

## Evolution et homologie

Marc Girondot

1

## Génotype vs. phénotype

- Le Génotype correspond à l'information contenue dans le génome d'un individu.
- 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.

2

## 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.

3

## 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).

4

## 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.

5

## Plasticité phénotypique

- La plasticité phénotypique inclut tous les processus qui à partir d'un même génotype peuvent conduire à plusieurs phénotypes distincts.

6

## La plasticité phénotypique

- Exemple des bonsaïs naturels



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

7

## 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.
- Par contre, la capacité d'un individu à développer ou non une plasticité phénotypique peut être soumise à sélection.

8

## 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 doit être analysée
- ... 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

9



## Les monstres prometteurs

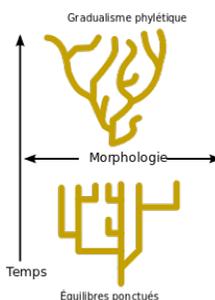
- Richard Benedict Goldschmidt (1878-1958) défend un modèle saltatoire de l'évolution : selon lui, des mutations affectant des gènes intervenant dans le développement pourraient produire, en une seule étape, des individus très différents de la norme de l'espèce, éventuellement mieux adaptés à certaines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



10

## 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.



11

## Macro-évolution vs. micro-évolution

Sauf cas exceptionnels, 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.

12

## 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.

13

## Mécanismes de l'évolution

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

14

## Reconstruire l'évolution

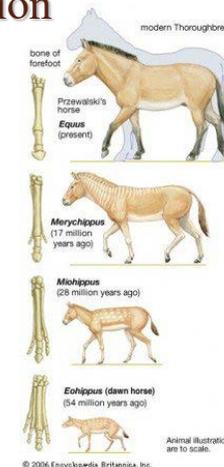
- L'évolution ne doit pas être pensée comme une « échelle des êtres »:  
Poisson → amphibien → reptile → mammifère



15

## Reconstruire l'évolution

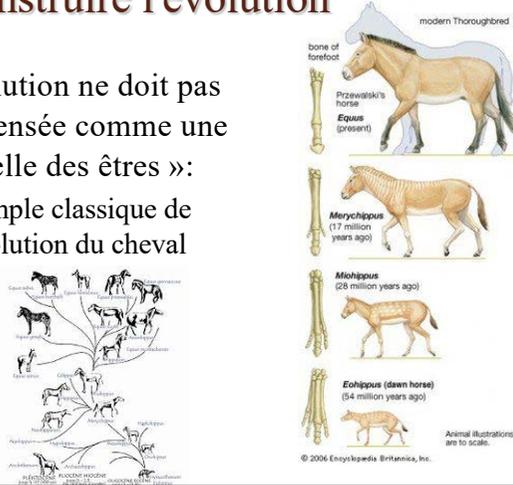
- L'évolution ne doit pas être pensée comme une « échelle des êtres »:
  - Exemple classique de l'évolution du cheval



16

## Reconstruire l'évolution

- L'évolution ne doit pas être pensée comme une « échelle des êtres »:
  - Exemple classique de l'évolution du cheval

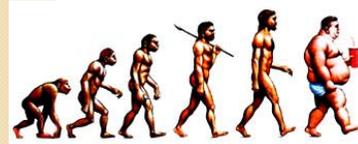
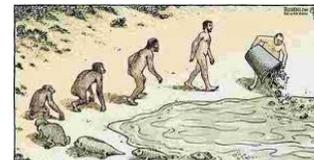


The image shows a phylogenetic tree of horses on the left and a series of illustrations on the right. The illustrations show the progression from Eohippus (dawn horse) 54 million years ago, through Miohippus (20 million years ago) and Merychippus (17 million years ago), to a modern Thoroughbred. Each stage includes a drawing of the animal and a corresponding bone of the forefoot, showing the transition from a multi-toed hoof to a single hoof.

17

## Reconstruire l'évolution

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

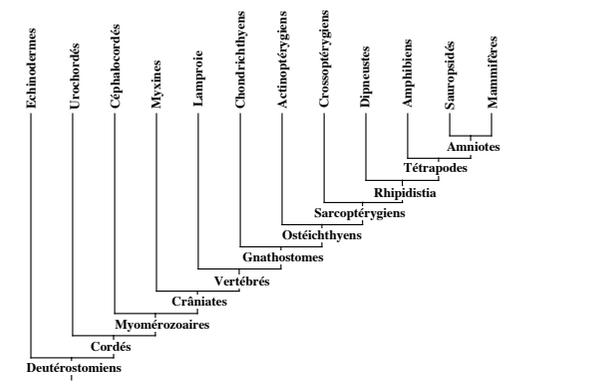



The top illustration shows a sequence of human evolution from an ape-like ancestor to a modern human. The bottom illustration shows a human ancestor using tools and a modern human, emphasizing the continuity of the human lineage.

18

## Phylogénie

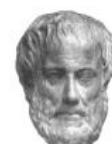
Le cadre de réflexion doit être une phylogénie



The phylogenetic tree shows the following relationships from left to right: Deutérostomiens, Cordés, Myomérozoaires, Crâniates, Vertébrés, Gnathostomes, Ostéichthyens, Sarcoptérygiens, Rhipidistia, Tétrapodes, Amphibiens, Sauropséidés, Mammifères, Amniotes, Dipneustes, Crossoptérygiens, Actinoptérygiens, Chondrichthyens, Lamproïte, Myxines, Céphalocordés, Urochordés, and Echinodermes.

19

## Historique de la notion d'homologie



- Aristote (-384 à -322)
  - Premiers essais de comparaisons des animaux mais sans base théorique
  - A déjà conscience de la notion de caractère semblable par leur fonction et de caractère semblable par leur origine.

20

## Belon (1555) L'Histoire naturelle des oyseaux. Benoist Prevost, Paris

L'analyse de l'organisation structurale est la base pour comprendre les relations entre organismes.

21

## Georges Cuvier 1769-1832

- « Père » de l'anatomie comparée
  - L'organisme doit être considéré comme un tout en harmonie. La variation ne peut être que délétère.
  - L'observation d'une structure particulière chez un organisme permet donc de reconstituer l'organisme en entier.

Il pose les bases des classifications actuelles dans les grands groupes animaux dans son livre le Règne animal distribué selon son organisation (1817) et énonce le principe de corrélation des parties selon lequel chaque organe est lié dans son fonctionnement à tous les autres : un mammifère à cornes possède toujours des sabots et des molaires usées, mange de l'herbe et rumine.

Il reste néanmoins un tenant de la théorie du fixisme.

22

## Le principe de connections

- Geoffroy Saint-Hilaire met en place le principe des connections qui est un moyen de rechercher les homologies en allant au delà de la fonction.
  - Identité de connexions des structures anatomiques chez des organismes différents, identité que l'anatomiste constate ou interprète par l'observation
- Ses idées quant à l'évolution s'apparentent au transformisme de Lamarck.

Etienne Geoffroy Saint Hilaire 1772-1844

23

En 1822, en disséquant un homard, le naturaliste le pose par inadvertance sur le dos. Il remarque alors quelques caractères curieux :

*« Quelle ne fut ma surprise, et j'ajoute, de quelle admiration ne fus-je pas saisi, en apercevant une ordonnance qui plaçait sous mes yeux tous les systèmes organiques de ce homard dans l'ordre où ils sont rangés chez les animaux mammifères ! »*

Sur cette base, il va proposer par exemple que les insectes sont des animaux vertébrés dont la cuticule ne forme qu'une seule vertèbre.

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).

25

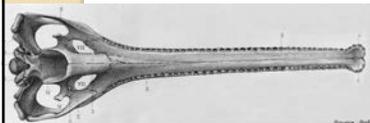
## Unité de plan d'organisation

- 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 ont 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.

26

## Les crocodiles de Normandie

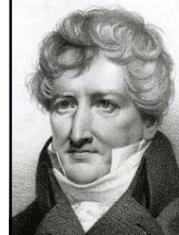
- Le transformisme, qui accepte le changement d'une espèce en une autre, date du début du XIXe siècle, bien que plusieurs penseurs aient postulé un tel mécanisme dès le XVIIIe siècle. Les premiers fossiles qui firent l'objet de discussion à ce sujet furent ceux de crocodiles découverts en Normandie dès 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 comme étant les témoins de la transformation des reptiles en mammifères.



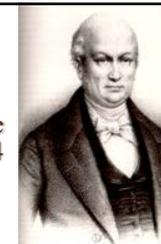
Face ventrale du crâne de *Teleosaurus cadomensis*.  
D : os palatin, M : ptérygoïdes. Ce spécimen et d'autres découverts en Normandie par Jacques-Amand Eudes-Deslongchamps et son fils Eugène furent détruits lors de la bataille de Normandie en 1944.

27

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 le poète, botaniste et anatomiste Johann Wolfgang von Goethe commentait minutieusement les débats pour ses concitoyens.

28

## 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 l'observateur, 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, Mollusques 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.

29

## 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



30

## Richard Owen (1843)

Directeur du British Museum (Natural history)

- Clarifie la notion d'homologie et d'analogie
  - Analogie: 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.



31

## Darwin (1859)



- Publication de « l'origine des espèces » 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.

32

## 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.

33

## 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.
  - 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.



34