

## Homologies

Marc Girondot

1

## Génotype et Phénotype

- Au début du XXe siècle, William Bateson invente les termes **Génotype** et **Phénotype**.
  - Il proposera le terme « génétique » en 1905 pour désigner la science de l'hérédité et de la variation.



William Bateson  
(8 août 1861 – 8 février 1926)

2

## Génotype et Phénotype

- Le **Génotype** correspond à l'information contenue dans le génome d'un individu.
  - Le génotype d'un individu est donc la composition allélique de tous les gènes de ce dernier.
- Le **Phénotype** correspond à l'ensemble des caractères de l'individu.
  - Les caractères d'un individu ont à la fois une base génétique et une base environnementale.
  - A noter que, par extension, une séquence d'ADN contenue dans un noyau est un phénotype quand elle est interprétée en tant qu'une suite de nucléotides.

3

## Sélection

- Mécanisme par lequel certains génotypes seront plus transmis à la génération suivante.
- Pour qu'une sélection s'opère, il est nécessaire d'avoir des valeurs sélectives différentes (ou *fitness*) selon les individus.
- La valeur sélective inclut à la fois une composante de survie et une composante de reproduction.

4

## Les variants génotypiques

- L'apparition de variants génotypiques fait appel aux mutations, changement dans l'ADN au niveau d'une cellule germinale.
- Notez que chez les animaux, la sélection s'effectue majoritairement sur le produit du zygote (diploïde) alors que chez les végétaux elle peut se produire dès le gamétophyte (haploïde).

5

## Adaptation et sélection

- La **sélection naturelle** est l'un des mécanismes moteurs de l'évolution des espèces.
  - C'est l'avantage reproductif procuré par les conditions de l'environnement aux individus ayant un caractère avantageux vis-à-vis de cet environnement. On peut aussi la définir comme un tri qui s'opère au sein d'une espèce. Elle se traduit par la reproduction des organismes qui ont les caractéristiques leur permettant de mieux survivre dans leur milieu.
- Il en résulte qu'au fil des générations, ce mécanisme explique **l'adaptation** des espèces à leur environnement.

6

## Plasticité phénotypique

- La plasticité phénotypique se définit comme la capacité pour une cellule ou un individu, à partir d'une séquence génétique unique (appelé un génotype) présente dans son génome, d'exprimer une à plusieurs caractéristiques (appelées des phénotypes) selon différents contextes.

7

## La plasticité phénotypique

- Exemple des bonsaïs naturels



Au début du XXe siècle, les pins blancs pouvaient faire 90 m de hauteur.

**Eastern White Pine** (*Pinus strobus* L.)



8

## La plasticité phénotypique

- La plasticité phénotypique peut fournir un phénotype avantageux mais celui-ci n'étant pas déterminé sur une base de variant génotypique, il ne pourra pas être soumis à la sélection naturelle.
- En revanche, la capacité d'un individu à développer ou non une plasticité phénotypique peut être soumise à sélection.

9

## Evolution

- Changement au cours du temps
  - Ce n'est pas un progrès, pas une amélioration, etc...
- On distingue parfois la micro-évolution
  - Changement affectant une espèce avec une échelle de temps restreinte - Génétique des populations
  - C'est à ce niveau que la mutation et la sélection doivent être analysées
- ... et la macro-évolution, qui va affecter les espèces sur une échelle de temps beaucoup plus importante.
  - C'est à ce niveau que l'adaptation est généralement analysée

10

## Le gradualisme

- Au 20e siècle, les voix les plus fortes étaient celles des gradualistes - la plus éminente et la plus influente étant celle d'Ernst Mayr - qui niaient la possibilité de sauts morphologiques spectaculaires dans l'origine des plans corporels.
- Le poids d'Ernst Mayr a même fait que le gradualisme a été intégré comme postulat du néo-darwinisme.

Naissance 5 juillet 1904 Kempten, Allemagne  
 Décès 3 février 2005 (à 100 ans) Bedford, États-Unis



11

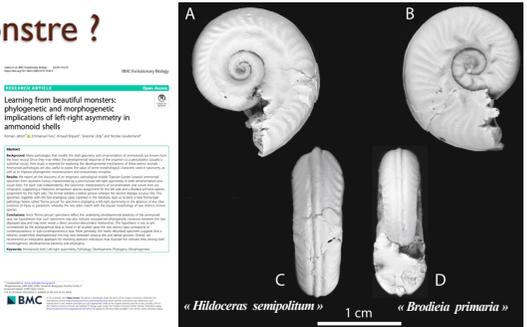
## Les monstres prometteurs

- Richard Benedict Goldschmidt (1878-1958) défend un modèle saltatoire de l'évolution : selon lui, des mutations affectant des gènes intervenant dans le développement pourraient produire, en une seule étape, des individus très différents de la norme de l'espèce, éventuellement mieux adaptés à certaines conditions.
- Il appelle ces individus des « monstres prometteurs » (hopefully monster).
- À cet égard, l'étude des mutants homéotiques occupe une position clé dans sa pensée.



12

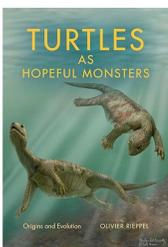
## Monstre ?



« Nous rapportons la découverte d'un énigmatique spécimen pathologique d'ammonoïde du Toarcien moyen (Jurassique inférieur) du sud de la France, caractérisé par une asymétrie gauche-droite prononcée à la fois dans l'ornementation et dans les lignes de suture. Pour chaque côté indépendamment, les interprétations taxonomiques de l'ornementation et des lignes de suture sont congruentes, suggérant une assignation d'espèce *Hildoceras semipolittum* pour le côté gauche et une assignation d'espèce *Brodieia primaria* pour le côté droit. »

13

## Les tortues à l'honneur !

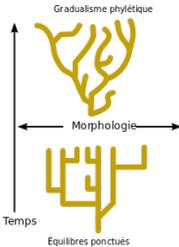


- Rieppel affirme que la migration évolutive de l'omoplate à l'intérieur de la cage thoracique n'a pu avoir lieu qu'à un stade précoce du développement et qu'il n'existerait pas d'état adulte intermédiaire concevable entre l'état plésiomorphe et le plan corporel de la tortue.
- Cette soit-disante « impossibilité » d'état intermédiaire fait la joie des créationnistes : « Les tortues sont la preuve que dieu existe » !
- Des études récentes ont montré que l'histoire est plus compliquée, mais en même temps moins problématique à expliquer pour le point de vue gradualiste, loin de nécessiter une saltation.

14

## La théorie des équilibres ponctués

- La théorie des équilibres ponctués est un développement de la théorie de l'évolution proposée par deux paléontologues américains, Stephen Jay Gould et Niles Eldredge.
- Elle postule que l'évolution comprend de longues périodes d'équilibre, ou quasi-équilibre, ponctuées de brèves périodes de changements importants comme la spéciation ou les extinctions
- Elle décrit l'évolution de la vie sur Terre sur un modèle accordant le darwinisme avec les hiatus fossilifères et avec les traces de grands bouleversements environnementaux passés.



The diagram shows two evolutionary models. The top model, 'Gradualisme phylétique', shows a tree with many small, frequent branching events. The bottom model, 'Equilibres ponctués', shows a tree with long periods of stability (horizontal lines) and short periods of rapid change (vertical lines). A vertical axis labeled 'Temps' (Time) and a horizontal axis labeled 'Morphologie' (Morphology) are shown.

15

## Macro-évolution vs. micro-évolution

- Sauf cas exceptionnels, souvent pas clairement caractérisés, la différence n'est que quantitative et que ce sont les mêmes mécanismes qui s'appliquent aux deux phénomènes mais à des échelles de temps différentes.
  - Parmi ces cas « bizarres », on peut citer l'assimilation génétique de Waddington... intéressant mais ne remettant pas en cause la théorie de l'évolution et ses mécanismes.
  - L'assimilation génétique est un processus par lequel un phénotype (état de caractère observable), originellement induit en réponse à des conditions environnementales particulières, devient encodé, après plusieurs générations, dans le génome (le génotype) par sélection.

Waddington, C.H. Canalization of development and the inheritance of acquired characters. *Nature* 1942, 150, 563-565.

16

## L'étude de l'évolution

- Distinction entre « pattern » et « process »
  - L'étude des « pattern » fait appel à l'observation et regroupe l'ensemble des disciplines de l'anatomie comparée
  - L'étude des « process » fait appel à l'expérimentation ou à l'observation avec une forte base théorique.

17

## Mécanismes de l'évolution

- Variation aléatoire qui peut être retenue
  - Par sélection
  - Par neutralité
  - Par dérive

18

## Reconstruire l'évolution

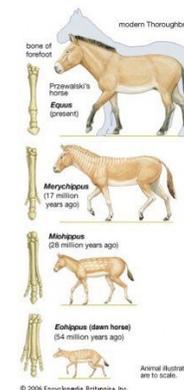
- L'évolution ne doit pas être pensée comme une « échelle des êtres »:  
Poisson → amphibien → reptile → mammifère



19

## Reconstruire l'évolution

- L'évolution ne doit pas être pensée comme une « échelle des êtres »:
  - Exemple montrant l'évolution du cheval selon une vision gradualiste linéaire.



20

## Reconstruire l'évolution

- L'évolution ne doit pas être pensée comme une « échelle des êtres ».

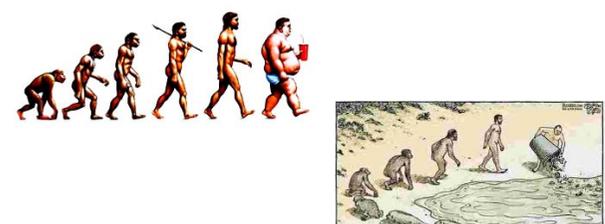


The image shows a phylogenetic tree on the left and a series of illustrations on the right. The tree depicts the evolutionary relationships between various horse species. The illustrations on the right show a progression from Eohippus (dawn horse) 54 million years ago, through Miohippus (28 million years ago) and Merychippus (17 million years ago), to a Przewalski's horse (present) and a modern Thoroughbred. Each stage includes a drawing of the horse and a corresponding illustration of its forelimb bones, showing the transition from a small, multi-toed hoof to a single, large hoof.

21

## Reconstruire l'évolution

- L'évolution ne doit pas être pensée comme une « échelle des êtres »:
  - « L'Homme descend du Singe »

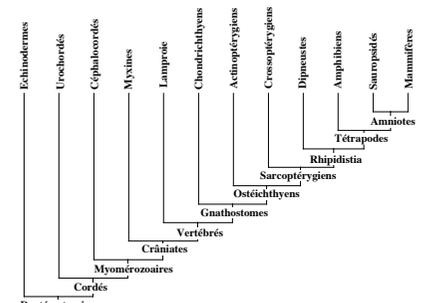


The image features a classic 'march of man' illustration on the left, showing a sequence of figures from an ape-like ancestor to a modern human. On the right, there is a more detailed illustration of a human ancestor sitting by a river, with a modern human standing nearby, suggesting a shared common ancestor rather than a direct linear descent from an ape.

22

## Phylogénie

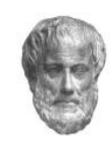
Le cadre de réflexion doit être une phylogénie



The phylogenetic tree shows the following groups from left to right: Echinodermes, Urochordés, Cephalochordés, Myxines, Lampiroie, Chondrichthyens, Actinoptérygiens, Crocodyliens, Dipneustes, Amphibiens, Saurapsidés, Mammifères, Amniotes, Tétrapodes, Rhipidistia, Sarcoptrygiens, Ostéichthyens, Gnathostomes, Vertébrés, Criniates, Myomérozoaires, Coréls, and Deutérostomiens.

23

## Historique de la notion d'homologie



- Aristote (-384 à -322)
  - Premiers essais de comparaisons des animaux
  - A déjà conscience de la notion de caractères semblables par leur fonction et de caractères semblables par leur origine.

24



## Unité de plan d'organisation

- Geoffroy Saint-Hilaire interpréta la cuticule des insectes et la carapace des crustacés comme l'équivalent du squelette interne des Vertébrés, les segments des Arthropodes comme des analogues des os du crâne des Vertébrés, leurs pattes comme équivalents des côtes ; il conçut finalement les Arthropodes comme des Vertébrés « évaginés », les structures internes (le squelette) se retrouvant à l'extérieur, et l'organisation dorso-ventrale inversée (chaîne nerveuse ventrale au lieu de dorsale).

29

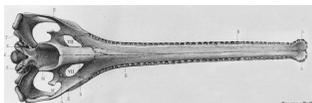
## Unité de plan d'organisation

- Geoffroy Saint Hilaire propose qu'un même plan d'organisation puisse être décrit chez tous les animaux et en particulier il propose que tous les animaux aient la même potentialité de développement mais que certains s'arrêtent plus ou moins tôt.
- L'observation des formes adultes ne permet donc pas de trouver les relations de parenté et en cela il s'oppose violemment à la démarche de Georges Cuvier.

30

## Les crocodiles de Normandie

- Le transformisme, qui accepte le changement d'une espèce en une autre, date du début du XIXe siècle, bien que plusieurs penseurs aient postulé un tel mécanisme dès le XVIIIe siècle. Les premiers fossiles qui firent l'objet de discussion à ce sujet furent ceux de crocodiles découverts en Normandie dès la fin du XVIIIe siècle, qui furent plus tard datés d'environ 161 millions d'années
- Georges Cuvier et Étienne Geoffroy Saint-Hilaire, tous deux professeurs au Muséum d'histoire naturelle, ont présenté leurs interprétations divergentes sur ces fossiles. Cuvier voyait les fossiles des crocodiles de Normandie comme étant les témoins d'un passé révolu, et Geoffroy Saint-Hilaire comme étant les témoins de la transformation des reptiles en mammifères.



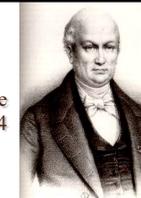
Face ventrale du crâne de *Teleosaurus cadomensis*. D : os palatin, M : ptérygoïdes. Ce spécimen et d'autres découverts en Normandie par Jacques-Armand Eudes-Deslongchamps et son fils Eugène furent détruits lors de la bataille de Normandie en 1944.

31

Georges Cuvier  
1769-1832



Etienne Geoffroy Saint Hilaire  
1772-1844



### La querelle de 1830

- 8 débats public de février à avril 1830 entre Georges Cuvier et Etienne Geoffroy Saint Hilaire dans lequel chacun plaide sa vision de la zoologie.
- Il y a eu un retentissement médiatique considérable en France et jusqu'en Allemagne, où Johann Wolfgang von Goethe commentait minutieusement les débats pour ses concitoyens.

Johann Wolfgang von Goethe, romancier, dramaturge, poète, scientifique, théoricien de l'art et homme d'État  
1749 Francfort - 1832 à Weimar



32

## La querelle des analogues de 1830

- Cette querelle opposait la vision audacieuse, mais erronée, de Geoffroy Saint-Hilaire, convaincu de l'existence d'une « unité de composition » de tous les animaux (autrement dit d'une structuration fondamentale commune), qui le conduisait à interpréter comme des homologies anatomiques nombre de caractéristiques d'animaux très différents (Arthropodes et Vertébrés), contre Cuvier défenseur d'une séparation stricte du règne animal selon les quatre plans d'organisation animale qu'il avait précédemment distingués (Rayonnés, Articulés, Mollusques et Vertébrés - qui correspondent aux actuels Cnidaires + Échinodermes, Arthropodes et Vertébrés).
- Pour Cuvier, les correspondances envisagées par Geoffroy Saint-Hilaire n'étaient que des ressemblances fortuites sans signification, dictées par les contraintes physiques et structurales, ou des surinterprétations déraisonnables.

33

## 8 débats public de février à avril 1830

- Contexte historique : Crise politique depuis 1827. Charles X dissout l'assemblée en mars et organise des élections, qu'il perd. Le 25 juillet, il publie quatre ordonnances qui prévoyaient la suppression de la liberté de la presse, la dissolution de la Chambre, la modification du mode d'élection et la convocation de nouvelles élections pour le mois de septembre.
- Emeutes dans Paris qui conduisent aux Trois Glorieuses, 27, 28, 29 juillet 1830.



La Liberté guidant le peuple  
Eugène Delacroix, 1830



34

## Richard Owen (1843)

Directeur du British Museum (Natural History)

- Clarifie la notion d'homologie et d'analogie
  - Analogue: Une partie ou un organe d'un animal qui a la même fonction qu'une autre partie ou un autre organe d'un animal différent
  - Homologue: Le même organe dans différents animaux sous toutes leurs formes et fonctions possibles.



35

## Charles Darwin (1859)



- Publication de « l'origine des espèces » en 1859 proposant un cadre théorique aux mécanismes de l'évolution en particulier grâce à la sélection naturelle ou la sélection sexuelle.
- Pour Darwin, l'homologie est une marque de la descendance issue d'un ancêtre commun.
  - Ces idées vont être combattues et en particulier on note que Darwin se rétracte dans les dernières éditions concernant les mécanismes de formation de l'œil.

36

## L'homologie

- L'homologie doit être définie sur une base phylogénétique, c'est à dire en s'assurant que les structures analysées ne formaient bien qu'une même structure chez l'ancêtre.
  - " similitude due à l'héritage d'un ancêtre commun " (Hillis 1994)
- Distinction entre homologie primaire et homologie secondaire
  - De Pinna (1991) a noté que la découverte de l'homologie comporte deux étapes: «l'homologie primaire», l'hypothèse selon laquelle des traits individuels similaires sont les mêmes et représentent la preuve d'un groupement; et "homologie secondaire", une homologie primaire qui a été confirmée par d'autres homologies en analyse cladistique et caractérise un groupe monophylétique.

37

## Homologie sérielle

- Lorsqu'un même caractère est présent plusieurs fois chez un même organisme, on parle d'homologie sérielle.
  - Par exemple les membres antérieurs et postérieurs d'un tétrapode sont homologues car ils ont la même structure mais ne sont pas issus d'un même organe ancestral commun car présents simultanément sur un même organisme.
  - Le cas de la métamérie aussi en est un exemple.
- Ce cas de figure est très semblable à une « duplication » de caractères chez un même organisme et donc, comme dans le cas des gènes, cela peut être considéré comme un cas de paralogie (lien évolutif entre deux gènes paralogues, issus d'un événement de duplication).
  - Par exemple, pour les poils de mammifères, des vibrisses de rat et de chat seront plus proches entre elles qu'une vibrisse de chat comparée à un poil du pelage du même chat.



38