



La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

# La Théorie de l'évolution

<http://aaa.guillaumeponce.org/>

Réunion de réflexions cosmologiques de l'AAA du  
01/06/2018



La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

# Introduction et historique



# Définition de la vie

La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

Larousse :

*Caractère propre aux êtres possédant des structures complexes (macromolécules, cellules, organes, tissus), capables de résister aux diverses causes de changement, aptes à renouveler, par assimilation, leurs éléments constitutifs (atomes, petites molécules), à croître et à se **reproduire**.*

Pour rappel, d'après cette définition, le vivant commence avec les bactéries et ne comprend pas les virus. Tous les êtres vivants connus sont composés d'une ou plusieurs **cellules** (e.g. les bactéries sont des unicellulaires procaryotes, nous sommes des multicellulaires eucaryotes).



# Définition de l'évolution

La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

Larousse :

*Ensemble des changements subis au cours des temps géologiques par les lignées animales et végétales, ayant eu pour résultat l'apparition de formes nouvelles.*

Pas terrible comme définition, la vie ne se limitant pas aux animaux et aux végétaux. Ils sont même largement minoritaires, face aux bactéries.

Wikipédia :

*En biologie, l'évolution désigne la transformation du monde vivant au cours du temps, qui se manifeste par des changements phénotypiques des organismes à travers les générations.*



# Historique des théories

La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

**Antiquité** Des philosophes comme Empédocle ou Lucrèce approchent le concept d'évolution. Comme pour les premiers atomistes dans un autre domaine, il s'agit d'intuitions éclairées, mais invérifiables par les moyens scientifiques de l'époque.

**Jean-Baptiste de Lamarck (1744 - 1829) Théorie du transformisme** par « l'inventeur » de la biologie, dans le but d'expliquer les êtres vivants en tant que phénomènes physiques (il parle de capacité de la matière à s'auto-organiser). Il met notamment en avant l'hérédité de caractères acquis au cours du temps, sans toutefois expliquer précisément les mécanismes de cette acquisition. Il retient en particulier deux phénomènes : la *complexification* et la *diversification* des espèces.



## Charles Darwin (1809 - 1882) **Théorie de la sélection naturelle.**

Dans une démarche visant avant tout à réfuter les « créations spéciales » théorisées par le pasteur William Paley dans sa *Théologie naturelle* de 1803, il ajoute aux théories formulées par Lamarck la notion de sélection naturelle.

Il appuie notamment ses théories sur les observations qu'il a menées lors de l'expédition du Beagle à travers le monde, de 1831 à 1836.

En contraste de Lamarck, Darwin ne se prononce pas sur l'hérédité de caractères acquis.



## Théorie synthétique de l'évolution (ou néodarwinisme)

Issue d'un travail collégial, mené au cours des décennies 1930 et 1940, de synthèse de diverses théories biologiques du XIXe siècle et du début du XXe siècle, dont les lois de Mendel, la génétique des populations et la sélection naturelle.

Ne retient que les mutations du patrimoine génétique et la sélection naturelle comme mécanismes de l'évolution, et rejette la possibilité d'une transmission des caractères acquis (postulée par Lamarck et sur laquelle Darwin ne se prononçait pas).

Modèle actuellement dominant de l'évolution. Il y a cependant encore trop de champs d'étude ouverts et trop d'incertitudes pour que l'on puisse parler d'un « modèle standard ».



# Pression sélective (concept philosophique)

La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

Une notion qui va revenir de façon récurrente dans cet exposé est celle de **pression sélective**.

Il s'agit d'un phénomène qui, parmi les différentes possibilités pouvant survenir dans un ensemble, va faire que certaines de ces possibilités vont perdurer, voire se multiplier, alors que d'autres vont être éliminées. Ce phénomène s'inscrit généralement dans le temps. Il s'agit donc d'un phénomène qui va modifier au cours du temps les probabilités d'occurrence des différentes possibilités définies dans un ensemble, rendant ce dernier dynamique.

On peut le voir comme une composante du phénomène d'**émergence**. Une pression sélective peut avoir un effet déterminant sur les phénomènes qui émergent et ceux qui ne le font pas.





La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

**Bases  
biochimiques**

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

# Bases biochimiques



La vie nécessite la présence de **macromolécules**. Leur formation nécessite deux conditions :

- La présence d'**éléments lourds** capables de former de telles molécules (éléments d'un poids atomique supérieur à celui du lithium, tels que le carbone, le silicium, l'azote et le phosphore ...).
- La présence d'un **solvant liquide** (tel que l'eau, l'ammoniac ou encore le fluorure d'hydrogène).

Sur Terre, c'est le carbone qui joue (principalement) le rôle de l'élément lourd et l'eau qui joue celui du solvant.

Parmi les molécules que la chimie est capable de former dans l'eau, certaines sont stables, d'autres non. On peut voir là un premier niveau de pression sélective.



On appelle biopolymères les macromolécules (polymères) participant à la formation des êtres vivants. Concernant les formes de vie observées sur Terre, il s'agit principalement des suivants :

---

Biomonomères	Biopolymères
Acides aminés	Polypeptides (10 à 100), protéines (101+)
Monosaccharides	Polysaccharides = glucides
Nucléotides	Polynucléotides = acides nucléiques (ADN, ARN)

---



# Bases azotées

La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

Parmi les molécules stables formées dans l'eau par la chimie du carbone se trouve la famille des **bases azotées**.

- **Adénine**
- **Guanine**
- **Cytosine**
- **Thymine**
- **Uracile**

Thymine et Uracile sont très semblables, à un groupe méthyle près.



# ADN et ARN

La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

Les bases azotées peuvent s'associer à des oses (monosaccharides, ribose dans le cas de l'ARN et désoxyribose dans le cas de l'ADN) pour former des **nucléosides**. Enfin, ces nucléosides peuvent s'associer avec de 1 à 3 phosphates pour former des **nucléotides**.

Il s'agit de molécules dotées de propriétés particulièrement intéressantes :

- Elles sont d'une part capables de former des macromolécules (polymères), par liaisons covalentes, prenant la forme de brins.
- Elles sont d'autre part capables de s'apparier au moyen de liaisons hydrogène.



# Appariements

La Théorie de l'évolution

Introduction et historique

Bases biochimiques

Evolution biologique : les mécanismes « normaux »

Evolution génétique : les mécanismes « bizarres »

Base	Comp. ADN	Comp. ARN
<b>A</b> dénine	<b>T</b> hymine	<b>U</b> racile
<b>C</b> ytosine	<b>G</b> uanine	<b>G</b> uanine
<b>G</b> uanine	<b>C</b> ytosine	<b>C</b> ytosine
<b>T</b> hymine	<b>A</b> dénine	-
<b>U</b> racile	-	<b>A</b> dénine



Un brin formé par des liaisons covalentes peut donc se coupler à un autre brin si les nucléotides qui composent les deux brins sont capables de s'apparier deux à deux par liaisons hydrogène. On obtient alors la célèbre forme du double brin hélicoïdal caractéristique de l'ADN.

La faiblesse relative des liaisons hydrogène par rapport aux liaisons covalentes fera également qu'il sera possible de séparer les deux brins sans rompre aucun des deux.



# Réplication de l'ADN

La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

Cette capacité à s'assembler sur deux axes (avec des forces de liaison différentes) dote ces molécules d'une capacité de réplication en présence de complexes de protéines appelés **réplisomes**, contenant notamment l'enzyme ADN polymérase.

- Soit un double brin d'ADN de séquences complémentaires de nucléotides A et B. Les deux brins se séparent sous l'effet du réplisome.
- Le nucléotides du brin de séquence A attireront les nucléotides libres qui leurs sont complémentaires. Ces nucléotides complémentaires formeront un nouveau brin de séquence B.
- Le nucléotides du brin de séquence B attireront les nucléotides libres qui leurs sont complémentaires. Ces nucléotides complémentaires formeront un nouveau brin de séquence A.



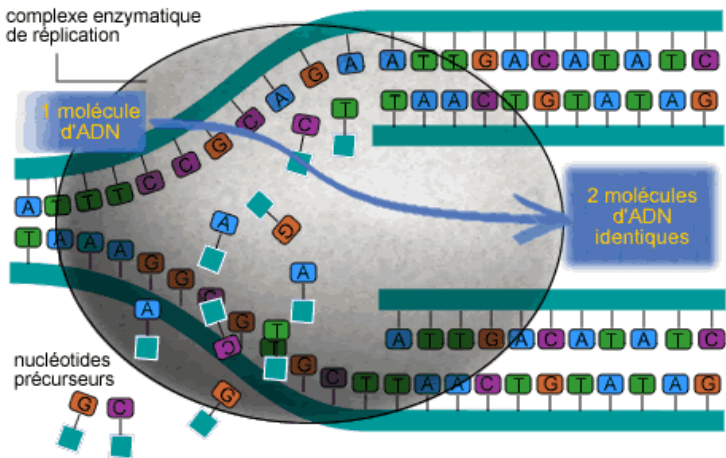


Figure 1: Source : Wikipédia (Guillaume Bokiau)



# L'ADN en tant que support d'information

La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

Toutes ces propriétés dont l'ADN se trouve doté en font un support idéal pour l'information :

- Les quatre bases azotées qu'il peut contenir peuvent jouer le rôle de symboles constituant un alphabet. Or, on peut coder toute information dès lors que l'on a au moins deux symboles (comme le 0 et le 1 du langage binaire des ordinateurs).
- Il existe un mécanisme de réplication de l'ADN, donc de copie de l'information dont il est le support.
- Son échelle moléculaire en fait un support compact. Ainsi de multiples copies peuvent être stockées dans une place minime, ce qui rend possible la présence de l'intégralité du code génétique d'un individu multicellulaire dans chacune de ses cellules.



# Rôle transcripteur de l'ARN

La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

Un partir d'un brin d'ADN, on peut également former un brin d'ARN avec des bases complémentaires (avec substitution de la thymine par l'uracile).

Cet ARN est ensuite utilisé par les **ribosomes** des cellules comme modèle pour la synthèse de protéines. A chaque triplet de nucléotides (**codons**) correspondra un acide aminé de la protéine synthétisée. ( $4^3 = 64$  codons possibles pour 22 acides aminés protéinogènes).

C'est la « table de traduction » entre ces codons et les acides aminés que l'on dénomme **code génétique**.

C'est ainsi que l'on passe du **génotype** au **phénotype** (découlant, de façon complexe, des propriétés des protéines synthétisées).



La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

# Evolution biologique : les mécanismes « normaux »



# Principes de l'évolution génétique

La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

A un niveau plus abstrait, l'ADN constitue donc une information génétique (génotype) décrivant le « manuel de fabrication » d'un être vivant (phénotype).

- Il est transmis d'une génération à la suivante. Cette transmission est donc complètement dépendante de la capacité des êtres vivants à se **reproduire**.
- Il peut être sujet à des **mutations** qui feront que l'information transmise à la génération suivante pourra connaître des variations.
- Certaines mutations entraîneront des phénotypes aberrants, d'autres des phénotypes viables, voire même intéressants (on parlera alors d'**innovations**). La **pression sélective** du milieu se charge de faire le tri entre les caractères qui facilitent la reproduction de l'individu et ceux qui la contrarient. C'est la **sélection naturelle**.



# Origines des mutations

La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

L'ADN peut être endommagé par un grand nombre de mutagènes qui modifient sa séquence :

- Oxydants
- Alkylants
- Rayonnements électromagnétique (ultraviolets, rayons X, rayons gamma).
- Particules subatomiques issues des rayonnements ionisants (radioactivité, rayons cosmiques).



# Exemple d'innovation : l'œil

La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

## Diffusion d'un extrait vidéo.

- Série documentaire *Cosmos, une odysée à travers l'Univers* (présentée par l'astrophysicien Neil deGrass Tyson).
- Episode 2, *Les molécules en action*.



Une **espèce** est un groupe dont les membres :

- Peuvent se reproduire entre eux.
- Produisent une descendance fertile.

La spéciation est un phénomène qui découle de la sélection naturelle. A des milieux différents correspondent des pressions sélectives différentes qui vont faire diverger le matériel génétique sélectionné d'une même espèce de départ jusqu'à, éventuellement, devenir incompatible (du point de vue de la reproduction) avec son point de départ.





# Classification phylogénétique

La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

De la même façon que les individus descendent les uns des autres, les espèces descendent les unes des autres, les lignées se séparant au gré des innovations génétiques. Cette relation de descendance prend la structure d'un arbre (comme l'arbre généalogique des individus) que l'on nomme **arbre phylogénétique**.

L'organisation exacte de cet arbre phylogénétique en niveaux correspondant aux séparations de ses branches est source de débats et il doit être mis à jour au fur et à mesure de nouvelles découvertes de la paléogénétique.

A la racine de cet arbre se trouve LUCA (Last Universal Common Ancestor).



# Arbre phylogénétique de la vie

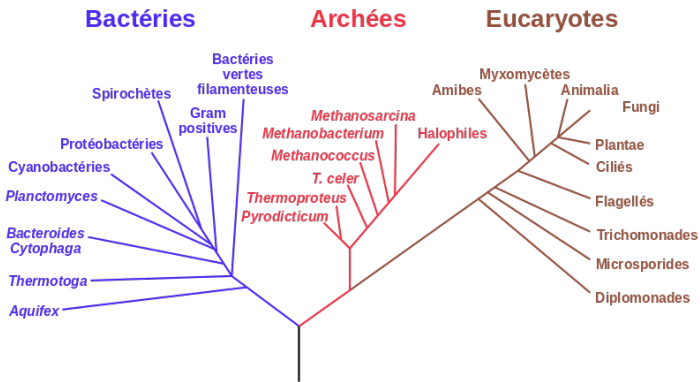


Figure 2: Source : Wikipédia, Eric Gaba



# La place d'Homo Sapiens

La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

Niveau	Valeur
Empire	Eukaryota
(Non-classé)	Unikonta
(Non-classé)	Opisthokonta
Règne	Animalia
Embranchement	Chordata
Sous-embranchement	Vertebrata
Classe	Mammalia
Ordre	Primates
Sous-ordre	Haplorrhini
Infra-ordre	Simiiformes
Super-famille	Hominoidea
Famille	Hominidae
Genre	Homo



La Théorie de  
l'évolution

Introduction  
et historique

Bases  
biochimiques

Evolution  
biologique :  
les  
mécanismes  
« normaux »

Evolution  
génétique : les  
mécanismes  
« bizarres »

# Evolution génétique : les mécanismes « bizarres »



# Transmission de caractères acquis ?

La Théorie de l'évolution

Introduction et historique

Bases biochimiques

Evolution biologique : les mécanismes « normaux »

Evolution génétique : les mécanismes « bizarres »

L'actuelle théorie synthétique de l'évolution se fonde sur un déterminisme génétique intégral qui rejette toute possibilité de transmission de caractères acquis par un individu à sa descendance (envisagée par Lamarck). Mais des travaux scientifiques récents tendent à remettre ce modèle en cause :

- Il existe des caractères **épigénétiques** transmis par les parents en même temps que les molécules d'ADN elles-mêmes. Par exemple, l'expression d'un gène peut être inhibée par méthylation acquise. La transmission de cette méthylation pourrait revenir à une transmission de la capacité du gène à s'exprimer ou non.
- Chez les espèces à reproduction sexuée, la mère fournit l'environnement cytoplasmique de la cellule œuf du descendant, d'où découlent un certain nombre de ses caractéristiques cellulaires.



# Endosymbiose

La Théorie de l'évolution

Introduction et historique

Bases biochimiques

Evolution biologique : les mécanismes « normaux »

Evolution génétique : les mécanismes « bizarres »

L'**endosymbiose** est la coopération mutuellement bénéfique entre deux organismes vivants, donc une forme de symbiose, où l'un est contenu par l'autre. L'organisme interne est appelé un **endosymbionte**.

Elle semble avoir joué un rôle déterminant aux débuts de l'arbre phylogénétique.

- Les mitochondries, endosymbiontes caractéristiques des eucaryotes et permettant la respiration, métabolisme produisant 18 fois plus d'énergie par molécule de glucose que la fermentation, a joué un rôle déterminant dans l'apparition des organismes multicellulaires et a donc largement orienté l'évolution des espèces.
- Les chloroplastes qui permettent la photosynthèse chez les plantes sont également de endosymbiontes.



# Hybridation

La Théorie de l'évolution

Introduction et historique

Bases biochimiques

Evolution biologique : les mécanismes « normaux »

Evolution génétique : les mécanismes « bizarres »

Un **hybride** est un organisme issu du croisement de deux individus de deux variétés, sous-espèces (croisement intraspécifique), espèces (croisement interspécifique) ou genres (croisement intergénérique) différents.

Les hybrides peuvent être fertiles ou stériles suivant la différence, surtout structurelle, entre les génomes des deux parents. Les hybrides intraspécifiques seront généralement tout à fait fertiles, tandis que les hybrides interspécifiques ou intergénériques seront généralement peu fertiles voire stériles (ils ne sont fertiles que si leurs parents ont le même type et le même nombre de chromosomes, ce qui est le cas de la chienne et du loup, qui donnent la crocotte, mais pas de la jument et de l'âne, qui donnent la mule ou le mulet).

Les hybridations font de l'arbre phylogénétique un graphe.



# Exemple avec les félins

La Théorie de l'évolution

Introduction et historique

Bases biochimiques

Evolution biologique : les mécanismes « normaux »

Evolution génétique : les mécanismes « bizarres »

Mâle	Lionne	Tigresse	Jaguar	Léopard
Lion	-	Ligre	Liguar	Liard
Tigre	Tigron	-	Tiguar	Tigard
Jaguar	Jaglion	Jaguatigre	-	Jagulep
Léopard	Léopon	Léopigre	Léoguar	-





# Gros chat

La Théorie de l'évolution

Introduction et historique

Bases biochimiques

Evolution biologique : les mécanismes « normaux »

Evolution génétique : les mécanismes « bizarres »



Figure 3: Ligre mâle adulte



# Très gros chat

La Théorie de l'évolution

Introduction et historique

Bases biochimiques

Evolution biologique : les mécanismes « normaux »

Evolution génétique : les mécanismes « bizarres »

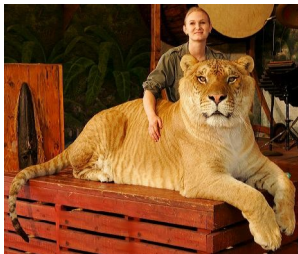


Figure 4: Hercule, ligre de 3m60 et 410 kg

Entré comme le plus gros félin du monde dans le livre Guinness des records en 2006.