

II. Evolution de la reproduction sexuée

1.1. Sexe et évolution

1.2. Caractéristiques du processus de reproduction sexuée

1.3. L'alternative, la reproduction asexuée

1.4. Sélection de groupe ou sélection individuelle?

1.1. Sexe et évolution

- **Evolution du sexe** et des systèmes de reproduction = grand et difficile problème de **biologie évolutive**
- C. Darwin (1862): "We do not even in the least know the final cause of sexuality; why **new beings should be produced by the union of the two sexual elements**, instead of by a process of parthenogenesis... The whole subject is as yet hidden in darkness"
- G. Bell (1982): "Sex is the queen of problems in evolutionary biology. Perhaps no other natural phenomenon has aroused so much **interest**; certainly none has sowed as much **confusion**"

1.1. Sexe et évolution

- Pourquoi intérêt?
 - reproduction sexuée dominante chez les organismes eucaryotes
 - processus compliqué et coûteux
 - conséquences spectaculaires (paon)
- Pourquoi difficile?
 - reproduction sexuée = combinaison de processus (recombinaison, méiose, différenciation des genres,...)
 - gènes influençant la reproduction \Rightarrow
 - valeur sélective de **l'individu**
 - mode de transmission des autres gènes \Rightarrow potentiel évolutif de la **population**

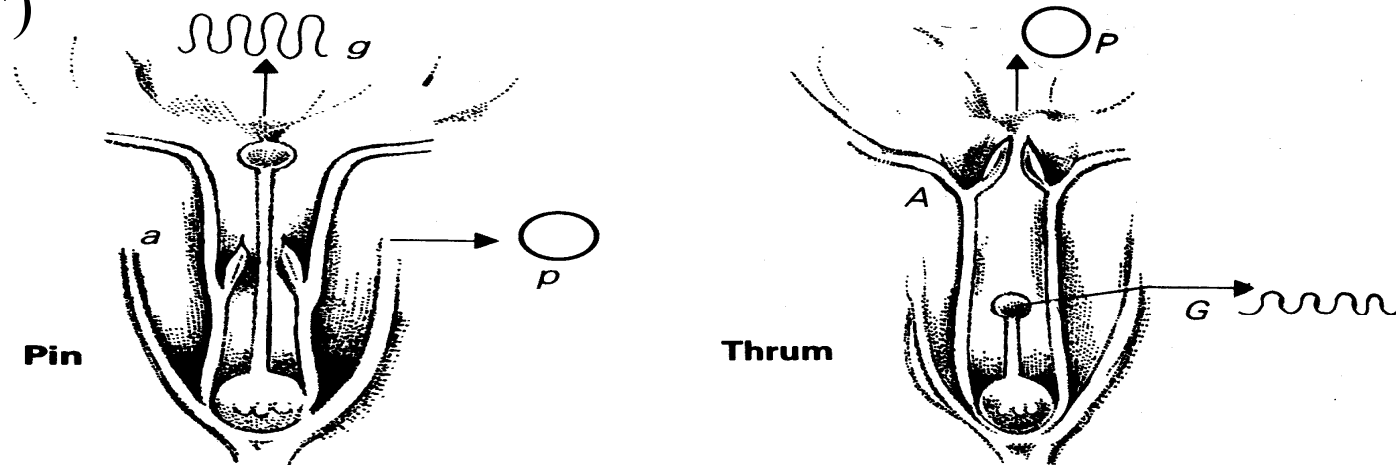
1.1. Sexe et évolution

- Distinguer dans le terme "sexe"
 - **Recombinaison / Reproduction / Genres sexuels**
- **Recombinaison** (sens large):
 - processus \Leftrightarrow descendance variable génétiquement
 - **méiose**: gènes sur chromosomes différents (ségrégation Mendélienne)
 - **crossing-over**: gènes sur même chromosome
 - bactéries, virus: mécanismes différents
 - conséquence: 2 descendants de mêmes parents \rightarrow pratiquement toujours \neq
 - Génome humain: 30.000 gènes
 - Proportion locus polymorphes: 30% \Leftrightarrow 10.000 locus polymorphes
- **Reproduction**:
 - pas toujours associée à recombinaison
 - \exists reproduction asexuée avec/sans recombinaison

1.1. Sexe et évolution

- **Genres sexuels:**

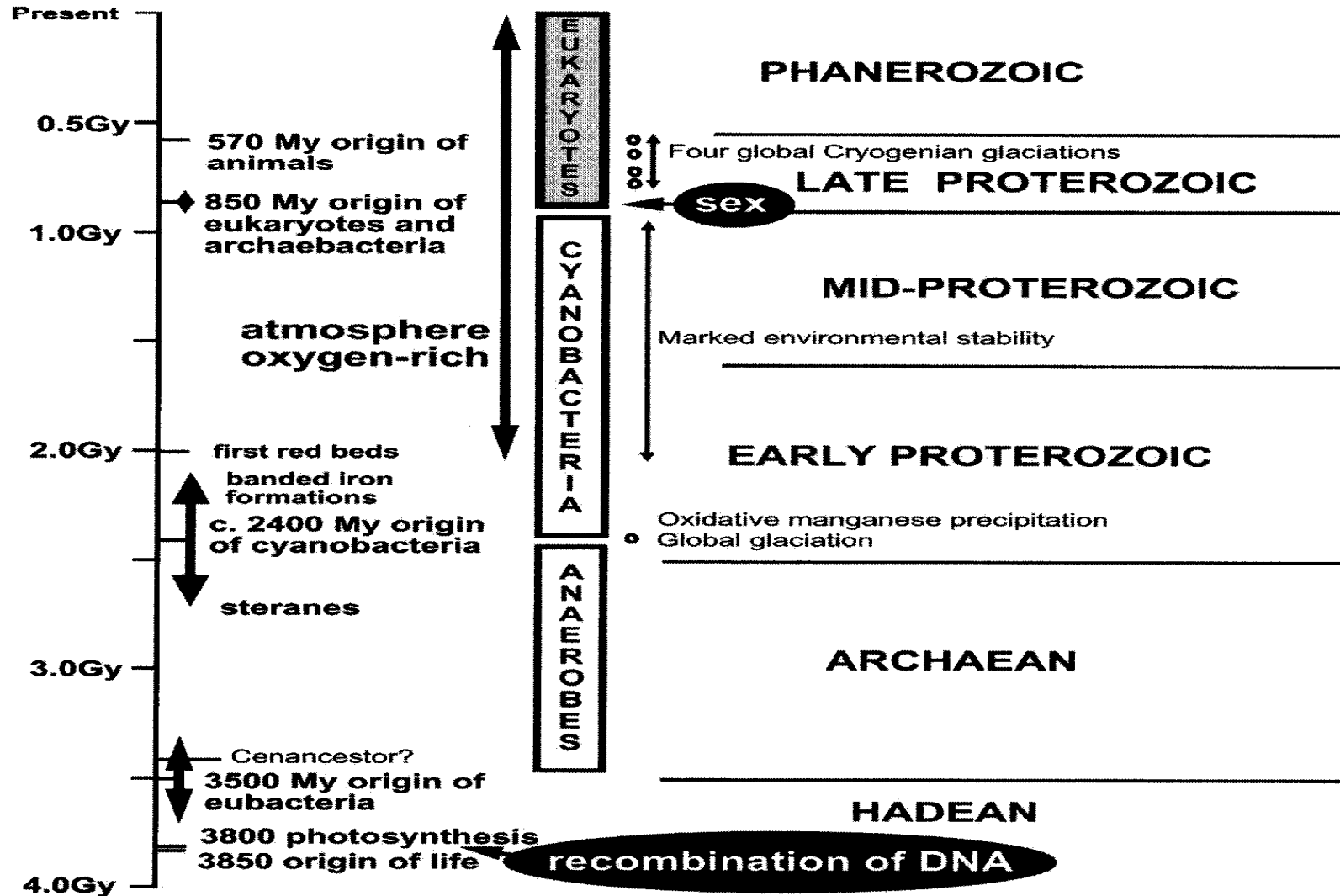
- découle de l'**anisogamie** (production de gamètes de tailles \neq):
 - Déf. "femelles": genre \rightarrow grands gamètes
 - Déf. "mâles": genre \rightarrow petits gamètes mobiles
- organismes isogames \rightarrow "types sexuels" ("mating types"):
 - \rightarrow exple: types + et - chez les champignons, protistes
- types sexuels chez les hermaphrodites:
 - systèmes d'auto-incompatibilité chez les plantes ("pin" et "thrum")



1.2. Caractéristiques du processus de reproduction sexuée

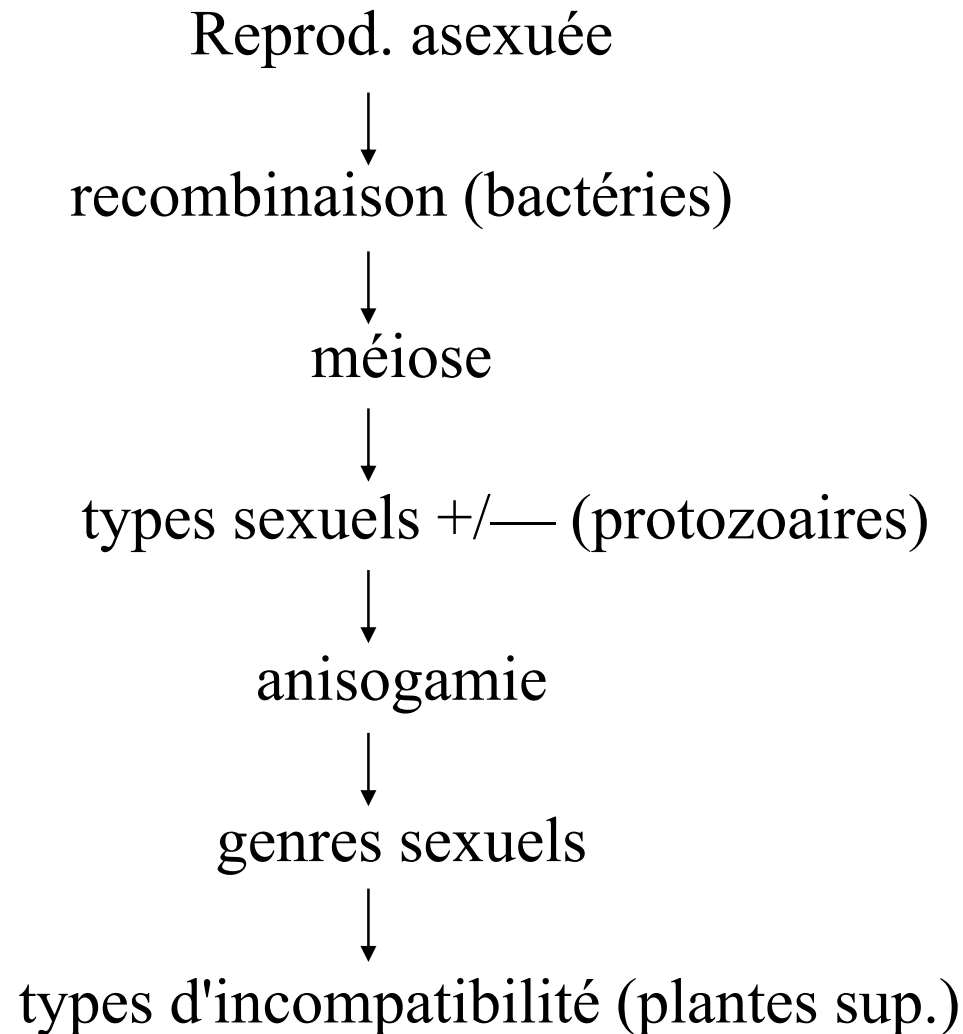
- Séquence historique de l'évolution de la reproduction sexuée

Machinerie de **recombinaison** est bien plus ancienne que reprod. sexuée



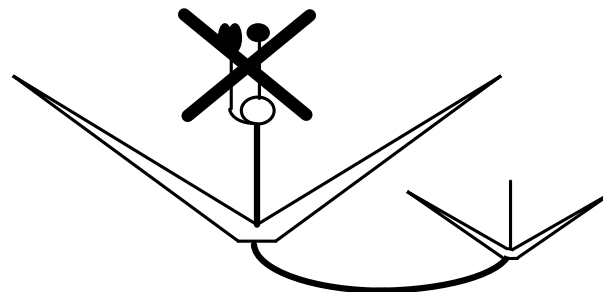
1.2. Caractéristiques du processus de reproduction sexuée

- **Séquence historique** présumée de l'évolution de la reprod. sexuée



1.3. L'alternative, la reproduction asexuée

- **Reproduction asexuée:**
 - Déf. reproduction sans caryogamie ou **syngamie** (fusion des gamètes mâles et femelles)
 - Système de reproduction ancestral (procaryotes): seul système entre 3850 et ± 1000 millions années BP
 - \exists très nombreux évènements évolutifs de retour à la reproduction asexuée, selon des mécanismes très différents

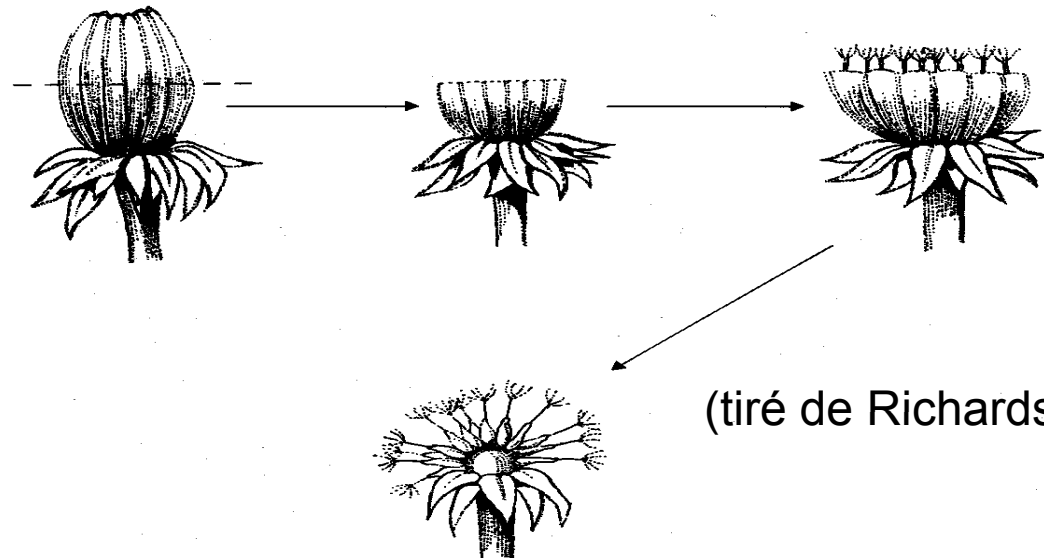


1.3. L'alternative, la reproduction asexuée

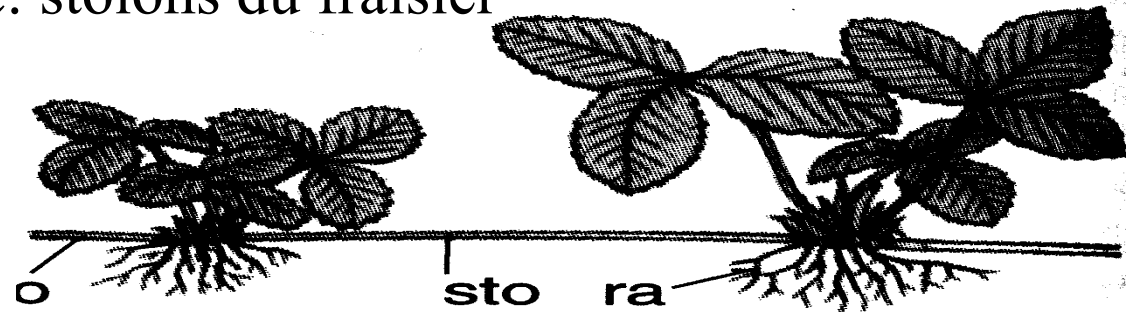
- Catégories de reproduction asexuée:
 - **Parthénogénèse**: développement d'un nouvel individu à partir d'un œuf non fécondé (**agamospermie gamétophytique** chez plantes; femelles chez pucerons)
 - **Embryogénèse somatique**: développement d'un nouvel individu à partir d'une seule cellule somatique → "descendants" identiques au parent mis à part les mutations mitotiques (vrais jumeaux; **agamospermie sporophytique** chez agrumes)
 - **Reproduction végétative**: développement d'un nouvel individu à partir d'un groupe de cellules somatiques (plantes: bulbes, rhizomes, stolons)
→ "descendants" identiques au parent mis à part les mutations mitotiques (mosaïques possibles)

1.3. L'alternative, la reproduction asexuée

- Catégories de reproduction asexuée:
 - **Parthénogénèse:** Pissenlit; malgré une émasculatation supprimant les étamines et les stigmates, des graines sont produites par agamospermie



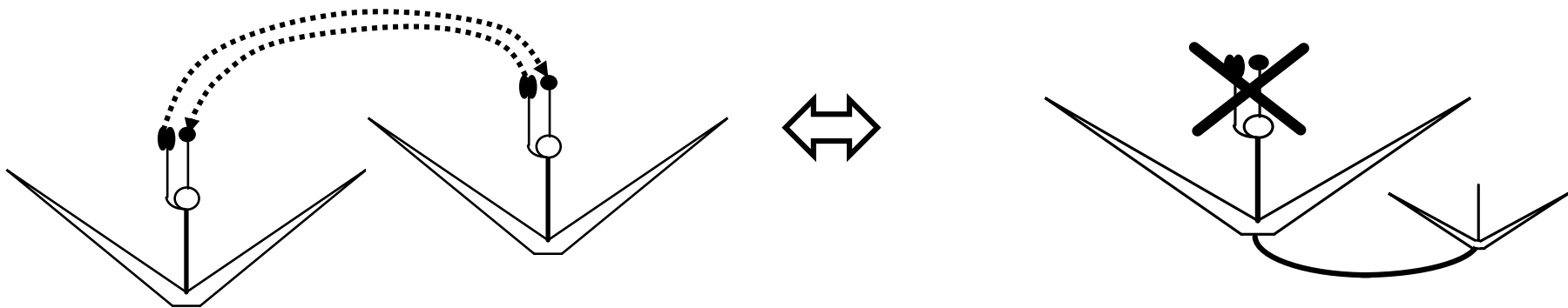
- **Reproduction végétative:** stolons du fraisier



1.4. Sélection de groupe ou sélection individuelle?

- Evolution du sexe?
 - **Approche 1.** Expliquer chaque **étape évolutive** (recombinaison, méiose, anisogamie, genres sexuels, ...)

- **Approche 2.** Expliquer le **maintien** de la reproduction sexuée p/r invasion de **mutants** à reproduction asexuée (\exists certains groupes d'eucaryotes)



1.4. Sélection de groupe ou sélection individuelle?

Maintien de la reproduction sexuée? → Point de vue "traditionnel":

– Sexe = avantage pour l'**espèce**:

sexe \Rightarrow \searrow probabilité d'extinction grâce à une **vitesse d'évolution** supérieure

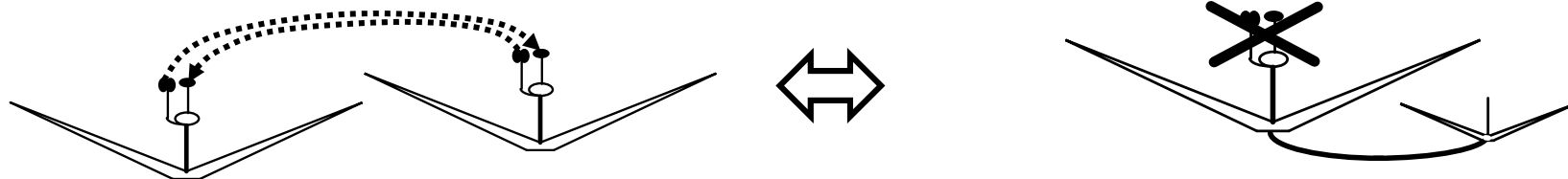
- espèce sexuelle s'adapte rapidement à un **environnement changeant**

- espèce parthénogénétique emprisonnée dans un **cul-de-sac évolutif**

– Avantages du sexe pour l'espèce sont liés à la recombinaison génétique:

- Fisher (1930): \nearrow vitesse d'assemblage de **combinaisons favorables** de gènes

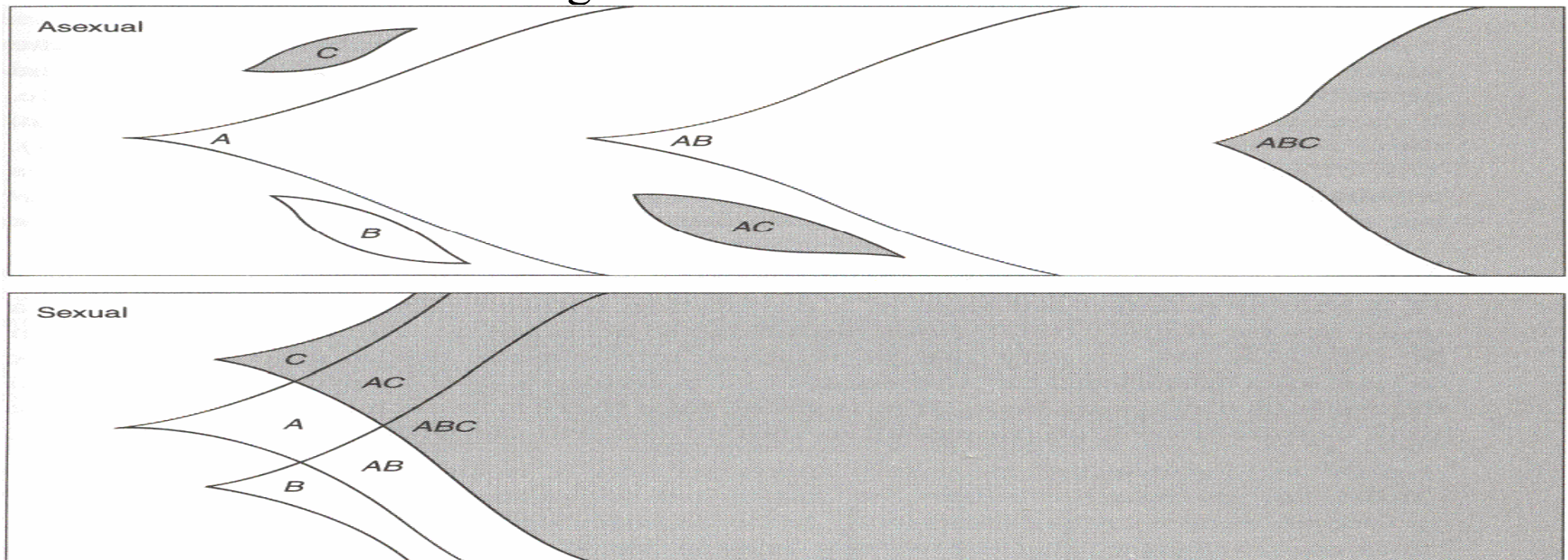
- Muller (1932): permet d'éliminer les **combinaisons défavorables** de **mutations délétères**



1.4. Sélection de groupe ou sélection individuelle?

Maintien de la reproduction sexuée?

- Point de vue "traditionnel":
 - Fisher (1930): ↗ vitesse d'assemblage de **combinaisons favorables** de gènes



(tiré de Maynard Smith 1998)

Evolution de mutations favorables A, B et C dans 1 pop. a, b et c

1.4. Sélection de groupe ou sélection individuelle?

Maintien de la reproduction sexuée?

- Point de vue "traditionnel":
 - Muller (1932): la recombinaison permet d'éliminer les **combinaisons défavorables de mutations délétères**

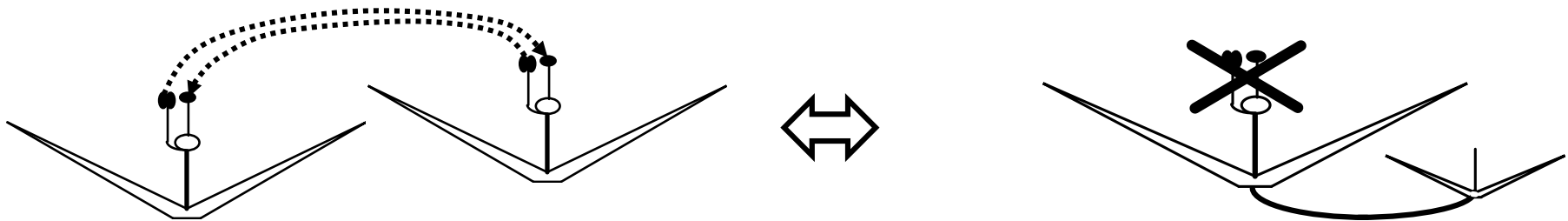


Production d'un chromosome avec moins de mutations délétères que dans les chromosomes parentaux par crossing-over (en noir= mutations délétères)
(tiré de Gillespie 1998)

1.4. Sélection de groupe ou sélection individuelle?

Maintien de la reproduction sexuée?

- Problèmes associés au point de vue "traditionnel":
 - Avantage du sexe en terme de **Sélection de groupe** uniquement: avantageux pour l'**espèce** or sélection naturelle agit d'abord sur les **individus** (**sélection individuelle**)
 - Au niveau individuel → coûteux de se reproduire sexuellement: **coût du sexe**



1.4. Sélection de groupe ou sélection individuelle?

Sélection de groupe \Leftrightarrow sélection individuelle

- Sélection naturelle \rightarrow processus **hiérarchique**:
 - A l'intérieur d'un groupe \rightarrow maximise la valeur sélective des **génotypes** (survie, capacité reproductive) (**sélection individuelle**) \Rightarrow conséquences + ou – sur la valeur sélective du groupe entier
 - Entre groupes \rightarrow le meilleur succès évolutif sera pour le groupe le plus productif (**sélection de groupe**)
 - Sélection individuelle plus efficace: variation génétique intraspécifique importante; **temps de génération** des individus \ll durée de vie des espèces \Rightarrow pression de sélection \nearrow
- $\Rightarrow \exists$ avantage du sexe au niveau individuel?
- (Williams, 1975; Maynard Smith, 1978)

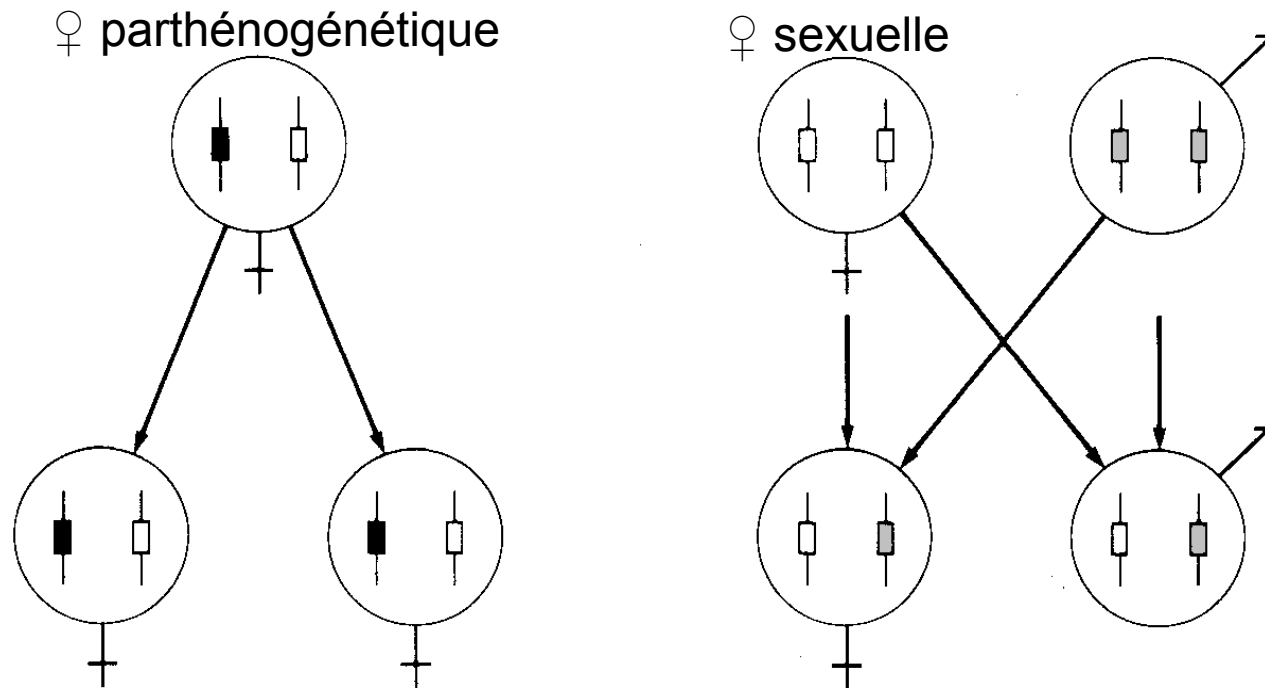
1.4. Sélection de groupe ou sélection individuelle?

Maintien de la reproduction sexuée?

- Problèmes associés au point de vue "traditionnel":
(Williams, 1975; Maynard Smith, 1978)
 - Découverte d'un important "**coût du sexe**": à investissement énergétique égal dans sa descendance, une femelle parthénogénétique transmettra **deux fois plus** ses gènes qu'une femelle "sexuelle" ⇒ avantage sélectif double

1.4. Sélection de groupe ou sélection individuelle?

coût de la dilution de génome (appelé également "coût des mâles", "coût de la méiose", "coût du sexe")



- A investissement égal, la ♀ parthénogénétique transmet **deux fois** plus ses gènes que la ♀ sexuelle \Rightarrow "**twofold cost of sex**":

Coût est réduit si **investissement paternel** significatif

1.4. Sélection de groupe ou sélection individuelle?

Maintien de la reproduction sexuée?

- Challenge: trouver un avantage quantitativement important du sexe au niveau **individuel**
- Avantages du sexe en terme de **vitesse d'évolution**
- Avantages du sexe en terme **d'élimination des mutations délétères**

Avantages du sexe en terme de vitesse d'évolution

- Avantage au sexe $>$ coût de la recombinaison si:
 - reproduction sexuée \Rightarrow fixation rapide des génotypes multilocus favorables
 - Théorie de la ségrégation génétique
 - Théorie du crossing-over
 - environnement variable dans l'espace \Rightarrow faible compétition entre descendants génétiquement variables
 - Théorie du "Tangled bank" ("rivage luxuriant")
 - environnement biotique en constante évolution \Rightarrow avantage à la production continue de nouvelles combinaisons multilocus
 - Théorie de la Reine rouge ("Red Queen")

Avantages du sexe en terme d'élimination des mutations délétères

- Plusieurs théories:
 - Le "**cliquet**" de **Muller** ("Muller's ratchet")
 - La "**hache**" de **Kondrashov** ou théorie de la **sélection synergique**
 - La **réparation de l'ADN** endommagé
 - La **sélection sexuelle**
 - L'interaction entre mutations **bénéfiques** et mutations **délétères**

Conclusion

- Coût du sexe variable mais souvent très élevé
- Foisonnement de théories sur mécanismes pour contrecarrer le coût du sexe (vitesse évolution + élimination mutations délétères):
 - Pas de théorie universelle et absolue
 - Dans un monde homogène et statique → asexualité prédominante
 - "Real world": sélection varie dans l'espace et dans le temps et les populations sont finies (dérive génétique) → vitesse d'évolution de nouvelles combinaisons est importante, et l'élimination de combinaisons délétères également