

L3 : Semestre 6
Unité : UEF612
Matière : Paléontologie
Coeff. 2 Crédit. 4
Cours : 01h30

Chap.I : Définition des espèces et la taxonomie

«il y a autant d'espèces que l'Être suprême a créé dès le début de formes différentes » Linné

Introduction

Jusqu'au milieu du XIXe siècle, les systématiciens avaient une conception fixiste de l'espèce : elles étaient telles que Dieu les avait créées, immuables et en nombre limité. Le but de la **taxinomie** était alors d'inventorier toutes les formes de vie existantes et de décrire leurs caractères spécifiques.

La classification des espèces a reposé longtemps sur :

- le seul aspect morphologique (ex : thalles et cormus)
- le mode de vie
- les modalités de reproduction sexuée

Historique sur la classification des espèces

*John Ray (1627-1705; sa mère était guérisseuse et connaissait bien les plantes), naturaliste anglais, invente le concept d'espèce selon la ressemblance morphologique des plantes.

*Historia plantarum (1686) : 18 000 espèces ; première mention de Mono et Dicotylédones

*Pierre Magnol (1638-1715), botaniste français (Montpellier), invente le concept de famille pour les plantes. (Charles Plumier, 1646-1704, lui dédit le genre Magnolia)

* Prodromus Historia egeneralis plantarum in qua familiae per tabulas disponuntur (1689) : 75 tableaux de reconnaissance.

* Joseph Pitton de Tournefort (1656-1708), botaniste français, propose de réunir les espèces en genre. Pour lui, le genre est l'unité de base de la classification. Les espèces sont des variétés du genre.

* Sa classification est encore classique : arbres ; arbustes ; herbes. Il utilise ensuite la corolle : apétales, monopétales, polypétales.

* Carl von Linné (1707-1778), naturaliste suédois, codifie les niveaux hiérarchiques proposés initialement et propose une nomenclature binomiale Carl von Linné (1707-1778), naturaliste suédois, codifie les niveaux hiérarchiques proposés initialement et propose une nomenclature binomiale

* Classification botanique des Jussieu et animale de Cuvier : fin du 18° siècle.

*Début 19° siècle : émergence de la notion d'évolution des espèces. Pour Darwin (1809-1882), les individus se ressemblent non pas en raison d'une « instruction » divine, mais en raison d'une pression environnementale et de la sélection naturelle

Généralités

***La systématique** est l'étude de la diversité et de la différenciation des organismes vivants et des relations qui existent entre eux. Elle conduit à la reconnaissance de taxons.

***Taxons** sont des ensembles d'organismes vivants, apparentés sur la base de critères suffisamment spécifique pour leur permettre d'être à la fois reconnaissables et distincts des autres groupes. « Groupes de classification d'organismes différents mais phylogénétiquement apparentés. »

***La taxonomie** est l'étude des principes présidant à la classification et à la désignation (par application des règles de la nomenclature) des êtres vivants en utilisant des taxons et en accordant une importance particulière à la morphologie des individus.

***La classification** c'est le processus d'organisation hiérarchique des taxons.

***La Taxinomie**, du grec taxi (arrangement) et nomos (loi), est l'étude des lois de la classification.

***La nomenclature** c'est la désignation des taxons par des termes appelés noms, reflétant une classification et établis, pour la botanique, en conformité avec le Code International de la Nomenclature Botanique.

I.1.Définition des espèces

L'espèce est l'unité de base de la hiérarchie du vivant. De ce fait, une espèce est la combinaison de deux noms, le premier étant le **nom générique** et le second correspondant au **nom spécifique**. Ce binôme écrit en latin doit être suivi du nom de l'auteur et l'année de publication. La date de publication fixe l'antériorité, et le nom valide d'un taxon est le plus ancien nom disponible qui lui a été appliqué (Corliss J. O. & al, 1985).

I.1.1. Les critères spécifiques de l'espèce

La notion d'espèce repose sur plusieurs critères : morphologique, biologique, phylogénétique. De ce fait il existe trois grandes définitions de l'espèce :

***L'espèce morphologique (typologique)**

Sont considérés appartenir à la même espèce tous les individus qui se ressemblent suffisamment pour porter le même nom. Une espèce peut être caractérisée par un type morphologique (représenté par l'holotype) auquel tout membre doit correspondre

***L'espèce biologique**

Définie comme un ensemble d'individus ou de populations potentiellement capables de se reproduire entre eux. Dans le sens biologique, une espèce est un ensemble de populations naturelles. Dans le sens biologique, une espèce est un ensemble de populations naturelles

***L'espèce phylogénétique (phénétique)**

C'est un ensemble irréductible d'organismes différant d'autres ensembles par des caractères diagnostiques. Dans ce concept, une espèce rassemble tous les individus qui se ressemblent et diffèrent suffisamment des individus des autres espèces. Dans ce concept, une espèce rassemble tous les individus qui se ressemblent et diffèrent suffisamment des individus des autres espèces

I.2.Taxinomie et la nomenclature Binominale

Dans le but de stabiliser et universaliser les noms scientifiques des espèces, le Code International de Nomenclature Zoologique a défini et réglementé les Types et Figurés, de leur désignation à leur dépôt dans les musées et les institutions. Donc, chaque taxon aura un nom unique et distinct en suivant quelques principes fondamentaux :

I.2.1. Le Principe de la Nomenclature Binominale et le Principe de Priorité ou d'Antériorité

I.2.1.1. Différentes catégories de Types

Le Code International de Nomenclature Zoologique a défini et réglementé trois Catégories de Types qui sont :

***Série- Type**

Tous les spécimens sur lesquels l'auteur établit un taxon nominal du groupe- espèce, et qui sont acceptables en tant que types porte- nom. Si l'auteur, en établissant un taxon nominal du groupe- espèce, désigne un holotype, les autres spécimens de la série- type deviennent alors des paratypes.

***Types porte- nom**

Ces types sont des supports des noms scientifiques de tous les taxa (sg. Taxon), ils sont les étalons internationaux de la nomenclature zoologique ou botanique. On regroupe dans cette classe les termes suivants : holotype, lectotype, néotype et syntypes.

***Paratypes et paralectotype**

Sont les spécimens restant de la série- type après la désignation de l'holotype et du lectotype. Certains chercheurs utilisent des termes spécifiques pour indiquer les statuts des spécimens, mais ils ne sont pas réglementés par le Code International de Nomenclature Zoologique. On peut citer :
Adopté par la XXe assemblée générale de l'Union internationale des sciences biologiques (février 1985) :

***Type, s.m.** : Terme utilisé seul, ou constituant une partie d'un terme composé, pour dénoter une sorte particulière de spécimen ou de taxon.

***Allotype, s.m.** : Terme non réglementé par le Code, désigne un spécimen de sexe opposé à l'holotype.

* **Écotype, s.m.** : Terme non réglementé par le Code, utilisé auparavant dans le sens de syntype ou de paratype, mais qui ne devait plus être utilisé en nomenclature zoologique.

* **Génotype, s.m.** : Terme non réglementé par le Code, utilisé auparavant dans le sens d'espèce type, mais qui ne devait plus être utilisé en nomenclature zoologique

* **Holotype, s.m.** : Spécimen unique désigné comme le type porte-nom d'une espèce ou d'une sous-espèce lorsque celle-ci est établie, ou le spécimen unique sur lequel un tel taxon est fondé lorsque le type n'est pas spécifié

* **Lectotype, s.m.** : Syntype désigné comme le seul type porte-nom subséquent à l'établissement d'une espèce ou d'une sous-espèce nominale

* **Syntype, s.m.** : Chacun des spécimens d'une série type lorsque l'holotype et le lectotype n'ont pas été désignés

* **Néotype, s.m.** : Le spécimen unique désigné comme le type porte-nom d'une espèce ou d'une sous-espèce nominale pour laquelle il y a lieu de croire qu'il n'existe plus d'holotype, de lectotype, de syntype ou de néotype antérieur

* **Topotype, s.m.** (topotypique, a.) : Terme, non réglementé par le Code, qui désigne un spécimen originaire de la localité type de l'espèce ou de la sous-espèce à laquelle il est censé appartenir, qu'il s'agisse ou non d'un spécimen de la série type

1.2.2. Espèce taxonomique

Les espèces sont nommées et identifiées selon des critères anatomiques et physiologiques. On vise à établir une nomenclature spécifique.

1.2.2.1. La dénomination d'un taxon

La base de la nomenclature taxinomique, mise au point par Linné au XVIII^e siècle pour la nomination d'une espèce, repose sur un nom « binaire » ou dénomination binominale (terme utilisé en zoologie) ou binomiale (pour la botanique), c'est-à-dire l'identification par un nom composé de deux parties. Ce nom scientifique, écrit en italique (ou souligné dans les textes manuscrits), est composé du :

*nom de genre, ou nom générique, s'écrit avec la première lettre en majuscule. Le nom du genre peut être mentionné sans être accompagné du nom d'espèce, si on veut rester à un niveau taxinomique générique (exemple Homo, Tyrannosaurus, Pinus). Lorsqu'un genre ne contient qu'une espèce, il est dit mono-spécifique ;

*nom d'espèce, ou nom spécifique, s'écrit toujours en minuscule. L'espèce ne peut pas être mentionnée sans être précédée du nom générique (ex. Homo sapiens, Tyrannosaurus

rex, *Pinus pinea*). Dans une citation, Il est possible d'abrégé le nom du genre, s'il est suivi du nom d'espèce (ex. *H. sapiens*, *T. rex*, *P. pinea*). Cette nomenclature binaire est suivie :

- du (es) nom (s) du (es) 1er(s) auteur (s) descripteur (s) du fossile
- d'une virgule « , »;
- l'année de la première description

1.2.2.2. Règles générales de taxonomie

On utilise le système binomial de Carl Von Linné comme suit :

- **Le genre** : écrit en Italique. Avec sa première lettre en majuscule. Après sa première citation dans le texte, le nom du genre est abrégé à sa première lettre suivis d'un point.
- **L'espèce** : écrite en Italique (ou souligné dans les livres et manuscrits), avec sa première lettre en minuscule, et concernant l'auteur on doit le mettre entre parenthèses quand le nom de genre a changé. Espèce et sous espèce en minuscule, même s'il s'agit d'une personne.
- **La famille** : féminin, pluriel et se termine par : **aceae**. Les noms de famille, sous famille etc... ne sont jamais en italique
- **L'ordre** : la terminaison « **ales** »

Les dénominations génériques et spécifiques peuvent être accompagnées d'abréviations complémentaires (non italique) avec des significations variables comme :

- «**aff.**» est utilisée pour indiquer qu'un taxon présente des affinités certaines avec un autre sans pouvoir statuer définitivement (ex. *aff.Lychnus* (gastéropode) ou *Lychnusaff.matheroni*)
- «**cf.**» et « **?** » sont utilisés de la même manière pour indiquer que l'identification est incertaine (ex. *cf. Lychnus* ou *? Lychnus*)
- «**sp.**» est utilisé lorsque l'espèce ne peut pas être déterminée (ex. *Lychnussp.*)
- «**spp.**» indique qu'il y a plusieurs espèces (ex. *Globigerinaspp.*). À ne pas confondre avec «**ssp.**» qui indique sous-espèce en zoologie (équivalent de «**subsp.**» en botanique)
- «**nov.**» indique qu'il s'agit d'un nouveau taxon. Cette abréviation est précédée du rang taxinomique concerné (ex. *Turiasauriafam. nov.* ou *Eosinopteryx brevipenna gen. etsp. nov.* (dinosaur);
- «†» est un symbole utilisé avec le nom de taxon pour indiquer qu'il est éteint.

*Terminaisons du nom d'espèce

1-« **ensis** » pour une localité (*grignonensis*)

2-« **i** » dédiée à un homme (*gougeroti*), « **ae** » dédiée à une femme (*loustauae* pour Mme Loustau), « **orum** » dédiée à plusieurs personnes (frères Morellet = *morelletorum*)

3-Dans le cas d'une espèce dont la personne à qui on dédie le fossile à un nom se terminant par un « i » il faut doubler la voyelle finale ex : *bellardii* pour l'italien Bellardi. Jadis certains auteurs ajoutaient un « i » à tout le monde ex : on trouve des *lamarckii*

Remarques :

*Le nom donné par un auteur ne doit pas être changé même si c'est incorrect mais il peut y avoir des exceptions.

*Si un nom de genre ou d'espèce a déjà été attribué à un autre animal (les plantes sont à part), il doit être changé = **loi de l'antériorité**.

*Une seule lettre de différence dans un nom cela fait 2 genres distincts
ex : *Siphopsis* et *Syphopsis*.

1.2.2.3. Les unités de classification**A. Rangs taxonomiques**

L'unité de base de la classification = l'espèce.

- Les êtres vivants sont classés selon une classification hiérarchique à 7 rangs :

Espèce – Genre – Famille – Ordre – Classe – Phylum – Domaine (Fig.1)

- On utilise parfois des échelons intermédiaires : sous-embranchement, sous famille (tribu), sous espèce. Chaque catégorie = Taxon

1.3. Les systèmes de classification

C'est la répartition des organismes en groupes appelés taxons, sur la base de leur similarité mutuelle. La Classification définit ces taxons selon des critères **phénotypiques** et génétiques. Le **cladisme** (du grec clados = rameau) classe les organismes d'après l'ordre d'émergence des ramifications dans un arbre phylogénétique. Chaque branche de l'arbre (ou **cladogramme**) est définie par des homologues nouvelles, propres aux diverses espèces de la branche émergente. Il existe deux types de classifications : la classification morphologique et la classification génétique.

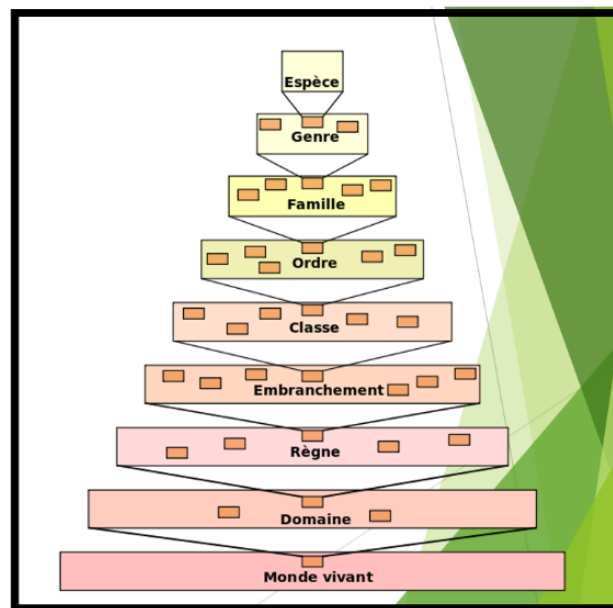


Fig.1 : Les différents groupes de classifications

Type Cellulaire	Organisation	Principaux Phylums ou Embranchements
Règne des PROKARYOTAE = 4000 espèces		
Prokaryote	Généralement unicellulaire	Archaeobactéries Eubactéries <ul style="list-style-type: none"> Bactéries fermentantes Actinobactéries Cyanobactéries et autres...
Règne des PROTOCTISTA = 70 000 espèces		
Eucaryote	Généralement unicellulaire	Protozoaires Protophytes
	Généralement pluricellulaire	Algues <ul style="list-style-type: none"> Chlorophytes (Algues vertes) Phaeophytes (Algues brunes) Rhodophytes (Algues rouges)
Règne des FUNGI = 80 000 espèces		
Eucaryote	Pluricellulaire	Champignons <ul style="list-style-type: none"> Zygomycètes Ascomycètes Basidiomycètes Lichens
Règne des PLANTAE (règne végétal sensu stricto) = 300 000 espèces		
Eucaryote	Pluricellulaire	Bryophytes (Mousses) Pteridophytes (Fougères) Spermatophytes (Plantes à graines) <ul style="list-style-type: none"> Gymnospermes Angiospermes Monocotylédones Dicotylédones
Règne des ANIMALIA (règne animal) = 1 200 000 espèces		
Eucaryote	Pluricellulaire	<ul style="list-style-type: none"> Spongiaires Cnidaires Plathelminthes Nématodes Annelides Mollusques Arthropodes Corrés Echinodermes

Tableau 1 : Classification des êtres vivants actuels (d'après Whittaker & Margulis)

1.3.1. Classification phénétique (caractères morphologiques)

Basée sur la mise en évidence d'un certain nombre de caractères phénétiques c'est-à-dire les relations de similarité ou de dissimilarité globale entre les êtres vivants (observables)

1.3.2. Classification naturelle (génétique)

Arrange les organismes en groupes dont les membres ont en commun de nombreuses caractéristiques (un max de critères). Réflète autant que possible la nature biologique des organismes.

- **Anatomique (classification phénotypique)** : réunit les organismes suivant la similitude de leurs caractères organiques.
- **Phylogénique (classification phylogénétique)** : rassemble les organismes selon des relations évolutives. Utilise sur des caractères génétiques, cytologique et moléculaire

I.4.Méthodes de classification des espèces

On distingue plusieurs méthodes de classification des espèces comme suit :

1.4.1. L'homologie : Est une ressemblance attribuable à une ascendance commune. ex : les membres antérieurs des mammifères sont homologues.

1.4.2. L'homoplasie : est l'occurrence d'un caractère dans des lignées (groupes) non apparentées. Il y a deux formes différentes d'homoplasie, **la convergence** (parallélisme) et **la réversion**.

1.4.3. La convergence : apparition de caractères analogues due à une évolution convergente dans des groupes systématiquement différents
exp : les ailes des insectes et les ailes d'oiseaux

1.4.4. La Réversion: le retour d'un caractère à un état ancestral

1.4.1. Homologie

*Si les structures/caractères sont hérités d'un ancêtre commun, il y a homologie de **descendance** ou homologie **secondaire**

*Si les structures/caractères sont dites homologues car elles se trouvent à la même place dans un plan d'organisation (en connexion avec les mêmes structures voisines, quelles que soient leurs formes et fonctions), il y a homologie **primaire**

Crâne d'un Amniote
Synapside fossile,
Ophiacodon (Permien;
Amérique du Nord;
environ 2 m)

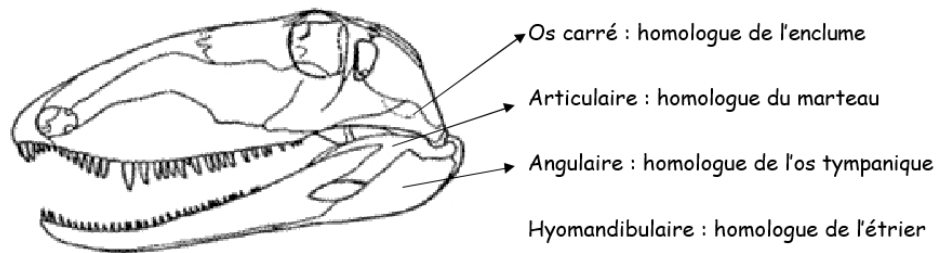


Fig.2 : Homologie primaire

1.4.1.1. Notions sur l'homologie

*Clade monophylétique

Toutes les espèces qui y figurent dérivent d'une espèce ancestrale et tous les descendants y figurent

*Groupe paraphylétique

Groupe contenant l'espèce ancestrale et une partie seulement de ses descendants. Groupe caractérisé par au moins une synapomorphie.

* **Synapomorphie** : caractère plesiomorphe présent chez deux ou plusieurs taxons - les poils sont synapomorphes pour les mammifères.

* **Plesiomorphe** : état ancestral d'un caractère.

* **Apomorphe** : état évolué d'un caractère

1.4.2. Classification Phénétique : moléculaire

La classification moléculaire repose sur des mesures de la ressemblance des fragments d'ADN ou ARN (appariements, etc); donc c'est une méthode phénétique

La comparaison des génomes de deux espèces constitue la mesure la plus directe de la proximité phylogénétique. Les séquences de base homologues correspondent à celles héritées d'un ancêtre commun.

La systématique est devenue phylogénétique-moléculaire

Il existe 3 méthodes de comparaison :

- l'hybridation ADN-ADN, - la cartographie de restriction, - le séquençage de l'ADN

1.4.3. La parataxonomie

Il s'agit des restes d'organismes non attribuables à des genres ou espèces; comme les éléments squelettiques d'organismes à corps mou, des productions biologiques (œufs, coprolithes) ou des traces d'activités fossilisées.

Exemple :

- l'étude des traces de fossiles (ou ichotaxinomie) ajoute le préfixe «ichno-», jusqu'au niveau équivalent à celui d'une classe (ichnoespèce, ichnogenre,....., ichnoclasse) ;
- l'étude des œufs fossilisés (ou ootaxinomie) ajoute le préfixe «oo-» jusqu'au rang famille (ooespèce, oogenre, oofamille).

1.4.3. Classification actuel des espèces

La nouvelle classification proposée est « révolutionnaire » en ce sens qu'elle bouleverse nos habitudes, mais elle possède des propriétés que n'avaient pas les classifications précédentes comme suit (tableau : 2) :

- arbre = phylogénie
- apparition d'un nouveau groupe = nouveau caractère
- il est possible de réfuter une branche
- la création des groupes n'est pas artificielle
- abandon de la notion de finalité (l'homme n'est pas le « produit » final)
- abandon de la notion de fossile vivant
- la seule classification évolutive

Haeckel (1894) Trois Règnes	Whittaker (1969) Cinq Règnes	Woese & Fox (1977) Six Règnes	Woese (1990) Trois Domaines
Animal	Animal	Animal	Eucaryote
Végétal	Champignon	Champignon	
	Végétal	Végétal	
Protozoaire	Protiste	Protiste	Archée
	Monères	Archéobactérie	
		Eubactérie	Eubactérie

Tableau 2 : évolution de la classification des espèces

Chap2. Taxonomie générale

Introduction

Le terme Taxonomie fut créé en 1813, sous l'orthographe de « taxonomie », par le botaniste suisse Augustin Pyrame de Candolle (1778-1841) dans sa Théorie élémentaire de la botanique ou exposition des principes de la classification naturelle et de l'art de décrire et d'étudier les végétaux, La taxonomie est un code fixant les règles présidant à la définition, à la nomenclature et à la coordination des règles de la systématique. Ces règles résultent de conventions scientifiques internationales qui doivent être respectées. La taxinomie (terme corrigé de l'orthographe taxonomie par Littré selon l'étymon grec taxis) est la science de la théorie et de la pratique de la classification (Mayr, 1942). Dans la pratique, elle s'intéresse à la reconnaissance, l'identification des formes et leur rangement dans une classification.

2.1. Importance de la taxonomie

Il y a quatre intérêts majeurs pour classer les microorganismes :

- Le classement organise une « banque de données » sur les microorganismes,
- Permet la description de groupes d'organismes distincts et reconnaissables, « permet d'identifier les microorganismes pour mieux les utiliser ou les exploiter (ceux qui sont bénéfiques) ou bien pour mieux s'en protéger et de les contrôler (ceux qui sont pathogènes). »
- Indispensable pour identifier un nouvel isolement,
- Donne accès à la phylogénie (c- à -d les liens de parenté entre les différents organismes).

2.3. Taxonomie et méthodes d'investigation

2.3.1. Les méthodes morphologiques

- Anatomie
- Palynologie : étude des grains de pollen
- Paléontologie : recherche de l'origine des végétaux actuels parmi les végétaux fossiles
- Ontogénie : étude de développement depuis le sac embryonnaire jusqu'à la plante entièrement constituée

2.3.1.1. La paléontologie

On distingue deux principales formes de paléontologie :

- La paléontologie systématique : son objectif premier est le développement de phylogénies sur la base d'observations scientifiques.
- La paléontologie générale ou fondamentale : les paléontologues s'intéressent aux problèmes généraux dégagés par la démarche systématique, aux associations entre les êtres vivants disparus et actuels, à l'évolution des êtres vivants. Le travail paléontologique comporte :
 - La prospection et les fouilles sur le terrain

- L'analyse et étude en laboratoire, après déballage des colis
- Description et publication scientifique des fossiles et des résultats d'études

2.3.1.2. L'anatomie

L'anatomie c'est un mot provenant du verbe traduire par couper, découper .En Biologie, l'anatomie est l'étude scientifique de l'organisation des êtres vivants, ainsi que des relations entre leurs diverses composantes et la structure interne et le rapport des organes entre eux.

A. La morphologie comparée en biologie

La morphologie est le domaine qui traite de la forme (ou morphe), apparence extérieure. C'est l'aspect général ou la structure externe d'un animal ou d'une plante. C'est l'étude scientifique des liens entre la forme d'un animal ou d'une plante dans son milieu de vie, ou encore étude de la configuration et de la structure externe d'un organe ou d'un être vivant. Selon (Caullery, Embryol., 1942). L'embryologie est le fondement le plus sûr de la morphologie et de l'anatomie comparée, l'on sait que la forme est une résultante biologique. En cette fin de siècle, le développement de cette science est lié à celui de la systématique, qui a conduit à une description précise et minutieuse des différents organes des plantes. En effet, la classification des plantes en espèces et leur identification pratique sur le terrain repose d'abord sur des critères morphologiques

2.3.1.3. L'ontogénie

L'ontogénie (ou L'ontogenèse) c'est le développement progressif d'un individu depuis sa conception (fécondation) jusqu'à sa forme adulte mure définitive voire jusqu'à sa mort. L'ontogenèse comprend donc le développement embryonnaire ainsi que la croissance ultérieure de l'organisme.

2.3.1.4. La palynologie et l'analyse pollinique

Parmi les méthodes paléontologiques, celle de l'analyse pollinique des sédiments, inventée par VON POST en 1916, est de loin la plus riche d'enseignements. Elle est fondée sur deux particularités bien connues de la paroi pollinique.

- Sa spécificité qui fait que l'observation du pollen permet de déterminer la plante qui l'a produit.

- Sa grande résistance à la corrosion qui fait que les grains de pollen et les spores émis en grand nombre s'accumulent et se conservent dans certains sites sédimentaires d'où ils peuvent être par la suite extraits. La démarche du pollenanalyste est animée par la conviction que l'étude du contenu en pollen d'une carotte prise dans un site sédimentaire permet de se faire une idée de l'évolution de la végétation environnant le site pendant le temps de dépôt du sédiment. Cet espoir, moteur de cette discipline si active repose sur un empilement d'hypothèses qui en rendent pourtant la réalisation bien fragile :

1) La pluie pollinique, c'est-à-dire la totalité des spores et grains de pollen déposés en un point, représente fidèlement la végétation et elle est uniformément répartie dans la végétation productrice.

2) Le dépôt et la conservation ne modifient en rien l'image de cette pluie pollinique.

3) L'extraction, le comptage et la détermination des grains de pollen et spores restituent fidèlement l'image de la pluie pollinique

2.3.2. Les méthodes biologiques

La taxonomie expérimentale la cytologie et la cytogénétique.

2.3.2.1. Cytologie

Etude des caractères de la cellule, comme le nombre de chromosomes

La cytologie est l'étude morphologique des cellules isolées, c'est une Partie de la biologie qui étudie la cellule vivante sous tous ses aspects morphologiques, biochimiques, On peut distinguer :

- L'histologie est l'étude morphologique des tissus, l'étude des cellules à un niveau supérieur, c'est-à-dire de leurs agencements en tissus et de leurs interactions jonctions étanches, d'ancrage, de communication, etc....
- La Biologie cellulaire c'est l'étude du fonctionnement de la cellule (physiologie cellulaire), la vie cellulaire, la régénération cellulaire, la division cellulaire, etc...

2.3.2.2. La cytogénétique

La cytogénétique est l'étude des phénomènes génétiques au niveau de la cellule au niveau des chromosomes sans la nécessité d'extraire l'ADN : (anomalies chromosomiques, recombinaison de chromosomes, etc.)

2.3.3. Les méthodes biochimiques

La Biochimie c'est une partie de la chimie, étudie la composition et les phénomènes chimiques des êtres vivants à travers des substances qu'on trouve dans les organismes vivants, et par conséquent, au sein des cellules et des réactions chimiques sous-tendant les processus de vie. Elle se divise en deux groupes :

- la biochimie statique (étudie la composition et les propriétés physico-chimiques)
- la biochimie dynamique (étudie les transformations et les réactions chimiques)

Les principales catégories de molécules étudiées en biochimie sont les glucides, les lipides, les protéines et les acides nucléiques. Ces molécules sont constituées principalement de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote.

2.3.4. Les méthodes biogéographiques

Géographie botanique : permet de rapprocher entre-elles des espèces polymorphes (dont la forme varie avec le lieu où elles poussent)

La Biogéographie : c'est une Partie de la géographie physique et de l'écologie qui a pour objet :

- l'étude de la distribution géographique des espèces animales et végétales dans la biosphère,
- leurs groupements et leurs rapports avec le milieu, aux époques géologiques
- l'évolution des aires de répartition potentielle et réelle en fonction des variations de l'environnement ou des activités humaines. La biogéographie est en outre liée à l'histoire de la Terre et à l'évolution de sa croûte terrestre et de sa biosphère et

distingue la science de synthèse qui fait appel aux acquisitions de la climatologie, de la pédologie, de l'hydrologie et de la géomorphologie pour en retenir les connaissances d'intérêt biologique. Simplement, la biogéographie, est la science qui étudie la répartition des êtres vivants et des milieux écologiques sur la surface du globe. Elle se divise en zoogéographie et phytogéographie. La biogéographie actuelle a tendance à ne s'occuper que des végétaux, les animaux étant considérés comme trop influencés par l'homme. Le vivant végétal appartenant à la biosphère, et qui a des interactions avec l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère (le substrat). Les pères de la biogéographie sont les explorateurs des XVIII^e et XIX^e siècles, parmi lesquels Alexander von Humboldt (1769-1859), Aimé Bonpland (1773-1858), Alfred Russel Wallace (1823- 1913) et Charles Darwin (1809-1882) ...

2.4. Classification de la taxonomie

Trois types de taxonomie se distinguent :

Taxonomie phénotypique • Taxonomie numérique • Taxonomie génotypique

2.4.1. Taxonomie phénotypique

C'est l'étude du phénotype : manifestation apparente du patrimoine héréditaire pour cela on utilise les caractères suivants :

- *Aspect macroscopique des colonies
- *Morphologie et structure de la cellule (forme, Gram, flagelle, capsule, spore...)
- *Conditions de culture (type trophique, type respiratoire, température optimale, pH optimal, besoins nutritionnels...)
- *Caractères biochimiques

2.4.2. Taxonomie numérique

Cette Méthode de classification avait été proposé par le botaniste français Adonson en 1763, elle utilise un très grande nombre de caractère morphologique, physiologique, biochimiques, tous d'égale importance pour chaque souche bactérienne. Tous ces caractères sont traduits mathématiquement pour calculer des valeurs de similitude entre les souches et pour former des groupes de similitude (Delarras, 2014).

2.4.3. Taxonomie moléculaire

- Puisque tous les organismes vivants sont issus d'un ancêtre commun ; ils partagent un certain nombre de caractères génomique
- Plus les ADN d'espèces différentes ont des séquences de nucléotides communes et plus ces espèces ne sont génétiquement apparentées.

2.5. La phylogénie

La phylogénie est l'étude des relations de parentés entre les taxons. Elle est utilisée pour construire une classification. Cet aspect s'appuie sur le concept de descendance avec modification. Ainsi, la relation de parenté entre deux ou plusieurs organismes peuvent être déduite par la présence de caractères hérités d'un ancêtre commun. La phylogénie a pour outil l'arbre phylogénique qui est construit sur la reconnaissance de caractères permettant de former des groupes d'organismes selon leur degré de parenté.

Les études paléontologiques utilisent, généralement, l'arbre phylogénétique afin d'illustrer les relations de parenté entre les unités évolutives, en fonction du temps et de la paléodiversité taxinomique. La reconstruction de ces arbres permet d'émettre des hypothèses paléogéographiques ou paléoécologiques. (fig.3)

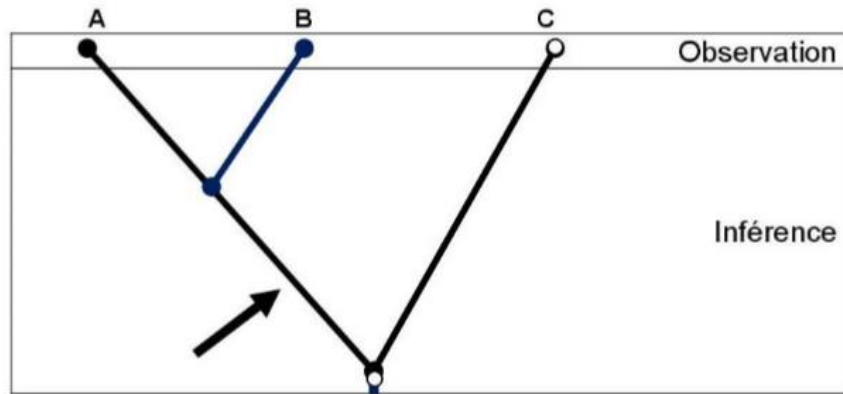
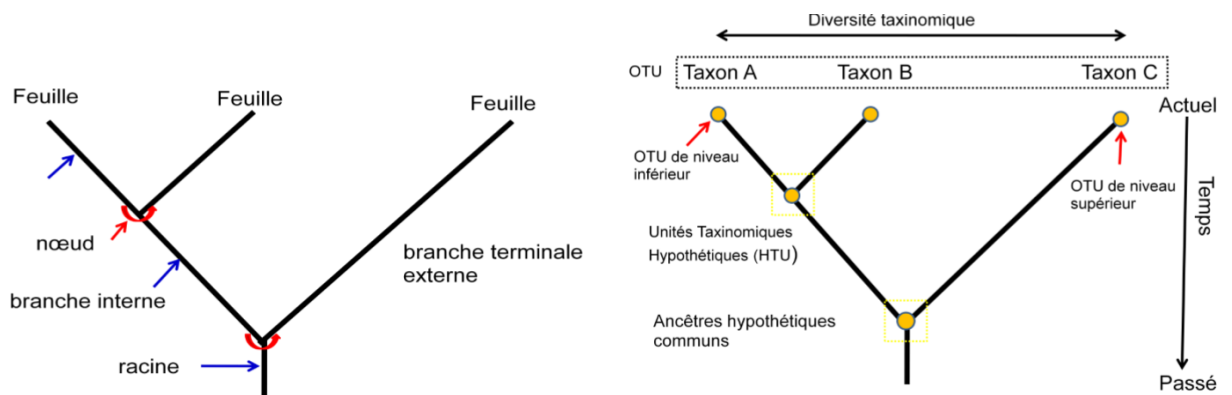


Fig (3) : le domaine de l'observation et de l'inférence dans la construction phylogénétique

A,B,C = taxons ; les ronds noirs et blancs = deux états d'un même caractère (le rond blanc indique l'état de caractère ancestral) ; la flèche indique le segment portant le changement d'état de caractère.

2.5.1. L'arbre phylogénétique

Un arbre phylogénétique désigne par métaphore (symbole) un type de représentation graphique (fig.4). Les arbres phylogénétiques sont connexes (possèdent des liens reliant des sommets) et ne sont pas cycliques : deux sommets ne peuvent être reliés que par un seul lien. Les liens peuvent être internes (branches) ou externes (branches terminales ou périphériques). De même, les sommets peuvent être internes (nœuds) lorsqu'ils sont le point de rencontre d'au moins trois branches, ou externes (feuilles) lorsqu'ils terminent une branche. Les nœuds présentent des unités taxinomiques hypothétiques (HTU, Hypothetical Taxonomic Unit) : leur existence n'est que le résultat du processus de construction et non d'une réalité biologique comme le cas de

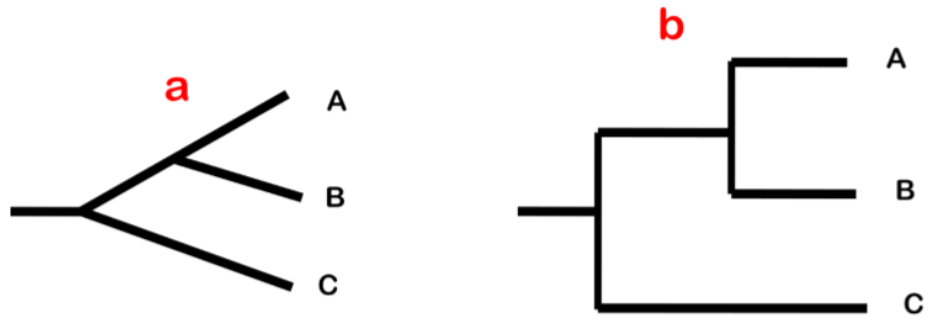


feuilles qui caractérisent des unités taxinomiques opérationnelles (OTU, Operational Taxonomic Unit).

Fig .4 : Concepts d'arbre phylogénétique

Il existe plusieurs types d'arbres : le dendrogramme, le cladogramme, le phonogramme et le phylogramme.

-le **dendrogramme** est la représentation graphique de base : un arbre à racine exprimant le lien entre les taxons sous forme d'une succession de branchements diagonaux, rectangulaires (fig.) ou courbes.



Le cladogramme est un **dendrogramme** présentant les relations phylogénétiques entre les taxons et résultant d'une analyse cladistique. Les nœuds sont définis par des synapomorphies* (c). Une variante de ce type d'arbre introduit la notion de temps avec des taxons terminaux positionnés stratigraphiquement (d) Le cladogramme est un dendrogramme présentant les relations phylogénétiques entre les taxons et résultant d'une analyse cladistique. Les nœuds sont définis par des synapomorphies* (c). Une variante de ce type d'arbre introduit la notion de temps avec des taxons terminaux positionnés stratigraphiquement (d)

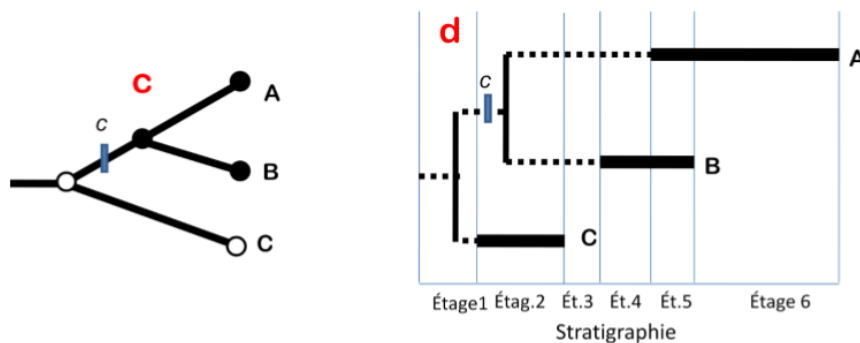
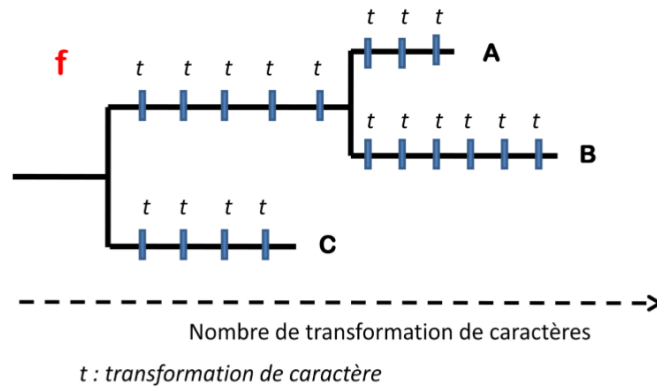


Fig.5

Légende : Les ronds noirs et blancs sont deux états d'un même caractère (le blanc indiquant l'état de caractère ancestral); Les rectangles horizontaux noirs sur le cladogramme ; d représentent les extensions stratigraphiques de chaque taxon; c : synapomorphie

Le phénogramme est un dendrogramme produit par la taxonomie numérique phénétique à partir de des distances entre les unités évolutives. Les relations entre ces dernières sont exprimées en degrés de similitude globale (fig.5)



Chap 3. Tendances évolutives, de quelques animaux et végétaux

3.1. Evolution des Ammonites

Introduction

Les ammonites étaient un groupe d'invertébrés très important dans le passé qui ont subi une évolution très rapide.

La forme de la coquille de l'ammonite est généralement en spirale, dite planispiralée (Fig.6). Il peut cependant exister d'autres sortes d'enroulements. Certaines sont droites, d'autres ancylocône, hamitocône, orthocône.....etc.

La coquille de l'ammonite peut être ornée de côtes et / ou de tubercules. Ces attributs donnent à l'ammonite une grande variété d'apparences et jouent un rôle capital dans la distinction des espèces.

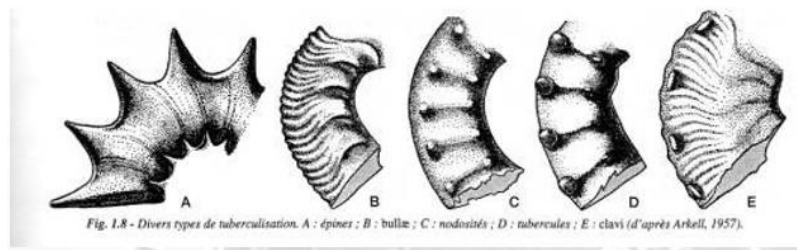


Fig .6: Différents types d'enroulements.

3.1.1. Evolution des Ammonoïdes

Au secondaire, les ammonites ont dû se développer, car le milieu de vie s'est enrichi par bien des espèces prédatrices elles ont dû développer des piquants, des tubercules et bien d'autres pustules protectrices.

Au début de leur apparition, des ammonoïdes étaient droits. Ensuite elles se sont peu à peu enroulées, et soudain, vers le Crétacé, des formes de plus en plus déroulées faisaient apparition. Le Crétacé marque bien l'avènement des ammonites par des formes multiples et complexes mais aussi leur extinction par fatigue génétique, une sur-adaptation qui les a menés à leur perte. C'est-à-dire que des formes trop évoluées ne peuvent plus avoir la possibilité de s'adapter aux changements écologiques. Celles-ci disparaissent progressivement avec leurs habitats. Seules les formes peu évoluées ont un large choix d'évolution.

Il y a aussi une **complexification des sutures** chez les ammonoïdes jusqu'à atteindre un niveau plus complexe chez les ammonites. Au départ **les sutures sont simples** et au cours du temps elles se complexifient pour donner **des sutures exceptionnellement complexes**.

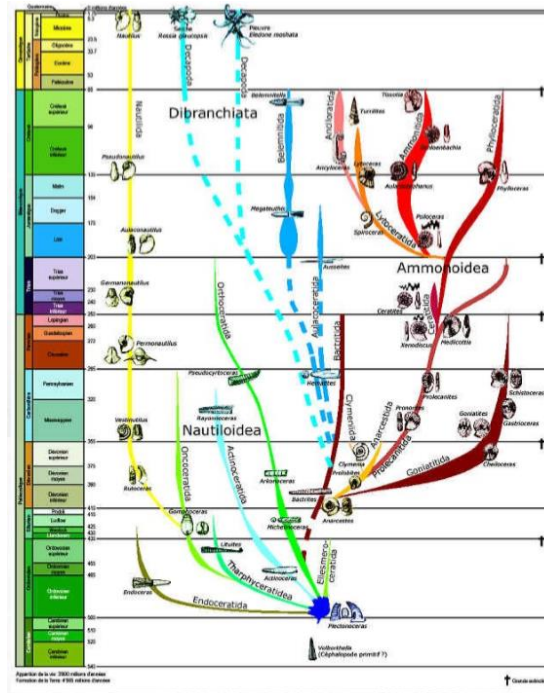


Fig.7 : Arbre phylogénétique des ammonoïdes

3.1.2. Les facteurs agissant sur la morphologie des ammonoïdes

Il a été vu qu'il existe deux grands traits évolutifs chez les ammonites qui n'ont pas directement attrait à l'écologie mais bien à une évolution plus générale qui tend à la complexification de la vie peut importe le milieu de vie. La première touche l'enroulement général des ammonites passant d'un stade rectiligne à un stade planispiralé (enroulement à plat). (Fig.7). Les formes déroulées du Crétacé restent un peu une exception due à une explosion évolutive des formes d'ammonites. Le second grand trait touche la complexification des sutures qui tout comme l'enroulement de la coquille est une évolution qui se retrouve chez tous les ammonoïdes peu importe le milieu de vie. (Fig.8)

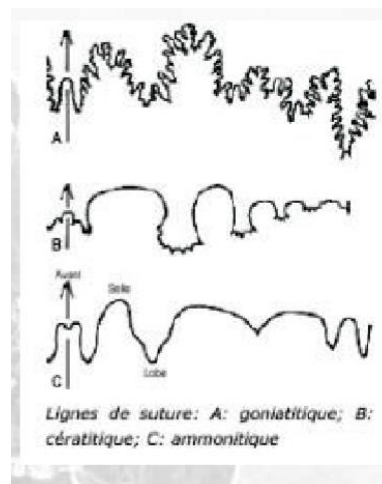


Fig . 8: Evolution de la ligne de suture chez les ammonites au cour du Mésozoïque.

En effet l'évolution des ammonites est fortement influencée par leur environnement. Leurs coquilles pouvaient évoluer pour avoir plus de piquants ou autres perfectionnements de leur coquille, s'il y avait plus de prédateurs. Tout dépendait aussi de la place disponible dans les eaux, plus elle était grande et plus les ammonites pouvaient se dérouler, car elles avaient de plus grands biotopes et moins de concurrence. Moins les eaux étaient profondes et plus les ammonites étaient enroulées du fait du peu de place et de la concurrence. Le milieu influence leur enroulement suivant leurs stades de croissance. Chez certaines ammonites, les jeunes devaient être enroulés du fait de leur vie au large, où vivaient peut-être de prédateurs. Et les adultes qui vivaient le long des côtes et étaient déroulées. Le besoin de nager vite pour se nourrir va aussi influencer l'épaisseur de la coquille et les côtes.

Conclusion

Nous pouvons dès lors affirmer que l'évolution des ammonites est due à l'influence de son environnement. Tout dépendait du lieu où elle habitait, si les eaux étaient profondes, s'il y avait des prédateurs ou encore s'il y avait assez de nourriture. Mais certaines évolutions ne dépendent pas du milieu de vie, mais à **un plan génétique général** de construction tel que l'enroulement et la ligne de suture. D'autres traits comme la différence entre les mâles et les femelles ne semblent évidemment pas liés à l'écologie mais simplement à **la sélection sexuelle**.

3.2. Evolution morphologique du cheval

3.2.1. Introduction :

L'histoire du cheval a commencé au début de l'ère tertiaire, il y a 60 millions d'années bien avant l'apparition de l'homme. Des fossiles de cette période ont été retrouvés dans le Sud des Etats-Unis et en Europe, ce qui a permis de reconstituer l'ancêtre le plus lointain du cheval.

3.2.2. Evolution

3.2.2.1. Origines de l'espèce

Le plus ancien ancêtre (de l'espèce *Eohippus*) du cheval est estimé à **60 millions d'années**.

Le cheval est un mammifère appartenant à **l'ordre des ongulés**, animaux dont les pieds sont terminés par des productions cornées. (Ongles, sabot...) **Sous-ordre des périssodactyles** animaux, reposant sur le sol par un nombre impair de doigts, dont le médian est le plus développé, **famille des équidés, genre équus, espèce caballus**. L'homme est apparu sur terre durant l'ère quaternaire, il y a moins de 3 millions d'années.

L'équus, autrement dit le cheval tel que nous le connaissons aujourd'hui, galopait déjà sur le continent américain, dans les immensités du pliocène¹, à la fin de l'ère tertiaire. Le **minime éohippus** originel avait eu le temps d'évoluer : sorte de petit renard aux mœurs forestières, ancêtre commun des équidés, il avait acquis la **taille d'un poney**, perdant peu à peu ses doigts pour n'en conserver qu'un seul, changeant de régime alimentaire et de dentition. Sa vitesse le protégeant des prédateurs, il avait alors envahi

le monde. On peut observer qu'un grand nombre d'espèces équines se sont éteintes au pléistocène supérieur, il y a 12000 à 15000 ans.

3.2.3. Evolution des équidés

L'évolution des équidés s'est étendue sur une période de 60 millions d'années avant notre ère ; elle a commencé au début de l'ère tertiaire : de l'*Eohippus* du Paléocène², on est passé, dans l'ordre à l'*Orohippus* de l'Eocène³, puis aux *Mesohippus* et *Miohippus* de l'Oligocène⁴, après il y a eu le *Parahippus* du Miocène⁵, et le *Merychippus* ; puis après le *Pliohippus* du Pliocène, on est enfin arrivé à l'*Equus* du Pléistocène⁶ et à l'*Equus Caballus* du Néolithique⁷. Au cours de ces millénaires, de nombreuses formes ont disparu, tels l'*Anchitherium* et l'*Hypohippus*, descendants de *Miohippus*, avec l'*Hipparion* et l'*Hippidion* descendants du *Merychippus*. (Voir schéma page suivante).

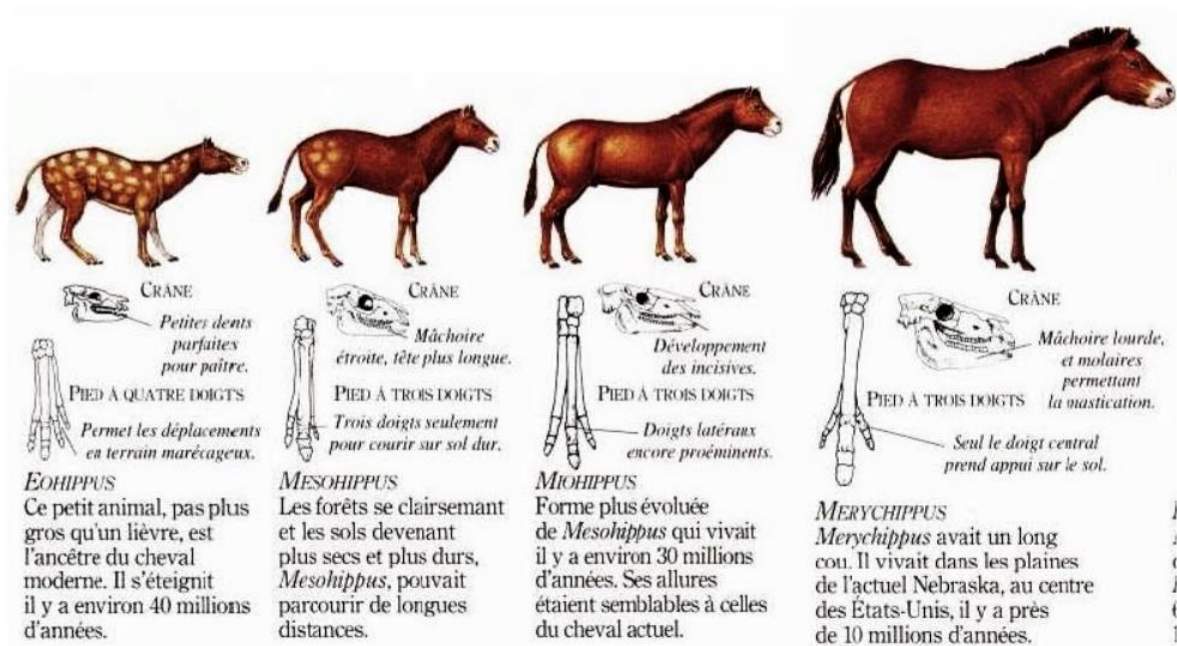
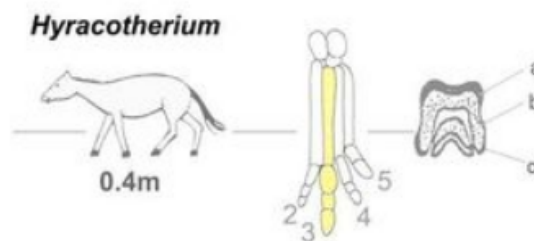


Fig .9 : Evolution de la morphologie Echine

L'évolution de l'espèce s'est accompagnée de modifications importantes :

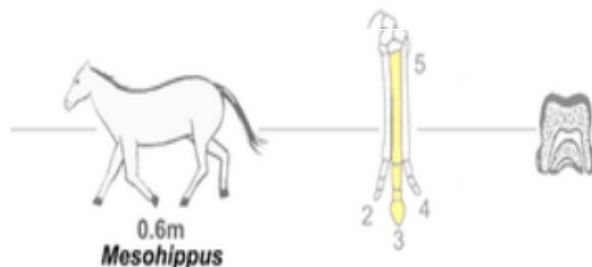
- **la stature** : ainsi, du petit *Eohippus*, haut de 30 cm, on est passé au type *Equus Caballus*, environ de la taille actuelle de l'*Equus Prjevalski* ;
- **la conformation des dents** : les molaires ont pris peu à peu une forme prismatique, tandis que les reliefs de l'émail s'accroissaient de plus en plus ;
- **la structure des membres** : il y a eu une réduction du nombre de doigts ; l'*Eohippus* en possédait 4 aux membres antérieurs et 3 aux postérieurs, le *Parahippus* en avait 3, dont un seul prenant appui sur le sol, l'*Equus Caballus* est muni d'un doigt unique, les autres s'étant amincis et atrophiés, n'étant plus représentés que par des métacarpes et métatarses accessoires (respectivement aux antérieurs et postérieurs), et par des châtaignes aux 4 membres.



EOHIPPLUS **(HYRACOTHERIUM)**

L'évolution du cheval commence en Amérique du Nord et en Eurasie, il y a environ 55 - 45 millions d'années, par un petit

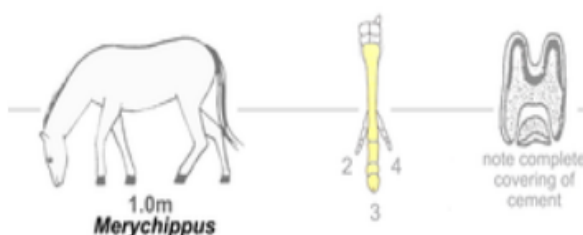
mammifère de la taille d'un renard. Il possède 4 doigts aux pattes avant et trois aux pattes arrière. Ses dents sont semblables aux mammifères, car il mange des feuilles tendres.



MESOHIPPUS

Il y a 40 - 25 millions d'années, le mesohippus remplace l'hyracotherium dont il est issu. Il est plus

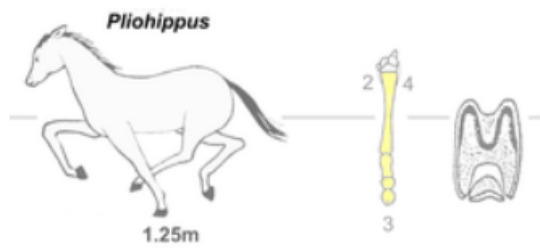
grand que son ancêtre et possède 3 doigts par pattes. Ses dents se modifient. Des troupes de mesohippus traversent en Eurasie et les représentants qui restent en Amérique disparaissent à cause du climat froid.



Merychippus

Le merychippus apparaît il y a 25 - 5 millions d'années. Ses dents forment de hautes couronnes pour pouvoir brouter de l'herbe plutôt que des feuilles. Les pattes présentent maintenant un petit sabot primitif surmonté de 2 doigts

inutiles. Il vit dans les plaines sur le sol dur. Il mesure maintenant 35 pouces de longs.

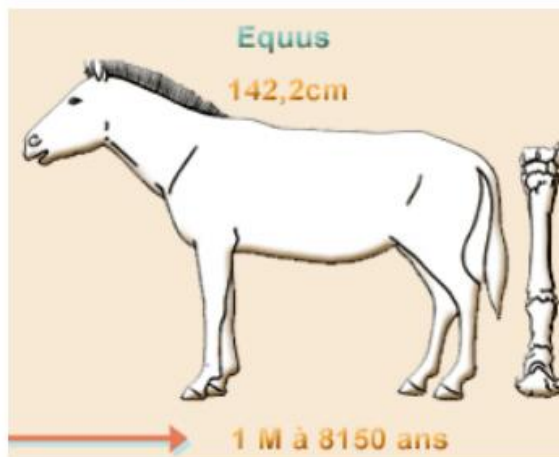


Pliohippus

Ce descendant du merychippus se répand en Europe, en Asie, en Afrique et retourne en Amérique. Il est le premier à avoir un vrai sabot et sa dentition est très proche de nos chevaux modernes. Il s'agit du grand-père du

cheval moderne.

cheval moderne.



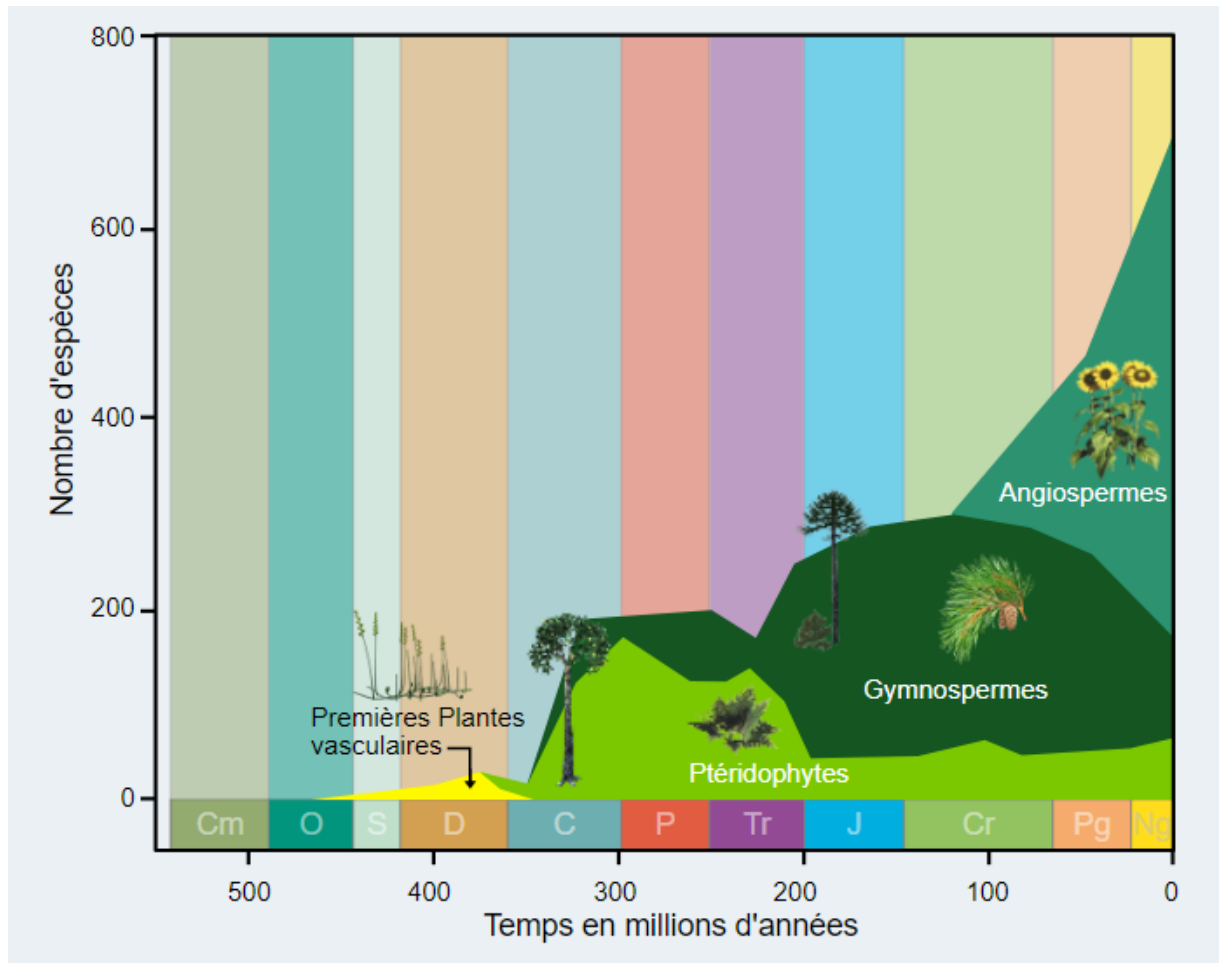
Equus

Il s'agit du cheval moderne et c'est l'explosion démographique. Son sabot est plein et ses dents sont longues pour assumer l'abrasion du sable à travers les herbes. Il se développe sur tous les continents. Il disparaît à nouveau en Amérique il y a 8 000 ans à cause du climat et probablement de l'homme. Le cheval sera domestiqué au cours

des 4 000 dernières années.

3.3. Évolution des végétaux terrestres

Les végétaux terrestres tirent leur origine d'algues vertes d'eau douce les Charophytes. Ces dernières ayant un cycle de vie sans sporophyte, les végétaux terrestres ont dû en "inventer" un de toutes pièces. Dès l'ordovicien, les Bryophytes colonisèrent les premiers les continents. De petite taille, leur cycle de vie reste tributaire de l'eau surtout pour la fécondation. L'apparition des vaisseaux conducteurs de la sève, au silurien supérieur, puis des feuilles et des racines permit le développement de végétaux de grande taille: à fin du dévonien, Archeopteris est un arbre haut de 30 mètres. Les autres innovations qui jalonnent l'histoire de plantes terrestres se sont faites sous l'effet de la pression de sélection s'exerçant sur la reproduction: ovule, tube pollinique, graine, fleur, fruit et réduction du gamétophyte sont autant d'adaptations qui ont permis de s'affranchir du milieu aquatique.



Les différents groupes de végétaux terrestres apparaissent successivement et dominent les flores continentales. Ce sont d'abord les Bryophytes et les premières plantes vasculaires, puis les Ptéridophytes (Fougères, Prêles, Sélaginelles, Lycopodes), les Gymnospermes au sens large (Ptéridospermes, Cycas, Gingo, Conifères) et enfin les Angiospermes ou Plantes à fleurs.

Chap. 4 .L'exploitation des données paléontologiques en stratigraphie

Introduction

Les fossiles sont des taxons utilisés en stratigraphie et particulièrement pour les datations relatives de ce fait un organisme qui présente une évolution rapide procède une grande importance pour les datations stratigraphiques.

Quant un taxon donne des espèces différentes dans le temps ces espèces fourniront une datation précise

En paléontologie la stratigraphie s'intéresse a :

1-Renouveau de l'approche paléontologique :

Par l'introduction de l'étude des populations, en lieu et place d'une paléontologie typologique, accordant l'avantage à l'individu (holotype)

2- Gonflement du matériel paléontologique :

Augmentation du nombre de groupes fossiles utilisés corrélativement à la diminution de la taille des fossiles.

4.1. Fossiles stratigraphiques

Un fossile stratigraphique est un fossile caractéristique d'une époque géologique délimitée dans le temps. En stratigraphie, il permet de dater les couches dans lesquelles il se trouve.

Pour être qualifiée de fossile stratigraphique, une espèce doit :

- avoir une grande extension géographique, ce qui permet d'établir des corrélations à plusieurs endroits éloignés du globe
- avoir existé pendant une courte durée à l'échelle des temps géologiques
- avoir été abondante (une condition nécessaire pour qu'on en retrouve suffisamment à l'état fossile).

Une espèce animale (en général) ou végétale (rarement) est un bon fossile stratigraphique si:

- elle est ubiquiste càd peut vivre dans différents environnements
- possède une évolution rapide
- et d'assez petite taille pour bien se conserver et être ainsi identifiable.

Les fossiles ne présentant pas ces caractères sont **dits panchroniques** et n'interviennent généralement pas en biostratigraphie.

Dans tout empilement de couches de roches sédimentaires, les roches les plus anciennes se trouvent à la base alors que les plus jeunes se trouvent au sommet (principe de superposition).

Le raisonnement est identique pour les fossiles. Les premiers géologues ont ainsi très tôt remarqué que certains fossiles apparaissent systématiquement dans des couches plus anciennes que d'autres fossiles. Ils ont également remarqué qu'ils pouvaient faire les mêmes observations avec certaines familles de fossiles, que l'on retrouve partout sur la terre dans des couches d'âges identiques.

4.1.1. Exemple de macrofossiles

Statistique pas toujours très bonne

★ Certains sont benthiques et donc corrélations à longue distance difficiles

Mais:

★ Faciles à reconnaître

★ Flottabilité des coquilles et dispersion post-mortem + stades planctoniques larvaires.

4.1.2. Exemple de microfossiles

Très utilisés car :

★ très abondants même dans les petits échantillons que sont les carottes et dragages de sédiments marins;

★ planctoniques souvent;

★ permet souvent un découpage temporel beaucoup plus fin que les macrofossiles.

4.2. La biostratigraphie

Sans connaître l'âge exact de tous ces fossiles, il est donc possible d'établir l'ordre d'apparition sur terre de ces fossiles, des plus anciens aux plus jeunes. A partir de cela, une échelle du temps est développée (fig.10).

Le temps y est subdivisé en paquets qui sont définis suivant: l'apparition et la disparition de fossiles ou de groupes de fossiles.

Chaque paquet porte un nom pour l'identifier, c'est ce qui donne l'échelle **biostratigraphique**

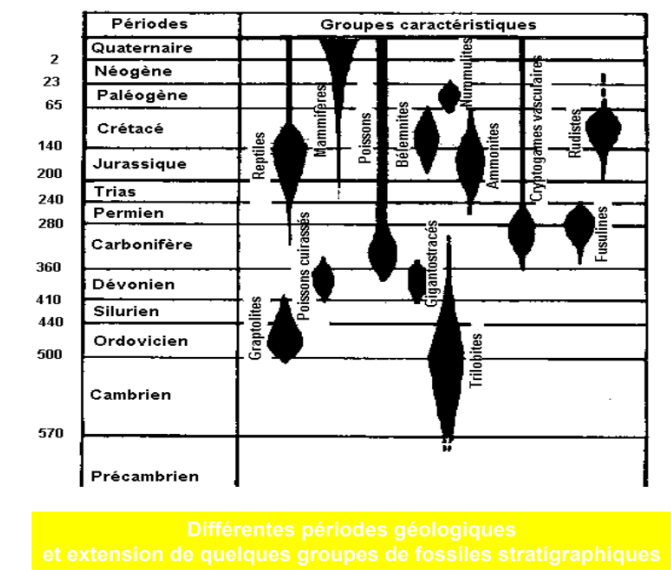


Fig .10 : Extension de quelques groupes de fossiles stratigraphiques dans différentes périodes géologiques

La biostratigraphie la biostratigraphie c'est l'étude des strates sédimentaires basée sur le contenu fossilifère, plutôt que sur la lithologie ou d'autres paramètres géologiques.

Les micropaléontologues organisent les couches sédimentaires en biozones fondées sur les premières et les dernières occurrences d'espèces sélectionnées.

Ces niveaux d'apparition et d'extinction sont appelés biohorizons ("datums" en anglais). De tels taxons sont connus sous une variété de noms, comprenant "marqueur", "index", "guide" ou "indicateur" (McGowran, 2005)

Les paléontologues ont reconnu différents types de biozones basées sur l'extension stratigraphique d'une ou plusieurs espèces.

Le but de l'utilisation de différents types de zones est d'établir des intervalles stratigraphiques distincts représentant de courtes fractions de l'enregistrement du temps géologique :

1. **Zone d'extension totale de l'espèce A** : depuis l'apparition de l'espèce A, jusqu'à la disparition de l'espèce A.
2. **Zone d'extension concomitante des espèces B et C** : partie commune des extensions des espèces B et C, depuis l'apparition de l'espèce C et jusqu'à la disparition de l'espèce B. (fig.11)
3. **Zone d'extension partielle de l'espèce D** : depuis l'apparition de l'espèce D, jusqu'à l'apparition de l'espèce E.
4. **Zone d'intervalle de l'espèce G** : occurrence de l'espèce G entre la disparition de l'espèce F et l'apparition de l'espèce H.

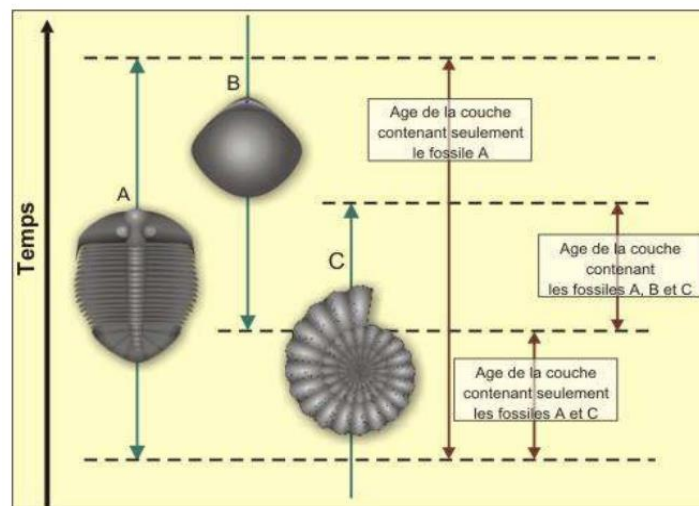


Fig.11 : différentes zones d'extensions des espèces

4.3. Comment sont construites les unités biostratigraphiques ?

Tout commence sur le terrain. On prélève les fossiles, banc par banc, dans les séries sédimentaires.

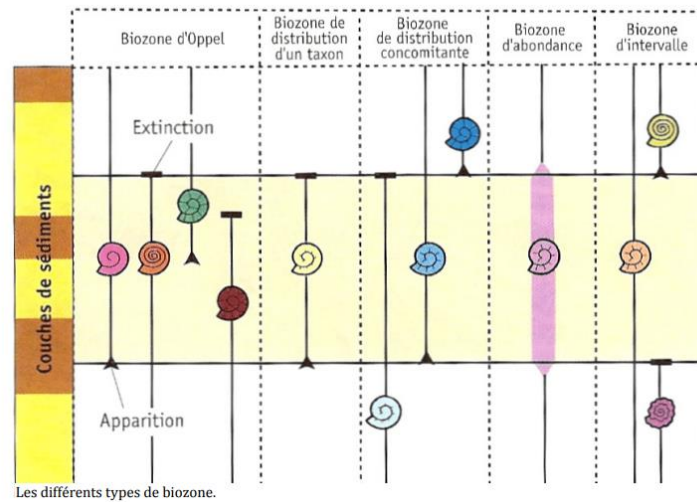
A partir de relevés de faunes replacés dans la stratigraphie (comme ci-contre), on repère les apparitions et disparitions d'espèces, et l'on peut alors établir une succession stratigraphique des espèces.

C'est à partir de cette succession que l'on va définir des biozones.

C'est l'unité de base, elle est fondée sur la distribution verticale (dans les strates) et horizontale (dans l'espace, sur un territoire donné) des espèces ou des genres (de façon générale, des taxons).

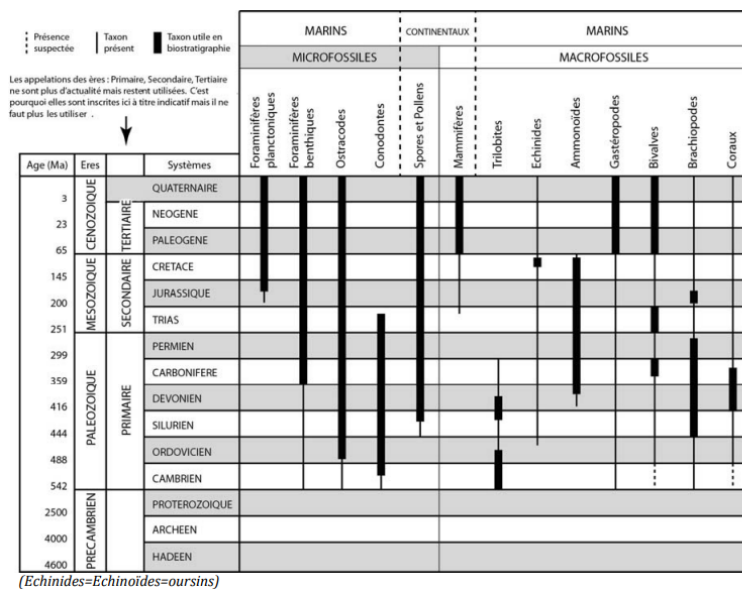
Une biozone est identifiable par son contenu en fossiles et par la place que ce contenu lui assigne dans l'évolution du monde des êtres vivants.

Il existe plusieurs façons de définir une biozone, elles sont illustrées ci-dessous. Toutes sont construites à partir de l'apparition ou de la disparition de taxon



L'« incomplétude » du registre fossile (on ne retrouve pas tous les êtres vivants qui ont existé à chaque époque) complique largement la tâche. Evidemment, le temps est continu alors que les archives géologiques sont discontinues

Voici un résumé de l'extension de la plupart des groupes fossiles présentés dans les fiches :



Le temps est représenté en ordonnée. Attention, si tous les systèmes semblent avoir la même durée, ce n'est pas le cas (regardez les âges pour vous en convaincre, ils correspondent à l'âge de la limite entre chaque système). De manière générale, plus on remonte dans le passé et plus les systèmes représentent une longue durée.

Bibliographie

- 1-Bernardi , (1971), *L'espèce et ses subdivisions du point de vue de la taxonomie évolutive* ; Congrès international d'Entomologie. Moscou, Russie, 3 Juillet 1968/11 Juillet 1968.
- 2- Guillaume Lecointre & Hervé Le Guyader (2001), *Classification phylogénétique du vivant*, 2001
- 3-Guillaume Lecointre (dir.), *Comprendre et enseigner la classification du vivant*, 2004
- 4-Guillaume Lecointre et Hervé Le Guyader, *Classification phylogénétique du vivant*, Tome 2, 4^e édition (revue et augmentée), Belin, Paris, 2017, p. 794
- 5-L. Cuénot et A. Tétay, *L'évolution biologique*, Masson et Cie, 1951.
- 6-Michel Delsol, *L'évolution biologique*, vol. 2, J. Vrin, 2002, p. 171.
- 7- Buican, D. (1997), *L'Évolution et les théories évolutionnistes*, [Éditions Masson](#).