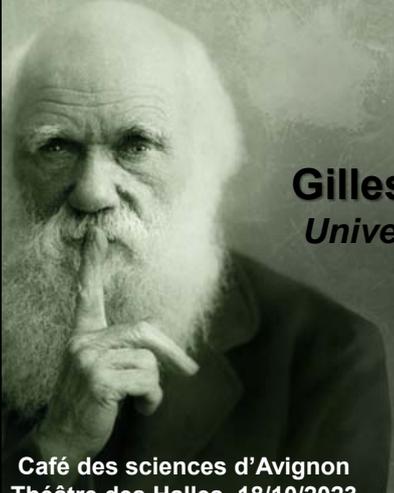
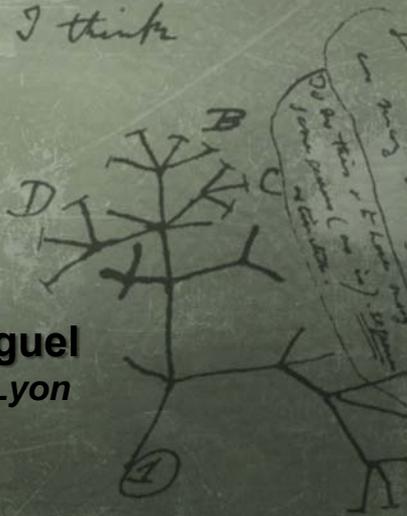


**Darwin & Co. -  
La théorie de  
l'évolution aujourd'hui**



*I think*



**Gilles Escarguel**  
Université de Lyon

Café des sciences d'Avignon  
Théâtre des Halles, 18/10/2023



**Aujourd'hui, sur Terre : 8-10 millions d'espèces**



***D'où vient une  
telle diversité  
d'espèces ?***

***Dont ~2 millions connues à ce jour...***

# L'Évolution !

L'**évolution** en biologie est la **modification** des **espèces** vivantes, de générations en générations, au cours du **temps**

- Un ensemble de **faits** actuels et passés (observations & expérimentations)
- Une **théorie** des mécanismes reliant ces faits en un cadre conceptuel parcimonieux et cohérent

En l'état actuel des connaissances, le cadre conceptuel expliquant le mieux les mécanismes de l'évolution est la **théorie synthétique de l'évolution (TSE)**

## La théorie synthétique de l'évolution, ou synthèse néo-darwinienne

### Darwinisme – Darwin & Wallace (1858)

ON THE TENDENCY OF SPECIES TO FORM VARIETIES. 45

On the Tendency of Species to form Varieties; and on the Perpetuation of Varieties and Species by Natural Means of Selection. By CHARLES DARWIN, Esq., F.R.S., F.L.S., & F.G.S., and ALFRED WALLACE, Esq. Communicated by Sir CHARLES LEECH, F.R.S., F.L.S., and J. D. HOOKER, Esq., M.D., V.F.R.S., F.L.S., &c.

[Read July 16, 1858.]

London, June 23rd, 1858.

MY DEAR SIR,—The accompanying papers, which we have the honour of communicating to the Linnean Society, and which all relate to the same subject, viz. the Laws which affect the Production of Varieties, Races, and Species, contain the results of the investigations of two indefatigable naturalists, Mr. Charles Darwin and Mr. Alfred Wallace.

These gentlemen having, independently and unknown to one another, conceived the same very important theory, the appearance and perpetuation of which on our planet, may both fairly be considered as the result of the same cause, and which all thinkers in this important line of inquiry have been for many years past been repeatedly urged to have now unreservedly placed before the world, we think it would best promote the interests of science if the attention from them should be laid before the Society in the order of their dates.

1. Extracts from a MS. work on the Origin of Species, which was sketched in 1839, and copied by Dr. Hooker, and its contents read to the Society by Charles Lyell. The first Part is on the Origin of Organic Beings under Domestication, and the second chapter of that Part is on the Variation of Organic Beings in a State of Nature; on the Means of Selection; on the Competition of Organic Beings for true Species."

2. An abstract of a private letter from Mr. Alfred Wallace to Mr. Gray, of Boston, U.S., in October 1844.

\* The MS. work was never introduced into the public domain.

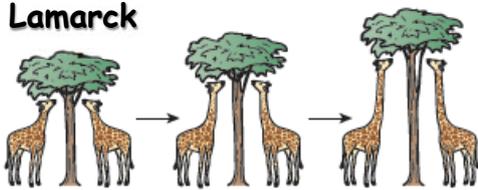
CHARLES DARWIN AND ALFRED RUSSEL WALLACE MADE THE FIRST COMMUNICATION OF THEIR VIEWS ON THE ORIGIN OF SPECIES BY NATURAL SELECTION AT A MEETING OF THE LINNEAN SOCIETY ON JULY 1858 1ST JULY 1958

ON THE ORIGIN OF SPECIES BY MEANS OF NATURAL SELECTION. BY CHARLES DARWIN. LONDON: JOHN MURRAY, ALBEMARLE STREET, 1859.

**La théorie synthétique de l'évolution, ou synthèse néo-darwinienne**

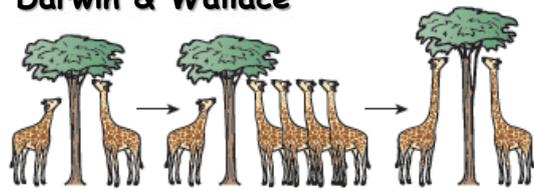
**Darwinisme - Darwin & Wallace (1858)**

**Lamarck**



1. Les ancêtres ont un cou court
2. Les individus s'adaptent à leur environnement en étirant leur cou (**tendance à l'amélioration**)
3. Les descendants ont un cou plus long → ils sont mieux adaptés

**Darwin & Wallace**



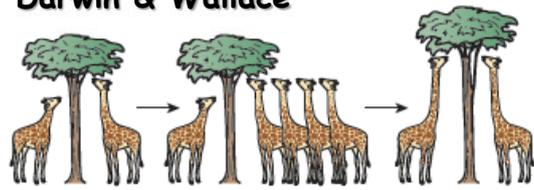
1. Les ancêtres ont des cous de tailles différentes d'un individu à l'autre = **variabilité**
2. **En moyenne**, les individus aux cous plus longs survivent et se reproduisent (un peu) mieux = **sélection naturelle**
3. Les individus au long cou sont de plus en plus fréquents → **le groupe est de mieux en mieux adapté**

**La théorie synthétique de l'évolution, ou synthèse néo-darwinienne**

**Darwinisme - Darwin & Wallace (1858)**

**L'adaptation des individus à leur environnement n'est pas la cause de l'évolution des espèces...**

**Darwin & Wallace**



1. Les ancêtres ont des cous de tailles différentes d'un individu à l'autre = **variabilité**
2. **En moyenne**, les individus aux cous plus longs survivent et se reproduisent (un peu) mieux = **sélection naturelle**
3. Les individus au long cou sont de plus en plus fréquents → **le groupe est de mieux en mieux adapté**

**La théorie synthétique de l'évolution, ou synthèse néo-darwinienne**

**Darwinisme** - Darwin & Wallace (1858)

**L'adaptation des individus à leur environnement n'est pas la cause de l'évolution des espèces...**



les caractéristiques  
acquises par un  
individus durant sa vie  
**ne se transmettent**  
**pas** à la génération  
suivante (reproduction)



**Une idée (vraiment) révolutionnaire ?**

**La théorie synthétique de l'évolution, ou synthèse néo-darwinienne**

**Darwinisme** - 1???-1880

..., Maupertuis (1754), Matthew (1831), Blyth (1836),  
Chambers (1844), Spencer (1852), **Darwin & Wallace** (1858)

**Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759)**



« Les espèces se modifient au fil d'un temps très long,  
génération après génération. [...]

Des variations fortuites voient le jour chez les  
individus et se transmettent par la reproduction. [...]  
Ces transformations aboutissent à la diversification  
des espèces. [...] De nouvelles espèces apparaissent,  
d'autres disparaissent. [...]

Les individus non adaptés disparaissent. [...]

La Terre est nécessairement très ancienne. »

(Essai sur la Formation de Corps Organisés, 1754)

**Darwin & Wallace furent les premiers à  
accumuler un large corpus d'observations variées  
appuyant un concept ancien...**

La **théorie synthétique de l'évolution, ou synthèse néo-darwinienne**

**Darwinisme** - 1???-1880

+

**Génétique mendélienne** - 1860-1920  
Mendel (1856-1863), redécouvert indépendamment en 1901  
par De Vries, Correns et von Tschermak-Seysenegg

**Les trois lois de l'hérédité :**

- Loi d'**uniformité des hybrides** de 1<sup>ère</sup> génération
- Loi de **ségrégation des caractères** dans la 2<sup>nd</sup>e génération
- Loi de **ségrégation indépendante** des caractères héréditaires multiples

→ **Comment les caractéristiques des êtres vivants sont transmises d'une génération à la suivante ?**



La **théorie synthétique de l'évolution, ou synthèse néo-darwinienne**

**Darwinisme** - 1???-1880

+

**Génétique mendélienne** - 1860-1920

+

**Génétique des populations** - 1910-1940  
Morgan, Fisher, Haldane, Wright...

*Analyse démographique (statistique) des variations spatiales et temporelles des mutations au sein des populations*



**La théorie synthétique de l'évolution, ou synthèse néo-darwinienne**

**Darwinisme - 1773-1880**

**+**

**Génétique mendélienne - 1860-1920**

**+**

**Génétique des populations - 1910-1940**

**=**

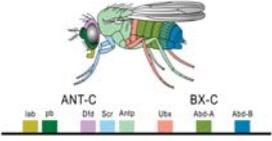
**Théorie Synthétique de l'Evolution - 1940-1960**  
Dobzhansky, Mayr, Simpson, Stebbins, Huxley...



**La théorie synthétique de l'évolution, ou synthèse néo-darwinienne**

*Et depuis les années 1960, plusieurs intégrations...*

- **Années 1960-1980** : la **théorie neutraliste** de l'évolution moléculaire de Kimura

- **Années 1970-1990** : la théorie des **équilibres ponctués** d'Eldredge & Gould
- **Années 1980-....** : la **génétique du développement**


**Mais commençons par le commencement...**

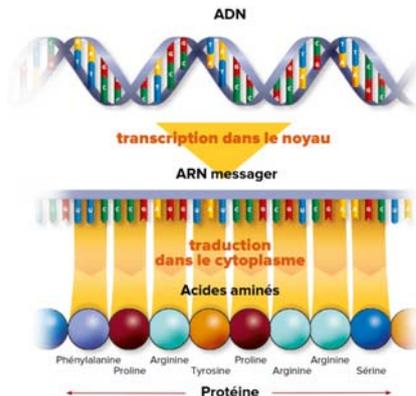


## Unité et diversité des êtres vivants

### **A quoi servent les gènes ?**

**A chaque gène correspond une protéine = une molécule permettant aux cellules, organes et organismes de fonctionner :**

- **Structure** (collagène...)
- **Mobilité** (myosine...)
- **Transport intracellulaire** (kinésine), **extracellulaire** (hémoglobine...), **transmembranaire** (pompe Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>...)
- **Catalyseurs** (enzymes...)
- **Signalisation cellulaire** (récepteurs transmembranaires...)
- **Transfert d'information intracellulaire** (protéine G...)
- *Etc.*



## Unité, diversité & relations de parentés



Doug & Brad

Les individus d'une même espèce se ressemblent parce qu'ils **partagent les mêmes gènes** = les mêmes caractéristiques **héritées** d'un même **ancêtre commun**

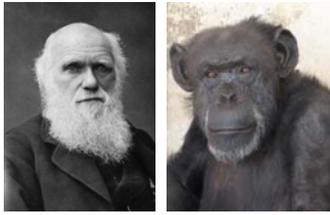


Vanessa & Lily-Rose



Ginette Collette 62 ans  
 Ismaëlle Collette 12 ans  
 Grand-mère  
 Petite-fille

## Unité, diversité & relations de parentés



Les individus d'une même espèce se ressemblent parce qu'ils **partagent les mêmes gènes** = les mêmes caractéristiques **héritées** d'un même **ancêtre commun**



**Il en est de même entre les espèces**

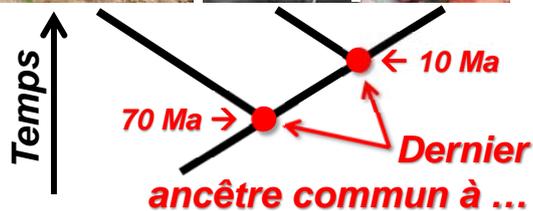
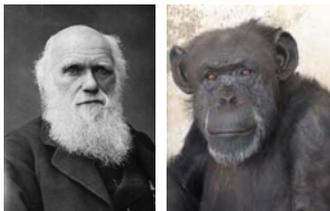


Sur les **~20.000 gènes** que nous possédons, nous en partageons :

- ~20.000 (~100%) avec un gorille
- ~19.000 (95%) avec un loup
- ~10.000 (50%) avec un moustique
- ~6000 (30%) avec une pâquerette
- ~3800 (20%) avec une bactérie



## Unité, diversité & relations de parentés



→ **Arbre phylogénétique :**  
**Qui est plus proche parent de qui ?**

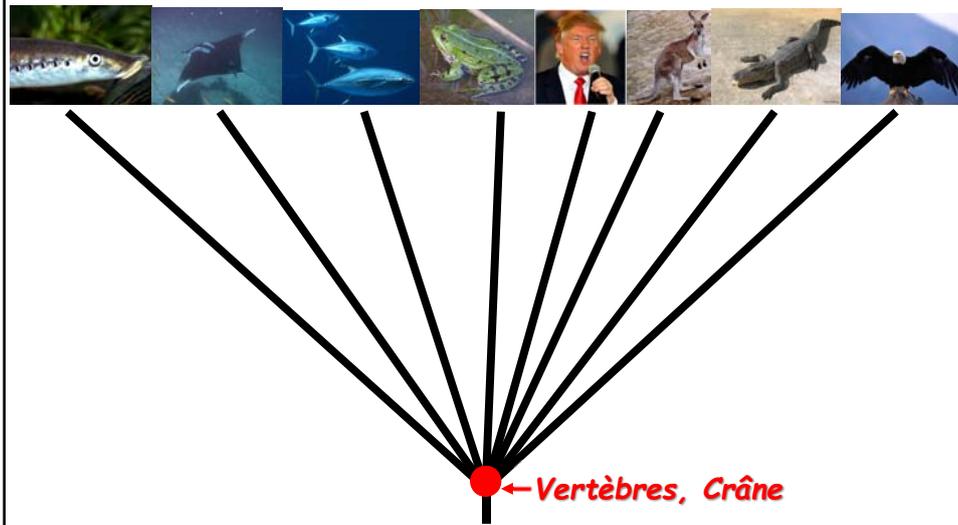
## Unité, diversité & relations de parentés

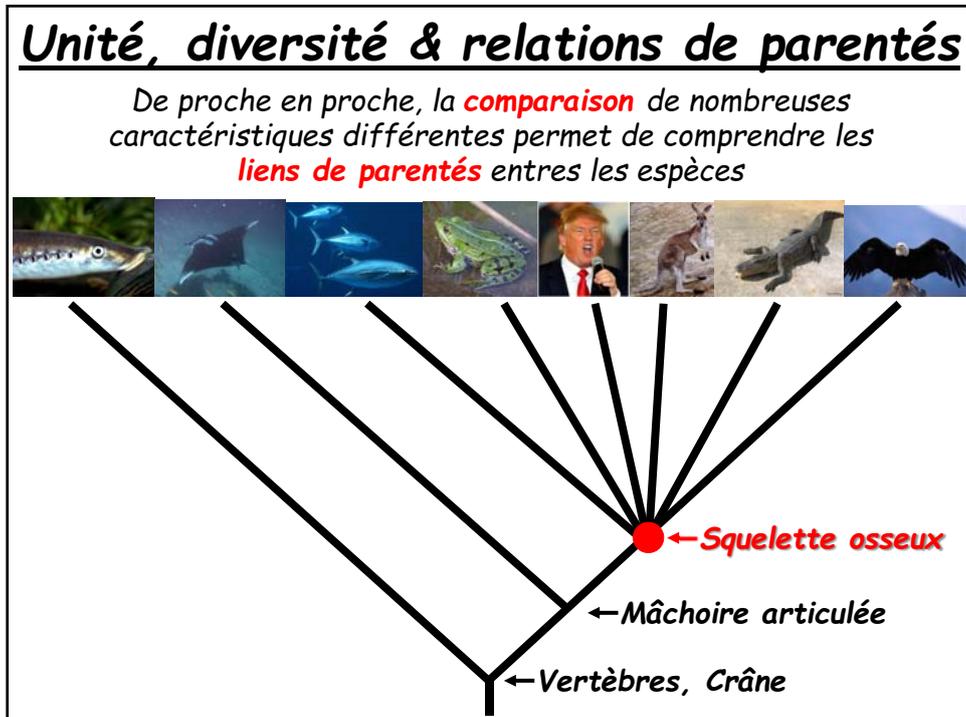
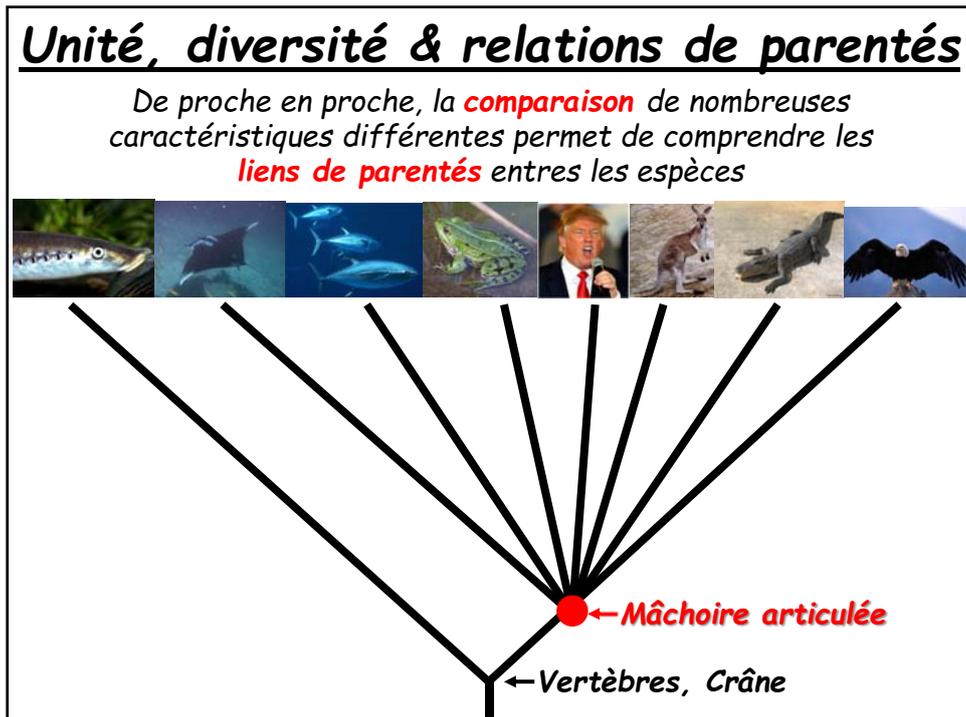
De proche en proche, la **comparaison** de nombreuses caractéristiques différentes permet de comprendre les **liens de parentés** entre les espèces

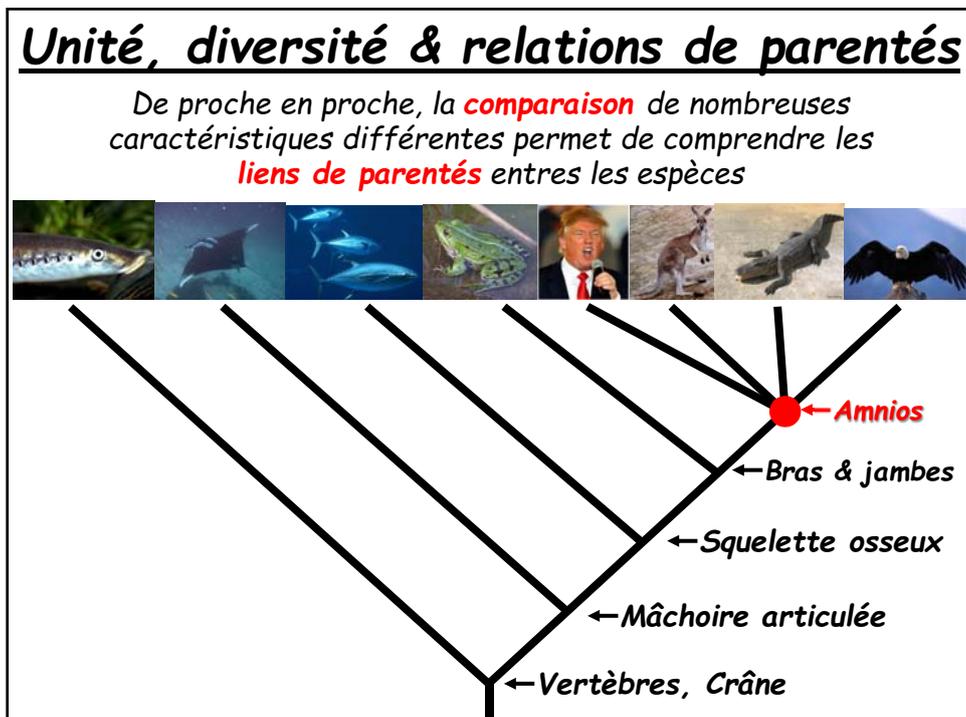
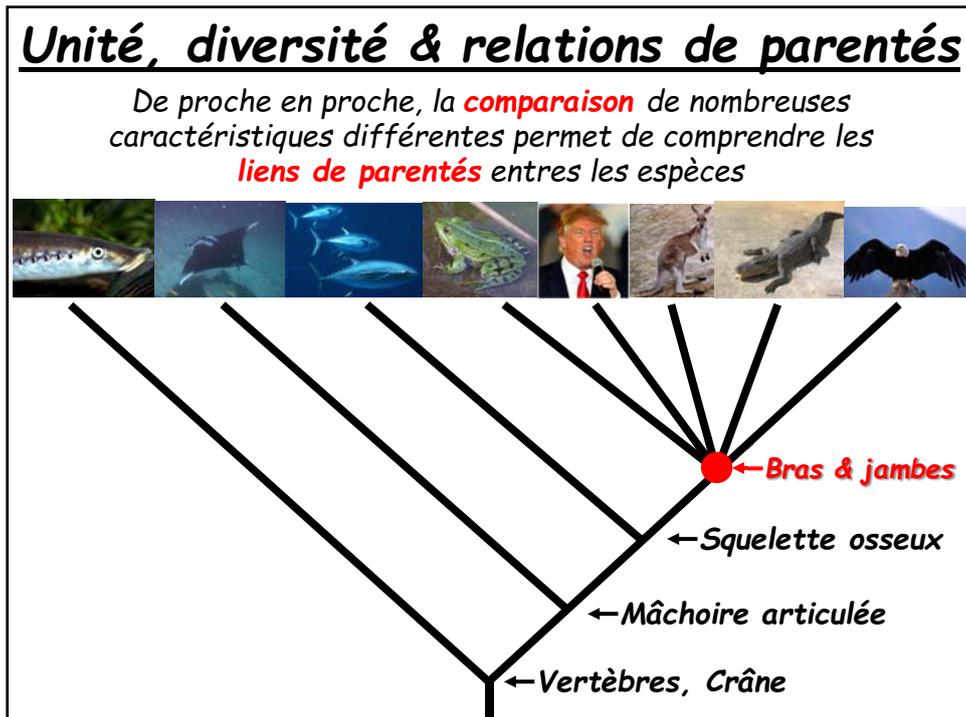


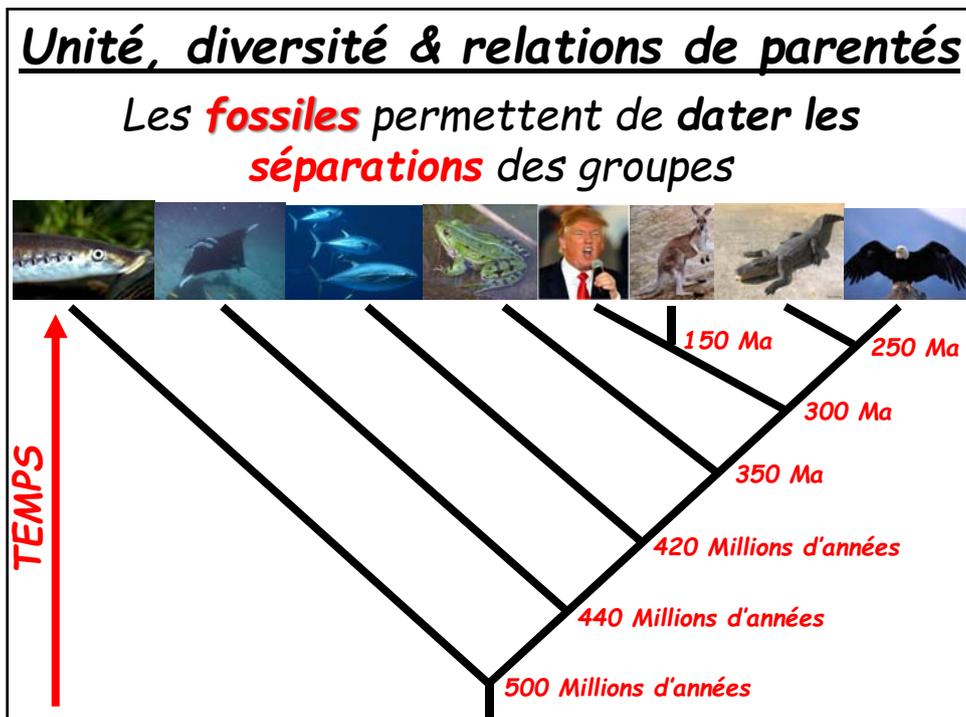
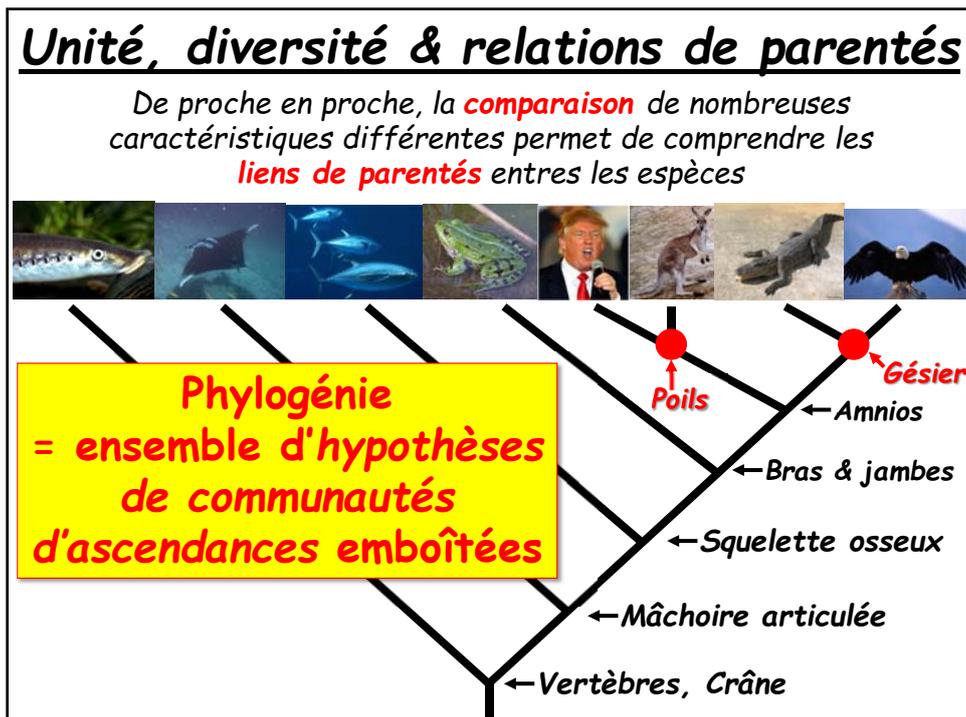
## Unité, diversité & relations de parentés

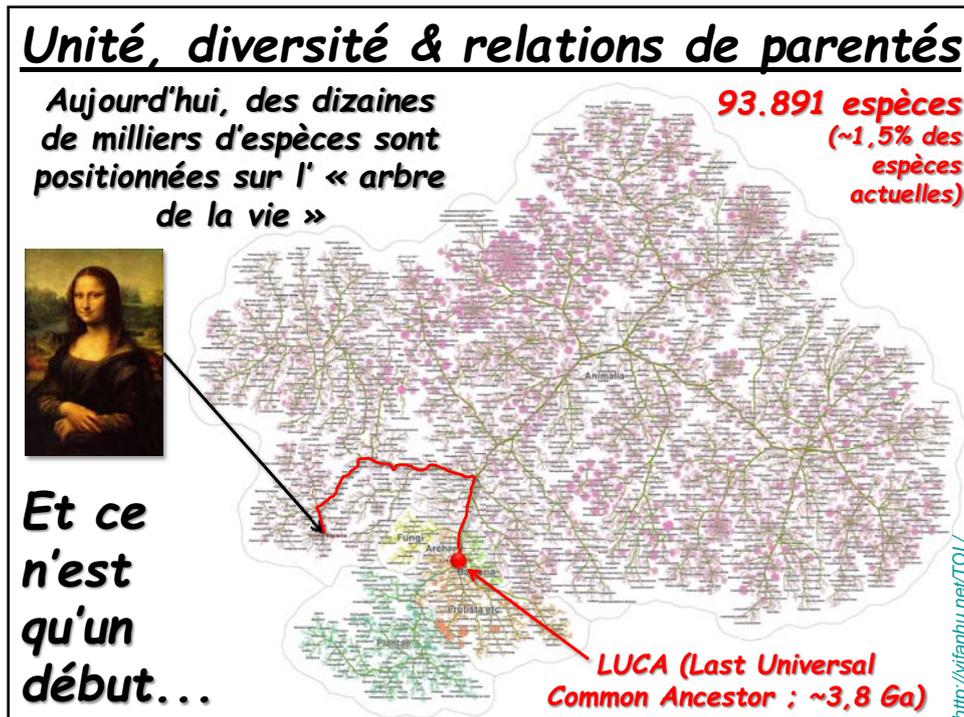
De proche en proche, la **comparaison** de nombreuses caractéristiques différentes permet de comprendre les **liens de parentés** entre les espèces











## Unité & diversité du monde vivant

### Caractéristiques communes héritées

→ Liens de parentés entre les espèces

**D'où viennent les différences qui nous distinguent ?!**

# Les mutations

### CONSTAT :

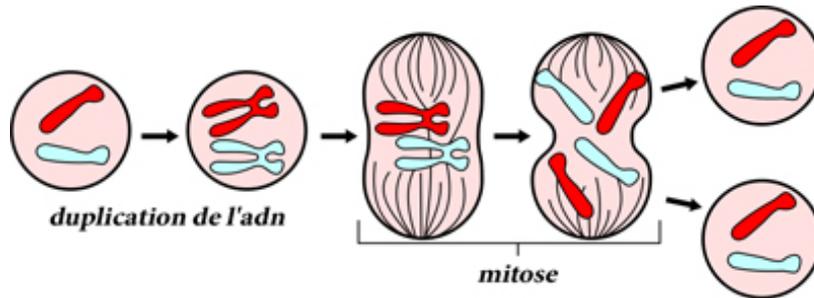
Partout et tout le temps, des individus qui présentent des **caractéristiques nouvelles** (= qui n'existaient pas chez leurs parents) naissent.

Ces caractéristiques nouvelles résultent de **modification(s) de l'ADN**

Aux sources de l'évolution : les mutations

Les mutations

Lorsqu'une cellule se reproduit (1 → 2), l'ensemble de sa molécule d'ADN est recopiée (= duplication)

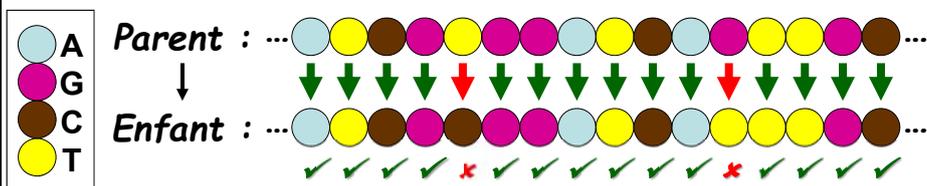


Durant la duplication, des **erreurs de copie** ont lieu :  
**la copie de l'ADN n'est pas parfaite**

Aux sources de l'évolution : les mutations

Les mutations

Lorsqu'une cellule se reproduit (1 → 2), l'ensemble de sa molécule d'ADN est recopiée (= duplication)



Le plus souvent, une mutation est une erreur ponctuelle de copie (= **substitution**) de l'ADN durant la duplication

**Mutations → différentes versions d'un même gène (= allèles) → différentes versions d'une même protéine**

## Aux sources de l'évolution : les mutations

### Les mutations

Lorsqu'une cellule se reproduit (1 → 2), l'ensemble de sa molécule d'ADN est recopiée (= duplication)

→ **Evolution = reproduction PRESQUE à l'identique**

Chez l'Homme (3,1 Milliards de nucléotides à copier) :

1 erreur (mutation) pour ~4.000 nucléotides copiés

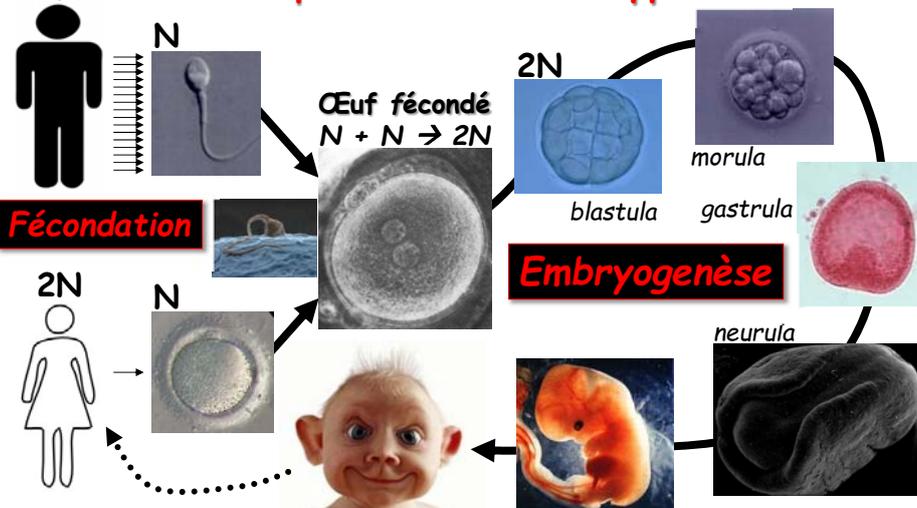
Mais : ~99,9% d'entre elles sont immédiatement corrigées

→ Chaque ovule contient ~20 mutations et chaque spermatozoïde contient ~130 mutations

→ Chaque **individu** possède **~150 mutations** (qui n'existaient pas chez ses parents)

## Aux sources de l'évolution : les mutations

Des mutations aux variations morphologiques :  
**Reproduction & Développement**

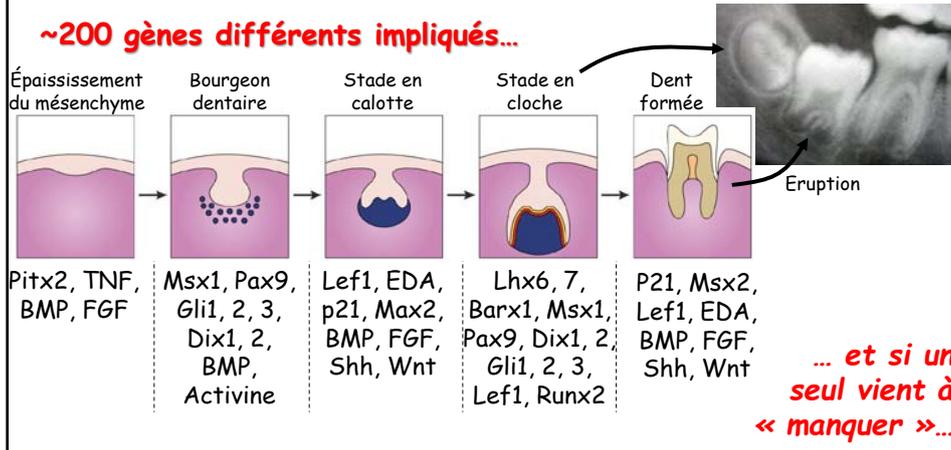


## Aux sources de l'évolution : les mutations

L'embryogenèse : résultat de l'activation/désactivation localisée et coordonnée de (plusieurs milliers de) gènes

### L'exemple de la formation des dents chez les mammifères

~200 gènes différents impliqués...

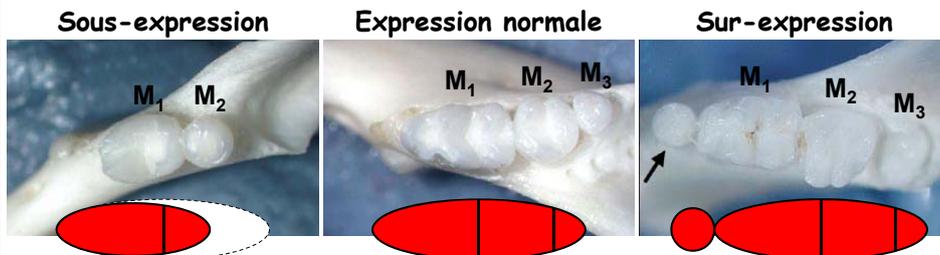


## Aux sources de l'évolution : les mutations

L'embryogenèse : résultat de l'activation/désactivation localisée et coordonnée de (plusieurs milliers de) gènes

### L'exemple de la formation des dents chez les mammifères

Exemple des variations d'expression de l'ectodysplasine A (gènes EDA [chr. X] impliqués dans le développement de phanères ectodermiques - poils, glandes, dents...)



Variations génétiques → variations morphologiques

## Aux sources de l'évolution : les mutations

Pour chaque espèce et à chaque nouvelle génération, des mutations apparaissent par **erreur aléatoire (= par hasard) de copie de l'ADN** au niveau des cellules sexuelles

**Mutations → Diversité génétique**  
**→ diversité morphologique**

**Comment cette diversité conduit-elle à l'évolution des espèces ?**

- La **sélection naturelle** (D & W, 1858)
- La **dérive génétique** (Kimura, 1968)

## La sélection naturelle (Darwin & Wallace, 1858)

**Qu'est-ce que la Sélection naturelle ?**

*Je n'espère pas courir plus vite que **lui** :  
J'espère juste courir plus vite que **toi** !...*

*Pourquoi fuir ? De toutes façons,  
**il** court plus vite que **nous** !*



**Au jeu de la sélection naturelle,  
les gagnants sont ceux qui ne perdent pas...**

### La sélection naturelle (Darwin & Wallace, 1858)

Une mutation est **sélectionnée** lorsque sa présence modifie le **succès reproducteur (fitness)** des individus qui la possèdent :

- **Augmentation** de la fitness  
→ **conservation** de la mutation = **sél. positive**
- **Diminution** de la fitness  
→ **élimination** de la mutation = **sél. négative**

La fitness d'un individu dépend :

- de sa **probabilité de survie**
- de sa capacité à **trouver un partenaire sexuel** et à se reproduire
- de sa capacité à **favoriser le développement** de sa descendance

→ La « **lutte pour la survie** », mais pas seulement...

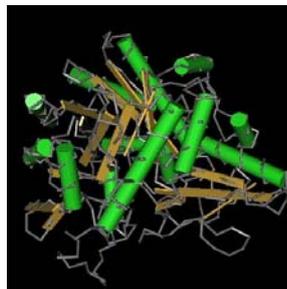
### La sélection naturelle (Darwin & Wallace, 1858)

Qu'est-ce que la « **lutte pour la survie** » ?!...

Digestion du lactose chez l'Homme :

- Chez tous les mammifères, **sevrage** = baisse de la concentration en lactase dans l'intestin  
→ **intolérance au lactose** chez l'adulte
- Dans les **sociétés pastorales traditionnelles**, la plupart des adultes digèrent le lait, ce qui n'est pas *normal*...
- **Deux mutations** au niveau du gène LCT  
→ **la fabrication de lactase se poursuit** chez l'adulte

Lactase



Là où il y a (beaucoup) de lait à consommer, il est **avantageux** (= augmentation de la probabilité de survie) pour un adulte de continuer à produire de la lactase → ces **deux mutations du gène LCT** dans le génome humain sont sous **sélection positive**

## La sélection naturelle (Darwin & Wallace, 1858)

Mais pas seulement la « **lutte pour la survie** »...

➤ **La sélection sexuelle** : Compétition entre individus afin d'être le plus attirant possible pour les membres du sexe opposé (→ ↑ probabilité de reproduction)  
→ favorisation de caractéristiques qui peuvent s'avérer néfastes pour la survie...



➤ **La sélection de parentèle** : la meilleure façon de transmettre ses gènes n'est pas forcément de se reproduire...

→ évolution de l'**altruisme** = comportement favorable à d'autres individus de sa parenté, au détriment de ses propres chances de survie ou de reproduction

**Mais la sélection naturelle n'explique pas tout...**

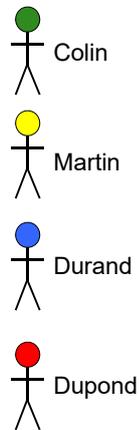
**Même en l'absence totale de sélection, les mutations peuvent être aléatoirement conservées ou éliminées :**  
**la dérive génétique (Kimura, 1968)**

Une comparaison simple : l'évolution des patronymes



### La dérive génétique (Kimura, 1968)

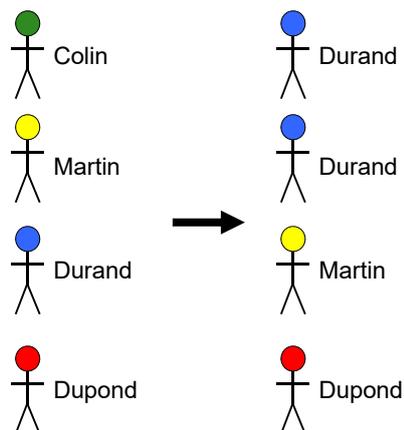
#### Une comparaison simple : l'évolution des patronymes



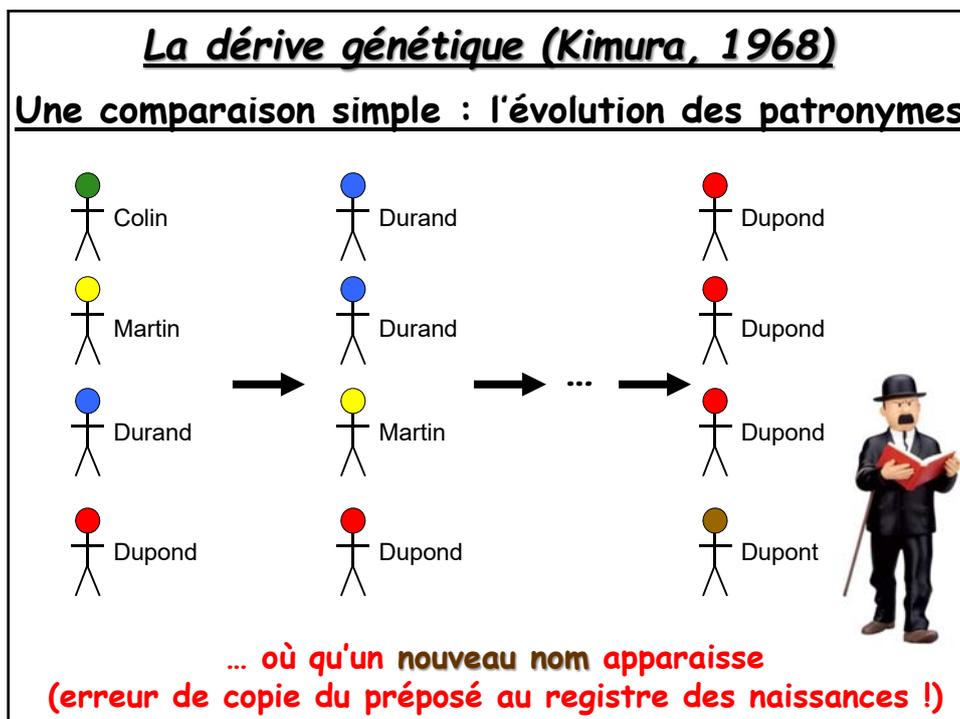
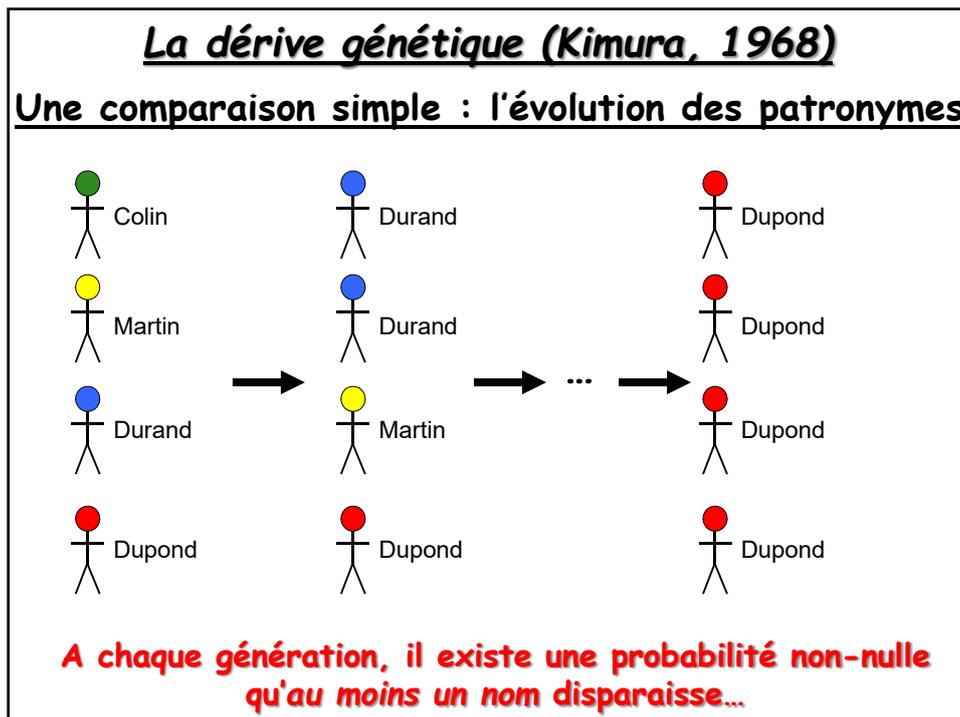
- **Pas de sélection** : tous les individus ont la même fitness  
(**hypothèse de neutralité**)

### La dérive génétique (Kimura, 1968)

#### Une comparaison simple : l'évolution des patronymes



- **Nombre de descendants limité** : à chaque génération, **tirage aléatoire** des noms qui seront présents à la génération suivante



### La dérive génétique (Kimura, 1968)

#### Il en est exactement de même avec différentes mutations d'un même gène

- L'impact de la dérive génétique dépend du nombre d'individus qui se reproduisent (N) : **plus N est petit, plus les fluctuations aléatoires (dérive) sont rapides et amples par rapport à la sélection naturelle**
- Importance des **goulots d'étranglements démographiques**, p. ex. au moment d'une colonisation (*effet fondateur*) - cas de la dérive patronymique au Québec → Tremblay, Gagnon, Roy, Côté, Bouchard, Gauthier...
- Du fait de la dérive génétique, les **mutations avantageuses** (→ sélection positive) ont une **probabilité non-nulle de disparaître**, et celles (**faiblement**) **désavantageuses** (→ sélection négative) ont une **probabilité non-nulle d'être conservées**

**Un formalisme entièrement probabilisé permettant de nombreuses prédictions testables**

### Sélection naturelle vs. Dérive génétique : qui gagne ?...

#### Comparaison Homme / Chimpanzé :

1,2% de différence génétique ≈ 34.000.000 de mutations  
→ ~0% des mutations fixées par sélection naturelle  
(très très faible par rapport aux mutations fixées par dérive)

#### Comparaison entre espèces de drosophiles (mouches) :

~50% des mutations fixées par sélection naturelle

Plus la taille des populations (N) est grande, plus l'effet de la **sélection** est fort par rapport à la **dérive** (et vice versa...) :



A chaque nouvelle génération, des **mutations** apparaissent par **erreur aléatoire de copie de l'ADN** au sein des cellules germinales

+

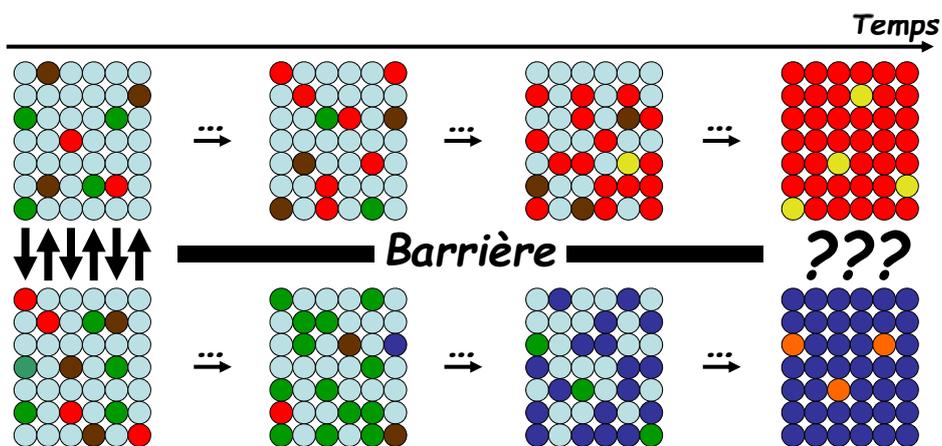
La **sélection naturelle** et la **dérive génétique** trient (conservent ou éliminent) ces mutations dans un **contexte environnemental et démographique (N) donné**



Comment l'**accumulation** et la **disparition de mutations** au sein d'une espèce peuvent-elles aboutir à la **formation de nouvelles espèces ?**

Des mutations à la spéciation : l'empreinte du temps

Accumulation et disparition de mutations  
→ **isolement génétique** → spéciation



La barrière peut être géographique (montagne, fleuve, mer...), climatique, écologique, comportementale...

### Des mutations à la spéciation : l'empreinte du temps

Le lézard des ruines (*Podarcis sicula*) (Herrel et coll., 2008)

Aire de distribution initiale : Europe occidentale

En 1971, introduction expérimentale de 5 couples adultes sur une île de la mer adriatique

**36 ans plus tard, soit ~30 générations...**

- L'espèce introduite a **grandi** (+10%)
- La forme de sa **tête** a changé, avec des **mâchoires** plus robustes et puissantes
- Le **régime alimentaire** a changé (insectivore → herbivore)
- Des **valves caecales** sont apparues dans l'intestin (permet de digérer l'herbe)
- **Les insulaires ne reconnaissent plus les continentaux** → pas de croisement...



### En résumé...

➤ La **mutation** est un processus entièrement **aléatoire** ; seules les mutations localisées dans les cellules sexuelles sont transmises à la génération suivante : les caractéristiques acquises durant la vie de l'individu **NE SONT PAS** transmises à sa descendance



➤ La **sélection naturelle** et la **dérive génétique** trient, générations après générations, les mutations dans un contexte environnemental et démographique donné

➤ En quelques dizaines à milliers de générations d'isolement, les mutations accumulées rendent les populations tellement différentes les unes des autres qu'elles ne peuvent plus se reproduire entre elles : c'est la **spéciation**



## *Petite bibliographie*

- Cobut G.**, 2009. *Comprendre l'évolution : 150 ans après Darwin*. De Boeck Education.  
**Darwin C.**, 1859. *L'origine des espèces* (Nombreuses éditions récentes, p.ex., GF Flammarion, 2008).  
**David P., Samadi S.**, 2000. *La théorie de l'évolution : une logique pour la biologie*. Flammarion.  
**Giraud M.**, 2009. *Darwin, c'est tout bête !* Robert Laffont.  
**Gould S.J.**, 1997 (réédition). *La mal-mesure de l'homme*. Odile Jacob.  
**Gould S.J.**, 2006. *La structure de la Théorie de l'évolution*. Gallimard.  
**Gould S.J.**, 2013 (réédition). *Et Dieu dit : « Que Darwin soit ! »*. Pts Sciences, Points.  
**Lecointre G.** (sous la dir.), 2009. *Guide critique de l'évolution*. Belin.  
**Leguyader H. & Lecointre G.**, 2016. *La classification phylogénétique du vivant, Tome 1* (4<sup>ème</sup> édit.).  
**Leguyader H. & Lecointre G.**, 2017. *La classification phylogénétique du vivant, Tome 2* (4<sup>ème</sup> édit.).  
**Pick P.**, 2009. *Darwin et l'évolution expliqué à nos petits-enfants*. Seuil.  
**Raymond M.**, 2008. *Cro Magnon toi-même !* Seuil.  
**Shubin N.**, 2009. *Au commencement était le poisson*. Robert Laffont.  
**Thomas F., Lefèvre T., Raymond M.** (sous la dir.), 2016. *Biologie évolutive* (2<sup>nde</sup> édit.). De Boeck.  
**Van Waerebehe D.** (Réal.), 2009. *Espèces d'Espèces*. DVD.

**Débutant**  
**Amateur**  
**Confirmé**

