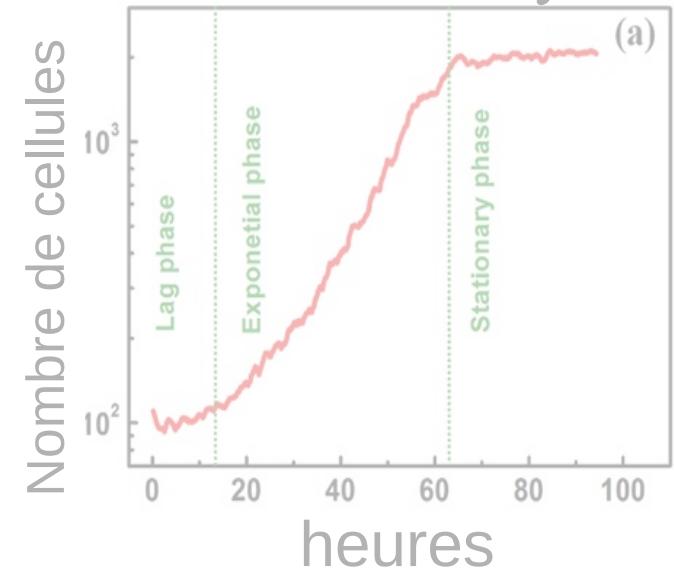
► Évolution de lignées isolées à partir d'une **souche hypermutatrice**



► Re-séquençage des lignées

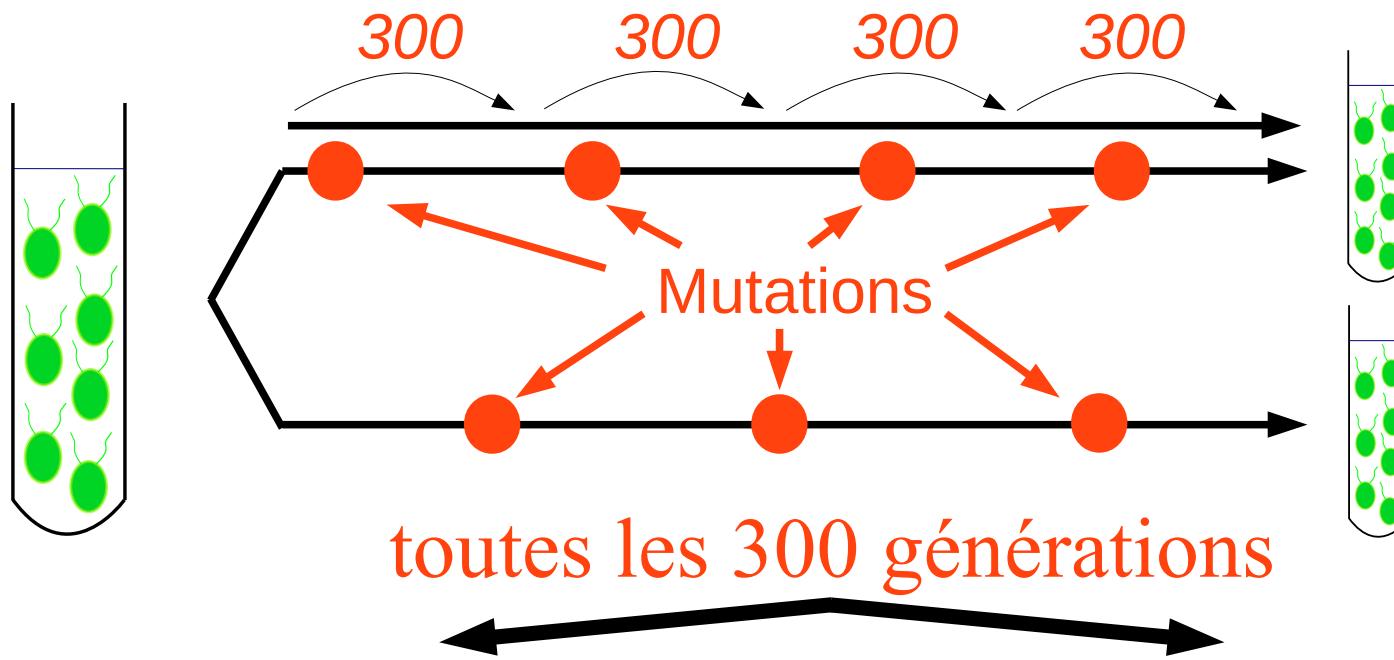


► Performance des hybrides

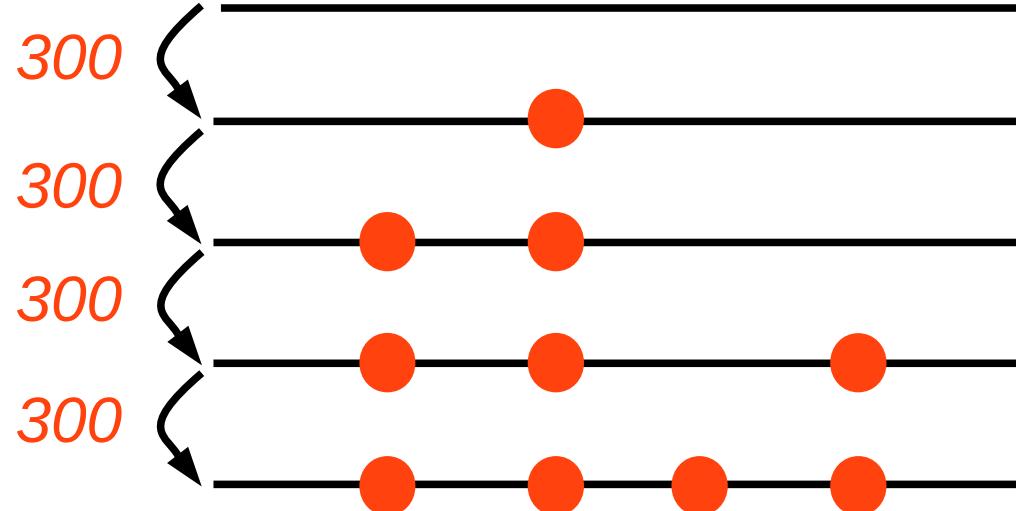


# MESURER LES TAUX D'ACCUMULATION DES BARRIÈRES

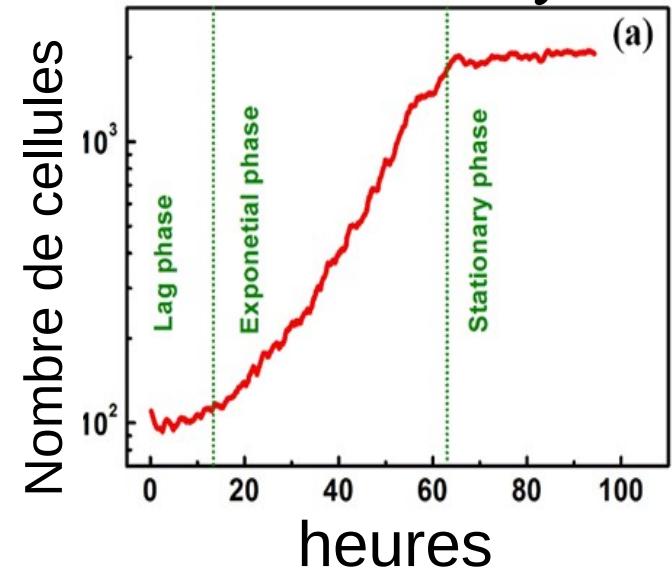
► Évolution de lignées isolées à partir d'une **souche hypermutatrice**



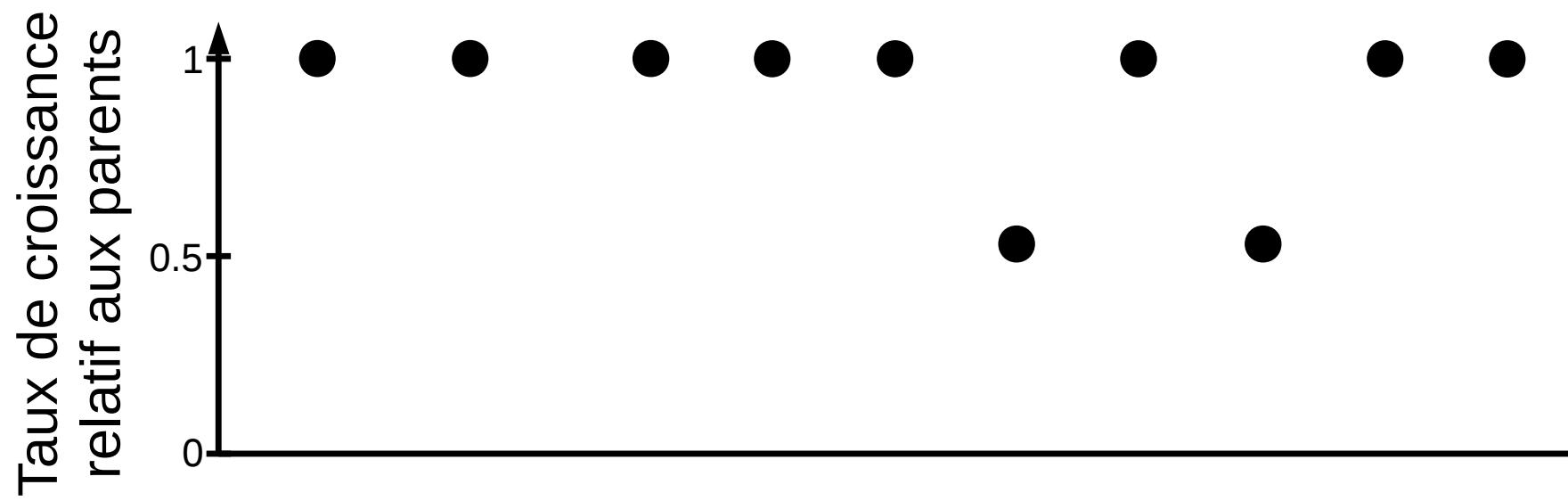
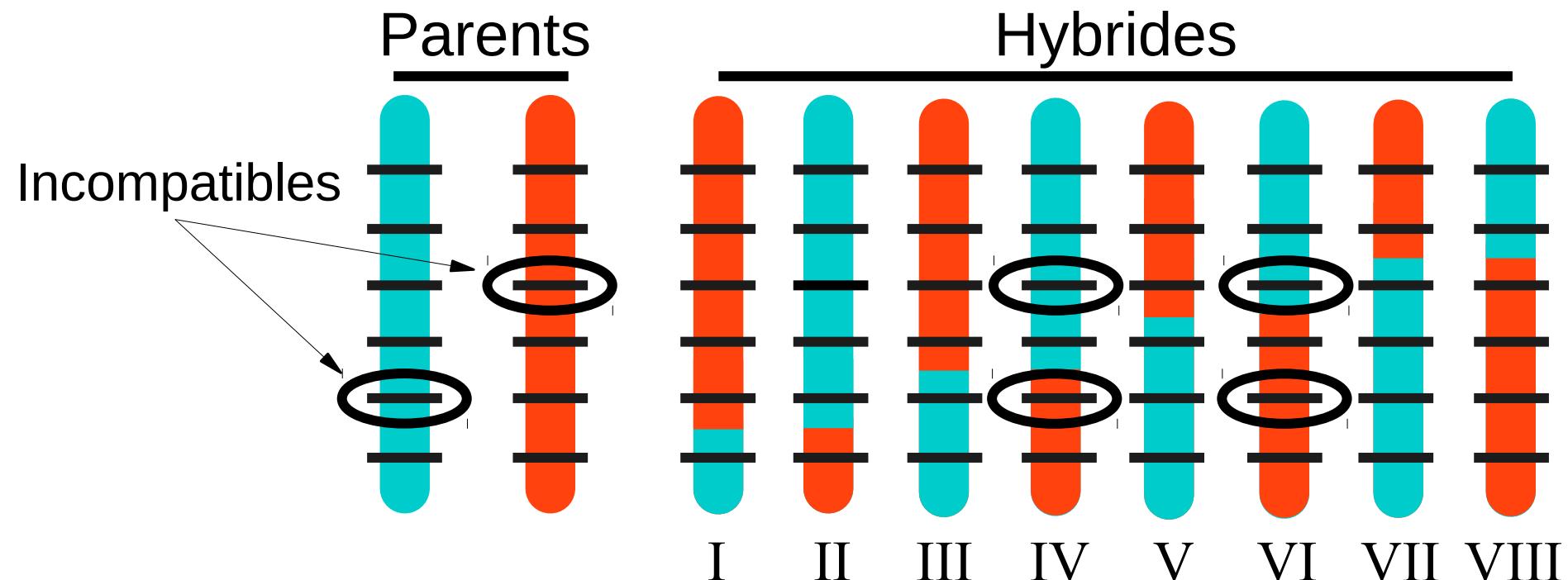
► Re-séquençage des lignées



► Performance des hybrides

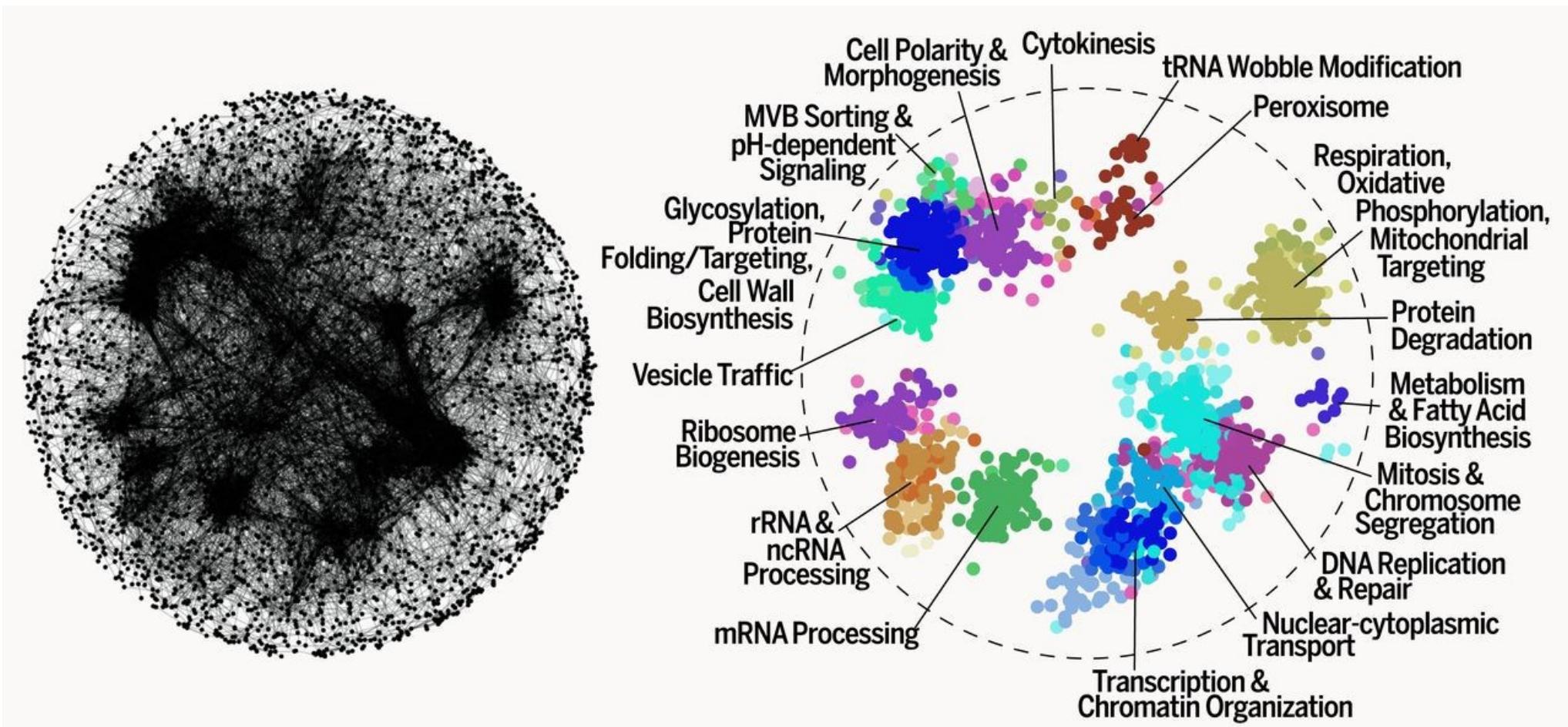


# IDENTIFIER LES MUTATIONS CAUSALES DE LA SPÉCIATION



- Tests d'**association** entre les mutations et la performance des hybrides

# Positionner les barrières dans les réseaux d'interactions



Est-ce que certaines fonctions sont des **cibles privilégiées** des barrières ?

# ENVIRONNEMENT SCIENTIFIQUE

## Locale

Vincent Castric, DR CNRS-Lille 1 (laboratoire d'accueil)  
Xavier Vekemans, professeur Lille 1 (laboratoire d'accueil)  
Steven Ball, professeur Lille 1

## Nationale

Francis-André Wollman, DR CNRS-UPMC  
Nicolas Bierne, DR CNRS-Montpellier 2

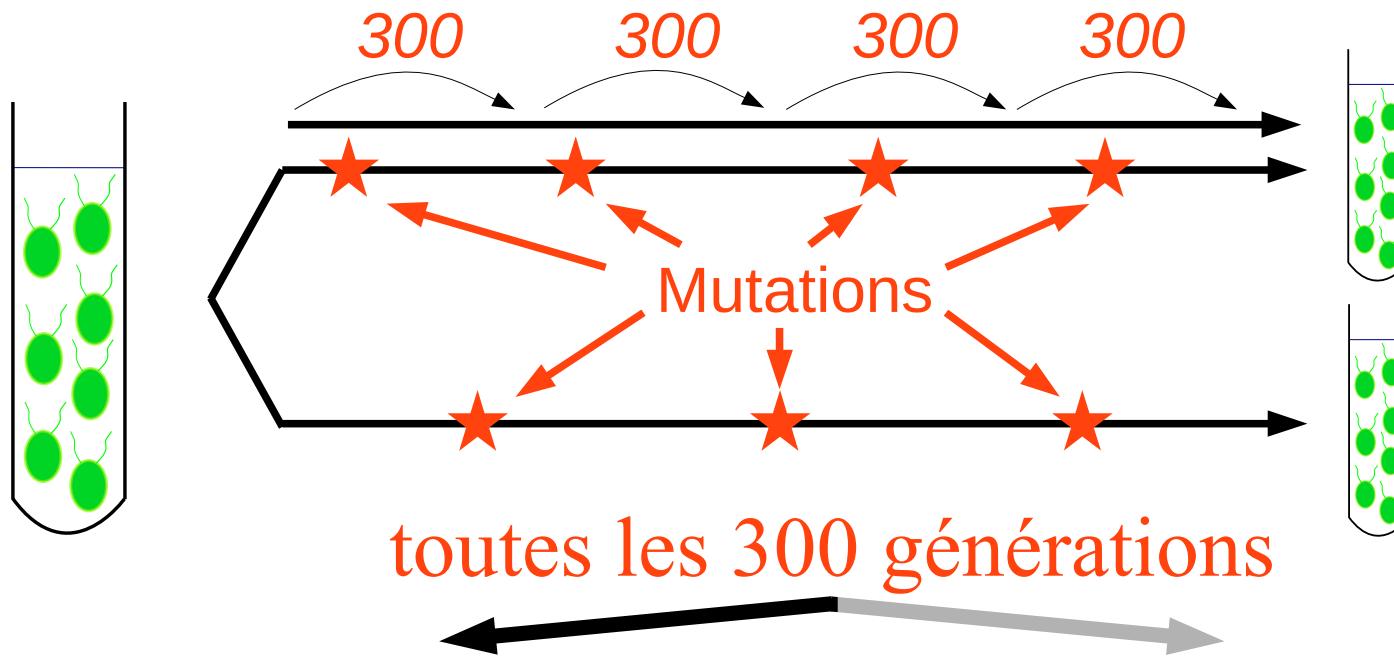
## Internationale

John Welch, PI Cambridge (UK)  
Peter Keightley, PI Edinburgh (UK)

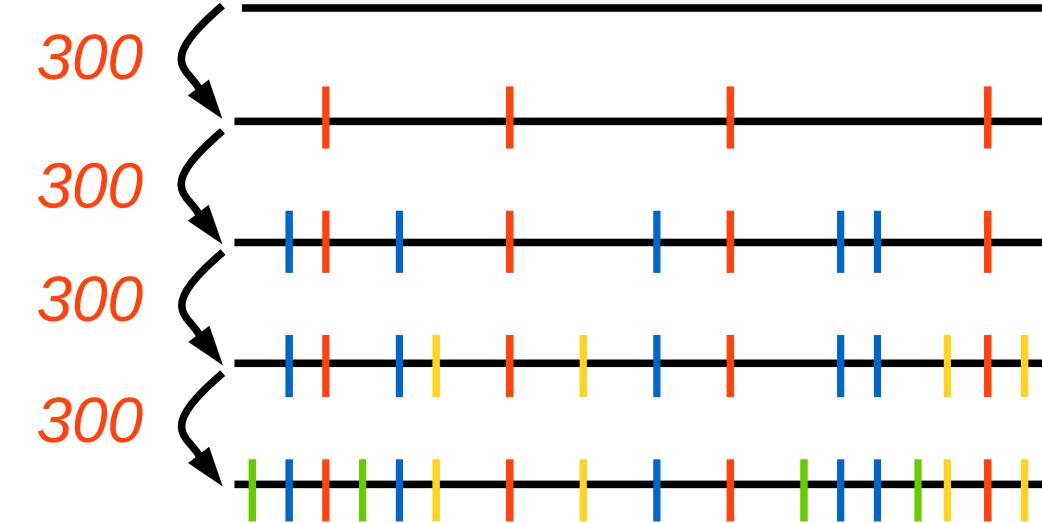


# MESURER LES TAUX D'ACCUMULATION DES BARRIÈRES

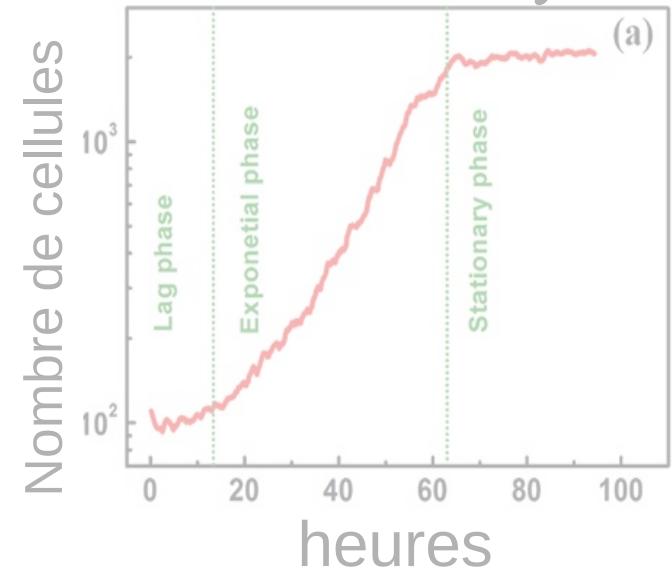
► Évolution de lignées isolées à partir d'une **souche hypermutatrice**



► Re-séquençage des lignées

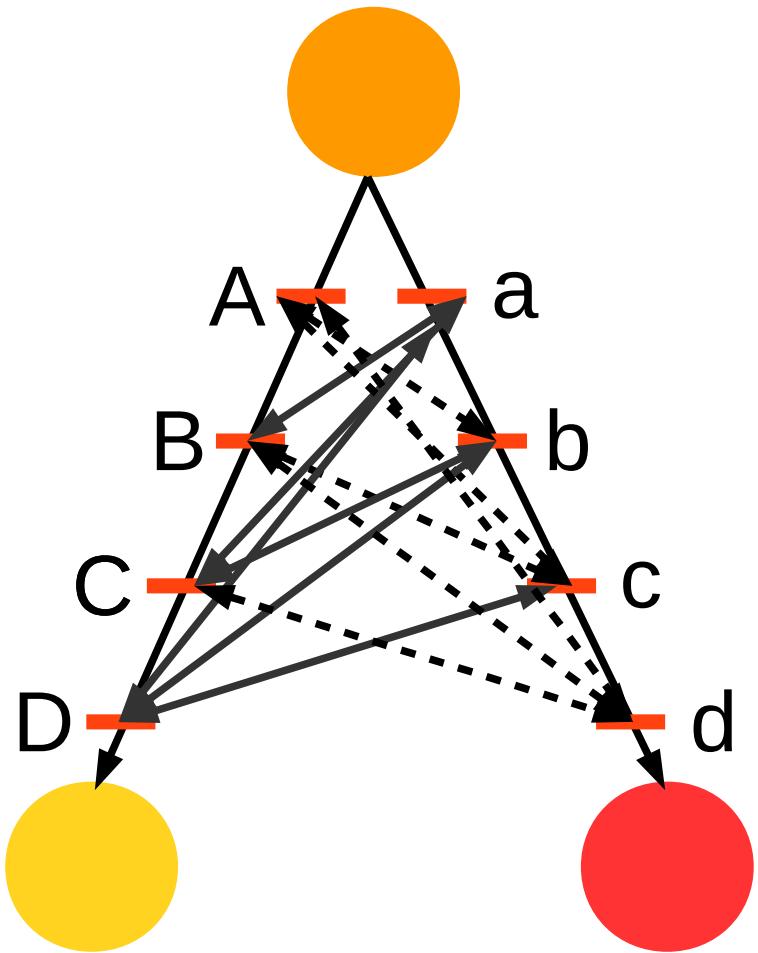


► Performance des hybrides



# MODÈLE D'ÉVOLUTION DES BARRIÈRES

## Quels gènes deviennent des barrières entre espèces ?



. $d = 2$

.Nouvelles interactions possibles : Ab et aB

.Probabilité  $p$  que chaque interaction soit incompatible

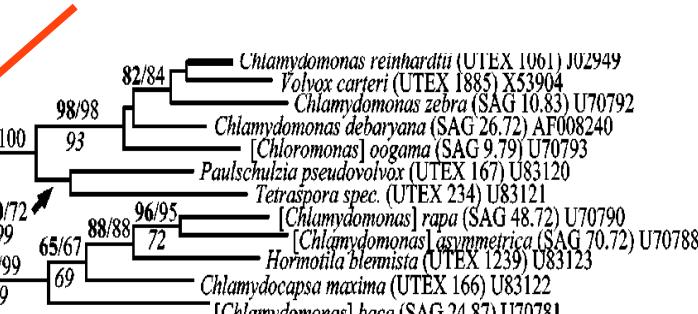
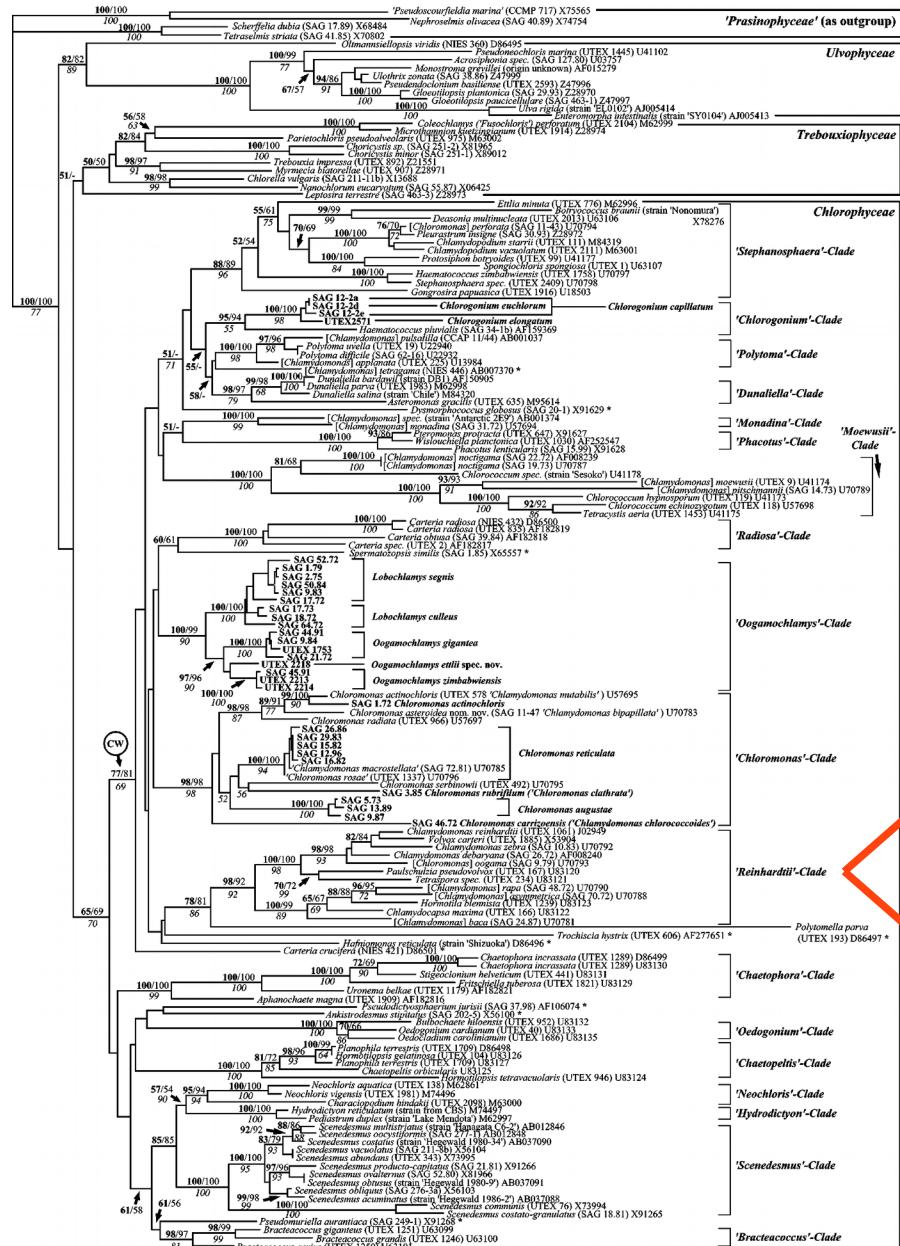
. $d = 3$

.Interactions possibles : Ab, aB, Ac, ..., cD

$$E[I_{d,n}] = p \cdot \binom{d}{n}$$

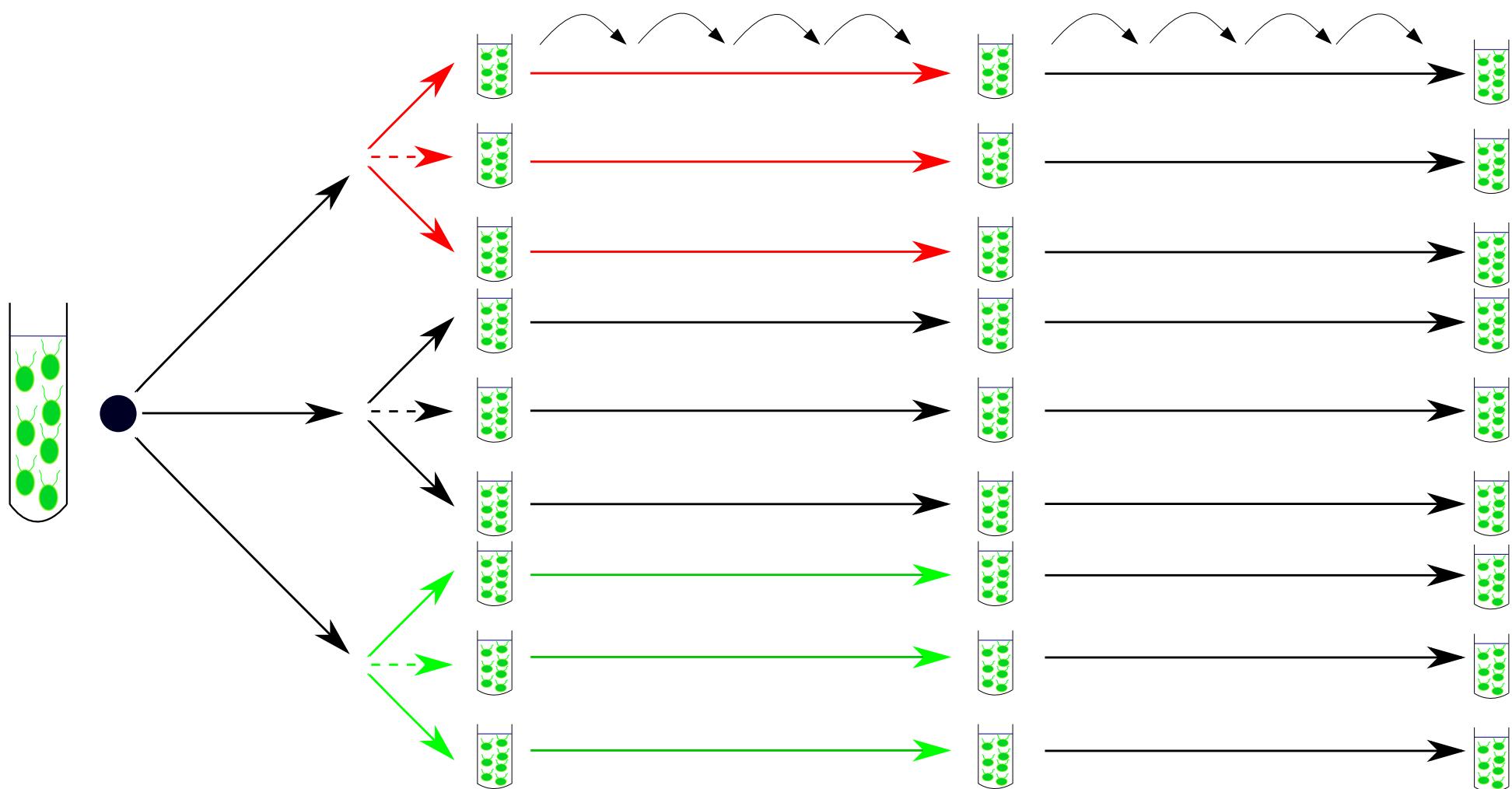
$$E[I_{d,2}] = p \cdot \frac{d \cdot (d-1)}{2} \approx p \cdot \frac{d^2}{2}$$

# PHYLOGÉNIE DES CHLOROPHYTES



0.005 changes

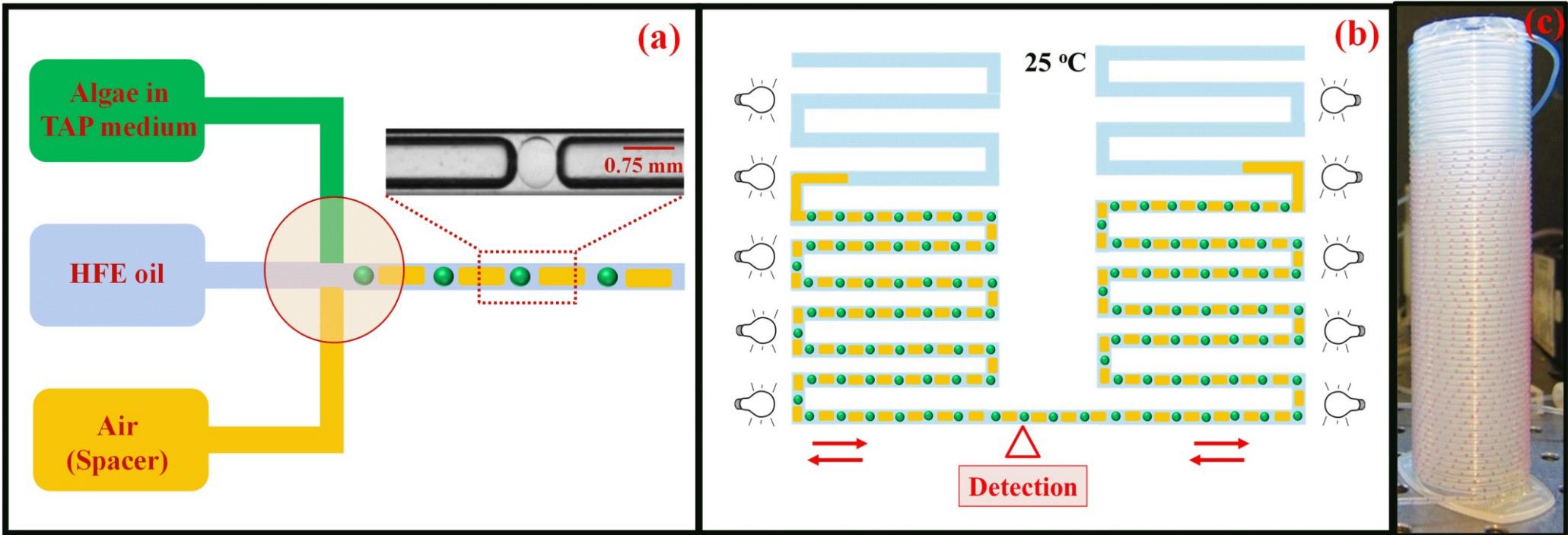
# EFFET DES PROCESSUS ADAPTATIFS



Hétérotrophie

Mixotrophie

Autotrophie



Taille des gouttes : 600 µm - Volume : 150 nL

Les gouttes sont générées par des pompes/seringues de haute précision

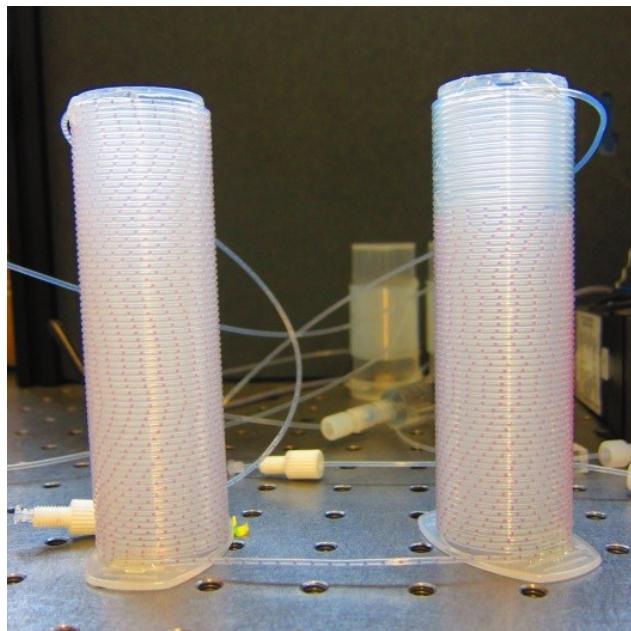
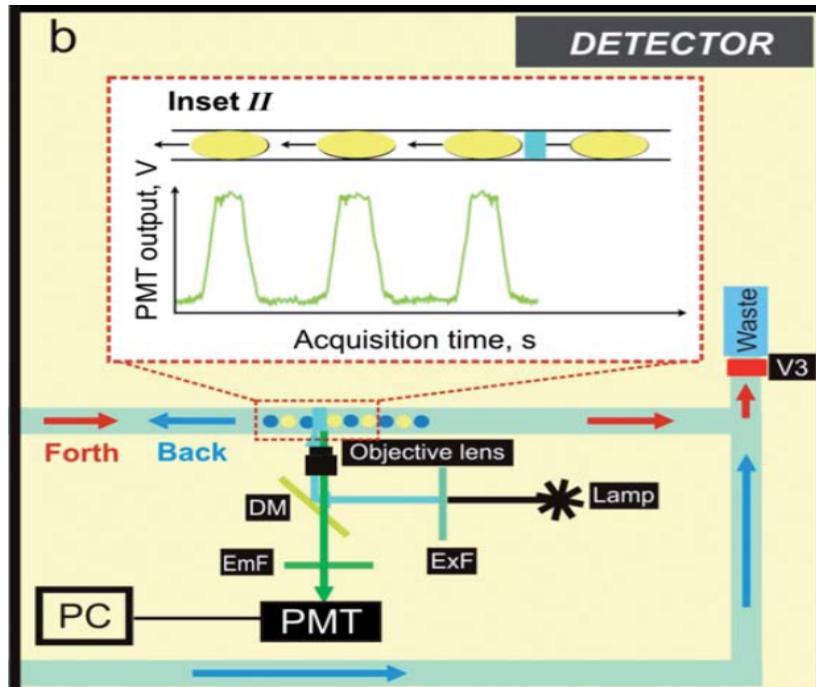
- pas ou très peu de variabilité de la taille/volume des gouttes
- milieu de remplissage uniforme dans chaque goutte

### Air Spacers :

- Isolent chimiquement chaque goutte d'une autre
- Chaque goutte est un bioréacteur indépendant
- Contiennent O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> qui peuvent diffuser librement vers les gouttes (respiration/photosynthèse)

### Agitation des gouttes par mouvement du train

# Détection des cellules par fluorescence



→ Le train de milligouttes avance d'une spirale  
à l'autre, puis revient en arrière

→ Le point de détection est fixe

Les gouttes sont déplacées par injection de phase  
continue aux bords du trains

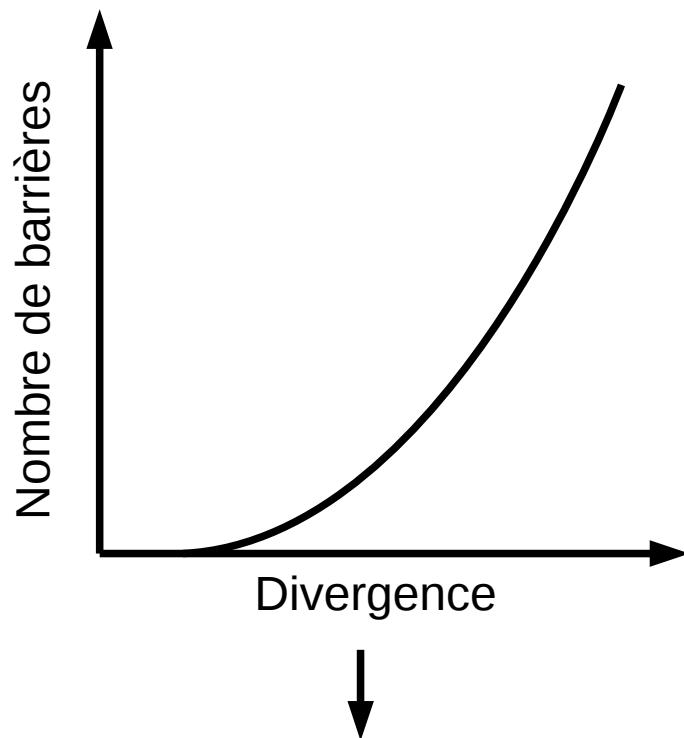


Détection de la fluorescence  
de gouttes individuelles  
Excitation : LED bleue de 470 nm  
Emission de fluorescence à 660/682 nm

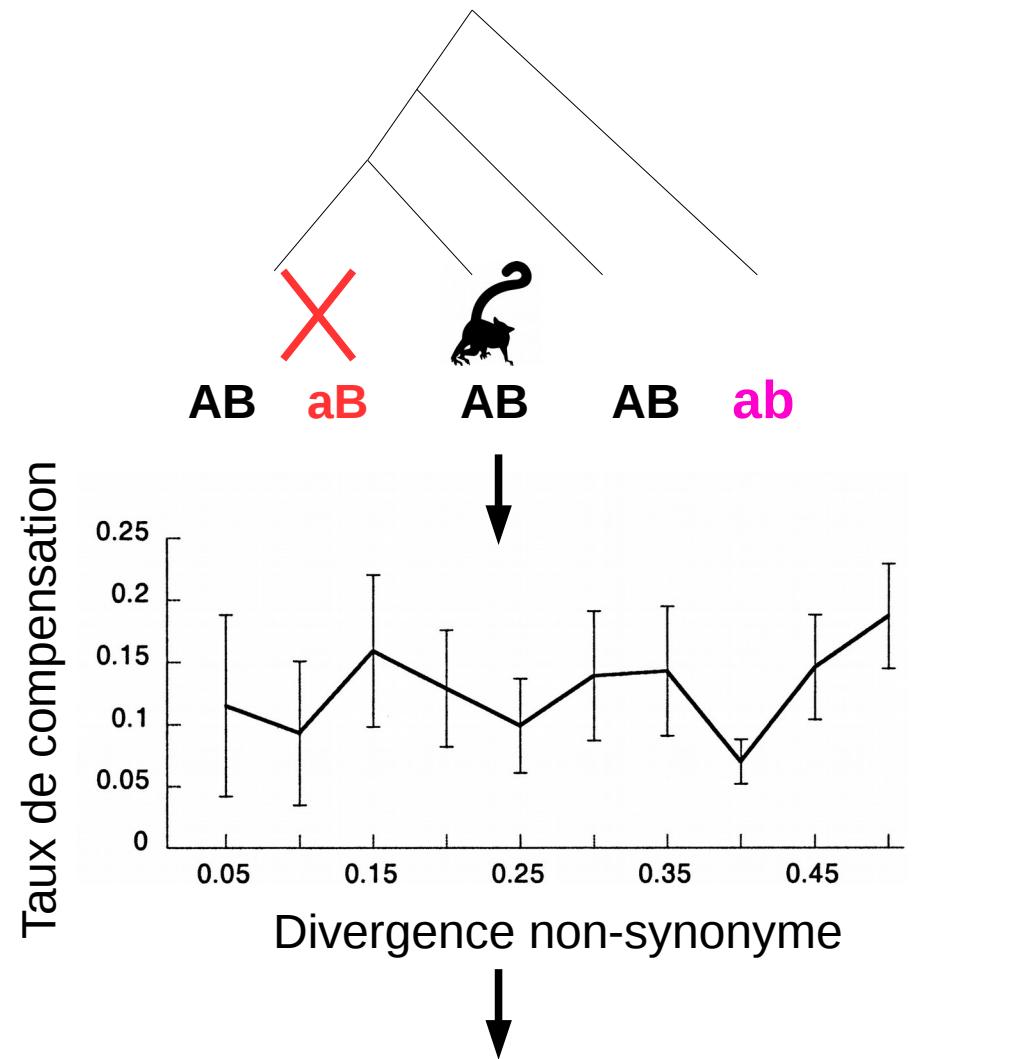


La fluorescence de chaque goutte peut être  
individuellement enregistrée sur environ 140  
heures

# TAUX D'ACCUMULATION DES BARRIÈRES D'ESPÈCES



Effet « boule de neige »

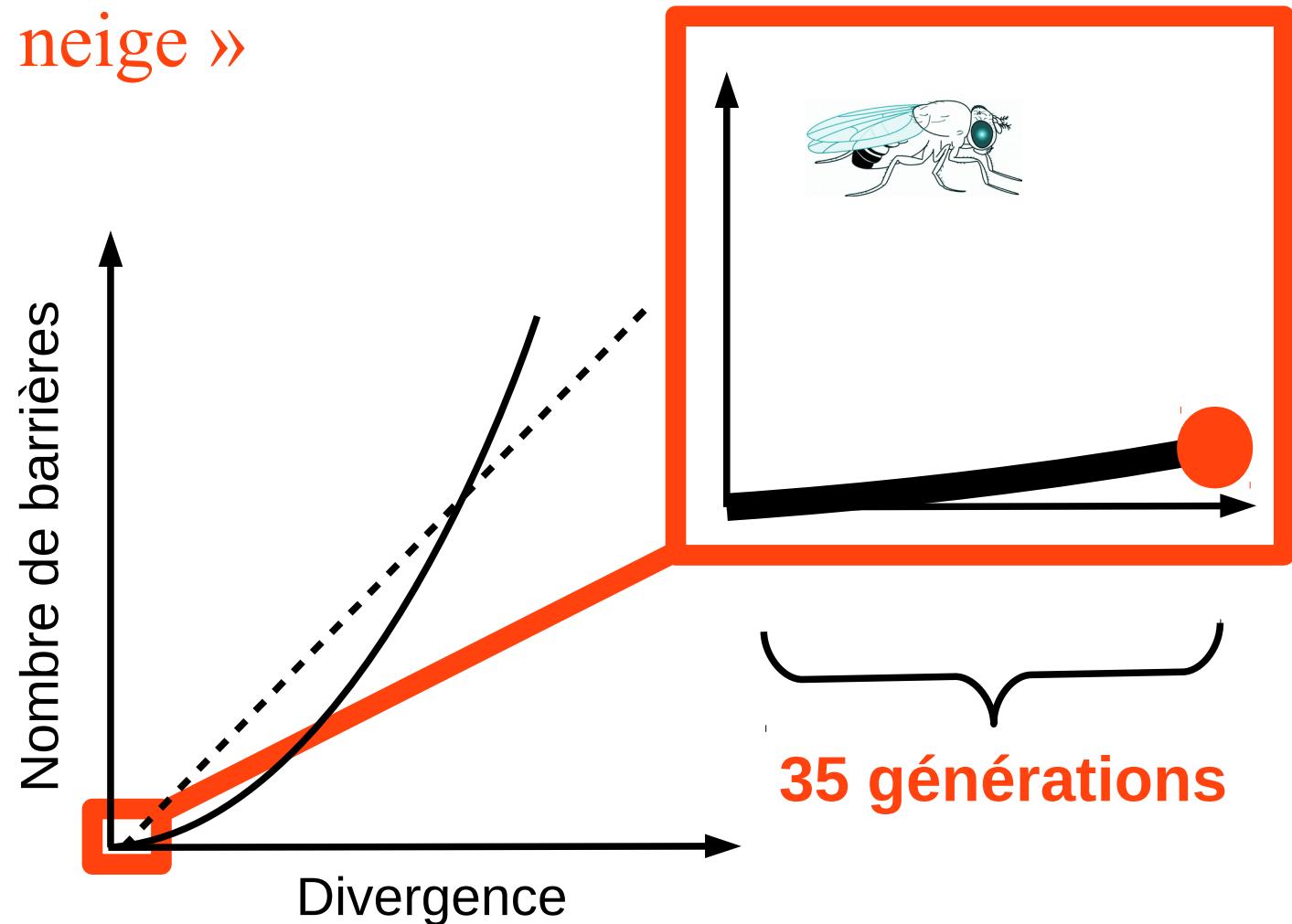


Probabilité qu'une mutation devienne une barrière ne dépend pas de la divergence

Mesurer en « temps réel » l'apparition des barrières

# TAUX D'ACCUMULATION DES BARRIÈRES D'ESPÈCES

Effet « boule de neige »

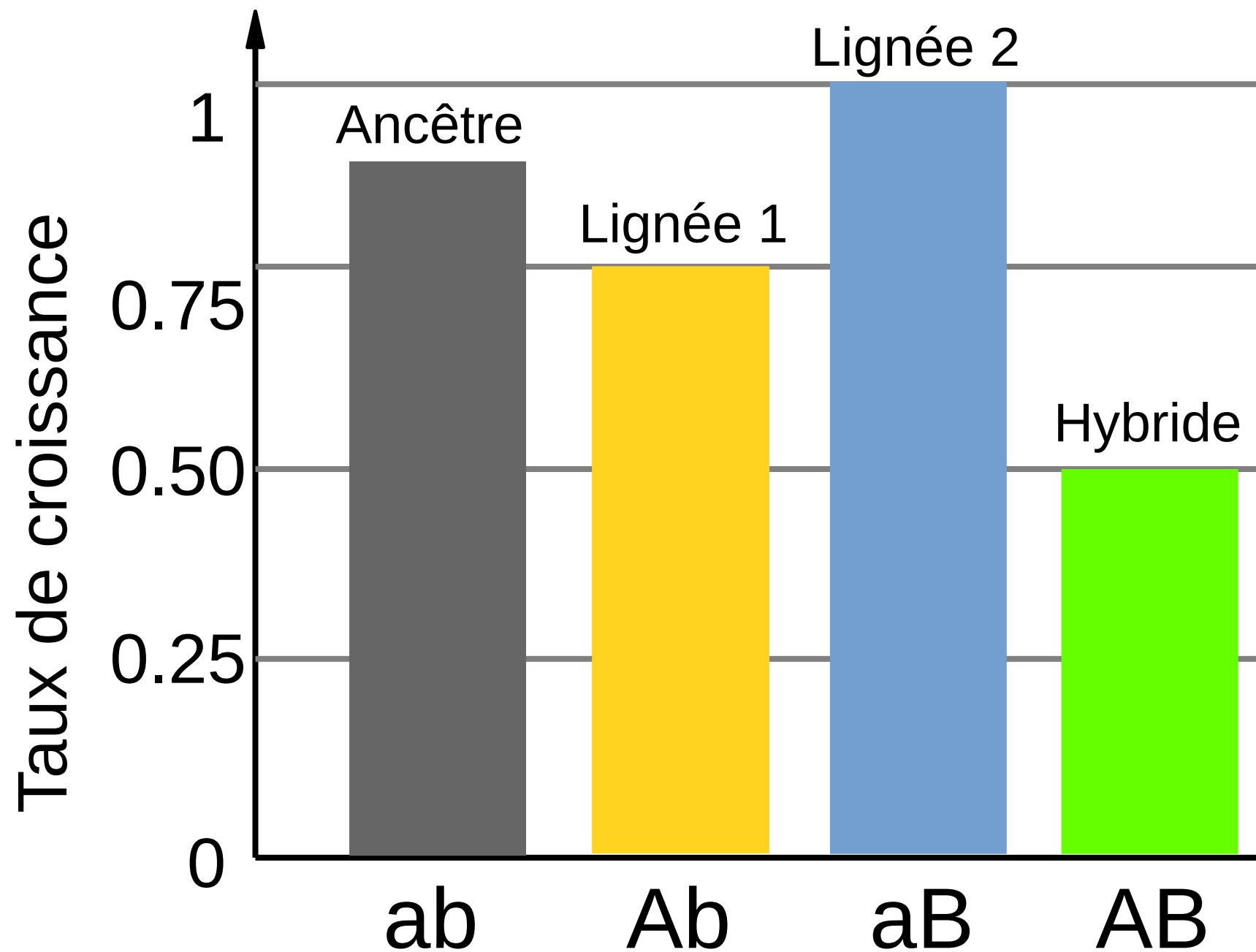


Barrières **pré-zygotiques** rapides

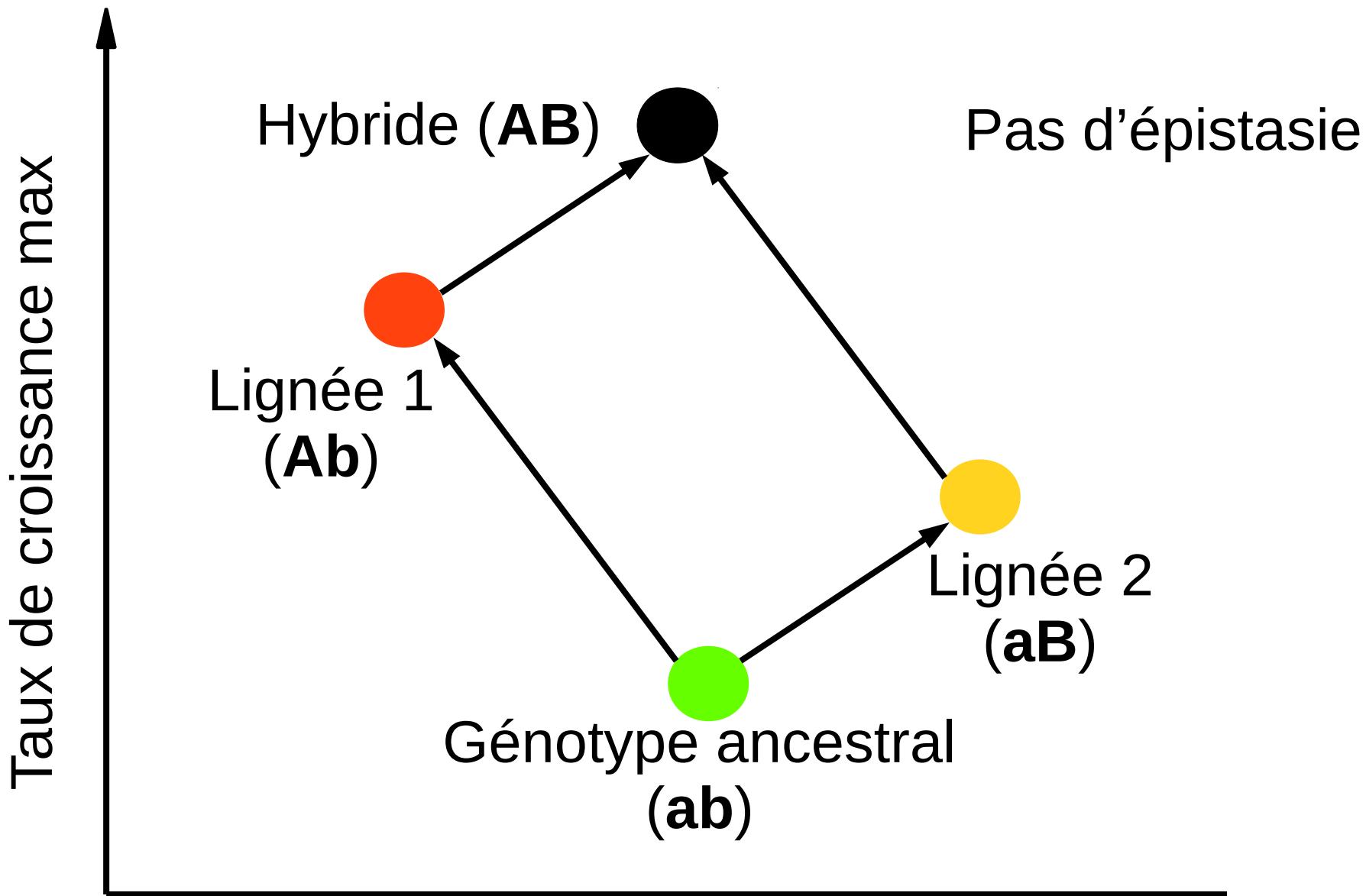
Ne cherche pas les bases génétiques des barrières

Dodd (1989)

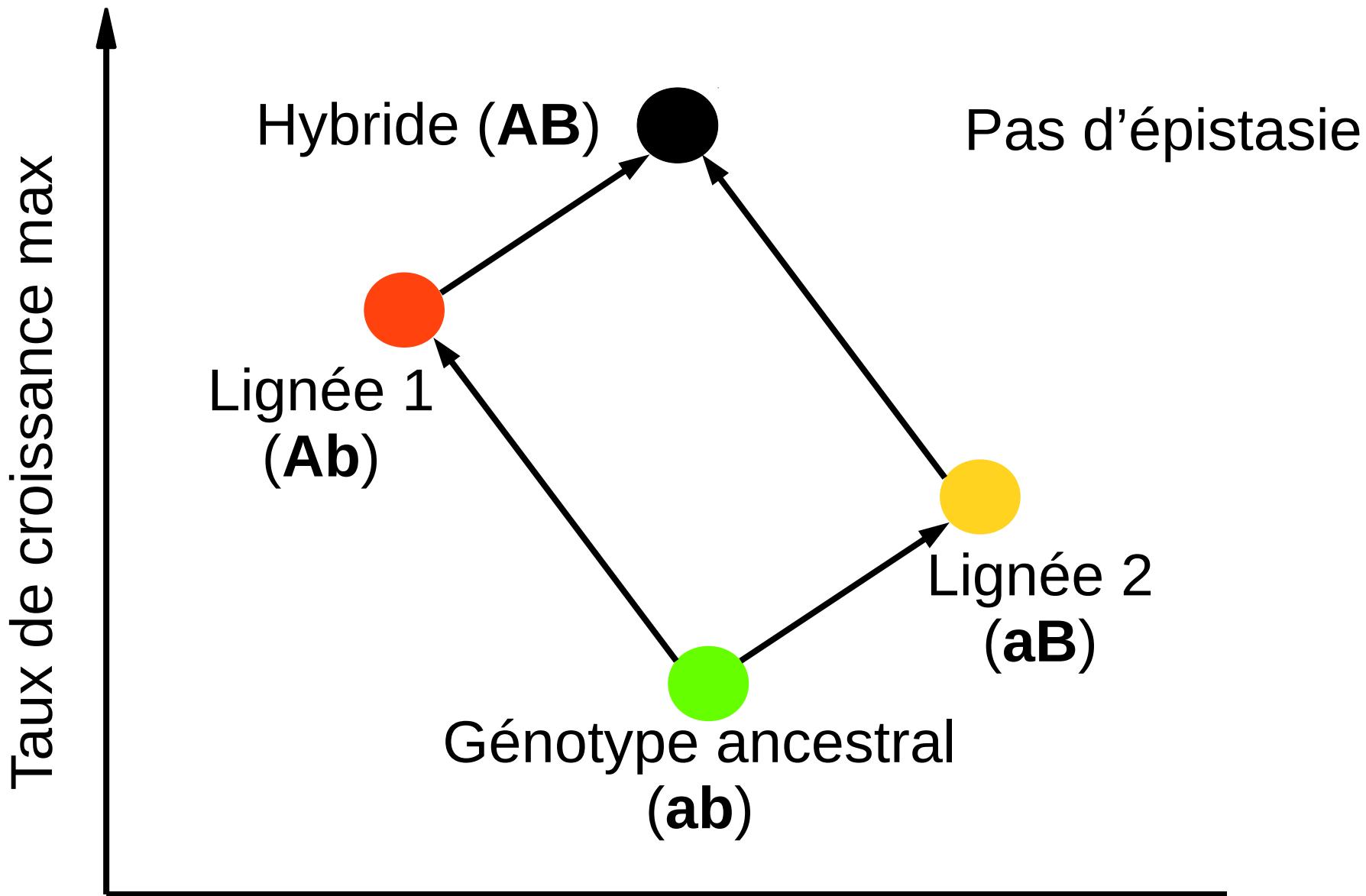
# IDENTIFIER LES MUTATIONS CAUSALES DE LA SPÉCIATION



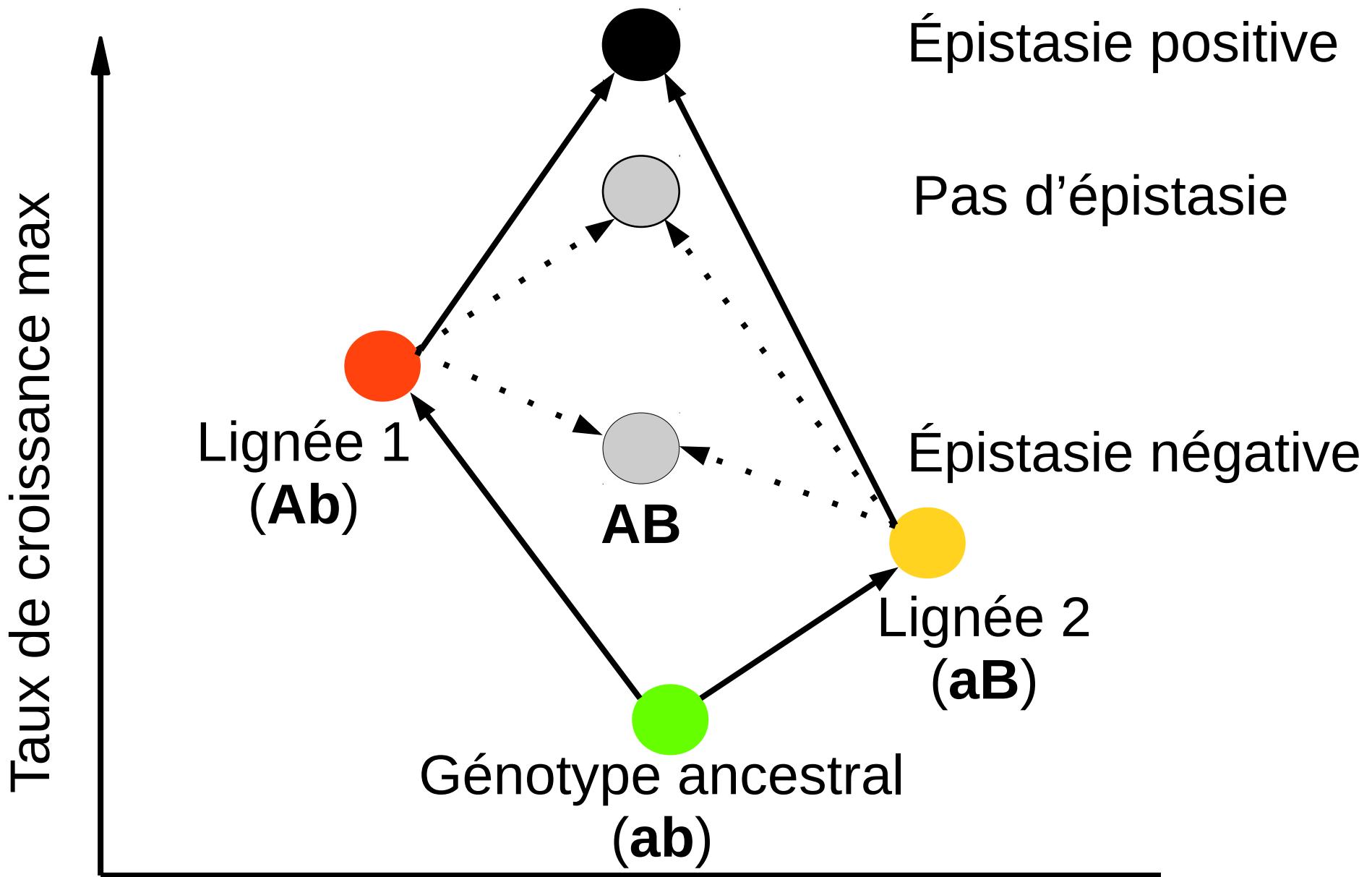
# IDENTIFIER LES MUTATIONS CAUSALES DE LA SPÉCIATION



# IDENTIFIER LES MUTATIONS CAUSALES DE LA SPÉCIATION



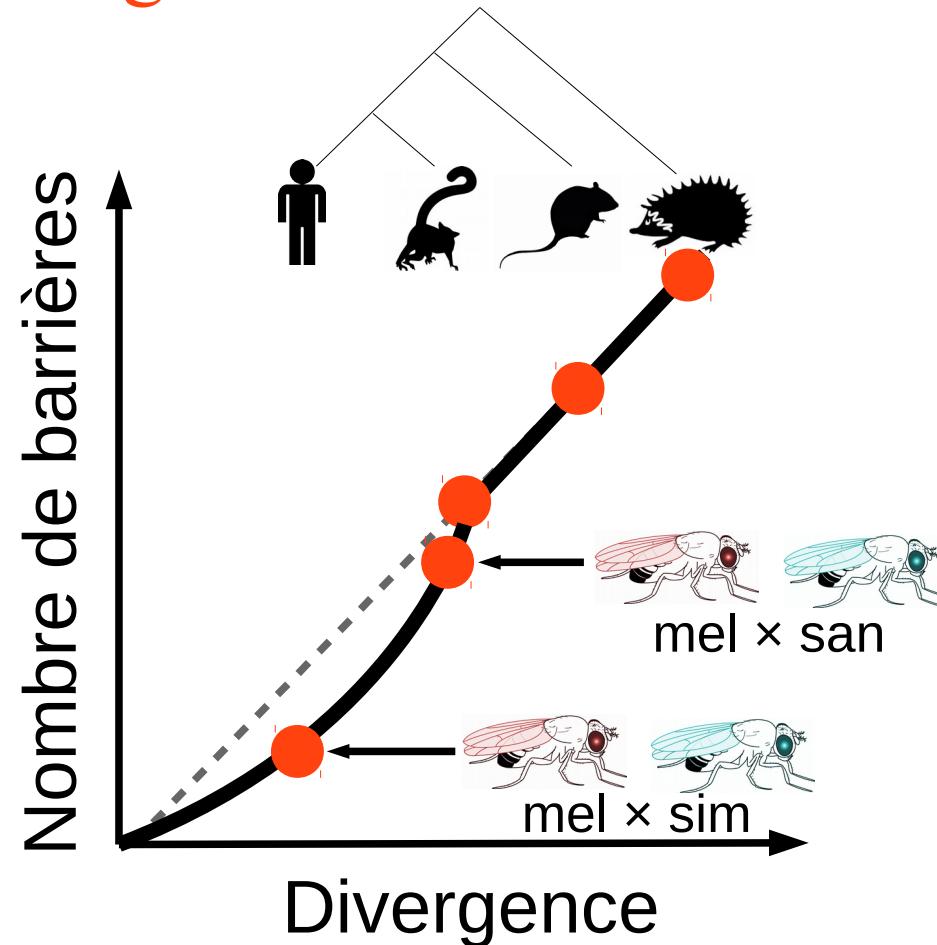
# IDENTIFIER LES MUTATIONS CAUSALES DE LA SPÉCIATION



Tests d'**association** entre les mutations et la performance des hybrides

# TAUX D'ACCUMULATION DES BARRIÈRES D'ESPÈCES

Effet « boule de neige » ?



Plusieurs phases de divergence avec variation du taux

# IDENTIFIER LES MUTATIONS CAUSALES DE LA SPÉCIATION

