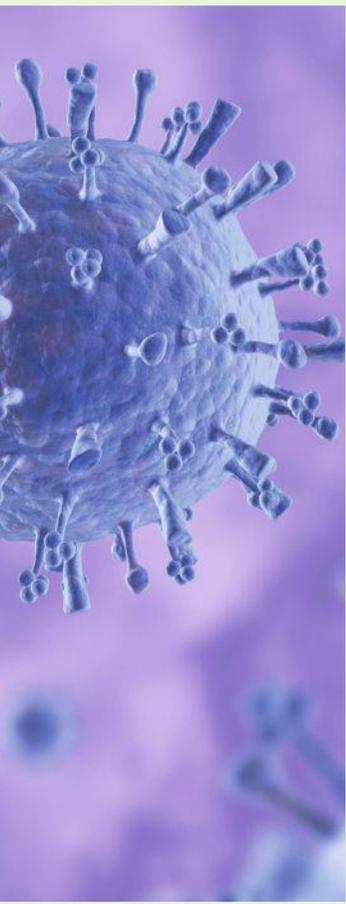


MANUELS VISUELS DE LICENCE



Biologie pour psychologues



Édition : Marie-Laure Davezac-Duhem
Fabrication : Manon Spasaro
Composition et mise en pages : Nord Compo
Impression : Macrolibros
Documentation iconographique : Daniel Boujard
Conception couverture : Pierre-André Gualino
Relecture et correction : Isabelle Chave

Nos équipes ont vérifié le contenu des sites internet mentionnés dans cet ouvrage au moment de sa réalisation et ne pourront pas être tenues pour responsables des changements de contenu intervenant après la parution du livre.

NOUS NOUS ENGAGEONS EN FAVEUR DE L'ENVIRONNEMENT :



Nos livres sont imprimés sur des papiers certifiés pour réduire notre impact sur l'environnement.



Le format de nos ouvrages est pensé afin d'optimiser l'utilisation du papier.



Depuis plus de 30 ans, nous imprimons 70 % de nos livres en France et 25 % en Europe et nous mettons tout en œuvre pour augmenter cet engagement auprès des imprimeurs français.

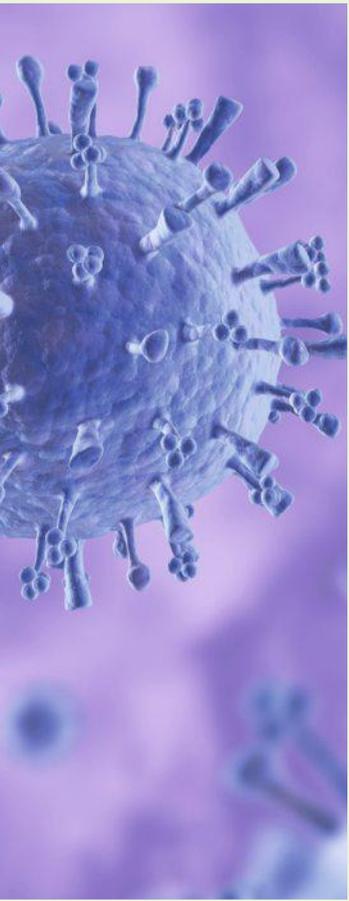


Nous limitons l'utilisation du plastique sur nos ouvrages (film sur les couvertures et les livres).

© Dunod, 2024
11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-086399-0

MANUELS VISUELS DE LICENCE

Daniel BOUJARD



Biologie
pour
psychologues

4^e édition



DUNOD

夢

觀自

菩薩

波羅

遙

弟子

菩提

僧

佛光山修持中

TABLE DES MATIÈRES

Préface

Avant-propos

1 – INTRODUCTION À LA BIOLOGIE

I. La biologie, une discipline scientifique	3
1. Les grands domaines de la biologie	3
2. La démarche scientifique	4
II. La théorie de l'évolution	5
1. L'origine des espèces ou la naissance de la théorie de l'évolution	5
2. Une théorie en perpétuelle évolution	5
III. Une brève histoire de la vie sur terre	9
1. L'origine des premiers êtres vivants	9
2. L'enseignement de la paléontologie	11
3. L'arrivée de l'homme	14

2 – LES CONSTITUANTS MOLÉCULAIRES DE LA CELLULE

I. Des atomes aux molécules	25
1. Qu'est-ce qu'un atome?	25
2. Les liaisons chimiques permettent de former des molécules constituées de plusieurs atomes	26
II. Les molécules organiques	31
1. Les glucides, une source d'énergie	31
2. Les lipides, de nombreux rôles dans la cellule	33
3. Les protéines, des molécules aux multiples fonctions	36
4. Les acides nucléiques	40

3 – ORGANISATION GÉNÉRALE DES CELLULES

I. La cellule procaryote	51
1. Une multitude de cellules procaryotes dont certaines sont pathogènes.....	51
2. Des caractères communs à toutes les bactéries	52
3. Pouvoir pathogène et antibiotiques	54
II. La cellule animale	55
1. La membrane plasmique	56
2. Le noyau.....	61
3. Un vaste réseau de membrane intracellulaire.....	65
III. Aux frontières du vivant : les virus	74
1. Les grandes étapes du cycle viral.....	74
2. Traitement des pathologies virales.....	76

4 – FONCTIONNEMENT DE LA CELLULE EUCARYOTE

I. De l'ADN aux protéines	87
1. Organisation du génome.....	87
2. De l'ADN à l'ARN : la transcription.....	90
3. De l'ARN à la protéine : la traduction	96
II. La cellule se divise	103
1. Le cycle de division cellulaire est régulé.....	103
2. La duplication de l'ADN : une réplication.....	105
III. Notion d'énergétique cellulaire	110
1. Le glucose, principal carburant de nos cellules	110
2. La respiration cellulaire	111

5 – DE L'ŒUF À L'ADULTE

I. Prolifération, différenciation et apoptose : un triptyque indissociable	122
1. Les mécanismes de la différenciation	122
2. L'apoptose indispensable au développement.....	124
II. Les grandes étapes du développement	125
1. De l'œuf au trophoblaste	125
2. Les cellules souches embryonnaires	126
3. La gastrulation, étape clef du développement.....	127
4. La formation des organes ou organogenèse	128
III. Le développement du système nerveux	130
1. Les grandes étapes de la construction du système nerveux.....	130
2. Les mécanismes de la neurogenèse.....	133
IV. Renouvellement des tissus	137
1. Les différents tissus de l'organisme	137
2. Le renouvellement des tissus	142

6 – D'UNE GÉNÉRATION À L'AUTRE

I. La reproduction sexuée	155
1. Détermination du sexe : SRY et la différenciation sexuelle.....	156
2. La formation des gamètes ou gamétogenèse.....	158
3. La fécondation	165
4. La procréation médicalement assistée	166
II. L'hérédité	169
1. Mendel, Morgan et les fondements de la génétique.....	169
2. Génotype et phénotype	169
3. Notion de génétique formelle.....	171
4. La transmission des maladies génétiques	175

7 – LES CELLULES EN SOCIÉTÉ

I. Communication cellulaire et maintien de l'homéostasie	184
II. La communication par contact direct	186
1. Les jonctions serrées ou jonctions étanches.....	186
2. Les jonctions communicantes et la synchronisation du fonctionnement cellulaire ...	187
3. Les molécules d'adhérence : ancrage et contrôle du fonctionnement cellulaire ...	187
4. Facteurs de croissance, prolifération et différenciation cellulaire.....	188
III. La communication à distance par le système encocrinien	189
1. Des cellules sécrétrices d'hormones	189
2. Des cellules cibles à récepteurs spécifiques	191
3. Un exemple : la régulation de la glycémie	192
IV. La communication à distance par le système nerveux	193
1. Les cellules du système nerveux.....	193
2. Le neurone, une cellule aux propriétés électriques remarquables.....	197
3. La synapse.....	201
4. Les neurotransmetteurs.....	205
5. Synapses et substances psychotropes	208

8 – APERÇU SUR LE SYSTÈME NERVEUX

I. Organisation générale du système nerveux	217
1. Le système nerveux périphérique, lien entre le SNC et le reste du corps	217
2. Structure du système nerveux central.....	218
II. Voir le cerveau fonctionner	223
1. L'imagerie structurale : IRM.....	224
2. Électroencéphalographie et magnétoencéphalographie : EEG, MEG.....	225
3. La tomographie par émission de positons	226
4. L'IRM fonctionnelle.....	226
III. Système nerveux et mouvement	227
1. Les arcs réflexes	227
2. La contraction musculaire	228
3. Prévoir et réaliser un mouvement	229

IV. Système nerveux, éveil et sommeil	231
1. Centre de l'éveil et du sommeil	231
2. Lire le jour et la nuit	233
V. Système nerveux et système endocrinien	236
1. L'hypothalamus et le maintien de l'homéostasie	236
2. L'axe hypothalamo-hypophysaire	236
3. Système nerveux et stress	238
VI. Plaisir et douleur	240
1. Les centres nerveux du plaisir	240
2. Les voies de la douleur	241

Corrigés

Crédits photographiques



Préface

En 1993, à la demande conjointe des Éditions Dunod et d'Alain Lieury, nous avons, Daniel Boujard et moi, rédigé un ouvrage destiné à donner aux étudiants en psychologie des notions de biologie utiles à leur formation de base. Malgré l'aspect quelque peu rudimentaire des illustrations, ce manuel avait rencontré son public, puisqu'au fil des années, trois éditions ont été publiées moyennant de modestes ajustements du contenu et de la présentation.

Le temps est aujourd'hui venu de donner naissance à un nouvel ouvrage qui tienne compte, avec le recul nécessaire, des progrès récents de la discipline, mais aussi qui mette à profit l'évolution des techniques éditoriales associant une mise en page moderne, une typographie mieux adaptée et des illustrations photographiques de haute qualité, ainsi que des renvois à la documentation informatique.

C'est le professeur Daniel Boujard qui a bien voulu mettre son talent de pédagogue et ses compétences de chercheur au service de cette tâche en proposant aux lecteurs du XXI^e siècle une extraordinaire initiation à la biologie moderne.

Dans une brève introduction, l'auteur définit le domaine couvert par la biologie et situe l'être humain dans son contexte spatio-temporel en résumant brillamment les grandes lignes de l'évolution des espèces et des théories qui visent à en expliquer les mécanismes.

Les notions indispensables de chimie font l'objet d'un chapitre qui permet, même aux « non-initiés », de se familiariser avec le vocabulaire indispensable à qui veut aborder la structure fine et le fonctionnement de la cellule, et en particulier les mécanismes moléculaires de sa reproduction. Les chapitres suivants expliquent comment s'effectuent le développement et la reproduction des organismes et donnent des notions de base sur la structure et le fonctionnement du système nerveux humain.

Quel que soit le sujet abordé, D. Boujard sait retenir les notions essentielles et mettre en perspective les données historiques des précurseurs de la discipline et les acquis des recherches les plus récentes pour analyser la démarche scientifique. Il appuie ses explications sur des schémas et des clichés démonstratifs. L'usage des encadrés pour développer des questions particulières et le renvoi aux bases de données informatisées sont des outils précieux pour qui veut « en savoir plus ».

Au total, ce livre est une réussite dont l'usage apportera beaucoup aux psychologues en devenir et à tous ceux qui veulent comprendre comment fonctionnent les êtres vivants.

Jean Joly,
professeur émérite à l'université de Rennes 2.



Avant-propos

La biologie a connu ces dernières décennies des progrès considérables. Les connaissances acquises nous permettent de comprendre de mieux en mieux le fonctionnement des êtres vivants et donc de l'Homme. Elles ouvrent aussi de nouvelles approches et de nouvelles pistes pour améliorer nos conditions de vie et mieux nous soigner. Qui n'a pas entendu parler des cellules souches, de la thérapie génique, des retombées du développement des séquençages des génomes ? Dans le domaine des neurosciences, les progrès sont tout aussi considérables. On est passé d'une approche élémentaire à l'échelle du neurone à l'analyse de plus en plus détaillée du fonctionnement d'ensemble neuronal. Et les progrès des autres disciplines comme la physique, la chimie, les mathématiques et l'informatique permettent des développements dans le domaine de l'imagerie, des méthodes pour traiter de plus en plus d'informations et des modèles prédictifs puissants en aide à l'expérimentation. Mais, tout progrès, toute augmentation de la connaissance, nécessite son appropriation par la société. Les nécessaires débats éthiques sont nombreux et doivent être abordés par le plus grand nombre. Ce qui ressort également, c'est que jamais le développement de l'interdisciplinarité entre les sciences de l'homme et de la société et les sciences du vivant ne s'est avéré plus nécessaire.

Par rapport à cette avalanche de nouveautés, il paraît parfois compliqué de s'y retrouver. Le premier objectif de ce manuel est donc d'essayer de donner les bases de biologie nécessaire à des personnes qui n'ont pas forcément choisi cette matière durant leur cursus scolaire et qui souhaitent en acquérir les fondements. L'auteur a choisi de ne pas faire une liste exhaustive des grandes questions de la biologie mais, après avoir replacé cette discipline dans ses frontières, de donner les bases nécessaires en biochimie et biologie cellulaire pour ceux qui souhaiteront aborder plus sereinement des études plus poussées dans le domaine des neurosciences. L'objectif est également de faire comprendre les fondements des nouvelles technologies dont on parle beaucoup pour participer pleinement aux débats sociétaux que tout progrès nécessite.

Bien entendu, à vouloir faire simple, on a souvent tendance à réduire. Que le lecteur veuille bien excuser les inévitables imperfections.

REMERCIEMENTS

À Laure et Servane, mes deux filles

Cet ouvrage, je ne l'ai, bien entendu, pas vraiment fait tout seul. D'abord, même s'il a été profondément remanié au vu des découvertes de ces dernières années, il reste dans le même esprit que celui que nous avons rédigé en 1993 avec Jean Joly. Par ma famille j'avais appris à aimer enseigner, mais c'est Jean Joly, avec Jean Gouranton, disparu trop tôt et à qui nous avons dédié la deuxième édition du manuel, qui m'ont appris à enseigner la biologie et à rester ouvert aux évolutions de la science. Je suis donc très honoré que Jean Joly ait accepté de rédiger la préface de ce manuel.

Ce manuel a également bénéficié d'une aide inestimable... Il est parfois difficile de rédiger un livre alors que d'un autre côté les tâches professionnelles ne diminuent pas et qu'il faut donc prendre sur son temps de vacances. Cela peut être aussi difficile pour le conjoint. Mais cette fois nous nous y sommes mis à deux et toute l'iconographie a été réalisée par mon épouse qui n'est pourtant pas biologiste. Merci Jacqueline et n'oublie pas que tu as promis de le lire en entier quand il sera fini cette fois !

Les Thomas, amis de toujours, ont été à nouveau mis à contribution. Maryvonne m'a fait bénéficier de toute son expérience d'enseignante. C'est elle qui m'a repris, sur quasi chaque paragraphe, pour corriger les erreurs mais aussi et surtout pour m'aider à tenir l'objectif majeur de ce livre : qu'il puisse être lu sans prérequis. Daniel Thomas m'a fourni de nombreuses illustrations tirées de ses travaux de recherche anciens et actuels. Laurence Fontaine m'a également beaucoup apporté par ses relectures qui ont bénéficié de sa connaissance dans des domaines très variés de la biologie qu'elle a acquise en préparant avec succès nos étudiants au concours du second degré.

Je souhaite remercier aussi toute l'équipe du « labo » avec qui je partage le quotidien. Pour leur bonne humeur (presque toujours, il faut rester sérieux !) et leur patience car je pense que par moments j'ai dû les lasser... Je voudrais remercier plus particulièrement François Tiaho, Pascal Benquet, Thierry Madigou (et Maryse Madigou) et Gaëlle Recher qui m'ont en plus fourni des idées et des images. Un remerciement appuyé également à Didier Neraudeau pour la magnifique photo et le cours particulier sur l'évolution humaine.

J'ai demandé également à plusieurs collègues s'ils pouvaient me fournir des images ou des documents. Je n'ai eu que des réponses positives. Merci aux professeurs Dominique Le Lannou et Jean-Yves Gauvry, et aux docteurs Isabelle Arnal, Georges Baffet, Denis Chrétien et Fabrice Wendling.

Enfin je voudrais remercier Jean Henriet et Marie-Laure Davezac-Duhem des éditions Dunod pour la qualité de leur accueil et leur patience. Quand on se rend dans leurs bureaux, l'accueil est toujours chaleureux et on se sent « en famille » dans une atmosphère empreinte de professionnalisme et de convivialité.



1

INTRODUCTION À LA BIOLOGIE

Le mot biologie vient du grec *bios*, « vie » et *logos*, « science ». Ce terme est utilisé pour la première fois par l'allemand G.R. Treviranus en 1802 dans un ouvrage intitulé *Biologie ou Philosophie de la nature vivante*. Pour lui, la biologie étudie « les différents phénomènes et formes de la vie, les conditions et les lois qui régissent son existence et les causes qui déterminent son activité ». La même année, un naturaliste français, Jean Baptiste de Lamarck, l'utilise également dans son ouvrage sur l'hydrogéologie. En 1812, ce même Lamarck intitule un de ses cours : « Biologie, considération sur la nature, les facultés, les développements et l'origine du corps vivant ».

Bien entendu depuis l'Antiquité et jusqu'à ce début du ^{xix}^e siècle, nombre de savants et de philosophes se sont attachés à comprendre la nature de la vie, ce phénomène à la fois banal et exceptionnel. Mais les définitions proposées doivent plus à l'idéologie qu'à l'observation. Citons par exemple Descartes et Leibnitz qui, au ^{xvii}^e siècle, se contentent d'explications

mécanistes pour interpréter le fonctionnement des animaux sous l'emprise des seules forces physiques qui les animent (animaux machines). L'Homme dispose en plus, selon Descartes, d'une âme située au cœur de la boîte crânienne. Un peu plus tard, sur fond de métaphysique se propage, avec par exemple Ernst Stahl en Allemagne, l'idée d'une « force vitale ». Cette école de pensée, appelée vitaliste, inscrit la vie dans une sorte de combat de l'être contre les éléments du milieu ambiant. Ainsi, Xavier Bichat, qui distingue la vie « animale » de la vie « organique », écrit en 1800 : « la vie est l'ensemble des fonctions qui résistent à la mort ».

À partir du XIX^e siècle, de plus en plus de chercheurs vont faire entrer la biologie dans le champ des disciplines scientifiques, en s'intéressant non plus à l'étude de la vie mais à celle des êtres vivants.

I. LA BIOLOGIE, UNE DISCIPLINE SCIENTIFIQUE

1. Les grands domaines de la biologie

Comprendre le fonctionnement des êtres vivants nécessite de travailler aux différentes échelles qui les caractérisent. Il est possible d'établir une hiérarchisation de ces domaines d'études.

Les constituants des êtres vivants ne diffèrent pas de ceux du monde qui les entoure. L'étude de ces constituants, **atomes et molécules**, caractéristiques du vivant constitue le vaste domaine de la **biochimie**. Nous les étudierons dans le chapitre 2.

La **cellule**, constituée de complexes moléculaires, est considérée comme l'unité fondamentale du vivant car il s'agit du plus petit ensemble capable d'exercer les fonctions vitales essentielles et de mener, au moins dans certaines conditions, une vie autonome. La **biologie cellulaire** est la discipline qui l'étudie. Elle fera l'objet des chapitres 3 et 4. Certains êtres vivants sont constitués d'une seule cellule. Ils sont étudiés par les **microbiologistes**, alors que d'autres sont formés de milliards de cellules. Dans ce cas, les cellules s'organisent en **tissus** et **organes** qui collaborent entre eux pour rendre fonctionnel l'**organisme pluricellulaire**. C'est le domaine d'étude du **physiologiste**. Nous en aborderons les grands aspects dans les quatre derniers chapitres de ce manuel en attachant une importance particulière au système nerveux.

Les organismes, qu'ils soient unicellulaires ou pluricellulaires forment des **populations**. Ces organismes sont très nombreux et certains ne sont plus que sous la trace de fossiles. Leurs caractéristiques font l'objet des études des **zoologistes**, **botanistes** et **paléontologues**.

Les différentes populations interagissent entre elles pour former des communautés et avec leur milieu environnant dans le cadre des écosystèmes. Nous rentrons alors dans le monde de l'**écologie**.

L'on voit que la biologie est une discipline très vaste comportant de nombreux domaines qui sont cependant reliés entre eux par des concepts communs que l'on peut résumer ainsi :

- la cellule est l'unité de base du vivant ;
- la structure et la fonction sont deux notions étroitement associées ;
- de nouvelles propriétés émergent au fur et à mesure que les systèmes se complexifient ;
- des mécanismes de rétroactions régulent le fonctionnement des systèmes biologiques ;

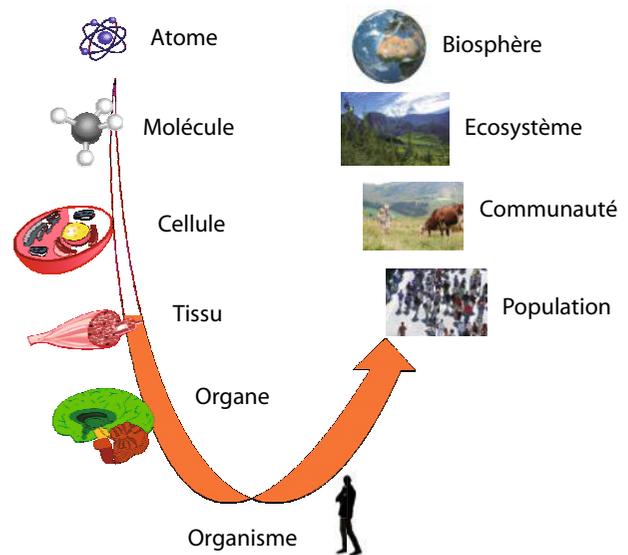


Figure 1.1 – Les différents niveaux d'organisation du vivant.

- l'environnement influe sur le fonctionnement des systèmes biologiques;
- la continuité de la vie est assurée par une information transmissible mais présentant une certaine variabilité qui autorise son évolution.

2. La démarche scientifique

La biologie, en tant que science expérimentale, a pour objectif de décrire et de comprendre le fonctionnement des êtres vivants. Elle ne cherche pas à affirmer des vérités mais à construire, au travers de la démarche scientifique, des théories.

La démarche scientifique consiste tout d'abord à réaliser des **observations** sur le monde qui nous entoure puis, à partir de ces observations, à poser des **problèmes**. Ces problèmes, pour être résolus, servent de base à la définition d'**hypothèses**, qui permettent la réalisation d'**expériences**. Les **résultats** de ces expériences, qui doivent impérativement être **reproductibles**, valident ou invalident les hypothèses. Ils font l'objet d'une **communication** sous forme de publications scientifiques où les auteurs expriment également l'analyse qu'ils en ont faite. Ainsi, petit à petit, des **théories** s'esquissent, qui au cours du temps se renforcent et s'affinent.

On dit souvent aux scientifiques : « Vous n'avez que des théories, vous n'êtes donc sûrs de rien ! ». En fait, seule la première partie de la phrase est correcte, car ceux qui la prononcent confondent l'hypothèse, qui doit impérativement être vérifiée, et la théorie qui s'appuie sur des faits avérés, même si souvent elle n'englobe pas l'ensemble des observations. En science, les théories s'affinent au cours du temps. Ainsi la théorie de l'évolution, formulée en 1859 par Charles Darwin (1809-1882), a été profondément complétée et revue au cours du temps comme

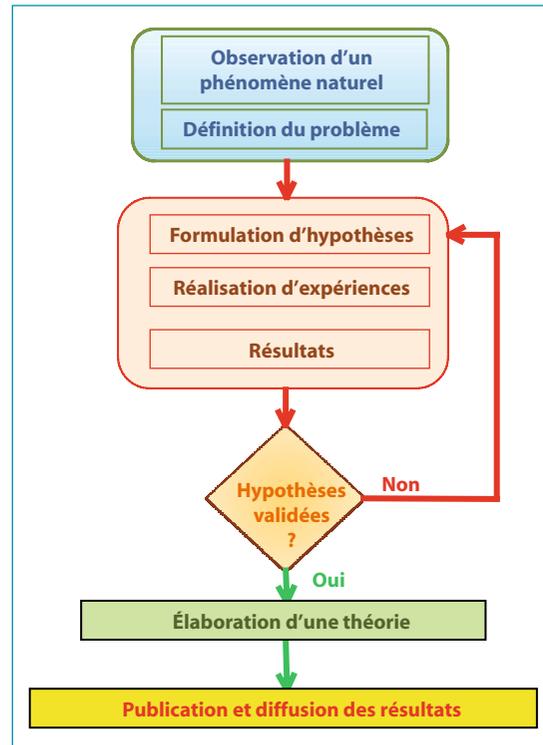


Figure 1.2 – Les différentes étapes de la démarche scientifique.

nous le verrons plus loin dans ce chapitre. Mais elle ne peut être opposée au créationnisme, qui est une croyance. Dans ce dernier cas, on part du principe de la création comme vérité et on cherche des faits qui peuvent l'illustrer.

II. LA THÉORIE DE L'ÉVOLUTION

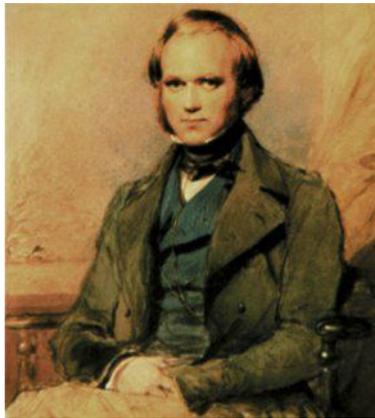
1. L'origine des espèces ou la naissance de la théorie de l'évolution

En 1859, Charles Darwin publie *L'Origine des espèces*, ouvrage qui suscitera d'innombrables réflexions et beaucoup de polémiques. Dans cet ouvrage, Darwin présente les bases de la théorie de l'évolution. Il y indique que les organismes vivants sont en perpétuelle évolution et que toutes les espèces, y compris l'homme, descendent d'un même ancêtre commun. Comme nous le verrons au paragraphe suivant, sa théorie de l'évolution a été enrichie au cours du temps par les observations et les expérimentations de milliers de chercheurs qui ont travaillé et travaillent encore dans ce domaine.

L'essentiel de la théorie de l'évolution peut se résumer ainsi :

- les espèces vivantes manifestent une capacité naturelle à varier ;
- cette capacité naturelle permet une sélection de caractères qui a été de tout temps utilisée par les sélectionneurs mais qui existe également dans la nature et que Darwin appelle la **sélection naturelle** ;
- la fécondité des espèces est élevée et leur confère une capacité naturelle au surpeuplement ;
- pour autant, la planète n'est pas peuplée d'une espèce hégémonique car le succès de la croissance et de la reproduction dépend des facteurs environnementaux qui eux-mêmes peuvent varier au cours du temps.

En conséquence, les multiples facteurs environnementaux induisent une sélection naturelle à chaque génération. Ainsi les individus d'une espèce porteurs, à un moment donné, d'une variation avantageuse se reproduiront davantage. Si ce phénomène perdure, le variant sélectionné aura une fréquence de plus en plus importante dans la population.



Charles Darwin en 1830, un an avant d'embarquer sur *Le Beagle*. Il a alors 21 ans.

2. Une théorie en perpétuelle évolution

Historique de la notion d'évolution

Pour bien comprendre l'importance de la théorie de l'évolution, il faut s'attacher à tracer les grandes lignes de son histoire.

De tous les temps, les hommes ont cherché à classer les organismes. Après de multiples tentatives, certaines méthodes ont permis d'élaborer des classifications. Par exemple, les caractéristiques morphologiques des



Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829).

Taxinomie : science des lois de la classification des êtres vivants.

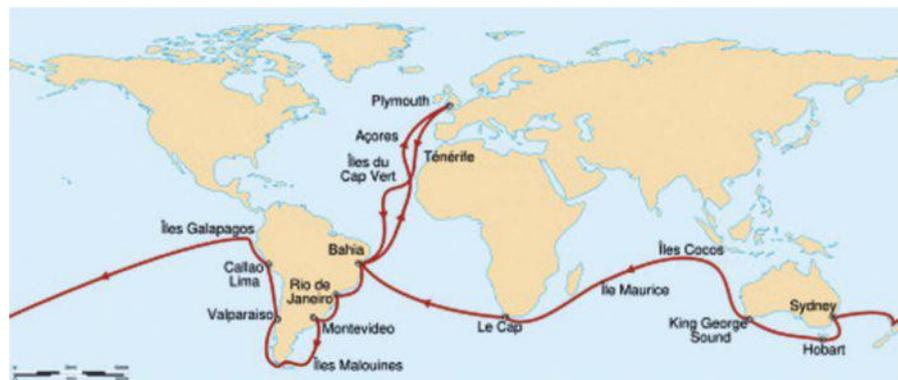
feuilles, des fleurs ou des fruits pour les végétaux, mirent en évidence les grandes familles de la botanique. Ainsi le Suédois Carl von Linné (1707-1778) dont la flore est encore célèbre de nos jours pense qu'il existe une « classification naturelle » correspondant à un « ordre de la nature ».

Les progrès n'ont alors cessé de croître et des scientifiques comme Bernard de Jussieu (1699-1776) et son neveu Antoine Laurent de Jussieu (1748-1836) pour la botanique, Jean-Baptiste de Monet de Lamarck (1744-1829) et Georges Cuvier (1769-1832) pour la zoologie travaillent sur de nouvelles classifications en retenant l'idée de la subordination des caractères, c'est-à-dire en recherchant les caractères constants à un niveau donné et pertinents

d'un point de vue **taxinomique**.

Georges Cuvier admet, après avoir décrit de nombreux spécimens de restes d'animaux disparus, que des faunes et des flores différentes dans leur composition se sont succédées à la surface de la terre. Mais il soutient que c'est à la suite de grands cataclysmes qu'il appelle « les révolutions de la surface du globe » que ces modifications se sont produites. Chacun de ces bouleversements aurait abouti à repeupler les zones dévastées. Ainsi, il ne remet pas en cause la croyance de l'époque selon laquelle tous les êtres vivants ont été créés en même temps. Ces travaux dans le domaine de la paléontologie seront repris, en particulier par le géologue écossais Charles Lyell (1797-1875), qui contrairement à Cuvier, pense que la terre a été façonnée sur une période très longue et que l'étude des différentes strates permet d'évaluer dans quel cadre chronologique s'est effectuée l'apparition des différentes espèces.

C'est à Jean-Baptiste Lamarck que l'on doit d'exprimer clairement en 1800 l'idée d'évolution dans un de ses cours. En 1801, dans la première édition du système des animaux sans vertèbres, il publie ces lignes : « On doit sentir qu'insensiblement, tout être vivant quelconque doit varier dans son organisation et dans ses formes. On doit encore sentir que toutes les



Pendant presque cinq ans, Charles Darwin va naviguer sur *Le Beagle* autour du monde. Il amassera ainsi tout un ensemble de données qui lui serviront de base pour la rédaction de « L'origine des espèces ».

modifications qu'il éprouvera dans son organisation et dans ses formes, par suite des circonstances qui auront influé sur cet être, se propageront par la génération, et qu'après une longue suite de siècles, non seulement il aura pu se former de nouvelles espèces, de nouveaux ordres, mais que chaque espèce aura même varié nécessairement dans son organisation et dans ses formes.» L'idée d'évolution est exprimée et c'est déjà beaucoup. Mais Lamarck est moins heureux dans les hypothèses explicatives qu'il développe. En 1831, quand Charles Darwin s'embarque, comme naturaliste, à bord du *Beagle*, navire chargé d'explorer le monde, il a lu Lamarck et Lyell, un proche qui sera l'un des premiers à défendre sa théorie de l'évolution. Au cours de ce voyage qui dure presque cinq ans (du 27 décembre 1831 au 2 octobre 1836), il accumule les observations et la récolte d'échantillons. À son retour il conçoit le plan d'un vaste ouvrage, fruit de ses réflexions sur les mécanismes de la sélection et de l'évolution biologique quand en 1858, survient un événement inattendu. Alfred Russel Wallace, naturaliste anglais ayant beaucoup vécu en Inde, arrive aux mêmes conclusions que Darwin et dépose un manuscrit pour publier ses résultats. D'un commun accord, il est décidé d'en retarder la publication. En 1858, l'article de Wallace et un bref résumé de Darwin sont publiés dans le même numéro de la revue de la société linnéenne de Londres. Les deux hommes ont donc la paternité de la découverte mais l'année suivante Darwin publie *L'Origine des espèces* dont nous avons parlé plus haut.

L'après-Darwin

La théorie de Darwin bouleverse la vision que les chercheurs avaient du monde qui les entoure. Elle souffre cependant d'un handicap en ne pouvant pas répondre aux questions suivantes : comment se fait la transmission des caractères et quels sont les mécanismes qui gouvernent les phénomènes observés ?

Gregor Mendel (1822-1884) découvre les lois de l'hérédité, mais ses travaux, dont nous parlerons longuement dans le chapitre 6, n'auront pas le retentissement attendu car ces lois n'expliquent pas les causes des variations observées. Il faudra donc attendre le début du xx^e siècle pour que les lois de Mendel soient redécouvertes par Erick Von Tschermak (1871-1962), Carl Correns (1864-1933) et surtout Hugo de Vries (1848-1935) qui définit l'existence des **mutations**. Leurs travaux donnent naissance à la génétique des populations et renforcent la théorie darwinienne. En parallèle, la théorie chromosomique de l'hérédité (voir chapitre 6) est validée expérimentalement par Thomas Morgan (1866-1945). Elle permet de se faire une idée du support des caractères héréditaires jusqu'à ce que James D. Watson (1928-) et Francis Crick (1916-2004) démontrent en 1953 comment la molécule d'ADN joue un rôle fondamental dans ce processus (voir chapitre 2). Enfin, l'essor de la biologie du développement renforce également la théorie darwinienne en montrant que la lignée des cellules, qui donnent les cellules sexuelles, est indépendante de la lignée des autres cellules ; ce qui va à l'encontre de la notion de l'hérédité des caractères acquis défendue par les tenants du « néo-lamarckisme ».

Fort de toutes ces nouvelles données, le généticien Theodosius Dobzhansky (1900-1975), le systématicien Ernst Mayr (1904-2005) et le paléontologue Georges G. Simpson (1902-1984) se retrouvent à l'université de

Mutation : changement intervenant dans l'organisation du matériel génétique d'une cellule. Les mutations peuvent survenir dans toutes les cellules mais quand elles surviennent dans les gamètes, elles se transmettent à la descendance (voir chapitres 4 et 6 pour plus de détails).

Harvard dans les années 1950 et proposent une nouvelle synthèse de la théorie darwinienne appelée « théorie synthétique de l'évolution ».

Néanmoins de nombreuses interrogations demeurent concernant les mécanismes opérateurs de l'évolution. En particulier, expliquer l'élimination de certains caractères ne suffit pas à rendre compte de la complexification croissante des êtres vivants. Sur le canevas du néo-darwinisme, de nombreux chercheurs contemporains ont brodé et brodent des variantes importantes. Citons la théorie dite « des équilibres ponctués » du paléontologue américain Stephen Jay Gould (1941-2002) qui montre que la transformation des espèces intervient par à coups ponctués de longues plages de stagnation.

Les progrès de la génétique du développement à partir des années quatre-vingt ont également fortement contribué à apporter de nouvelles données pour comprendre l'évolution. En association avec l'embryologie, la paléontologie et l'anatomie, une nouvelle discipline appelée « Evo-Dévo » est née. Elle a permis de confirmer qu'il existe une grande unité entre tous les plans d'organisation du règne animal et de comprendre comment des transformations rapides ont pu se produire à certaines périodes. Prenons par exemple le cas de l'œil qui a souvent été utilisé pour critiquer la théorie darwinienne de l'évolution. Comment imaginer qu'un organe aussi complexe ait pu se mettre en place à partir de multiples petites modifications successives et apparaître à plusieurs reprises au cours de l'évolution ? Walter Gehring (1939-2014), chercheur à Bâle, a montré qu'un seul gène (voir au chapitre 4 pour bien comprendre ce qu'est un gène) intervient dans la mise en place de l'œil. Ce gène est présent et très peu modifié chez

tous les animaux. À tel point que Walter Gehring a induit l'apparition d'yeux chez la mouche (et des yeux de mouche...) en ayant remplacé le gène de la mouche par celui de la souris. Ce résultat indique qu'un œil primitif est apparu très tôt et une seule fois au cours de l'évolution chez un ancêtre commun.

Une autre grande étape dans les travaux sur l'évolution a été franchie avec la mise en place de méthodes pour construire l'histoire évolutive des êtres vivants. On doit à Willi Hennig (1913-1976) d'avoir posé les fondements de la classification phylogénétique en 1950. Avec l'essor de l'informatique et des techniques de séquençage des génomes (voir chapitre 4), on assiste à un remaniement complet de la phylogénie qui permet de classer tous les êtres vivants les uns par rapport aux autres en recherchant des parentés plus ou moins proches.

Phylogénétique : branche de la génétique qui traite de la classification des êtres vivants.

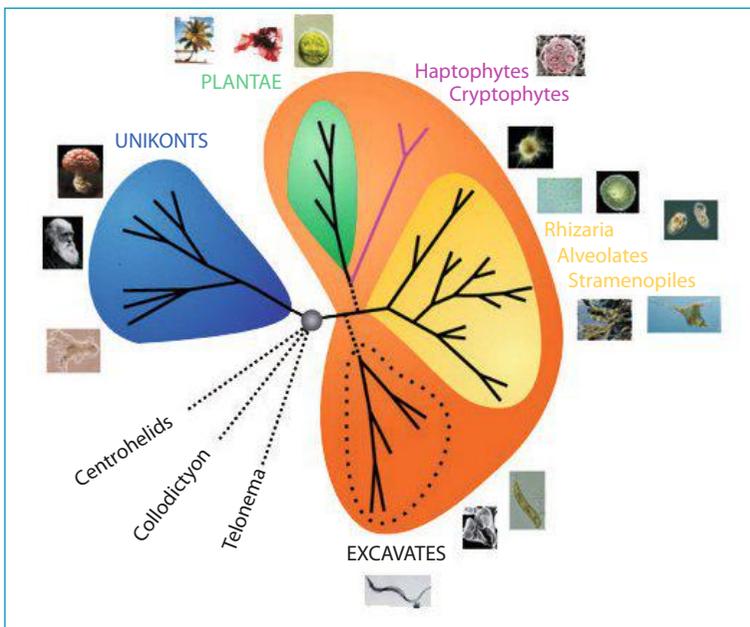


Figure 1.3 – Représentation moderne de l'arbre phylogénétique du vivant (© Université de Genève, Faculté des Sciences, Département de zoologie et biologie animale). On constate que l'arbre d'antan qui positionnait l'homme tout en haut a disparu pour prendre la forme d'un « arbuste » (nous ne rentrerons pas dans le détail de cette classification ; le lecteur intéressé peut retrouver des références en fin de chapitre).

III. UNE BRÈVE HISTOIRE DE LA VIE SUR TERRE

1. L'origine des premiers êtres vivants

Depuis les travaux de Pasteur, en 1870, l'hypothèse de la génération spontanée a été définitivement mise de côté et il est admis que tous les organismes vivants proviennent de la reproduction d'organismes préexistants. Malgré tout, la question de l'origine des premiers organismes vivants demeure. En 1978, en s'appuyant sur les techniques modernes de phylogénétique, Carl Woese identifie un nouveau règne, les archaebactéries qui vient s'ajouter aux deux précédents, les bactéries et les eucaryotes (cellules possédant un noyau, voir chapitre 3). Ces archaebactéries vivent dans des milieux extrêmes, qui ressemblent à ceux de la Terre primitive, mais il s'est vite avéré que ce règne était composé d'espèces plus complexes que prévu et se situait plus près des eucaryotes. Il est donc peu probable qu'elles soient les représentants des ancêtres des procaryotes et des eucaryotes (**Figure 1.4**).

Ainsi, malgré tous les progrès réalisés, de nombreuses questions restent sans réponse et en particulier les deux suivantes :

① **Quel est l'ancêtre commun à tous les êtres vivants ?** Cet être virtuel, qui serait à la base de l'arbre du vivant a été nommé LUCA par les scientifiques pour *Last Universal Common Ancestor*. Il faut être conscient, que même si on trouve LUCA, il pourrait lui-même avoir eu des ancêtres (**Figure 1.4**) !

Pour répondre à cette première question, on sait maintenant que la Terre a environ 4,6 milliards d'années. On a retrouvé des traces indirectes de vie dans des roches de 3,3 à 3,8 milliards d'années dans trois endroits de la planète (Australie, Groënland et Afrique du Sud). Mais il reste encore une polémique sur la possibilité que ces traces soient indépendantes d'une activité vitale. Des expériences supplémentaires seront nécessaires pour valider ces données. De toute façon il sera difficile de trouver des traces plus anciennes car notre planète a subi trop de transformations depuis sa création. C'est pourquoi, pour essayer d'aller plus loin dans cette voie, de grands programmes sont lancés pour chercher des traces de vie dans des météorites ou sur d'autres planètes.

② **Comment s'est formée la première cellule ?** Tous les êtres vivants sont formés des mêmes constituants moléculaires que nous étudierons dans le chapitre suivant. Trois types de molécules s'avèrent indispensables :

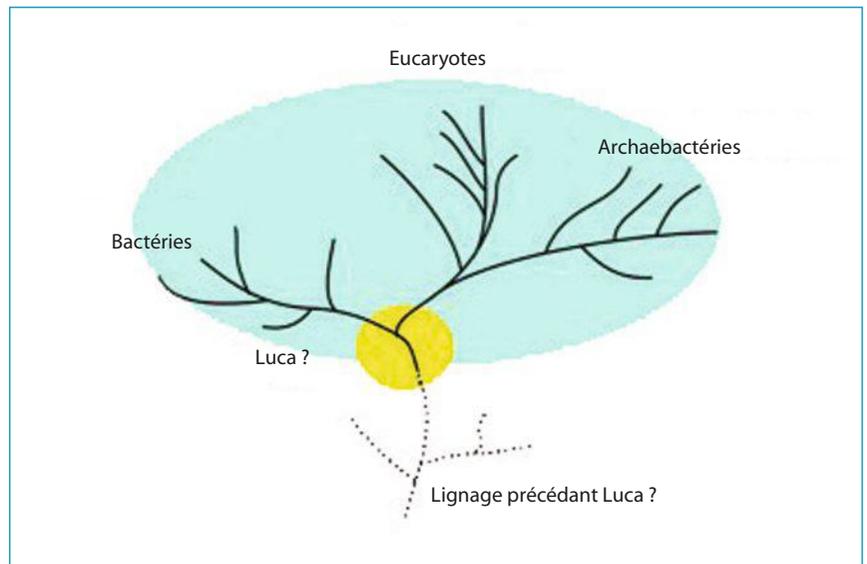


Figure 1.4 – Les trois règnes du vivant selon Woese.

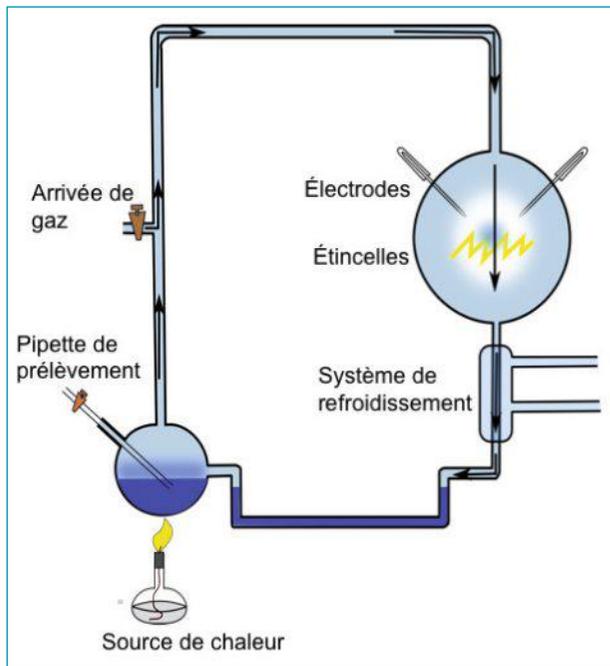


Figure 1.5 – Représentation schématique de l'expérience de Stanley Miller.

des molécules de compartimentation, qui forment les membranes, des molécules informatives, qui assurent le transfert de l'information et des molécules catalytiques qui autorisent les réactions chimiques.

Les données accumulées par les astrophysiciens montrent que les molécules prébiotiques, indispensables à l'apparition de la vie, existent ailleurs dans l'univers et beaucoup pensent actuellement que des formes de vie existent ailleurs que sur Terre. De nombreuses expériences permettent actuellement de se faire une idée de la façon dont sont apparues les premières cellules. Toutefois, de nombreux travaux et découvertes seront encore nécessaires pour confirmer les différentes hypothèses proposées et aboutir à une théorie susceptible de les rassembler.

Une première expérience illustre les recherches menées dans ce domaine. En 1953, Stanley Miller, dans le laboratoire d'Harold Urey, à l'université de Chicago, construit un appareil dans lequel il fait le vide avant d'introduire un mélange gazeux mimant au mieux l'atmosphère supposée

de la Terre de l'ère prébiotique. De l'eau contenue dans un ballon représente l'océan. Cette eau est portée à ébullition, car il faisait très chaud à l'époque, et des étincelles produites par des décharges électriques imitent les éclairs des violents orages qui devaient se produire. Enfin un système de refroidissement mime la formation de pluies qui retombent dans l'océan. Ce système est très simple, et Miller éprouve lui-même des doutes sur la possibilité d'obtenir des résultats de cette manière. On dit même qu'il fit les premières expériences en cachette ! Et pourtant en analysant les produits formés en cours d'expérience, il constate que de nombreux composés organiques caractéristiques du vivant ont été synthétisés sans qu'il y ait le moindre être vivant dans le système.

Cette expérience a depuis été maintes fois reproduite afin de faire avancer la compréhension des mécanismes qui ont permis la formation des premières molécules organiques, mais des interrogations demeurent.

En 1980, Tom Cech et Sydney Altman font une découverte importante, récompensée par le prix Nobel de chimie en 1989. Ils montrent que certaines molécules d'ARN (voir chapitre 2) sont douées à la fois de pouvoir autocatalytique, c'est-à-dire qu'elles ont la possibilité de se reproduire et donc de transmettre une information, mais aussi de faciliter la réalisation de réactions chimiques. Ces travaux remettaient à l'honneur les hypothèses formulées par Carl Woese qui proposaient que les molécules d'ARN étaient les premières molécules à être apparues. Elles auraient pu se retrouver enfermées à l'intérieur de sphéroïdes composées des molécules qui constituent les membranes de nos cellules...

Mais les ARN sont des molécules fragiles. Comment pouvaient-elles fonctionner dans des conditions où il n'existait encore aucun être vivant ? Cette critique a été au moins partiellement levée en 2009 par l'équipe de