

Module 3 : L'évolution et la biodiversité

- A. La définition de l'évolution
- B. La théorie de l'évolution
- C. Les adaptations
- D. La sélection naturelle
- E. Le principe de Hardy-Weinberg
- F. La spéciation
- G. Le rythme de l'évolution

Reptile primitif



Oiseau primitif



Mammifère primitif



Introduction :

- On a commencé à étudier sérieusement les concepts de l'évolution au début du XIX^e siècle.
- Des scientifiques ont commencé à proposer de nouvelles idées.
- Certaines hypothèses soutenaient que les êtres vivants avaient changé au cours de l'histoire de la Terre.
- Ils avaient aussi observé des variations au sein des populations et avaient remarqué que celles-ci pouvaient s'adapter à des situations particulières.
- Cependant, elles allaient contre les croyances religieuses de l'époque et on les rejetait pour cette raison.
- De plus, ils ne pouvaient pas proposer une explication pour ces phénomènes.
- Selon la théorie moderne de l'évolution, toutes les formes de vie actuelles descendent d'une ou de quelques formes de vie qui existaient il y a plus de 3,5 milliards d'années.

** L'objectif de ce thème est de te fournir un aperçu de la diversité et de l'évolution de des organismes. Tu devras comprendre pourquoi la plupart des scientifiques reconnaissent la théorie de l'évolution par sélection naturelle. Ce module ne cherche pas à remettre en question tes croyances religieuses qui pourraient entrer en conflit avec la théorie de l'évolution. Il n'est pas nécessaire que tu nies tes croyances religieuses pour comprendre l'évolution en tant que théorie scientifique.*

A. La définition de l'évolution

- L'évolution est le thème qui sous-tend tous les domaines de la biologie.
- Certaines difficultés associées à l'évolution apparaissent lorsqu'on fait la distinction entre l'évolution (le fait) et l'explication de la façon dont l'évolution s'est produite (la théorie).
- L'évolution est effectivement un fait, une réalité.
- Il existe amplement de données résultant de recherches sur les fossiles, et d'études embryologiques, morphologiques, biochimiques (ADN), etc. démontrant qu'il s'est produit une évolution entre les organismes modernes et leurs lointains ancêtres, et que les espèces modernes continuent de se transformer au fil du temps.
- Ce qui est moins certains, c'est le mécanisme exact sur lequel repose cette évolution.
- Selon la théorie moderne de l'évolution, appuyée des découvertes sur la biologie des populations et la génétique, **l'évolution touche non pas les individus, mais les populations.**
- **L'évolution** : la variation de fréquence d'un allèle dans le fonds génétique d'une population.
- Le **fonds génétique** : tous les gènes au sein d'une population.
- En autres mots, c'est le changement du nombre d'un gène spécifique au sein de tous les gènes d'une population.

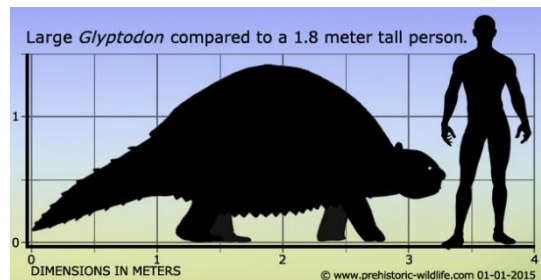
B. La théorie de l'évolution

Lecture : *Les preuves de Darwin et La théorie de Darwin sur l'évolution par sélection naturelle*

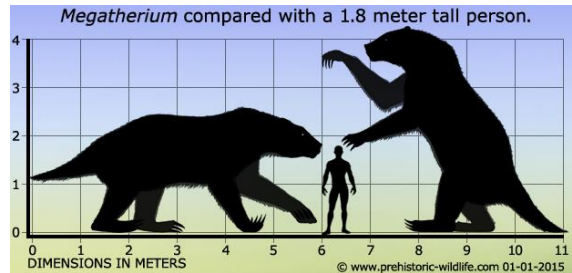
Exercice : *Les preuves de Darwin*

Charles Darwin (1809 – 1882)

- En 1831, l'anglais Charles Darwin, a quitté l'Angleterre à bord d'un navire, le *Beagle*.
- C'était au cours de cette expédition où Darwin a rassemblé des preuves de l'évolution.
- Il a observé des variations au sein des espèces d'une région à une autre.
- En particulier, les espèces provenant des régions tempérées d'Amérique du Sud étaient plus semblables aux espèces des régions tropicales de ce continent que des espèces des régions tropicales d'autres continents.
- Exemples d'observations :
 - Les glyptodons fossilisés ressemblaient aux tatous modernes;



- Le mégatherium fossile ressemblait au paresseux d'aujourd'hui;



- Darwin a remarqué que les îles de Galápagos contenaient peu d'espèces animales, mais elles ressemblaient beaucoup aux animaux de la côte.
- Les géospizes ou pinsons des îles, même s'ils étaient très différents, provenaient probablement d'une seule espèce originale.
 - Il a observé une gradation du bec des oiseaux;
 - Les formes du bec semblaient adaptées à la nourriture mangée.
- En se basant sur les écrits de Charles Lyell, il a compris que ce qui influence des changements, quoique lents et subtils, sont les mêmes aujourd'hui, qu'auparavant.
- Darwin a conclu que les espèces subissaient des variations.
 - a) **Variation**
 - Chaque membre d'une espèce a des variations physiques.
 - Il a parlé de **descendance avec modification**.
 - Ces variations se transmettent de génération en génération.
 - Maintenant, on sait que c'est grâce aux gènes.

b) **Compétition**

- Darwin a appliqué le principe de Malthus aux animaux.
- Les membres d'une population animale entrent en compétition avec les autres pour trouver la nourriture.
- Cette compétition est nécessaire car la reproduction fait apparaître plus d'individus que le système ne peut en supporter.
- La reproduction est limitée par le **potentiel biotique** d'une espèce.
 - Le plus grand nombre possible de descendants par un individu.
- **Lutte pour la vie** : seulement certains individus peuvent survivre pour reproduire.

c) **Sélection naturelle**

- «*Survie du plus apte*».
- Darwin s'est basé sur la sélection artificielle; l'humain choisit les individus qui se reproduisent.
- **Sélection naturelle** : l'environnement sélectionne les membres d'une population les mieux adaptés à se reproduire plus rapidement que les autres.
- Si certains organismes peuvent avoir la plus grande part de nourriture et peuvent se reproduire, leur chance de reproduction est meilleure que les autres.
- La sélection naturelle n'a pas une fin prédéterminée.

d) **Adaptation**

- La sélection naturelle pousse une population, puis une espèce, à s'adapter à son environnement.
- Un trait favorable pour survivre dans un environnement est donné aux générations successives.
- Ça prend du temps, mais le nombre augmente de génération en génération, jusqu'à la création d'une nouvelle espèce → **spéciation**, ou l'origine des espèces.

➤ Théorie de l'évolution selon Darwin :

1. Parmi les membres d'une population, certains subissent des variations héréditaires.
2. À chaque génération, le nombre d'individus capables de survivre et de se reproduire augmente.
3. L'environnement favorise, pour la reproduction, la sélection des individus porteurs des caractères adaptatifs.
4. Lentement et graduellement, chaque population en vient à s'adapter de mieux en mieux à son environnement.
5. Le résultat final de l'évolution est l'existence d'un grand nombre d'espèces différentes, chacune d'elle adaptée à son propre environnement.

Lecture : *L'histoire du phalène du bouleau*

Documentaire : *Charles Darwin and the tree of life* (59 min)

<https://www.dailymotion.com/video/xsxbk>

Les travaux de plusieurs scientifiques ont alimenté la réflexion de Charles Darwin.

James Hutton (1726 – 1797)

- Le géologue écossais et naturaliste a conclu que la Terre est très vieille et qu'elle s'est transformée au fil des millénaires sous l'action de mécanismes naturels, tels que le vent, l'eau, les tremblements de terre et les volcans.
- Il était opposé au catastrophisme.
- Il croyait que les caractéristiques géologiques de la Terre se transformaient lentement selon un cycle continu, appelé le **gradualisme**.

Erasmus Darwin (1731 – 1802)

- Il était un poète, un philosophe, un médecin, un botaniste et naturaliste et un inventeur britannique.
- Le grand-père de Charles Darwin a proposé l'hypothèse, dans le livre « *Zoonomia* », selon laquelle la compétition entre les individus pourrait mener à des transformations dans les espèces.
- Il a basé ses recherches sur des observations
- De nombreuses idées par rapport à l'évolution étaient intégrées au sein de ses poèmes.

Jean-Baptiste Lamarck (1744 – 1829)

- Un naturaliste français, il a publié une théorie de l'évolution en 1809.
- En comparant les espèces animales modernes aux fossiles, il a remarqué qu'il semblait avoir une progression de fossiles qui conduisaient à des espèces modernes.
- Il a proposé l'idée que les organismes microscopiques naissent continuellement et spontanément de sources non-vivantes.
- Il a émis l'hypothèse de **l'hérédité des caractères acquis** :
 - L'individu lui-même est capable de se transformer physiquement et le changement peut se transmettre aux descendants.
 - Il croyait que les organismes devenaient de mieux à mieux adaptés à leur environnement.
 - Les parties du corps les plus utilisées pour faire face aux conditions environnementales devenaient plus grandes et plus fortes. Cette adaptation serait, par après, passée aux générations suivantes.
 - Par exemple, une girafe qui étire son cou pendant sa vie pour rejoindre des branches, finirait par avoir un cou plus long. Ce trait, serait passé à ses descendants.
- On sait maintenant que ce mécanisme d'évolution est incorrect, mais ses idées ont influencé d'autres scientifiques.

Thomas Malthus (1766 – 1834)

- Un économiste anglais, il étudiait la capacité de reproduction des humains.
- Il a observé que les populations humaines ne peuvent pas augmenter à l'infini.
- Il a proposé le **principe de population** : la mort et la famine étaient inévitables car une population tend à augmenter plus rapidement que la source de nourriture.
- Aidé Darwin à réaliser que les membres d'une population sont en compétition; c'est la lutte pour la survie.

Georges Cuvier (1769 – 1832)

- Il était un homme très religieux et contre l'idée de l'évolution.
- Un français, connu comme le père de la paléontologie et un fondateur de l'anatomie comparée moderne.
- Il a donné le nom « Jurassique » à la période de temps.
- Il a reconnu que les fossiles accumulés dans les couches de roches retraçaient l'histoire de la vie.
- Il s'est basé sur le **catastrophisme** (de type inondation et séisme) pour expliquer l'extinction des espèces et l'apparition de nouvelles espèces dans les couches fossiles. Il était un des premiers à populariser l'idée des extinctions.
- Cette théorie a influencé Darwin pour élaborer la sélection naturelle, car Darwin croyait à l'idée que les changements sont plutôt graduels.

Charles Lyell (1797 – 1875)

- Le géologue anglais a déduit que la croûte terrestre subissait des changements graduels depuis très longtemps (3 milliards d'années). Ceci est contre ce qui est proposé dans la Bible (qui disait que la Terre a seulement 6000 ans).
- Il a élaboré la théorie de l'**uniformitarisme**, basée sur les idées proposées par Hutton, qui stipulait que les processus géologiques se produisaient dans le passé à la même vitesse qu'actuellement.
- Il était opposé aux idées de catastrophisme proposées par la Bible et appuyées par Cuvier.
- Auteur de « *Principles of Geology* »; ses travaux ont contribué à la réflexion de Darwin au sujet de l'évolution.

Joseph D Hooker (1817 – 1911)

- Le botaniste et explorateur anglais était un ami proche de Darwin. En fait, ils se sont écrits 1400 lettres.
- Il a donné des espèces de plantes exotiques à Darwin pour appuyer ses recherches.
- Il a donné des rétroactions à Darwin quant à sa théorie dans le contexte du règne végétal.
- Avec Lyell, ils ont publié les travaux de Darwin.

Thomas Huxley (1825 – 1895)

- Un biologiste anglais, il a étudié la zoologie, la paléontologie et les vertébrés marins
- Il a beaucoup appuyé la théorie d'évolution de Darwin et a reçu le sobriquet « Darwin's bulldog » car il l'a défendu à plusieurs reprises.
- Cependant, il a aussi critiqué certains aspects de la théorie de Darwin.
- Il a publié son propre livre au sujet de l'évolution des humains.

C. Les adaptations

- Les adaptations peuvent être comportementales, physiologiques ou structurale.
- Les adaptations **comportementales** sont liées à la façon dont les organismes réagissent à leur environnement.
- Les variations dans les processus métaboliques prenant place chez les organismes d'une espèce sont qualifiées d'adaptations **physiologiques**.
- Les adaptations **structurales** touchent la forme ou l'agencement des caractères physiques d'un organisme.
 - Le mimétisme est un type d'adaptation structurale qui permet à une espèce de ressembler à une autre.
 - Le camouflage est un autre type d'adaptation structurale dans l'apparence d'un organisme. Il augmente les chances de survie en lui permettant de se fondre dans son environnement.
- L'adaptation n'est pas la même chose que l'acclimatation (lorsqu'un organisme devient habitué aux conditions changeantes de son environnement).
 - Ceci n'est pas le résultat d'une sélection naturelle. Il n'y a pas de changements dans le fonds génétique de l'espèce.
- Une adaptation est due à la présence de gène(s) dans l'ADN. On ne peut pas changer la molécule d'ADN dans chacune des cellules pour mieux survivre dans l'environnement.

Ex. Un oiseau mâle ne peut pas changer la couleur de ses plumes pour mieux impressionner un oiseau femelle de son espèce (afin d'augmenter ses chances de reproduire).

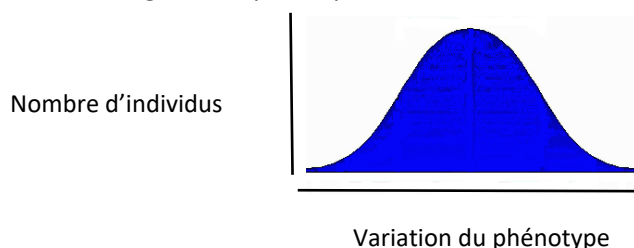
Exercice : Adaptations

Recherche (option #1) : Les adaptations

D. La sélection naturelle

- Les populations naturelles ont une variété de phénotypes et de génotypes.
- Certains individus produisent plus d'individus que d'autres.
- La **sélection naturelle** : processus par lequel les caractères d'une population changent parce que des individus ayant certains traits héréditaires survivent à des conditions environnementales particulières.
- Lors de la sélection naturelle, seuls les individus **aptés** survivent; les défavorisés s'éteignent.
- Les organismes ayant l'allèle légèrement favorable ont plus de chances de survivre et de se reproduire et ainsi de transmettre cet allèle à leurs descendants.
- Cette sélection éloigne la population de l'équilibre selon le principe de Hardy-Weinberg (à venir)
- Pour un caractère donné, la population suit une courbe de distribution normale, où la majorité de la population a un phénotype/trait. Il existe quand-même des variations de ce phénotype dans la population.

Ex. Les humains ont 4 doigts (et un pouce) par main. Un petit nombre de personnes ont plus ou moins de 4 doigts et un pouce par main.



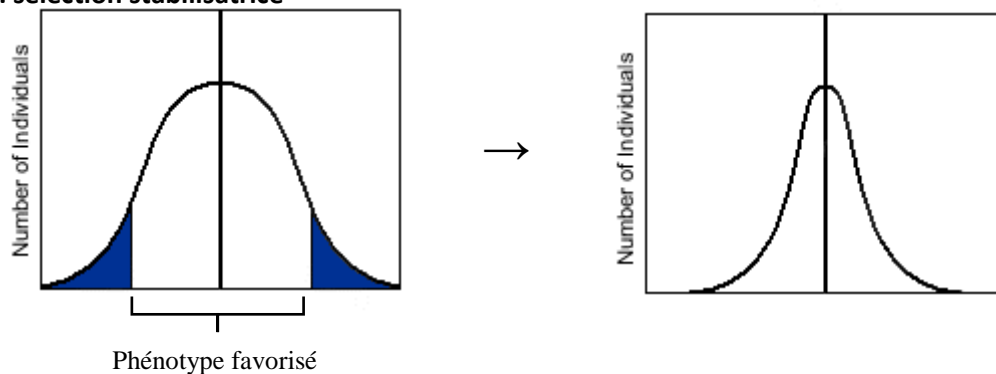
- Il existe trois formes de sélection naturelle qui peuvent influencer sur la fréquence d'un caractère héréditaire dans une population :
 1. La **sélection stabilisatrice**
 2. La **sélection directionnelle**
 3. La **sélection divergente**

La sélection stabilisatrice (stabilisante)

- Elle favorise le phénotype intermédiaire (valeur moyenne) et défavorise les phénotypes extrêmes (valeur basse ou élevée).
- La sélection stabilisatrice réduit la variation et améliore l'adaptation de la population à des facteurs assez constants de l'environnement.
- La population demeure stable.

Ex. Le poids à la naissance : jusqu'à récemment, les nourrissons qui étaient trop petits ne survivaient généralement pas et ceux qui étaient trop gros mouraient à la naissance.

Figure : sélection stabilisatrice



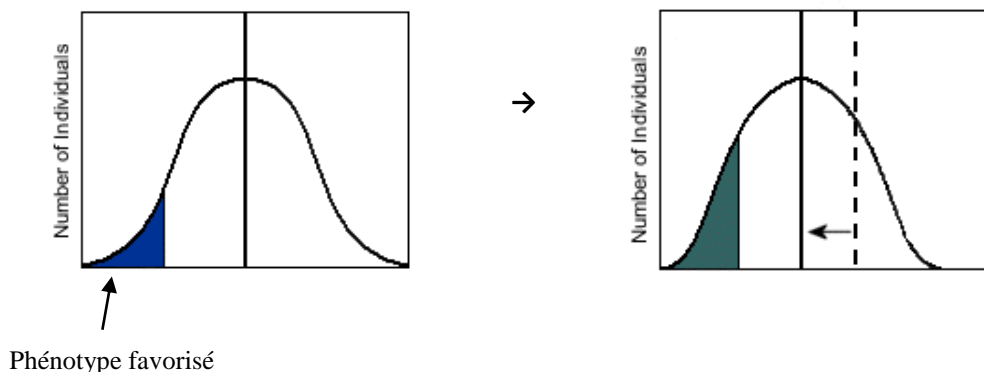
La sélection directionnelle

- Elle favorise le phénotype d'un extrême et défavorise les autres phénotypes (intermédiaire et à l'autre extrême).
- C'est-à-dire, qu'un extrême est mieux adapté à l'environnement.
- Elle « pousse » la population dans une direction.

Ex. Le développement de bactéries résistantes aux antibiotiques : seules les bactéries qui peuvent tolérer la présence d'un antibiotique survivent.

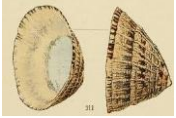
- Cette sélection est commune lors de périodes de changements environnementaux ou lorsqu'une population migre dans un habitat où l'environnement est différent.

Figure : sélection directionnelle



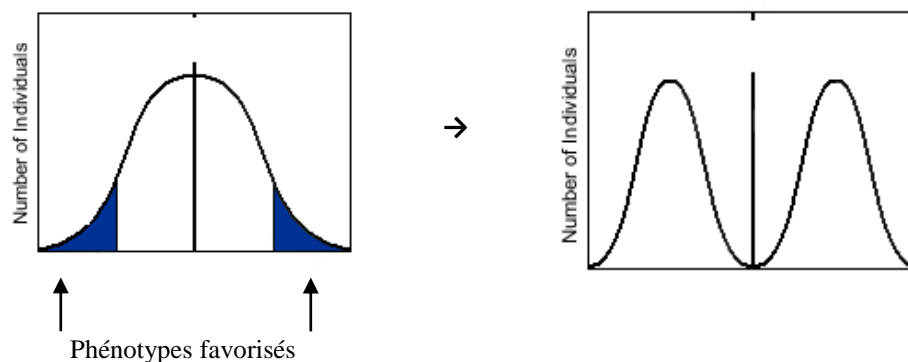
La sélection divergente (diversifiante)

- Elle favorise les phénotypes extrêmes et défavorise le phénotype intermédiaire.
- Le phénotype intermédiaire peut être éliminé de la population.
- Cette sélection crée deux nouvelles espèces.



Ex. La coquille des patelles (ou berniques) est de couleur blanche à brun foncé : les patelles de couleur sombre fixées à des rochers également foncés dans l’océan, ont tendance à être moins visibles par les prédateurs. Ceci est également vrai pour les patelles pâles fixées à des rochers de couleur clairs. Donc, ces mollusques ont une meilleure chance de survie. En revanche, les patelles de couleur intermédiaire (brun pâle) sont faciles à repérer pour les prédateurs. La couleur intermédiaire est désavantagée sur le plan de la sélection naturelle.

Figure : sélection divergente



La sélection artificielle

- La sélection naturelle et la sélection artificielle sont deux mécanismes de changement dans le fonds génétique d’une population.
- La principale différence est que dans la sélection artificielle, **les humains s’assurent** que les individus ayant les caractères les plus souhaitables puissent se reproduire.
- Dans la sélection naturelle, seules les individus qui sont les mieux adaptés à leur environnement survivent et se reproduisent.
- La sélection artificielle est une forme d’accouplement non aléatoire.
- Pendant des siècles, les éleveurs ont utilisé la variation naturelle dans une population pour appairer sélectivement des plantes ou animaux qui représentent le mieux les propriétés qu’ils voulaient conserver dans les générations futures, telles que :
 - Des vaches qui produisent plus de lait;
 - Des arbres fruitiers aux fruits qui mûrissent plus tôt;
 - Du blé qui produit davantage; et
 - Des chevaux qui courent plus vite.
 - De nombreuses variétés de *Brassica oleracea* (brocoli, chou-fleur vert, chou-fleur, chou, chou de Bruxelles, chou vert, etc.) sont tous dérivées de la moutarde sauvage par voie de sélection artificielle.
- Charles Darwin a été capable d’utiliser la sélection artificielle comme modèle de changement dans la nature (la sélection naturelle).

Exercice : *La sélection naturelle*

E. Le principe de Hardy-Weinberg

- Fondée sur les travaux d'un mathématicien anglais, G.H. Hardy et un physicien allemand, G. Weinberg.
- Pour qu'une population change, il doit y avoir une variation génétique, car si tous les membres étaient identiques, leurs descendants seraient pareils et la population ne changerait pas avec le temps.
- Pour déterminer comment une *vraie* population change avec le temps, on peut élaborer le modèle d'une population qui ne change pas génétiquement d'une génération à l'autre afin de *comparer* les deux populations.
- Ces scientifiques ont remarqué que, dans une grande population où les accouplements sont aléatoires et où aucun facteur ne change les proportions des allèles, les proportions du génotype original sont constantes d'une génération à l'autre.
- Le **principe de Hardy-Weinberg** : état d'une population dans lequel les génotypes des différents membres se maintiennent dans les mêmes proportions pendant plusieurs générations.
- Puisque les proportions ne changent pas, on dit que ces génotypes sont en équilibre selon la loi de Hardy-Weinberg.
- Cette loi se présente sous forme d'équation.
- La loi prédit l'allèle attendu et les fréquences génotypiques dans les populations non soumises à la pression sélective.
- Si on retrouve des fréquences différentes, cela indique qu'il se produit une sélection naturelle).

a) Principe

- On a vu que lorsqu'on a deux parents hétérozygotes :
Ex. gènes pq (p = dominant, q = récessif)

$$P : pq \times pq$$

	p	q
p	pp	pq
q	pq	qq

$$\frac{1}{4}pp + \frac{1}{2}pq + \frac{1}{4}qq = 1$$

- Si un allèle est présent la moitié du temps, il est = 0,5.
- Donc, $0,5 + 0,5 = 1$
- Hardy et Weinberg ont découvert que:
 - $p + q = 1$
 - $p^2 + 2pq + q^2 = 1$

p^2 = fréquence des individus homozygotes dominants

$2pq$ = fréquence des individus hétérozygotes

q^2 = fréquence des individus homozygotes récessifs

Exemple:

On trouve 16% d'écureuils noirs dans une population (La fourrure noire est un trait récessif et la fourrure grise est un trait dominant). Détermine les fréquences génotypiques de cette population.

$$q^2 = 0,16 \rightarrow \text{Les 16\% qui démontraient le phénotype récessif (noir)}$$

$$q = 0,4$$

$$p = 1 - 0,4$$

$$p = 0,6$$

$$p^2 = 0,36 \rightarrow \text{36\% de la population est homozygote dominant (gris)}$$

$$0,36 + 2pq + 0,16 = 1$$

$$2pq = 1 - 0,36 - 0,16$$

$$2pq = 0,48$$

Donc, il y a 36% sont homozygotes dominants, 48% sont hétérozygotes et 16% sont homozygotes récessifs.

b) Conditions

- Il existe 5 conditions requises pour maintenir l'équilibre selon la loi de Hardy-Weinberg :
 1. *La population est très grande.*
 2. *Les accouplements sont aléatoires*
 - Aucune préférence; une femelle ne choisit pas un mâle ayant un génotype ou phénotype particulier pour s'accoupler.
 3. *L'isolement génétique*
 - Aucun échange de gènes entre des populations, car cela modifierait le pool génétique.
 4. *Il ne doit pas y avoir de mutations*
 - Les gènes doivent demeurer constants.
 5. *Pas de sélection naturelle.*
 - Aucun génotype ne doit présenter un avantage reproductif par rapport aux autres.

c) Évolution

- Cependant, il y a toujours une sélection naturelle.
- C'est-à-dire, les populations naturelles ne sont pas en équilibre selon la loi de Hardy-Weinberg, car elles ne peuvent pas répondre à toutes les conditions ci-hauts.
- L'évolution fait varier les fréquences génétiques d'une population à chaque génération.
- Selon Darwin, seuls les organismes les mieux adaptés produisent plus de descendants, et les espèces sont de mieux en mieux adaptées à leur milieu.

Exercice : *Le principe de Hardy-Weinberg*

d) La modification de la variation génétique

- Il est pratiquement impossible de satisfaire à toutes les conditions du principe de Hardy-Weinberg.
- La sélection naturelle influe sur les variations dans une population car les individus les plus aptes survivent et se reproduisent, transmettant leurs gènes aux générations successives.
- Les migrations entrantes et sortantes d'individus d'une population influent sur les fréquences alléliques et donc sur le **flux génétique** (échange de gènes par la reproduction sexuée).
- Les changements dans le pool génique d'une petite population qui sont dus au hasard entraînent une **dérive génétique** («genetic drift»)
 - Variation aléatoire des fréquences alléliques causée par des événements au hasard (au lieu de la sélection naturelle).
- **L'effet du goulot d'étranglement** («bottleneck effect») est une forme de dérive génétique qui résulte de l'extinction quasi complète d'une population.
 - C'est lorsqu'une population est réduite pour au moins une génération par un effet naturel ou causée par les humains. La population résultante a une variation génétique qui ne représente pas la variation génétique de la population originale.
 - Ceci réduit la variation génétique et donc la population résultante ne serait possiblement incapable de s'adapter aux changements dans le milieu.

Ex. La population d'éléphant de mer du nord a une variation génétique réduite due au goulot d'étranglement cause par la chasse au sein des années 1890s. La chasse a réduit leur population à moins de 20 individus par la fin du 19^e siècle. Depuis, la population a augmenté à au-delà de 30 000 individus, mais leurs gènes démontrent encore l'effet du goulot d'étranglement. Leur population a très peu de variation génétique en comparaison avec les éléphants de mer du sud.



- **L'effet fondateur** («founder effect») représente une forme de dérive génétique où un petit nombre d'individus colonisent un nouveau milieu.
 - Étant donné qu'une nouvelle colonie se forme à partir d'un petit groupe d'individus, il y a peu de variation génétique (augmentation de croisement consanguin, etc.).

Ex. Chez les humains, cet effet est vu dans le cas de la tyrosinémie dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean au Québec («Mort de bébé Pierre»).

- Dans les deux cas (goulot d'étranglement et fondateur), la fréquence des allèles peut changer de façon spectaculaire.
- Chez les animaux, l'accouplement non aléatoire (dirigé) est plus souvent le cas puisque le choix des partenaires joue souvent un rôle important dans le comportement (ex. parade nuptiale).

- De nombreuses plantes s'autopollinisent, ce qui est une forme d'autofécondation ou reproduction non aléatoire.
- Les mutations se produisent constamment. Elles sont la source de nouveaux allèles, ou de variations qui peuvent enclencher une sélection naturelle.

Annexe 20 – Étude de cas : Goulot d'étranglement dans une population

F. La Spéciation

- Les individus qui survivent et se reproduisent transmettent leurs gènes à leurs descendants.
- Avec le temps, les populations d'individus changent, conduisant à de nouvelles espèces.
- Le fameux biologiste évolutionniste allemand, Ernst Mayr, définissait une **espèce** comme étant une communauté reproductrice de populations (isolées les unes des autres du point de vue génétique) qui occupent chacune une niche écologique particulière dans la nature.
- Une **niche écologique** : situe la place et le rôle d'une espèce vivante dans un écosystème (l'ensemble de son habitat, son alimentation, ses rythmes d'activités et ses relations avec les autres espèces).
- La **spéciation** : la création de nouvelles espèces.
- Le **principe biologique de l'espèce** :
 1. Les membres de la nouvelle espèce doivent se ressembler et être structurellement différents des membres d'une autre espèce.
 2. Les membres de cette nouvelle espèce doivent pouvoir s'accoupler et produire des descendants viables et fertiles ou **interféconds**, créant un isolement sexuel.

Ex. Malgré le fait qu'ils sont des animaux, un cheval et une poule ne pourraient pas faire partie de la même espèce car ils ne se ressemblent pas et ne peuvent pas s'accoupler (du tout) pour faire des descendants interféconds.

- Pour que cela soit possible, les populations doivent se reproduire à la même période (ex. au printemps).
- Ce concept est basé sur l'incapacité de deux espèces à s'hybrider.
- Un **hybride** : le descendant d'un croisement entre des individus de deux espèces.
- En général, un hybride est infertile ou possède des gamètes non viables.
- Pour que des espèces restent distinctes, elles ne doivent pas s'interféconder.
- Diverses barrières (mécanismes d'isolement) empêchent l'interfécondation et limitent le mélange génétique entre les espèces.
- Les **barrières géographiques** : gardent les espèces physiquement séparées.
 - Exemples de barrières : un cours d'eau, des montagnes, un canyon, l'élévation du niveau de la mer, la formation de glaciers, etc....
- Les **barrières biologiques** : maintiennent l'isolement reproductif même quand les espèces sont proches l'une des autres.
- Il existe deux genres de barrières biologiques :
 - L'**isolement prézygotique**
 - L'**isolement postzygotique**

Isolement prézygotique

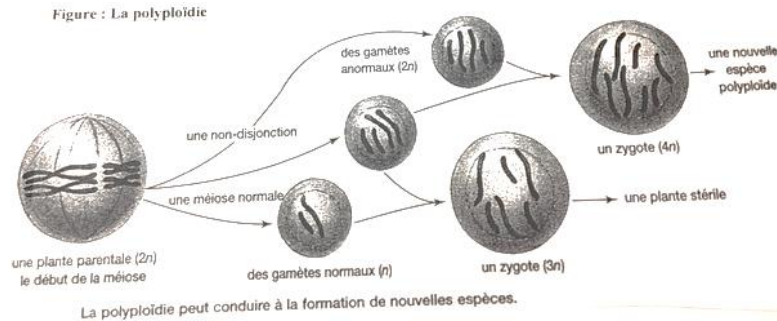
- Différentes espèces ne peuvent pas s'accoupler ou la fécondation de l'ovule est empêchée.
- Il comprend 5 formes:
 - *L'isolement comportemental* : tout signal ou comportement propre à une espèce qui empêche l'interfécondation.
 - *L'isolement écologique* : différentes espèces occupent différents habitats dans la même région, donc elles ne rencontrent que rarement.
 - *L'isolement temporel* : différentes espèces se reproduisent à différents temps.
 - *L'isolement mécanique* : différentes espèces peuvent essayer de s'accoupler, mais ne peuvent pas en raison d'une incompatibilité anatomique.
 - *L'isolement gamétique* : si les gamètes (les spermatozoïdes et l'ovule) se rencontrent, ils ne se fusionnent pas pour former un zygote.
- Les mutations chromosomiques peuvent aussi créer un isolement au niveau de la reproduction.

Isolement postzygotique

- Après l'accouplement de deux différentes espèces, les descendants meurent ou sont stériles.
 - Ceci empêche les zygotes hybrides de former des individus normaux et fertiles.
 - Il comprend trois formes :
 - *La non-viabilité des hybrides* : la croissance du zygote hybride est arrêtée à une certaine étape de son développement embryonnaire.
 - *La stérilité des hybrides* : quand deux différentes espèces s'accouplent et forment un hybride stérile.
 - *La déchéance des hybrides* : dans certains cas, les hybrides de la première génération d'espèces croisées sont viables et fertiles, mais lorsque ces hybrides s'accouplent entre eux ou avec une autre espèce, les descendants sont stériles ou faibles.
 - Cependant, le principe de l'espèce biologique ne convient pas à tous.
 - Par exemple, il ne s'applique pas aux organismes asexués (peuvent s'autoféconder).
 - De plus, il existe des exemples d'accouplements entre différentes espèces qui produisent des descendants viables et fertiles, tout en étant des espèces distinctes.
- Ex. le coyote peut s'accoupler avec le chien domestique ou le loup.
- Donc, il est difficile de déterminer exactement à quel moment une espèce devient une nouvelle espèce, ou si deux populations appartiennent à la même espèce.
 - Mais, il y a quand même la formation de nouvelles espèces.
 - L'analyse de l'ADN est une technique moderne qui aide les scientifiques à déterminer quelles populations sont formées d'une seule espèce et lesquelles sont formées de deux ou plusieurs espèces.

Exercice : *La spéciation - Les barrières biologiques*

- Il existe différentes formes de **spéciation** :
 - La spéciation sympatrique
 - La spéciation allopatrique
- La **spéciation sympatrique** : l'apparition au sein d'une population, deux ensembles (partageant le même territoire), qui ne peuvent plus se reproduire.
 - Dans des conditions appropriées, une nouvelle espèce peut se former en une seule génération si un changement génétique produit une barrière biologique entre les parents et les descendants. La plus courante arrive par mutation : trop (**polyploïdie**) ou pas assez de chromosomes.



- Plus commun chez les plantes. Elle peut avoir lieu chez les animaux quand les descendants commencent à utiliser des ressources que la population parentale n'utilise pas. Ceci entraîne des accouplements non-aléatoires. Par exemple, les cichlides dans les lacs Victoria et Malawi en Afrique.

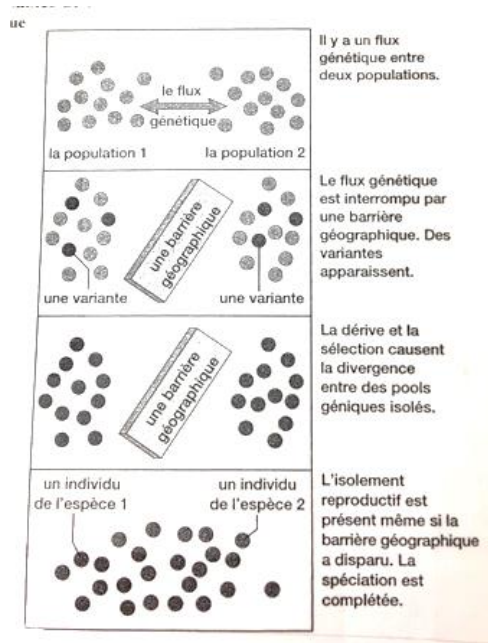
Lecture : *La spéciation des poissons cichlidés dans le lac Victoria*

<https://www.nytimes.com/1996/08/27/science/lake-victoria-s-lightning-fast-origin-of-species.html>

- La **spéciation allopatrique** : formation d'une nouvelle espèce due à la séparation d'une population en deux ou plusieurs groupes isolés par une barrière géographique. Donc, des groupes d'une population ne peuvent pas s'accoupler.
 - Si les populations sont soumises à des pressions de sélection naturelle différentes, la fréquence des allèles sera modifiée.
 - Ceci entraîne une différence génétique substantielle au point où elles deviennent incapables de s'interféconder.
- Deux stades : isolement géographique, puis isolement sexuel
 - Il n'est pas nécessaire que la barrière biologique soit permanente, mais elle doit durer assez longtemps pour que les populations deviennent incompatibles au niveau de la reproduction.
 - L'isolement sexuel est causé par la sélection naturelle de l'environnement.

Ex. les géospizes (pinsons de Darwin) des îles Galápagos. Les membres d'une espèce ancestrale ont atteint une des îles après avoir été détournés de leur trajet par une tempête tropicale.

Figure : La spéciation allopatrique



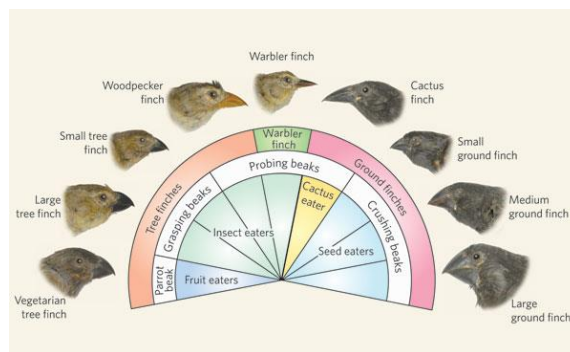
L'évolution divergente et convergente

- **L'évolution divergente** ou **rayonnement adaptatif** : le processus par lequel une espèce ancestrale donne naissance à un certain nombre de nouvelles espèces adaptées à des conditions environnementales différentes.
- Cela se produit souvent quand une espèce colonise un nouvel environnement dans lequel il y a des niches écologiques inoccupées.

Ex. Dû aux différentes niches, les géospizes sur les îles Galapagos, ont diversifié en raison de leurs différentes habitudes alimentaires (spéciation allopatrique suivie d'une spéciation sympatrique)

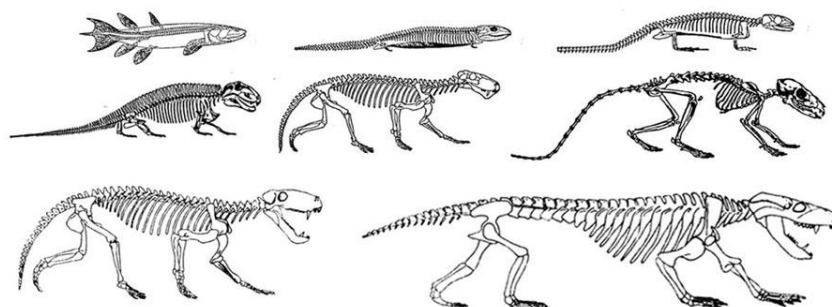
- Éventuellement, les caractères morphologiques (les becs) ont changé aussi.
- Ils ont été poussés par la sélection naturelle.

- Il se produit souvent de grands épisodes de rayonnement adaptatif après l'évolution d'un nouveau caractère.



Ex. L'évolution des membres des vertébrés les a permis d'avoir accès aux nouveaux habitats et de nouvelles sources de nourriture.

Figure : Évolution des membres chez les mammifères



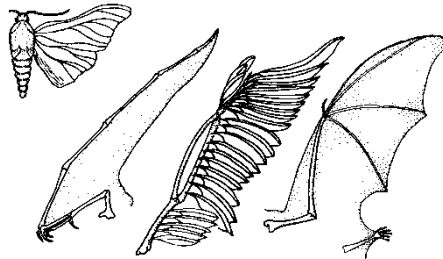
- L'évolution divergente rapide a aussi lieu après les **extinctions de masse**.

Ex. Il y a 65 millions d'années, plus de la moitié des espèces marines existantes, ainsi que de nombreuses plantes et de nombreux animaux ont été exterminés, causant l'évolution des mammifères.

Voir Figure : L'évolution de la vie (fin des notes)

- Dans l'**évolution convergente**, des caractères semblables (physiques ou comportementales) apparaissent parce que chaque espèce s'est indépendamment adaptée à des milieux semblables, et non parce qu'elles proviennent d'un ancêtre commun.
- Comme elles subissent des pressions environnementales similaires, ces organismes développent des **structures analogues**.
 - Ces structures ont une organisation différente, mais leurs fonctions sont semblables.

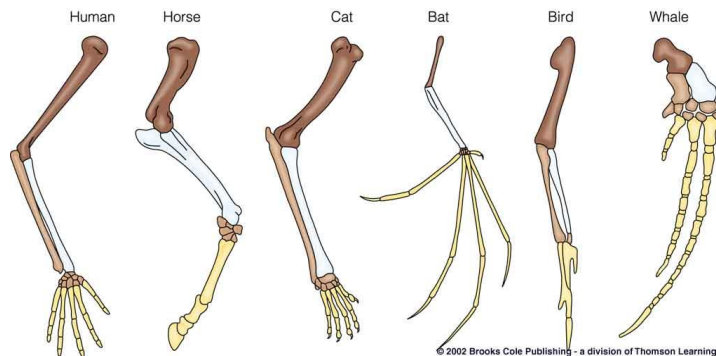
Figure : Ailes d'insectes, des dinosaures, des oiseaux, des chauves-souris



Ex. Les oiseaux et les chauves-souris ont évolué indépendamment et à différentes époques. Ils ne proviennent pas du même ancêtre, donc ils ont développé des ailes différentes.

- Les structures analogues fournissent une preuve d'évolution puisqu'elles montrent à quel point des organismes différents peuvent s'adapter de façon indépendante à des environnements similaires.
- Ne pas confondre celles-ci avec des **structures homologues**.
 - Ces structures ont une organisation semblable, dont leurs fonctions sont différentes.

Figure : Ces vertébrés ont le même arrangement élémentaire d'os, mais les os sont utilisés différemment.



- Elles sont également une preuve d'évolution car elles indiquent une parenté avec un ancêtre commun.

- La **coévolution** : deux espèces d'organismes étroitement liées l'une à l'autre évoluent ensemble.
 - Chaque population réagit aux variations dans l'autre population.
 - Ex. les prédateurs et leurs proies, les parasites et leur hôte

Exercice : *La spéciation - Les preuves d'évolution*

Recherche (option #2) : *Les structures analogues et homologues*

G. Le rythme de l'évolution

- Selon les études de fossiles, certains groupes d'organismes semblent n'avoir aucunement changé pendant des millions d'années. *Pourquoi?*

Ex. Le requin et le cafard



- Ces études montrent que certains groupes d'organismes semblent avoir fait l'objet d'épisodes de différenciation rapide. *Pourquoi?*

Ex. Les géospizes des îles Galapagos et la multiplication des espèces de mammifères durant l'ère tertiaire

Lecture : *Les preuves de l'évolution*

- Le **gradualisme** correspond à une évolution lente et graduelle sur une longue période.
 - Lentement, les populations se différencient les unes des autres en raison de diverses pressions sélectives.
 - Ces changements débouchent sur des formes transitoires observées dans les fossiles.

Ex. Les trilobites



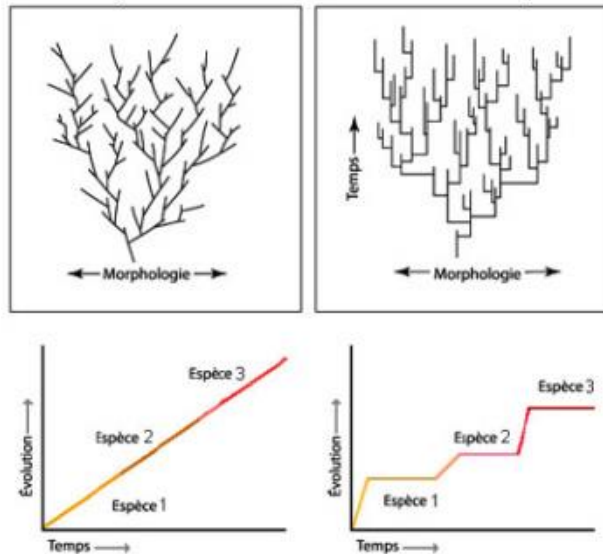
- L'**équilibre intermittent** ou **équilibre ponctué** décrit de longues périodes de stabilité, où les espèces ne changent presque pas.
 - Ces périodes sont interrompues (ponctuées) par de courtes périodes d'évolution rapide entraînant bientôt la formation d'une nouvelle espèce.
 - L'évolution est stimulée par un changement soudain dans l'environnement.
 - Les études sur les fossiles montrent que des extinctions massives ont souvent été suivies par des poussées soudaines d'évolution.

Ex. L'extinction des dinosaures au Crétacé a précédé l'augmentation rapide d'espèces mammifères.

Figure : Rythme de l'évolution

Dans le cas du gradualisme (à gauche), les lignes obliques indiquent que les changements morphologiques se font petit à petit avec le temps.

Dans le cas des équilibres ponctués (à droite), les tracés en escaliers démontrent de rapides changements morphologiques suivis de longues périodes où l'espèce évolue peu.



- Le débat sur le gradualisme par opposition à l'équilibre intermittent n'est qu'un exemple de « l'évolution » de la théorie de l'évolution.
- La majorité des biologistes évolutionnistes estiment que certains aspects des deux modèles surviennent durant l'histoire de l'évolution d'une espèce.
 - C'est plutôt une combinaison des deux théories, où les lignes horizontales de l'équilibre ponctué sont inclinées pour démontrer les changements graduels.
 - À certains stades, on assiste à une évolution graduelle due à la sélection stabilisatrice et à des conditions environnementales constantes.
 - À d'autres moments, il se produit une dérive génétique, une sélection directionnelle, des changements soudains dans l'environnement ou une coévolution, qui peuvent tous causer des changements rapides.
- La nouvelle synthèse moderne de la théorie de l'évolution (néo-darwinisme) présente des constatations tirées d'observations en génétique, en biologie des populations, en paléontologie et, en biologie évolutive et développementale (évo-dévo).
- Quatre chercheurs sont à l'origine de ce mouvement :

Theodosius Dobzhansky (1900 – 1975)

- Son travail se distingue pour la définition d'évolution comme étant une variation de la fréquence d'un allèle dans un pool génétique.
- Avec des drosophiles, il a démontré l'effet des changements environnementaux sur les gènes (vu dans le Module 2)

- Il est célèbre pour avoir déclaré que : « *Rien n'a de sens en biologie, si ce n'est à la lumière de l'évolution* » (1973).

Ernst Mayr (1904 – 2005)

- À élaborer le concept biologique de l'espèce et un mécanisme de spéciation.

Niles Eldredge (1943 – présent) et Stephen Jay Gould (1941 – 2002)

- Ont proposé la théorie de l'équilibre intermittent.

- C'est à noter que la théorie de l'évolution continue d'être améliorée à mesure que nos connaissances en biologie s'accumulent.

Exercice : *Le rythme de l'évolution*

Fin du module 3

Figure : L'évolution de la vie

L'évolution de la vie...

Echelle des temps géologiques

