

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement
supérieur et de la
recherche scientifique

Université du 20 Août 1955
Skikda



وزارة التعليم العالي
والبحث العلمي

جامعة 20 أوت 1955
سكيكدة

Faculté des Sciences

Département des Sciences de la Nature et de la Vie - SNV-

Support pédagogique

Botanique

2^{ème} année socle commun Sciences Biologiques



Réalisé par **Dr. Sakhraoui Nora**
Maitre de conférences-B

Année universitaire 2021/2022

Liste des Tableaux

Titre	Page
Tableau 1. Différents systèmes de classification classique traitant le monde du vivant.	4
Tableau 2. Suffixes utilisés pour la désignation des différents rangs taxonomiques.	5
Tableau 3. Caractères communs entre les champignons, les animaux et les végétaux	19
Tableau 4. Comparaison entre l'appareil végétatif des Monocotylédones et des Dicotylédones.	49

Liste des Figures

Titre	Page
Figure 1. différentes formes de Cyanobactéries, A : <i>Nostoc sp.</i> , B : <i>Anabaena sp.</i> , C : <i>Spirulina sp.</i>	9
Figure 2. Formes variées du corps végétatif des Algues eucaryotes, A : <i>Chlorella sp.</i> , B : <i>Pediastrum sp.</i> , C : <i>Cladophora sp.</i> , D : <i>Volvox sp.</i> , E : <i>Spirogyra sp.</i> , F : <i>Ulva lactuca</i> , G : <i>Laminaria sp.</i>	11
Figure 3. Types de cycles de développement digénétiques observés chez les Algues, A : Cycle diplohaplophasique, B : Cycle haplodiplophasique.	13
Figure 4. Position des Glaucophyta et des Rhodophyta au sein de la lignée verte proposé par la classification moderne.	14
Figure 5. Position des Chlorophyta et des Streptophyta au sein des Chlorobionta selon la classification moderne.	15
Figure 6. Différentes formes de Dinoflagellés, A : <i>Ceratium sp.</i> , B : <i>Dinophysis sp.</i> , C : <i>Peridinium sp.</i>	17
Figure 7. Différentes formes d'Euglénophytes, A : <i>Euglena sp.</i> , B : <i>Phacus sp.</i>	18
Figure 8. Différents types de mycéliums, A : hyphes non septés de <i>Rhizopus sp.</i> , B : hyphes septés d' <i>Aspergillus nidulans</i> .	20
Figure 9. Différents types de spores asexuées nues produites par les champignons.	21
Figure 10. Différents types de conidies portées sur des conidiophores.	21
Figure 11. Classification d'Ainsworth et Bisby (1971).	22
Figure 12. Classification phylogénétique des champignons.	22
Figure 13. Classification phylogénétique des Eumycota considérés comme un groupe frère des Métazoaires.	23
Figure 14. Plasmode des Myxomycètes, A : Plasmode à coloration blanche, B : plasmode à coloration jaune.	24
Figure 15. Différentes formes de sporocarpes (regroupant des spores asexuées) et d'ascocarpes (regroupant des spores sexuées).	26
Figure 16. Basidiocarpe (= mycélium tertiaire des Basidiomycètes).	27
Figure 17. Différentes formes de thalles observés chez les Lichens, A : thalle foliacé, B : thalle arborescent, C : thalle composite, D : thalle gélatineux.	29
Figure 18. Anatomie du thalle lichénique.	30

Figure 19. Anatomie de deux formes de thalles différentes : Structure homéomère d'un cyanolichen (<i>Collema sp.</i>), à gauche, et structure hétéromère d'un lichen foliacé (<i>Sticta sp.</i>), à droite.	30
Figure 20. Eléments de reproduction végétative par le complexe lichénique, A : sorédies faciales, B : mécanismes de production des isidies et sorédies, C : sorédies marginales, D : isidies de <i>Xanthoparmelia conspersa</i> .	31
Figure 21. Apothécie produite lors de la reproduction sexuée de l'Ascomycète.	32
Figure 22. Cycle de vie du <i>Marchantia sp.</i> (Clade des Marchantiophytes).	35
Figure 23. Cycle de vie de l' <i>Anthoceros sp.</i> (Clade des Anthocerotophytes).	36
Figure 24. Cycle de vie chez le <i>Polytricum sp.</i> (clade des Bryophytes sensu stricto).	37
Figure 25. Cycle de vie de <i>Saleginella sp.</i> (Clade des Lycophytes).	40
Figure 26. Cycle de vie d' <i>Equisetum sp.</i> (Clade des Equisetophytes).	41
Figure 27. Cycle de vie du <i>Polypodium sp.</i> (Clade des Filicophytes).	42
Figure 28. <i>Cycas revoluta</i> cultivée dans le jardin public de Amar Guenoun à la ville de Skikda.	44
Figure 29. Ovules (après la fécondation) et les fleurs mâles (à droite) du <i>Ginkgo biloba</i> .	45
Figure 30. De gauche à droite : Cônes femelles, cônes mâles (regroupés en inflorescence) et ovule du <i>Pinus sp.</i> (Coniférophytes).	46
Figure 31. Graine ailée observée chez le <i>Pinus sp.</i> (Coniférophytes).	47
Figure 32. Quelques Gnétophytes, de gauche à droite : <i>Ephedra fragilis</i> , <i>Welwitschia mirabilis</i> .	48
Figure 33. Morphologie flore d'une fleur d'Angiospermes.	52
Figure 34. Constitution de l'ovule des Angiospermes.	53
Figure 35. Les différents types de graines observées chez les Angiospermes.	54
Figure 36. Les différents types des fruits retrouvés chez les Angiospermes.	55
Figure 37. Cladogramme avec des groupes monophylétiques (A et B), groupes paraphylétiques (C, D et E) et groupes polyphylétiques (C et D).	56
Figure 38. Aperçu sur la classification d'Angler (1924).	57

SOMMAIRE

Introduction à la botanique	1
(Définition, notions et critères de classification, Systématique des grands groupes du règne "végétal")	
 PREMIERE PARTIE: Algues et Champignons	
1. Les Algues	8
1.1. Les Algues procaryotes (Cyanophytes / Cyanobactéries).....	8
1.2. Les Algues eucaryotes.....	10
1.2.1. Morphologie.....	10
1.2.2. Cytologie.....	10
1.2.3. Reproduction (notion de gamie, de cycle de développement).....	12
1.3. Systématique et particularités des principaux groupes.....	13
1.3.1. Les Glaucophyta.....	13
1.3.2. Les Rhodophyta.....	14
1.3.3. Les Chlorophyta et les Streptophyta.....	15
1.3.4. Les Haptophyta, Ochrophyta, Dinophyta, Euglenozoa, Cryptophyta, Cercozoa.....	16
2. Les Champignons et Lichens	19
2.1. Problèmes posés par la classification des champignons.....	19
2.2. Structure des thalles (mycéliums, stroma, sclérote).....	20
2.3. Reproduction.....	20
2.4. Systématique et particularités des principaux groupes de champignons.....	22
2.4.1. Les Myxomycota.....	23
2.4.2. Les Oomycota.....	24
2.4.3. Eumycota (Chytridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota, Basidiomycota).....	24
2.5. Une association particulière algue-champignon: les lichens	28
2.5.1. Morphologie.....	28
2.5.2. Anatomie.....	29
2.5.3. Reproduction.....	31

DEUXIEME PARTIE: Les Embryophytes

1. Les Bryophytes : Morphologie et reproduction des différents embranchements.....	34
1.1. Marchantiophytes.....	34
1.2. Anthocérotophytes.....	36
1.3. Bryophytes <i>sensu stricto</i>	37
2. Les Ptéridophytes : Morphologie et reproduction des différents embranchements...	38
2.1. Lycophytes.....	39
2.2. Sphenophytes (= Equisétinées).....	40
2.3. Filicophytes.....	41
3. Les Gymnospermes <i>sensu lato</i>.....	43
3.1. Les Cycadophytes: notion d'ovule.....	43
3.2. Les Ginkgophytes.....	44
3.3. Les Coniférophytes: notion de fleur, d'inflorescence et de graine.....	45
3.4. Les Gnétophytes: groupe charnière.....	47
4. Les Angiospermes.....	48
4.1. Appareil végétatif et notion de morphogénèse: croissance des tiges, feuilles et racines.....	49
4.2. Morphologie florale (organisation de la fleur, inflorescences).....	50
4.3. Biologie florale: microsporogénèse et macrosporogénèse.....	52
4.4. Graines et fruits.....	53
4.5. Notion de systématique moderne, cladogénèse et principaux taxons. Présentation des classifications (Engler 1924, APG II).....	56

Introduction à la botanique

Les plantes ont toujours attiré mon attention, d'un côté par leurs belles couleurs et les différentes adaptations qu'elles présentent et d'un autre côté, par le grand rôle qu'elles jouent dans ce monde. Elles sont les seules à pouvoir fabriquer leur propre nourriture grâce à la présence d'un organite particulier, le chloroplaste et d'une substance particulière, la chlorophylle. La photosynthèse permet d'enrichir l'atmosphère par l'oxygène sans lequel la vie sur terre serait impossible. Elles sont aussi les seules à pouvoir produire un organisme entier à partir d'une seule et unique cellule, ce qui a permis de définir d'innombrables perspectives d'applications et d'utilisations notamment en biotechnologies végétales.

Ces êtres vivants remarquables sont donc d'une importance cruciale pour maintenir l'équilibre sur la planète, leur étude et leur connaissance ouvriront la voie devant une meilleure exploitation de ces ressources naturelles. Plusieurs sciences ont donc été consacrées à l'étude des végétaux parmi lesquelles nous citons : la biologie végétale, la biologie cellulaire, la physiologie et la botanique.

L'étude et la compréhension de la botanique exigent la présence de connaissances préalables pluridisciplinaires, notamment en biologie végétale telles que la morphologie et la terminologie spécifique qui lui est consacrée, la structure anatomique et la connaissance des différents tissus végétaux, la biochimie végétale et la connaissance de la gamme de substances intervenant dans le métabolisme des plantes, la physiologie avec toutes ses branches que ce soit celles de la nutrition ou celles de la reproduction et la palynologie ayant pris avec la systématique moderne une importance considérable dans l'étude de la botanique.

La systématique végétale consiste à définir, à connaître, à détailler et surtout à classer les différents groupes des végétaux vivant sur la planète en les abordant d'un point de vue évolutif, autrement dit, en suivant l'échelle de l'évolution des différents groupes qui se distinguent par l'acquisition d'un nouveau caractère non retrouvé chez les groupes antécédents. Par ce fait, certains botanistes aiment parler de végétaux inférieurs et végétaux supérieurs, deux termes sur lesquels nous ne sommes pas entièrement d'accord et ne seront donc pas repris dans ce document, puisque tous les végétaux qu'ils soient grands ou petits montrent une très grande et parfaite adaptation avec leur environnement et une extraordinaire efficacité de reproduction et capacité de résistance leur permettant, non seulement de subsister, mais aussi de remplir un rôle écologique sur lequel dépendent le plus souvent des dizaines d'autres d'êtres vivants.

A l'instar des autres sciences, la botanique a connu un développement considérable en parallèle avec le développement des différentes techniques et moyens d'étude, la botanique n'est donc

pas une science fixe et statique, bien au contraire, c'est une science qui change avec les années, c'est une science qui évolue. Ceci peut d'ailleurs être constaté dans les différents systèmes de classification ayant été élaborés jusqu'ici, la classification classique dite naturelle se base essentiellement sur les traits morphologiques, anatomiques et modalités de reproduction pour distinguer les différents groupes végétaux, par contre, la classification moderne se base sur l'analyse du matériel génétique (ADN, ARN, protéines) et tente à définir les différents liens de parenté entre les différents groupes. L'une et l'autre possèdent des avantages et des inconvénients et sont encore utilisées dans les innombrables recherches.

Les ouvrages consacrés à la description botanique des taxons et leur appartenance taxonomique sont appelés : Flores. Elles fournissent le plus souvent les clés d'identification permettant de distinguer un taxon parmi tant d'autres. En Algérie, des flores nationales décrivant la végétation indigène ont été réalisées en période coloniale. Malgré leur ancienneté, elles constituent l'unique source disponible pour les chercheurs algériens qui réclament souvent la mise à jour et l'actualisation de la flore nationale. Cette tâche colossale n'est sûrement pas facile, mais reste cependant indispensable.

Parmi les points que nous allons traiter dans cette introduction : la définition de la systématique végétale, les notions et critères de classification et enfin la systématique des grands groupes végétaux.

- **Définition de la systématique végétale**

La systématique végétale (taxonomie végétale) s'intéresse à la classification des végétaux en différents niveaux taxonomiques. les règles suivies en taxonomie sont appelées : nomenclature.

- **Notions et critères de classification**

- **Notions de classification**

Taxon : au pluriel taxa ou taxons, ce terme désigne tout groupe d'individus reconnus et nommés par les taxonomistes sans niveau précis, il peut donc désigner un embranchement, une classe, un ordre, une famille....pour terminer avec une espèce, une variété ou encore une forme.

Chaque taxon, désignant ici une espèce végétale, possède :

- **un nom commun**, donné en langue arabe, française ou anglaise ; ce nom est généralement stable (ne change pas d'un pays à un autre pour des pays parlant la même langue)
- **un nom vernaculaire**, c'est le nom donné dans le dialecte des différentes populations et tribus d'un pays, en Algérie par exemple, la lavande sauvage est appelée 'لحلاح لمعيز' chez les arabes et 'تمزرة ou امزير' chez les amazighs. Le lentisque est appelé 'طرو، ضرور' chez les arabes

et 'فطيس' chez les amazighs. Le nom vernaculaire de la même espèce change donc d'une région à une autre, mais il est aussi important que le nom scientifique.

- **un nom scientifique**, c'est le nom donné à une espèce par un botaniste, il est invariable et ne change donc pas d'une région à une autre ou d'un pays à un autre. Il a une très grande importance car il permet de reconnaître les différentes espèces, il suit le système binomial (*genre et espèce*) et est suivi de l'initiale du nom de l'auteur ayant donné ce nom (la première fois) à la plante. Sa rédaction suit des règles précises : il est mis en italique ou souligné, exemple :

Olea europaea L. ou Olea europaea L.

Si l'espèce n'est pas connue, on écrit dans ce cas : *Olea sp.* remarquez bien que 'sp' est aussi mis en italique.

Le nom scientifique peut indiquer :

- L'utilité de l'espèce, ex. *Rosmarinus officinalis* (= Romarin) (le terme 'officinalis' indique que l'espèce possède des vertus médicinales) ;
- Une caractéristique de l'appareil végétatif (forme, couleur, taille... de la tige, la fleur, la racine...etc.), ex., *Populus alba*, *Populus nigra*, *Solanum tuberosum* ;
- Une personnalité célèbre (roi, reine, botanistes...) ex. *Strelitzia nicolai*, *Bougainvillea spectabilis* ;
- Sa répartition géographique ou son origine géographique, ex. *Eryobotria japonica*, *Citrus sinensis*, *Thymus algeriensis* ;
- L'époque de floraison ou de prolifération, ex. *Scilla autumnalis* ;
- Le milieu de prolifération, ex. *Mentha aquatica*, *Anthemis maritima*, *Anthemis arvensis* ;

Les plantes poussant dans les milieux naturels (à l'état sauvage) d'un pays, se propageant par leurs propres moyens (sans l'intervention de l'homme) constituent la **flore indigène** (= **autochtone**,= **native**) de ce pays. Nous pouvons donc distinguer entre :

- des plantes indigènes (poussant à l'état naturel et se propageant spontanément) ;
- des plantes cultivées (qui restent exclusivement cultivées, n'ont pas la capacité de vivre en dehors des milieux de culture et ont besoin de l'homme pour se propager). Ces plantes sont généralement introduites dans un pays, elles constituent donc la **flore introduite** (= **non native**).

la flore indigène algérienne compte environ 4500 taxons (= espèce + sous espèce + variété), cependant cette flore étudiée et identifiée, depuis longtemps, essentiellement par des botanistes étrangers a besoin d'être actualisée.

- **Critères de classification**

Les êtres vivants sont regroupés selon des caractères communs appelés attributs. Les botanistes ont ainsi créé des groupes rassemblant des végétaux possédant un ou plusieurs attributs en commun. Les critères utilisés changent suivant le type de classification.

Il existe deux types de classification : la **classification classique** dite ancienne et la **classification phylogénétique** dite moderne.

En classification classique le monde du vivant a été divisé en plusieurs et différents règnes selon les auteurs (**Tableau 1**), cette classification se base sur les critères morphologiques, histologiques, biochimiques,...etc. Elle reconnaît la présence de plusieurs rangs ou niveaux taxonomiques dont les principaux sont:

- **Super règne (=domaine= empire)**
- **Règne**
- **Embranchement (= phylum= division)**
- **Classe**
- **Ordre**
- **Famille**
- **Tribu**
- **Genre**
- **Espèce**

Tableau 1. Différents systèmes de classification classique traitant le monde du vivant.

Haeckel (1894)	Whittaker (1969)	Woese (1990)	Cavalier-Smith(2004)
3 règnes	5 règnes	3 domaines 6 règnes	2 empires 6 règnes
Animalia Plantae Protozoa	Monera Protista Animalia Plantae Fungi	domaine Eucarya R. Protista R. Fungi R. Animalia R. Plantae	Empire Eukaryota R. Protozoa R. Fungi R. Animalia R. Plantae R. Chromista
		domaine Bacteria R. Eubacteria	Empire Prokaryota R. Bacteria
		domaine Archaeobacteria R. Archaeobacteria	

Des niveaux secondaires existent également à savoir : Infra règne (=sous-règne), Sous-embanchement, Sous-classe, Sous-ordre, Sous-famille, Sous espèce, Variété (=race, créée naturellement) et Forme, cette dernière est reconnue comme étant le dernier niveau de classification en botanique. Signalons ici, que le terme « cultivar » désignant une variété qui a été créée par l'homme n'est pas reconnu en botanique. La terminologie utilisée pour la désignation des différents rangs taxonomiques est résumée dans le **tableau 2**.

Tableau 2. Suffixes utilisés pour la désignation des différents rangs taxonomiques.

Rangs	Plantes	Algues	Champignons
Embranchement	+ phyta	+ phyta	+ mycota
Sous-Embranchement	+ phytina	+ phytina	+mycotina
Classe	+ opsida	+ phyceae	+ mycètes
Sous-Classe	+ idae	+ phycidae	+ mycetidae
Ordre	+ ales	+ ales	+ ales
Famille	+aceae	+ aceae	+ aceae

La classification moderne quant à elle, se base sur les analyses moléculaires de l'ADN (gènes codant pour l'ARNr, gènes codant pour les enzymes). Elle cherche à établir les liens de parenté et les relations évolutives existant entre les individus ou les groupes pour dresser des arbres phylogénétiques.

Elle met le point sur des :

- groupes monophylétiques (tous les descendants ont un ancêtre commun direct),
- groupes polyphylétiques (les descendants ont des ancêtres différents),
- groupes paraphylétiques (la plus part des descendants ont le même ancêtre)

elle divise le monde du vivant en trois principaux groupes (appelés Clades) :

- clade des Eubacteria

- clade des Archaea
- clade des Eukaryota

La classification phylogénétique rejette toute catégorisation des niveaux hiérarchiques, tous les niveaux taxonomiques sont remplacés par le terme : Clade (un ensemble d'individus ayant le même ancêtre = groupe monophylétique), elle ne garde que Genre et Espèce. Néanmoins, sur le web on peut trouver ces deux systèmes de classification en plus d'un troisième système qui combine entre le système classique et le système phylogénétique. La classification phylogénétique bien que moderne présente quelques inconvénients parmi les plus importants, on peut citer l'enregistrement de résultats différents suivant le changement de l'origine des gènes pris en considération lors des analyses génétiques. Certaines études ayant travaillé sur des gènes nucléaires sont arrivées à des résultats de classification différents de ceux enregistrés par des études ayant travaillé sur des gènes chloroplastidiaux de la même espèce.

Quels sont donc les différents groupes du règne végétal ? y a-t-il des différences entre la classification classique et phylogénétique en ce qui concerne la classification de ces groupes ?

- **Systématique des grands groupes du règne végétal**

L'ensemble des plantes constitue le règne végétal. Ce règne comprend plusieurs groupes ayant des caractéristiques biologiques très variées. La présence ou l'absence des tiges et des feuilles a été le premier critère pris en considération pour distinguer les différents groupes végétaux. Nous constatons ainsi la présence de deux grands groupes bien distincts :

- Un groupe d'individus dépourvus de tiges et de feuilles, le corps végétatif est constitué de simple filaments d'où son nom : **groupe des Thallophytes** ;
- Un groupe d'individus possédant des tiges et des feuilles, le corps végétatif est bien développé, définissant le **groupe des Embryophytes**.

Ces deux grands groupes sont à leur tour divisés en d'autres sous-groupes en se basant sur d'autres critères secondaires. Le groupe des thallophytes est divisé en 2 sous-groupes bien distincts en se basant sur le pouvoir photosynthétique : les **Algues** (= Phycophytes, photosynthétiques) et les **Champignons** (= Mycètes, non photosynthétiques), à ceux-là a été ajouté un groupe particulier celui des **Lichens** résultant de l'association entre un partenaire photosynthétique (Algue ou Cyanobactérie) et un autre non photosynthétique (Champignon).

Le groupe des embryophytes, quant à lui, est aussi divisé en 2 sous-groupes bien différenciés en se basant sur la présence des vaisseaux de transport (xylème et phloème), ce qui a permis de distinguer le groupe des **Bryophytes** (dépourvus de vaisseaux de transport) et le groupe des

Trachéophytes (possédant des vaisseaux de transport), ce dernier est à son tour divisé en deux sous-groupes en se basant sur la présence de la fleur à savoir : les **Ptéridophytes** (ne produisant jamais de fleurs) et les **Spermatophytes** (produisant des fleurs et des graines). En se basant sur l'état de l'ovule et sa présence ou non à l'intérieur d'un élément protecteur (l'ovaire), les Spermatophytes sont divisés en 2 sous-groupes : les **Gymnospermes** (à ovule nu, non contenu dans un ovaire) et les **Angiospermes** (à ovule contenu dans un ovaire).

Nous détaillons dans la suite de ce document tous ces groupes en faisant le point sur leur morphologie, leur milieu de vie et leur classification et en apportant une attention particulière sur les différentes modalités de reproduction.

PREMIERE PARTIE : Algues et Champignons

1. Les Algues (= Phycophytes)

1.1. Les Algues procaryotes (Cyanophytes = Cyanobactérie)

- **Caractéristiques générales**

Appelées aussi les algues bleues vertes à cause de leur coloration, elles font partie des plus vieux organismes vivants apparus sur terre, les chercheurs estiment leur apparition à plus de 3 milliards d'années. C'est un groupe consistant contenant environ 150 genres et 2000 espèces.

Les cyanobactérie se caractérisent par :

- Ce sont des êtres aérobies unicellulaires sans flagelles comme elles peuvent s'organiser en colonies filamenteuses pluricellulaires (=Trichome) (**Figure 1**) ;
- Leur reproduction est asexuée se fait essentiellement par bourgeonnement, fragmentation ou scission binaire (= division du noyau puis du cytoplasme);
- Absence de la reproduction sexuée ;
- Absence de l'enveloppe nucléaire et organites cellulaires bien différenciés ;
- L'appareil photosynthétique nage dans le cytoplasme ;
- Présence de phycobilisomes complexes (portant des pigments variés tels que la phycocyanine, allaphycocyanine, phycoérythrine...);
- Paroi de nature peptidoglycane à Gram- comme celle des bactéries ;
- Les colonies filamenteuses peuvent porter de grandes cellules non photosynthétiques: les hétérocystes et les akinètes respectivement responsables de la fixation de l'azote atmosphérique et le stockage des réserves nutritionnelles ;
- Elles sont présentes partout (eaux douces, eaux marines, sols humides, roches...), certaines vivent en symbiose avec des champignons, des fougères et des Cycadophytes ;
- La plus part des cyanobactéries sécrètent une matière visqueuse constituant une matrice externe protégeant les cellules.

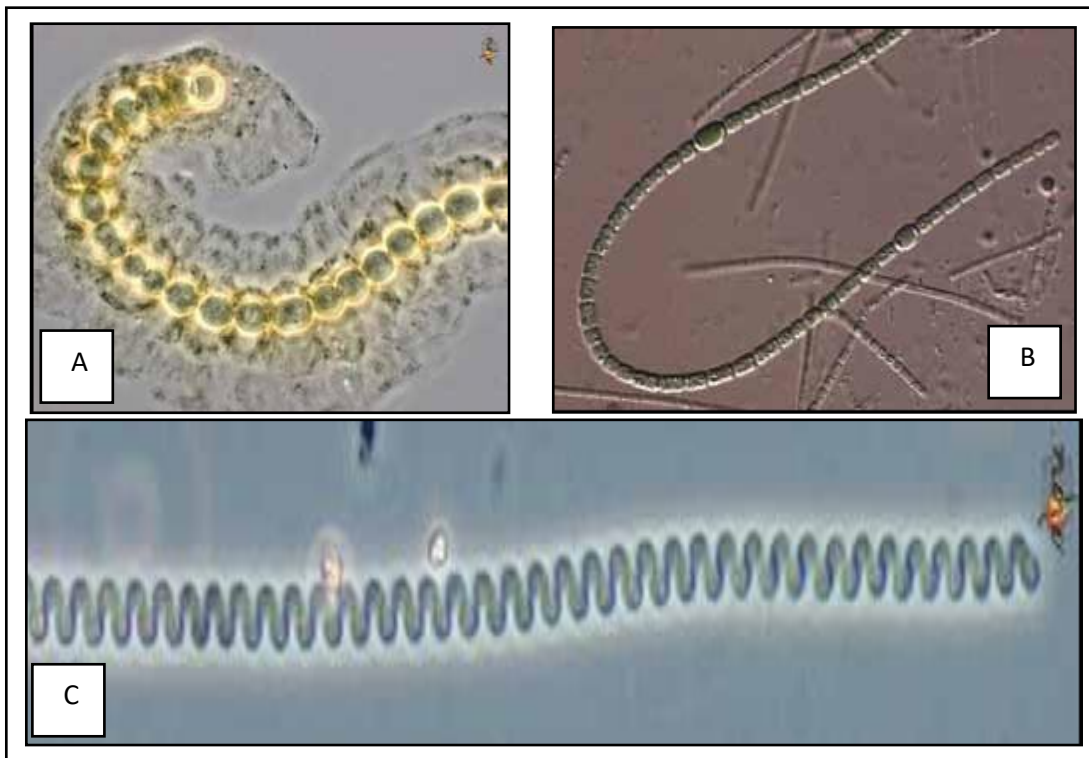


Figure 1. différentes formes de Cyanobactéries, A : *Nostoc sp.*, B : *Anabaena sp.*, C : *Spirulina sp.*

- **Classification**

Les Cyanobactéries étaient considérées comme de véritables algues faisant partie des algues procaryotes, grâce aux travaux de Stanier et al. (1962) et Gibbon et Murray (1978), elles ont été intégrées dans le groupe des bactéries photosynthétiques. Elles forment actuellement une classe à part entière au sein des Eubacteria.

- **Intérêt du groupe des Cyanobactéries**

Les Cyanobactéries jouent plusieurs rôles très importants, leur présence est essentielle pour la vie sur terre. Nous rapportons ci-dessous quelques-uns de leurs rôles positifs ou encore négatifs.

- Rentrent dans la formation du phytoplancton et sont donc à la base de la chaîne alimentaire;
- Source d'oxygène, grâce à la photosynthèse, les cyanobactéries produisent des quantités importantes d'oxygène ce qui maintient la vie sur terre ;
- Certaines sont comestibles et sont une source importante d'éléments minéraux et de protéines, ex. *Spirulina sp.*
- Enrichissent les sols par l'azote atmosphérique qu'elles fixent ;

- Cependant, la prolifération massive des cyanobactéries peut engendrer plusieurs problèmes notamment les blooms (=efflorescence) se produisant généralement dans les grandes étendues aquatiques (barrages, lacs, mers, plages) et entraînant la libération de substances toxiques (=cytotoxines) pouvant avoir des conséquences désastreuses sur l'environnements, les êtres vivants ainsi que sur l'homme.

1.2. Les Algues eucaryotes

Ce sont des algues photosynthétiques à vrai noyau, possédant des formes et des colorations très variées grâce à la présence de pigments variés, vivent pratiquement dans tous les milieux terrestre (=aérophiles) et aquatique (dans ce cas, les algues peuvent être attachées à un substrat, elles sont donc dites benthiques ou libres, flottant dans les eaux, elles sont donc dites pélagiques). Elles forment un groupe polyphylétique.

1.2.1. Morphologie

Les algues eucaryotes sont unicellulaires à flagelles ou sans flagelles ou pluricellulaires, dans ce cas l'appareil végétatif forme une colonie appelé Thalle, la colonie peut prendre des formes et des tailles très variées selon les espèces, elle peut être filamenteuse, sphérique ou globuleuse, réticulée, foliacée ou même tubulaire, le thalle le plus complexe est le thalle à cladomes retrouvé chez les Charophytes (**Figure 2**).

1.2.2. Cytologie

La cellule des algues eucaryotes porte un noyau comparable à celui des plantes évoluées mais généralement plus petit. Les chloroplastes possèdent des formes variées selon les espèces, certains chloroplastes sont étoilés d'autres sont rubanés alors que d'autres sont en forme de coupe, ils portent le plus souvent des corps protéiques appelés pyrénoides responsables du stockage de l'amidon pouvant avoir une position intra-plastidiale ou extra-plastidiale. Les thylacoïdes peuvent présenter des accolements définissant des granums comme ils peuvent être absents, ils portent les pigments responsables de la photosynthèse, ces derniers appartiennent à des catégories de substances variées notamment des chlorophylles, des carotènes, des fucoxanthines, des phycoérythrine...etc. La paroi est souvent de nature cellulosique mais certaines espèces possèdent des couches externes comme celles observées chez les Diatomées de nature siliceuse (=frustule), la paroi peut aussi contenir d'autres substances notamment hémicellulose, chitine, alginate et gélose. Les réserves nutritionnelles sont stockées sous forme d'amidon, de laminarine, de mannitol, de leucosine ou d'huiles.

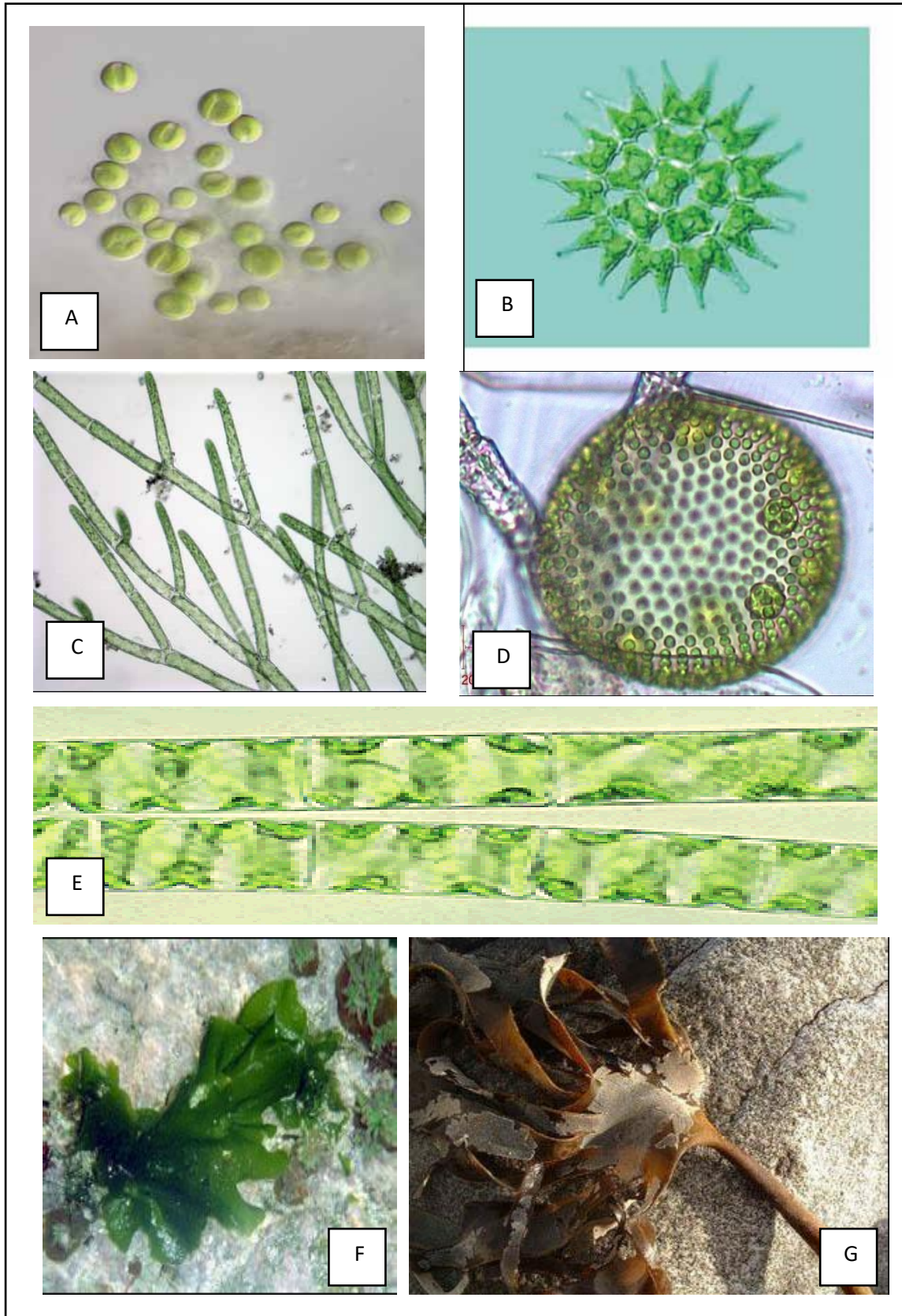


Figure 2. Formes variées du corps végétatif des Algues eucaryotes, A : *Chlorella sp.*, B : *Pediastrum sp.*, C : *Cladophora sp.*, D : *Volvox sp.*, E : *Spirogyra sp.*, F : *Ulva lactuca*, G : *Laminaria sp.*

1.2.3. Reproduction (notion de gamie, cycle de développement)

La reproduction chez les algues suit les deux modes : sexué et asexué.

- La reproduction asexuée (= agame), se fait par:
 - La fragmentation du thalle,
 - Mitose,
 - Spores asexuées (flagellées ou sans flagelles) contenues dans des sporocystes.
- La reproduction sexuée quant à elle est très diversifiée chez les algues, elle se réalise par la production de gamètes contenus dans des gamétocystes où nous trouvons des gamétocystes mâles qui produisent les spermatozoïdes (gamètes mâles) et des gamétocystes femelles qui produisent les oosphères (=gamètes femelles). La reproduction sexuée peut se réaliser selon différents schémas et mécanismes d'où la présence d'une terminologie spécifique relative à ce phénomène. Parmi les différents types de reproduction sexuée existants, citons la reproduction **Isogamie** dans laquelle les deux gamètes mâles et femelles se ressemblent parfaitement par rapport à la forme et la reproduction **anisogamie** dans laquelle les deux gamètes ne se ressemblent pas et que certains auteurs préfèrent appeler hétérogamie.

Le Cycle de développement chez les algues est aussi très varié, il est essentiellement monogénétique ou digénétique. Dans un cycle monogénétique, une seule génération, diploïde ou haploïde, réalise le cycle de vie, par contre, dans un cycle digénétique, deux générations morphologiquement distinctes (=hétéromorphes) ou semblables (=isomorphes) se succèdent, une haploïde représentée par le gamétophyte et une diploïde représentée par le sporophyte; l'une ou l'autre peut être placée au début du cycle, c'est ainsi que le cycle peut être: haplodiplophasique, lorsque la génération haploïde commence le cycle et sera suivie par la génération diploïde, ou diplohaplophasique, lorsque la génération diploïde commence le cycle et sera suivie par la génération haploïde (**Figure 3**).

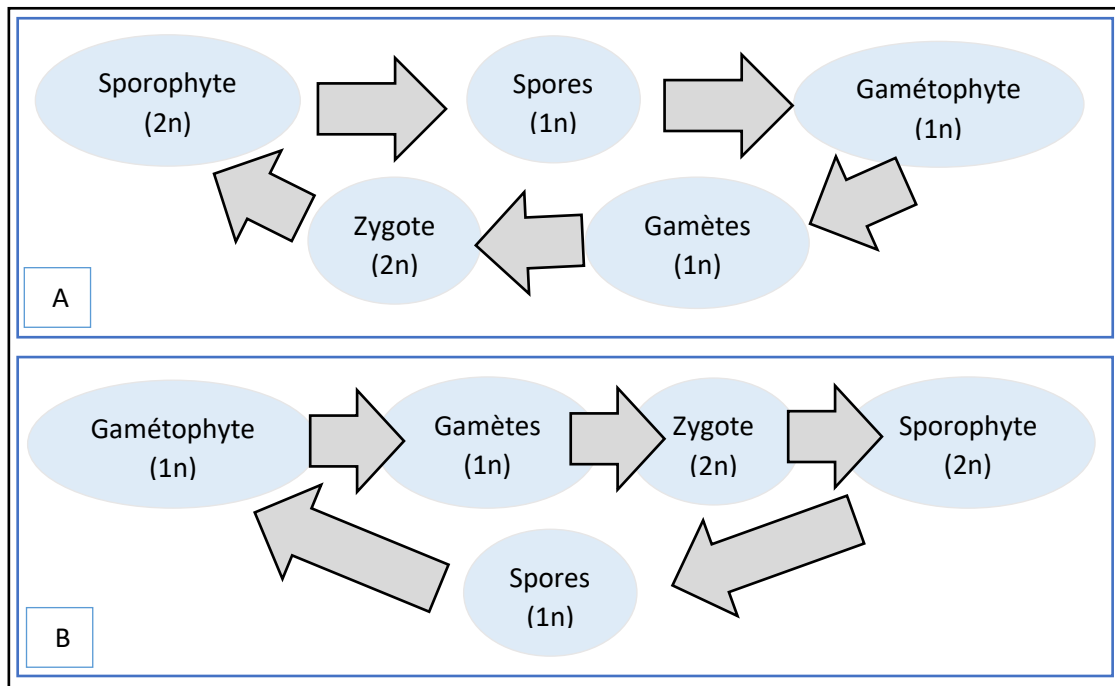


Figure 3. Types de cycles de développement digénétiques observés chez les Algues, A : Cycle diplohaplophasique, B : Cycle haplodiplophasique.

1.3. Systématique et particularité des principaux groupes

1.3.1. Les Glaucophyta

Les Glaucophyta ou Glaucocystophytes constituent un groupe très restreint comprenant quelques espèces, jusqu'à ce jour seulement 14 espèces ont été décrites et sont actuellement acceptées. Ce sont des organismes unicellulaires structurés dorso-ventralement, au dos arrondi et au ventre aplati et présentant deux flagelles de longueurs inégales. Ces espèces sont présentes dans les mares d'eau douce. Parmi les espèces, nous citons : *Cynophora paradoxa* et *Glaucocystis nostochinearum*.

Les Glaucophyta ont d'abord été classées dans les Chlorophyta (Algues vertes) puis dans les Rhodophyta (Algues rouges). Actuellement, en classification phylogénétique, elles forment un clade indépendant de la lignée verte (=Archaeplastida) et sont désignées comme un groupe frère des Rhodophyta et des Chlorobionta (= Viridiplantae) (**Figure 4**). D'après les auteurs, la lignée verte s'est différenciée après une endosymbiose primaire : une Cyanobactérie Gram⁻ a été capturée par un eucaryote hétérotrophe et s'est progressivement réduite pour se transformer finalement en un chloroplaste (Meyer et al., 2004 ; Reeb et Dubuisson, 2007).

1.3.2. Les Rhodophyta (Algues rouges)

Vivent essentiellement dans les eaux marines, très peu d'entre elles vivent dans les eaux douces, la plupart pluricellulaire, constituée d'un thalle ramifié à structure parenchymateuse. Leurs parois sont de nature cellulosique mais contiennent également de l'hémicellulose. Les chloroplastes contiennent la chlorophylle a et b ainsi que la phycoérythrine représentant le pigment dominant, ne présentent pas d'accolement au niveau des thylacoïdes, se caractérisent surtout par :

- La présence d'un système de communication intercellulaire complexe ;
- La reproduction sexuée se fait selon un cycle trigénétique (le cystocarpe est considéré par certains auteurs comme la 3^{ème} génération, dans ce cas il est appelé carposporophyte quand il n'est pas considéré comme tel le cycle est dit digénétique ;)
- Les gamètes mâles sont dépourvus de flagelles, le gamète femelle est dépourvu de paroi (protoplasme sans paroi) porté par une structure spécifique appelée carpogone ;
- Présence de cellules synergides qui se différencient avant ou après la fécondation, sont riches en réserves nutritionnelles, ayant pour rôle, de recevoir le noyau femelle fécondé (=zygote) et d'engendrer les gonimoblastes sur lesquels vont se différencier des carpogonidies diploïdes enfermées à maturité dans un élément vésiculeux, appelé cystocarpe. Après la libération, la germination de chaque carpogonidie donnera un nouveau thalle diploïde (=sporophyte).

Parmi les algues rouges, citons : *Gracilaria lemaneiformis* , *Porphyra yezoensis*, *Chondrus crispus*, *Callithamnion sp*, *Lemanea sp*, *Fluviatilis sp*, *Caloglossa sp*, *Balbiannia sp*, *Antithamnion plumula*.

Wittaker (1969) et Cavalier Smith (1998-2004) les ont tous les deux classé dans le règne des Plantes (Plantae), la classification phylogénétique, basée sur les analyses d'ARNr et les crêtes mitochondriales, les classe dans le clade des Rhodobionta considéré comme un groupe frère des Viridiplantae (=Chlorobionta) (**Figure 4**).

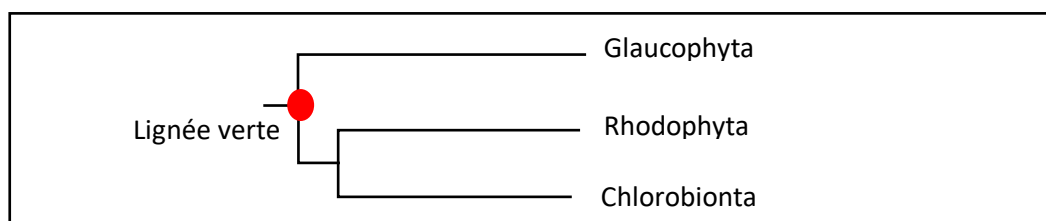


Figure 4. Position des Glaucophyta et des Rhodophyta au sein de la lignée verte proposé par la classification moderne.

1.3.3. Les Chlorophyta et les Streptophyta

Les Chlorophyta (=Algues vertes) sont généralement des algues d'eau douce (87%). Le pigment dominant est la chlorophylle a et b, la matière organique est stockée sous forme d'amidon. Un groupe très diversifié, comprend des individus unicellulaires, immobiles (ex. *Chlorella sp.*) ou mobiles (ex. *Chlamydomonas sp.*), ou pluricellulaires organisés en colonies réticulées (*Hydrodictyon sp.*), globuleuses (*Pandorina sp.*), filamenteuses (*Spirogyra sp.*) ou encore en colonies foliacées (*Ulva sp.*). Ce groupe compte 7000 espèces ou plus selon les auteurs.

Wittaker (1969) et Cavalier Smith (1998-2004) les ont tous les deux classé dans le règne des Plantes (Plantae), la classification phylogénétique, basée sur les analyses d'ARNr et les crêtes mitochondriales, ne les a pas retiré des plantes, elles sont classées dans le clade des Viridiplantae (=Chlorobionta), au sein de ces dernières, les Chlorophyta sont considérées comme un groupe frère des Streptophyta (**Figure 5**).

Les Streptophyta constituent un groupe composé de deux taxons bien distincts : les Charophyta, algues vertes aquatiques, et les Embryophyta considérées comme les plantes les plus évoluées. Nous nous limiterons dans cette partie à la présentation des Charophytes, les Embryophytes quant à elles, seront traitées un peu plus loin dans ce document.

Les Charophytes sont donc des algues photosynthétiques des eaux douces ou saumâtres, elles comptent environ 4500 espèces regroupées en 6 taxons (ordres) différents à savoir : les Charales, les Mesostigmatales, les Chlorokybales, les Zygnematales et les Coleochaetales. Elles possèdent des formes très variées, certaines sont unicellulaires d'autres par contre sont pluricellulaires constituant des thalles filamenteux ou même parenchymateux (Coleochaetales). Certaines espèces sont mobiles grâce à la présence de flagelles d'autres ne le sont pas à cause de l'absence de ses derniers. Parmi les espèces, nous citons : *Zygnema sp.*, *Chara sp.* et *Coleochaetes sp.*

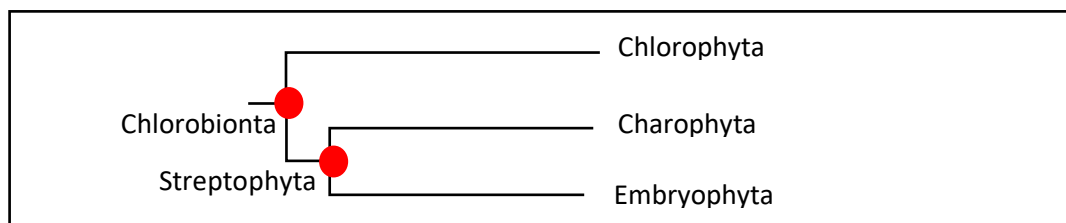


Figure 5. Position des Chlorophyta et des Streptophyta au sein des Chlorobionta selon la classification moderne.

1.3.4. Les Haptophyta, Ochrophyta, Dinophyta, Euglenozoa, Cryptophyta, Cercozoa

A. Haptophyta

Les Haptophyta sont des algues unicellulaires aquatiques caractérisées par la présence d'un appendice particulier différent des flagelles, l'haptonème (appendice filiforme contenant des microtubules, dont la taille varie selon l'espèce, et qui permettrait l'adhésion à un substrat, le déplacement de particules voire la capture de proies). Ils existe plusieurs groupes fossiles, le nombre d'espèces actuelles est estimé à environ 500.

Au niveau ultra-structural, un réticulum endoplasmique entoure la cellule sous la membrane plasmique et un autre réticulum enveloppe le noyau et les plastes. Les thylacoïdes sont présents mais ne forment pas de granums. Les pigments dominants sont les chlorophylles a et c accompagnées aussi de xanthophylles, comme la fucoxanthine. Les mitochondries ont des crêtes tubulaires.

B. Les Ochrophyta

Egalement appelées Heterokontophyta sont une division d'algues brun-doré du règne des Chromista inventée la première fois par Cavalier Smith.

C. Les Dinophyta

Egalement appelées les Dinoflagellés ou Pyrrophyta, très répandues dans les eaux marines, généralement unicellulaires, certaines sont dépourvues de chlorophylle et vivent de ce fait en parasites. Les chloroplastes contiennent de la chlorophylle a et c, la β carotène, la péricidine et la fucoxanthine. Les réserves nutritionnelles sont stockées sous forme d'amidon ou d'huile. Ces algues, contribuant largement à la constitution du phytoplancton, se caractérisent surtout par leurs flagelles : chaque cellule porte deux flagelles, l'un deux se trouve à l'arrière, l'autre tourne autour de la cellule (**Figure 6**). Parmi les espèces, citons : *Dinophysis sp.*, *Ceratium sp.*, et *Prorostrium sp.*

Wittaker (1969) les a classé dans le règne des Protista avec les Euglenophyta, Cavalier Smith (1998-2004) par contre, les a classé dans le règne des Protozoa avec les Euglenophyta toujours. La classification moderne (phylogénétique), basée sur l'analyse de l'ARNr 18S et les crêtes mitochondriales, les a classé dans le clade des Alveolata.

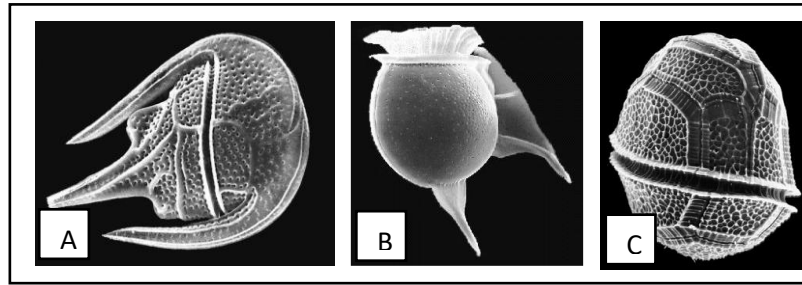


Figure 6. Différentes formes de Dinoflagellés, A : *Ceratium sp.*, B : *Dinophysis sp.*, C : *Peridinium sp.*

D. Les Euglenophyta

Encore appelées Euglénoides sont principalement des algues aquatiques unicellulaires, vivant essentiellement dans les eaux douces et sont fréquentes dans les eaux riches en matières organiques, cependant, certaines espèces se rencontrent également dans les eaux saumâtres et marines. Certaines espèces sont photosynthétiques alors que d'autres ne le sont pas, elles se nourrissent de substances dissoutes comme elles peuvent être des saprophytes ou des endosymbiotes.

Les Euglénophytes se caractérisent par la présence d'une vacuole contractile, cavité capable de se contracter afin d'évacuer l'eau qui y entre en permanence, d'un cytosquelette avec des motifs particuliers sous la membrane, pouvant intervenir dans la mobilité des espèces qui est essentiellement pratiquée grâce aux flagelles au nombre de deux (certaines espèces possèdent cependant jusqu'à 4 flagelles) : un à position antérieure et l'autre à position postérieure et d'un « œil primitif », ou stigma (présent chez la plus part des espèces chlorophylliennes) formant une petite tache de pigment rouge sur un côté de la poche du flagelle. Celui-ci abrite, près de la base du flagelle de tête, un ensemble de cristallins sensibles à la lumière, de sorte que l'ensemble se comporte comme une espèce d'œil directionnel (**Figure 7**).

La reproduction se fait par division cellulaire longitudinale. Parmi les espèces, citons : *Euglena sp.*, *Eutreptia sp.*, *Phacus sp.* et *Trachelomonas sp.*

Wittaker (1969) les a classé dans le règne des Protista avec les Dinoflagellés, Cavalier-Smith (1998-2004) les a classé dans le règne des Protozoa avec les Dinoflagellés. La classification moderne, basée sur les analyses de l'ARNr 18S et les crêtes mitochondriales, les classent dans le clade des Discicristata avec les Acrasiomycètes.

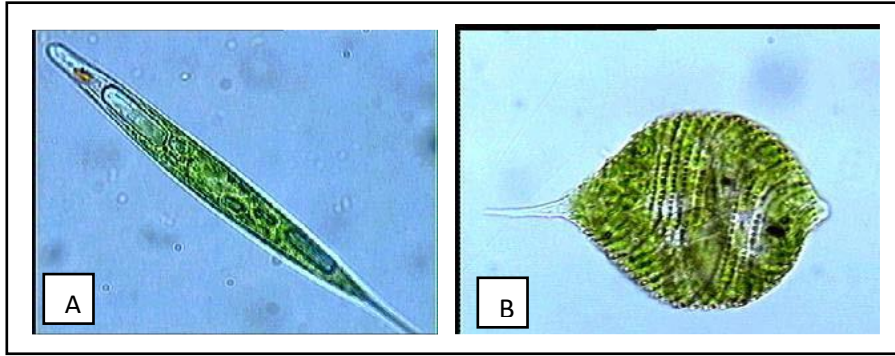


Figure 7. Différentes formes d'Euglénophytes, A : *Euglena sp.*, B : *Phacus sp.*

E. Les Cryptophytes

Les Cryptophytes sont des algues unicellulaires aquatiques qui se rencontrent dans les eaux douces et les eaux salées. Certaines espèces sont devenues des parasites intestinaux de métazoaires (=animaux) alors que d'autres sont des endosymbiotes de Dinoflagellés. Elles se caractérisent par la présence de trichocystes ou éjectosomes qui sont des structures spécifiques à ce groupe servant à neutraliser les proies, la face ventrale de la cellule est parcourue par un sillon terminé par une dépression profonde. La mobilité est assurée par la présence de deux flagelles. Le chloroplaste est pourvu de quatre membranes, ce qui indique une endosymbiose d'un eucaryote photosynthétique. Des traces de cet endosymbiote sont encore visibles chez certaines Cryptophytes, les thylacoïdes sont groupés par paires.

F. Les Cercozoa

Ce groupe comprend des espèces essentiellement hétérotrophes, mais quelques espèces sont photosynthétiques grâce à l'assimilation d'une algue verte. Elles vivent dans le sol ou encore dans les eaux douces ou salées. Il en existe actuellement de nombreuses lignées possédant des caractéristiques très variées. Les uns possèdent des flagelles, alors que d'autres les ont perdu pour prendre une forme d'amiboïde avec des pseudopodes en forme de fils (filose) ou de réseaux (réticulose) pour se nourrir ou encore pour bouger dans leur environnement. Certains d'entre eux sont protégés d'une pellicule rigide et d'autres ont développé des axopodes supportés par des microtubules. La paroi est généralement souple mais certains taxons sont recouverts d'écailles siliceuses rigides.

- **Intérêt du groupe des Algues eucaryotes**

Les algues eucaryotes jouent des rôles très importants dans leur environnement comme elles sont utilisées dans différents domaines industriels, parmi ces rôles bénéfiques, nous citons :

- Elles rentrent dans la constitution du phytoplancton et sont donc à la base de la chaîne alimentaire ;
- Sont source de nourriture pour plusieurs espèces marines ;
- Sont source importante d'oxygène ;
- Elles sont utilisées pour l'extraction d'une gamme très variée de substances telles que l'agar-agar, des colorants, des protéines, des vitamines et des sels minéraux qui sont utilisés dans plusieurs domaines notamment en cosmétologie, pharmacologie et industrie alimentaire ;
- Certaines ont été utilisées pour la fabrication du biodiesel ;
- Certaines ont été employées dans la fabrication du bioplastique dégradable.

2. Les Champignons et les Lichens

2.1. Problèmes posés par la classification des champignons

Les champignons sont des organismes microscopiques ou macroscopiques dépourvus de chlorophylle, ils sont donc obligatoirement des parasites, pouvant infecter des espèces végétales et animales, des saprophytes, vivant sur la matière organique morte qu'elle soit d'origine végétale ou animale, ou des symbiotes, vivant en symbiose avec d'autres êtres vivants notamment des végétaux. Ils vivent dans tous les milieux, terrestre (nécessitent la présence de l'humidité) et aquatique. 8000 espèces ont été décrites mais on estime leur nombre à environ 1,5 millions d'espèces. Ayant des caractères d'animaux et de végétaux (**Tableau 3**), les mycètes constituaient un véritable problème à la classification.

Tableau 3. Caractères communs entre les champignons, les animaux et les végétaux.

Caractères d'animaux	Caractères de végétaux
<ul style="list-style-type: none"> - Absence de chloroplaste - Présence de chitine - Présence de glycogène - Certains sont mobiles et se nourrissent par phagocytose 	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de parois - Présence de vacuoles - Présence de cellulose - Plusieurs sont immobiles

2.2. Structure des thalles (mycéliums, stroma, sclérote)

Les champignons sont des organismes unicellulaires comme les levures ou pluricellulaires constitués de plusieurs filaments appelés hyphes dont l'ensemble constitue le **mycélium**. Les hyphes peuvent être cloisonnés (= existence de parois transversales délimitant des cellules) ou septés, comme ils peuvent être non cloisonnés (= non septés), dans ce cas ils sont dits courants, coenocytiques ou siphonnés (**Figure 8**).

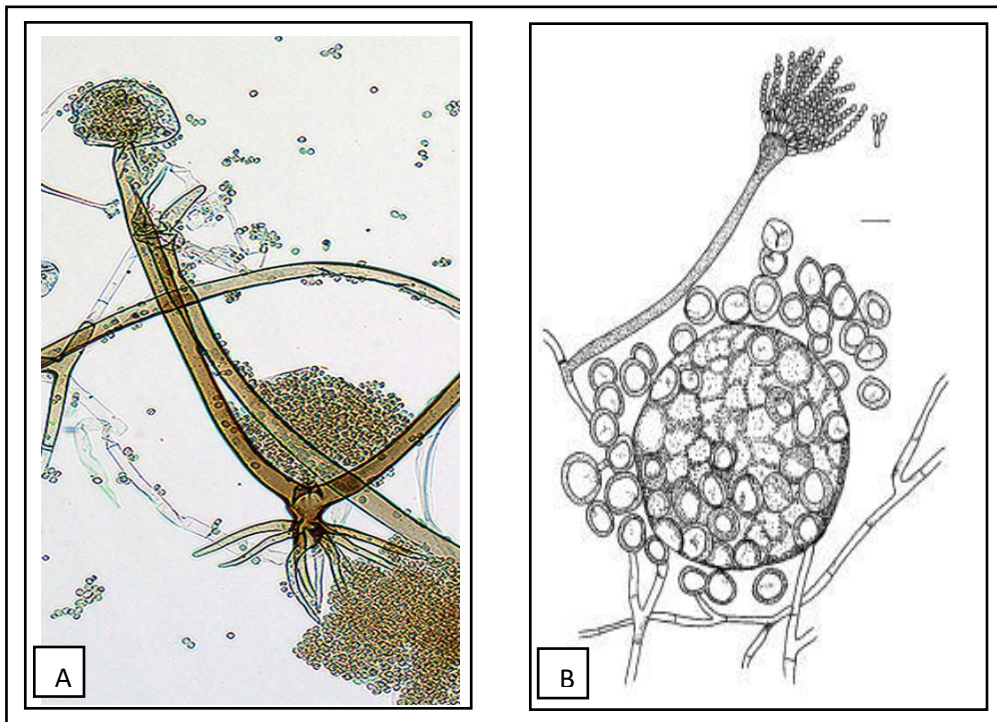


Figure 8. Différents types de mycéliums, A : hyphes non septés de *Rhizopus* sp., B : hyphes septés d'*Aspergillus nidulans*.

2.3. Reproduction

La reproduction chez les champignons suit les deux modes, sexué et asexué. La reproduction asexuée peut se réaliser selon différentes méthodes ou stratégies, telles que :

- La fragmentation ;
- Le bourgeonnement qui caractérise les levures ;
- Les spores asexuées dont il existe essentiellement deux catégories : des spores asexuées nues et des spores asexuées protégées (contenues dans un sporocyste pouvant être flagellées (= Zoospores) ou non) (**Figure 9,10**).

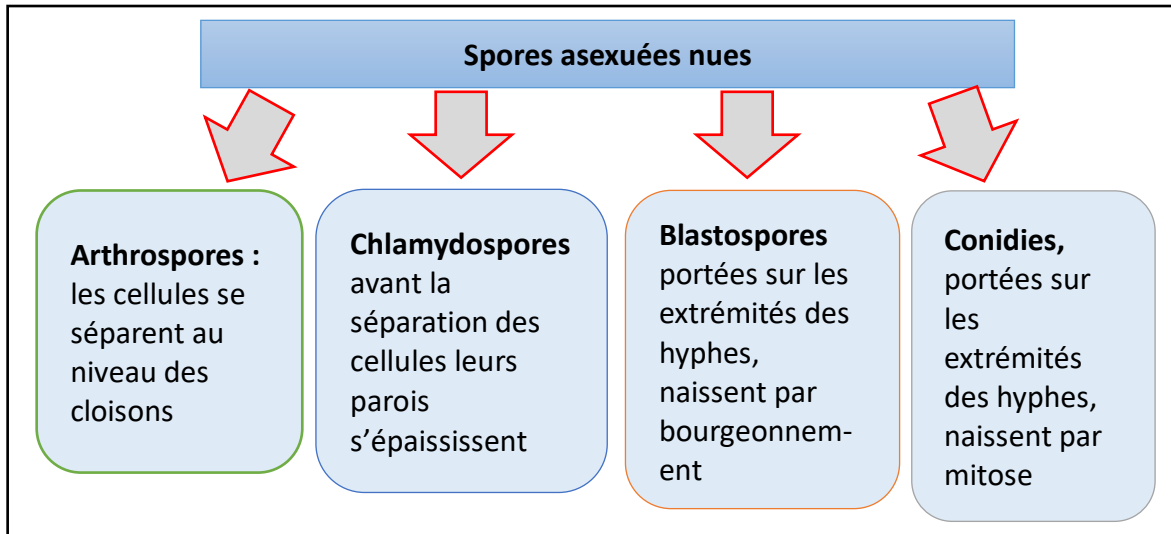


Figure 9. Différents types de spores asexuées nues produites par les champignons.

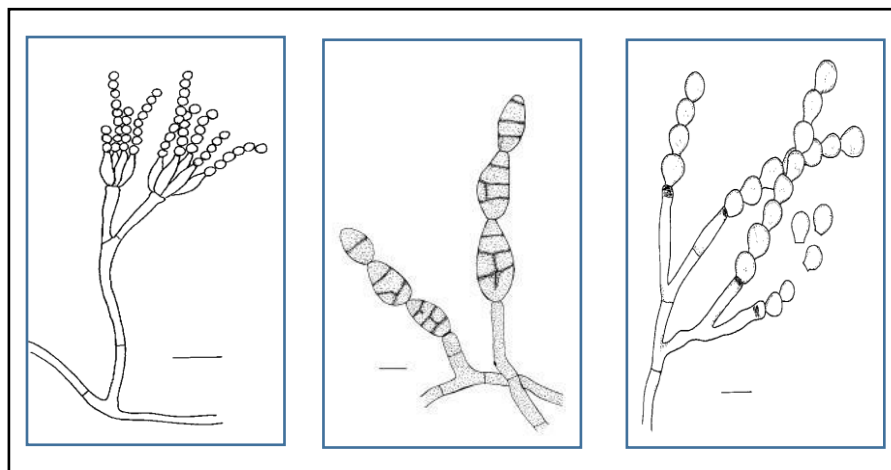


Figure 10. Différents types de conidies portées sur des conidiophores.

La reproduction sexuée quant à elle est très caractéristique des différents groupes, elle constituait le critère majeur sur lequel se basait la classification des différentes espèces. Elle se réalise grâce aux gamètes produits le plus souvent dans des gamétocystes spécialisés. Lors de cette reproduction, chaque groupe produit des éléments spécifiques qui le distinguent des autres groupes, c'est ainsi que les Zycomycota produisent un zygote à paroi épaisse appelé Zygosporangium, les Oomycota produisent un gamète femelle de taille volumineuse appelé oospore, les Ascomycota produisent des spores regroupées dans des asques eux-mêmes groupés dans des ascocarpes, enfin, les Basidiomycota produisent des spores portées par des basides appelées basidiospores elles-mêmes portées par des basidiocarpes.

La reproduction sexuée chez beaucoup de groupes se caractérise aussi par la formation d'un organe constitué d'un agglomérat d'hyphes appelé **stroma**, dans lequel se réalise la sexualité et l'élaboration des organes de fructification comme les ascocarpes des Ascomycètes.

Le **sclérote** est la forme de conservation hivernale de certains champignons. Il est formé de mycélium compact. Souvent, on peut distinguer une couche externe pigmentée (cortex) entourant un pseudoparenchyme (medulla) contenant des réserves nutritives.

2.4. Systématique et particularités des principaux groupes de champignons

À la première moitié du 20^{ème}, les mycètes ont été classés dans le règne des plantes parmi les thallophytes. Martin (1961) et Alexopoulos (1964), les ont aussi classés parmi les végétaux. En 1969, Whittaker les a classés dans un règne indépendant: le règne Fungi. Plusieurs auteurs l'ont suivi dans cette classification comme Ainsworth et Bisby (1971), Jeffrey (1983) et Cavalier-Smith (1998-2004) (**Figure 11**).

Actuellement les champignons sont considérés comme un groupe polyphylétique, dont les différents taxons appartiennent à des clades variés (**Figure 12**). Ci-dessous, nous rapportons les principales caractéristiques des différents groupes.

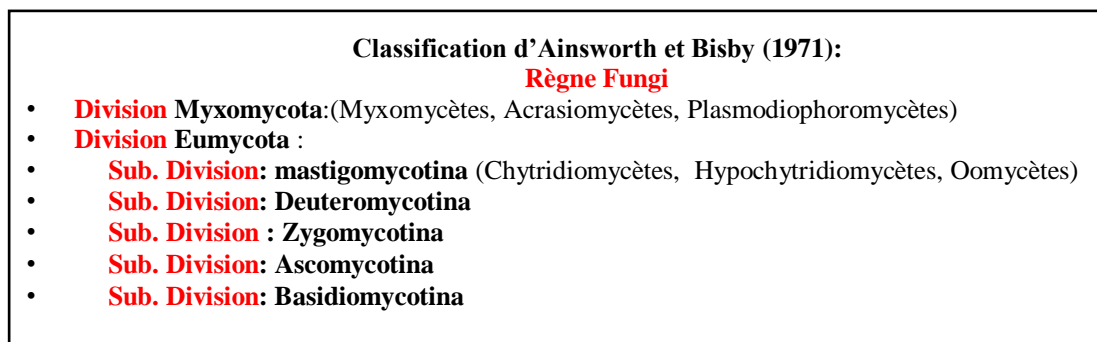


Figure 11. Classification d'Ainsworth et Bisby (1971).

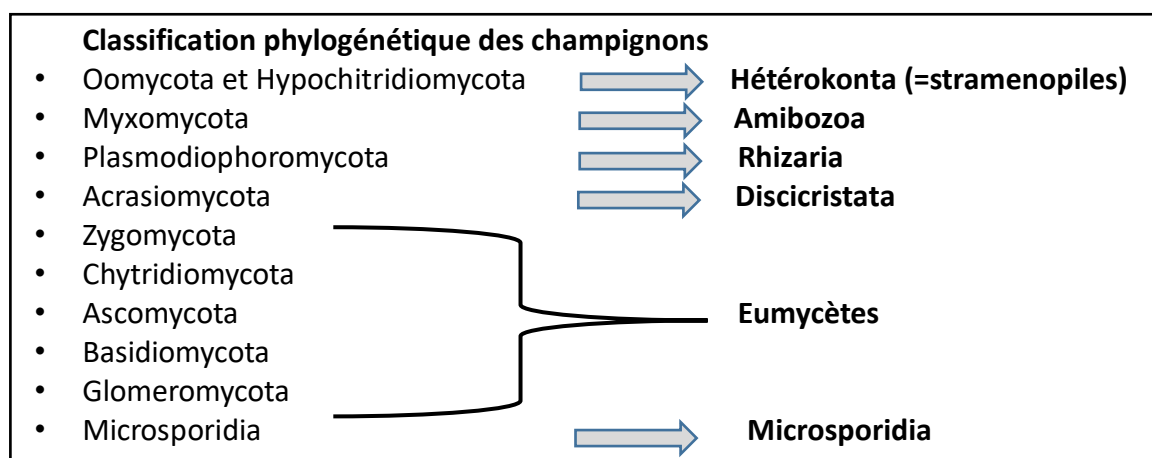


Figure 12. Classification phylogénétique des champignons.

Le groupe des Deutéromycètes retrouvé dans la classification classique, est considéré en phylogénétique comme un groupe caduque, il regroupe les espèces ne possédant pas de reproduction sexuée.

Le clade des Eumycètes est considéré comme un groupe monophylétique, il comprend les plus importants groupes dont certains possèdent des hyphes non cloisonnés (Ex. Zygomycota) alors que d'autres possèdent des hyphes cloisonnés (Ex. Ascomycota). Ce groupe se caractérise par l'acquisition de la biosynthèse de la lysine. Du point de vue phylogénétique, les champignons vrais (= Eumycètes) sont considérés plus proches des animaux (= Métazoaires) que des végétaux, ils partagent avec ces derniers le clade des Opisthoconta (**Figure 13**).

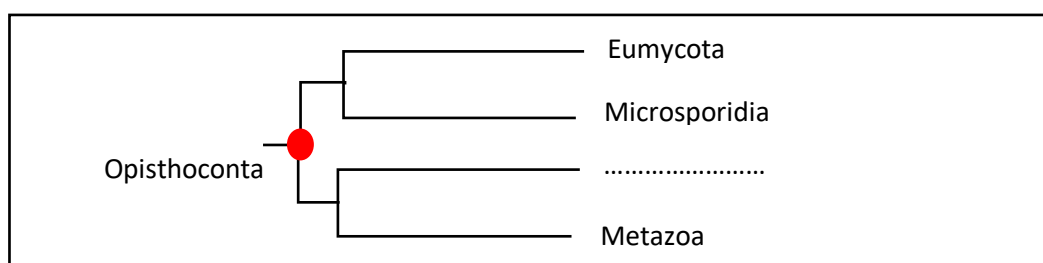


Figure 13. Classification phylogénétique des Eumycota considérés comme un groupe frère des Métazoaires.

2.4.1. Les Myxomycota

Se caractérisent par leur corps plurinucléé, formé de cellules nues dépourvues de parois cellulaires, similaires aux amibes, ce corps est appelé : Plasmode ou Plasmodium (**Figure 14**). Ils produisent des gamètes mobiles munis de 2 flagelles, se nourrissent par phagocytose. Comptent environ 60 genres et 400 espèces mais ces chiffres peuvent changer d'un auteur à l'autre. Ex. : *Plasmodiophora brassica*.

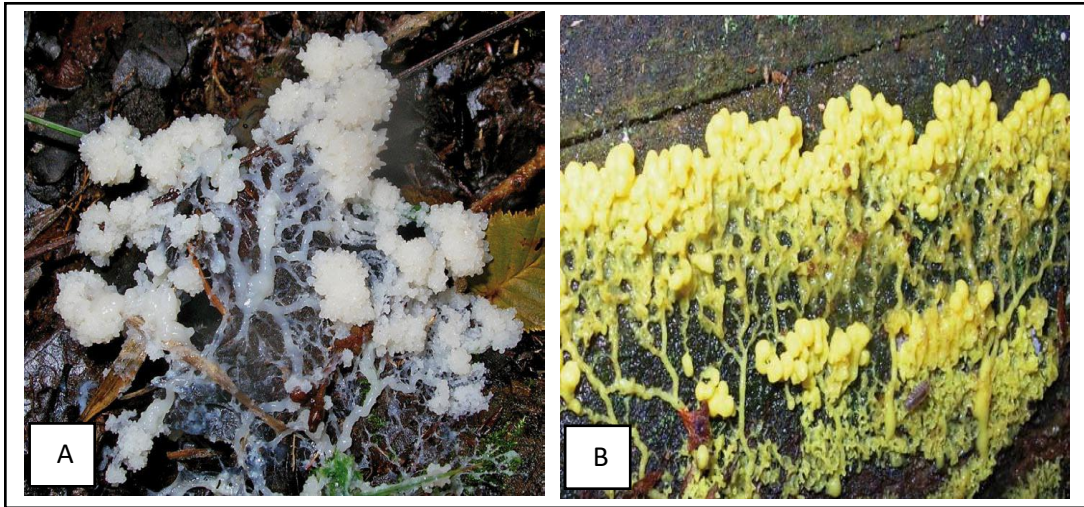


Figure 14. Plasmode des Myxomycètes, A : Plasmode à coloration blanche, B : plasmode à coloration jaune.

2.4.2. Les Oomycota

Se caractérisent par leurs parois cellulaires de nature cellulosique, mycélium siphonné (=continu), spores asexuées biflagellées (les flagelles sont dimorphes), gamétocystes bien distincts, le plus souvent le gamétocyste femelle porte un seul gamète tandis que le gamétocyste mâle porte un ou plusieurs gamètes ces derniers sont généralement réduits aux noyaux. Quelques espèces sont unicellulaires, comptent environ 50 genres et 400 espèces, parmi lesquelles nous citons : *Peronospora tabacina*, *Plasmopara viticola*, *Phytophthora infestans*.

2.4.3. Eumycota

Ce groupe monophylétique comprend plusieurs d'autres groupes à savoir :

- **Chytridiomycota**

Considérés comme les ancêtres de tous les champignons. Sont généralement des espèces aquatiques. Les parois sont de nature chitineuse, mycélium siphonné (non cloisonné), spores asexuées mono flagellées (le fouet = flagelle, est dirigé soit vers l'avant soit vers l'arrière de la spore), environ 1000 espèces ont été décrites jusqu'à aujourd'hui, la plus part d'entre elles sont des saprophytes, parmi les espèces nous citons : *Rhizophidium sp.*

- **Zygomycota**

Constituent un groupe ancien des champignons, se caractérisent par un mycélium non cloisonné (=siphonné) ayant un aspect cotonneux, parois cellulaires de nature chitineuse, absence de cellules mobiles que ce soit les spores ou les gamètes, les gamétocystes ne sont pas distincts, les hyphes fertiles ou sexués se rapprochent et fusionnent ensemble pour donner une zygospore à paroi épaisse. Plus de 1000 espèces ont été décrites à ce jour, quelques-unes sont des parasites (d'insectes principalement) mais le plus souvent ce sont des saprophytes. Parmi les espèces nous citons les moisissures du pain : *Mucor mucedo*, *Rhizopus nigricans*, *Rhizopus stolonifer*.

- **Glomeromycota**

Ils regroupent des espèces formant obligatoirement des endomycorhizes vésiculo-arbusculaires avec les plantes à fleurs qui se caractérisent par la perte de la sexualité classique (absence de méiose et de fécondation). Ils ont été récemment séparés des Zygomycètes dont ils faisaient partie. Ils sont actuellement divisés en quatre ordres monophylétiques bien distincts à savoir : Glomerales (= Glomales, comme *Glomus sp.*), Archaeosporales (*Geosiphon sp.*), Diversisporales (*Gigaspora sp.*) et Paraglomerales (**Schübler et al., 2001**). 150 espèces sont connues.

- **Ascomycota**

Se caractérisent par un mycélium cloisonné, parois chitineuses, absence de cellules mobiles (chez les spores et les gamètes), la reproduction asexuée se fait par fragmentation, par bourgeonnement ou par spores asexuées (=conidies) pouvant être portées par des éléments spécialisés appelés : sporocarpes ayant principalement deux formes : le pycnidium et l'acervulus (**Figure 15**). La reproduction sexuée des Ascomycètes est particulière, lors de cette dernière, il se forme des sacs spécifiques appelés : Asques portant à l'intérieur des ascospores (8 en cas typique), les asques peuvent se réunir pour former des ascocarpes ayant principalement 3 formes (**Figure 15**) :

- Forme ronde : Cleistothèce ;
- Forme en bouteille : Périthèce ;
- Forme en coupe : Apothécie.

Jusqu'à ce jour, 45000 espèces ont été décrites, parmi lesquelles nous citons : *Penicillium italicum*, *Penicillium digitatum*, *Penicillium notatum*, *Aspergillus niger*, *Saccharomyces cerevisiae*.

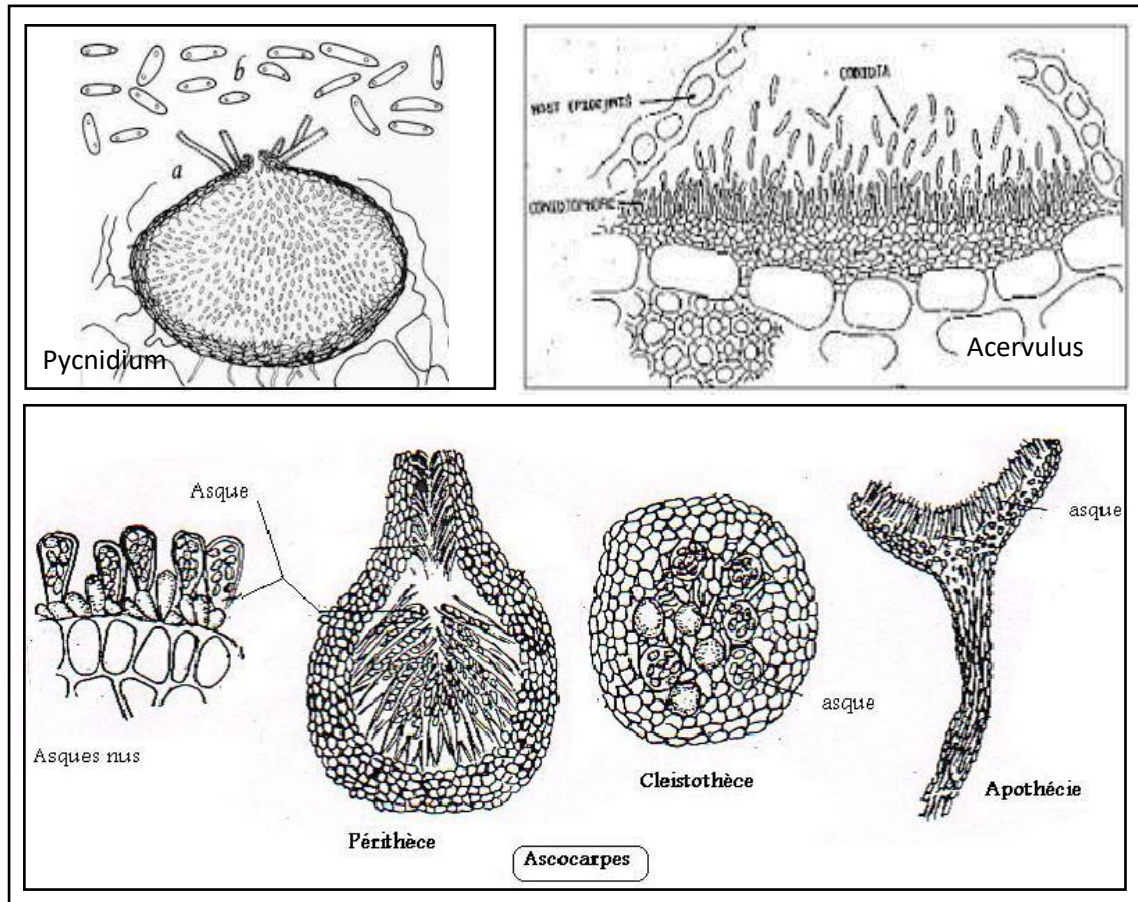


Figure 15. Différentes formes de sporocarpes (regroupant des spores asexuées) et d'ascocarpes (regroupant des spores sexuées).

NB. Quelques ascomycètes présentent des structures similaires à ceux des basidiomycètes (chapeau + pied) et sont de ce fait appelés les Macromycètes en opposition avec les Micromycètes qui ne possèdent pas ces structures.

- **Basidiomycota**

Se caractérisent par un mycélium cloisonné, parois chitineuses, absence de cellules mobiles (chez les spores et les gamètes), la reproduction asexuée se fait par fragmentation ou par spores asexuées, la reproduction sexuée quant à elle est très caractéristique : il se forme un basidiocarpe (chapeau) portant de petites bases (=basidium) sur lesquels se différencient des basidiospores (4 en cas typique) (**Figure 16**). Leur cycle de vie est trigénétique. Ce groupe compte plusieurs genres, 22000 espèces ont été décrites à ce jour, dont certaines sont comestibles (saprophytes), d'autres sont des parasites notamment de végétaux évolués. Parmi

lesquelles nous citons : *Agaricus campestris*, *Puccinia graminis*, *Uromyces fabae*, *Ustilago sp*, *Tilletia tritici*.

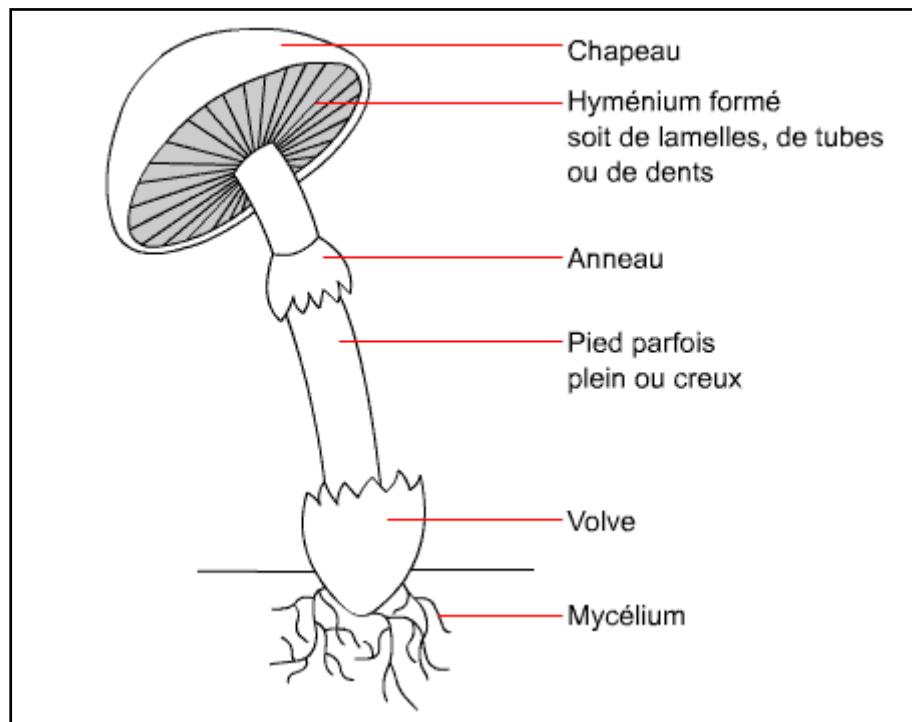


Figure 16. Basidiocarpe (= mycélium tertiaire des Basidiomycètes).

- **Importance du groupe des Mycètes**

Les champignons remplissent plusieurs rôles écologiques comme ils sont utilisés par l'homme dans différents domaines, nous résumons ci-dessous les plus importants bienfaits de ce groupe.

- Plusieurs espèces sont consommées et sont source de vitamines, de protéines et de sels minéraux (Truffes, cèpes..) ;
- Source d'antibiotiques (Pénicilline du *Penicillium*) ;
- Source de levures boulangères (*Saccharomyces cerevicea*) ;
- Source de produits laitiers (Yaourts, fromages comme le Camembert (*Penicillium camemberti*), le Rockford (*P. rockforti...etc*)) ;
- Agents de lutte biologique (*Trichoderma sp*) ;
- Favorisent la croissance des végétaux (mycorhizes) ;
- Participent largement dans le recyclage de la matière organique morte et débarrassent la nature des déchets organiques ;
- Enrichissement des sols ;
- Utilisés dans la Mycoremediation, qui consiste à débarrasser le sol des polluants ;

En plus de ces effets positifs, les mycètes ont des effets négatifs:

- Intoxications et allergies (champignons toxiques, ex. *Amanite phalloïde* ;,
- Agents de maladies animales et humaines (=mycoses, ex. Candidoses),
- Agents de maladies végétales (rouilles, charbon, oïdium...etc) provoquant chaque année des pertes considérables dans la production agricole mondiale.

2.5. Une association particulière algue-champignon: Les Lichens

2.5.1. Morphologie

Les Lichens sont des organismes particuliers dans le monde des végétaux car ils résultent de l'association de 2 partenaires : un partenaire photobionte, capable de réaliser la photosynthèse, pouvant être une Chlorophycée (Algue verte) ou une Cyanobactérie et un partenaire mycobionte hétérotrophe incapable de réaliser la photosynthèse. Les lichens sont des organismes terrestres absents donc du milieu aquatique, mais ils préfèrent les milieux humides pour y vivre et se développer notamment dans les forêts où les lichens sont généralement abondants.

L'association de ces deux organismes, qui s'unissent par une relation symbiotique, crée un corps spécifique ayant une morphologie particulière pouvant changer selon les espèces et les substrats sur lesquels le lichen vit, sans tiges, sans racines et sans feuilles, leur corps végétatif est un thalle pouvant prendre des formes et des couleurs variées (**Figure 117**). Ci-dessous, nous donnons les plus importantes formes retrouvées dans la nature.

- **Thalle foliacé**, se caractérise par une structure foliacée qui ressemble à des lamelles de feuilles posées sur le sol, d'où son nom, ex. *Xanthoria parietina* ;
- **Thalle crustacé**, se caractérise par une structure qui ressemble aux écailles, ex. *Lecanora sp.*;
- **Thalle arborescent** (= Fruticuleux), se caractérise par une structure qui ressemble à un petit buisson ayant des ramifications, ex. *Usnea sp.*, *Evernia prunastri* ;
- **Thalle gélatineux**, prend un aspect gélatineux lorsqu'il est mis en contact avec l'eau, ex. *Collema sp.* ;
- **Thalle composite** (= Dimorphique), se constitue de deux thalles : un thalle primaire qui s'installe en premier pouvant être foliacé ou crustacé et un thalle secondaire généralement arborescent, ex. *Cladonia rangiformis*.

Selon le substrat sur lequel le lichen vit, les lichens ont été divisés par les spécialistes en trois principales catégories :

- Les lichens corticoles, poussant sur les troncs des arbres et des végétaux en général ;

- Les lichens saxicoles, poussant sur les roches ;
- Les lichens terricoles, poussant sur le sol.

Cependant, quelle que soit leur forme, les lichens se caractérisent par la réviviscence, la croissance très lente qui est de l'ordre de 1mm/an, la tolérance des milieux hostiles et la production d'acides lichéniques spécifiques

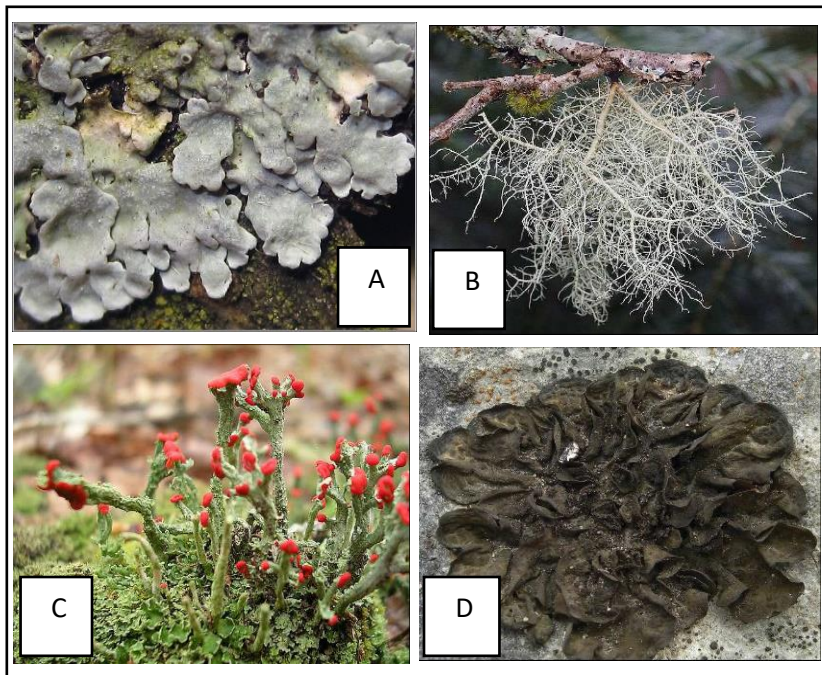


Figure 17. Différentes formes de thalles observés chez les Lichens, A : thalle foliacé, B : thalle arborescent, C : thalle composite, D : thalle gélatineux.

Les lichens étaient classés parmi les Thallophytes (règne Plantae) puis parmi les champignons. Actuellement les lichens n'ont pas d'existence propre dans la classification phylogénétique, les partenaires doivent être classés séparément.

2.5.2. Anatomie

La structure microscopique du thalle montre que le champignon forme un réseau de filaments qui emprisonnent les cellules algales. Le champignon est en réalité responsable de la formation du corps lichénique, il en représente d'ailleurs 90% de la biomasse du lichen.

L'anatomie du thalle lichénique varie suivant sa forme. Mais elle se caractérise en général, par la présence ou l'absence d'un cortex et une médulle (**Figure 18, 19**).

Dans un thalle foliacé, on trouve deux cortex, un supérieur et un autre inférieur, dans un thalle crustacé, on trouve un seul cortex supérieur, le cortex inférieur est absent, dans un thalle gélatineux par contre, les cortex sont absents.

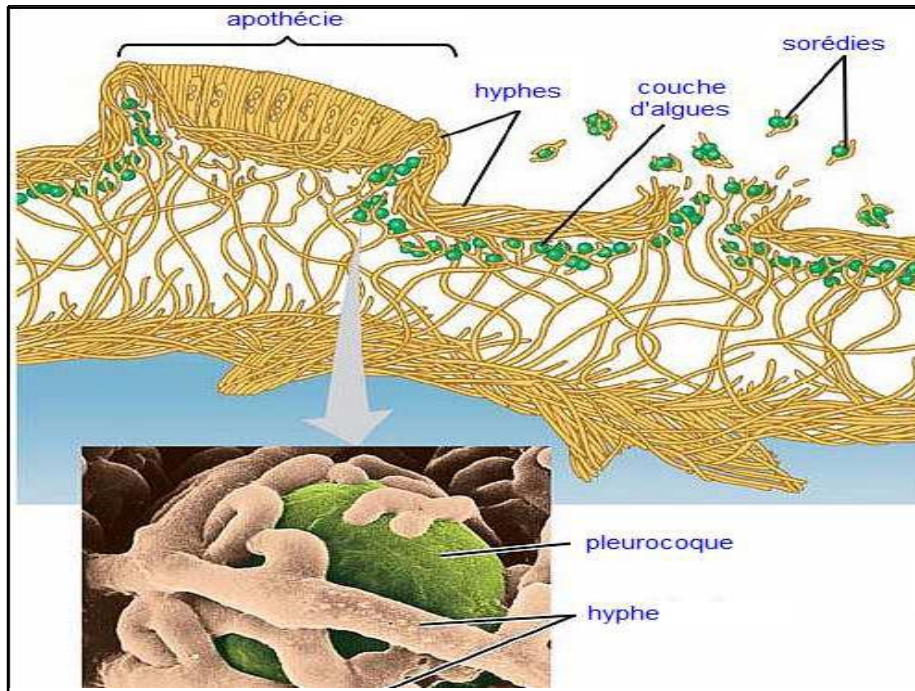


Figure 18. Anatomie du thalle lichénique.

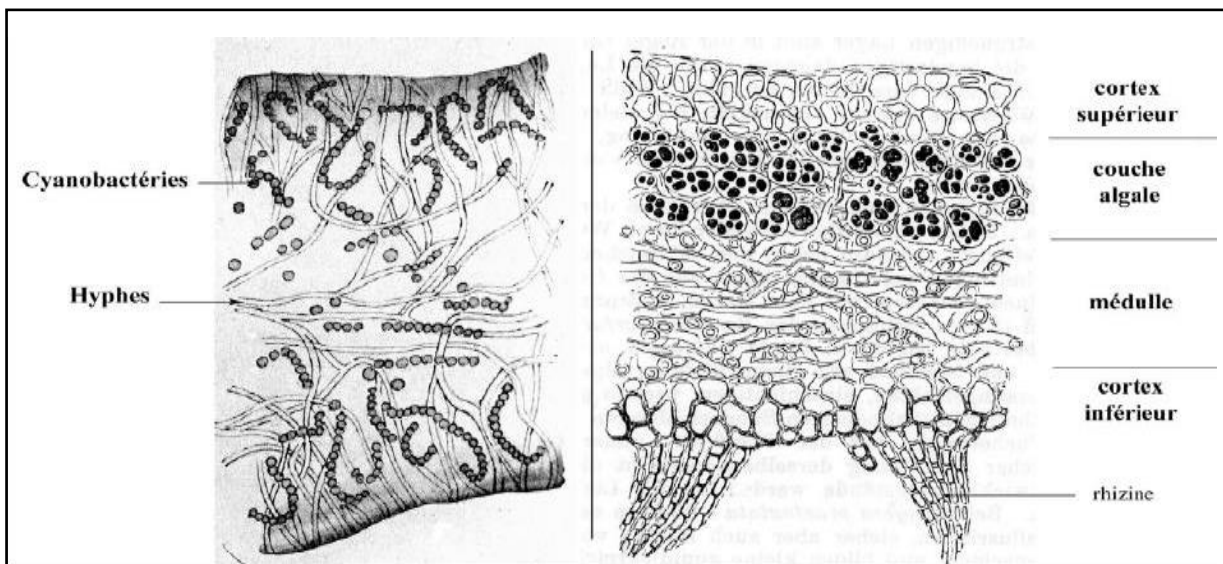


Figure 19. Anatomie de deux formes de thalles différentes : Structure homéomère d'un cyanolichen (*Collema sp.*), à gauche, et structure hétéromère d'un lichen foliacé (*Sticta sp.*), à droite.

2.5.3. Reproduction

La reproduction chez les lichens peut se faire par le complexe lichénique (= les deux partenaires ensemble) ou séparément (= chaque partenaire se reproduit séparément de l'autre).

- **Par le complexe lichénique**

Ce type de reproduction se fait principalement par :

- La fragmentation du thalle ;
- Des éléments de reproduction végétative spécifiques à savoir : les isidies et les sorédies dans l'ensemble constitue une soralie. Les isidies naissent par bourgeonnement du thalle peuvent être ramifiées ou non, les sorédies par contre naissent par l'éclatement de la face supérieure et la production d'une fine poussière (**Figure 20**).

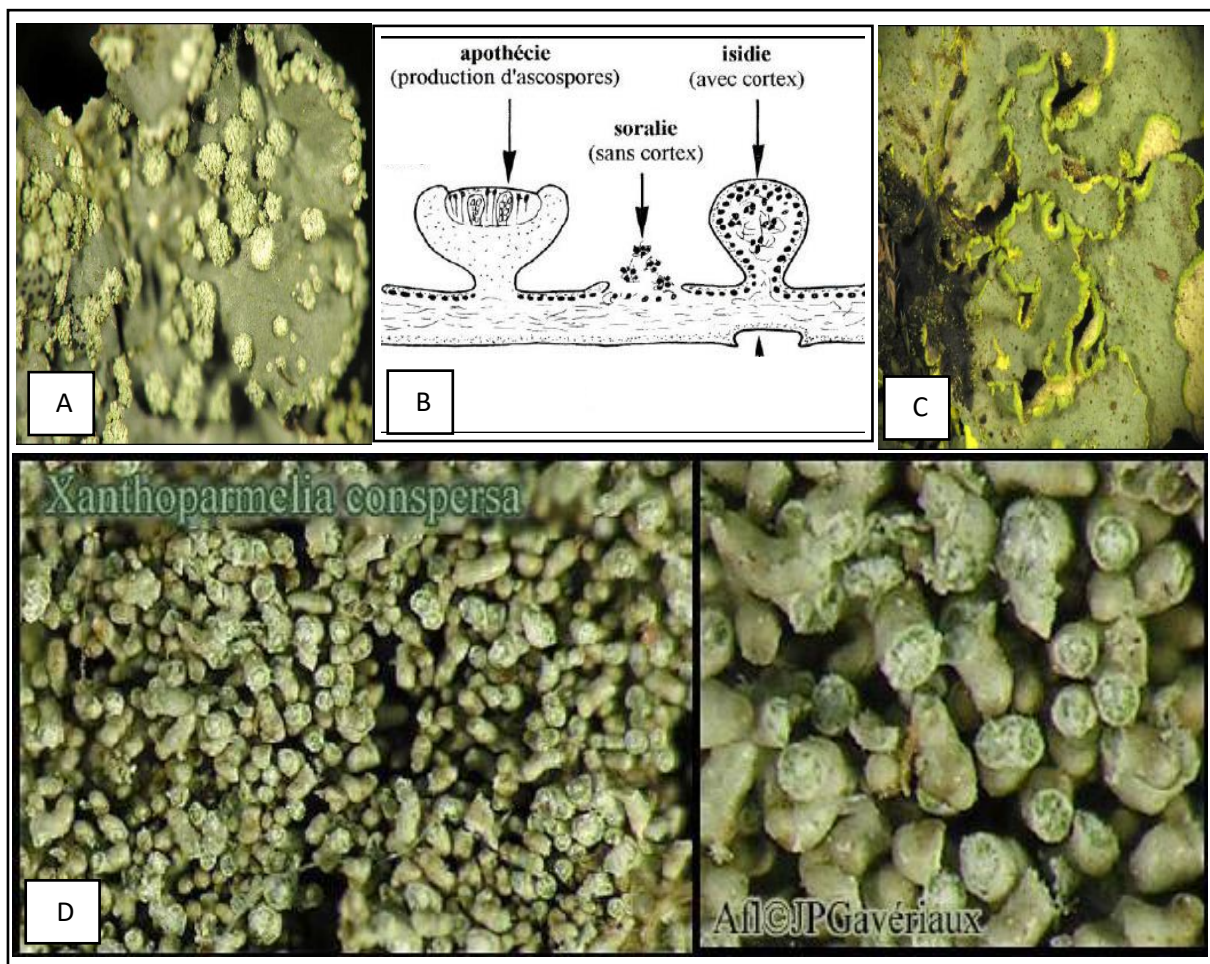


Figure 20. Eléments de reproduction végétative par le complexe lichénique, A : sorédies faciales, B : mécanismes de production des isidies et sorédies, C : sorédies marginales, D : isidies de *Xanthoparmelia conspersa*.

- **Séparément**

Chaque partenaire se multiplie de son côté séparément de l'autre :

- Le mycobionte produit des spores sexuées ou asexuées (chez les Ascomycètes les ascospores sont portées dans des apothécies ou des périthèces (**Figure 21**)).
- Le photobionte se multiplie de son côté par mitose (chlorophycée), par bourgeonnement ou division simple (Cyanobactérie).

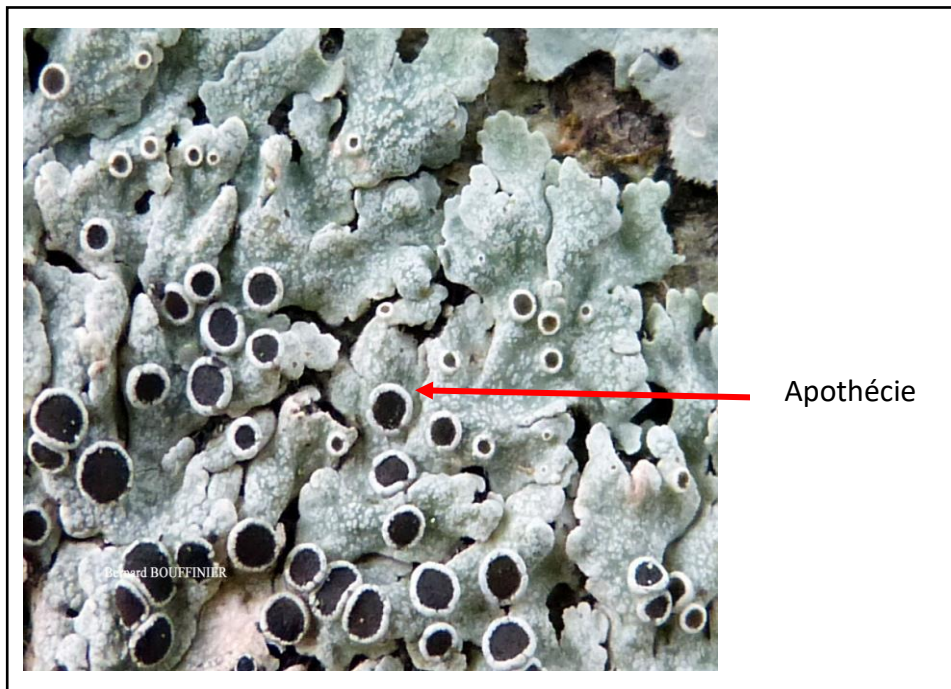


Figure 21. Apothécie produite lors de la reproduction sexuée de l'Ascomycète.

- **Importance du groupe des Lichens**

- Participent à la formation du sol ;
- Certains sont comestibles ;
- Sources de substances secondaires employées dans différentes industries, alimentaires (gelée), cosmétologie (parfums), teintures (pigments) ;
- À la base de la chaîne alimentaire des glaciers du nord (rênes) ;
- Bio-indicateurs de pollution.

DEUXIEME PARTIE : Les Embryophytes

Egalement appelées **Archégoniates** ou **plantes terrestres**, les embryophytes représentent des plantes plus évoluées que les Thallophytes, elles ont acquis plusieurs caractéristiques leurs permettant d'avoir une morphologie et une anatomie plus complexes. Les espèces de ce groupe se caractérisent par :

- Organismes pluricellulaires, ayant un corps végétatif évolué (avec tige, racines, feuilles..) appelé Cormus (=Cormophytes) ;
- Présence de gamétanges (archégonies + Anthéridies) et de sporanges qui remplacent les sporocystes et les gamétocystes retrouvés chez les thallophytes ;
- Embryon pluricellulaire avec des zones bien différenciées ;
- Présence de sporopollenine dans les parois des spores et des grains de pollen ;
- Cycle digénétique, sporophyte et gamétophyte bien distincts.

Les Embryophytes ont toujours fait partie des plantes, la classification phylogénétique a confirmé leur appartenance à ce clade. Elles font partie du Clade Eukarya (=Eukaryota), les analyses moléculaires des différents gènes d'origine nucléaires, plastidiales et mitochondriales ont permis de connaître la position des Embryophytes au sein des Eukaryota.

Les études phylogénétiques ont aussi permis de distinguer les différents clades de ce groupe à savoir : Les Bryophytes, les Ptéridophytes et les Spermatophytes se divisant à leur tour en Gymnospermes et Angiospermes. Nous développons ci-dessous ces différents groupes.

Cependant, de grosses questions subsistent encore en ce qui concerne les liens de parenté entre les différents clades des Embryophytes, notamment par rapport aux points suivants:

- Le groupe frère des Embryophytes ?
- position des Anthocerotophytes et Bryophytes ?
- Position des Gnétophytes?

Plusieurs hypothèses ont été émises mais qui restent toujours très discutées.

1. Les Bryophytes : Morphologie et reproduction des différents embranchements

Les mousses *sensu lato* sont des végétaux verts, de très petite taille de quelques centimètres seulement, sans fleurs. Vivent dans tous les milieux sauf le milieu marin, préfèrent les milieux humides, souvent accrochés aux arbres, roches, mûres. 25000 espèces sont connues.

Leur appareil végétatif possède une organisation très simple, de très petite taille, sa morphologie est variée :

- de forme thalloïde (=thalle) chez les Anthocerotophytes ;
- Axe feuillé ou thalloïde chez les Marchantiophytes ;
- Axe feuillé chez les Bryophytes (*sensu stricto*).
- L'axe feuillé est pourvu d'une tige, de feuilles mais dépourvues de véritables racines remplacées par des rhizoïdes (unicellulaires chez les Marchantiophytes et pluricellulaires chez les Antocerotophytes et les Bryophytes *sensu stricto*). Elles se caractérisent par :
 - L'absence des vaisseaux transporteurs ;
 - La reviviscence ;
 - L'absorption de l'eau et des sels minéraux se fait par tout le corps végétatif ;
 - Ne produisent jamais de fleurs ni de graines ;
 - Ont besoin d'eau pour réaliser la reproduction sexuée car les spermatozoïdes sont libérés dans l'eau du milieu de vie à cause de l'absence de la fleur et des grains de pollen plus précisément ;
 - Leur cycle de vie est digénétique (haplodiplophasique) avec succession de deux générations bien distinctes : un sporophyte (diploïde) et un gamétophyte (haploïde) avec dominance de ce dernier ;
Le sporophyte ne vit que très peu de temps, le gamétophyte par contre est persistant ;
- Chez les Mousses, le gamétophyte femelle porte le sporophyte.

Ci-dessous, nous développons les différents groupes.

1.1. Marchantiophytes

Egalement appelées les hépatiques, regroupent entre 6000 à 8000 espèces. L'appareil végétatif est variable, il se présente sous forme d'une lame « thalle » plus au moins différencié ou bien sous forme d'un axe feuillé, attaché au support par des rhizoïdes unicellulaires. Les organes sexuels (gamétanges) sont souvent portés par des anthéridiophores ou des archégoniophores se

développant respectivement sur les gamétophytes mâle et femelle. L'épiderme supérieur des gamétophytes est pourvu de pores permettant les échanges gazeux mais il n'y a pas de véritables stomates. Les cellules des gamétophytes présentent des inclusions (molécules volumineuses) protéo-lipidiques (=oléocorps) qui ne se rencontrent dans aucune autre lignée végétale. Les Marchantiophytes synthétisent l'acide lunularique. Le cycle de reproduction du *Marchantia* est représenté dans la **figure 22**.

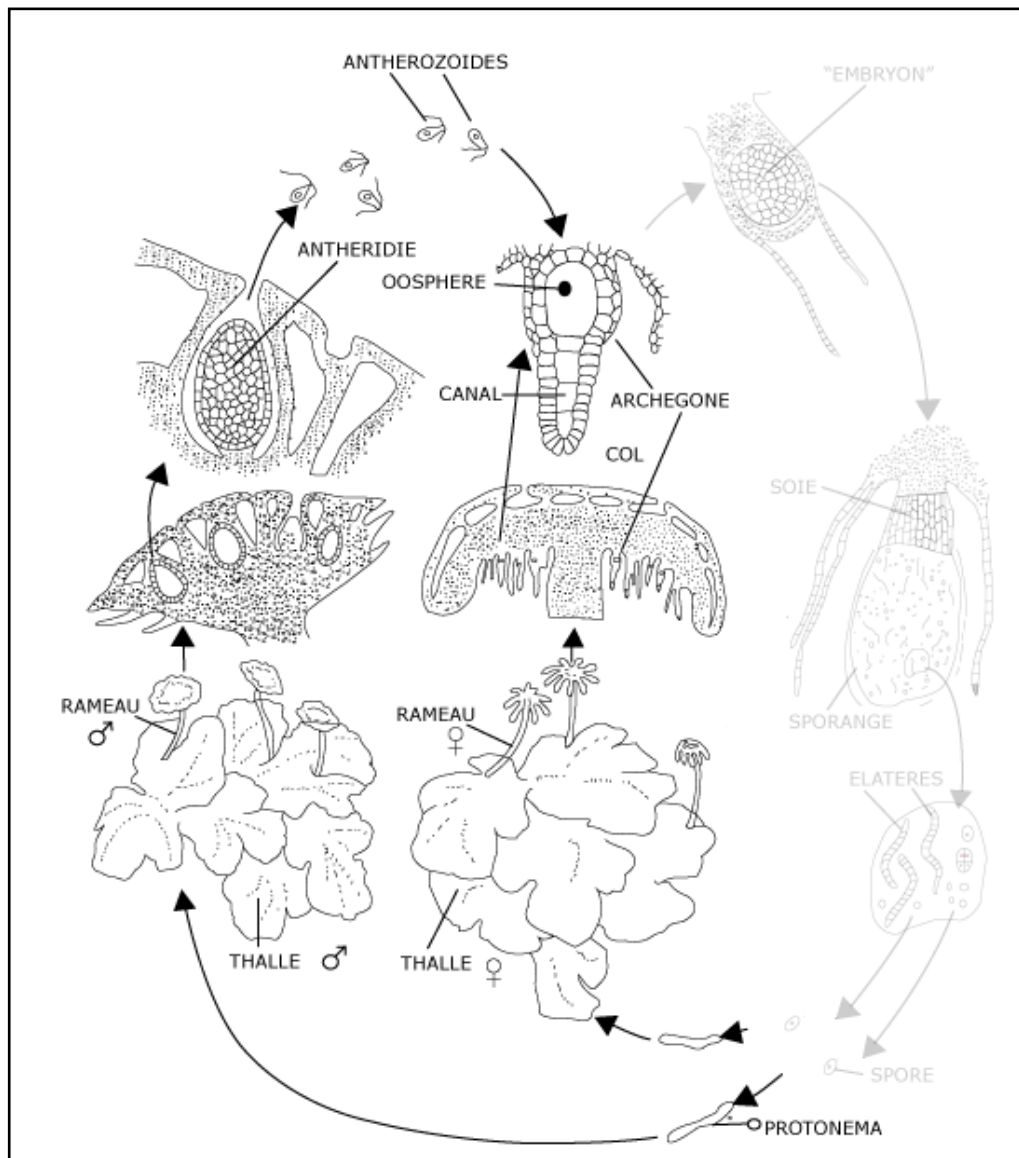


Figure 22. Cycle de vie du *Marchantia* sp. (Clade des Marchantiophytes).

1.2. Anthocérotophytes

Elles forment un petit groupe qui comprend environ 5 genres et 500 espèces selon les auteurs. L'appareil végétatif à une forme thalloïde aplatie, porte des rhizoïdes pluricellulaires. Le sporophyte est constitué d'une capsule mince et allongée qui prend l'aspect d'une corne d'où leur nom, en s'ouvrant, elle permet la libération des spores haploïdes. Le sporophyte porte des stomates et peut vivre plusieurs mois tout en poursuivant de produire des spores grâce à la présence d'un méristème spécialisé. Le cycle de reproduction de l'*Anthoceros* est représenté dans la **figure 23**.

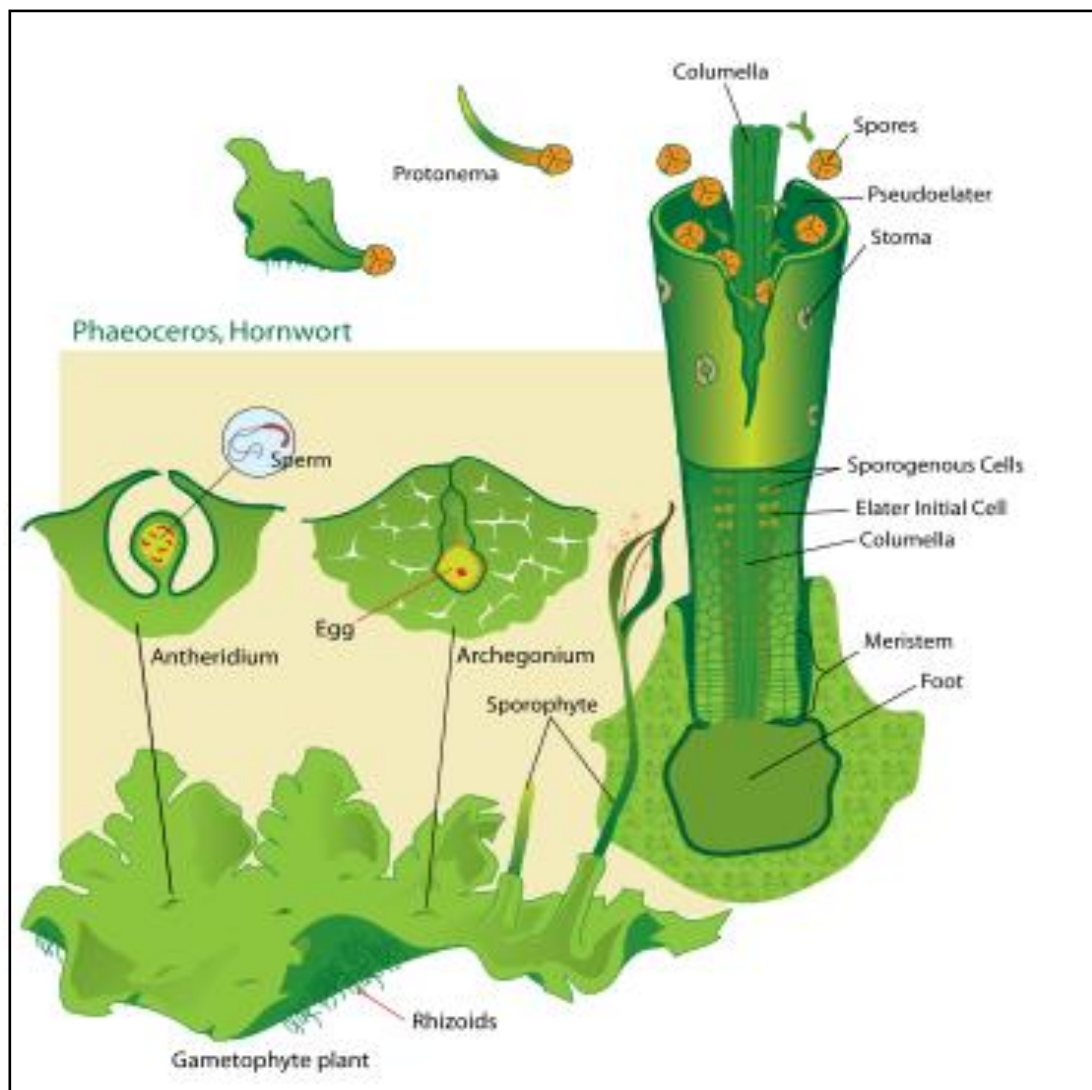


Figure 23. Cycle de vie de l'*Anthoceros* sp. (Clade des Anthocerotophytes).

1.3. Bryophytes *sensu stricto*

Se caractérisent par un appareil végétatif dressé, pourvu d'organes similaires aux feuilles et aux tiges (axe feuillé = cormus), attaché au support grâce aux rhizoïdes pluricellulaires. Les gamétanges sont situés au sommet des plantes gamétophytes. La capsule du sporophyte renferme des spores haploïdes qui donnent lors de la germination un thalle primaire appelé protonéma. On note la présence de stomates sur les capsules de plusieurs espèces. Ce groupe comprend des espèces monoïques et dioïques, considérés comme les bryophytes les plus évolués. Les principaux ordres sont :

- Les polytrichales, représentés par le genre *Polytrichum*.
- Les bryales, représentés par le genre *Bryum*.
- Les funariales, représentés par *Funaria*.
- Les hypnales, représentés par *Hypnum*.

Le cycle de reproduction du *Polytrichum* est représenté dans la **figure 24**.

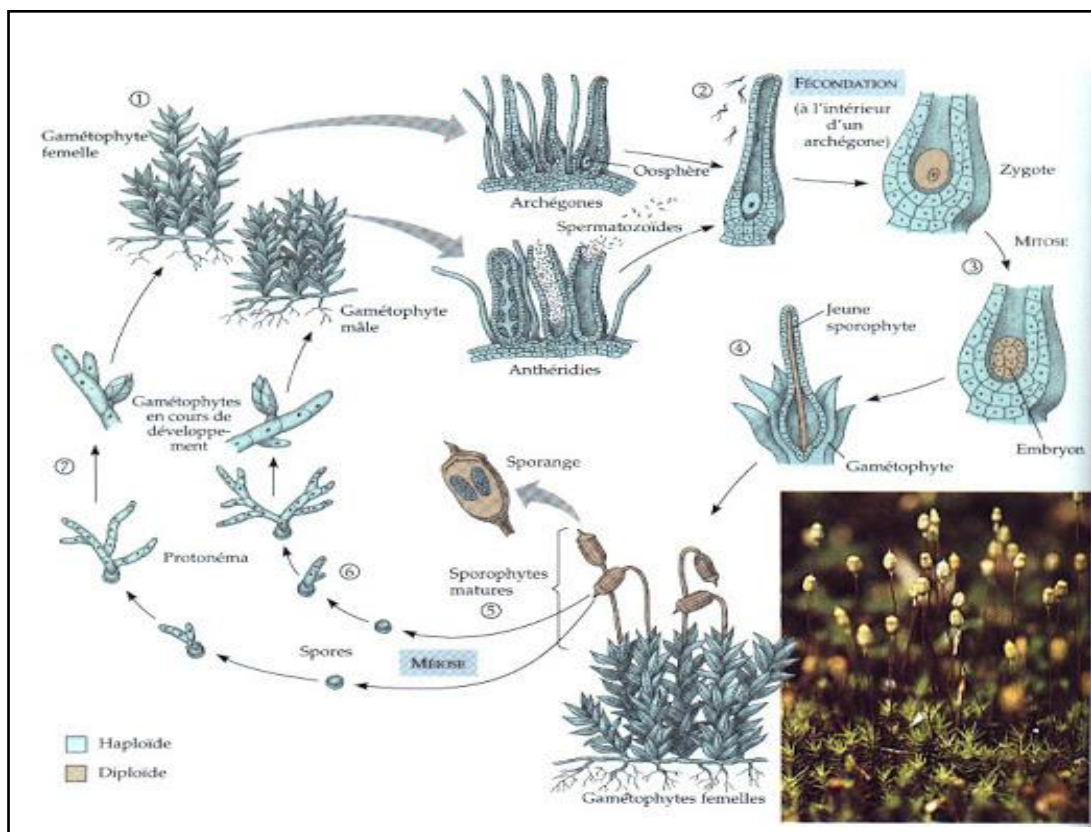


Figure 24. Cycle de vie chez le *Polytrichum* sp. (clade des Bryophytes *sensu stricto*).

- **Intérêt du groupe des Bryophytes**

- Constituent un élément de survie pour les espèces herbivores vivant dans l'hémisphère nord ;
- Sont des bio-indicateurs de pollution : grâce à leur capacité d'absorber l'eau par leurs parties aériennes et leur structure anatomique relativement simple, les Bryophytes sont largement utilisés pour étudier la pollution atmosphérique des différents sites ;
- Leur capacité de vivre dans des zones polluées leur a valu un emploi dans certains projets de dépollution urbaine (mûrs ou panneaux végétalisés), ces panneaux végétalisés ont été créés dans certaines villes européennes.

2. Les Ptéridophytes : Morphologie et reproduction des différents embranchements

Ce sont des plantes terrestres absentes du milieu marin, communément appelées « Fougères », préfèrent les milieux humides et ombragés pour se développer. Poussent souvent sous les arbres, au près des ruisseaux, des oueds... etc ; représentées actuellement par environ 11 000 espèces. Leur appareil végétatif est plus différencié et plus adapté à la vie terrestre, sa longueur peut varier de quelques cm à quelques mètres (= fougères arborescentes). Les fougères arborescentes sont retrouvées beaucoup plus dans les forêts tropicales.

Leur appareil végétatif est pourvu de véritables racines, de feuilles appelées : Frondes (chez les Filicophytes) pouvant être entières ou divisées en pinnules = (folioles) et de tige le plus souvent souterraine (= rhizome).

La structure anatomique révèle la présence des vaisseaux de transport, les fougères sont donc des plantes vasculaires appelées aussi : **Trachéophytes**. Ce sont des plantes vertes qui ne produisent jamais de fleurs, mais elles produisent des sporanges qui contiennent des spores pouvant être portées par différents organes végétatifs (le plus souvent par les feuilles) suivant les groupes des fougères. Nous développons ci-dessous les différents groupes.

La reproduction chez les Ptéridophytes se réalise selon les deux modes : sexué et asexué (= reproduction végétative). La reproduction asexuée se fait par la fragmentation de la tige souterraine.

La reproduction sexuée quant à elle, nécessite la présence d'eau pour véhiculer les gamètes mâles jusqu'aux gamètes femelles, elle se fait grâce aux gamètes contenus dans des gamétanges (anthéridies et archégonies) produits par les gamétophytes (plantes produisant les gamètes). Le cycle de vie est digénétique (diplohaplophasique) avec une diplophase dominante cela signifie que la forme sporophyte (diploïde) est dominante autrement dit elle a une période de vie beaucoup plus importante que celle du gamétophyte (haploïde) qui disparaît le plus souvent une fois la fécondation réalisée. Chez les fougères, le sporophyte dominant et le gamétophyte sont séparés. Le sporophyte ne vit que très peu de temps aux dépens du gamétophyte sur lequel il se développe, mais ce dernier disparaît rapidement pour laisser place au sporophyte qui devient totalement indépendant grâce au développement de ses racines et de ses frondes qui lui permettent de se nourrir.

Notons enfin, que le Gamétophyte chez les fougères est réduit et est représenté le plus souvent par un simple prothalle (= une lame verte poussant horizontalement sur le sol ne possédant ni feuilles, ni tige ni de vraies racines mais pouvant prendre chez certaines espèces de grandes tailles).

2.1. Lycophytes

Se caractérisent par leur tiges ramifiées dichotomiquement, portant de nombreuses petites feuilles à une seule nervure (uninerviées) appelées microphylls, les sporanges se forment aux extrémités des rameaux, se positionnent sur la face ventrale des microphylls, chaque microphyll porte un sporange unique. Parmi les espèces, citons : *Saleginella denticulata*.

Leur cycle de vie est représenté dans la **figure 25**.

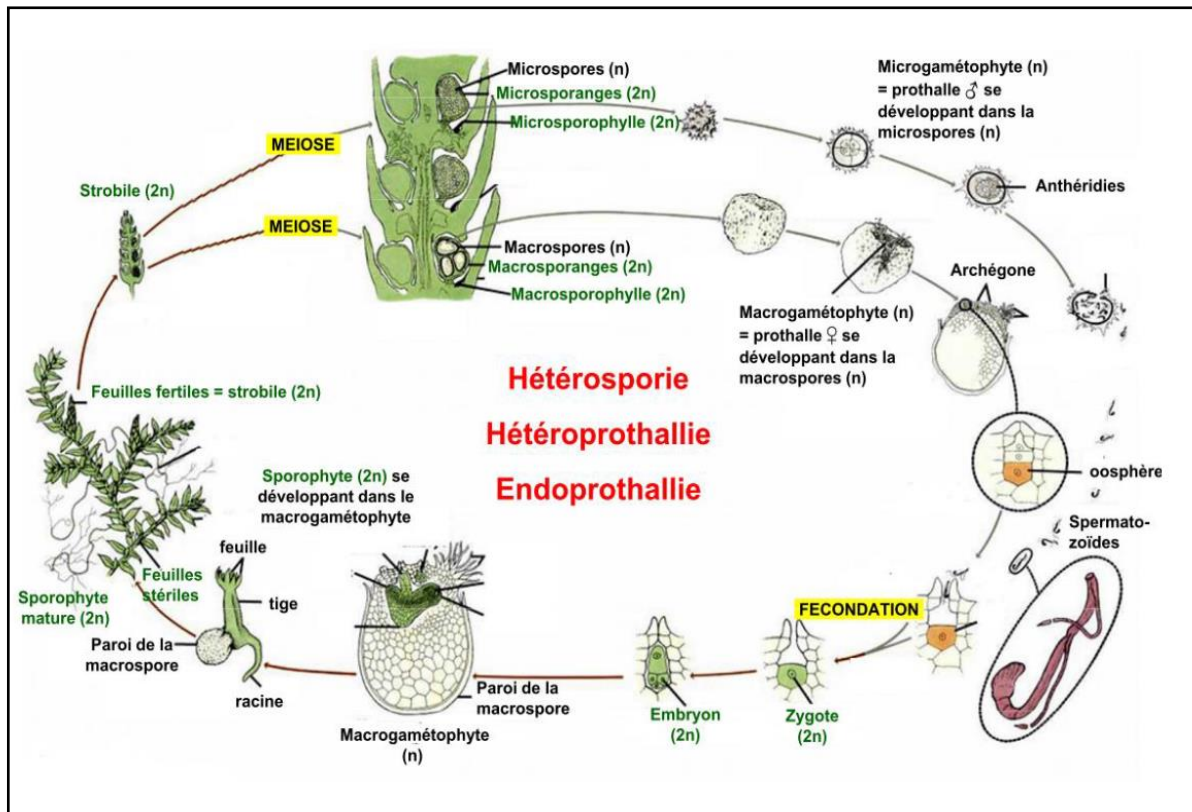


Figure 25. Cycle de vie de *Saleginella sp.* (Clade des Lycophytes).

2.2. Sphenophytes (= Equisétinées)

Forment un groupe homogène, se caractérisent par des tiges divisées en articles successifs, portant à chaque nœud un verticille de feuilles réduites en gaine. Les sporanges se forment à l'extrémité des tiges, regroupés en épis appelés strobiles et portés par un axe appelé sporangiophore, parmi les espèces, citons : *Equisetum arvense*. Leur cycle de vie est représenté dans la **figure 26**.

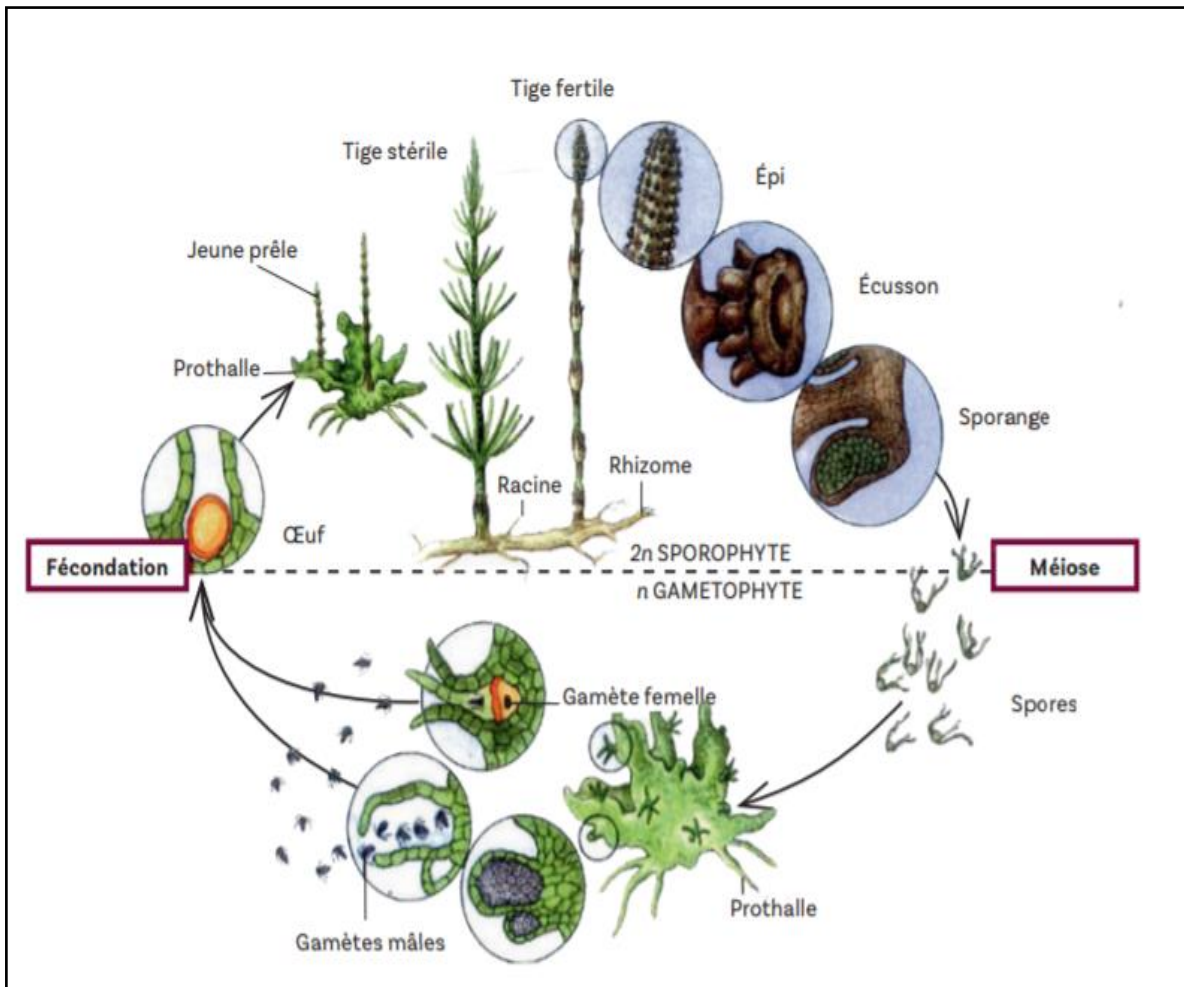


Figure 26. Cycle de vie d'*Equisetum sp.* (Clade des Equisetophytes).

2.3. Filicophytes

Se caractérisent par des tiges souterraines (rhizomes) portant de grandes feuilles appelées mégaphylles ou frondes. Les sporanges sont regroupés en sores, protégés ou non par une couverture appelée indusie. Les sores sont localisés sur la face inférieure des frondes. Plusieurs espèces de ce groupe sont utilisées en ornementation.

Exemple représentatif le *Polypodium sp.* :

Le *Polypodium* appartient à la famille des Polypodiacees, l'ordre de Polypodiales. L'appareil végétatif (représenté par le sporophyte) est constitué d'une tige souterraine (rhizome) avec plusieurs racines adventives et des frondes se divisant en plusieurs folioles ces dernières portent sur leur face inférieure des sores nus (non protégés par une indusie). Après maturation, les sporanges se déchirent et libèrent les spores haploïdes, si les conditions environnementales

sont bonnes, les spores germent pour donner chacune un thalle primaire appelé prothalle ce dernier constitue le gamétophyte. Les gamétanges mâles et femelles sont en principe portés par le même prothalle, mais si les conditions sont défavorables, le nombre d'anthéridies croît aux dépens de celui des archégonies pour donner à la fin des prothalles uniquement mâles. Les gamétanges sont présents sur la face inférieure du prothalle.

Après la fécondation, qui a besoin d'eau pour la libération des spermatozoïdes, le zygote se multiplie progressivement pour se transformer en embryon, lui-même se transformant en une plante complète. Son cycle de vie est représenté dans la **figure 27**.

NB. La durée de vie d'un prothalle est ordinairement d'un à trois ans, cependant au moins 5 genres ont des prothalles persistants (vivant de nombreuses années), comme le *Vittaria* ou encore *Lomariopsis* qui se ramifient sur le sol pour donner des tapis de plusieurs dizaines de m².

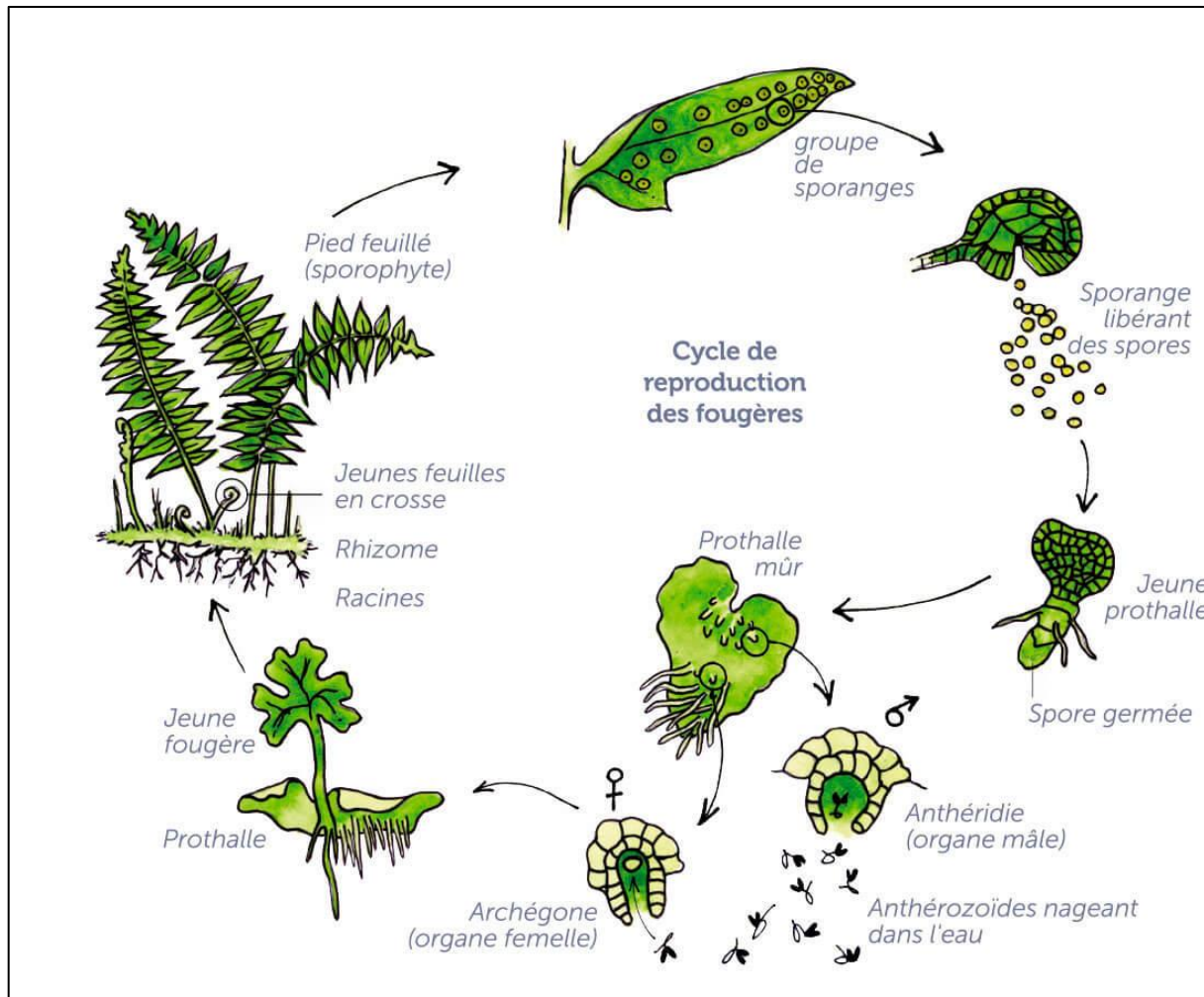


Figure 27. Cycle de vie du *Polypodium sp.* (Clade des Filicophytes).

- **Intérêt du groupe des Ptéridophytes**

- Sont une composante importante dans certains écosystèmes (forêts tropicales, forêts méditerranéennes,...), elles constituent la strate végétale basse ou encore les épiphytes (= les plantes qui vivent accrochées sur d'autres arbres) ;
- Certaines sont médicinales ex. *Adiantum capillus-veneris* qui pousse dans les forêts algériennes ;
- Employées dans les projets de dépollution urbaine (murs, panneaux végétalisés).

3. Les Gymnospermes *sensu lato*

Les Gymnospermes appartiennent au grand groupe des Spermatophytes. Ce sont des plantes arborescentes en général pouvant atteindre des dizaines de mètres. Elles se caractérisent par :

- Leurs fleurs réduites aux organes de reproduction (Ovules et grains de pollen), regroupés dans des cônes mâles et des cônes femelles ;
- L'ovule est nu (l'ovaire n'existe pas) ;
- L'ovule porte un endosperme, qui porte à son tour des archéogones à l'intérieur desquels se trouvent les oosphères ;
- Produisent des pré-graines ou des vraies graines (les pré-graines sont produites chez les Cycadophytes et les Ginkgophytes, les vraies graines chez les Pinophytes et les Gnétophytes, les pré-graines se détachent de la plante mère avant l'achèvement de leur maturation) ;
- La fécondation est simple (l'un des deux spermatozoïdes libérés par le grain de pollen féconde l'oosphère pour donner l'embryon, l'autre par contre dégénère le plus souvent) ;
- Ne produisent pas de vrais fruits.

Ci-dessous, nous développons les différents clades.

3.1. Les Cycadophytes: notion d'ovule

Les Cycadophytes sont actuellement représentées par 11 genres, 130 espèces toutes dioïques (= pied mâle et pied femelle séparés) et 3 familles (**Zamiaceae**, **Cycadaceae**, **Stangeriaceae**). Les **ovules** sont portés par des feuilles dites ovulifères formant un cône (**Figure 28**).

Les ovules portent le gamétophyte femelle chez les Spermatophytes en général, chez les Gymnospermes, dont les Cycadophytes font partie, ils portent l'endosperme (= gamétophyte

femelle) qui porte à son tour l'oosphère (= gamète femelle). Chez les Cycadophytes, l'ovule est très caractéristique, il prend une taille volumineuse qui le rapproche de l'aspect d'une graine. Les Cycadophytes ne sont pas représentées dans la flore indigène algérienne, mais quelques espèces introduites sont cultivées dans les différents espaces verts, parmi lesquelles citons : *Cycas revoluta*.



Figure 28. *Cycas revoluta* cultivée dans le jardin public de Amar Guenoun à la ville de Skikda.

3.2. Les Ginkgophytes

Les Ginkgophytes sont représentées par une seule famille (**Ginkgoaceae**), un seul genre et une seule espèce dioïque : *Ginkgo biloba*. Cet arbre originaire de Chine et du Japon se caractérise par son gros ovule nu (**Figure 29**). Cette espèce est aussi absente de la flore indigène algérienne mais elle est cultivée dans quelques jardins comme le jardin du Hamma à Alger. Il est également très cultivé à travers le monde entier comme arbre d'alignement et arbre dépolluant.



Figure 29. Ovules (après la fécondation) et les fleurs mâles (à droite) du *Ginkgo biloba*.

3.3. Les Coniférophytes: notion de fleur, d'inflorescence et de graine

Ce sont les Gymnospermes les mieux représentées actuellement sur la planète, souvent appelées Résineux à cause de la sécrétion de la résine par leurs organes aériens, se caractérisent par la forme de leurs feuilles (en aiguilles ou en écailles) et de leurs cônes pouvant avoir des tailles considérables comme chez l'*Araucaria* (**Figure 30**).

Leurs **fleurs** sont réduites, comme chez la majorité des Gymnospermes, aux organes de reproduction représentés par les ovules nus (**Figure 30**) (déposés sur les écailles des cônes femelles) et les grains de pollen portés sur les écailles des cônes mâles, ces derniers sont généralement regroupés en une **inflorescence** (**Figure 30**) pouvant compter plusieurs cônes.

Après la fécondation simple, l'oosphère se transforme en embryon et l'ovule se transforme en vraie **graine** nue (**Figure 31**) comme elle n'est pas contenue dans un véritable fruit. Les graines des Coniférophytes peuvent porter plusieurs cotylédons.

Six familles, appartenant à ce groupe, comprenant plusieurs genres et espèces monoïques ou dioïques sont actuellement recensées à travers le monde entier dont certaines sont présentes dans la flore indigène algérienne, ces familles sont énumérées ci-dessous avec quelques espèces représentatives :

- **Pinaceae** : cette famille est bien représentée en Algérie par plusieurs espèces, parmi lesquelles citons : *Pinus halepensis*, *Cedrus atlantica*, *Abies numidica* ;

- **Cupressaceae** : cette famille est aussi bien représentée en Algérie, parmi les espèces citons : *Cupressus sempervirens*, *Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus* ;
- **Araucariaceae** : cette famille n'est pas représentée dans la flore algérienne mais quelques espèces introduites sont cultivées dans les espaces verts notamment *Araucaria heterophylla* ;
- **Taxaceae** : représentée en Algérie par *Taxus baccata* ;
- **Cephalotaxaceae** (1 genre) : n'est pas représentée en Algérie ;
- **Podocarpaceae** (1 genre) : n'est pas représentée en Algérie.

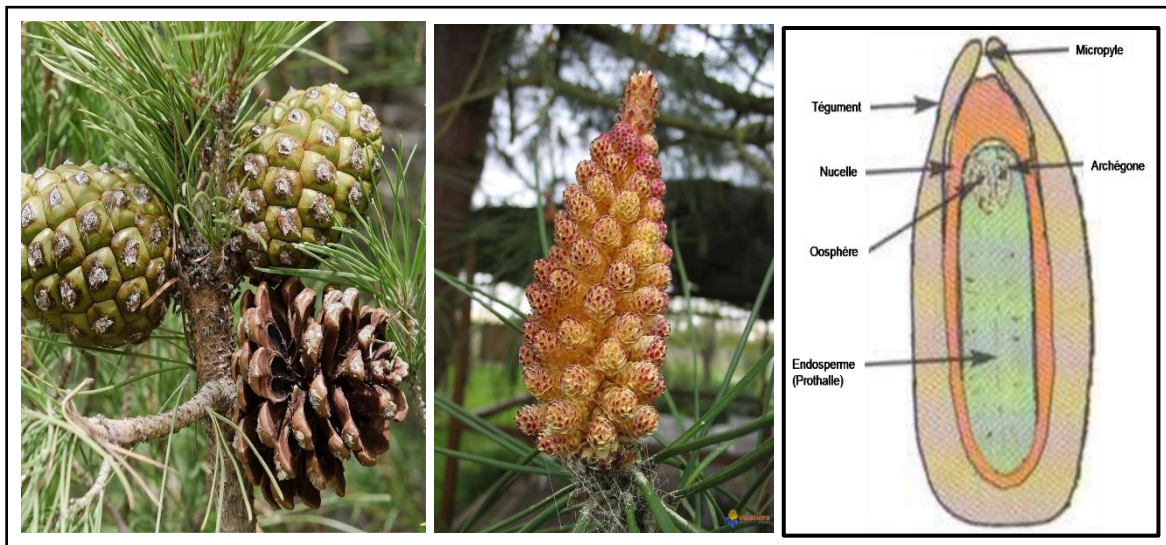


Figure 30. De gauche à droite : Cônes femelles, cônes mâles (regroupés en inflorescence) et ovule du *Pinus sp.* (Coniférophytes).

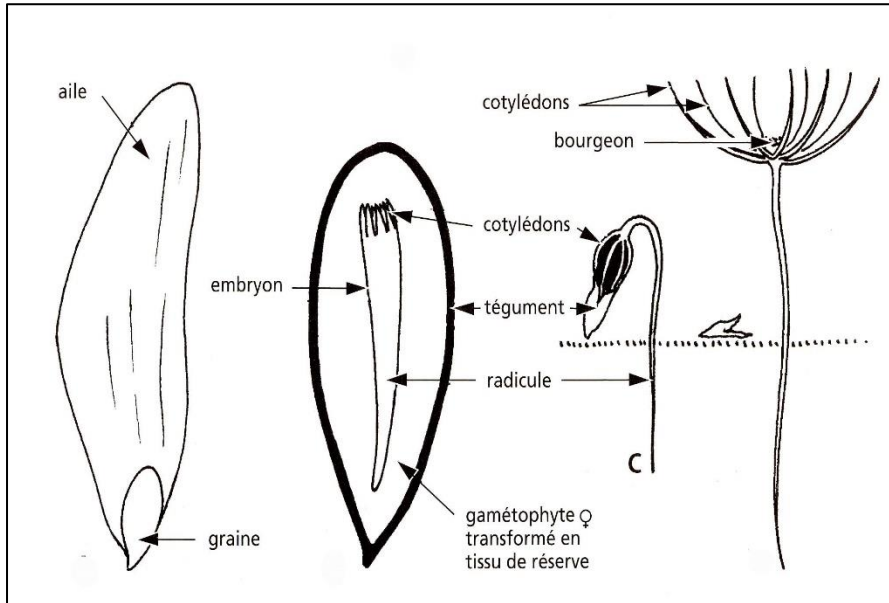


Figure 31. Graine ailée observée chez le *Pinus sp.* (Coniférophytes).

3.4. Les Gnétophytes: groupe charnière

Les Gnétophytes sont aussi appelées les Chlamydospermes, Elles se caractérisent par leurs ovules contenus dans une cavité semi-close (constituées de paires de bractées dont la paire interne s'allonge en un tube micropylaire) rappelant celle de l'ovaire, leurs étamines pourvues de filets ressemblant à celles des Angiospermes ainsi que la réalisation de la double fécondation chez certaines espèces : le tube pollinique déverse 2 gamètes mâles dans l'endosperme (gamétophyte femelle), ces deux gamètes fusionnent avec 2 noyaux présents dans l'oosphère (gamète femelle), par la suite, une seule des cellules diploïdes formées donne un embryon, l'autre dégénère, la double fécondation qui se produit ici n'est donc pas homologue de la double fécondation des Angiospermes.

Les Gnétophytes sont donc un groupe intermédiaire dit **charnière**, entre les groupes de Gymnospermes déjà vus ci-dessus et les Angiospermes.

Représentées par seulement 3 familles, 3 genres et plusieurs espèces monoïques ou dioïques dont quelques-unes sont présentes en Algérie :

- **Ephedraceae** : 1 genre et plusieurs espèces, certaines sont présentes en Algérie comme *Ephedra fragilis* qui pousse sur le littoral, présente à Skikda ;
- **Gnetaceae** : 1 genre et plusieurs espèces ;
- **Welwitschiaceae** : 1 genre, 1 espèce, *Welwitschia mirabilis* (**Figure 32**).



Figure 32. Quelques Gnétophytes, de gauche à droite : *Ephedra fragilis*, *Welwitschia mirabilis*.

- **Intérêt du groupe des Gymnospermes**

- Les Gymnospermes couvrent de grandes étendues naturelles, ce sont les principaux constituants des forêts boréales ;
- Source de bois ;
- Source de plusieurs matières telles que les résines et les gommés, utilisées dans différentes industries ;
- Source alimentaire : les pignons sont largement consommés ;
- Certaines espèces sont médicinales comme le *Juniperus phoenicea* ou encore le *Cupressus sempervirens* dont les cônes femelles sont utilisés pour traiter les hémorroïdes

4. Les Angiospermes

Les Angiospermes sont les plantes à fleurs les plus évoluées, les plus répandues et les plus diversifiées. Comprennent environ 450 familles et 243 000 espèces. Les Caractères évolutifs apparus dans ce groupe sont :

- fleur typique à constitution complète ;
- ovule avec sac embryonnaire (contenant 7 Cellules et 8 noyaux), pas d'archéogones ;
- Double fécondation (formation de l'albumen, un tissu triploïde) ;
- Formation de vrais fruits.

Elles regroupent les Dicotylédones et les Monocotylédones qui montrent des différences très marquées dans leur organisation morphologique ou encore anatomique. Cette dernière sera développée ci-dessous.

4.1. Appareil végétatif et notion de morphogénèse: croissance des tiges, feuilles et racines

L'Appareil végétatif des Angiospermes est considéré comme le plus évolué parmi toutes les plantes à fleurs, les feuilles peuvent être simples ou composées avec un limbe bien développé, les tiges peuvent être ligneuses ou herbacées définissant des espèces pérennes ou annuelles, aériennes ou souterraines, les racines aussi connaissent une diversité considérable, elles peuvent être pivotantes ou fasciculées ou même tubéreuses remplies de réserves nutritionnelles. Cet appareil montre le plus souvent des transformations adaptatives très nombreuses, c'est ainsi que dans les milieux secs et chauds, les feuilles se transforment en épines pour diminuer la surface de transpiration et les tiges se gorgent d'eau pour fournir un réservoir d'eau important pouvant quotidiennement être utilisé.

Les espèces appartenant aux Dicotylédones et Monocotylédones peuvent être différenciées en se basant sur l'appareil végétatif (**Tableau 4**).

Tableau 4. Comparaison entre l'appareil végétatif des Monocotylédones et des Dicotylédones.

Appareil végétatif	Monocotylédones	Dicotylédones
Racine	La racine principale le plus souvent avorte, remplacée par des racines adventives	La racine principale persiste
Tige	Herbacée pouvant porter les bases des pétioles pour augmenter son diamètre comme le stipe des palmiers	Ligneuse et herbacée
Feuilles	Constituent de longs rubans à nervation parallèle et à gaine développée, Sessiles le plus souvent à limbe simple	Pétiolées le plus souvent, à limbe simple ou composé, à nervation réticulée, palmée, pennée ...etc.

Les différents organes de la plante qu'ils soient aériens ou souterrains, font leur apparition grâce à l'activité des méristèmes, tissus embryonnaires se caractérisant par des cellules ayant une grande capacité de division, l'ensemble des mécanismes conduisant à la formation des différentes parties du végétal est appelé **morphogénèse**.

La croissance de la tige et de la racine est assurée par les méristèmes apicaux localisés à l'apex de la tige et de la racine. Au niveau de la tige, ce méristème est précisément localisé au niveau du bourgeon apical, les bourgeons axillaires, munies eux aussi de méristème primaire, assurent la ramification de la tige, au niveau de la racine par contre, ce méristème est précisément localisé au niveau de la pointe racinaire.

La croissance des tiges est aussi assurée par le méristème intercalaire qui se localise entre les entrenœuds. Les ébauches foliaires quant à elles, se forment dans les différents bourgeons grâce toujours à l'action du méristème primaire. La morphogénèse dépend de plusieurs événements qui se déroulent dans la plante de manière intrinsèque dont le déroulement est continuellement réglé par des facteurs environnementaux tels que la gravité et la lumière.

4.2. Morphologie florale (organisation de la fleur, inflorescences)

La fleur des Angiospermes est aussi très diversifiée, elle possède une constitution complète avec des éléments reproducteurs représentés par les étamines et les carpelles (dont l'ensemble constitue le pistil) et des éléments accessoires ou protecteurs représentés par le périanthe (ensemble des pétales (= corolle) et ensemble des sépales (= calice)) (**Figure 33**). Cette constitution complète permet à la fleur de remplir son rôle comme il se doit et d'assurer efficacement la réussite de la reproduction sexuée qui permettra la pérennité des espèces par la production d'une nouvelle plantule.

- **Éléments reproducteurs**

Les **étamines** sont constituées de filets et d'anthères assurant la production de grains de pollen qui seront véhiculés jusqu'au stigmate selon différents moyens dans un processus biologique appelé la pollinisation. Cette dernière peut se réaliser donc par plusieurs intermédiaires notamment par le vent, elle est dite dans ce cas anémophile, par l'eau, elle est dite hydrophile ou encore par les insectes où elle est dite entomophile. L'ensemble des étamines constitue l'androcée.

Les **carpelles** sont constitués d'un stigmate, qui reçoit les grains de pollen lors de la pollinisation, d'un style et d'un ovaire qui constitue une cavité complètement close entourant

les ovules. L'ovaire peut être infère ou supère définissant une fleur épigyne ou hypogyne. L'ensemble des carpelles constitue le gynécée (ou le pistil).

- **Éléments accessoires**

La **corolle** est l'ensemble des pétales le plus souvent dotés de couleurs très attrayantes pour attirer les insectes. Ils peuvent être absents, séparés ou soudés ce qui définit trois types de fleurs :

Fleurs apétales, fleurs dialypétales et fleurs gamopétales.

Le **calice** quant à lui est généralement vert, pouvant être constitué d'un nombre limité de feuilles vertes. Le calice est généralement caduque autrement dit, il tombe avec la maturation des fruits mais il peut être résistant dans certaines espèces telles que la tomate ou encore l'aubergine qui appartiennent à la famille des Solanacées qui se caractérise effectivement par un calice persistant.

Lorsque les pétales et les sépales ne peuvent être distingués à cause de leur ressemblance notamment par rapport à la couleur, on parle de **tépales**.

La fleur peut être unisexuée ou hermaphrodite, solitaire ou regroupé en **inflorescences**.

Les inflorescences sont de deux types : inflorescences à croissance définie et inflorescence à croissance indéfinie.

Dans une inflorescence à croissance définie, le nombre des fleurs est bien délimité, parmi les types citons la cyme bipare et la cyme unipare hélicoïdale ou encore scorpioïdale.

Dans une inflorescence à croissance indéfinie, le nombre des fleurs n'est pas limité ou défini grâce à la présence d'un méristème spécialisé assurant la formation de nouvelles fleurs en permanence; parmi les types citons : l'épi, la grappe, le capitule, le corymbe et l'ombelle. Nous trouvons également des inflorescences composées comme l'ombelle d'ombellules.

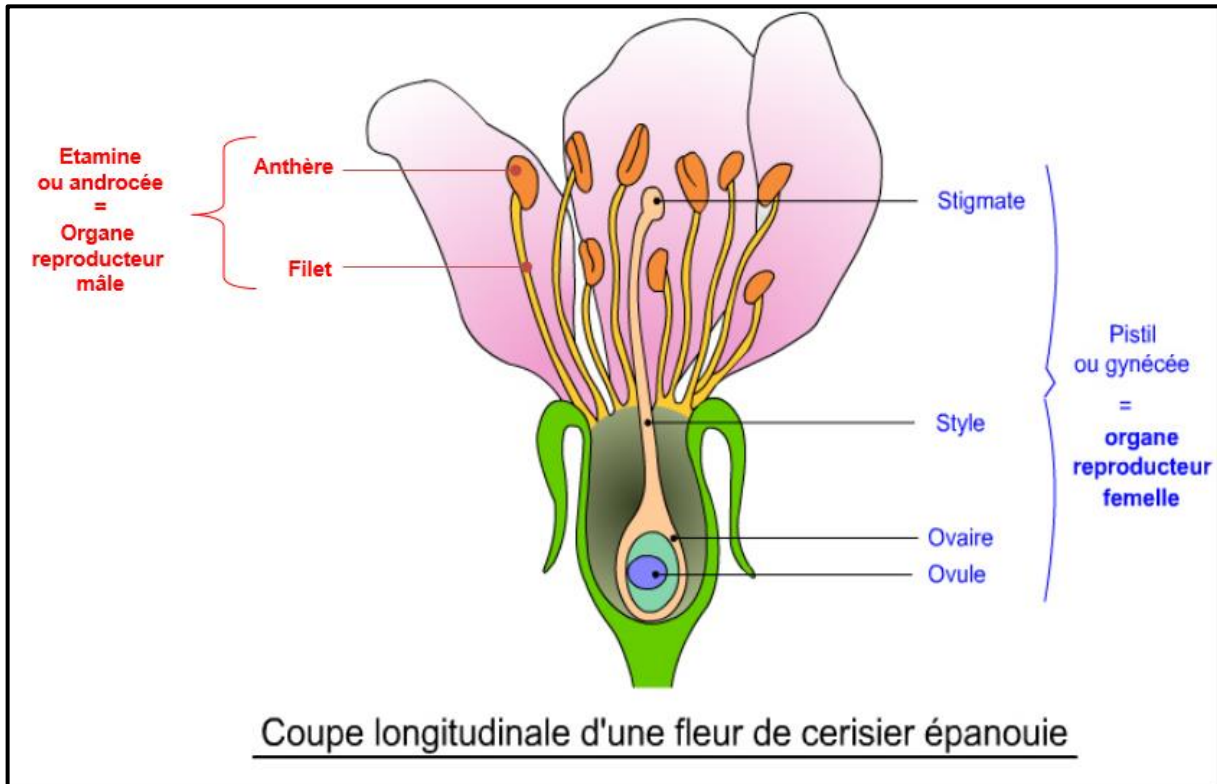


Figure 33. Morphologie flore d'une fleur d'Angiospermes.

4.3. Biologie florale: microsporogénèse et macrosporogénèse

La fleur des Angiospermes possède une composition spécifique et une biologie spécifique.

Son ovule ne contient pas d'archégonies ni d'endosperme comme chez les Gymnospermes, ces deux éléments sont remplacés par le sac embryonnaire qui constitue le gamétophyte femelle contenant le gamète femelle, l'oosphère, ainsi que 6 autres cellules haploïdes mais dont l'une d'elles possède deux noyaux : la cellule polaire (**Figure 34**), l'ensemble du processus menant à la formation du sac embryonnaire par la cellule mère abritée dans l'ovule, s'appelle **macrosporogénèse**. Les grains de pollen quant à eux, peuvent porter une seule ouverture comme chez les monocotylédones ou deux ou trois ouvertures comme chez les Dicotylédones, ils portent deux spermatozoïdes qui seront déversés dans l'ovule après la pollinisation et la germination du grain par la formation d'un tube germinatif, l'ensemble du processus menant à la formation

des grains de pollen par les cellules mères présentes dans l'anthere, s'appelle **microsporogénèse**

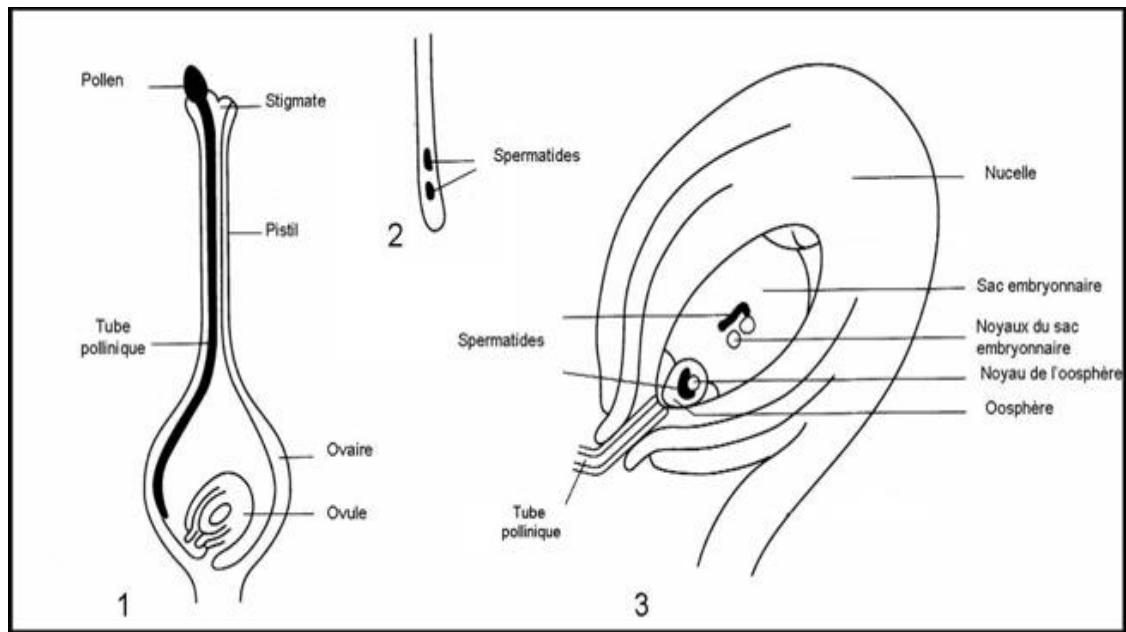


Figure 34. Constitution de l'ovule des Angiospermes.

Une fois dans l'ovule, un des deux spermatozoïdes féconde l'oosphère pour former l'embryon diploïde alors que l'autre s'unie avec les deux noyaux de la cellule polaire pour donner un tissu de réserves triploïde, l'albumen. Ce dernier aura un devenir différent selon les espèces : il peut être consommé par les cotylédons de l'embryon comme il peut ne pas être consommé et constituera donc la source de nutrition pour l'embryon lors de la germination de la graine. Puisque les deux spermatozoïdes sont utilisés et s'unissent à des cellules différentes, la fécondation chez les Angiospermes est dite double.

4.4. Graines et fruits

Les graines et les fruits sont le résultat de la double fécondation. Après la réalisation de cette dernière, l'ovule se transforme en graine et l'ovaire se transforme en fruit. Chez les Angiospermes, les graines possèdent soit un seul cotylédon définissant le groupe des Monocotylédones, soit deux cotylédons définissant les Dicotylédones. En se basant sur l'albumen, les graines peuvent être divisées en trois types : graines albuminées, graines exalbuminée (=sans albumen) et graines à périsperme (= possédant un peu d'albumen et un peu des restes du nucelle de l'ovule) (**Figure 35**).

Les fruits quant à eux sont aussi très variés, les différents types retrouvés chez le groupe des Angiospermes avec ses deux sous-groupes des Monocotylédones et Dicotylédones sont représentés dans la **figure 36**. Certains types de fruits caractérisent certaines familles végétales, comme la gousse qui caractérise la famille des Fabaceae, la silique qui caractérise la famille des Brassicaceae, le caryopse qui caractérise les Poaceae et le gland qui caractérise les Fagaceae.

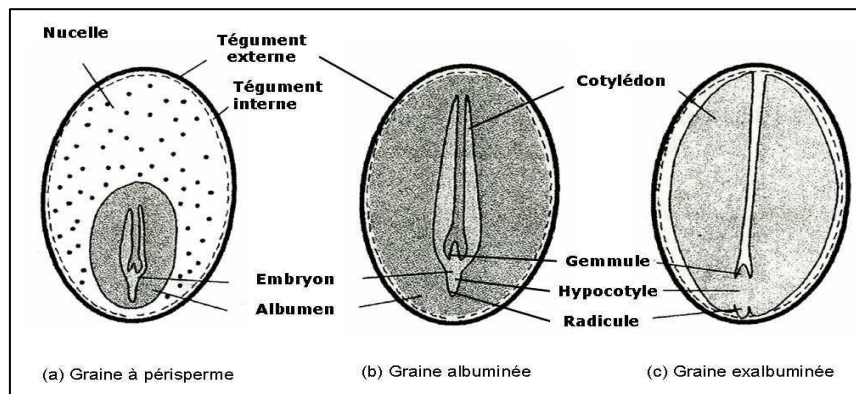


Figure 35. Les différents types de graines observées chez les Angiospermes.

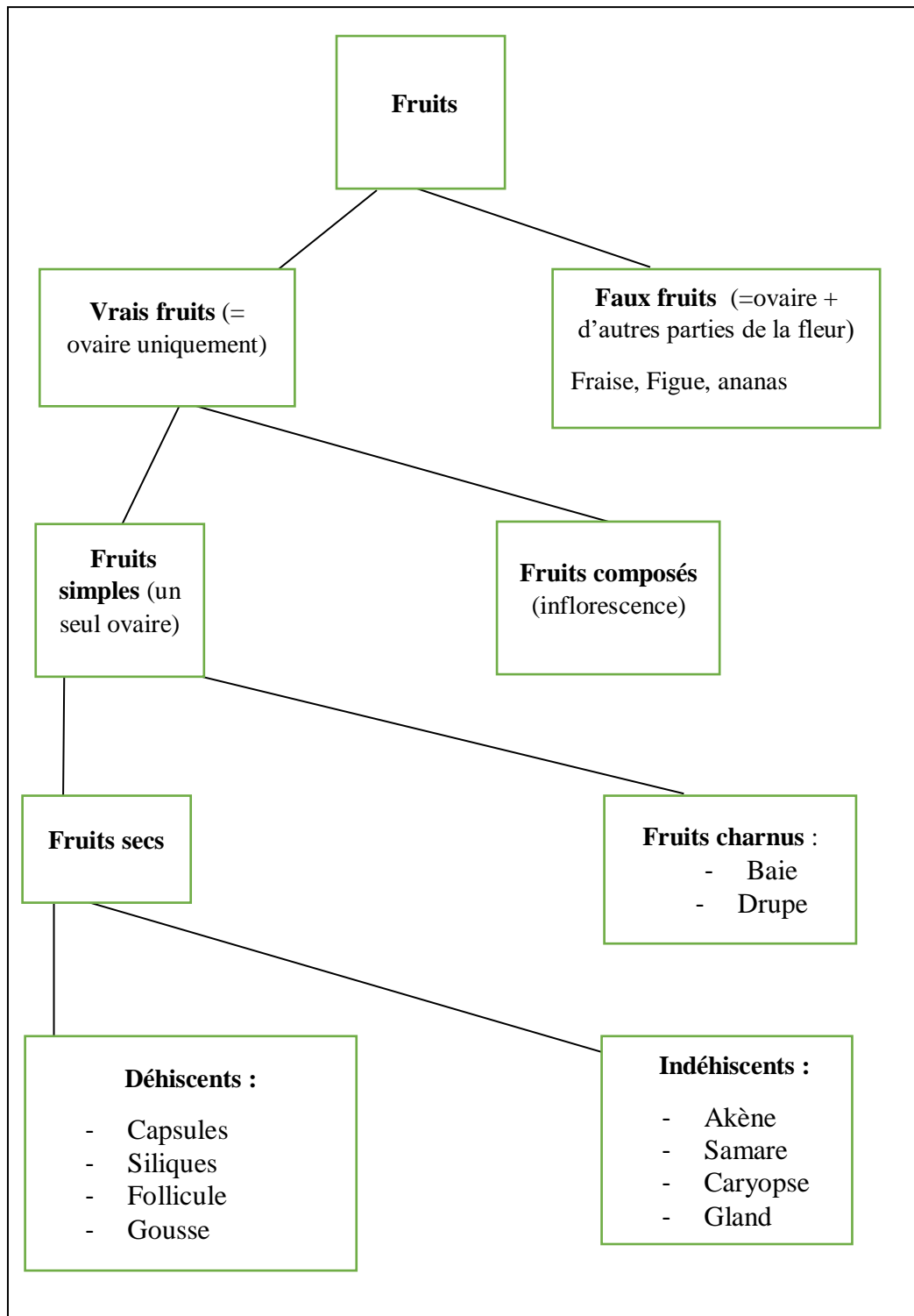


Figure 36. Les différents types des fruits retrouvés chez les Angiospermes.

4.5. Notion de systématique moderne, cladogènèse et principaux taxons. Présentation des classifications (Engler 1924, APG II)

La systématique moderne s'oppose donc à la systématique ou la classification classique. Ce sujet a déjà été traité tout au début de ce document, nous reprenons ici l'essentiel de ce qui a été dit.

La classification moderne se base sur les analyses moléculaires de l'ADN nucléaire, chloroplastidiale ou mitochondriale ou de l'ARN notamment l'ARNr. Elle cherche à établir les liens de parenté et les relations évolutives existant entre les individus ou les groupes pour dresser des arbres phylogénétiques.

Elle met le point sur des :

- **groupes monophylétiques** (tous les descendants ont un ancêtre commun direct) ;
- **groupes polyphylétiques** (les descendants ont des ancêtres différents) ;
- **groupes paraphylétiques** (la plus part des descendants ont le même ancêtre) (**Figure 37**).

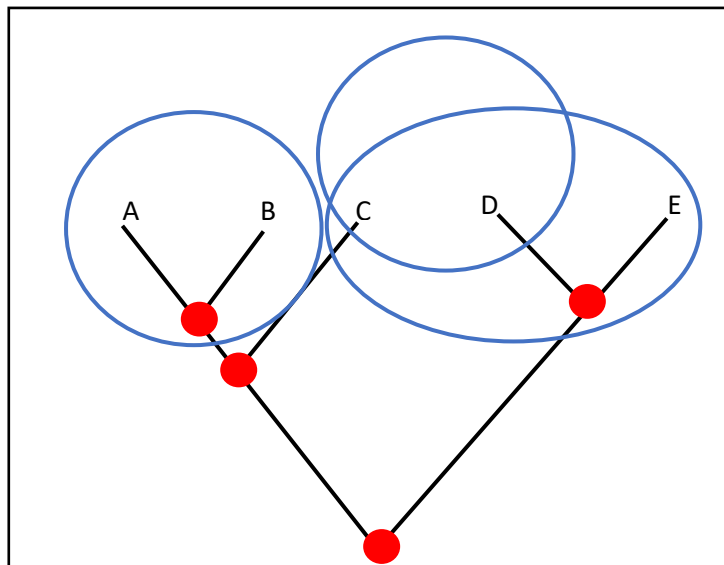


Figure 37. Cladogramme avec des groupes monophylétiques (A et B), groupes paraphylétiques (C, D et E) et groupes polyphylétiques (C et D).

La classification phylogénétique rejette toute catégorisation des niveaux hiérarchiques, tous les niveaux taxonomiques sont remplacés par le terme : **Clade** (un ensemble d'individus ayant le même ancêtre = groupe monophylétique) d'où le terme de **cladogènèse**, elle ne garde que Genre et Espèce. Néanmoins, sur le web on peut trouver ces deux systèmes de classification en plus

d'un troisième système qui combine entre le système classique et le système phylogénétique. La classification phylogénétique bien que moderne présente quelques inconvénients parmi les plus importants, on peut citer l'enregistrement de résultats différents suivant le changement de l'origine des gènes pris en considération lors des analyses génétiques. Certaines études ayant travaillé sur des gènes nucléaires sont arrivées à des résultats de classification différents de ceux enregistrés par des études ayant travaillé sur des gènes chloroplastidiaux de la même espèce.

Il existe dans la classification classique dite naturelle plusieurs systèmes de classification des Angiospermes tels que :

- Système d'Angler (1924)
- Système de Cronquist (1981)
- Système de Takhtajan (1997)
- Système de Thorne (1999, 2000)

Angler s'est basé sur le nombre des cotylédons (Dicotylédones ou Monocotylédones) et le type de fleur (fleur apétale (sans pétales), fleur dialypétale (à pétales libres, non soudés) ou gamopétale (à pétales soudés)) pour élaborer son système de classification (**Figure 38**). Les trois autres se basent sur les caractères anatomiques, chimiques et morphologiques.

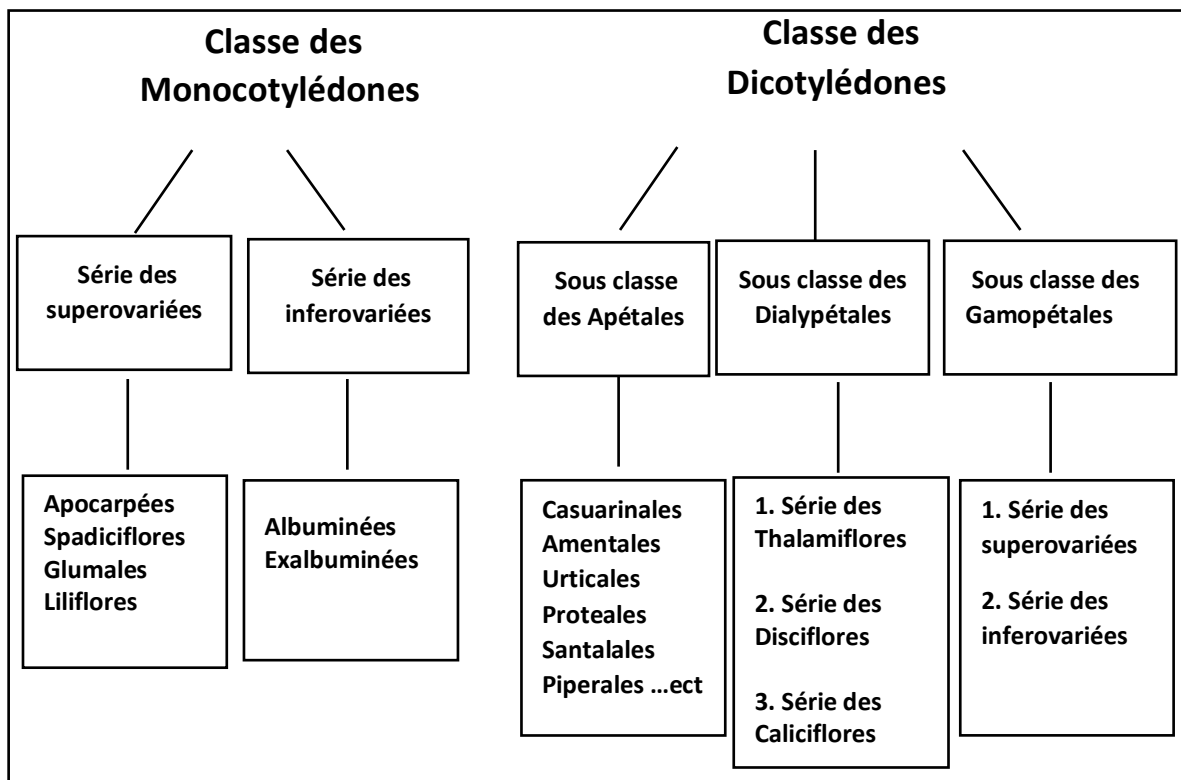


Figure 38. Aperçu sur la classification d'Angler (1924).

La Classification phylogénétique des Angiospermes, quant à elle, est pilotée par un groupe de botanistes de différentes nationalités, ce groupe se réunit chaque 6 ou 7 ans pour réviser la classification des Angiospermes à la lumière de nouvelles données rapportées par les études les plus récentes, ce nouveau système de classification s'intéressant uniquement aux Angiospermes a été appelé : **APG (= Angiosperme Phylogeny Group)**. Il existe 4 versions de ce système dont chacune constitue une révision pour celle qui la précède, dans chaque révision des changements sont généralement effectués suivant les résultats des études réalisées:

- APG I (1998)
- APG II (2003)
- APG III (2009)
- APG IV (2016)

En classification phylogénétique, les relations entre certains groupes ont changé, certaines familles ont éclaté, exemple :

La famille des Liliaceae a éclaté (= a été divisée) en plusieurs d'autres familles telles que les : Asparagaceae, Smilacaceae.....etc. Tandis que d'autres, autre fois séparées ont été réunies, comme par exemple la famille des Tiliaceae qui a été incluse dans la famille des Malvaceae (la famille des Tiliaceae n'a donc plus d'existence) ou encore la famille des Punicaceae incluse dans la famille des Lythraceae. Globalement le groupe des Angiospermes se divise en 3 clades distincts, à savoir :

- **Les Paléodicotylédones** qui regroupent plusieurs familles telles que les Nymphaeaceae, Piperaceae, et Lauraceae ;
- **Les Monocotylédones** qui regroupent aussi plusieurs familles telles que les Iridaceae, Poaceae et Orchidaceae ;
- **Les Eudicotylédones** ces derniers se divisent à leur tour en 4 clades à savoir :
 1. **Eudicotylédones archaïques** : regroupant des familles comme les Ranunculaceae, Papaveraceae...etc.
 2. **Eudicotylédones moyennes** (appelées aussi Rosidées) : regroupant plusieurs familles comme les Rosaceae, Fabaceae, Rutaceae, Myrtaceae, Malvaceae... etc
 3. **Eudicotylédones intermédiaires** : regroupant des familles comme les Cactaceae, Polygonaceae, Caryophyllaceae...etc.
 4. **Eudicotylédones évoluées** (appelées aussi Asteridées) : regroupant plusieurs familles comme les Asteraceae, Solanaceae, Oleaceae, Lamiaceae, Apiaceae...etc.

Références

- Amirouche N., Bouguedoura N. et Hadj-arab H. 2013. *Botanique des embryophytes*. 3ème édition, OPU, Algérie.
- APG II. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society* 141:399–436.
- APG III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161:105–121.
- APG IV. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181(1): 1–20.
- Botineau M. 2010. *Botanique Systématique et appliquée des plantes à fleurs*. Edi. Tec et Doc. Paris.
- Meyer S., Reeb C. & Bosdeveix R. 2004. *Botanique, biologie et physiologie végétale*. Maloine, France.
- Reeb C. & Dubuisson J.Y. 2007. *Systématique des Embryophytes*. Université Pierre et Marie Curie, Paris 6.
- Schubler A., Schwarzott D. & Walker C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105: 1413-1421.
- Selosse M.A. 2013. Une classification phylogénétique des Eucaryotes.
- Spichiger R.E., Savolainen V.V., Figeat M., Jeanmonod D. 2004. *Botanique systématique des plantes à fleurs*. Une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicales. 3ème édition, Presses polytechniques et universitaires Romandes.