

historique

idéalisme de Platon (428-348 ACN)

les phénomènes naturels sont des représentations imparfaites de la vraie essence d'un monde idéal invisible (allégorie de la caverne)

le monde des essences étant parfait, tout changement est illusoire

cela inhibe toute possibilité de développer l'idée d'évolution

la forme d'une structure dépend de sa fonction puisque la fonction dicte la forme

la forme de l'univers dépend de sa fonction de bien et d'harmonie imposée par un créateur extérieur

Aristote (384-322 ACN), fondateur de la biologie (entre autres)

le développement des organismes est expliqué de façon téléologique

la forme adulte est le but final de l'embryon

elle impose les changements se produisant chez les formes immatures

création consciente et téléologie conduiront à l'idée que les organes et les organismes ont tous une utilité particulière

à connecter aux classifications de l'époque où les minéraux, plantes, animaux sont classés en fonction de leur utilité pour l'homme

les espèces sont organisées selon une échelle de la Nature, du plus imparfait au plus parfait

cette idée durera longtemps jusqu'à devenir la grande chaîne des êtres, organisée selon un principe de continuité (la nature ne fait pas de sauts)

l'homme n'est pas nécessairement au sommet

l'échelle présente des trous (discontinuités, chaînons manquants)

cette observation conduira Voltaire (1694-1778) à suggérer que certaines espèces se sont peut-être éteintes

Leibniz (1646-1716) ira plus loin en proposant que des changements évolutifs sont à l'origine des trous (extinction, transformation)

il suggérera même que des espèces partageant des caractéristiques communes dérivent peut-être d'une seule race originale

cette révolution conceptuelle propose en fait que l'univers n'ait pas été créé parfait, mais doit passer par plusieurs étapes avant d'atteindre la perfection

les discontinuités déclenchent des expéditions lointaines destinées à découvrir les chaînons manquants

cela va avoir de profonds effets sur la classification du vivant

Carl von Linné (1707-1778), fondateur de la systématique

Systema Naturae (dixième édition, 1758)

conception essentialiste (typologique) de l'espèce

l'espèce est une catégorie naturelle, invariable et parfaitement fixe

créées dès l'origine, leur nombre n'a pas changé depuis (fixisme)

chacune est fondée sur un archétype invariable, dont les divers individus (issus d'un seul couple) n'en sont que des reproductions plus ou moins fidèles

classification naturelle à approcher

les espèces forment la base d'une hiérarchie de catégories de plus en plus larges, mais de même nature, fondées sur un type invariable et définies par la possession de caractères communs : espèce, genre, ordre, classe et règne

rapidement, s'ajouteront la famille et l'embranchement

nomenclature binomiale (latine)

le nom d'espèce est toujours précédé du nom de genre (Homo sapiens)

la catégorie fondamentale est le genre (qui réunit) au sein duquel les espèces (qui distinguent) se différencient par accident

à l'époque, il n'y a encore aucune idée de la durée des temps géologiques et aucune place pour une évolution généralisée

Georges Buffon (1707-1788)

Histoire naturelle (1753)

il propose de multiplier l'âge de la Terre par 100

il introduit la conception biologique de l'espèce, basée sur l'interfécondité

"C'est en comparant la nature d'aujourd'hui avec celle des autres temps et les individus actuels aux individus passés, que nous avons pris une idée nette de ce qu'on appelle espèce, et la comparaison du nombre ou de la ressemblance n'est qu'une aide accessoire et souvent indépendante de la première, car l'âne ressemble au cheval plus que le barbet au lévrier, et cependant le barbet et le lévrier ne font qu'une même espèce, puisqu'ils produisent ensemble des individus."

en revanche, il reste fidèle à une conception fixiste de l'espèce

Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829)

Philosophie zoologique (1809)

conception nominaliste de l'espèce

totale et artificielle, l'espèce n'est qu'un concept opératoire

cette souplesse lui permet d'aborder la transformation des espèces

interprétation transformiste

basée sur l'observation des mollusques fossiles

les espèces se modifient au cours du temps, à partir d'un état primitif très simple apparaissant par génération spontanée (toujours de rigueur à l'époque)

les créatures fraîchement apparues s'engagent continuellement dans un processus d'accroissement de la complexité qui les fait gravir l'échelle des êtres (en fait, un arbre et non une échelle)

l'origine de cette tendance à la perfection n'est pas claire, mais elle est codifiée dans deux lois de la Nature (qui sont en fait reprises de l'antiquité)

principe de l'usage et du non-usage

"Dans chaque animal qui n'a pas passé la limite de son développement, a usage plus fréquent et continu d'un organe donné a pour effet de graduellement le renforcer, le développer, l'agrandir et lui conférer un puissance proportionnelle à la durée durant laquelle il a été utilisé; à l'inverse, le non-usage permanent d'un organe conduit imperceptiblement à son affaiblissement, à sa détérioration et à la réduction progressive de sa capacité fonctionnelle, jusqu'à son ultime disparition."

hérédité des caractères acquis

"Toutes les acquisitions ou pertes imposées par la Nature aux individus, à travers l'influence de l'environnement où leur race a été placée pendant longtemps, et donc par le biais de l'influence de l'usage prédominant ou le non-usage permanent d'un organe quelconque; toutes sont préservées par la reproduction dans les nouveaux individus qui apparaissent, à condition que la modification acquise soit commune aux deux sexes, ou à tout le moins aux individus qui produisent les jeunes."

les idées de Lamarck connurent peu de succès

Etienne Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1844)

notion d'homologie

"Sont homologues deux organes qui ont la même situation dans un plan d'organisation, c'est-à-dire la même origine embryonnaire. Homologie n'implique pas ressemblance, car deux organes homologues peuvent n'avoir ni la même taille, ni la même forme, ni la même fonction: ainsi la patte antérieure du cheval, l'aile de la chauve-souris et la palette natatoire de la baleine sont homologues."
elle suscite de grands progrès en anatomie comparée

les similitudes dans l'embryogenèse des vertébrés sont notées par Karl von Baer (1792-1876), mais la conception fixiste du vivant n'est pas remise en cause

Charles Darwin (1809-1882)

L'origine des espèces (1859)

à la suite d'un long voyage autour du monde qui l'avait conduit à douter de la fixité des espèces et en s'appuyant sur les idées (Essay on Population) de l'économiste Thomas Malthus (1766-1834), Darwin élabore une théorie de l'évolution présentant d'emblée une cohérence interne

il s'agit du concept de descendance avec modification expliquée par le biais de la sélection naturelle

elle peut-être résumée selon le schéma suivant...

son pouvoir explicatif est énorme et elle donne un sens nouveau à bon nombre de connaissances et de concepts antérieurs

si la notion de descendance avec modification a été relativement vite adoptée par la communauté scientifique, son mécanisme posait problème

en effet, le couple variabilité/sélection naturelle ne peut expliquer la descendance avec modification que si la variabilité en question est héréditaire

or, à l'époque, aucune théorie valable de l'hérédité n'est disponible

Darwin adopte à regret l'hérédité des caractères acquis

Gregor Mendel (1822-1884)

pourtant, dès 1865-1866, Mendel a publié ses découvertes sur l'hérédité chez le petit pois; ce sont les débuts de la génétique

il y introduit (sans toujours les nommer) les concepts de gène, d'allèle, d'allèles dominant ou récessif, d'homozygote et d'hétérozygote

il énonce également les deux lois fondamentales de l'hérédité

les schémas suivants vont aider à comprendre ces notions...

Darwin n'est apparemment pas au courant de ces travaux (qui resteront confidentiels jusqu'à leur redécouverte au début du XXe siècle)

de toute façon, cette nouvelle théorie de l'hérédité ne lui aurait pas convenu pour deux raisons

les lois de Mendel montrent la transmission de parents à descendants de gènes absolument immuables (pas de solution au problème de la variabilité héréditaire dont Darwin a besoin)

les caractères transmis sont discontinus (alors que Darwin insistait beaucoup sur la progressivité de l'évolution, en se fondant sur la nocivité évidente de certaines variations brusques apparues chez des espèces domestiques)

August Weismann (1834-1914)

il défend l'indépendance entre le "germen" et le "soma" et élimine par conséquent la notion d'hérédité des caractères acquis (1883-1888)

débarassée de ses relents larmarckiens, la théorie de l'évolution de Darwin est renommée néo-darwinisme en 1898

la sélection y est vue comme toute puissante et créatrice

Théorie synthétique de l'évolution

après un certain nombre de péripéties impliquant des théories concurrentes et voyant la naissance de la biologie des populations, la fusion entre néo-darwinisme et génétique sera réalisée aux alentours de la seconde guerre mondiale
oeuvre notamment de Theodosius Dobzhansky (1900-1975), de George Simpson (1902-1984) et de Ernst Mayr (1904-2005), cette fusion aura pour nom "théorie synthétique de l'évolution"

c'est dans cette incarnation moderne que le darwinisme est devenu l'unique paradigme de la biologie contemporaine

cela dit, il a continué à évoluer en s'enrichissant des découvertes récentes venues de divers sous-disciplines de la biologie

spéciation

la population mère doit d'abord se séparer en deux groupes

cela peut se faire selon différents modes

ensuite, des mutations apparaissent dans chacun des groupes et se répandent à l'ensemble des individus par le biais des flux de gènes

après un certain temps, les pools génétiques des deux groupes ne sont plus compatibles ; il y a eu isolement reproductif et spéciation

la séparation originale en deux groupes peut se faire par un moyen spatial (spéciation allopatrique) ou par un moyen autre (spéciation sympatrique)

dans ce dernier cas, l'isolement reproductif est la cause de la spéciation plutôt que sa conséquence

il peut avoir une origine génétique, écologique ou éthologique

la définition de l'espèce selon Dobzhansky découle donc du phénomène de spéciation : "Des espèces se forment lorsque ce qui était jusqu'alors un ensemble de populations aptes à l'inter-croisement se scinde en au moins deux ensembles génétiquement isolés. Les espèces sont donc des groupes de populations entre lesquels les échanges génétiques sont rendus impossibles par des mécanismes d'isolement reproductif."

icônes de l'évolution

il existe de véritables icônes de l'évolution, chacune illustrant un ou plusieurs aspects de la théorie (soit initiale de Darwin, soit synthétique) ; exemples

homologie des membres antérieurs des tétrapodes

la critique est fondée sur l'illusion que la définition moderne de l'homologie est circulaire, ce qui est inexact mais prend du temps à expliquer

embryons de vertébrés

Wells s'appuie sur les dessins tendancieux de Haeckel, ainsi que sa loi de recapitulation trop optimiste pour nier les ressemblances réelles qui existent entre les embryons de vertébrés

archéoptéryx

la critique est complètement infondée : elle confond la généalogie d'une famille avec la généalogie des groupes phylogénétiques ; personne ne prétend qu'Archaeopteryx est l'ancêtre direct des oiseaux, mais bien qu'il appartient au groupe de reptiles à plumes à partir duquel les oiseaux ont évolué

mélanisme industriel

Wells joue notamment sur le fait qu'il ne s'agit que d'un phénomène de sélection à petite échelle (micro-évolution) où une variété parmi deux pré-existantes est avantagée ; sur ce point, il n'a pas tort, même si d'autres critiques apportées à cette icône sont relativement inintéressantes (photos truquées)

pinsons de Darwin

à nouveau la critique pointe le fait que les grandes études réalisées au XX^e siècle sur le sujet n'ont pas réussi à prouver l'existence d'une tendance évolutive nette

vers la spéciation ; ici aussi, il n'a pas tout à fait tort, même si les darwiniens orthodoxes écument de rage à ce propos ; pourtant, on verra plus loin que d'autres explications évolutives existent à ce propos

critiques des créationnistes

elles se situent à deux niveaux

descendance commune

loufoque (on va le voir immédiatement)

mécanisme de l'évolution : couple mutation / sélection naturelle

plus discutable (on en parlera plus loin)

aux USA, aucune concession à l'orthodoxie (crainte des créationnistes)

en Europe, vision plus nuancée

examinons d'abord le problème de la descendance avec modification

diversité du Vivant

beaucoup plus diversifié que ce que l'on pense

trois empires

deux procaryotes (petites sans noyau = bactéries)

un eucaryote

grosses cellules avec un noyau et d'autres organites

diversité des eucaryotes

là encore, elle est énorme

notons la place des règnes connus du grand public

animaux

plantes

champignons

malgré cette énorme diversité, il y a universalité des principes

briques du Vivant identiques dans tous les types de cellules

ADN, ARN

protéines

membranes cellulaires

métabolismes de base

...

le système informatique du Vivant est le même partout

l'ADN stocke l'information génétique

les chromosomes contiennent des milliers de gènes

les gènes sont transcrits en ARN

les ARN sont traduits en protéines

chaque triplet (codon) de l'ARN spécifie un acide aminé précis

ce code génétique est également universel

il est en plus complexe car dégénéré

$3^4 = 64$ possibilités pour seulement 20 acides aminés

phylogénie moléculaire

à côté des caractères morphologiques, on peut utiliser les gènes pour établir les liens de parenté entre organismes

un exemple classique est le cytochrome c

on commence par aligner les cytochromes c de différentes espèces, c'est-à-dire mettre en correspondance les positions qu'on pense dérivées d'une position ancestrale commune

parfois, il faut introduire des trous pour préserver l'alignement

ensuite, on applique différents algorithmes pour obtenir un arbre phylogénétique

ces arbres collent bien avec les données morphologiques

de plus, ils mettent en lumière l'existence d'une sorte d'horloge moléculaire

son existence démontre qu'un très grand nombre de mutations échappent à la sélection naturelle et se fixent de manière stochastique (théorie neutraliste de l'évolution)

tout ceci démontre que l'évolution a bien eu lieu et que les critiques des créationnistes à ce sujet sont irrecevables

reste à en examiner les mécanismes

deux écoles s'affrontent

ceux qui défendent la sélection naturelle à tout crin

ceux qui admettent que c'est sans doute un peu plus compliqué

voici deux citations révélatrices de la question...

commençons par le problème des mutations sources de variété héréditaire

quelques exemples de mutations ponctuelles

substitution

silencieuse

faux-sens

non-sens

insertion-délétion

frameshift

généralement, on pense que ces mutations à petite échelle ne peuvent avoir qu'un petit effet, graduel; bref de la micro-évolution ne mettant pas en danger la stabilité de l'espèce

deux réponses à cela :

il existe également des mutations à plus grande échelle

délétions de segments de chromosomes (plusieurs gènes)

duplication de segments de chromosomes

ce qui donne de nouvelles cibles à la sélection naturelle et permet de faire émerger de nouvelles fonctions à partir d'autres modifiées librement le sommet de ce genre de choses est atteint lors des duplications complètes de génomes (bien documentées) qu'on appelle polyploïdisation

ensuite, de petites mutations peuvent avoir des effets énormes si elles touchent des gènes responsables du développement embryonnaire

d'abord expliquons la notion de promoteur

ce sont des séquences en amont des gènes qui contrôlent leur expression, qui décident quand les gènes doivent être transcrits ces séquences sont reconnues par des protéines spéciales appelées facteurs de transcription

les gènes architectes sont des super-facteurs de transcription qui contrôlent de milliers de gènes

leur mutation peut avoir des effets phénotypiques énormes sans que le croisement ne pose nécessairement de problème

inflorescence d'Arabidopsis

pattes sur la tête de la drosophile

voyons à présent le problème de la sélection et de l'adaptation

au-delà de la sélection naturelle, la théorie synthétique reconnaît aujourd'hui le rôle de la dérive génétique

il s'agit d'une évolution due au seul hasard

la conséquence est que des structures peuvent apparaître sans être sélectionnées et se révéler utiles plus tard, à la suite d'un changement de l'environnement (exaptation) ; l'organe crée la fonction

pattes de tétrapodes

ailles et plumes des oiseaux

un troisième mécanisme est actuellement proposé

il est loin d'être accepté, mais du point de vue moléculaire, il paraît réel

le génome est plein de morceaux de séquences dupliquées

différents mécanismes sont mendéliens peuvent faire s'échanger des variantes de ces régions au sein même de l'organisme

ensuite, la reproduction sexuée propage ces variantes au reste de la population (c'est le molecular drive)

la vitesse de ce phénomène est supérieure aux simples mutations et à la dérives génétique, mais inférieure à la vitesse de reproduction

le résultat net est qu'une variante d'une de ses séquences peut coloniser parallèlement l'ensemble de la population

il n'y a donc pas de reproduction différentielle

mais les nouveautés en question peuvent donner accès à de nouvelles ressources du milieu à toute la population d'un coup (adoption)

ce mécanisme a beaucoup de chances de fonctionner parce qu'on a vu que les promoteurs étaient très importants dans l'apparition de la nouveauté biologique et justement, les promoteurs sont composés de ce genre d'éléments répétés qui peuvent s'échanger entre eux

il y a donc une sorte de poussée de l'intérieur qui concerne toute la population

si cette poussée est délétère

soit la population s'éteint

soit des mécanismes compensateurs sont co-optés par sélection naturelle (co-évolution moléculaire)

à côté de ces mécanismes permanents, il faut souligner le rôle du hasard

ainsi, des espèces peuvent s'éteindre indépendamment de leur qualités intrinsèque si une catastrophe survient

la conséquence de cela est l'énorme contingence de l'évolution

d'autre part, certains événements très rares sont en mesure de créer une complexité insoupçonnée

c'est le cas de l'apparition de la cellule à noyau, résultant probablement de la fusion définitives de plusieurs cellules sans noyau

la théorie la plus récente à ce sujet est l'anneau de la Vie

conclusions

la situation est sans doute plus complexe qu'il n'y paraît

trois processus gouvernent l'évolution

couple mutation / sélection naturelle

dérive génétique

molecular drive

la biologie évolutive est une science historique

difficile d'expérimenter dessus

elle doit construire avant tout des modèles cohérents