Théories de l'évolution

Evolution biologique, évolution de la biologie

Théorie de l'évolution

•**C. Darwin**: "Descendance avec modifications"

•Mécanisme principal: **la sélection naturelle**

Génétique

•**Mendel**: transmission héréditaire des caractères, caractère ponctuel de ceux-ci

•**De Vries**: mutations: des variations apparaissent dans les populations

•**Boveri, Sutton, Morgan**: théorie chromosomique de l'hérédité, recombinaison homologue

Théorie synthétique de l'évolution

Evolution = variation de la fréquence des allèles présents dans une population

→Synthèse de la théorie de Darwin et des apports de la génétique, de la paléontologie, de la systématique,…(Huxley, Dobzhansky, Mayr…)

Une nouvelle synthèse: Biologie moléculaire → Génomique, Evo-Devo

•**ADN** support matériel de l'hérédité

•Universalité du **code génétique**

•Stabilité et variabilité de **l'expression des gènes chez les organismes multicellulaires**

→Développement embryonnaire

→Pathologie: cancer

→Evolution des EV implique évolution des processus développementaux

Evolution biologique: théorie unificatrice de la biologie

Spécificité de la biologie: les êtres vivants sont des objets historiques

Qu'est-ce qu'une théorie?

Théorie

Le petit Robert (1982):

- *Ensemble d'idées, de concepts abstraits, plus ou moins organisés, appliqué à un domaine.*
- *Sc.: Construction intellectuelle méthodique et organisée, de caractère hypothétique.*

Vocabulaire technique et analytique de l'épistémologie, Robert Nadeau, PUF.

- *Système intellectuel provisoire et révisable. [...] Pour Popper, il s'agit d'un système formé d'énoncés systématiques universels permettant, à l'aide de conditions initiales appropriées, de fournir une explication causale des faits exprimés par des énoncés singuliers, ou d'en effectuer une prédiction.*

Voir aussi: Laurence Bouquiaux: "L'évolution, faits, théorie et malentendus".
In Comprendre l'évolution. Ed. De Boeck, 2009.

Les précurseurs

Enjeux épistémologiques:

- Quelles sont les observations qui ont amené les biologistes à percevoir l'existence d'un phénomène évolutif ?
- Quelles théories ont-ils proposées pour rendre compte de ces phénomènes ?

- Historique
  - ❖ Les précurseurs
  - ❖ Darwin
  - ❖ La théorie synthétique de l’évolution
- La théorie de l ’évolution aujourd’hui
  - ❖ La sélection naturelle: la raison du plus fort?
  - ❖ L’apparition de nouveaux organes: Evolution des processus développementaux
  - ❖ L’évolution à l’échelle des génomes

- Historique
  - ❖ Les précurseurs
  - ❖ Darwin
  - ❖ La théorie synthétique de l’évolution
- La théorie de l ’évolution aujourd’hui
  - ❖ La sélection naturelle: la raison du plus fort?
  - ❖ L’apparition de nouveaux organes: Evolution des processus développementaux
  - ❖ L’évolution à l’échelle des génomes

Les précurseurs: le transformisme de Buffon

- Georges Louis Leclerc Buffon (naturaliste français, 1707-1788)
- Dans son *Histoire naturelle* (36 volumes), il aborde l'origine du système solaire, la formation de la terre, la fossilisation.

- *Si l'on admet [...] que l'âne soit de la famille du cheval, et qu'il n'en diffère que parce qu'il a dégénéré, on pourra dire également que le singe est de la famille de l'homme, que c'est un homme dégénéré: que l'homme et le singe ont une origine commune comme le cheval et l'âne.*
- *Mais non: il est certain par la Révélation que tous les animaux ont également participé à la grâce de la création; que les deux premiers de chaque espèce, et de toutes les espèces, sont sortis tout formés des mains du Créateur; et on doit croire qu'ils étaient tels à peu près qu'ils nous sont représentés par leurs descendants.*

  Cité d'après Kahn, 2000. Et l'homme dans tout ça ?

• La ressemblance entre les espèces indique une parenté entre elles.

• La transformation d'une espèce en une autre est le résultat d'une dégénérescence.

Image: http://www.infoscience.fr/histoire/portrait/buffon.html

Dia: J. van Helden

Les précurseurs: le transformisme de Lamarck

- Jean-Baptiste de Monet, chevalier de Lamarck (1744-1829).
  - Se destine initialement à une carrière militaire, mais une blessure l'empêche de poursuivre sa vocation.
  - Il devient alors naturaliste, initialement botaniste puis chargé de la classification des invertébrés au Jardin des Plantes (Museum d'Histoire Naturelles) de Paris.
  - Philosophie zoologique (1809)

- Accès à l'œuvre de Lamarck
  - http://www.lamarck.cnrs.fr/
  - Livres, articles, herbier, …
  - Recherche par mots-clés dans les texte intégraux.

• Sources
  • Jacques Roger, in Le darwinisme d'aujourd'hui.
  • Reisse, J. and D. Lambert. 2008. Charles Darwin et Georges Lemaître, une improbable mais passionnante rencontre. Académie Royale de Belgique, Bruxelles.
  •Image http://www.infoscience.fr/histoire/biograph/biograph.php3?Titre=Lamarck

Le transformisme de Lamarck: les fossiles

Les espèces dites perdues

C'est encore une question pour moi, que de savoir si les moyens qu'a pris la nature pour assurer la conservation des espèces ou des races, ont été tellement insuffisants, que des races entières soient maintenant anéanties ou perdues. Cependant, les débris fossiles que nous trouvons enfouis dans le sol en tant de lieux différents, nous offrent les restes d'une multitude d'animaux divers qui ont existé, et parmi lesquels il ne s'en trouve qu'un très petit nombre dont nous connaissons maintenant des analogues vivants parfaitement semblables.

Or, si quantité de ces coquilles fossiles se montrent avec des différences qui ne nous permettent pas, d'après les opinions admises, de les regarder comme des analogues des espèces avoisinantes que nous connaissons, s'ensuit-il nécessairement que ces coquilles appartiennent à des espèces réellement perdues? Pourquoi, d'ailleurs, seraient-elles perdues, dès que l'homme n'a pu opérer leur destruction? ***Ne serait-il pas possible, au contraire, que les individus fossiles dont il s'agit appartinssent à des espèces encore existantes, mais qui ont changé depuis, et ont donné lieu aux espèces actuellement vivantes que nous en trouvons voisines****. Les considérations qui suivent, et nos observations dans le cours de cet ouvrage, rendront cette présomption très probable.*

J.B. Lamarck. 1809. Philosophie zoologique. Flammarion, Paris, p114.

La découverte de fossiles ne correspondant pas aux espèces actuelles dans des couches géologiques anciennes suggère l'apparition de nouvelles espèces par transformation à partir d'espèces plus anciennes.

Dia: J. van Helden

Source: Jacques Roger, in Le darwinisme d'aujourd'hui

Le transformisme de Lamarck: la notion d'espèce

Aussi, tous ceux qui se sont fortement occupés de l'étude de l'histoire naturelle savent que maintenant les naturalistes sont extrêmement embarrassés pour déterminer les objets qu'ils doivent regarder comme des espèces. En effet, ne sachant pas que les espèces n'ont réellement qu'une constance relative à la durée des circonstances dans lesquelles se sont trouvés tous les individus qui les représentent, et que certains de ces individus ayant varié, constituent des races qui se nuancent avec ceux de quelqu'autre espèce voisine, les naturalistes se décident arbitrairement, en donnant, les uns, comme variétés, les autres, comme espèces, des individus observés en différents pays et dans diverses situations. Il en résulte que la partie du travail qui concerne la détermination des espèces, devient de jour en jour plus défectueuse, c'est-à-dire, plus embarrassée et plus confuse. ***J.B Lamarck. 1809. Philosophie zoologique. Flammarion, Paris, p101.***

Comme pour Buffon, la ressemblance entre espèces actuelles suggère à Lamarck une parenté entre les différentes espèces.

Source: Jacques Roger, in Le darwinisme d'aujourd'hui

Dia: J. van Helden

Le transformisme de Lamarck : la théorie

- Tendance du vivant à devenir de plus en plus complexe. Les êtres vivants montrent une tendance à se transformer au fil des générations, pour aller du plus simple vers le plus complexe.

  → Les êtres sont distribués selon une échelle qui va du plus simple au plus complexe (peut-être deux échelles, une pour les plantes et une pour les animaux).

- Le rôle des circonstances:
  - On ne peut pas classer les être vivants le long de cette échelle de façon régulière, il y a des groupements rapprochés et des vides.

  → Il se produit un processus d'adaptation par rapport aux circonstances (le milieu).

- Mécanismes:
  - Développement des organes par l'usage et désuétude par non-usage.
  - Hérédité des caractères acquis.

Dia: J. van Helden

Source: Jacques Roger, in Le darwinisme d'aujourd'hui

Le débat entre fixisme et transformisme

• Les théories ***transformistes*** proposées par Lamarck suscitent de vives réactions au sein de la communauté scientifique.

• Les opposants défendent une théorie ***fixiste*** qui, en accord avec les écritures religieuses, postule que les espèces n'évoluent pas, et ont de tout temps été semblables à ce qu'elles sont.

• Parmi les principaux opposants au transformisme de Lamarck, on cite le naturaliste ***Georges Cuvier***, fervent défenseur du fixisme.

- Cuvier défend une théorie ***catastrophiste***, qui explique les extinctions massives (révélées par les fossiles) par une série de violentes catastrophes survenues par le passé.
- Notons que le catastrophisme rend compte de l'extinction des espèces anciennes (par exemple les dinosaures), mais n'explique pas pourquoi on ne trouve pas de trace des espèces actuelles dans les fossiles des couches géologiques anciennes.

• Les motivations de Cuvier et du mouvement fixiste sont essentiellement religieuses. Notons cependant que le transformisme n'est pas forcément synonyme d'athéisme. Au contraire, Lamarck se proclame croyant. Il attribue les transformations des espèces à la volonté du « sublime auteur de toutes choses ».

Sans doute, rien n'existe que par la volonté du sublime Auteur de toutes choses. Mais pouvons-nous lui assigner des règles dans l'exécution de sa volonté, et fixer le mode qu'il a suivi à cet égard ? Sa puissance infinie n'a-t-elle pu créer un ordre de choses qui donnât successivement l'existence à tout ce que nous voyons, comme à tout ce qui existe et que nous ne connaissons pas ?
J.B. Lamarck. 1809. Philosophie zoologique. Flammarion, Paris, p102.

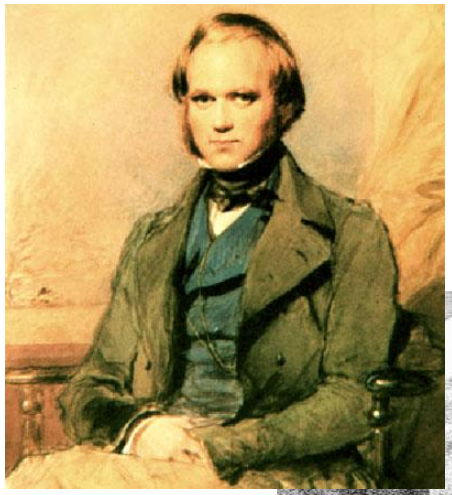
Dia: J. van Helden

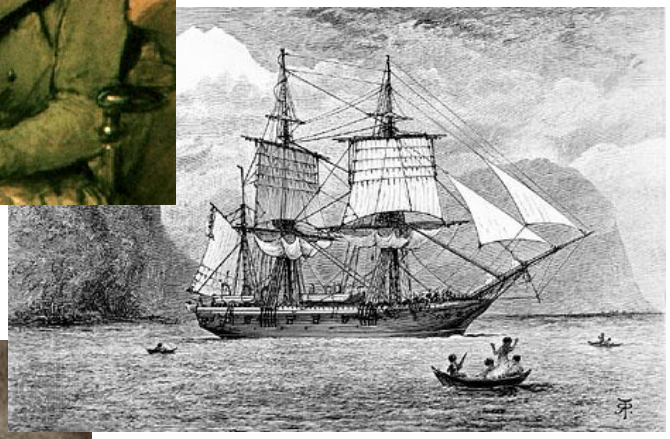
- Historique
  - ❖ Les précurseurs
  - ❖ Darwin
  - ❖ La théorie synthétique de l’évolution
- La théorie de l ’évolution aujourd’hui
  - ❖ La sélection naturelle: la raison du plus fort?
  - ❖ L’apparition de nouveaux organes: Evolution des processus développementaux
  - ❖ L’évolution à l’échelle des génomes

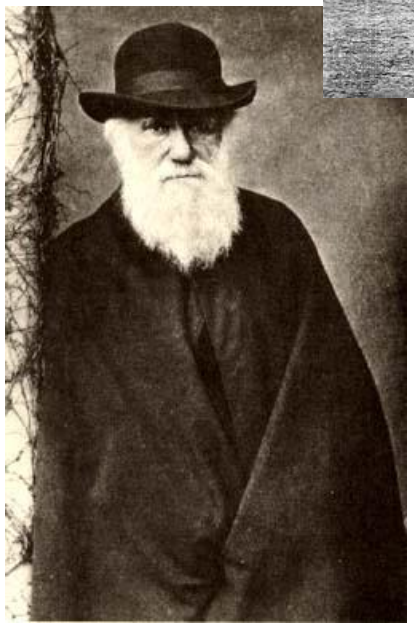
Historique

Darwin: L'Origine des espèces

Charles Darwin (1809-1882)



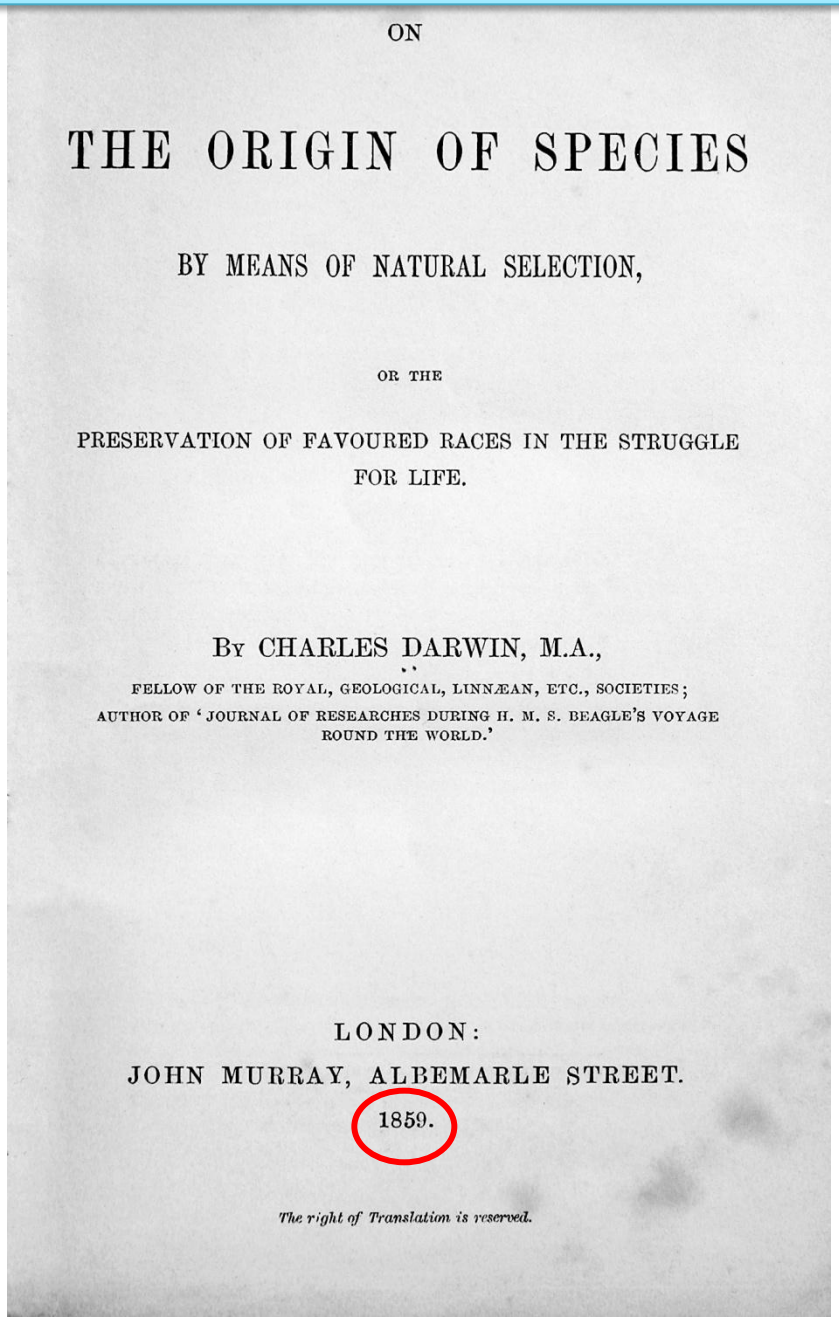




1831-1836: Voyage à bord du Beagle

1859: L'origine des espèces

1871: La descendance de l'homme



ON

THE ORIGIN OF SPECIES

BY MEANS OF NATURAL SELECTION,

OR THE

PRESERVATION OF FAVOURED RACES IN THE STRUGGLE FOR LIFE.

By CHARLES DARWIN, M.A.,

FELLOW OF THE ROYAL, GEOLOGICAL, LINNÆAN, ETC., SOCIETIES;

AUTHOR OF 'JOURNAL OF RESEARCHES DURING H. M. S. BEAGLE'S VOYAGE ROUND THE WORLD.'

LONDON:

JOHN MURRAY, ALBEMARLE STREET.

1859.

The right of Translation is reserved.

The origin of species – Table des matières

1. De la variation des espèces à l'état domestique
2. De la variation à l'état de nature
3. La lutte pour l'existence
4. La sélection naturelle
5. Les lois de la variation
6. Difficultés de la théorie
7. Instincts
8. Hybridité
9. Insuffisance des archives géologiques
10. De la succession géologique des êtres organisés
11. Distribution géographique
12. Distribution géographique (suite)
13. Affinités mutuelles entre êtres organisés; morphologie; embryologie; organes rudimentaires
14. Récapitulation et conclusion

Dia: J. van Helden

Les deux composantes essentielles de la théorie

1. Apparition spontanée de variations inter-individuelles qui se transmettent à la descendance.

   → Quelle est *l'origine* de cette variabilité des individus au sein des espèces?

   → Il avoue ne pas pouvoir répondre à cette question → Il ne disposait pas de la théorie de l'hérédité .

2. Certaines variations sont *favorisées dans la descendance* au point de donner des variétés puis des espèces nouvelles, alors que d'autres variations sont éliminées.

   → rôle essentiel de la ***sélection naturelle*** **qui effectue un tri**:

« Comme il naît beaucoup plus d'individus de chaque espèce qu'il n'en peut survivre; comme, en conséquence, la lutte pour l'existence se renouvelle à chaque instant, il s'en suit que ***tout être qui varie quelque peu que ce soit d'une façon qui lui est profitable a une plus grande chance de survivre****;* ***cet être est l'objet d'une sélection naturelle****. En vertu du principe si puissant de l'hérédité, toute variété objet de la sélection tendra à propager sa nouvelle forme modifiée. » (OE p49)*

Dia: J. van Helden

Thomas Robert Malthus (1766-1834)

- Né à Rockery (Surrey) en 1766, fils d'un petit propriétaire foncier, entreprend des études de pasteur.
- Son père socialiste lui donne une éducation libérale. Ce qui n'empêchera pas Robert Malthus d'être tout à la fois conservateur et pessimiste.
- Nommé en 1805, professeur d'histoire et d'économie politique au Haileybury College, institut créé par la Compagnie des Indes.
- Travaux les plus connus
  - "An Essay on the Principle of Population as its affects the Future Improvement of Society" (1798 et 1803)
  - "Principles of Political Economy" (1820).

Essai sur le principe de la population (1798):

- La croissance démographique est exponentielle en fonction du temps.
- La croissance des ressources est, au mieux, linéaire et limitée.
- La population a donc tendance naturellement à croître à un rythme trop important pour les ressources alimentaires.

Dia adaptée d'après le cours d'Yvan Lepage.

Loi de Malthus (ou théorie de la population)

• A partir de ce modèle démographique, Malthus développe des idées concernant l'organisation de la société.

> *"Un homme qui naît dans un monde déjà occupé, si sa famille ne peut le nourrir, ou si la société ne peut utiliser son travail, n'a pas le moindre droit à réclamer une portion quelconque de nourriture, et il est réellement de trop sur terre. Au grand banquet de la nature, il n'y a point de couvert mis pour lui. La nature lui commande de s'en aller, et elle ne tarde à mettre elle-même cet ordre à exécution"* (Malthus, 1798)

• Dans cette optique Malthus critique les "*Poor Laws*" responsables d'accentuer la misère. Le pasteur Malthus, propose une politique de contrôle des naissances.

- ❖une solution éthique (*moral restraint*) : l'abstinence avant le mariage
- ❖le recul de l'âge au mariage pour les démunis.

• Il convient de souligner que l'auteur n'envisage pas de méthodes contraceptives, attachées par la suite à la théorie portant son nom.

Dia adaptée d'après le cours d'Yvan Lepage.

Inspiration malthusienne de Darwin – La lutte pour l'existence

• Le raisonnement malthusien concernant la croissance exponentielle des populations est facilement transposable à la croissance des populations animales et végétales.

• Darwin se réfère explicitement à Malthus comme source d'inspiration pour la lutte pour l'existence.

> ❖ *En octobre 1838, c'est à-dire quinze mois après avoir entrepris mon enquête systématique, je me trouvai à lire, pour mon amusement, l'essai de Malthus sur la Population. Etant, de par ma longue observation des habitudes des animaux et des plantes, bien préparé à apprécier la lutte pour l'existence qui existe partout, je fus soudainement frappé par l'idée selon laquelle, dans ces circonstances, des* ***variations favorables*** *tendraient à être* ***préservées*** *et les* ***défavorables*** *à être* ***détruites****. Le résultat de ceci serait la formation d'un nouvelle espèce.* ***Dès ce moment, j'avais au moins une théorie sur laquelle travailler****.* Charles Darwin, Autobiographie. (1876)
>
> ❖ Source: http://www.ucmp.berkeley.edu/history/malthus.html

• Cependant, la lutte pour la survie peut prendre des formes différentes que des luttes entre individus: assimilation de ressources de nourriture alternatives, migration, dormance, …

Remarques concernant l' « Origine des Espèces »

- Darwin avait conçu la théorie dès 1839, il a attendu 20 ans avant de la publier. Il comptait même attendre plus longtemps, mais il a avancé la publication pour éviter de se faire devancer par Wallace.

- Le livre collecte un grand nombre d'arguments de nature diverse (sélection artificielle des espèces cultivées, paléontologie, anatomie comparée, ...).

- La théorie est avancée avec une extrême prudence.

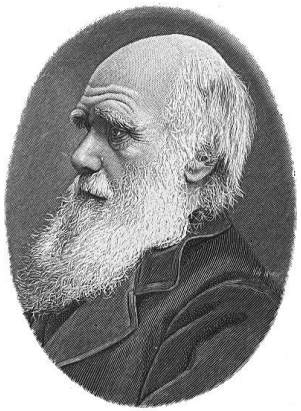
- Darwin souligne lui-même les imperfections et les zones floues (difficultés de la théorie, insuffisance des archives géologiques, source de la variation).

- Historique
  - ❖ Les précurseurs
  - ❖ Darwin
  - ❖ La théorie synthétique de l’évolution
- La théorie de l ’évolution aujourd’hui
  - ❖ La sélection naturelle: la raison du plus fort?
  - ❖ L’apparition de nouveaux organes: Evolution des processus développementaux
  - ❖ L’évolution à l’échelle des génomes

Historique

La théorie synthétique de l'évolution

Après Darwin: la théorie synthétique de l'évolution



EVOLUTION **X** **GENETIQUE**

Fischer, Haldane, Julian Huxley, Mayr, Dobzhansky…

Théorie synthétique de l'évolution (néodarwinisme, nouvelle synthèse)

La théorie synthétique

Autour de 1940, plusieurs biologistes établissent la synthèse entre la théorie darwinienne de l'évolution et les autres disciplines de la biologie.

- ***Theodosius Dobzhansky (1937) « Genetics and the origin of species »***
  - ❖**Apport crucial de la génétique**: donne une explication à l'apparition des variations interindividuelles → mutations (De Vries 1901)
  - ❖L'évolution est présentée comme une **variation des fréquences alléliques** au fil des générations

- ***Ernst Mayr (1947) « Systematics and the origin of species ».***
  - ❖*Les études de systématique rapportent également des observations qui s'interprètent facilement dans le contexte de la théorie darwinienne.*

- ***George Simpson (1944) « Tempo and mode in evolution ».***
  - ❖*Intégration des données paléontologiques*

- ***Julian Huxley (1942) « Evolution - the modern synthesis ».***
  - ❖*Il rassemble les observations faites dans différents domaines scientifiques (génétique, systématique et paléontologie), et qui concourent toutes, indépendamment les unes des autres, à confirmer la théorie darwinienne de l'évolution.*

Dia: J. van Helden

La théorie synthétique

Reformulation de la théorie de l'évolution à la lumière des découvertes postérieures à l'époque de Darwin:

- L'évolution résulte de l'apparition, au sein d'une population, de nouveaux variants alléliques (mutations!) sur lesquels pourra ensuite agir la sélection naturelle, dans un sens ou dans l'autre.

- Ce mécanisme permet à une espèce de donner graduellement naissance à une autre, par la divergence accrue d'une des sous-espèces

- Historique
  - ❖ Les précurseurs
  - ❖ Darwin
  - ❖ La théorie synthétique de l’évolution
- La théorie de l ’évolution aujourd’hui
  - ❖ La sélection naturelle: la raison du plus fort?
  - ❖ L’apparition de nouveaux organes: Evolution des processus développementaux
  - ❖ L’évolution à l’échelle des génomes

La théorie de l'évolution aujourd'hui

La sélection naturelle

Etudes expérimentales de la sélection naturelle

En 1937, Tessier et Lhéritier publient une série d'expériences réalisées en laboratoire. Ils étudient la dynamique de populations de drosophiles (M.Blanc p68).

– Mélange de souches de type sauvage et de type « curly » ou « vestigial » et mesure des fréquences alléliques au cours du temps. Selon l'environnement, l'une ou l'autre des formes alléliques sera favorisée.

→ Effet de la sélection naturelle

→ Caractère adaptatif de la sélection

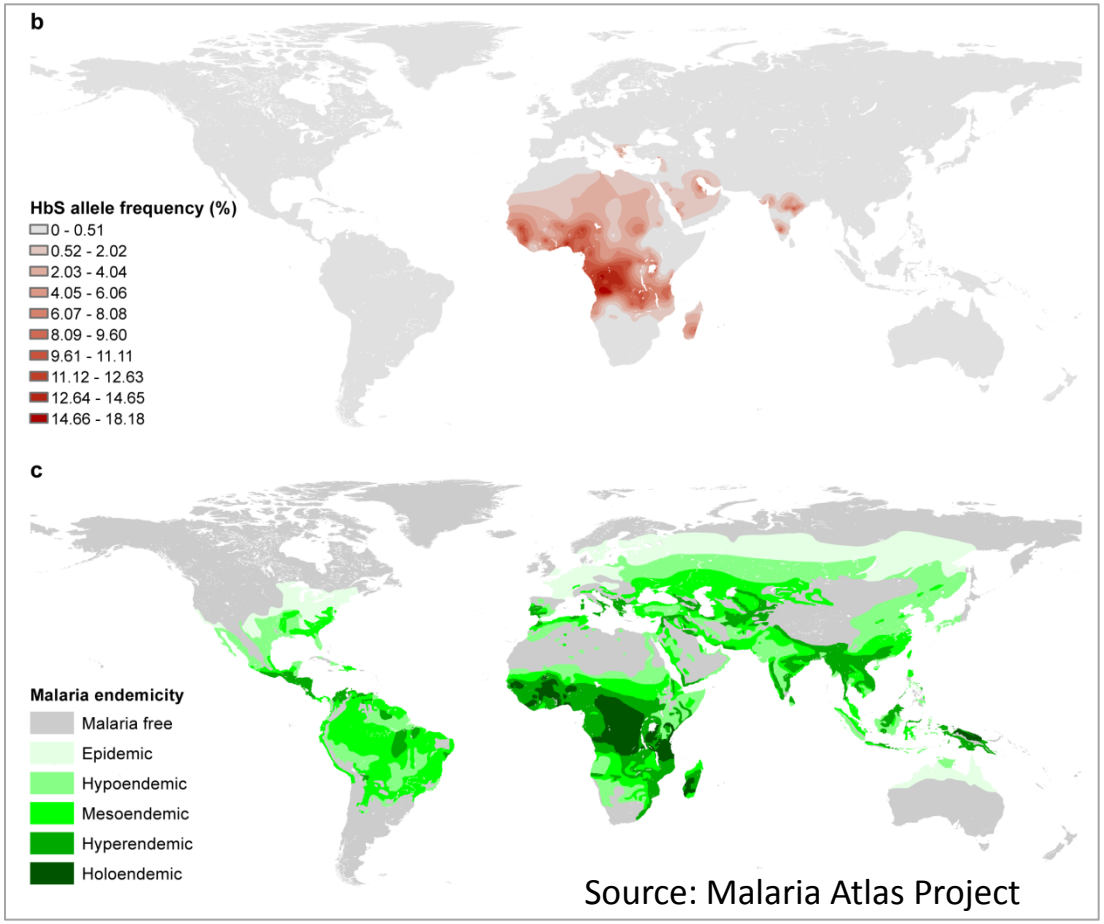
Mod. à partir de J. van Helden

La sélection naturelle: la raison du plus fort? L'exemple de la drépanocytose.

Malaria:

- 225 millions de cas en 2009
- 665000 morts en 2010 (dont 90% enfants < 5ans)

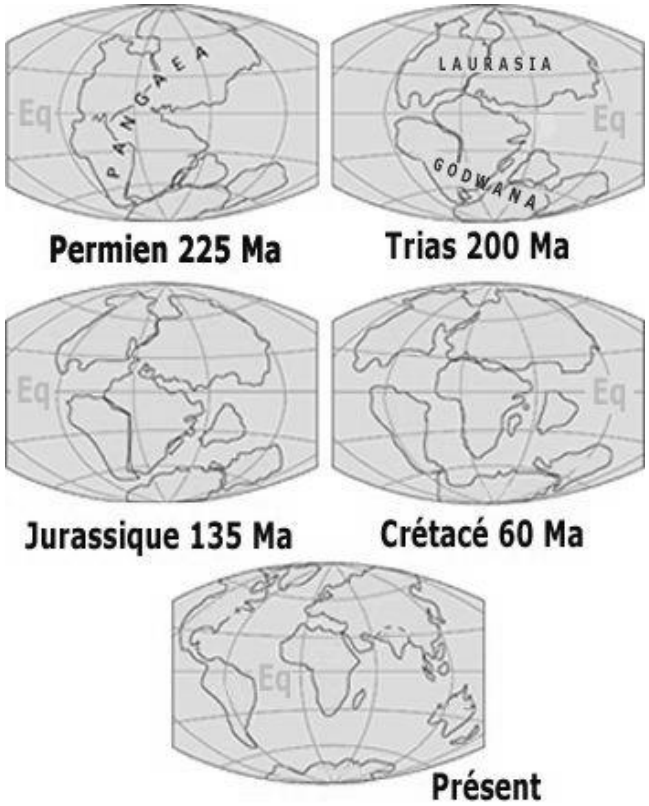
Agent: parasite intracellulaire: ***Plasmodium***



Le plasmodium survit mal dans les cellules falciformes!

Une mutation délétère peut néanmoins conférer un avantage de survie → maintenue au cours de l'évolution

La sélection naturelle: la raison du plus fort? L'exemple des poissons des glaces.



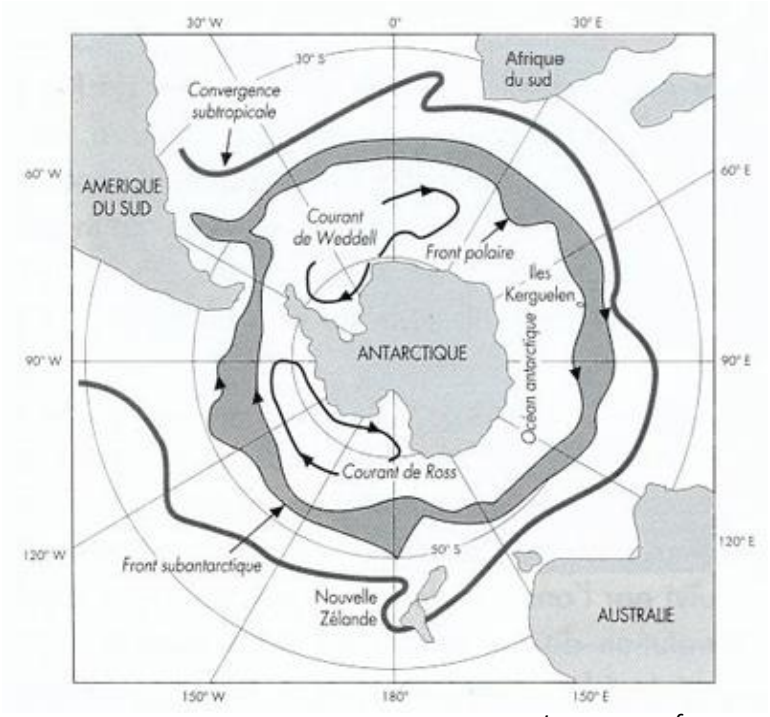


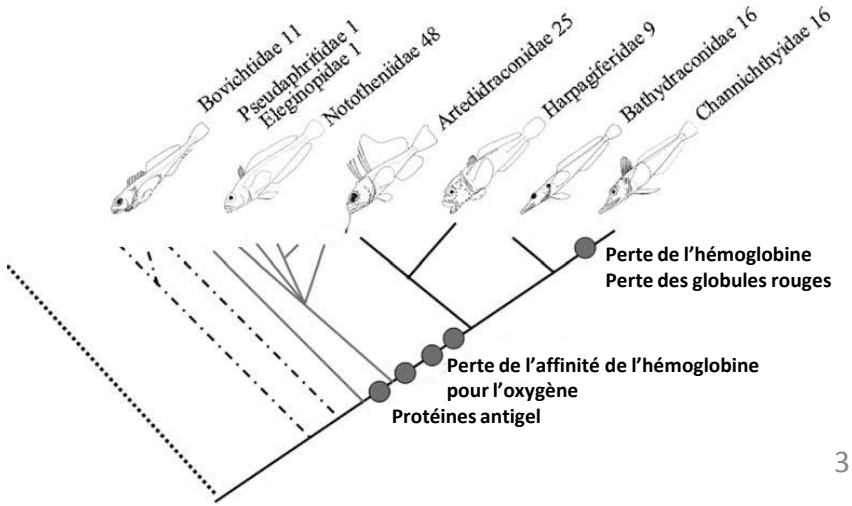
Image: cnrs.fr

L'apparence de notre planète a changé au cours du temps: en particulier, la position des continents les uns par rapport aux autres s'est constamment modifiée. C'est ce que l'on appelle **la dérive des continents**. La séparation totale de l'Antarctique de l'Amérique du Sud, par la formation du passage de Drake, s'est produite environ à **– 25 Ma**. Cette séparation a provoqué la formation d'un courant marin entourant le continent antarctique appelé « courant circumpolaire antarctique ». Celui-ci a conduit à l'isolement des eaux de l'océan Antarctique des autres eaux du globe et à la formation du front polaire qui a entraîné une baisse supplémentaire de la température de l'eau de l'océan Antarctique. Avant cette séparation, à environ **-38 Ma**, la température de l'océan Austral avait déjà connu une première baisse brusque de température et la calotte glaciaire avait commencé à recouvrir le continent Antarctique.

La sélection naturelle: la raison du plus fort? L'exemple des poissons des glaces.

Source : http://www.mnhn.fr/glecointre/Collections.html

- Les poissons des glaces (famille des Channichthyidae) vivent dans l'antarctique, dans des eaux dont la température varie de 4° C à - 2° C (du fait de la salinité, elle est liquide).
- Leur sang contient des protéines « antigels », composées de motifs répétitifs.
- Le poisson des glaces n'a pas de globules rouges !
- Les échanges d'oxygène sont assurés à travers la peau, et l'O2 dissous dans le sang est transféré aux organes.
- Leur corps ne contient pas non plus d'hémoglobine ni de myoglobine fonctionnelle.
- Cependant, on trouve dans leur génome des gènes fossilisés pour les deux chaînes de l'hémoglobine → le gène est présent mais a intégré des mutations introduisant des codons STOP → les protéines correspondantes ne sont plus synthétisées!



Sources:
Lecointre et Ouzouf-Costa, 2004
S. B. Carrol 2006

La sélection naturelle: la raison du plus fort?

• Au cours de l'évolution, les populations accumulent une série de modifications (mutations).

• Celles-ci peuvent (ou non) apporter un avantage sélectif. La plupart sont neutres.

• Cependant, les modifications au niveau du génome ne sont pas facilement réversibles (ex: fossilisation des gènes de l'hémoglobine chez les poissons des glaces)

• L'évolution est un processus historique, on ne repart de zéro (F. Jacobs: « Bricolage de l'évolution »)

- ❖Possibilité d'aboutir à un « cul-de-sac » évolutif
- ❖ Les formes de vie existantes ne sont pas « parfaites ».

- Historique
  - ❖ Les précurseurs
  - ❖ Darwin
  - ❖ La théorie synthétique de l’évolution
- La théorie de l ’évolution aujourd’hui
  - ❖ La sélection naturelle: la raison du plus fort?
  - ❖ L’apparition de nouveaux organes: Evolution des processus développementaux
  - ❖ L’évolution à l’échelle des génomes

« … a study of the effects of genes during development is as essential for an understanding of evolution as are the study of mutation and that of selection. »

Julian Huxley (Evolution: The Modern Synthesis, 1942)

La théorie de l'évolution aujourd'hui

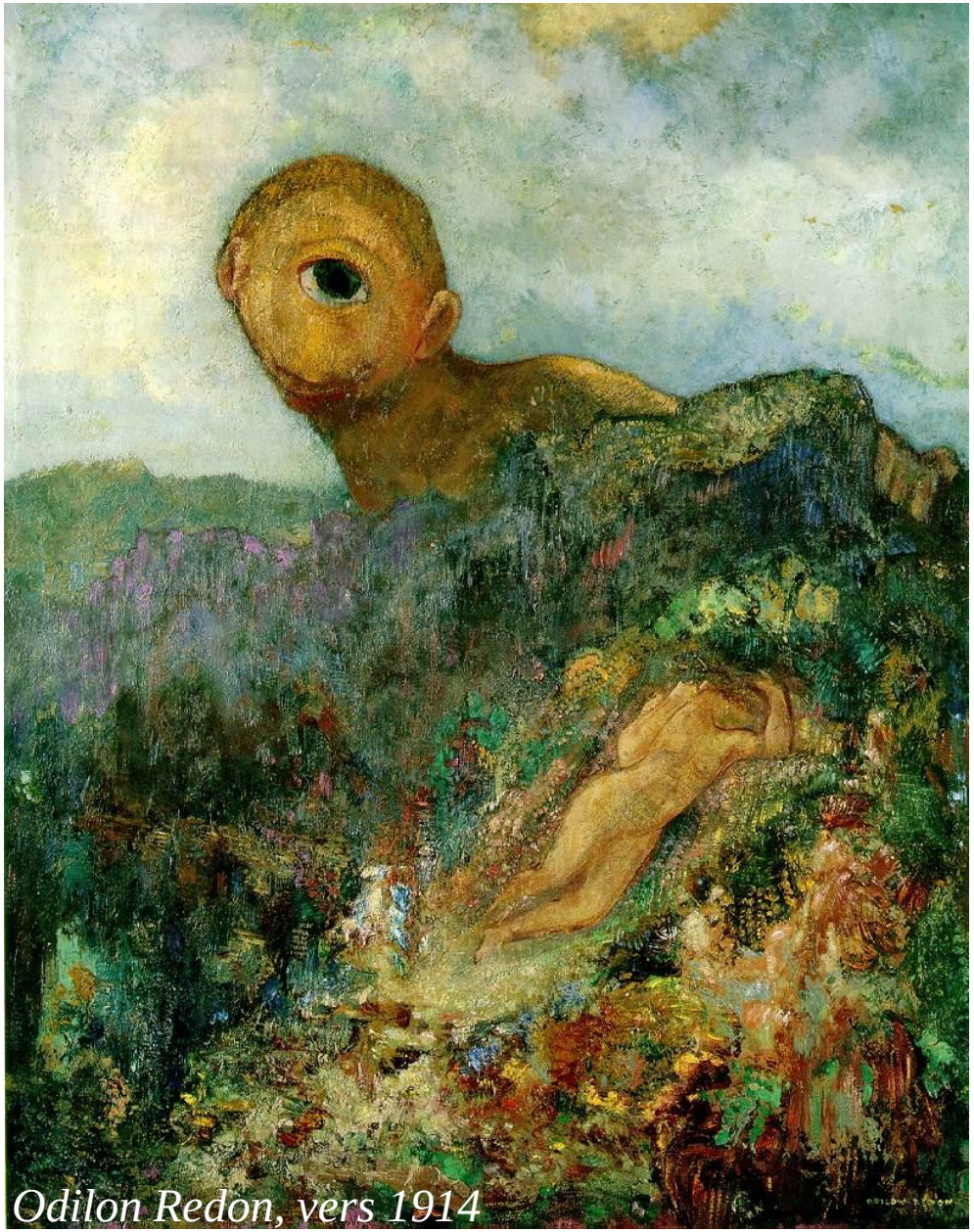
Comment se forment les organes?
La génétique du développement

Question: Les gènes contrôlent-ils la formation des organismes complexes (multicellulaires)? Si oui, comment?

- Différentiation cellulaire → « spécialisation » des cellules
- Formation des organes (forme, taille)
- Organisation du plan du corps (Quel organe se forme où)

Hypothèse: des mutations dans des gènes contrôlant ces processus devraient conduire à un développement aberrant

Des monstres prometteurs (Goldschmidt, 1940)

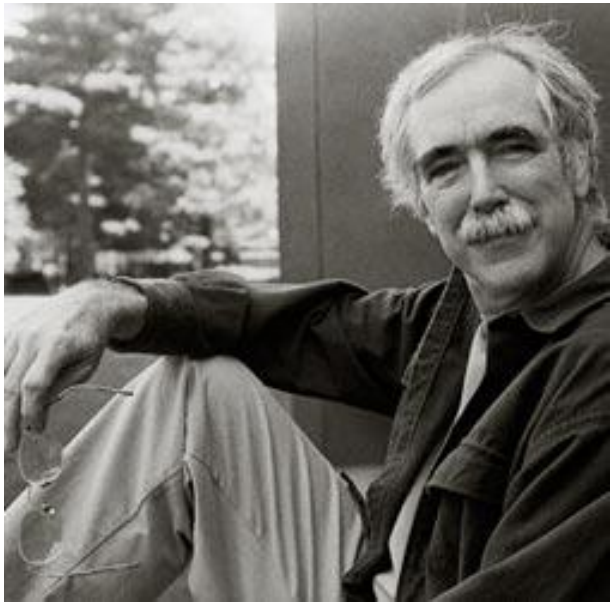


Odilon Redon, vers 1914

USDA-Agricultural Research Service, Poisonous Plant Research Lab, Logan, Utah.

Des monstres prometteurs

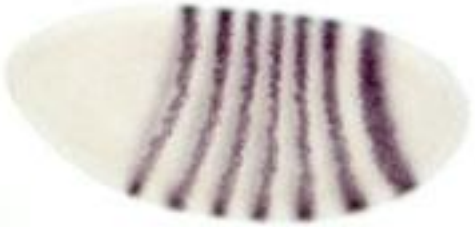
Christiane Nüsslein-Volhardt
Prix Nobel 1995



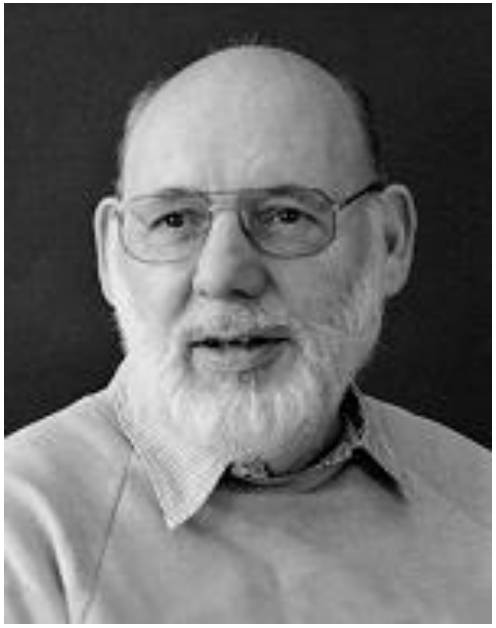
Eric Wieschaus
Prix Nobel 1995

Ed Lewis
Prix Nobel 1995

Drosophila melanogaster



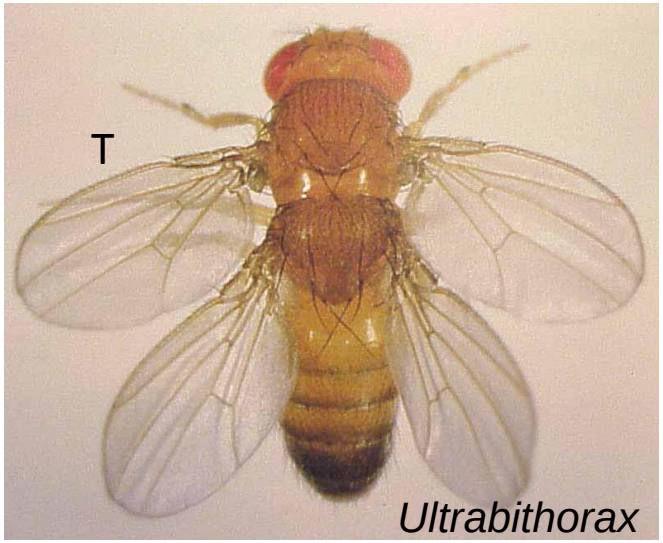
Drosophila melanogaster



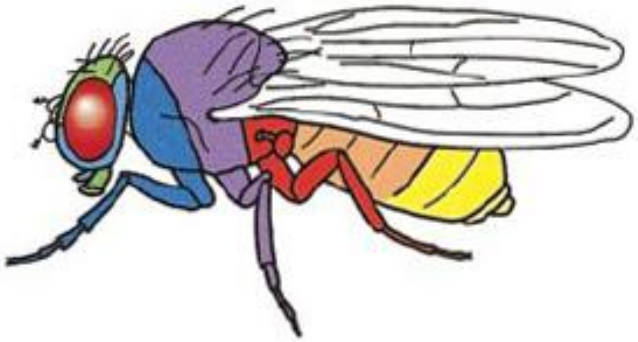
Walter Gehring

Exemple 1: Les mutations homéotiques

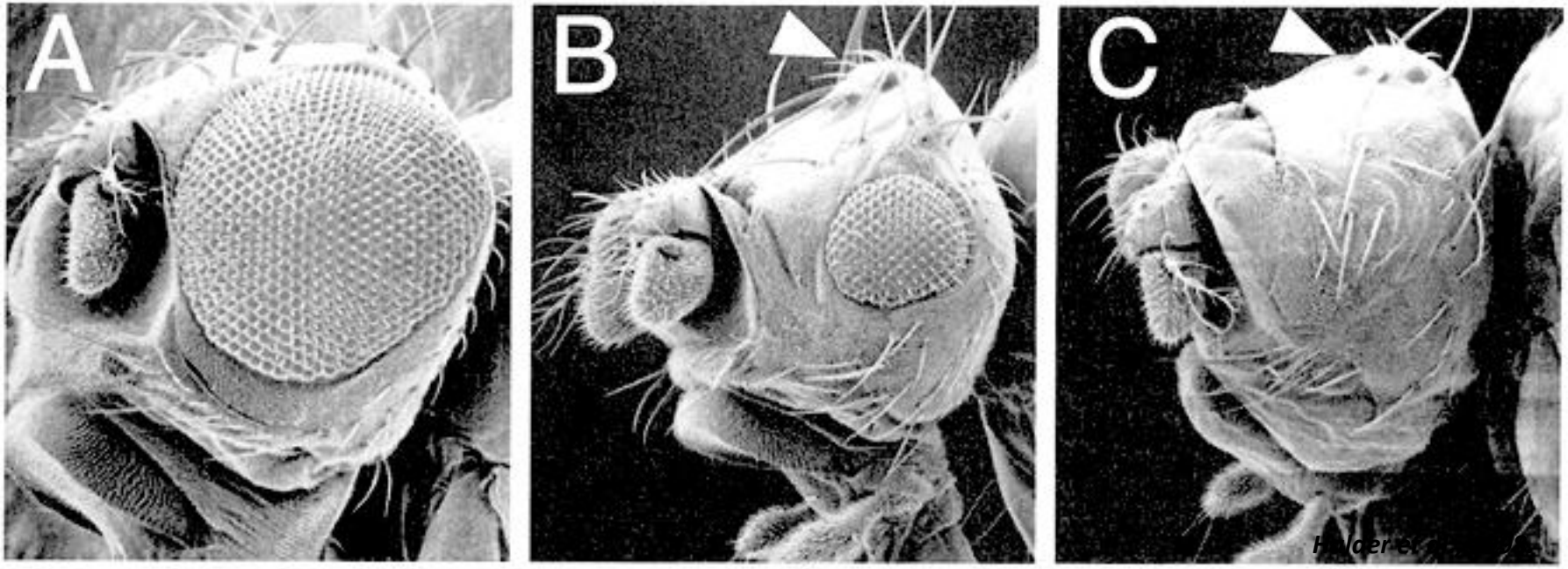
HOMEOSIS : William Bateson (1894)



→ **Transformation de l'identité d'un segment**



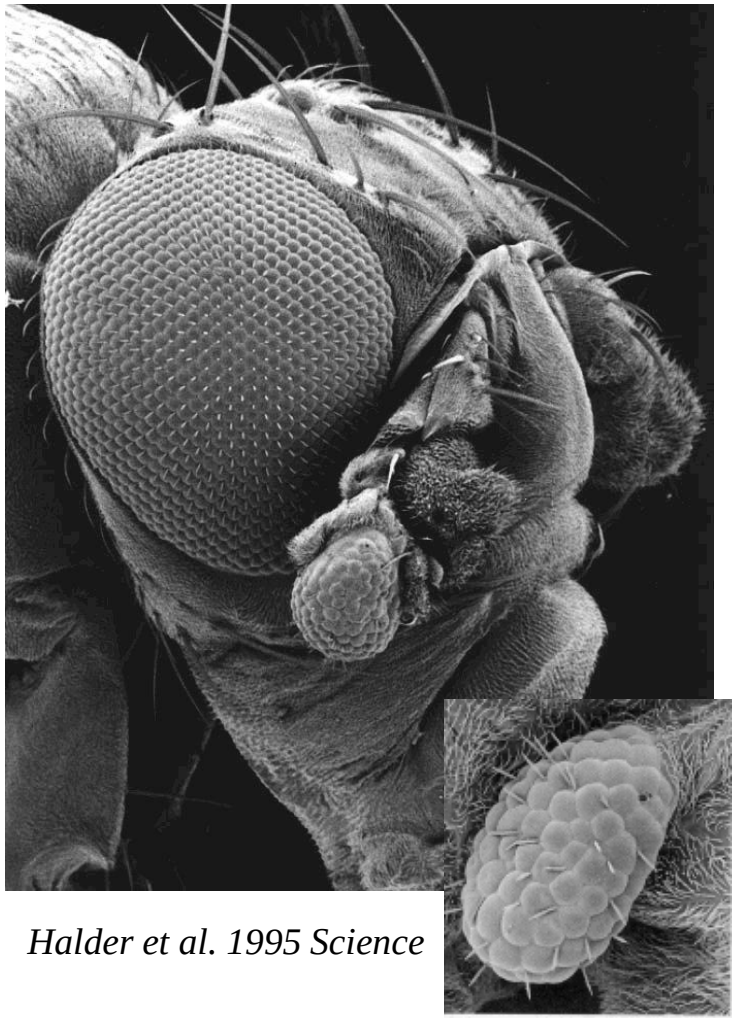
Exemple 2: Pax-6 et la notion de « gène-maître »



L'inactivation (par mutation) du gène *Eyeless* empêche la formation de l'œil chez la drosophile

→ Le gène *Eyeless* est nécessaire à la formation de l'œil chez la drosophile

Pax-6 et la notion de « gène-maître »



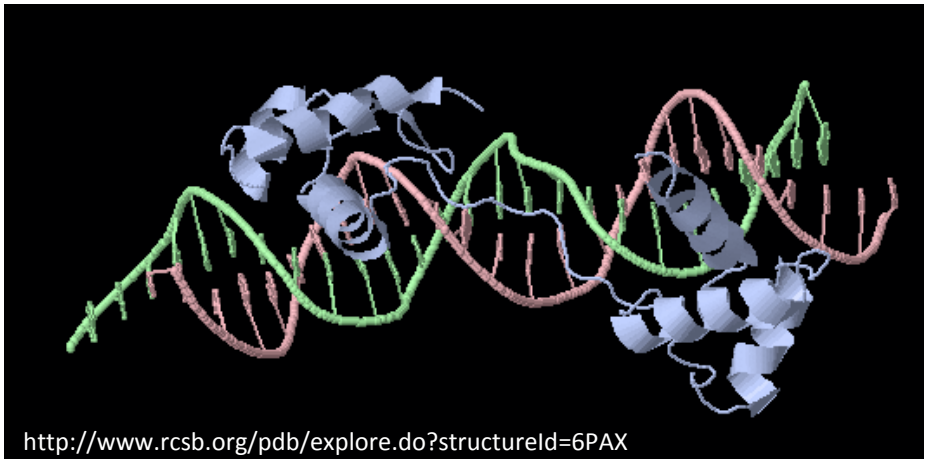
Halder et al. 1995 Science

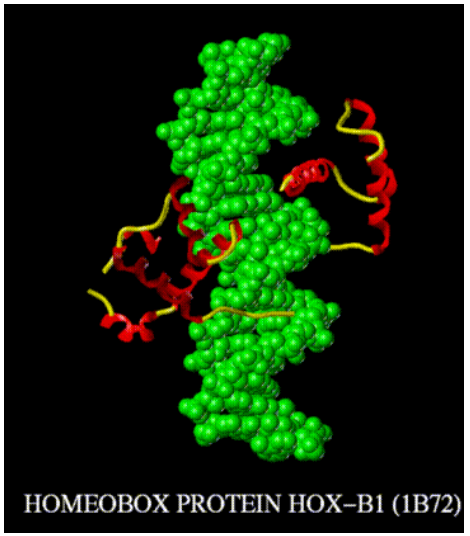
L'expression du gène *Eyeless* au cours du développement de la drosophile est suffisante pour former un œil!

Le gène *Eyeless* est nécessaire et suffisant à la formation de l'œil chez la drosophile → gène – maître

Il existe des gènes dont la fonction principale est de contrôler le développement

Fonction moléculaire des gènes de développement





- Les gènes homéotiques et Eyeless codent pour des facteurs de transcription
- Ces facteurs sont des protéines qui ont la capacité de se lier à des sites spécifiques sur l'ADN.
- La liaison entre le FT et l'ADN active l'expression des gènes avoisinants
- Ils contrôlent ainsi la synthèse d'une série de protéines impliquées dans le développement

Les facteurs de transcription jouent un rôle majeur dans le développement embryonnaire en contrôlant la portion du patrimoine génétique réellement exprimée par chaque cellule.

Facteurs de transcription et programmes développementaux

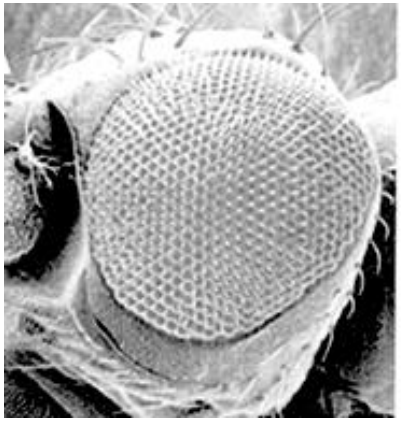
Eyeless

↓

Programme développemental de l'oeil

Ensemble des gènes cibles contrôlés par le facteur de transcription Eyeless

↓



Antennapedia

↓

Programme développemental de patte

Ensemble de gènes cibles contrôlés par le facteur de transcription Antennapedia

↓

Image: Mao Y et al. 2006

La spécificité de l'organe formé est liée à l'ensemble des gènes cibles contrôlés par les facteurs de transcription

Conclusions concernant la génétique du développement

• A partir des années ‘70, on découvre que certains gènes ont pour fonction principale de contrôler le développement embryonnaire.

•Dans un premier temps, les recherches portent sur le développement de la drosophile. Elles seront récompensées par le prix Nobel en 1995.

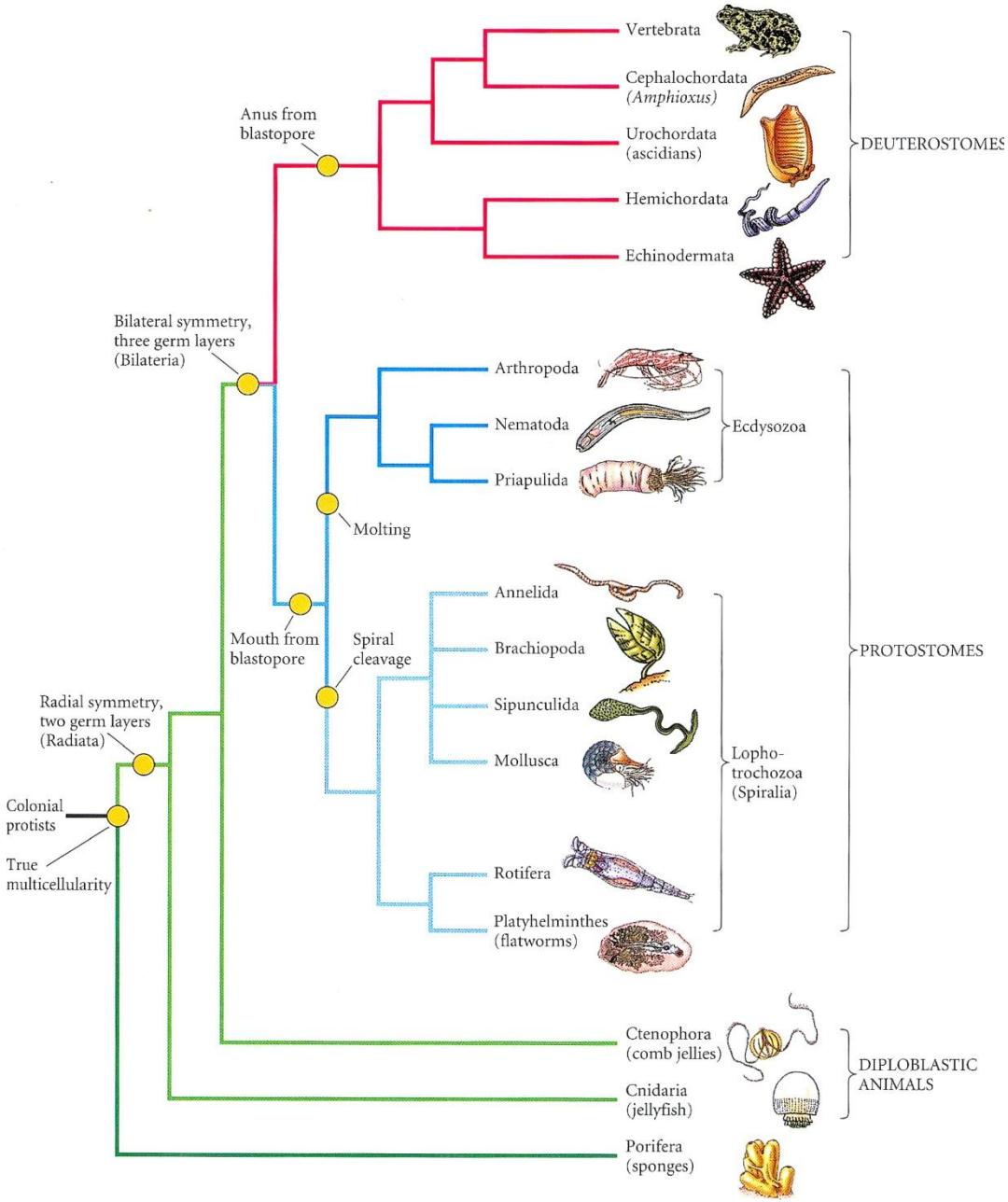
• Parmi les gènes de développement, certains codent pour des facteurs de transcription. En contrôlant l’expression d’un ensemble de gènes cibles, ils spécifient l’identité des cellules.

• Très vite, l’attention se porte sur l’existence de ces gènes de développement chez les mammifères

La théorie de l'évolution aujourd'hui

Similitudes et variations:
Evolution des processus développementaux

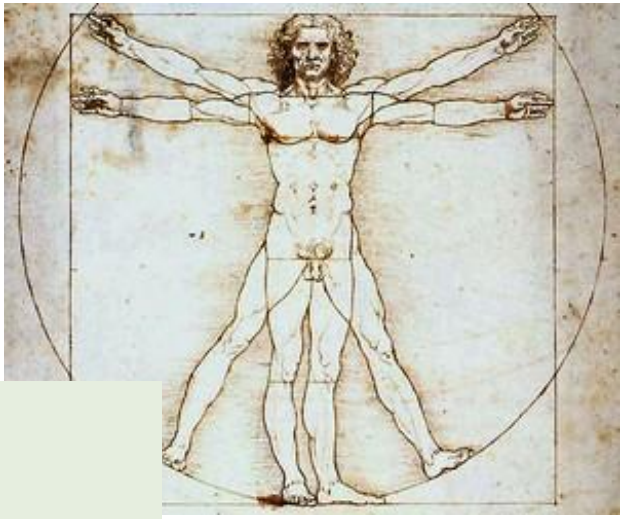
Parenté et évolution des animaux pluricellulaires

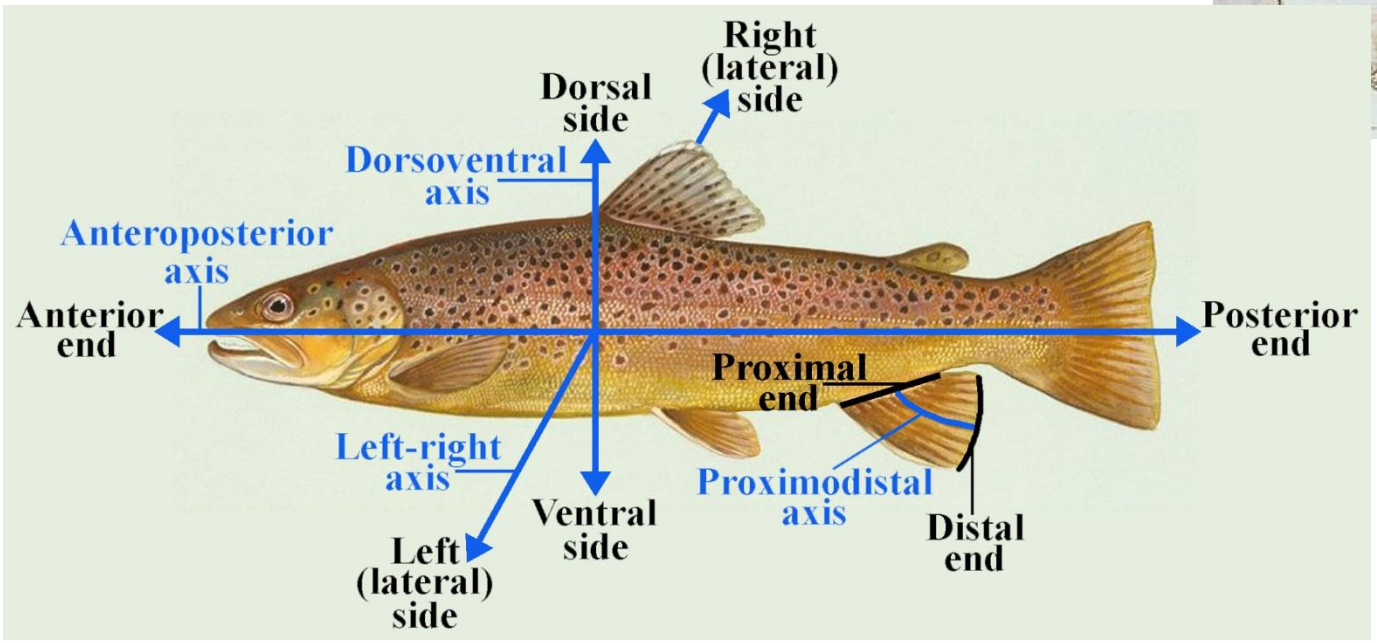


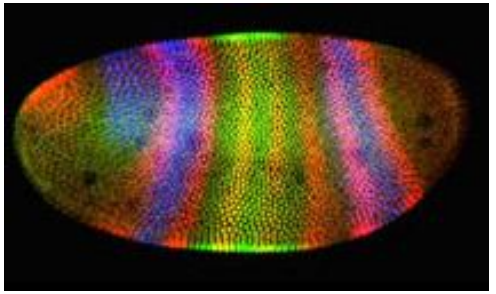
On observe:

- Une grande variété de formes
- Des principes d'organisations communs

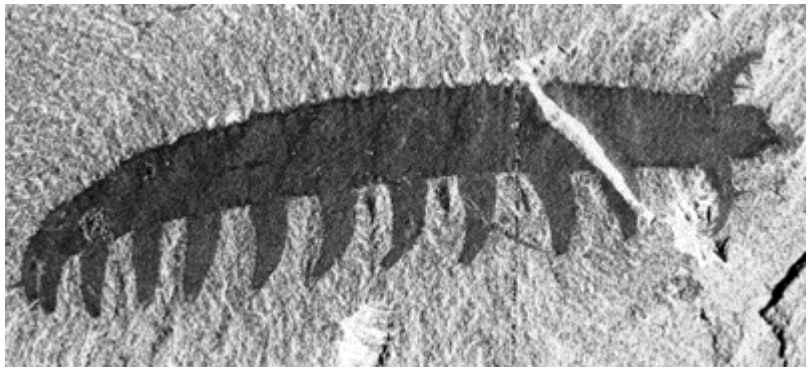
Organisation selon des axes

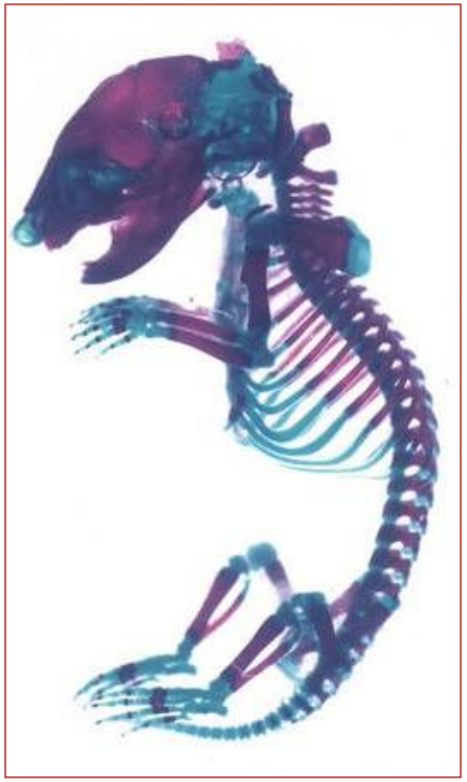


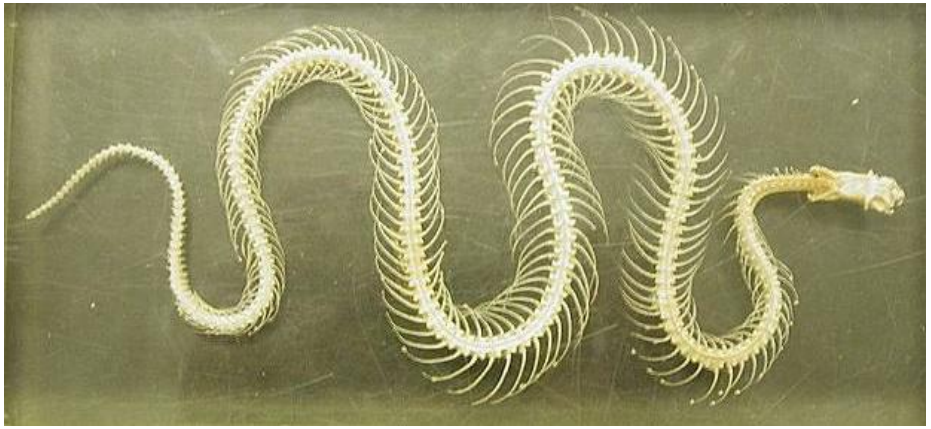




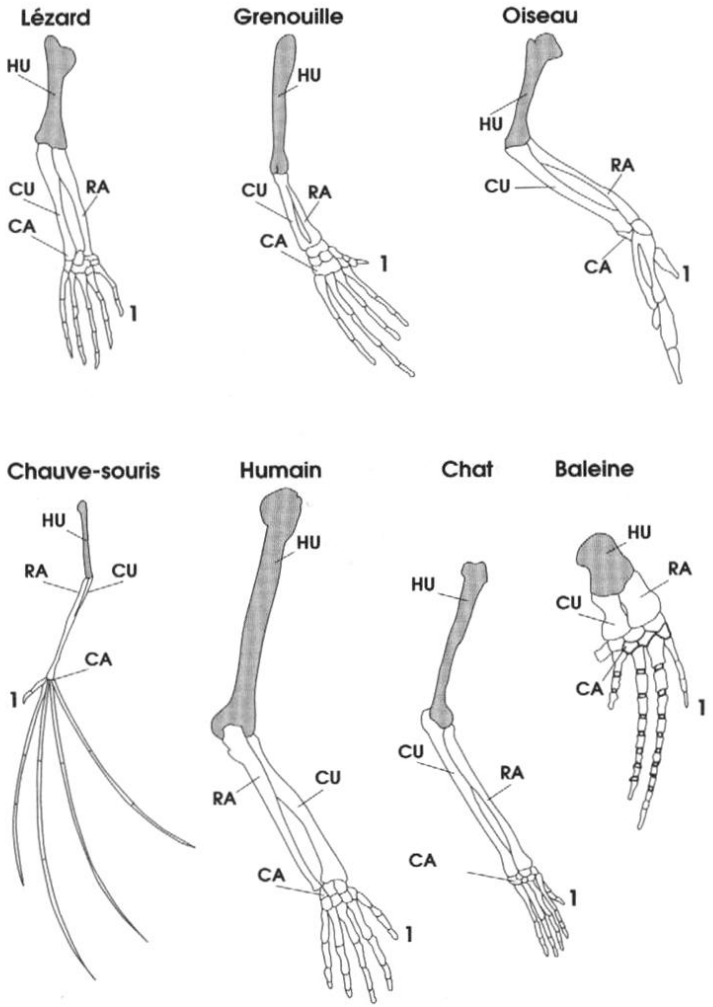
Architecture modulaire







Organes homologues



Des organes partagés par des espèces différentes sont qualifiés d'« homologues » quand ils dérivent d'une même structure présente chez leur ancêtre commun. Par contre, on parlera d'organes analogues lorsque des espèces portent des organes qui se ressemblent, peuvent avoir la même fonction mais proviennent, d'un point de vue évolutif, de structures différentes.

Ces similitudes d'organisation sont-elles la conséquence de processus développementaux communs?

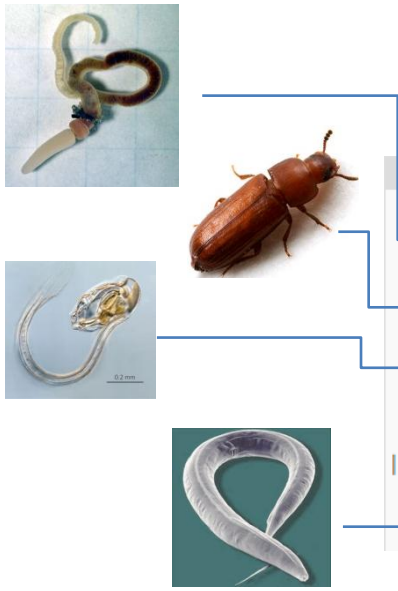
«… Embryologists are confronted with an ensemble of unique phenomena… we cannot expect to discover a general theory of development, rather we are faced with a near infinitude of particulars, which have to be sorted out case by case »

Gunther Stent (From probability to molecular biology, 1984. Cell 36:463-466)

« Much that has been learned about gene physiology makes it evident that the search for homologous genes is quite futile except in very close relatives. If there is only one efficient solution for a certain functional demand, very different gene complexes will come up with the same solution, no matter how different the pathway by which it is achieved. The saying « Many roads lead to Rome » is as true in evolution as in daily affairs. »

Ernst Mayr (Animal Species and Evolution, 1966)

Alignement des protéines PAX6: zoom sur le domaine de liaison à l'ADN



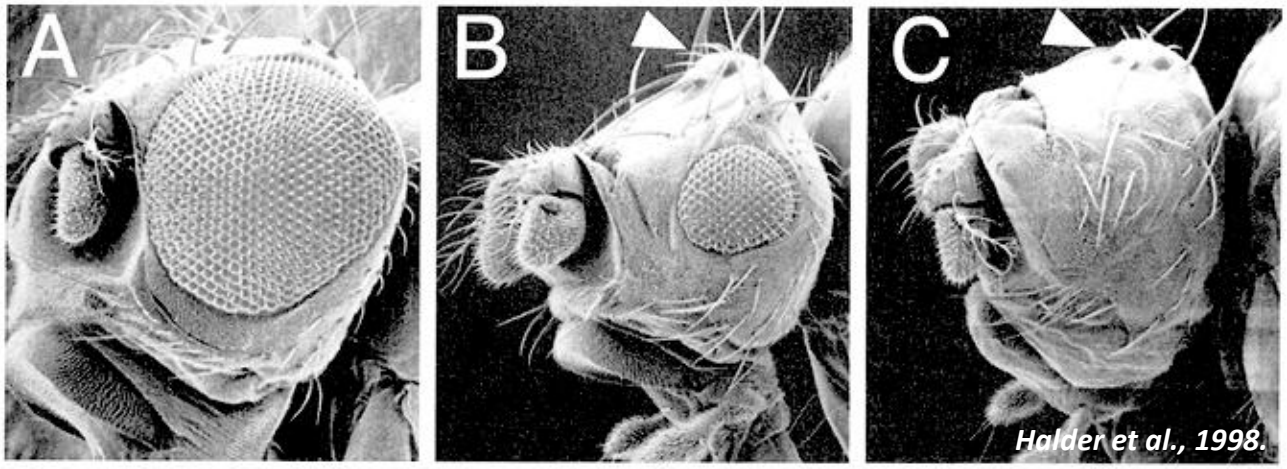
```
                                  ********* *::: **.***:************** *: **********************
                    Human|PAX6_HUMAN LQRNRTSFTQEQIEALEKEFERTHYPDVFARERLAAKIDLPEARIQVWFSNRRAKWRREE
                        Sacko|Q7YTC0 LQRNRTSFTQYQIETLEKEFERTHYPDVFARERLAQKIDLPEARIQVWFSNRRAKWRREE
                        Drome|O18381 LQRNRTSFTNDQIDSLEKEFERTHYPDVFARERLAGKIGLPEARIQVWFSNRRAKWRREE
                        Trica|A8VFE9 LQRNRTSFTNDQIDSLEKEFERTHYPDVFARERLAAKIGLPEARIQVWFSNRRAKWRREE
                        Ciona|Q4H2Y8 LQRNRTSFTQIQVEALEKEFERTHYPDVFARERLATKIDLPEARIQVWFSNRRAKWRREE
                       Oikodi|Q2TI60 LQRNRTSFTQQQIESLESEFERTHYPDVFARERLATKIGLPEARIQVWFSNRRAKWRREE
                    Lotgi|e_gw1.86.103.1 LQRNRTSFTASQIESLEKEFERTHYPDVFARERLAQKIDLPEARIQVWFSNRRAKWRREE
                        Brafl|O61988 LQRNRTSFTQEQIEALEKEFERTHYPDVFARERLAAKIDLPEARIQVWFSNRRAKWRREE
                |estExt_fgeneshl_pg.C_290 LQRNRTSFTTQQIEELEKEFEKTHYPDVFARERLAQKLDLPEARIQVWFSNRRAKWRREE
                    Strpu|GLEAN3_06787 LQRNRTSFTAQQIEELEKEFERTHYPDVFARERLAQKIDLPEARIQVWFSNRRAKWRREE
                        Caeel|Q17357 LQRNRTSFTQVQIESLEKEFERTHYPDVFARERLAQKIQLPEARIQVWFSNRRAKWRREE
```

La séquence en acides aminés du facteur de transcription « PAX 6 » est extrêmement conservée entre espèces animales très divergentes.

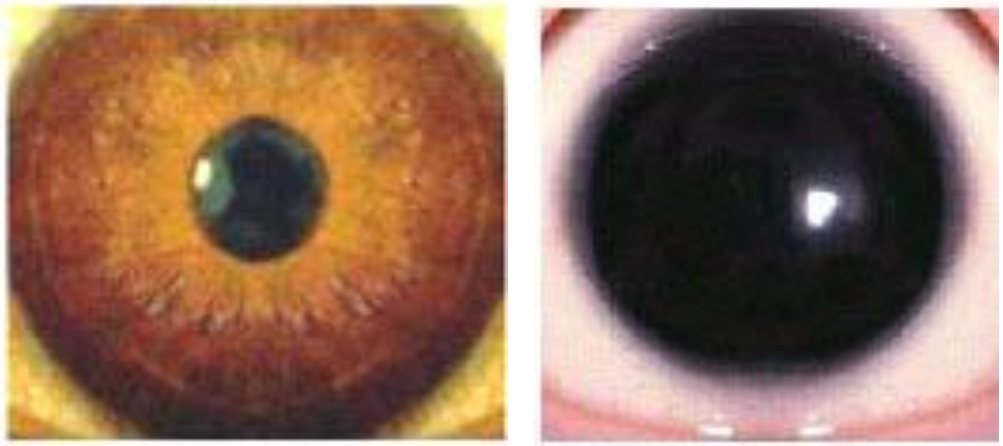
→ La fonction de PAX-6 - « gène-maître » de la formation de l'œil – est-elle également conservée?

Merci à Morgane Thomas-Chollier

Conservation de la fonction des protéines Ey/PAX6



La mutation *Eyeless / Pax-6* empêche la formation de l'œil chez la drosophile.



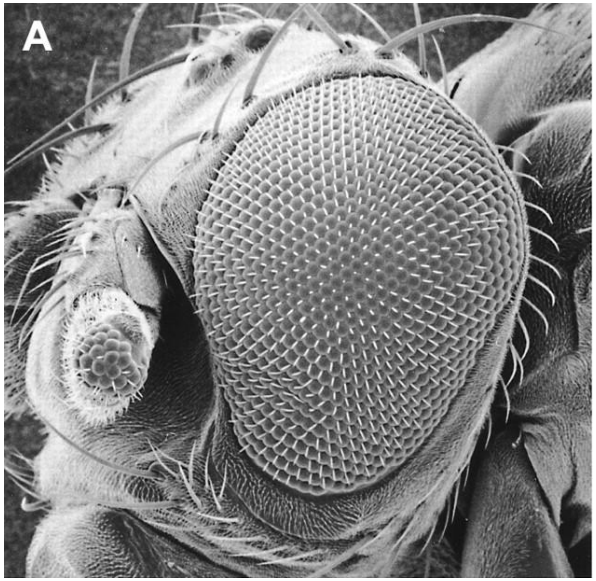
La mutation du gène *Pax-6* entraîne un défaut de formation de l'iris (aniridie) chez l'humain.

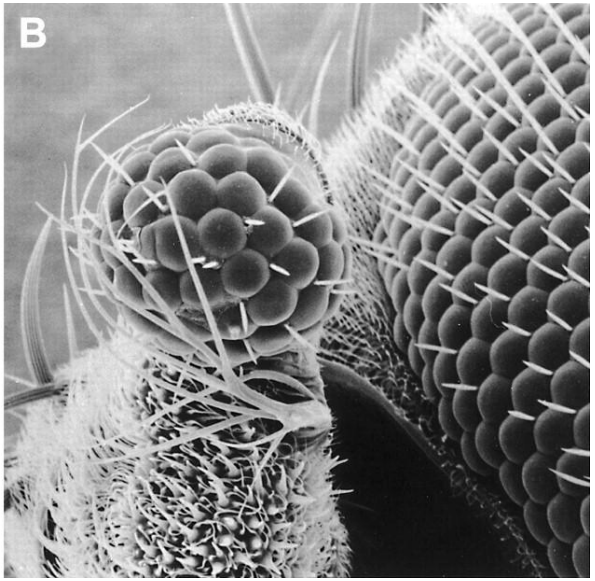
Le gène *Ey/Pax-6* est nécessaire à la formation de l'œil chez la drosophile et chez les vertébrés → conservation de fonction!!!

Conservation de la fonction des protéines Ey/PAX6

Halder et al. 1995
Science

L'expression ectopique du gène PAX6 de souris au cours du développement de la drosophile est suffisante pour former un œil…. de drosophile!





On parle **d'homologie fonctionnelle** entre *Eyeless* (drosophile) et *Pax-6* (souris)

Bases moléculaires de la spécificité de forme d'oeil

PAX6

Ey

Programme développemental « humain »

Ensemble de gènes – cibles activés par le facteur transcriptionnel PAX6

Réseau de régulation « humain »

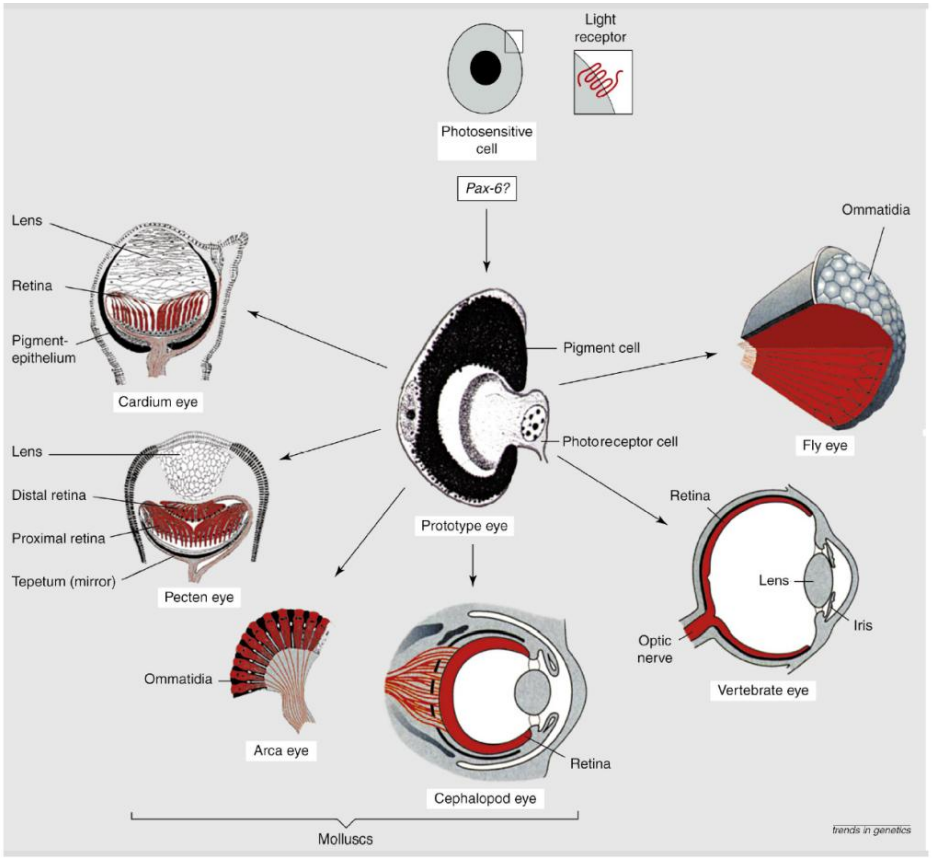
Programme développemental « drosophile »

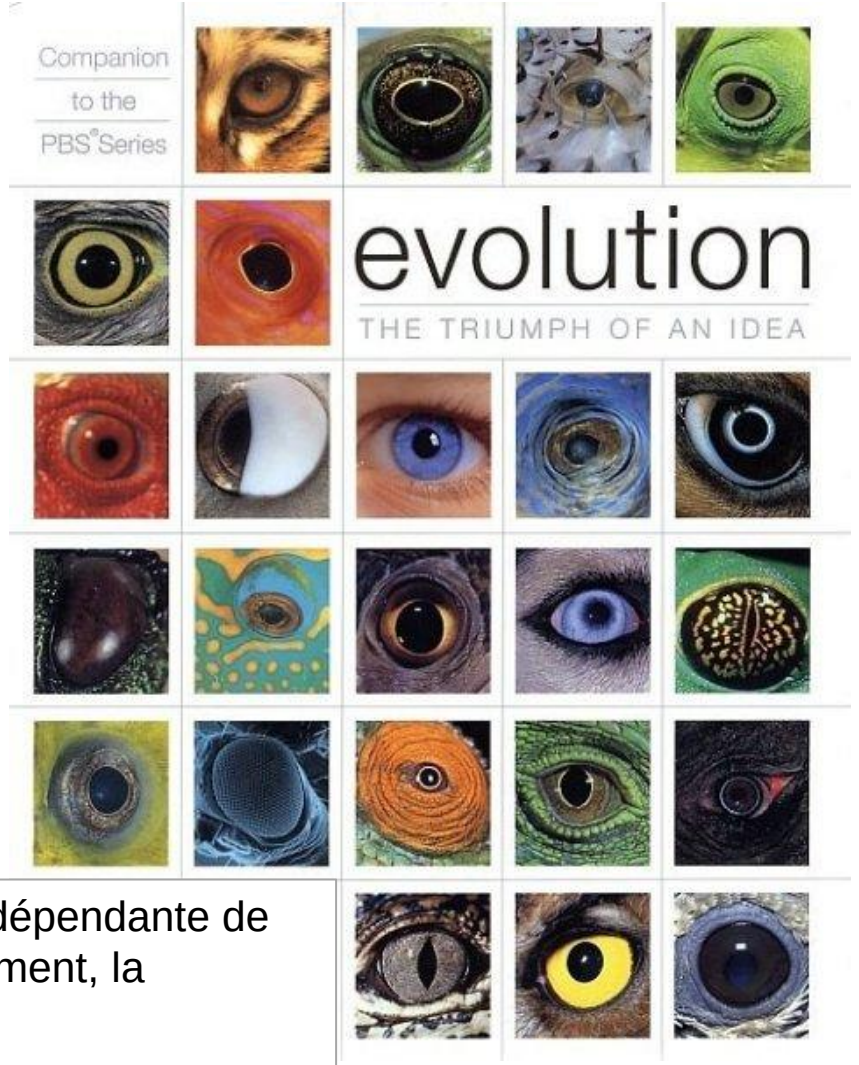
Ensemble de gènes cibles activés par le facteur transcriptionnel EY

Réseau de régulation « drosophile »

La spécificité de la forme de l'œil est liée à la spécificité de l'ensemble des gènes cibles contrôlés par les protéines EY/PAX6

Modèle de l'évolution de l'oeil

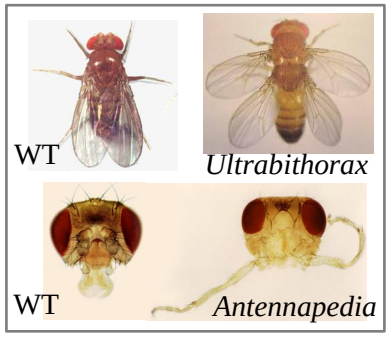


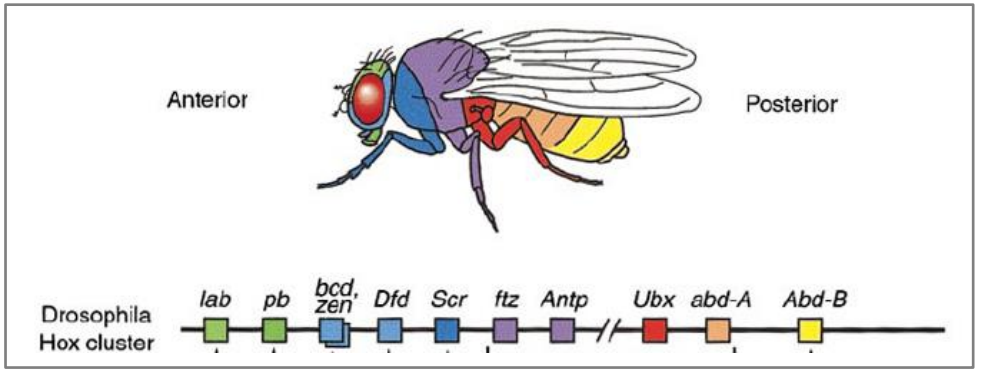


- Structure photoréceptrice rudimentaire ancestrale dépendante de PAX 6 et caractérisée par la présence d'un photopigment, la rhodopsine

- Formation / Recrutement de structure annexes (lentilles) diversifiées dans les différentes groupes d'animaux → recrutement de nouveaux gènes cibles

Conservation de la fonction des gènes Hox



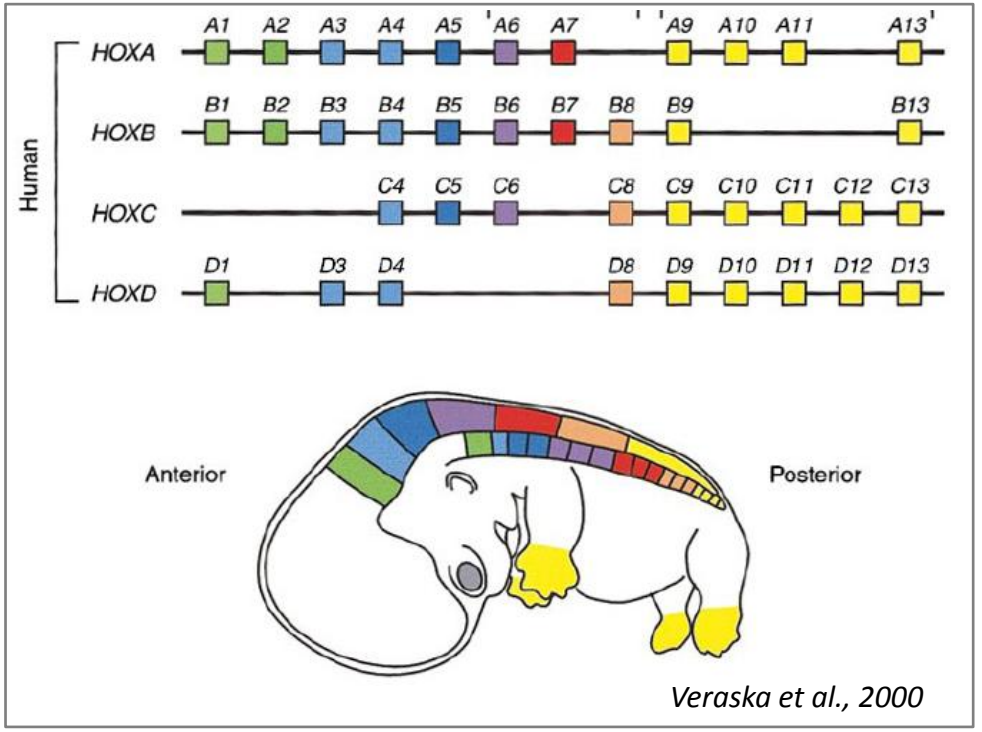


Les mutations homéotiques affectent l'identité des segments chez la drosophile.

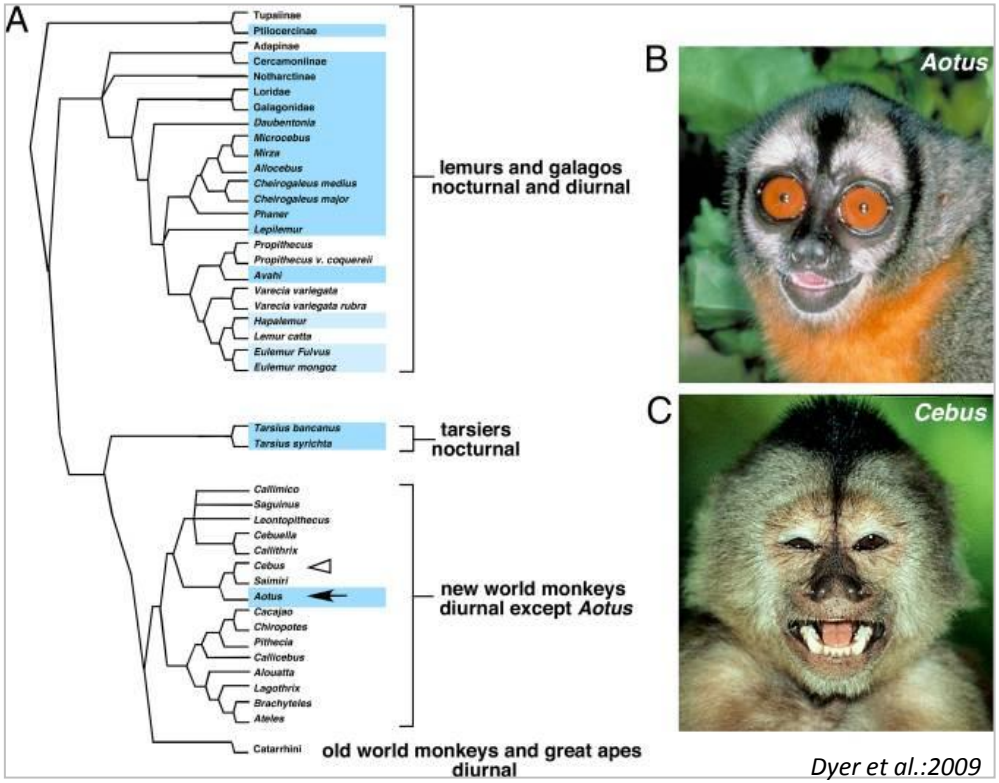
Les gènes mutés sont appelés gènes Hox. Leur fonction normale est de spécifier l'identité des segments de la drosophile au cours de son développement embryonnaire.

Ces mêmes gènes Hox sont présents chez les vertébrés.

Tout comme chez la drosophile, ils spécifient l'identité des segments au cours du développement embryonnaire.



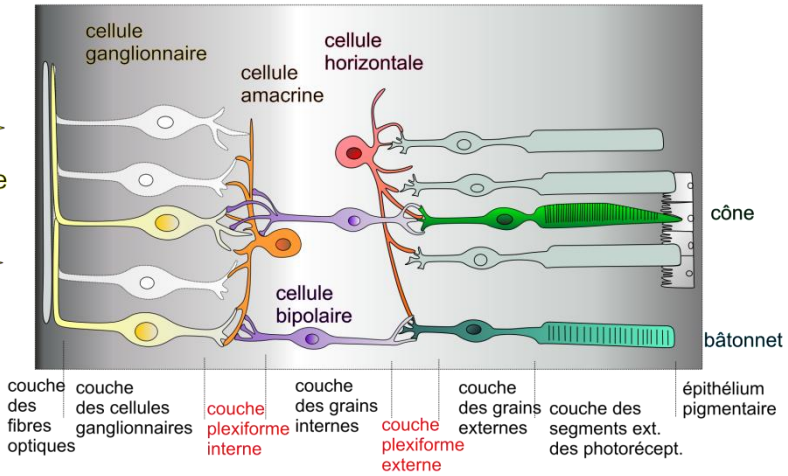
Variations entre espèces: l'exemple du singe hibou



Dyer et al.:2009

Lumière

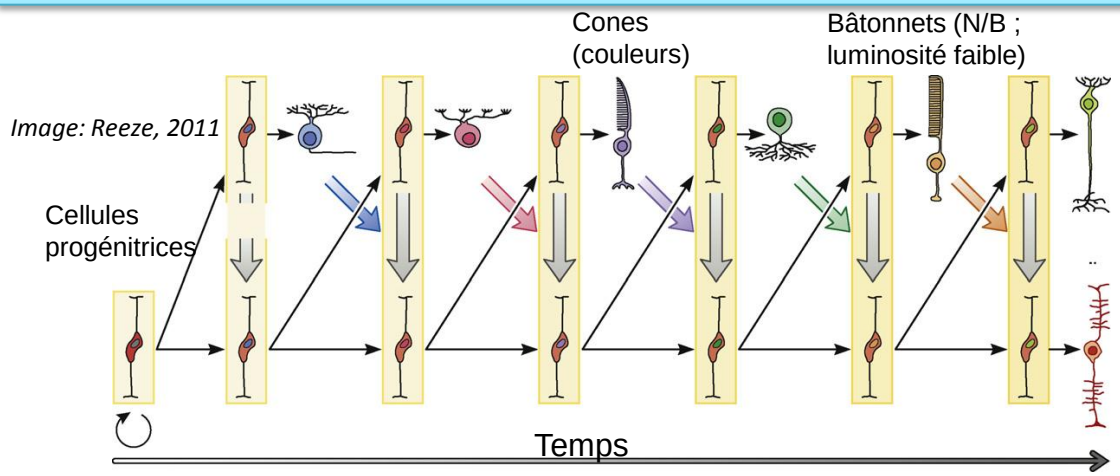
Schéma de la rétine



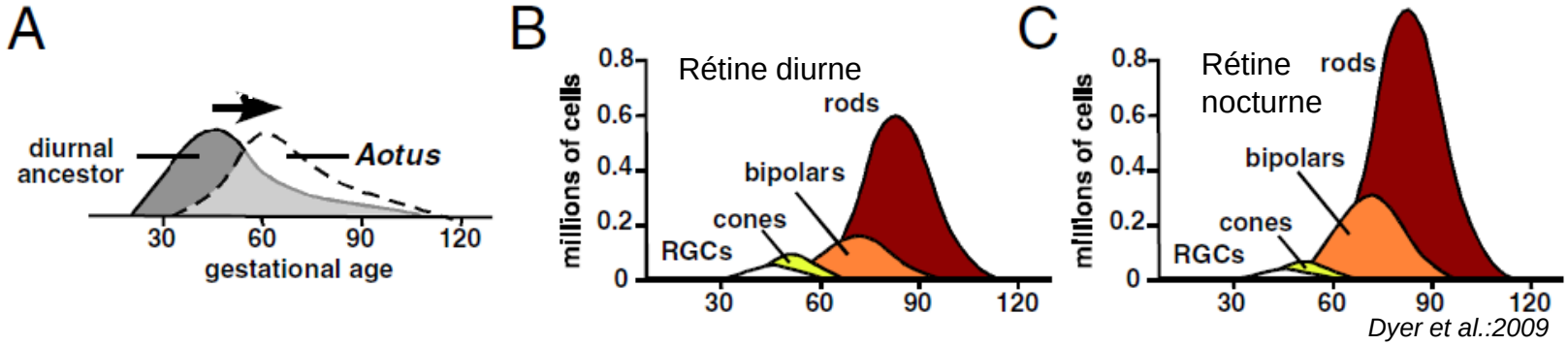
Source: wikipedia

- Singe hibou (douroucoulis commun ou *Aotus*) = seule espèce de singe nocturne
- Proche cousin du singe capucin (*Cebus*), diurne
- Différences anatomiques au niveau des yeux:
  - ❖Taille
  - ❖Composition cellulaire: proportion de bâtonnets beaucoup plus élevée chez *Aotus*

Variations entre espèces: l'exemple du singe hibou



Les différents types de cellules de la rétine se forment de manière séquentielle



• La sur-représentation des bâtonnets chez le singes hibou s'explique par un décalage dans le temps du développement de la rétine (hétérochronie).

➢ De « simples » différences en terme de « timing » de développement peuvent provoquer des changements drastiques de la structure des organes formés!

• Ce type de décalage s'explique souvent par des changement dans la régulation de l'expression des gènes → relation facteurs de transcription / gènes-cibles.

Conclusion

« … a study of the effects of genes during development is as essential for an understanding of evolution as are the study of mutation and that of selection. »

Julian Huxley (Evolution: The Modern Synthesis, 1942)

• La question des gènes du développement et de leur évolution a été véritablement entamée fin ‘60, début ‘70.

• Contrairement aux prédictions, les gènes et les processus de développement sont incroyablement conservés.

• Nous sommes à présent dans la deuxième phase du programme de « l’ Evo Devo » → comprendre les variations entre individus d’une même espèce ou entre espèces proches ou distantes.