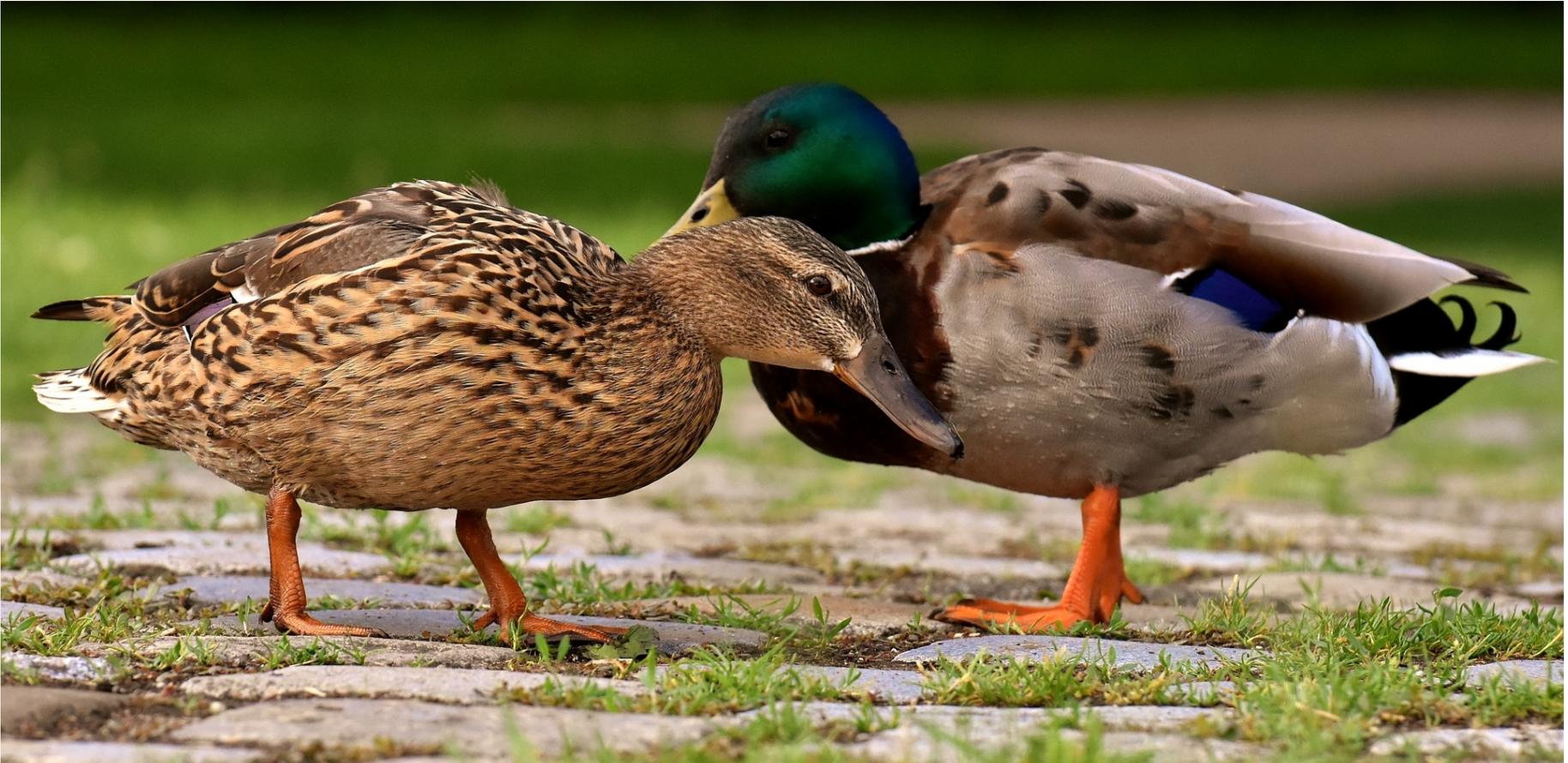


# Evolution (II)

Questions about evolution  
Evolution of reproduction  
Phylogenetic trees



**V. Courtier-  
Orgogozo**

*"Another curious aspect of the theory of evolution is that everybody thinks he understands it. I mean philosophers, social scientists, and so on. While in fact very few people understand it, actually, as it stands, even as it stood when Darwin expressed it, and even less as we now may be able to understand it in biology."*

Jacques Monod, 1975, On the molecular theory of evolution.

# **A few questions about evolution**

---

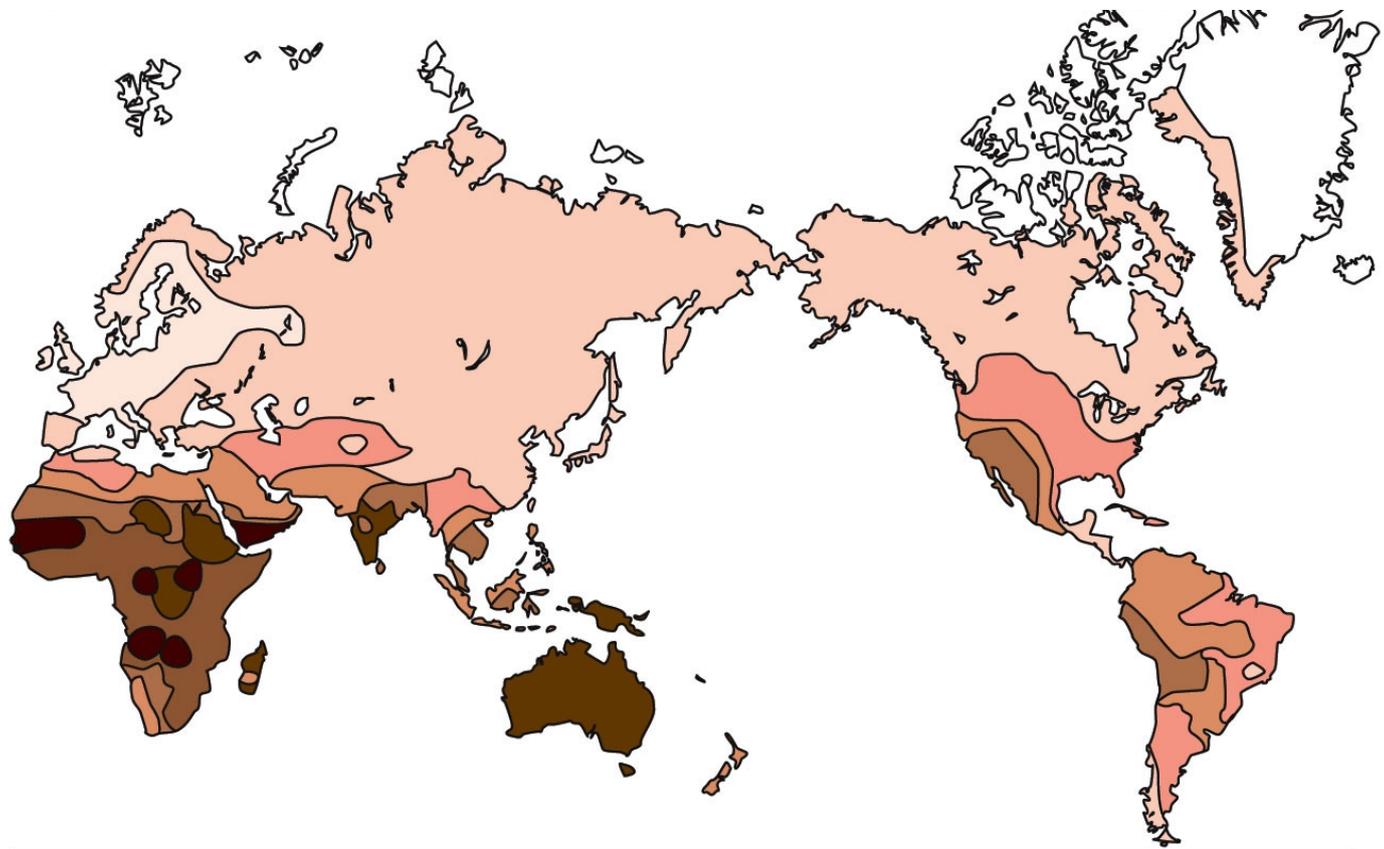
# Pourquoi autant de variabilité phénotypique intra-espèce ?



(C)



# Sélection hétérogène dans l'espace: pigmentation de la peau humaine



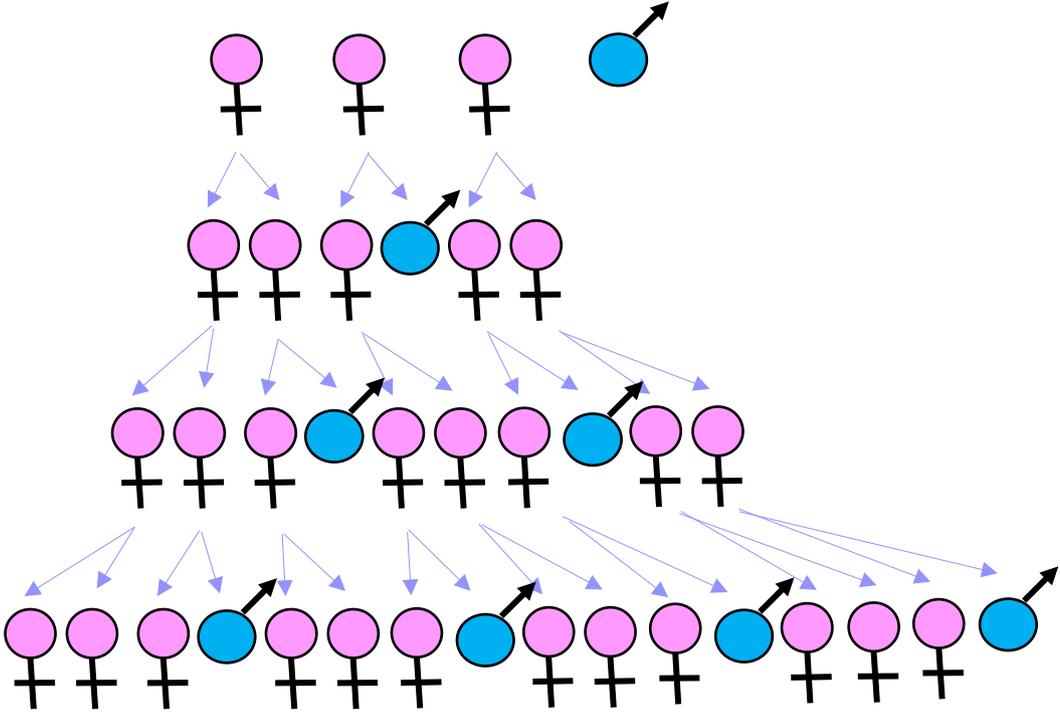
Skin pigmentation:	Very light	Light	Medium	Dark	Very dark
	<12	12-14	18-20	24-26	>29
		15-17	21-23	27-29	

Sélection dépendante de la fréquence  
(gauchers)

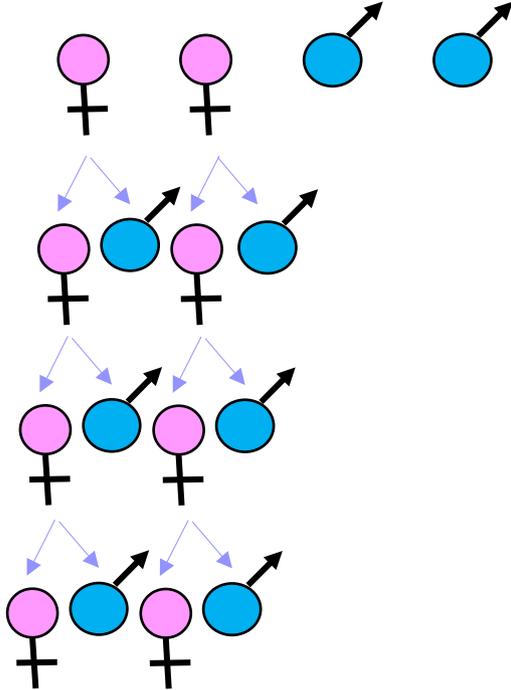


# Sélection dépendante de la fréquence Sex ratio

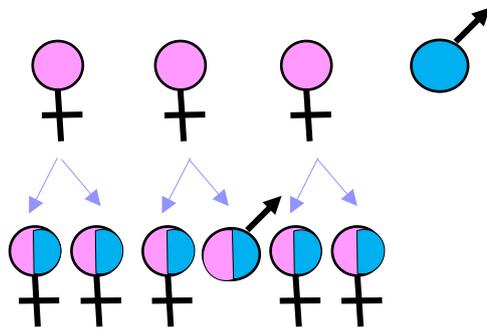
Sex-ratio 3/4



Sex-ratio 1/2

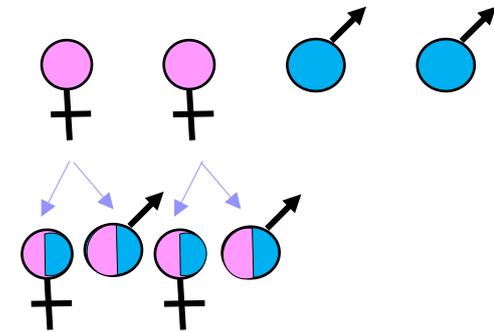


Sex-ratio 3/4



Un gène dans un mâle  
laisse **plus de copies** que  
dans une femelle

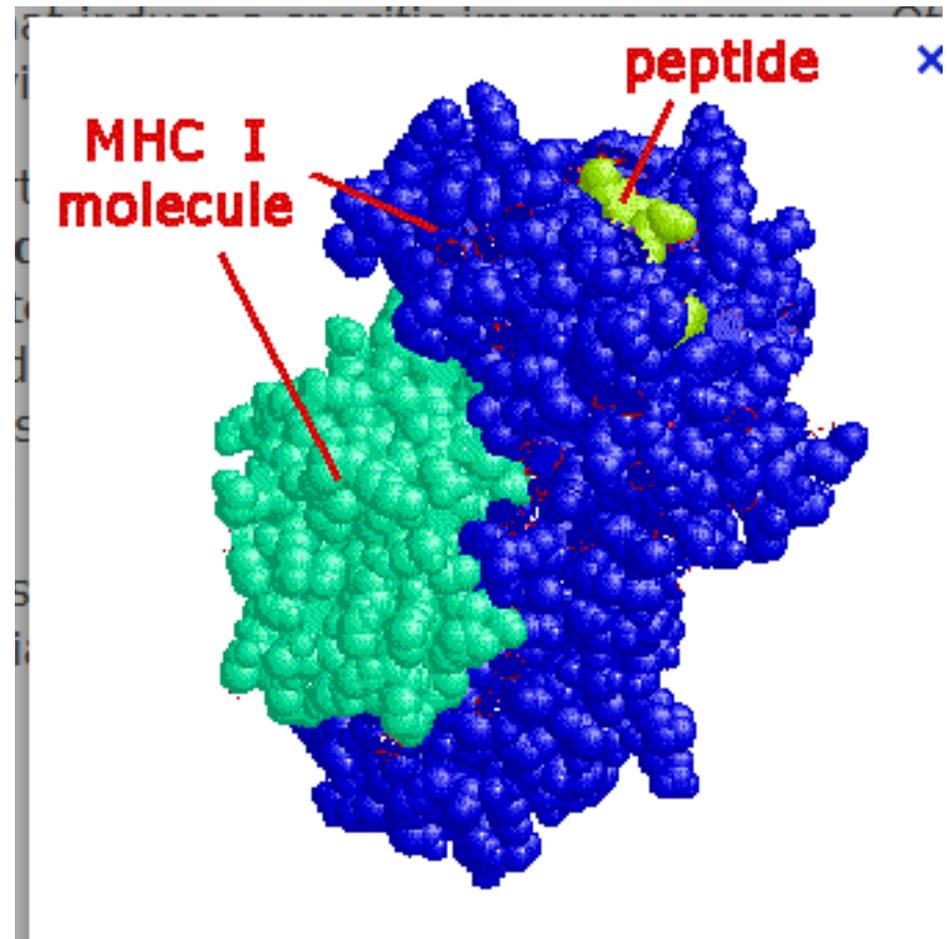
Sex-ratio 1/2



Un gène dans un mâle laisse  
**autant de copies** que dans  
une femelle

**Un allèle faisant davantage du sexe rare augmentera en fréquence.  
A l'équilibre, le sex ratio est  $\frac{1}{2}$ .**

Sélection dépendante de la fréquence  
(hôtes-parasites: système immunitaire effectivement très polymorphe, notamment chez l'homme)



# Pourquoi les oiseaux chantent ?



# Quatre niveaux de causalité

## *Causes proximales*

- Quelles sont les causes immédiates du comportement ?
- Comment le comportement s'est mis en place au cours de l'ontogenèse ?

- Comment le comportement s'est-il mis en place au cours de la phylogenèse ?
- Quelle est sa valeur sélective ?

## *Causes ultimes*

# Pourquoi les oiseaux chantent ?



## Comment ?

= causes proximales = explications mécanistes

Le pinson chante:

- Parce que l'air traverse le syrinx
- Modifications de taux hormonaux au printemps
- Apprentissage par les parents

## Pourquoi ?

= causes ultimes

= explications évolutives

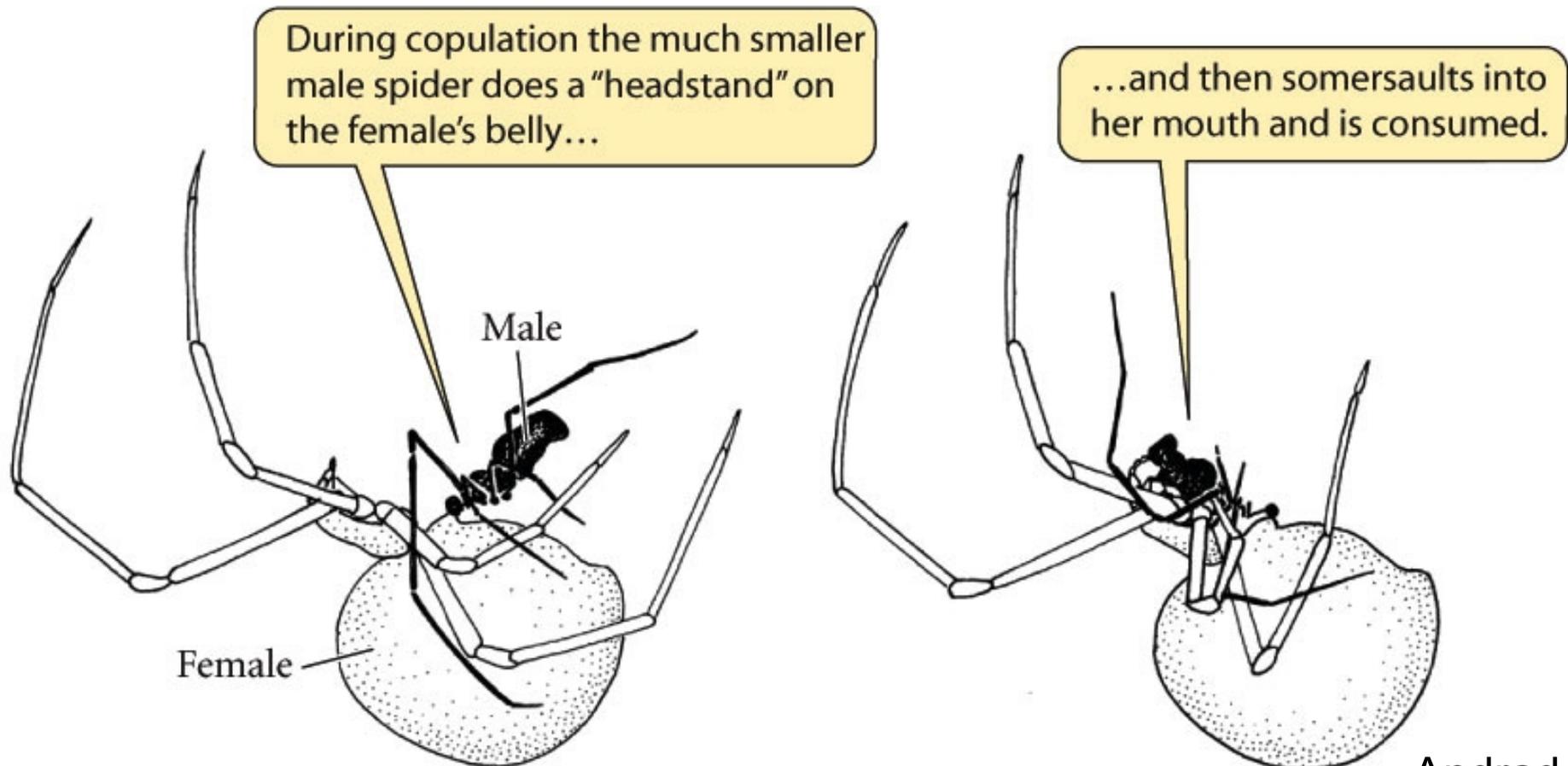
Reproduction

Compétition

Prédation

# Pourquoi les mâles araignées se font manger chez certaines espèces ?

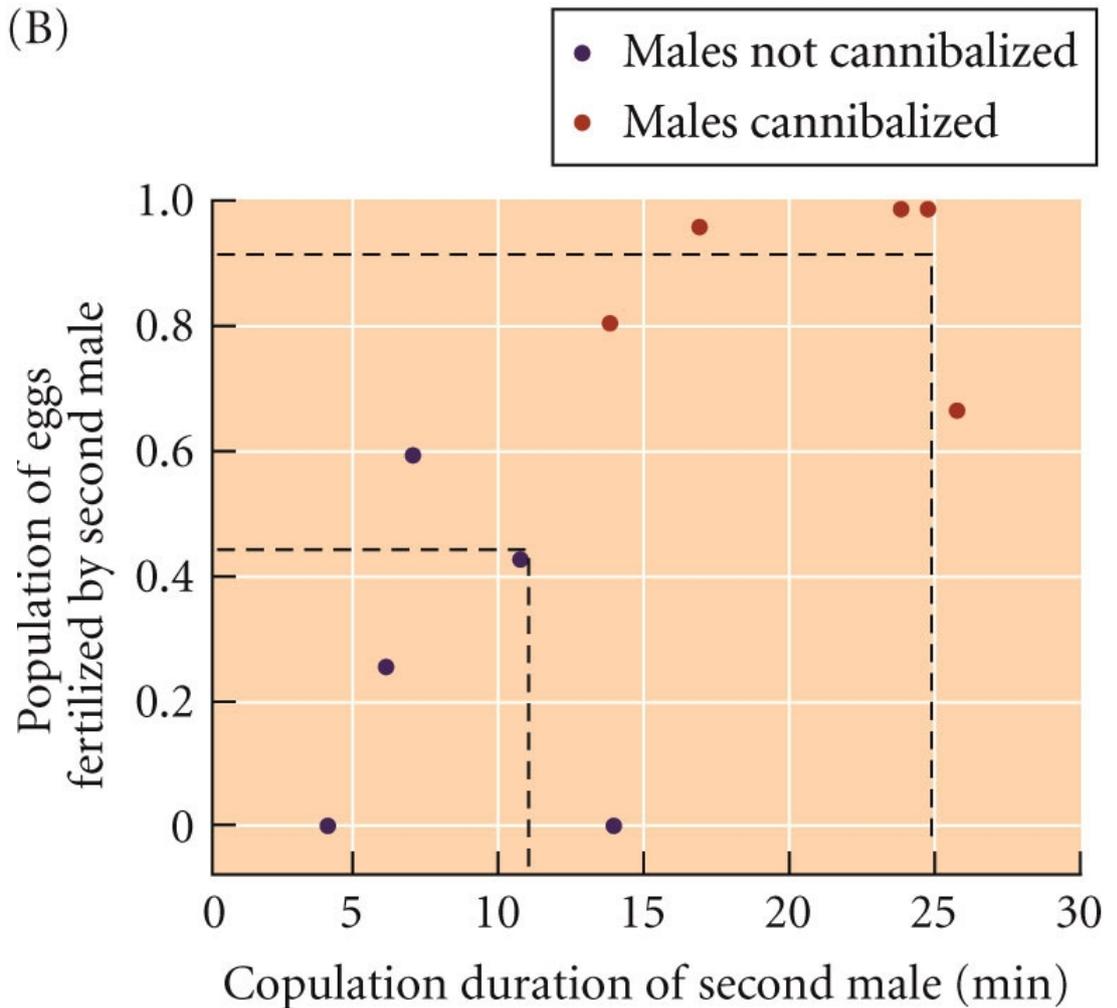
Cannibalisme des mâles par les femelles araignées  
*Latrodectus hasselti* (Veuve noire à dos rouge)



Les mâles qui se laissent manger laissent plus de descendants (copulation plus longue)



(B)



# Pourquoi les lions mâles tuent parfois tous les petits de la troupe ?

Infanticide chez les lions



- Quand un nouveau lion ou groupe de lions conquiert une troupe, il tue tous les lionceaux (infanticide)



*Facteurs proximaux : odeur inconnue des lionceaux*

*Facteurs ultimes : lionnes fécondables au bout de 9 mois  
au lieu de 25 mois*

# Pas pour le bien de l'espèce

Maladies qui ont décimé des populations



*Cryphonectria* sur les chataîgniers



Maladies du blé et de la  
pomme de terre

# La sélection naturelle ne fonctionne pas “pour perpétuer l’espèce”

- La sélection fait augmenter en fréquence les allèles des individus qui laissent plus de descendants que les autres (survie + reproduction)
- Même si c’est aux dépens de la persistance de l’espèce

# **La reproduction sexuée**

---

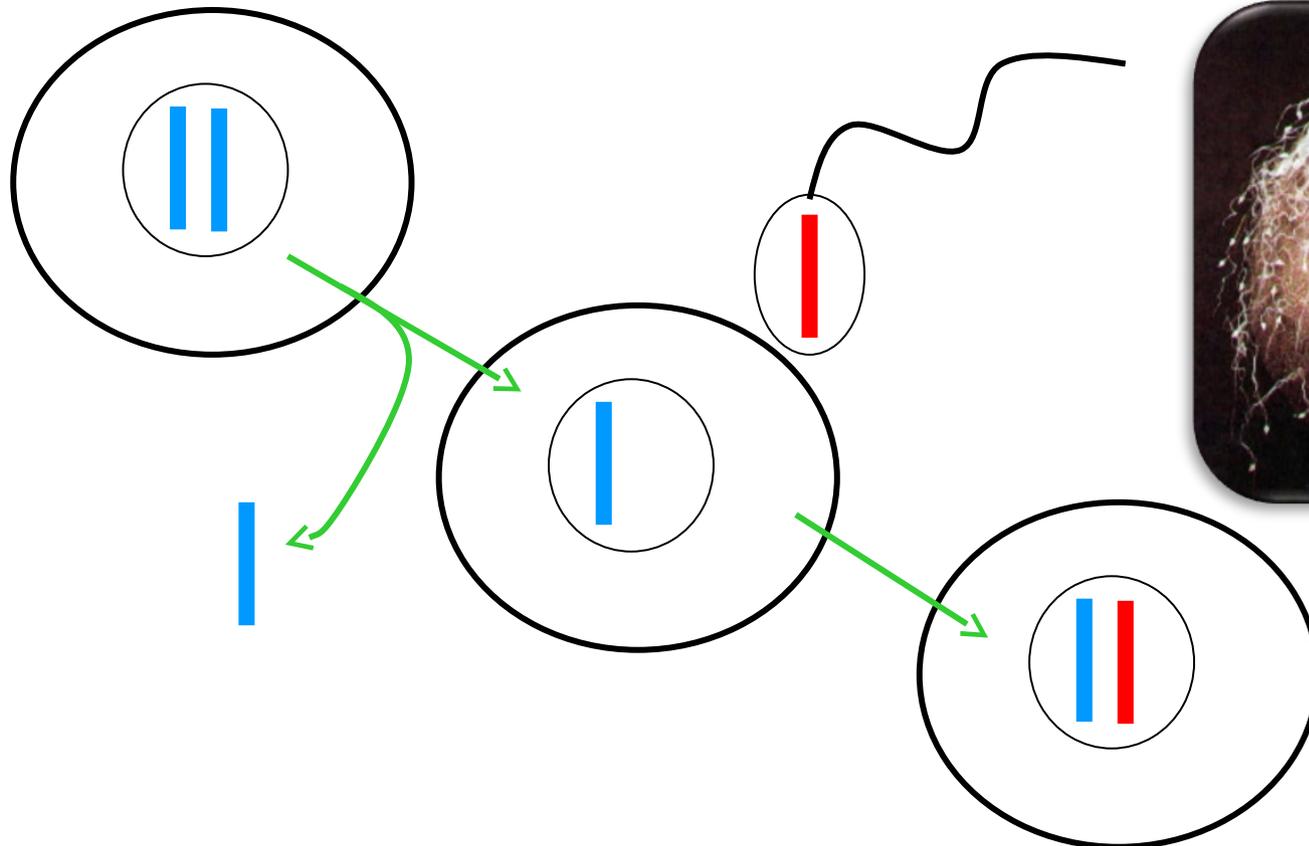
# **Comment expliquer l'existence d'individus différenciés en mâles et femelles ?**

Comment la sélection a-t-elle pu favoriser l'existence d'individus différents qui doivent se rencontrer pour se reproduire, alors qu'il pourrait sembler plus simple et plus efficace d'avoir simplement des individus hermaphrodites capables de s'autoféconder ?

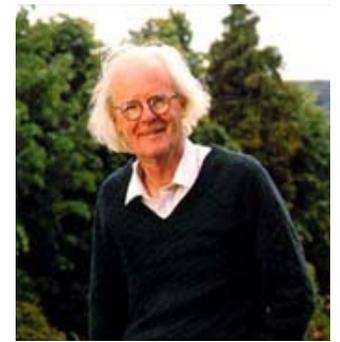
# Le « coût de la méiose »



John Maynard Smith

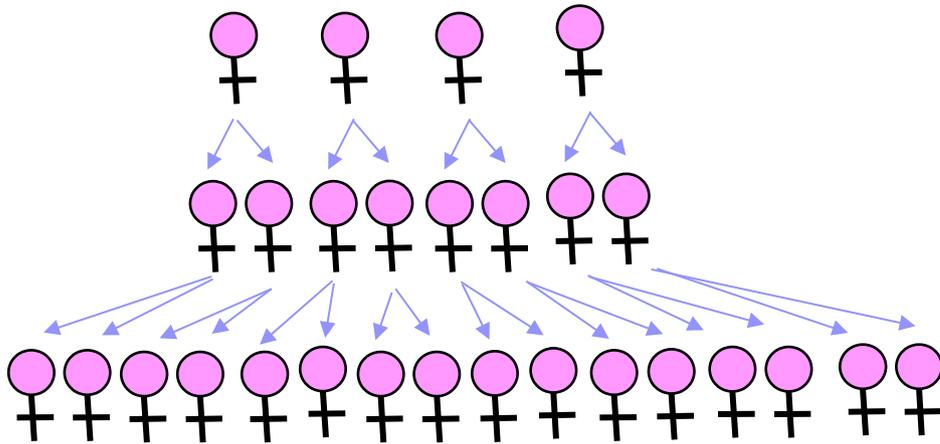


# Le « double coût du sexe »

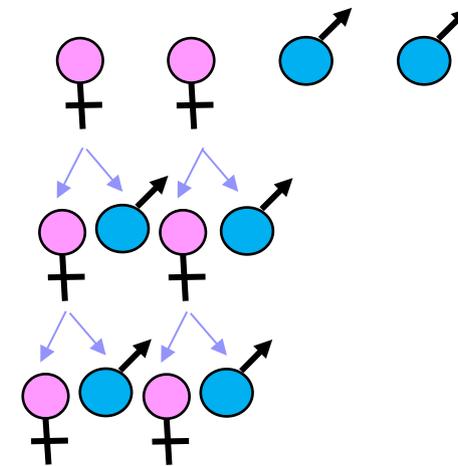


John Maynard Smith

## Reproduction clonale



## Reproduction sexuée



Compare en fait des sexes séparés avec une reproduction clonale  
Hypothèses : les mâles n'améliorent pas le nombre de descendants  
Les femelles dépensent autant pour faire des mâles que des femelles

# Autres désavantages de la reproduction avec sexes séparés

- Coût physiologique de la méiose et de la production de gamètes non utilisés
- Coût pour trouver un partenaire (parade, attirent les prédateurs, nectar, etc.)
- Risque de maladie sexuellement transmissible.

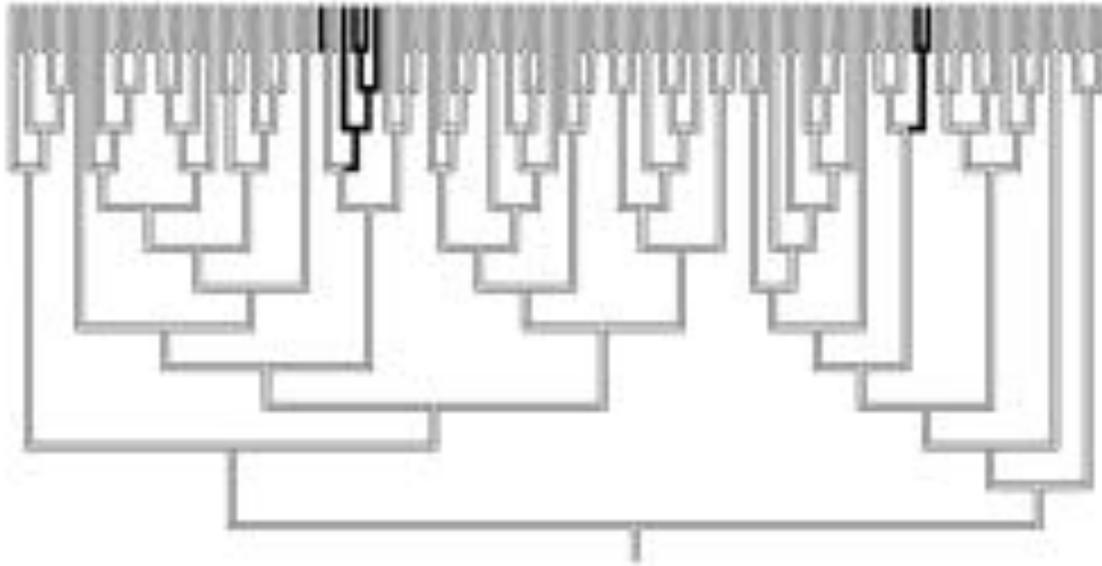


## D'autres coûts...

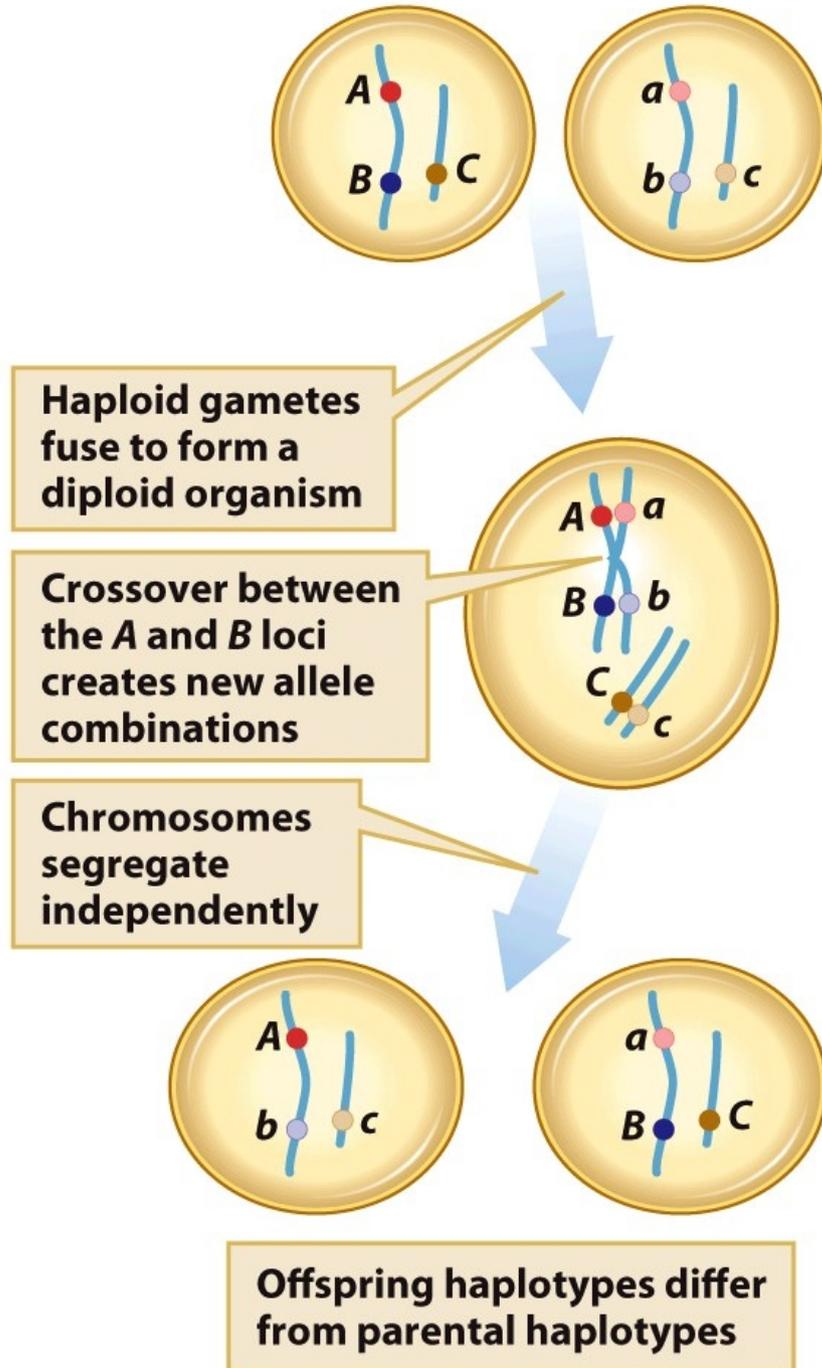


Punaises de lit

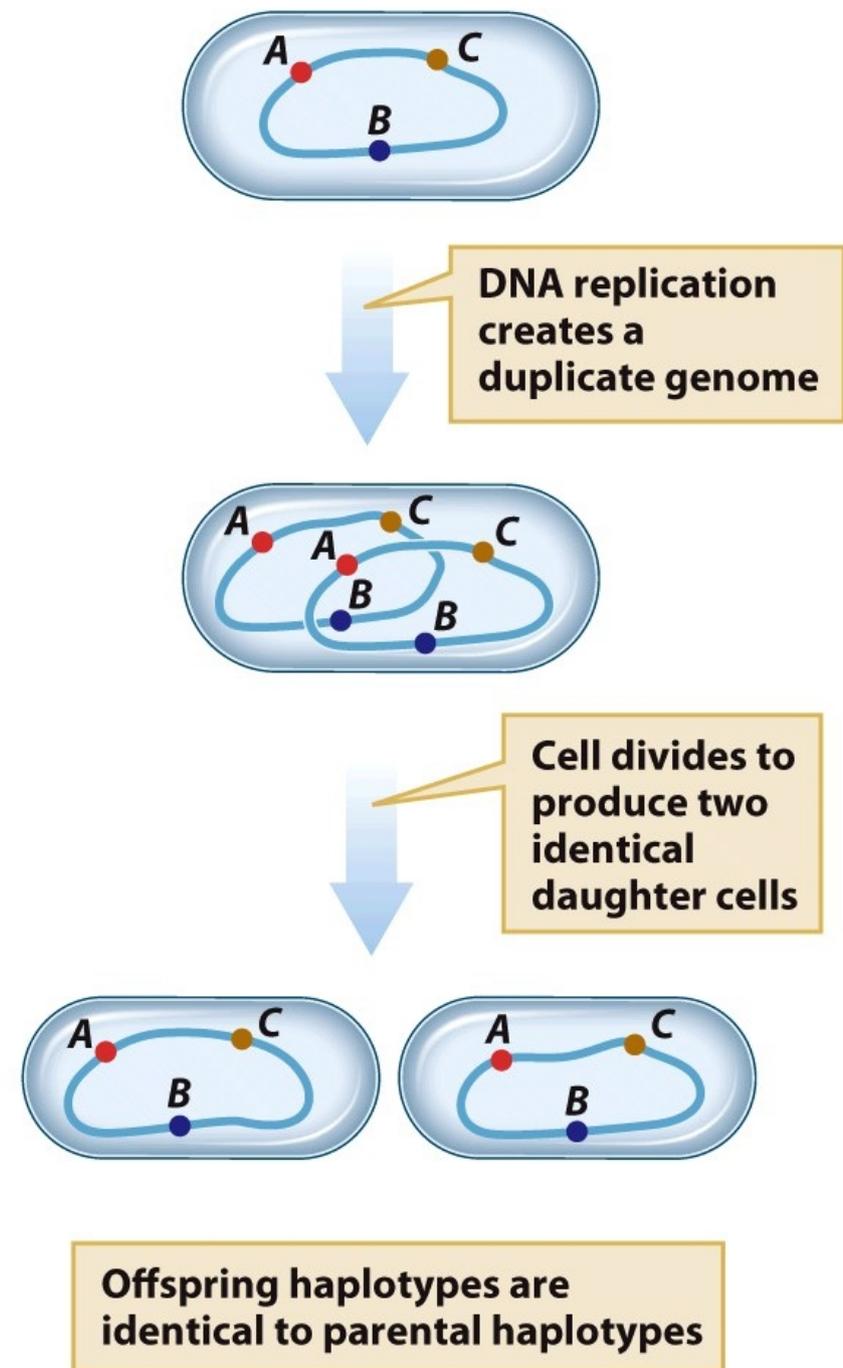
Les espèces asexuées sont toutes « récentes »

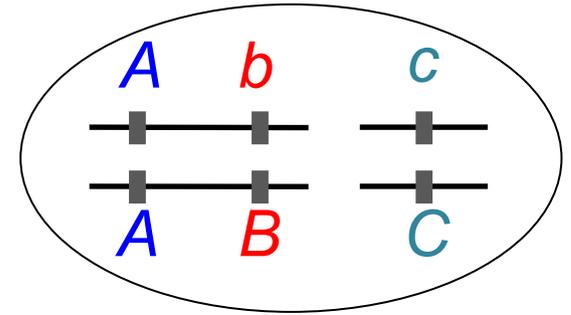
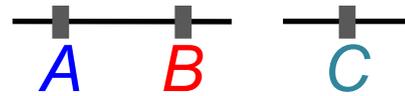
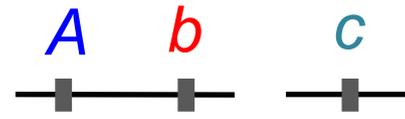
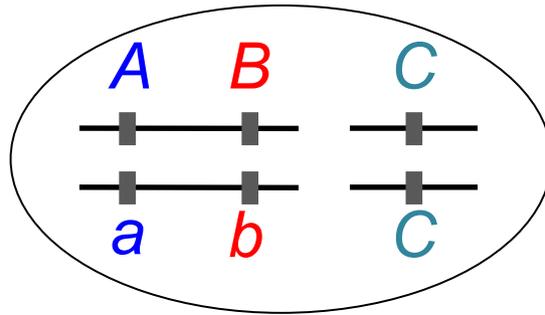
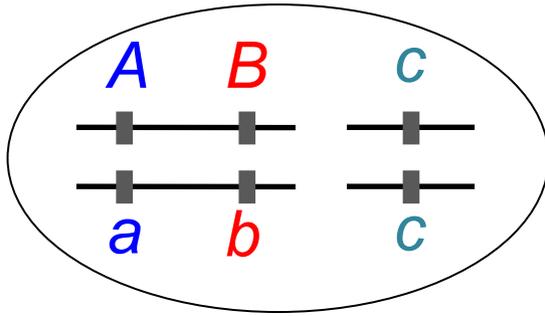


## Sexual diploid

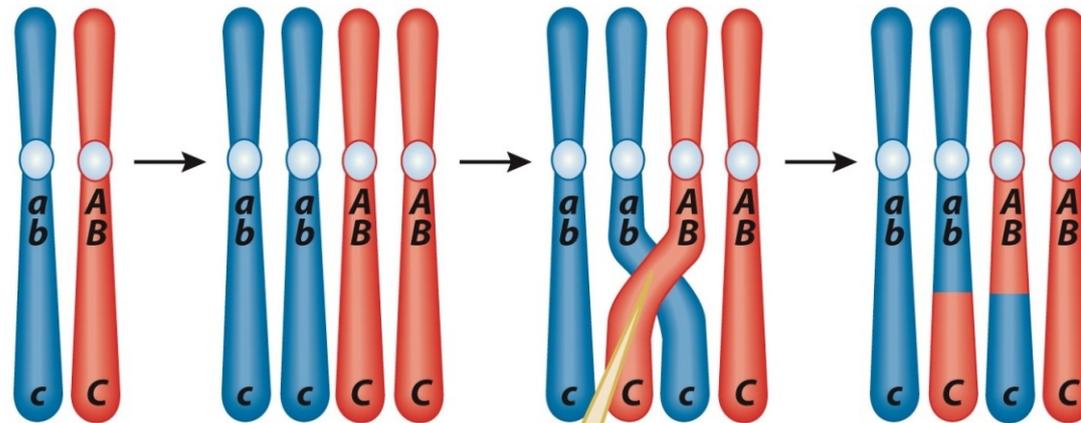


## Asexual haploid

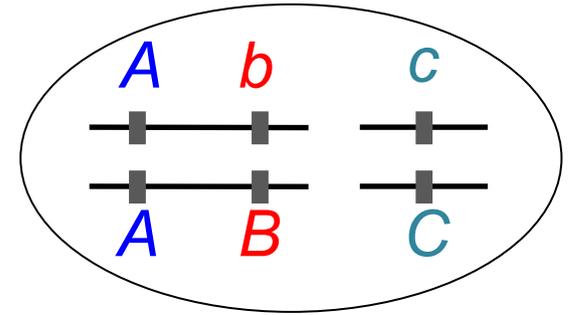
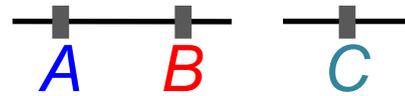
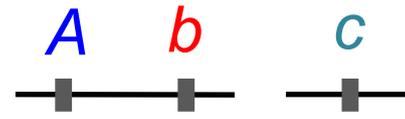
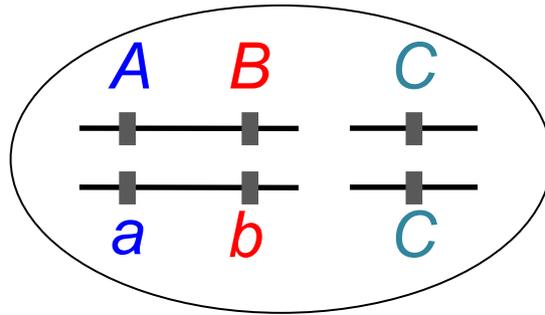
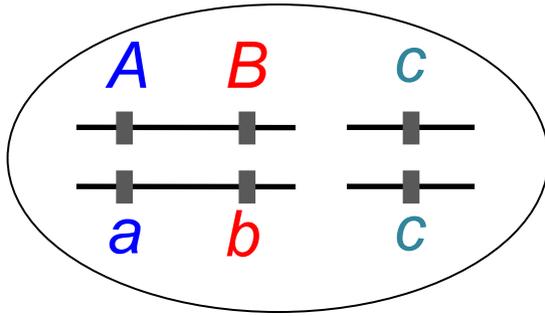




## Ségrégation, recombinaison



Crossing-over



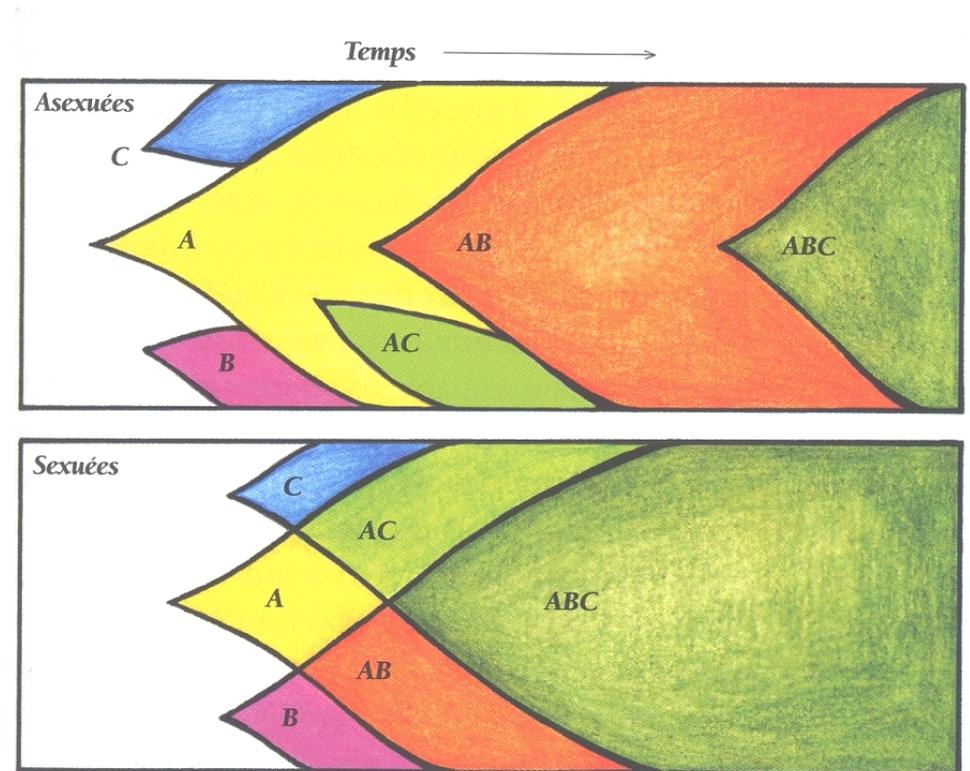
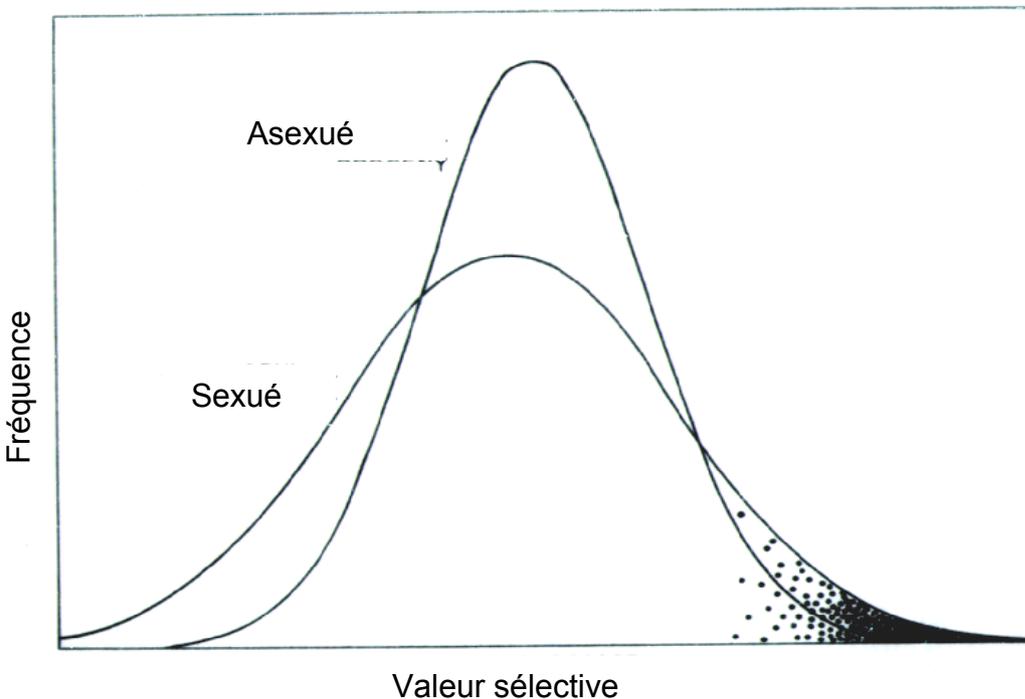
Ségrégation, recombinaison

La reproduction sexuée casse les associations génétiques

# Pourquoi la reproduction sexuée ?

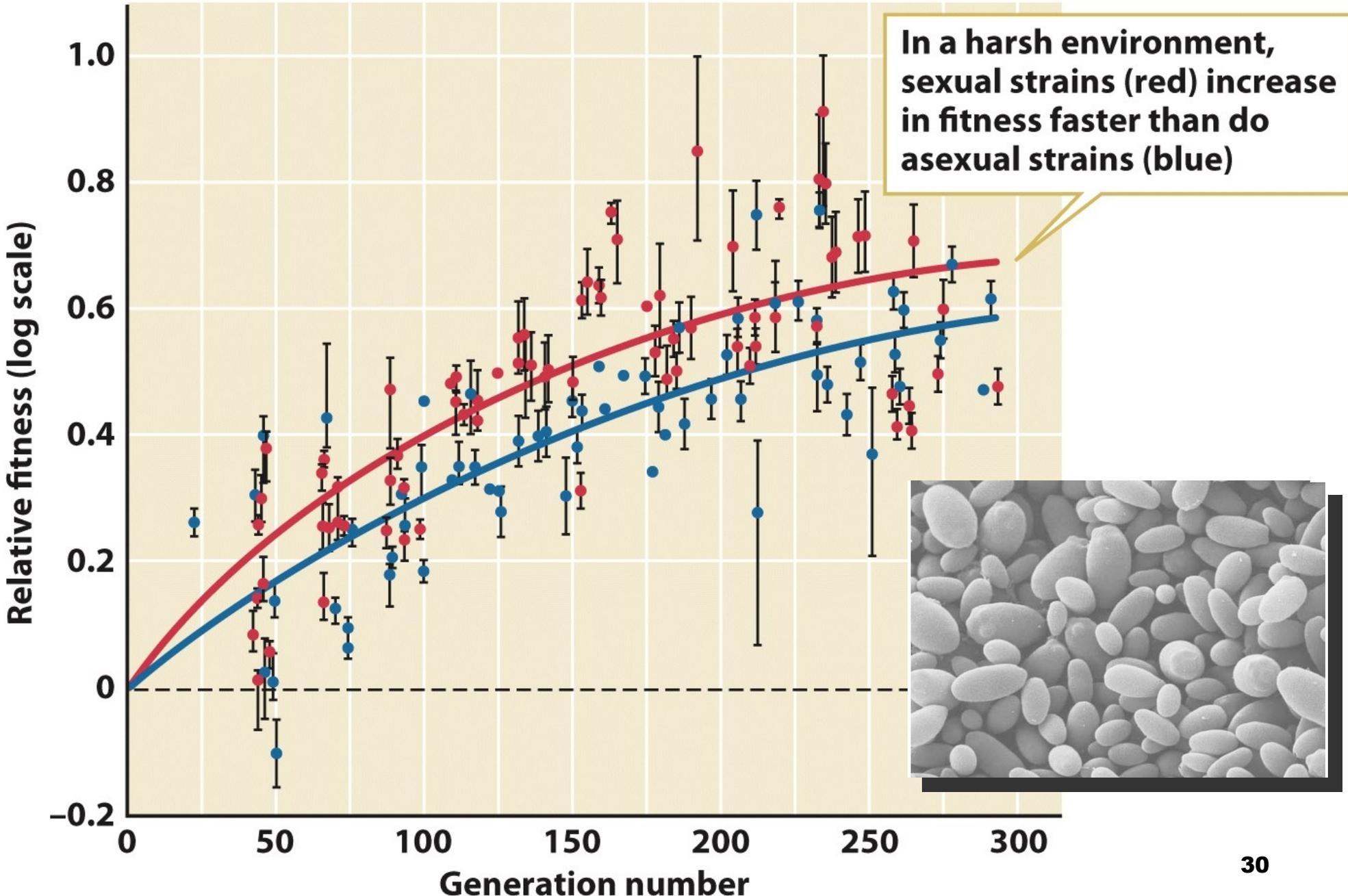
Réponse classique :

Génère de la diversité en redistribuant les combinaisons génétiques ...



Effectivement, une plus grande variation est créée au cours de la reproduction sexuée

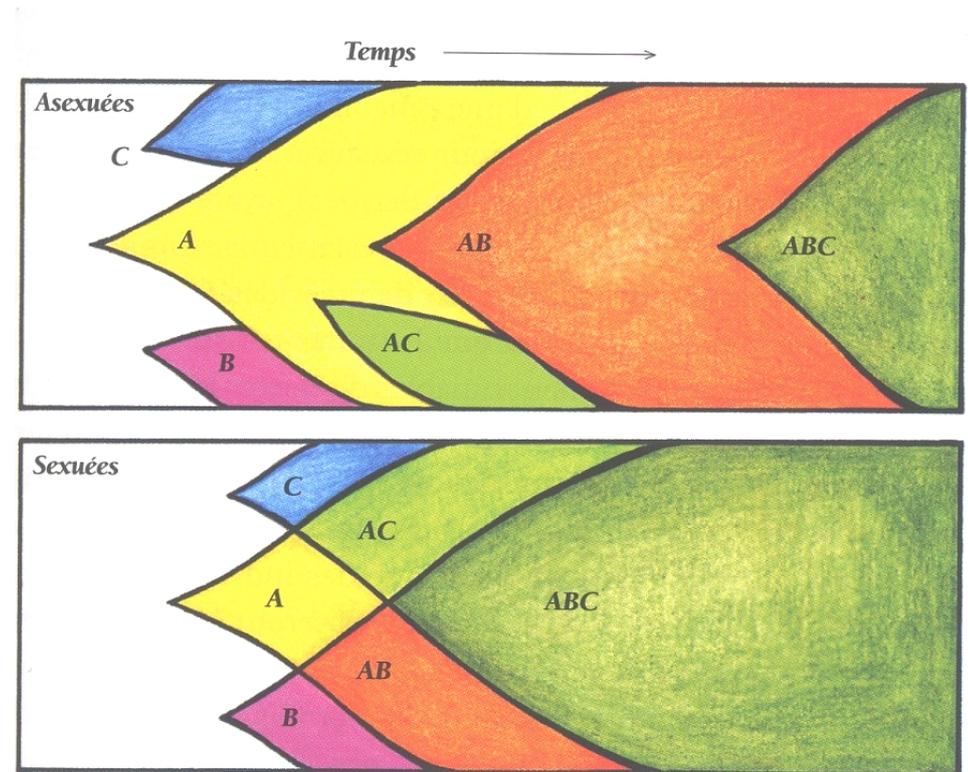
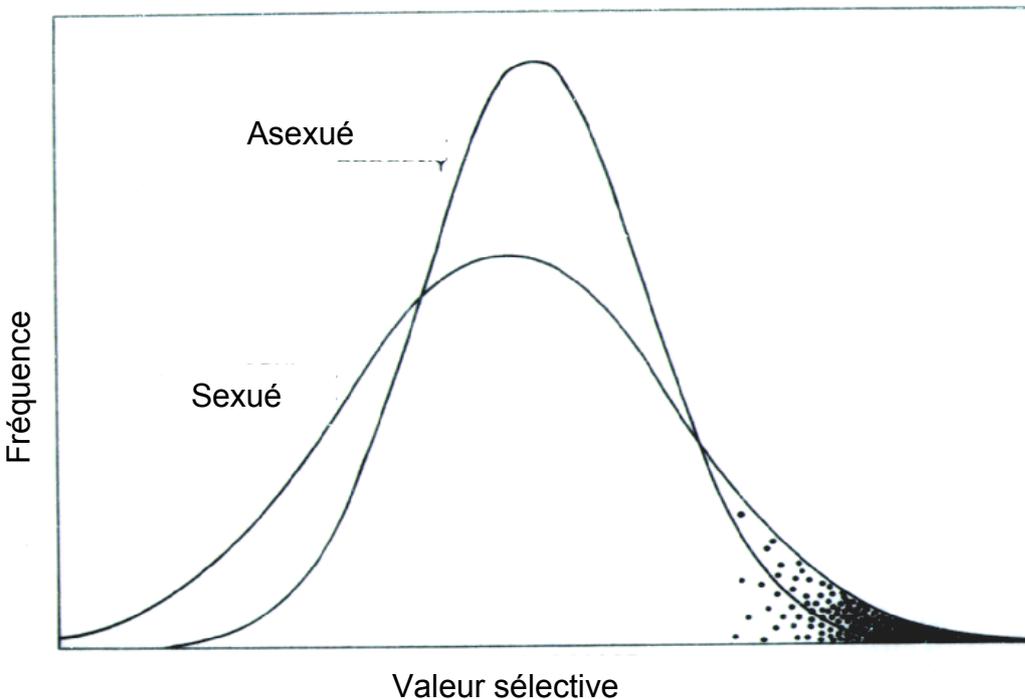
# Relative fitness in asexual versus sexual populations in yeast



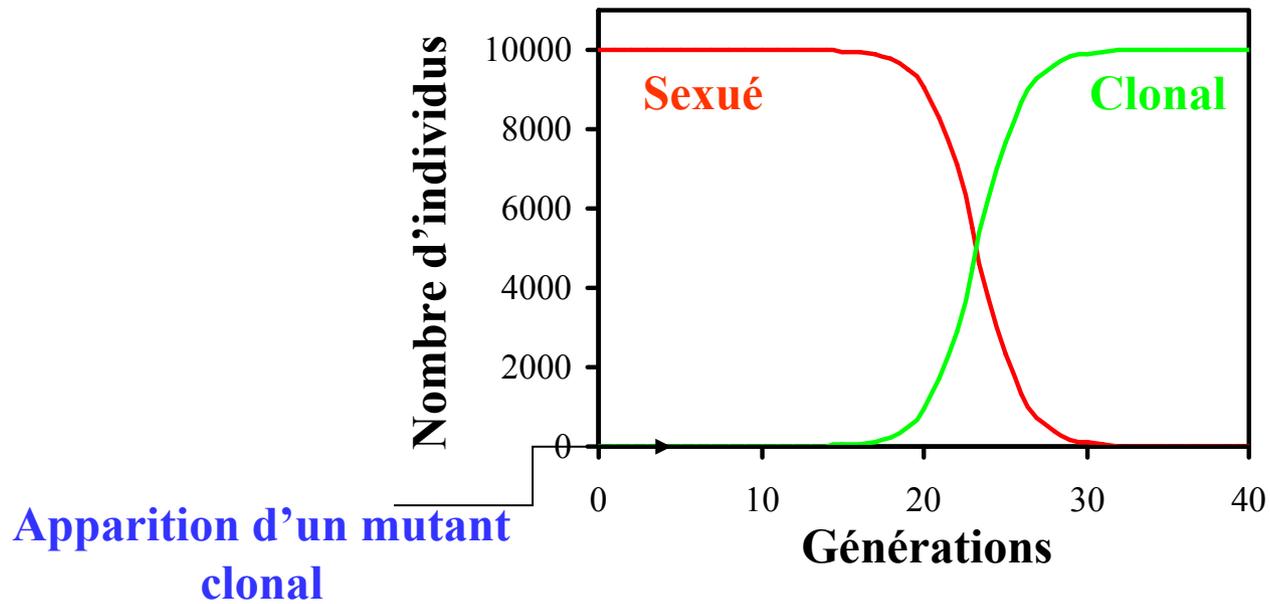
# Pourquoi la reproduction sexuée ?

Réponse classique :

Génère de la diversité en redistribuant les combinaisons génétiques ...



**Modèles : Il faut que la sélection change au moins toutes les 5 générations pour permettre de maintenir la reproduction sexuée.**



Les femelles clonales envahissent les populations bien avant que l'avantage de la diversité génétique ne puisse intervenir!

# Echange de matériel génétique entre bactéries



# Les pathogènes : un environnement qui change vite



«Now, here, you see, it takes all the running you can do, to keep in the same place»

# Preuves en faveur de l'hypothèse de la reine rouge ?

Daphnia et ses micro-parasites, très bon modèle pour tester la reine rouge :

- Différents génotypes
- L'hôte et les micro-parasites peuvent rester dormants dans pendant très longtemps

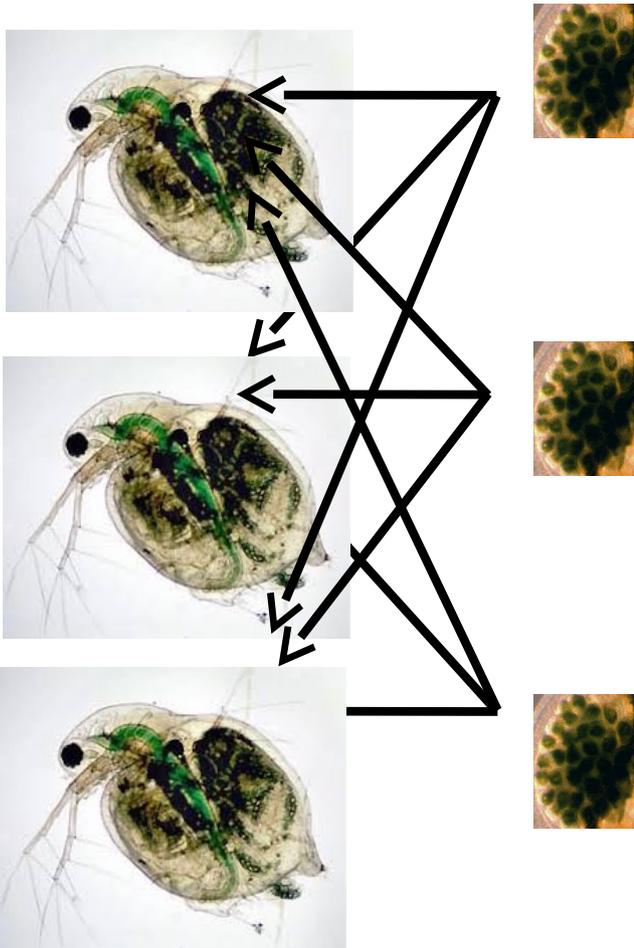


Daphnia

# Preuves en faveur de l'hypothèse de la reine rouge ?

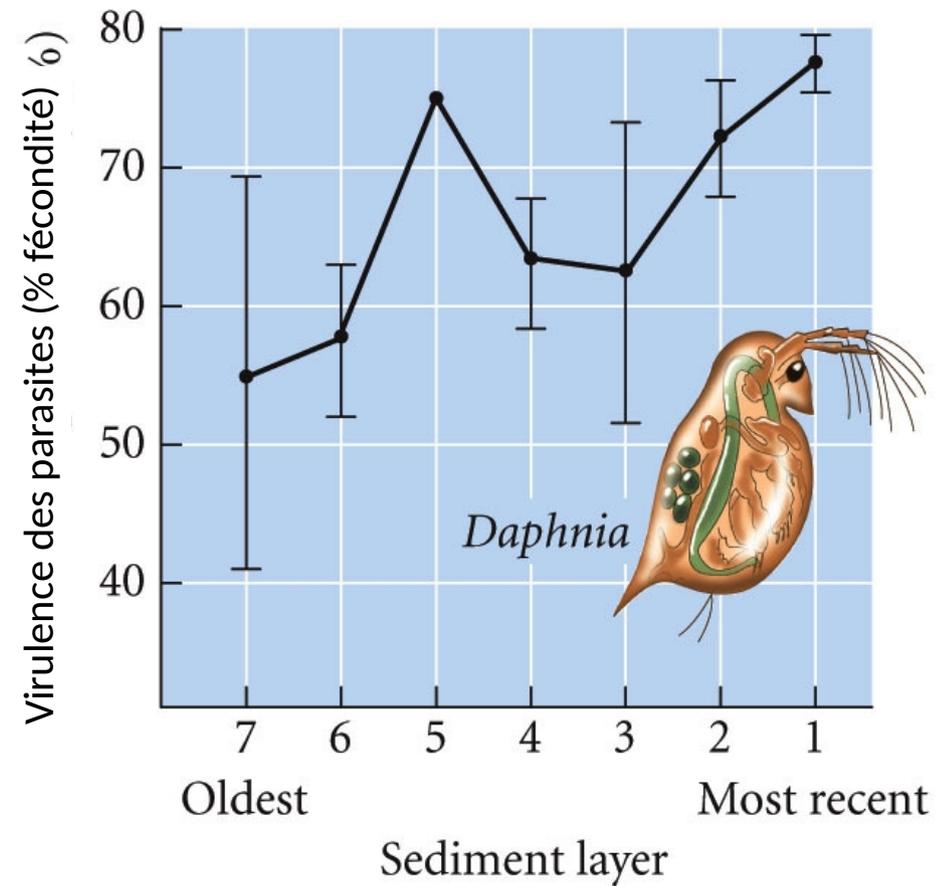
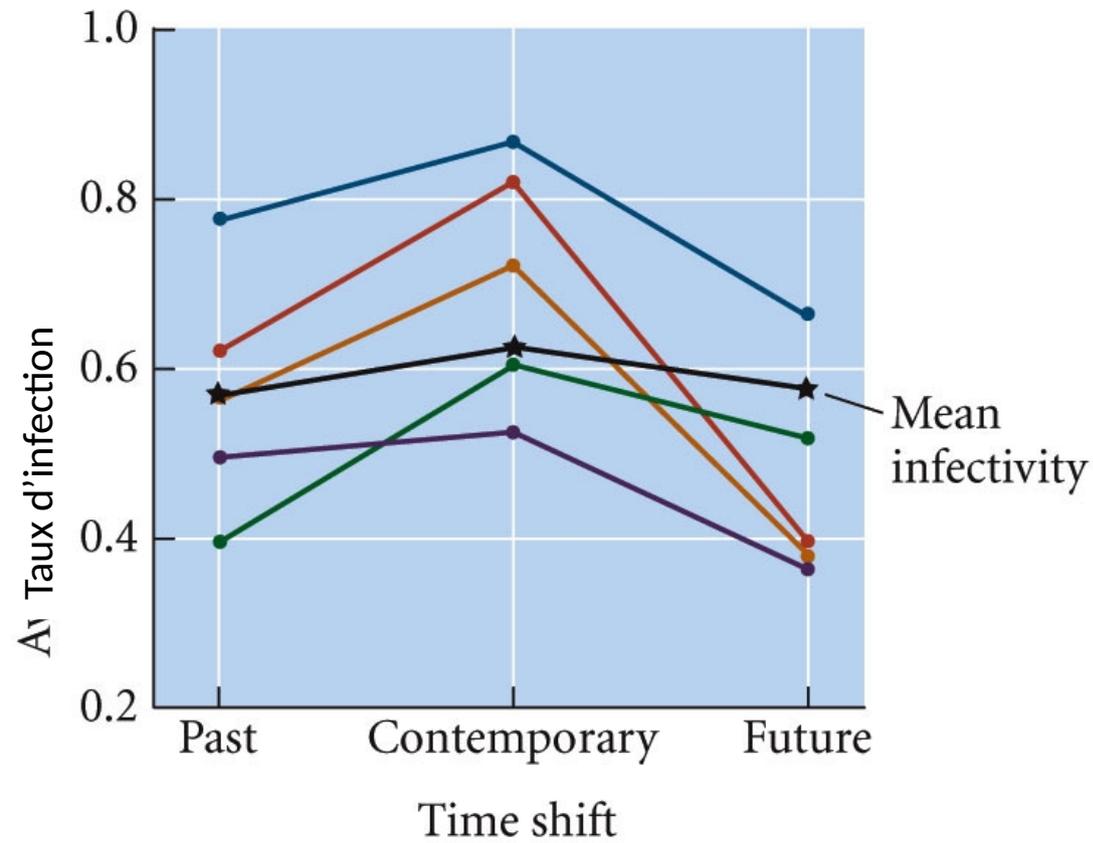
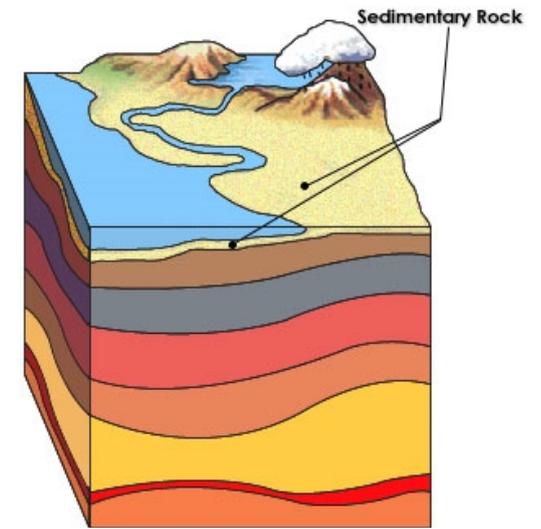


Pour 8 couches sédimentaires, Daphnia exposé à des parasites....



Extraction des carottes de sédiments dont la couche plus ancienne ~ 39 ans →

# Coévolution parasite-hôte



# L'hypothèse de la reine rouge explique le maintien de la reproduction sexuée

*Potamopyrgus antipodarum*, escargot d'eau douce de Nouvelle Zélande

On trouve :

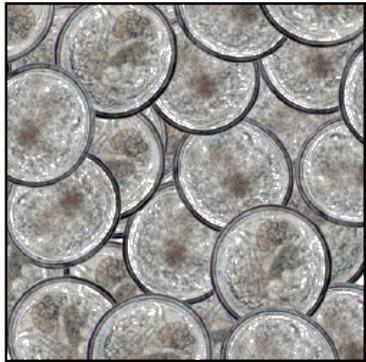
- des populations de mâles et femelles sexués
- des populations de femelles asexuées (parthénogénétiques)



# L'hypothèse de la reine rouge explique le maintien de la reproduction sexuée

Plus de femelles sexuées et de mâles dans les lacs où la fréquence des parasites est élevée

Pathology of *Microphallus* Infection in *P. antipodarum*



# Evolution de la reproduction sexuée avec sexes séparés

Différentes explications

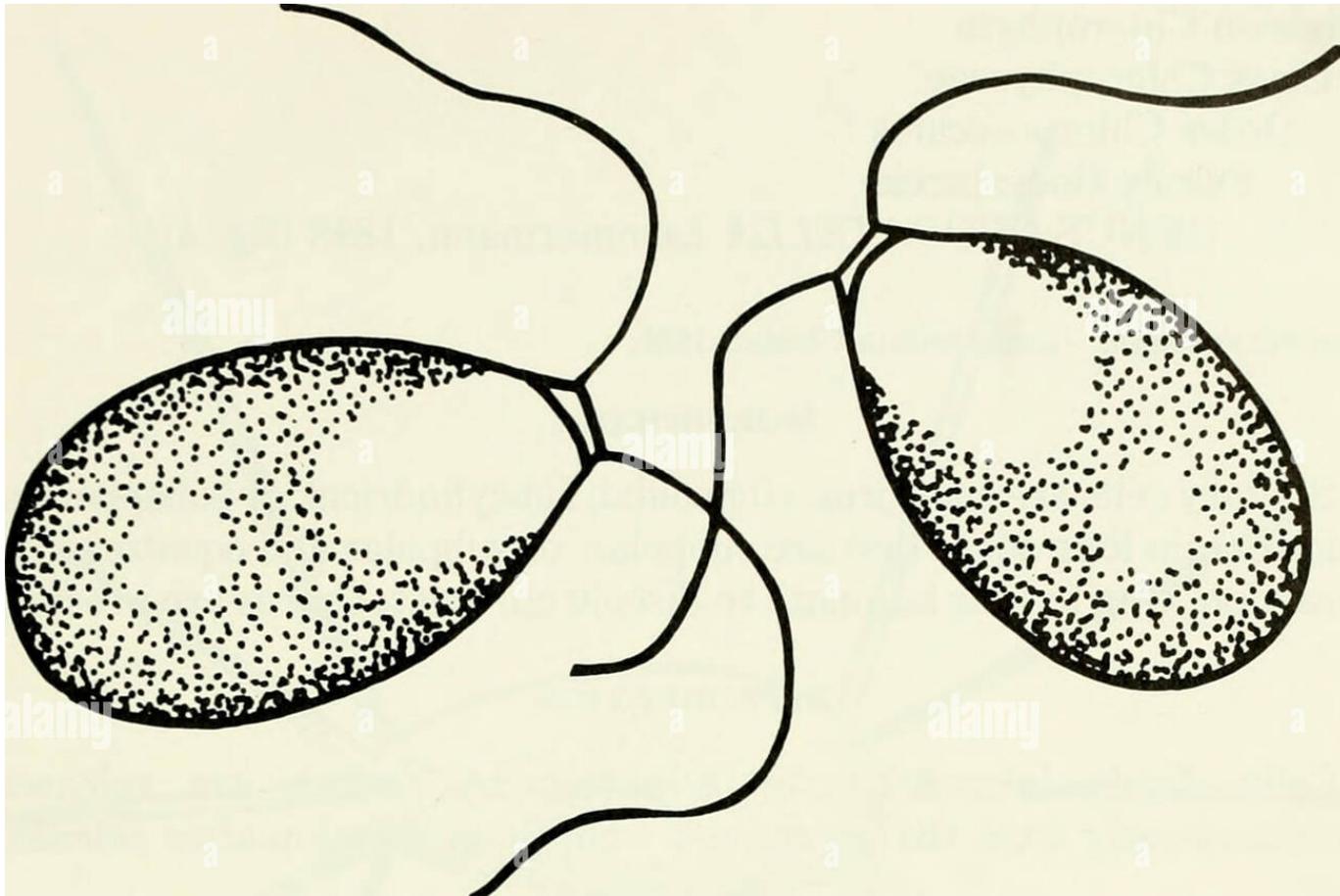
Double coût du sexe et autres désavantages de la reproduction sexuée

Création de nouvelles combinaisons génétiques

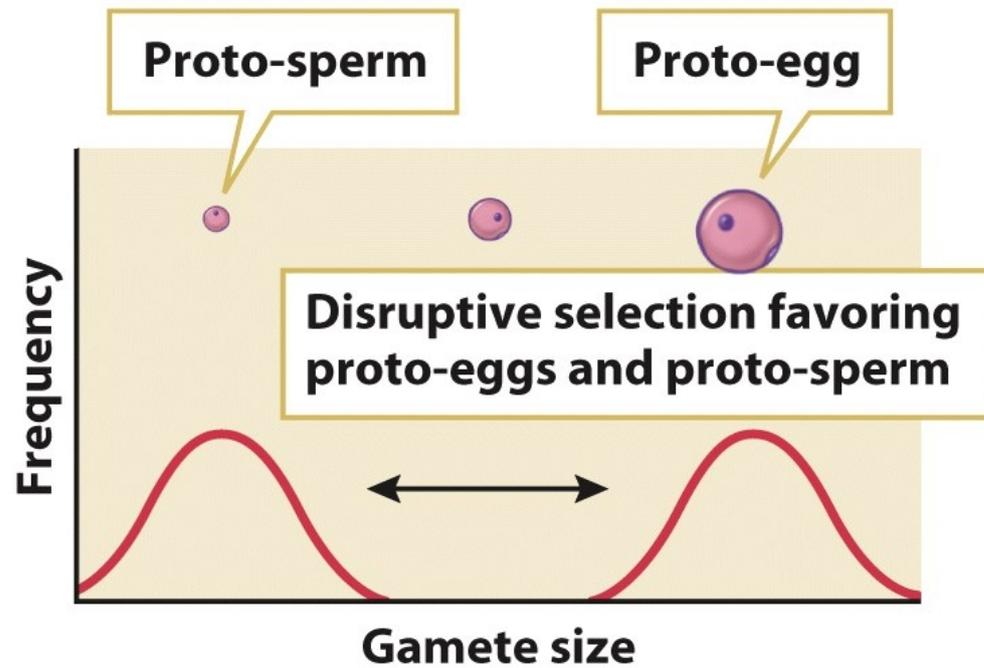
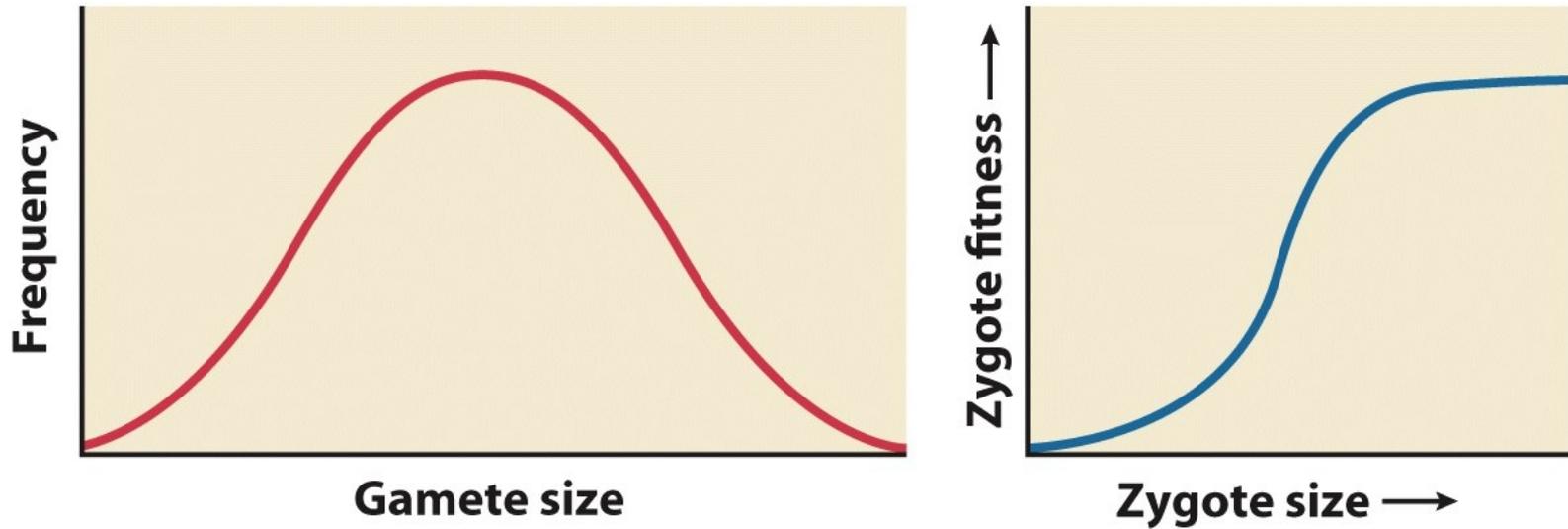
Hypothèse de la reine rouge

Pourquoi y a-t-il si souvent  
des mâles et des femelles ?

Et pas homogamie ?



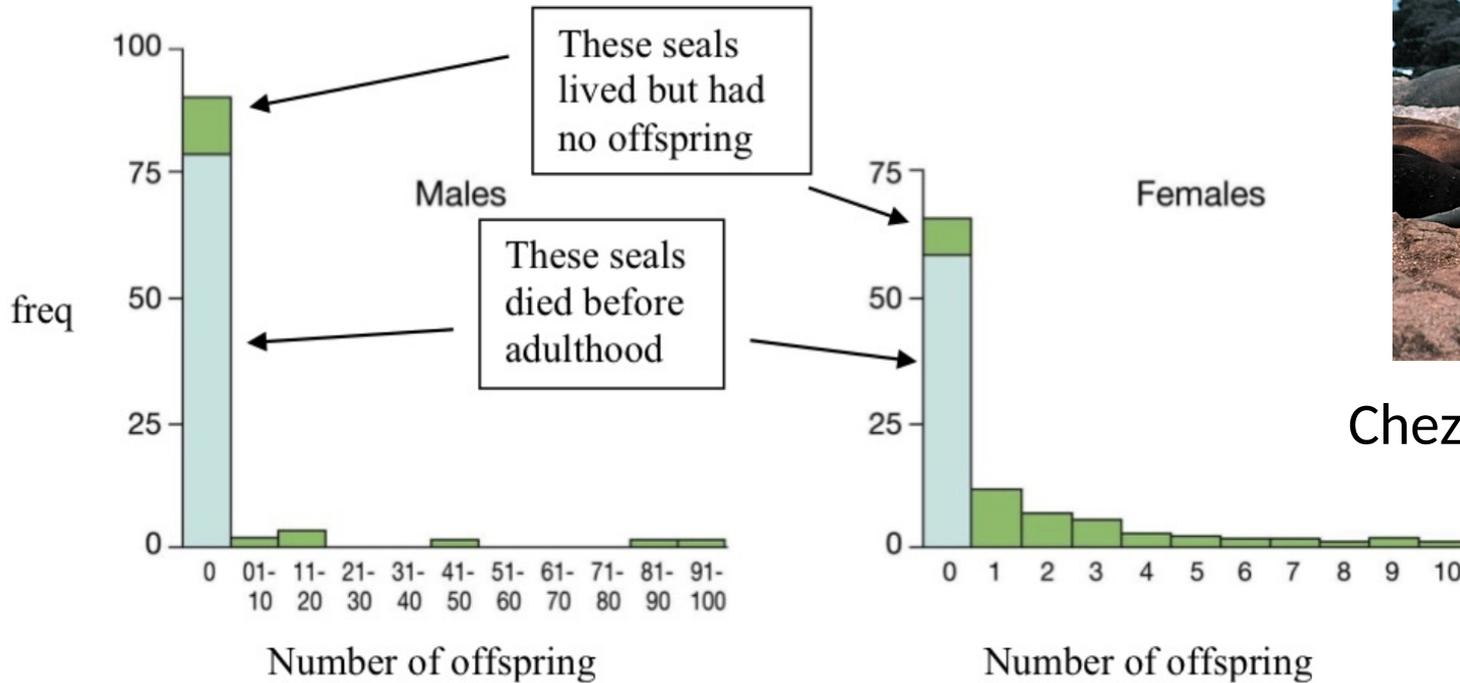
# Pourquoi des mâles et des femelles ?



Pourquoi les oiseaux mâles sont-ils généralement plus colorés que les femelles ?



# Variance du succès reproducteur plus élevée chez les mâles



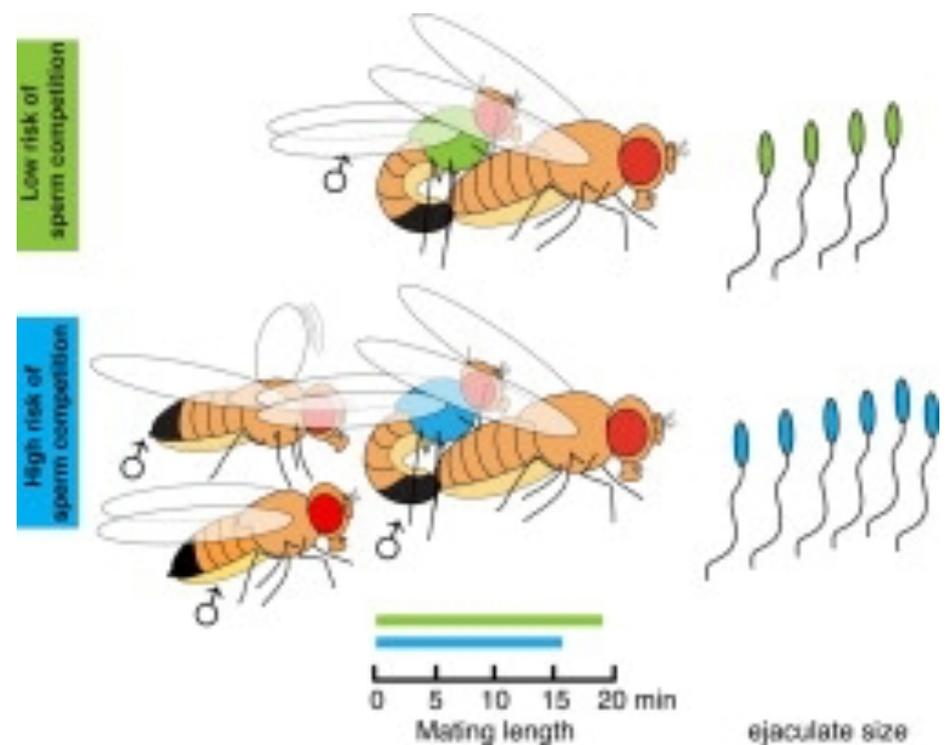
Chez les phoques

Le Sultan Moulay Ismael du Maroc a eu 888 enfants.  
On a retracé des milliers de copies du Y de Gengis Khan.

La femme connue comme ayant eu le plus d'enfants en avait eu 69 en 27 grossesses.



# Compétition entre les mâles



# Lek

Endroit où les mâles paraded tous ensemble et les femelles viennent choisir



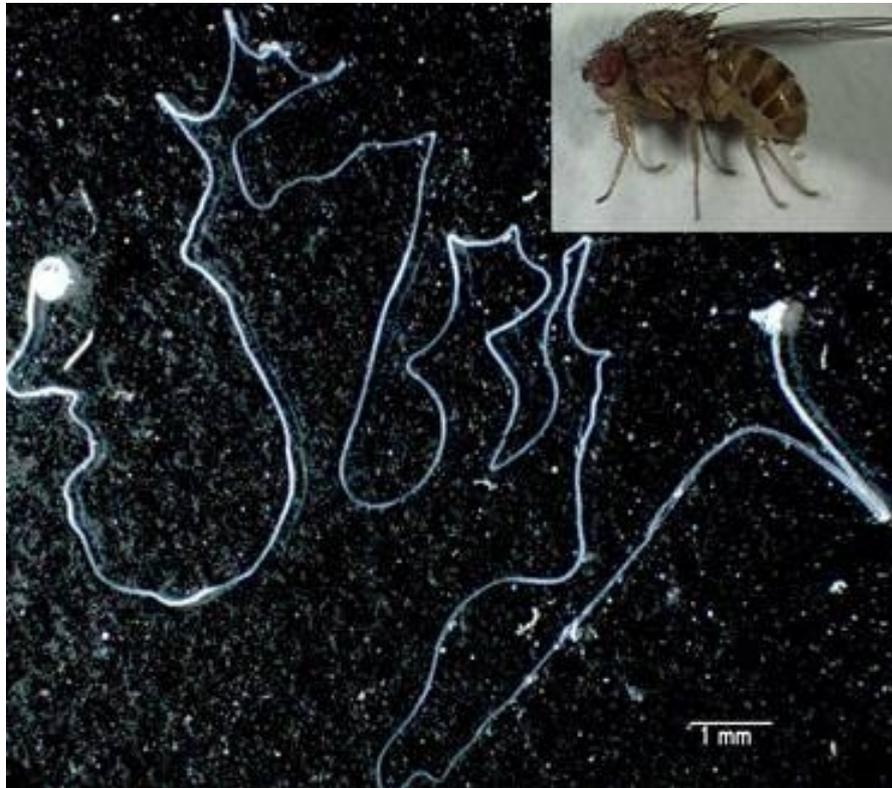
# Paradoxe des bons gènes

Ils devraient être rapidement fixés par sélection, alors pourquoi continuer à choisir?

Coévolution avec les parasites :  
les meilleurs allèles ne sont pas les mêmes d'une génération à l'autre car les parasites évoluent



# Compétition spermatique



Spermatozoïde géant chez une espèce de drosophile

Homme: 180 millions de spermatozoïdes pour 1 ovule....

# Sex role reversal

Quand les mâles incubent les œufs, ce sont eux qui choisissent et les femelles qui sont plus grosses et colorées



Jacana noir



# Le gène égoïste

---

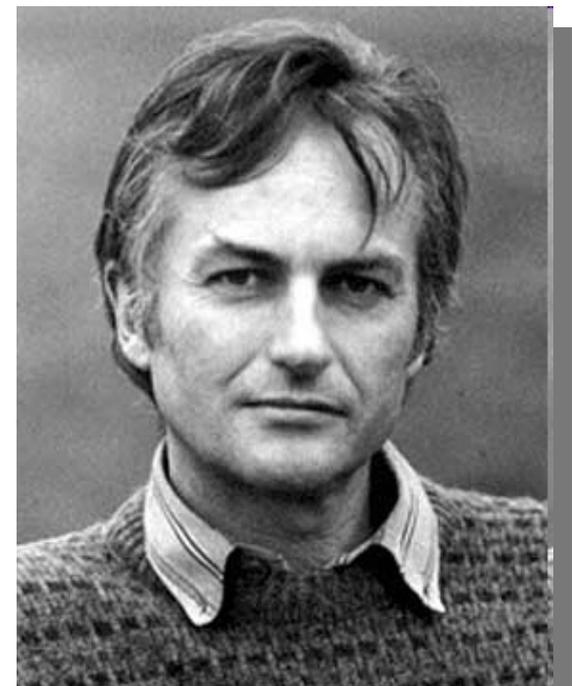
# Le gène égoïste

- Tout comportement ne peut être sélectionné et maintenu que s'il permet une transmission de l'allèle qui le détermine plus grande que celle des autres allèles dans la population
- Les individus ne sont que des artifices créés par les gènes pour se reproduire; ils ne sont que des « véhicules » pour les gènes leur permettant de passer efficacement d'une génération à l'autre

Richard Dawkins  
Le Gène égoïste



1976



*« Aujourd'hui, ils forment d'immenses colonies, à l'abri dans de gigantesques robots, isolés du monde extérieur, communiquant avec lui par des voies indirectes tortueuses et le manipulant à distance. Ils sont en vous et moi ; ils nous ont créés, corps et esprit ; et leur préservation est la raison ultime de notre existence ».*

*(Richard Dawkins, 1976)*

*« Aujourd'hui, ils sont piégés dans d'immenses colonies, enfermés dans des êtres hautement intelligents, modelés par le monde extérieur, communiquant avec lui par des processus complexes, à travers lesquels, aveuglément, comme par magie, la fonction émerge. Ils sont en vous et moi ; nous sommes le système qui permet de lire leur code ; et leur préservation dépend totalement de la joie que nous éprouvons à nous reproduire. Nous sommes la raison ultime de leur existence ».*

*(Denis Noble, 1999)*

*“Now they swarm in huge colonies, safe inside gigantic lumbering robots, sealed off from the outside world, communicating with it by tortuous indirect routes, manipulating it by remote control. They are in you and me; they created us, body and mind; and their preservation is the ultimate rationale for our existence.”*

*(Richard Dawkins, 1976)*

*“Now they are trapped in huge colonies, locked inside highly intelligent beings, moulded by the outside world, communicating with it by complex processes, through which, blindly, as if by magic, function emerges. They are in you and me; we are the system that allows their code to be read; and their preservation is totally dependent on the joy we experience in reproducing ourselves. We are the ultimate rationale for their existence.”*

*(Denis Noble, 1999)*

# Le gène égoïste : éléments transposables

Éléments transposables  
(« gènes sauteurs » sans autre fonction  
que de s'auto-répliquer dans le  
génomme)

40% du génome humain

70% du génome du maïs



# Le gène égoïste : éléments transposables

Même ces parasites ultimes se font parasiter par des gènes encore plus « égoïstes »....

Des copies plus petites non-autonomes qui utilisent les transposases des copies complètes



Comment expliquer que les araignées *Amaurobius ferox* se donnent en nourriture pour leurs petits en cas de famine ?



Comment expliquer que les ouvrières des fourmis soient stériles ?



Comment expliquer que les abeilles mangent les œufs des autres ouvrières de la même colonie ?



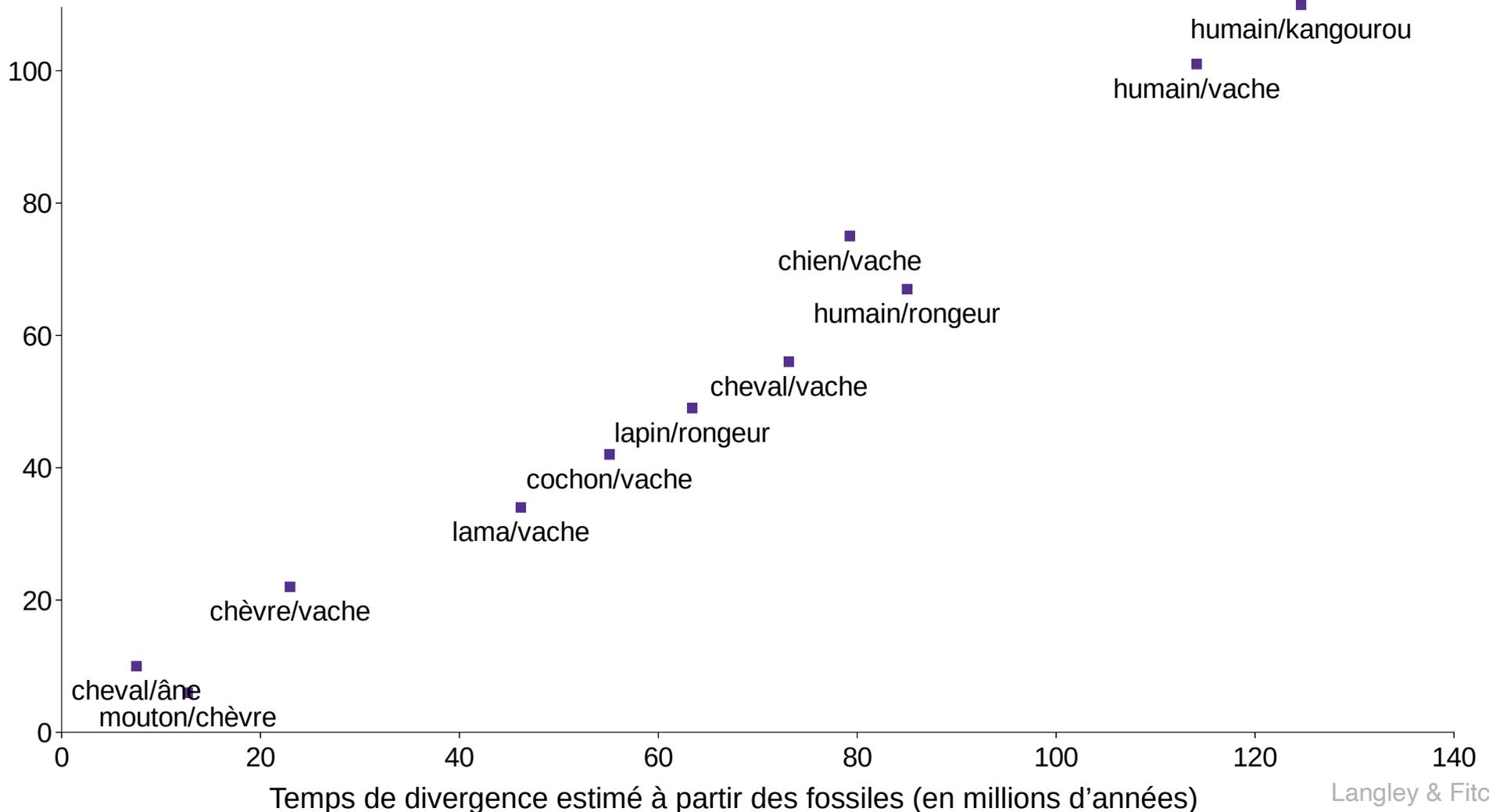
# **Interpretation of phylogenetic trees**

---

# Horloge moléculaire

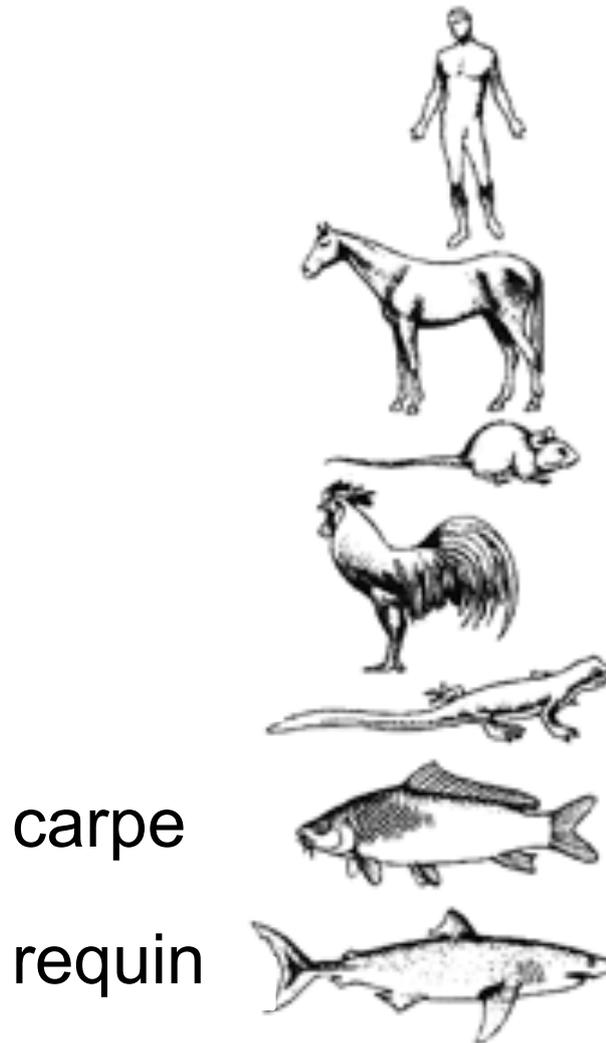
Hypothèse selon laquelle les mutations génétiques s'accumulent dans un génome à une vitesse constante

Nombre de mutations



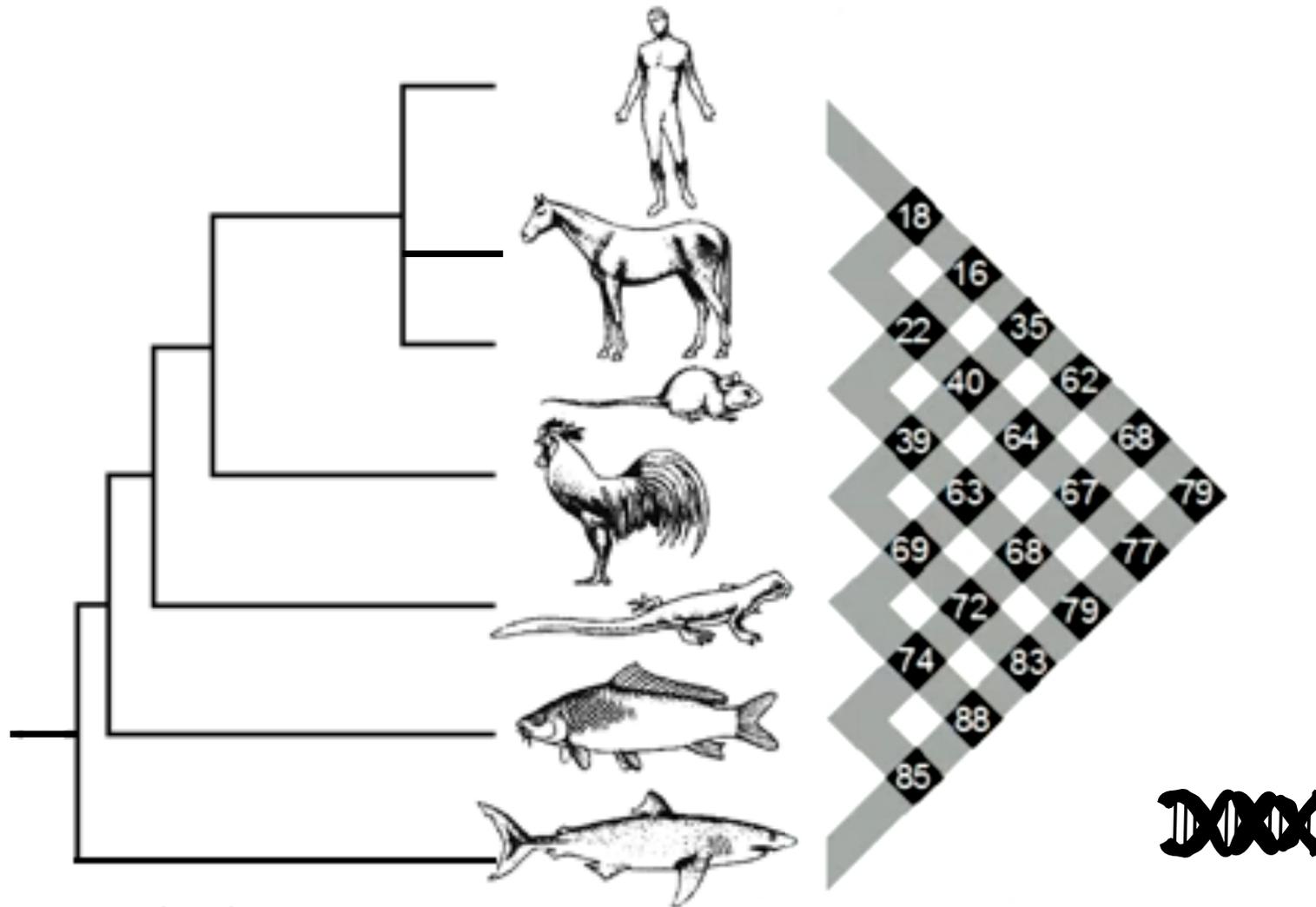
# Quelles sont les relations phylogénétiques entre ces espèces ?

## Le requin est-il plus proche de la carpe ou de l'humain ?

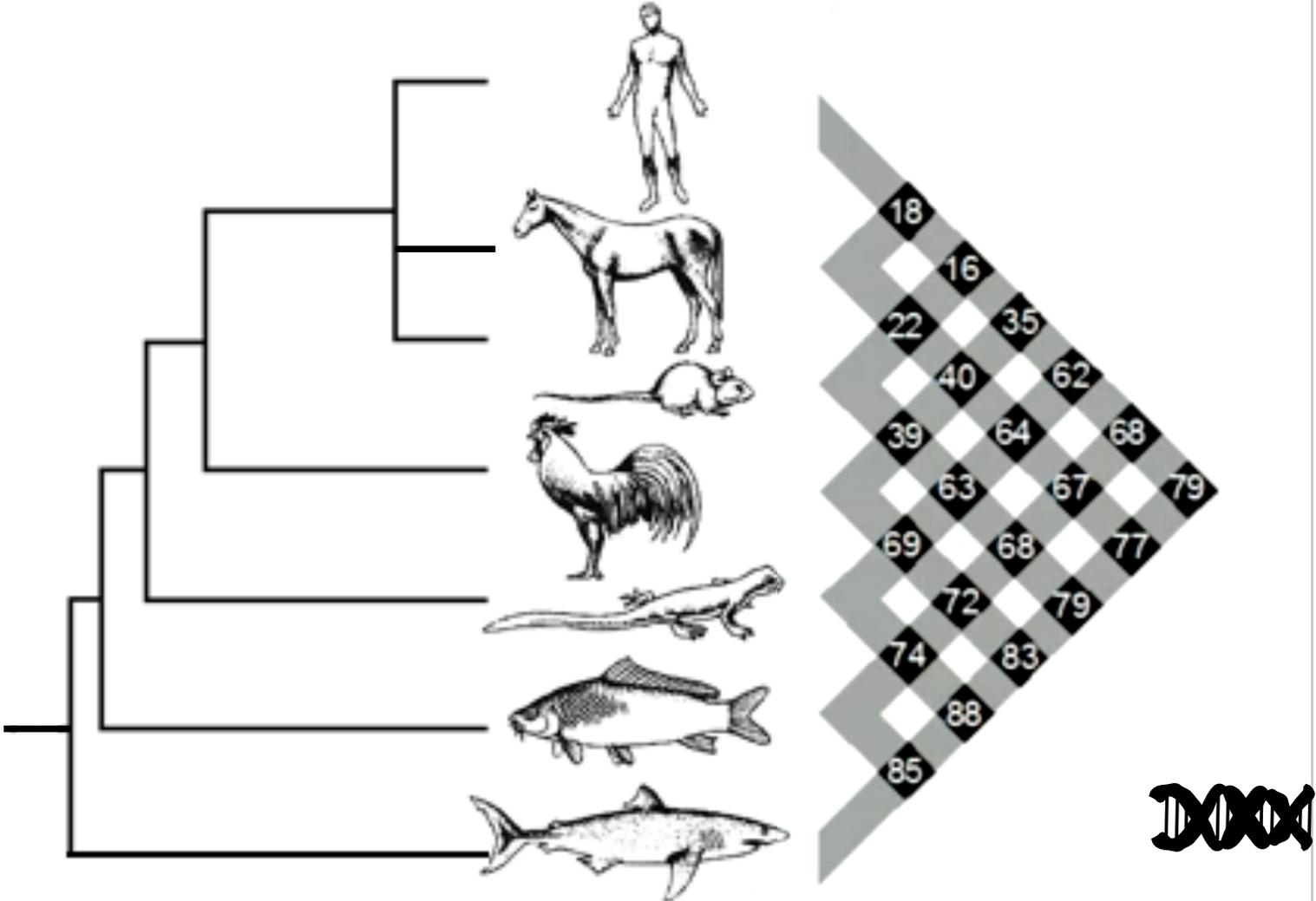




On compte les différences en acides aminés pour une protéine présente chez tous



# Le requin est aussi proche de la carpe que de l'être humain



# Manchot, ibis et pingouin



Petit pingouin  
*Alca torda*



Manchot empereur  
*Aptenodytes forsteri*



Ibis à cou noir  
*Threskiornis molucca*



# Le manchot est plus proche de l'ibis que du pingouin



Petit pingouin  
*Alca torda*



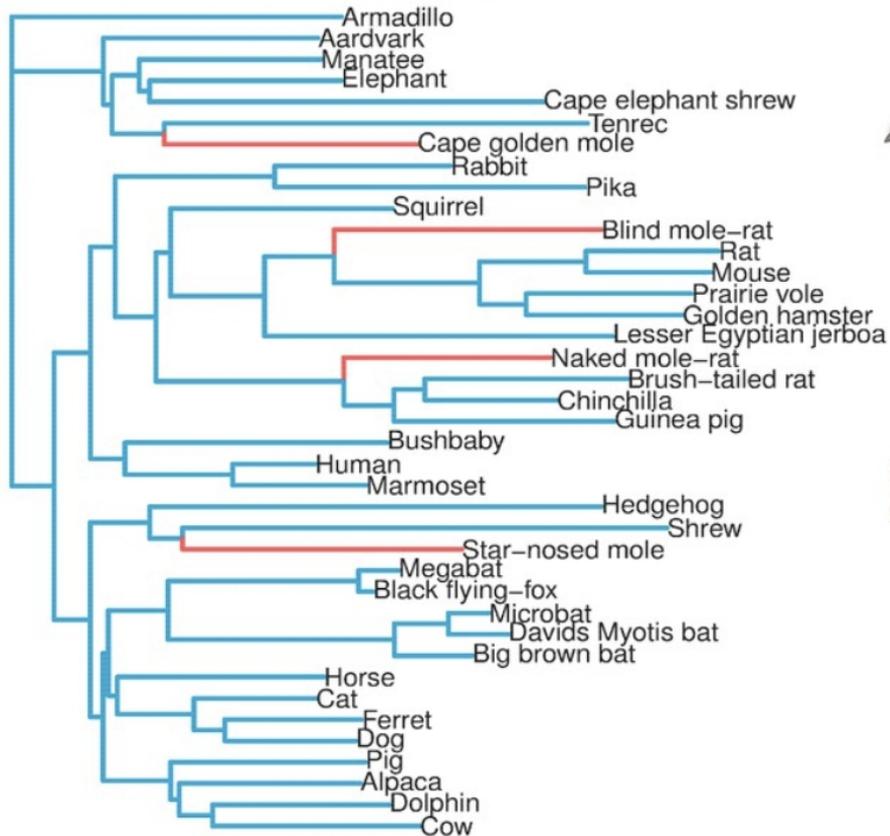
Manchot empereur  
*Aptenodytes forsteri*



Ibis à cou noir  
*Threskiornis molucca*



# Que conclure concernant l'évolution du mode de vie fouisseur ?



Cape golden mole



Blind mole-rat

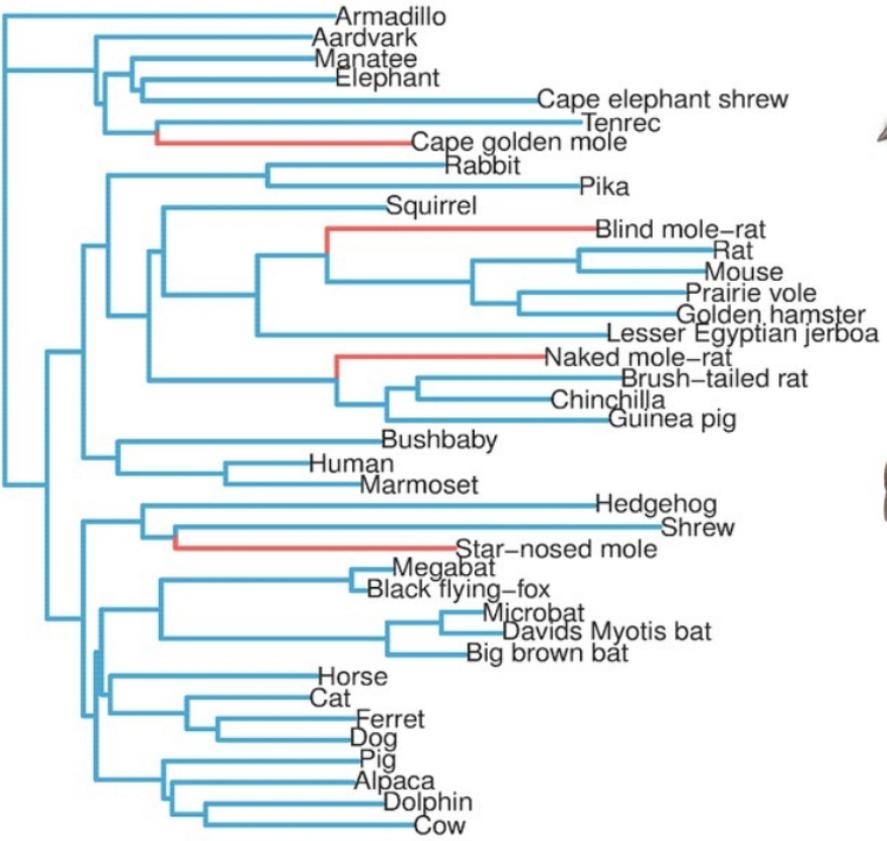


Naked mole-rat



Star-nosed mole

# Le mode de vie fouisseur a évolué plusieurs fois



Cape golden mole



Blind mole-rat

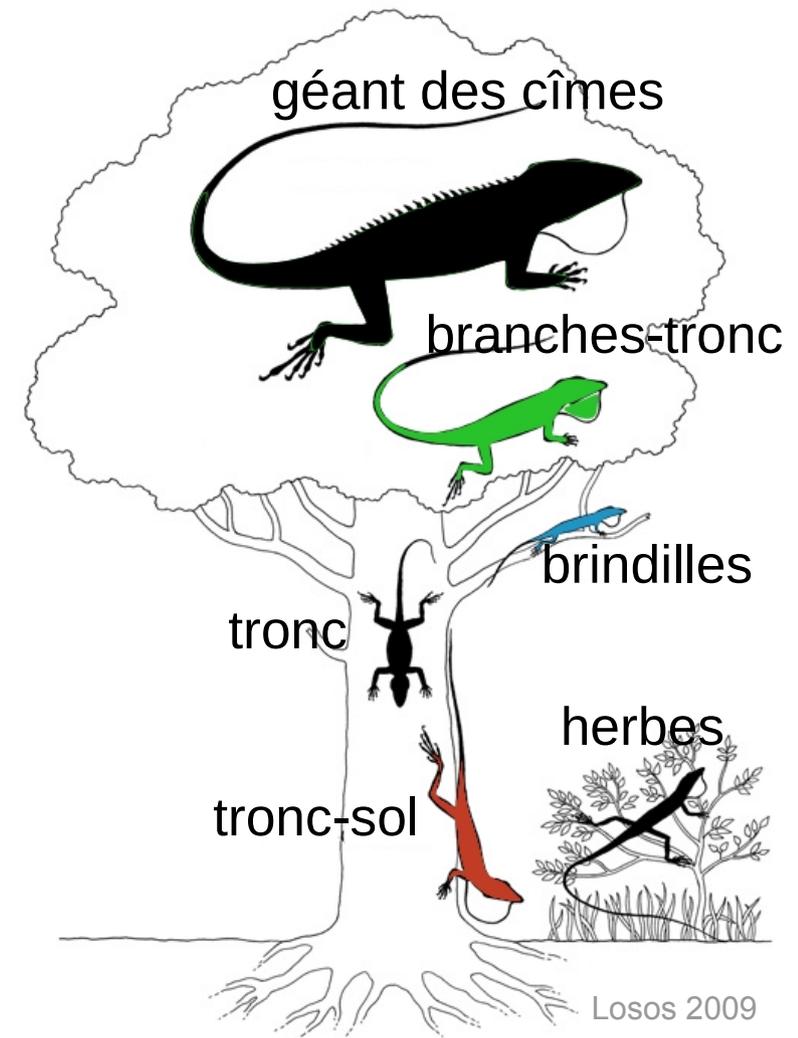


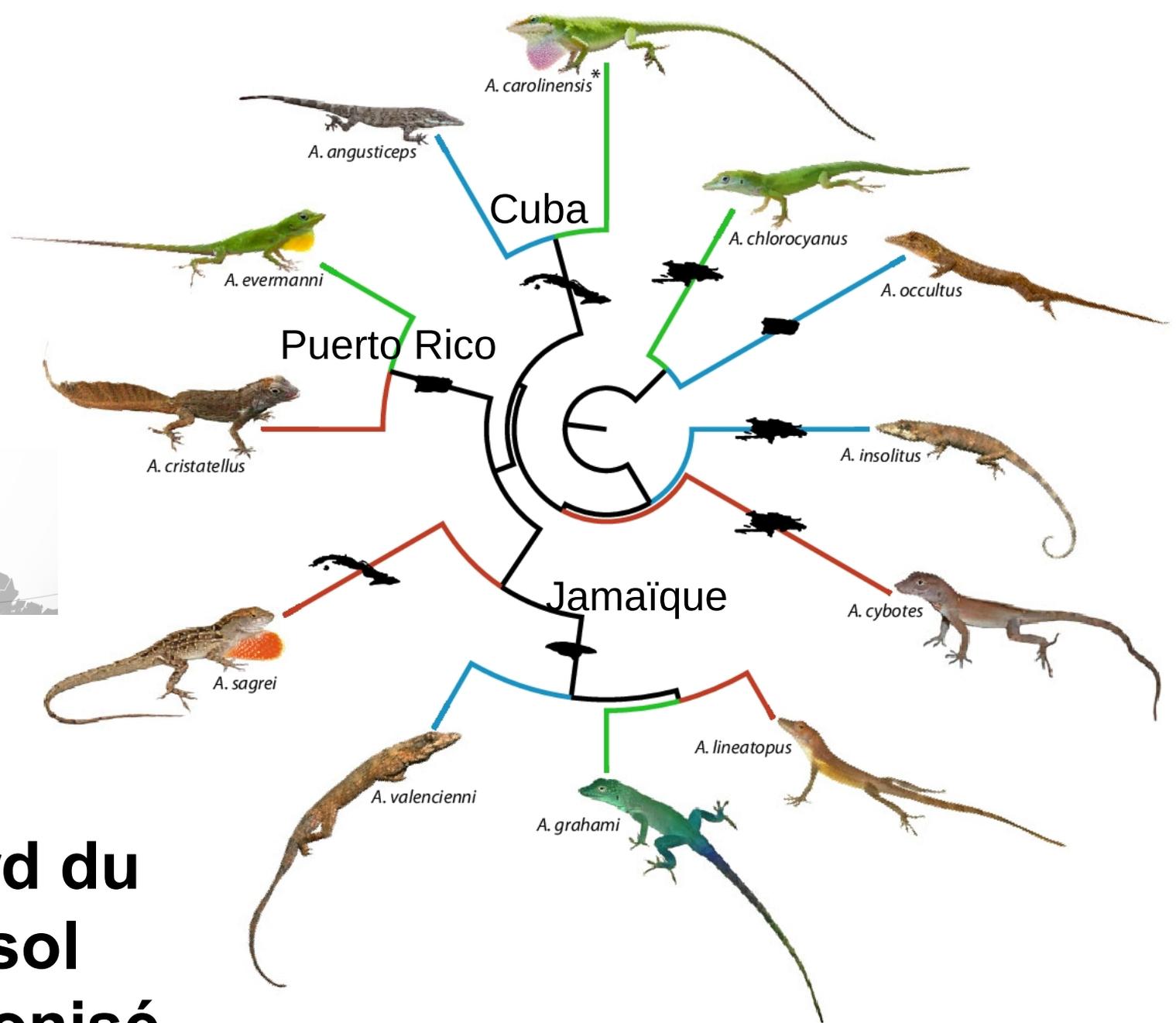
Naked mole-rat



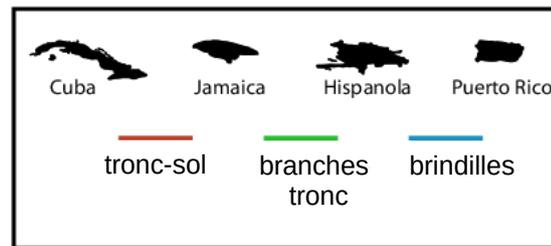
Star-nosed mole

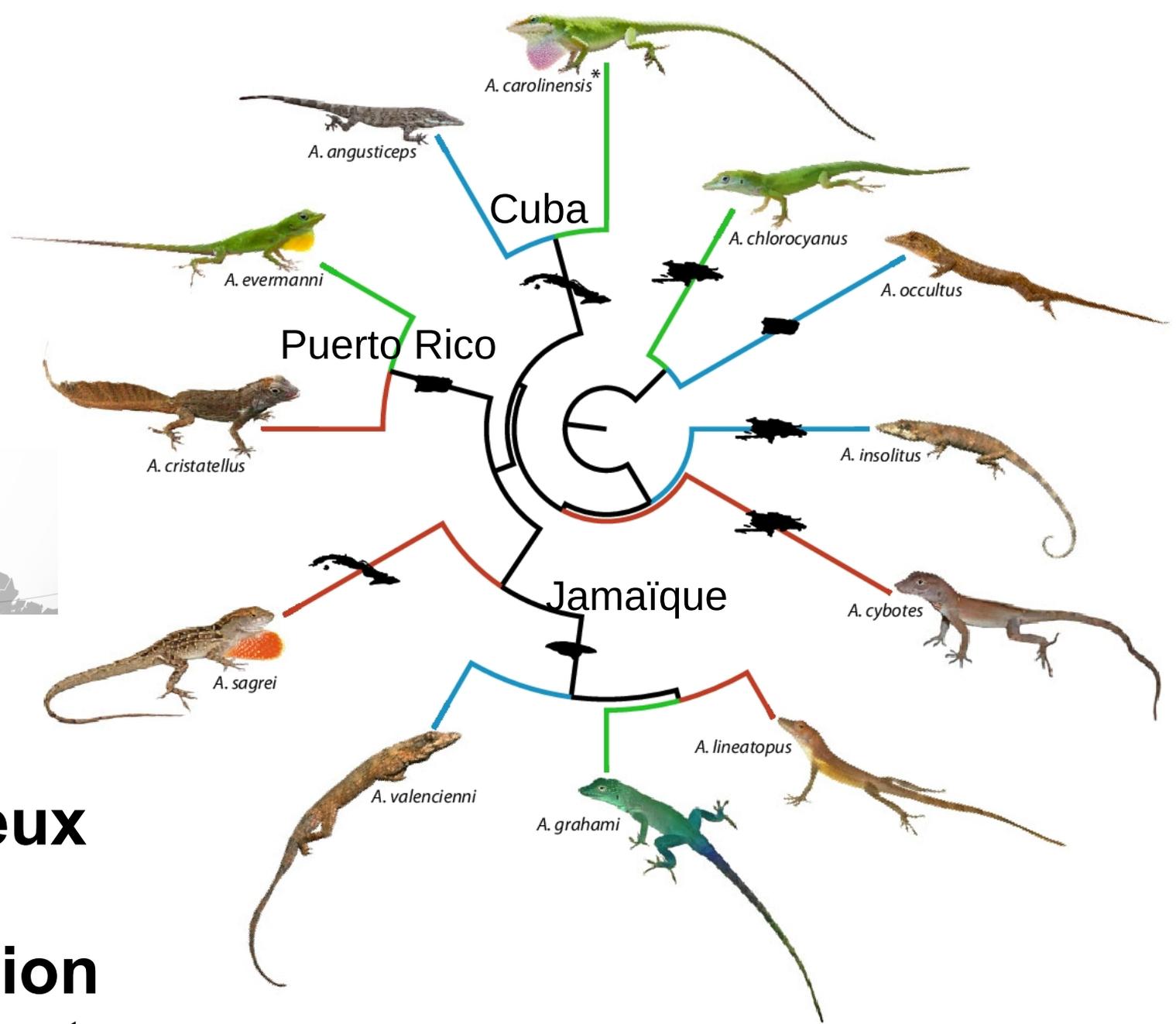
# Différents types de lézard sur chaque île des Caraïbes



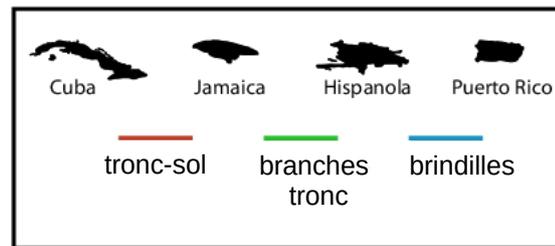


**Le lézard du tronc-sol a-t-il colonisé différentes îles ?**





**Nombreux  
cas  
d'évolution  
convergente**







# Conclusions

Les causes ultimes et proximales

Causes de la diversité intraspécifique

La sélection naturelle ne fonctionne pas pour perpétuer l'espèce

Hypothèse de la reine rouge - l'évolution ne s'arrête jamais

La reproduction sexuée permet le réassortiment des allèles et la persistance face aux pathogènes

Sélection sexuelle

Les arbres phylogénétiques et leur interprétation

