

Ch. B8. Les mécanismes de l'évolution

Partie du programme traitée : SV-K-1. Les mécanismes de l'évolution (totalité).

I. Le modèle nul de Hardy-Weinberg

1. Éléments de génétique des populations
2. Comment évolue la structure génétique ?

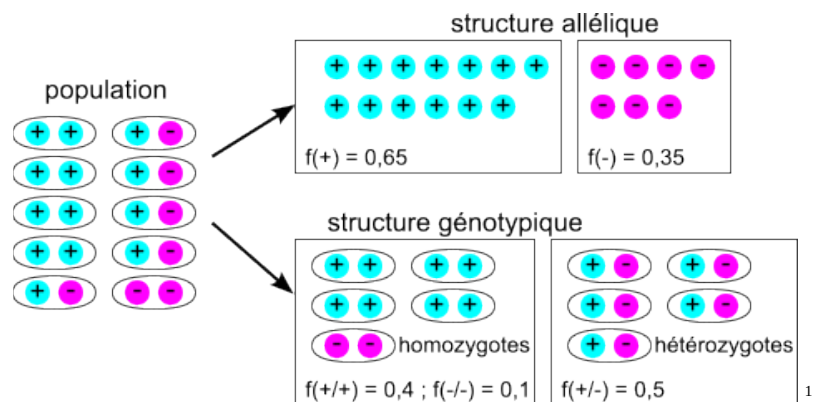
II. Les variations de la diversité génétique et leurs causes

1. Modalités de reproduction et conséquences sur la structure génétique des populations
2. Mutations
3. Migrations
4. Sélection naturelle
 - a) Un tri orienté d'une diversité génétique préexistante
 - b) Conséquences de la sélection sur la structure génétique des populations
 - i. traits génétiques discrets
 - ii. traits génétiques continus
 - c) Sélections et compromis évolutifs
5. Dérive génétique

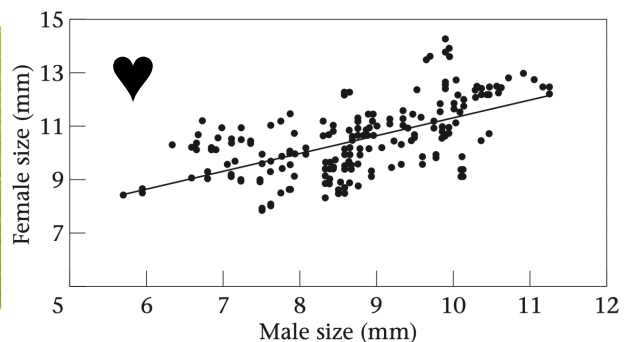
III. Evolution des espèces

1. La notion d'espèce
2. Isolement reproducteur et spéciation
3. Coévolution et cospéciation

Document 1. Structure allélique et génotypique d'une population théorique pour un gène comportant deux allèles. Production personnelle.



Document 2. Gauche : l'araignée sauteuse américaine *Phidippus clarus*. Droite : corrélation entre la taille de la femelle et du mâle lors d'une copulation. Chaque point correspond à un événement de reproduction.



1 Joseph Démaret-Nicolas, « Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris », consulté le 29 septembre 2024, <http://josephnicolassvt.fr/>.

2 Chad D. Hoefler, « Male mate choice and size-assortative pairing in a jumping spider, *Phidippus clarus* », *Animal Behaviour* 73, n° 6 (1 juin 2007): 943-54, <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2006.10.017>.

On cherche à déterminer la **fréquence allélique** et **génotypique** à la **génération $n + 1$** en fonction des caractéristiques de la **génération n** . On considère un gène comportant deux allèles, notés « + » et « - » arbitrairement. On note p_n et q_n les fréquences de + et -, et Ho^+_n , He_n , Ho^-_n les fréquences des trois génotypes +/+, +/- et -/-, respectivement, à la génération n . D'autre part :

- Les deux allèles considérés sont **neutres**, c'est-à-dire **non soumis à sélection**
- Il n'y a **pas d'émigration ni d'immigration**
- Il n'y a **pas de mutation de + vers -, ni de - vers +, ni d'apparition de nouvel allèle**.
- On considère que la **population tend vers l'infini** : les fréquences alléliques et génotypiques peuvent donc être considérées comme des **probabilités**.
- On considère qu'il y a **panmixie** : la formation des couples est équiprobable.
- On considère qu'il y a **pangamie** : la fécondation est équiprobable.



	+	-
+	p_n^2	$p_n q_n$
-	$p_n q_n$	q_n^2

On cherche à déterminer la **fréquence génotypique** à la génération $n + 1$. On réalise pour cela un tableau de croisement, présenté ci-contre. On en déduit qu'à la génération $n + 1$:

$Ho^+_{n+1} = p_n^2$; $He_{n+1} = 2 p_n q_n$; et $Ho^-_{n+1} = q_n^2$: la **fréquence des génotypes ne dépend que de la fréquence des allèles à la génération précédente** (indépendamment de la structure génotypique).

On cherche à présent à déterminer la **fréquence allélique** à la génération $n + 1$. On appelle N l'effectif total de la population. On alors :

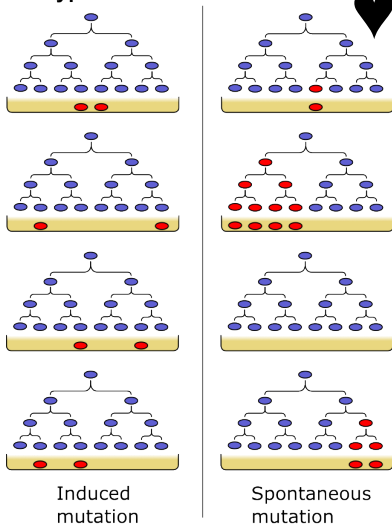
$$p_{n+1} = (2 Ho^+_{n+1} N + He_{n+1} N) / 2N = Ho^+_{n+1} + 1/2 He_{n+1} = p_n^2 + p_n q_n = p_n^2 + p_n (1 - p_n) = p_n$$

De même, on montre que $q_{n+1} = q_n$. **Donc, les fréquences alléliques sont constantes au cours du temps.**

L'**équilibre de Hardy-Weinberg** dit que dans des conditions où les forces évolutives sont nulles (ni dérive, ni mutation, ni sélection, ni migration), dans une population panmictique et pangamie, mais assez grande pour être considérée comme infinie, **les fréquences alléliques et génotypiques sont stables d'une génération à l'autre.**

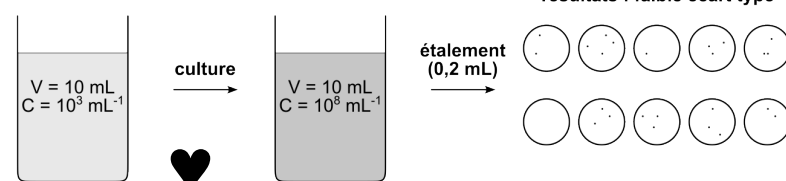
Document 3. l'équilibre de Hardy-Weinberg : démonstration

1. Hypothèses

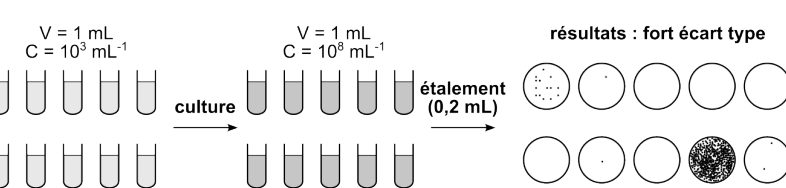


2. Expérience (test de fluctuation de Luria et Delbrück)

A. une grande culture



B. plusieurs petites cultures



Document 4. Le test de fluctuation de Salvador Luria et Max Delbrück (1943). Gauche : les deux hypothèses testées. Droite : résultats de la mise en culture sur boîte de Petri après deux modes de culture liquide différents. Voir cours pour les détails.

3 et 4

3 « Wikimedia Commons », consulté le 29 août 2024, <https://commons.wikimedia.org/wiki/Accueil>.

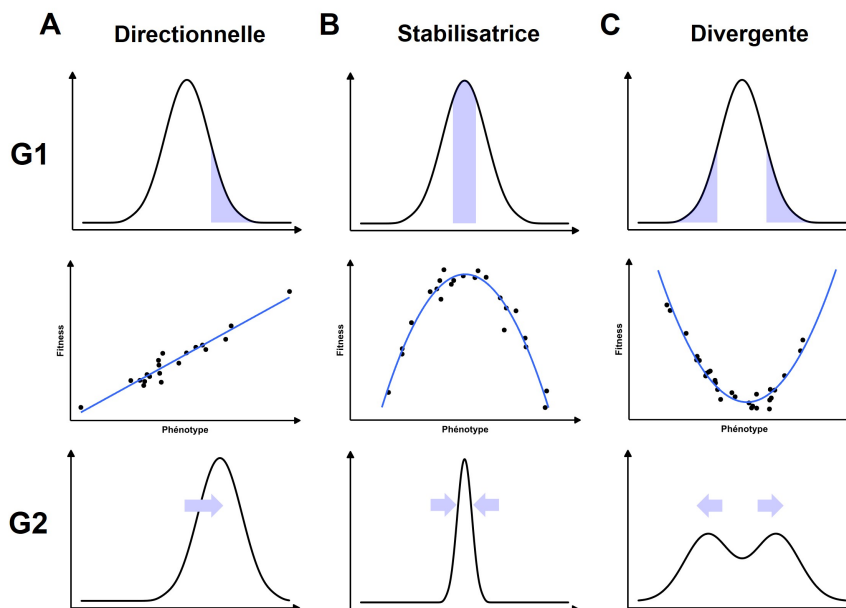
4 Joseph Démaret-Nicolas, « Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris », consulté le 29 septembre 2024, <http://josephnicolassvt.fr/>.

Document 5. Le 2^e voyage sur le navire Beagle. C'est au cours de ce voyage de cinq années (1832-1836) que Charles Darwin a réalisé la plupart des observations à l'origine de la théorie de l'évolution, publiée en 1859.



5

Document 6. Haut : distribution d'un trait phénotypique à la génération G1 ; milieu : fitness associées aux différentes valeurs de ce trait phénotypique, dans les trois cas de la sélection directionnelle, stabilisatrice et disruptive (ou divergente) ; bas : conséquences de la sélection sur l'évolution de la distribution des différents phénotypes. Les sélections stabilisatrice et directionnelle ont tendance à diminuer la diversité allélique, alors que la sélection disruptive (qui est une forme de sélection balancée) augmente la diversité allélique.



6



individu produisant préférentiellement des femelles



femelle



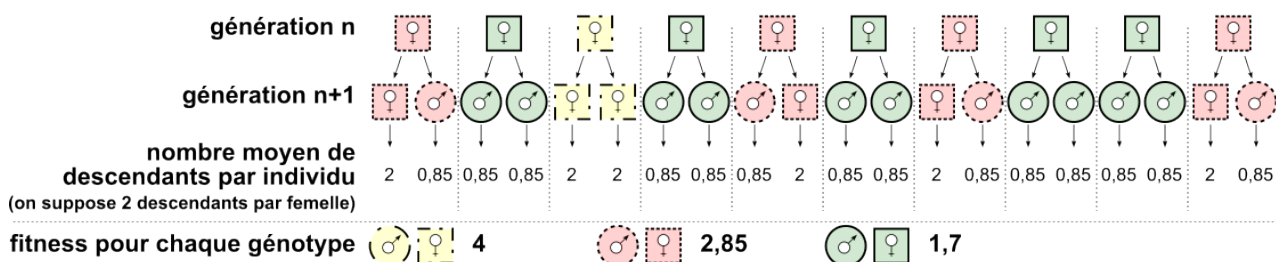
individu produisant des mâles et des femelles de façon équiprobable



mâle



individu produisant préférentiellement des mâles



Document 7. La sélection balancée : exemple du sex ratio. On suppose une situation théorique, où des traits génétiques favorisent la production d'individus mâles ou femelle lors de la reproduction. On se situe initialement dans un cas où le sex ratio est très déséquilibré (14 mâles pour 6 femelles à la génération n + 1, soit un sex ratio de 2,33). Voir cours pour les détails.

7

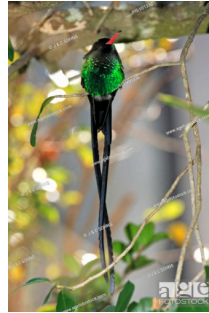
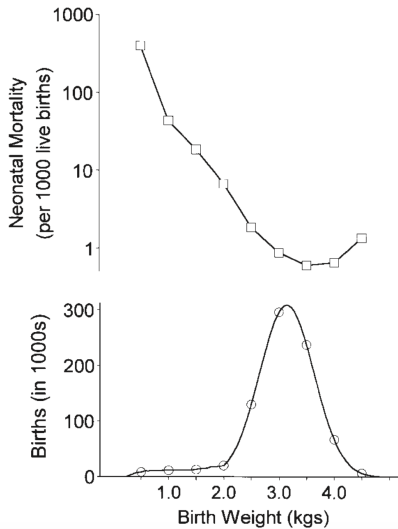
5 « Wikimedia Commons », consulté le 29 août 2024, <https://commons.wikimedia.org/wiki/Accueil>.

6 Nadia Aubin-Horth, « 3. Les quatre forces évolutives », 1 mars 2024, <https://pressbooks.etsmtl.ca/ecoevolutive/chapter/3-les-quatre-forces-evolutives/>.

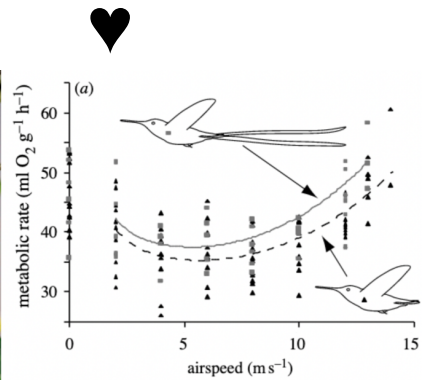
7 Joseph Démaret-Nicolas, « Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris », consulté le 29 septembre 2024, <http://josephnicolassvt.fr/>.

Document 8.

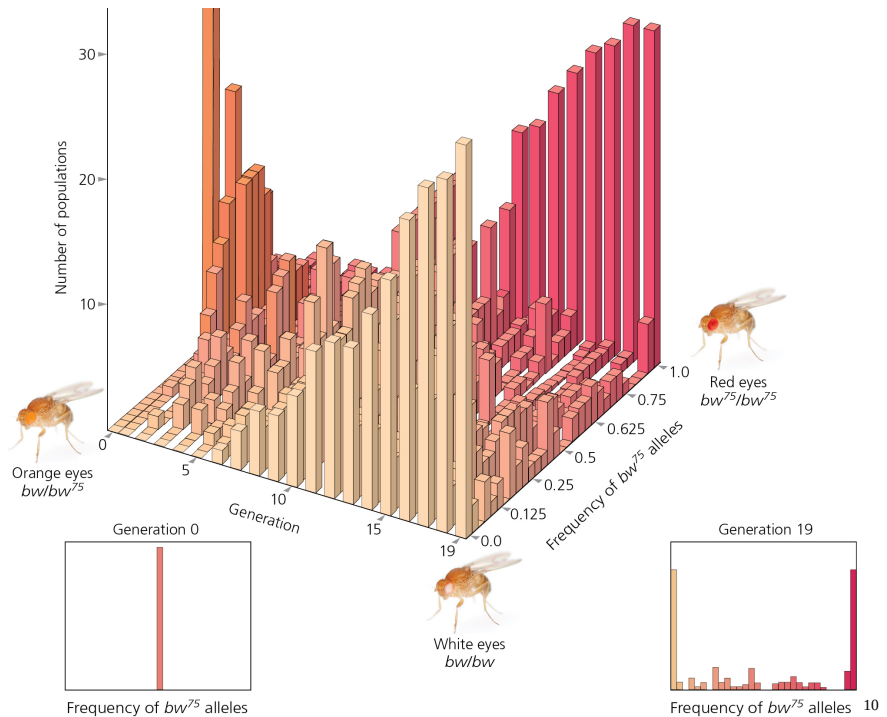
Haut : mortalité infantile aux Etats-Unis en fonction du poids à la naissance en 1998 aux Etats-Unis ; bas : distribution des poids à la naissance (y compris enfants morts-nés), toujours en 1998 aux Etats-Unis. Il s'agit d'un exemple de sélection stabilisante.



Document 9. Compromis entre survie et reproduction lors de la sélection sexuelle chez les mâles. On a évalué la consommation de dioxygène chez le colibri *Trochilus polytmus* (photo à gauche) après avoir coupé ses longues plumes caudales ou non, et en fonction de la vitesse de déplacement.



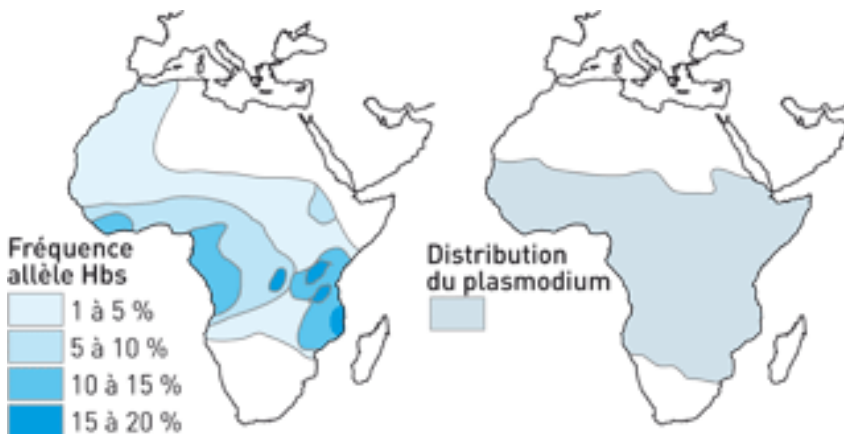
Document 10. En 1956, Peter Buri place dans un vivarium 8 mâles et 8 femelles de *Drosophila melanogaster*, tous hétérozygotes pour le gène BW. Ce gène possède deux allèles codominants, *bw* et *bw⁷⁵*, permettant de distinguer 3 phénotypes : yeux rouges (*bw⁷⁵/bw⁷⁵*), yeux oranges (*bw⁷⁵/bw*) ou yeux blancs (*bw/bw*). A chaque génération, il note la fréquence phénotypique, et en déduit la fréquence génotypique. L'expérience est répétée plusieurs dizaines de fois. Le résultat est représenté sous forme d'une superposition d'histogrammes.



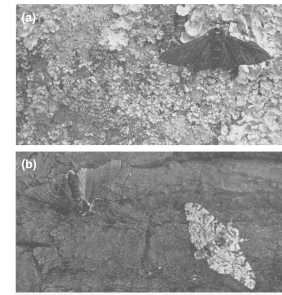
8 Allen J Wilcox, « On the Importance—and the Unimportance— of Birthweight », *International Journal of Epidemiology* 30, n° 6 (décembre 2001): 1233-41, <https://doi.org/10.1093/ije/30.6.1233>.

9 Christopher James Clark et Robert K. Dudley, « Flight costs of long, sexually selected tails in hummingbirds », 2009, <http://repository.si.edu/xmlui/handle/10088/11817>.

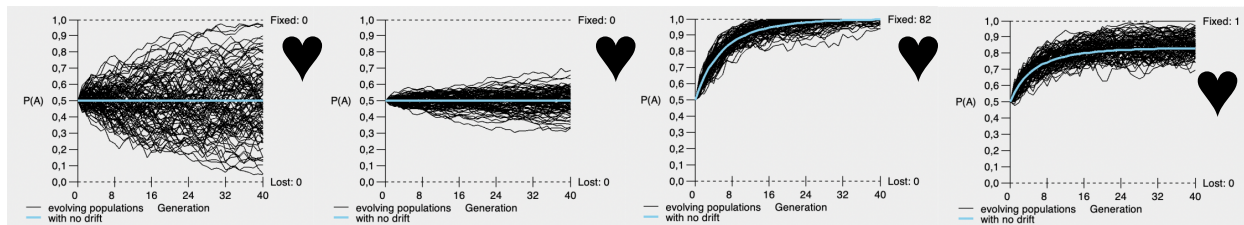
10 Peter Buri, « Gene Frequency in Small Populations of Mutant *Drosophila* », *Evolution* 10, n° 4 (1956): 367-402, <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1956.tb02864.x>.



Document 11. Distribution de l'allèle HbS de la globine β et du plasmodium (agent du paludisme) en Afrique. C'est un exemple d'avantage hétérozygote, l'équivalent discret de la sélection balancée.



Document 12. Haut : deux phalènes du bouleau (*Biston betularia*) des deux formes carbonaria (noire) et typica (claire) sur un tronc clair ; bas : deux phalènes des deux formes sur un tronc sombre. La phalène du bouleau est une des plus connues des mises en évidence de la sélection par l'environnement.

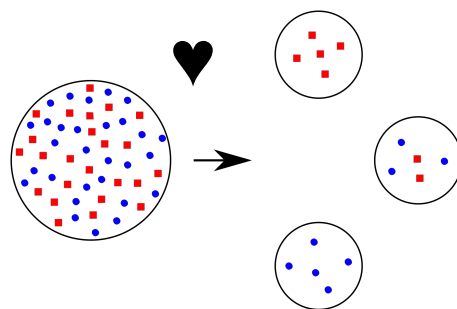


Document 13. Simulations de l'évolution de la fréquence allélique pour un gène à deux allèles (A et a) sur 40 générations, avec une fréquence initiale de 0,5 (100 répétitions de la même expérience représentées). 1 : toutes les fitness sont égales à 1, population de 100 individus ; 2 : toutes les fitness sont égales à 1, population de 1000 individus ; 3 : fitness de A/A = 1, fitness de A/a = 0,9, fitness de a/a = 0,5, population de 1000 individus ; 4 : fitness de A/A = 0,9, fitness de A/a = 1, fitness de a/a = 0,5, population de 1000 individus. Simulations réalisées avec le logiciel libre PopG, voir TP d'évolution.

12

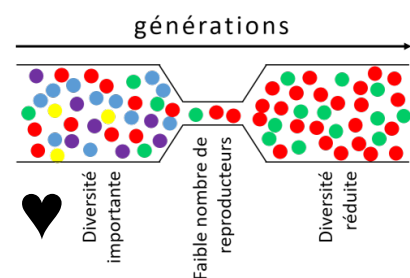


Document 14. François-René Duminy, le marin breton qui a introduit l'érythème kératolytique hivernal dans la population Afrikaner d'Afrique du Sud.



Document 15. L'effet fondateur : perte de diversité génétique et par hasard d'échantillonnage lors de la colonisation d'un nouveau milieu. Carré et rond représentent chacun un des deux allèles d'un gène ; gauche : population initiale ; droite : trois nouveaux milieux colonisés.

13



Document 16. Goulot d'étranglement et perte de diversité génétique suite à un effondrement de la population.

15

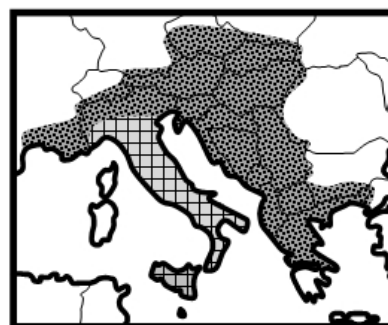
- 11 « Drépanocytose et paludisme | Annabac », consulté le 25 février 2025, <https://www.annabac.com/sujet-corrige-bac/drepanocytose-et-paludisme>.
 12 « PopG Web », consulté le 25 février 2025, <https://popgweb.com/?popSize=100&fitAA=1&fitAa=1&fitaa=1&mutAa=0&mutaA=0&migRate=0&initFreqA=0.5&numGen=100&numPop=10&randSeed=NaN>.
 13 « Wikimedia Commons », consulté le 29 août 2024, <https://commons.wikimedia.org/wiki/Accueil>.
 14 « Wikimedia Commons », consulté le 29 août 2024, <https://commons.wikimedia.org/wiki/Accueil>.
 15 « Wikimedia Commons », consulté le 29 août 2024, <https://commons.wikimedia.org/wiki/Accueil>.



Carte 1 : Répartition supposée de l'espèce ancestrale Z avant les dernières glaciations



Carte 2 : Répartition supposée de l'espèce ancestrale Z pendant les glaciations du quaternaire



Carte 3 : Aires actuelles de répartition des deux espèces (Z. cassandra=carreau et Z. polyxena=pointillé)

Document 17. Spéciation allopatrique par isolement géographique dans des zones refuges pendant le dernier maximum glaciaire chez les papillons du genre *Zerinthia*. Voir détails dans le cours.

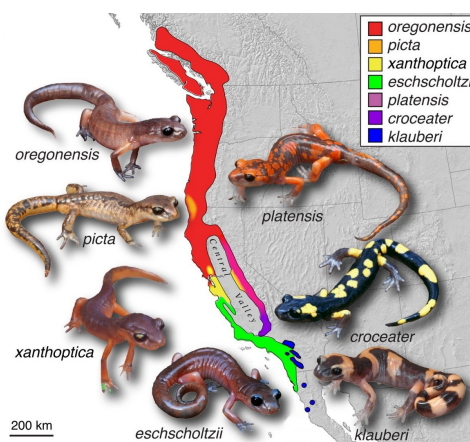
16



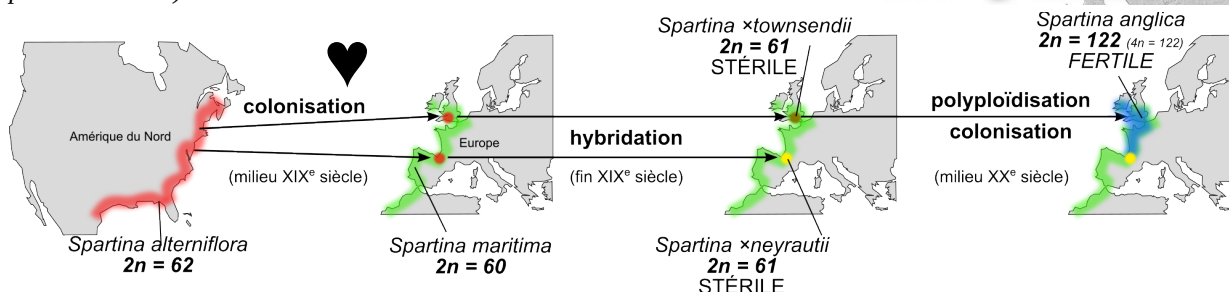
Document 18. *Vidua*, un oiseau africain pratiquant le parasitisme de couvée. Un autre exemple de spéciation sympatrique (voir cours pour les détails).

17

Document 19. *Ensatina*, un genre de salamandres américaines, et ses différentes espèces partiellement interfécondes (espèce en anneau).



18

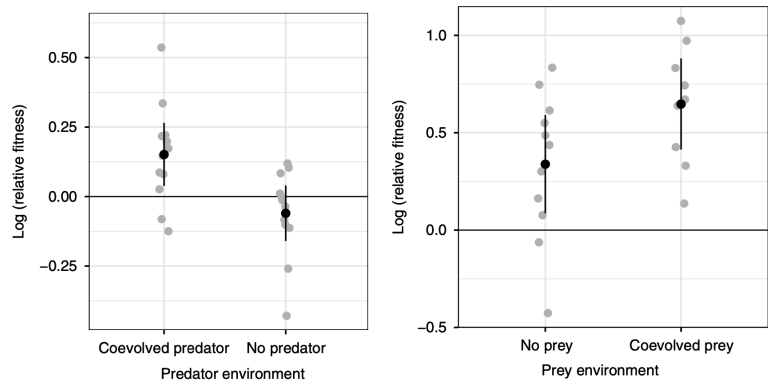


Document 20. Diversification des génomes par allopolyploïdisation : exemple des espèces du genre *Spartina* en Europe occidentale.

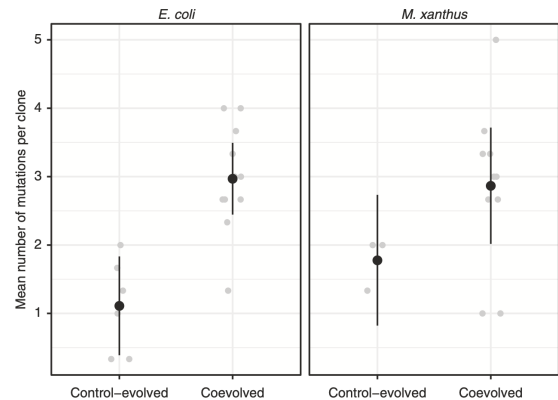
19

- 16 « TP7 : Les mécanismes de spéciation – Les SVT avec DB », 2 novembre 2013, <https://dboudeau.fr/site/tp7-les-mecanismes-de-speciation/>.
- 17 « *Vidua chalybeata* - Faits, Alimentation, Habitat & Photos sur Animalia.bio », consulté le 25 février 2025, <https://animalia.bio/fr/village-indigobird>.
- 18 « Wikimedia Commons », consulté le 29 août 2024, <https://commons.wikimedia.org/wiki/Accueil>.
- 19 Joseph Démaré-Nicolas, « Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris », consulté le 29 septembre 2024, <http://josephnicolassvt.fr/>.

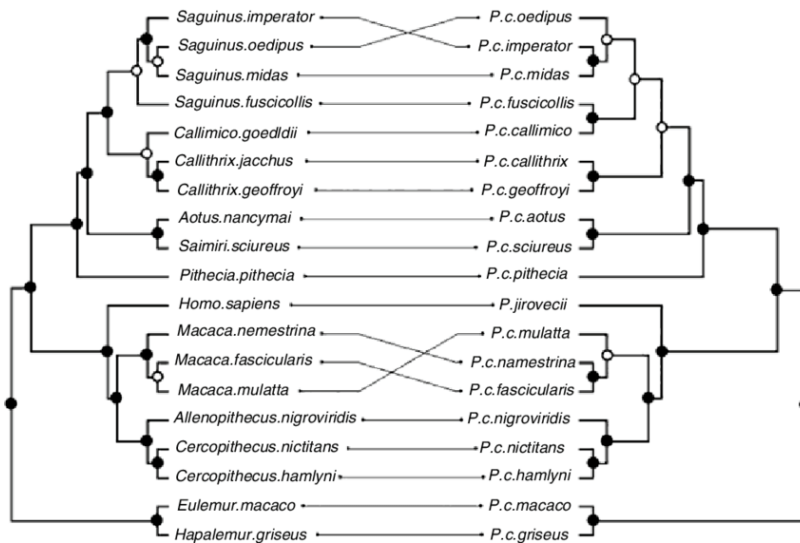
Document 21a. On a cultivé des bactéries prédatrices (predator) *Myxococcus xanthus* avec des bactéries proies (prey) *Escherichia coli* pendant plusieurs dizaines de générations. A l'issue de la culture, on teste la fitness de *E. coli* (gauche) et de *M. xanthus* après culture conjointe (coevolved) ou culture test à une seule espèce (no predator/no prey). La fitness augmente suite à la culture conjointe, ce qui montre une adaptation réciproque. Il faudrait, pour montrer qu'il s'agit bien d'une coévolution et non d'une accommodation/acclimatation, vérifier que le génome des deux interactants a bien été modifié suite à leur mise en relation.



Document 21b. Suite à l'expérience du document a, on mesure le nombre de mutation par bactérie chez un témoin (culture seule) ou dans la situation de coculture (coevolved). Le nombre de mutations est plus élevé dans le cas de la coculture pour la proie (*E. coli*) comme le prédateur (*M. xanthus*). Le génome de chacune des deux espèces a donc été modifié en raison de la relation interspécifique proie-prédateur. Il s'agit donc bien d'une coévolution.



Document 22. Gauche : arbre phylogénétique des primates. Eulemur et Haplemur : lémuriens. Saguinus, Callimico, Callithrix, Aotus, Saimiri, Pithecia : Platyrrhiniens (= singes du nouveau monde) ; Homo, Macaca, Allenopithecus, Cercopithecus : Catarrhiniens (= singes de l'ancien monde). Droite : les Ascomycètes parasites du genre *Pneumocystis*, à l'origine d'infections respiratoires. Les liens entre les deux arbres désignent la spécificité hôte (gauche)/parasite (droite). Ce type d'arbre comparatif est appelé tanglegram (pas d'équivalent francophone).



Bibliographie :

- Aubin-Horth, Nadia. « 3. Les quatre forces évolutives », 1 mars 2024. <https://pressbooks.etsmtl.ca/ecoevolutive/chapter/3-les-quatre-forces-evolutives/>.
- Buri, Peter. « Gene Frequency in Small Populations of Mutant *Drosophila* ». *Evolution* 10, n° 4 (1956): 367-402. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1956.tb02864.x>.
- Clark, Christopher James, et Robert K. Dudley. « Flight costs of long, sexually selected tails in hummingbirds », 2009. <http://repository.si.edu/xmlui/handle/10088/11817>.

20 Ramith R. Nair et al., « Bacterial Predator-Prey Coevolution Accelerates Genome Evolution and Selects on Virulence-Associated Prey Defences », *Nature Communications* 10, n° 1 (20 septembre 2019): 4301, <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12140-6>.

21 Ramith R. Nair et al., « Bacterial Predator-Prey Coevolution Accelerates Genome Evolution and Selects on Virulence-Associated Prey Defences », *Nature Communications* 10, n° 1 (20 septembre 2019): 4301, <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12140-6>.

22 « (PDF) *Pneumocystis* Molecular Phylogeny: A Way to Understand Both *Pneumocystosis* Natural History and Host Taxonomy », in *ResearchGate*, consulté le 25 février 2025, https://doi.org/10.1007/978-94-007-2114-2_8.

- Démaret-Nicolas, Joseph. « Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris ». Consulté le 29 septembre 2024. <http://josephnicolassvt.fr/>.
- « Drépanocytose et paludisme | Annabac ». Consulté le 25 février 2025. <https://www.annabac.com/sujet-corrige-bac/drepanocytose-et-paludisme>.
- Hoefler, Chad D. « Male mate choice and size-assortative pairing in a jumping spider, *Phidippus clarus* ». *Animal Behaviour* 73, n° 6 (1 juin 2007): 943-54. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2006.10.017>.
- Nair, Ramith R., Marie Vasse, Sébastien Wielgoss, Lei Sun, Yuen-Tsu N. Yu, et Gregory J. Velicer. « Bacterial Predator-Prey Coevolution Accelerates Genome Evolution and Selects on Virulence-Associated Prey Defences ». *Nature Communications* 10, n° 1 (20 septembre 2019): 4301. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12140-6>.
- « (PDF) Pneumocystis Molecular Phylogeny: A Way to Understand Both Pneumocystosis Natural History and Host Taxonomy ». In *ResearchGate*. Consulté le 25 février 2025. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2114-2_8.
- « PopG Web ». Consulté le 25 février 2025. <https://popgweb.com/?popSize=100&fitAA=1&fitAa=1&fitaa=1&mutAa=0&mutaA=0&migRate=0&initFreqA=0.5&numGen=100&numPop=10&randSeed=NaN>.
- « TP7 : Les mécanismes de spéciation – Les SVT avec DB », 2 novembre 2013. <https://dboudeau.fr/site/tp7-les-mecanismes-de-speciation/>.
- « Vidua chalybeata - Faits, Alimentation, Habitat & Photos sur Animalia.bio ». Consulté le 25 février 2025. <https://animalia.bio/fr/village-indigobird>.
- « Wikimedia Commons ». Consulté le 29 août 2024. <https://commons.wikimedia.org/wiki/Accueil>.
- Wilcox, Allen J. « On the Importance—and the Unimportance— of Birthweight ». *International Journal of Epidemiology* 30, n° 6 (décembre 2001): 1233-41. <https://doi.org/10.1093/ije/30.6.1233>.

