



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie D'Oran Mohamed Boudiaf

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biotechnologies



Laboratoire des productions valorisations végétales et microbiennes

POLYCOPIE DU COURS

TAXONOMIE ET SYSTÉMATIQUE DES VÉGÉTAUX INFÉRIEURS

DESTINÉ AUX ÉTUDIANTS DE TROISIÈME ANNÉE LICENCE
EN BIOTECHNOLOGIE ET GENOMIQUE VÉGÉTALE

Réalisée par : Dr. Saliha MELIANI

Année universitaire 2020 – 2021

Préambule

Selon la théorie évolutionniste, les premiers êtres vivants, apparus sur terre il y a environ 3,5 milliards d'années, étaient des bactéries dépourvues de noyau cellulaire. Ceci se produisit après la formation de la terre primitive, il y'a environ 4,5 milliards d'années, dans une atmosphère essentiellement formée de : He, H et une température de surface qui dépassait les 1500°C. Celle-ci se refroidît très rapidement, et l'eau, qui se trouvait sous forme de vapeur de l'atmosphère, se condensa et donna naissance à la plupart des océans actuels. Il y'a, à peu près 4 milliards d'années, certaines molécules pré biotiques : Le CH₄, NH₃ et le CO₂ se sont accumulées dans l'océan puis elles ont été regroupées en trois catégories : Les bases azotées, les acides aminés et les acides gras. A partir de ces molécules, il eut l'apparition des molécules biotiques. Ce sont : Les acides aminés (forment les protéines) ; Les bases azotées (ADN) ; Les acides gras (lipides) et enfin la formation des glucides. Ces 4 molécules biotiques ont procréé la première bactérie nommée procaryote. Ces bactéries ont évolué : Certaines ont acquis de nouvelles substances chimiques qui leur permettront de réaliser la photosynthèse : bactéries photosynthétiques ou cyanobactéries (liées à leur couleur). Ces bactéries étant capables de libérer de l'oxygène, la teneur en oxygène (O₂) a progressé, dans les océans d'abord, puis rejeté à la surface. Et au fur à mesure des années, il a commencé à transformer l'atmosphère. Le dioxygène accumulé a permis la création d'une couche d'ozone formant une barrière de protection contre ultraviolets. Ceci a permis aux êtres vivants, bactéries à l'époque, et les autres qui vont suivre de sortir de l'eau et d'aller s'installer sur les continents terrestres. Deux modifications vont apparaître : Certaines bactéries, des procaryotes, recueillirent d'autres petites bactéries et fusionnèrent et virent un noyau apparaître au milieu de leur cellules et d'autres cellules vont se regrouper en paquets de cellules et former des êtres pluricellulaires.

Ce polycopié représente le programme de taxonomie et systématique des végétaux inférieurs pour les étudiants de licence en Biotechnologie et Génomique végétale. Il était conçu dans le souci d'en faire un document assez riche pour donner à l'étudiant les notions de base lui permettant de comprendre la diversité d'espèces, de forme, de structure et de cycle de développement des végétaux inférieurs et leur organisation. Il traite les Thallophytes les (cyanobactéries) ; les phycophytes ; les champignons (bien que ne faisant plus partie du monde végétal) et les lichens et les Cormophytes (Bryophytes et les Ptéridophytes). Les caractères généraux, cytologiques et de reproduction (sexuée et asexuée), sont présentés pour chaque groupe dans un sens évolutif et sont traités successivement en intégrant des connaissances et des données plus actuelles.

Table des matières

1	Introduction générale à la botanique.....	1
2	Définition, notion et concept en classification.....	1
2.1	Végétal.....	1
2.2	Notion d'individus.....	1
2.3	Notion de population.....	1
2.4	Notion de caractères	1
2.4.1	Gène homologue	2
2.4.2	Gène analogue	2
2.5	Notion de l'espèce.....	2
2.5.1	Concept biologique de l'espèce.....	2
2.5.2	Critères de ressemblance et d'interfécondité	2
2.6	Notion de thallophytes et cormophytes	2
2.6.1	Thallophytes	3
2.6.2	Cormophytes	3
3	Historique de la classification dans le règne végétal.....	3
3.1	Classification des êtres vivants et place des végétaux (Tableau 1)	5
3.2	Évolution du monde végétale	7
3.2.1	Passage du milieu marin originel au milieu aérien	7
3.2.1.1.	Colonisation du milieu aérien.....	7
3.2.1.2.	Émergence et évolution.....	8
3.3	Nomenclature et unité taxonomiques.....	9
3.3.1	Taxonomie	9
3.3.2	Systématique et Nomenclature.....	9
3.3.3	Hiérarchisation Taxonomique.....	9
3.3.4	Règle de nomenclature botanique	10

CHAPITRE I LES ALGUES

1	Morphologie et évolution des thalles	11
2	Structure du thalle.....	11
2.1	Archéthalles	11
2.1.1	Les archéthalles unicellulaires.....	11
2.1.2	Archéthalle colonial ou cénobial	13
2.1.3	Archéthalles pluricellulaires.....	14
2.2	Nématothalle (prothalle)	15
2.2.1	Constitution	15
2.2.2	Les différents types de filaments	16
2.2.3	Nématothalles polystiques	17
2.2.4	Nématothalles Tubulaires	17

2.2.5	Nématothalles foliacés (lamellaires)	18
2.3	Cladome (cladotalles)	18
2.4	Croissance et ramification chez les algues	20
2.4.1	Croissance en longueur des algues filamenteuses (pluricellulaires).....	20
2.4.2	Croissance en épaisseur.....	21
2.5	Ramification	22
2.5.1	Ramification latérale	22
2.5.2	Ramification dichotomique	23
3	Caractères cytologiques (paroi, structure et évolution des plastes).....	23
3.1	Paroi cellulaire (Figure34a).....	23
3.1.1	Locula :.....	23
3.1.2	Ciment :	23
3.1.3	Vagina.....	24
3.2	Noyau	24
3.3	Flagelle (appareil cinétique).....	24
3.3.1	Ultrastrure des flagelles.....	24
3.3.2	Nombre de flagelles	25
3.3.3	Disposition des flagelles sur la cellule.....	26
3.3.4	Structure dans les grands groupes d'algues.....	26
3.4	Organes de fixation	27
3.4.1	Cellule adhésive	27
3.4.2	Rhizoïdes	27
3.4.3	Crampons	27
3.4.4	Disque de fixation	27
3.5	Appareil plastidial (plaste)	28
3.5.1	Morphologie et évolution.....	28
3.5.2	Organisation des plastes.....	28
3.5.3	Ultrastructure des plastes (Figure 43).....	29
3.5.4	Pigments photosynthétisants	31
3.6	Mithochondries	31
3.7	Appareil de golgi	31
3.8	Réticulum endoplasmique et ribosome	31
3.9	Stigma (œil primitif)	31
3.10	Inclusions cytoplasmiques	31
3.10.1	Vacuoles.....	31
3.10.2	Gouttelettes lipidiques	32
3.10.3	Grains d'amidon extraplastidial	32
4	Reproduction des algues	32
4.1	Reproduction asexuée.....	32
4.1.1	Multiplication végétative (constance du génome)	32
4.2	Formation de cellules spécialisées ou spores	33
4.2.1	Zoospores (spores flagellées)	33

4.2.2	Formation de cystes (sporocystes ou sporanges) (Figure 48)	34
4.2.3	Formation de spores résistantes (acinètes= acinètes) (Figure 49)	34
4.3	Les gamètes et types de fécondation (types de gamies)	34
4.3.1	Gamètes	34
4.3.2	Gamie = (fécondation ou conjugaison).....	34
4.4	Diversité des modes de fécondation (Figure 50).....	34
4.4.1	Isogamie (Figure 50a).....	34
4.4.2	Anisogamie (Figure 50b)	35
4.4.3	Oogamie (zoïdogamie) (Figure 50c)	35
4.4.4	Trichogamie (Figure 50d).....	35
4.4.5	Cystogamie (Figure 50e).....	35
4.4.6	Aplanogamie (Figure 50f).....	35
4.5	Cycle de développement	36
4.5.1	Alternance de génération	36
4.5.2	Alternance nucléaire.....	36
5	Systématique de particularité des principaux groupes	37
5.1	Les Algues procaryotes (Cyanophytes / Cyanobactéries)	37
5.1.1	Adaptation des Cyanobactérie	38
5.1.2	Importance écologique majeure	38
5.1.3	Intérêt économique	38
5.1.4	Toxicité	38
5.2	Morphologie et appareil végétatif des cyanobactéries.....	39
5.2.1	Cellule végétative (V).....	39
5.2.2	Hétérocyste (H).....	39
5.2.3	Akinète (A)	40
5.3	Caractères cytologiques.....	40
5.3.1	Chromatoplasme	40
5.3.2	Centroplasme.....	40
5.4	Reproduction des cyanobactéries	41
5.4.1	Scissiparité ou division binaire (Figure 58 a)	41
5.4.2	Fragmentation	42
5.4.3	Spores	42
5.5	Taxonomie des cyanobactéries.....	43
5.5.1	Sous classes des Coccogonophycidae.....	43
5.5.2	Sous classes des Hormogonophycidae	43
6	Les algues eucaryotes : phycophytes	44
6.1	Définition	44
6.2	Classification	44
6.3	Ecologie des algues.....	46
6.3.1	Algues marines non fixées (Algues pélagiques)	46
6.3.2	Algues symbiotiques	47
6.3.3	Algues benthiques (= phytobenthon) (algues marines fixées)	47
6.3.4	Algues d'eaux douces.....	49
6.3.5	Algues aérophiles : nombreux substrats aériens peuplés par les algues :.....	49

7	Rhodophycophytes.....	50
7.1	Caractères généraux	50
7.2	Reproduction	50
8	Chromophycophytes (pyrro-chryse-algeno-pheo).....	52
8.1	Caractères généraux	52
8.2	Reproduction sexuée Ex. Ficus vésiculeux.....	52
9	Chlorophycophytes	53
9.1	Caractères généraux	53
9.2	Reproduction sexuée	53

CHAPITRE II CHAMPIGNONS ET LICHENS

A.	Champignon.....	56
1	Problèmes posés par la classification des champignons	56
1.1	Ancienne classification d'Ainsworth	56
1.2	Classification phylogénique.....	57
1.3	Classification actuelle	57
1.3.1	Chytridiomycètes (Chytridiomycota).....	57
1.3.2	Zygomycètes (Zygomycota).....	57
1.3.3	Gloméromycètes (Gloméromycota).....	57
1.3.4	Ascomycètes (Ascomycota).....	57
1.3.5	Basidiomycètes (Basidiomycota)	57
2	Caractères généraux	58
3	Caractères cytologiques	58
3.1	Paroi	58
3.2	Noyau	59
3.3	Vacuole.....	59
3.4	Réserves	59
4	Thalle	59
4.1	Thalle unicellulaire	59
4.1.1	Champignons holocarpiques	59
4.1.2	Champignons eucarpiques,	60
4.2	Thalle pluricellulaire	60
5	Mode de vie.....	63
5.1	Saprophytes	63
5.2	Parasites	63
5.3	Symbiotes :.....	63
6	Rôle et effet	64

7	Le cycle biologique des champignons :	64
8	Reproduction	64
8.1	Organes de production	65
8.1.1	Spore.....	65
8.1.2	Asque	65
8.1.3	Baside	65
8.2	Reproduction asexuée	65
8.2.1	Fragmentation du thalle.....	65
8.2.2	Scission ou bourgeonnement	65
8.2.3	Sporulation directe	65
8.3	Reproduction sexuée	66
9	Cycle des champignons	66
9.1	Plasmogamie	66
9.2	Caryogamie.....	66
9.3	Méiose.....	66
10	Plasmogamie	67
10.1	Planogamie (conjugaison planogamétique)	67
10.2	Trichogamie (contacte gamétocystique)	67
10.3	Cystogamie (conjugaison gamétocystique).....	67
10.4	Spermatisation.....	67
10.5	Perittogamie (somatogamie)	67
11	Notion de compatibilité : Sur la base de la compatibilité sexuelle on distingue :	68
11.1	Homothalliques	68
11.2	Hétérothallique.....	68
12	Spores sexuées.....	68
12.1	Oospores.....	68
12.2	Zygozspores	68
12.3	Ascospores	69
12.4	Basidiospores	69
13	Appareils sporifères	70
13.1	Asexuée.....	70
13.1.1	Sporodochies.....	70
13.1.2	Acervule.....	70
13.1.3	Pycnide	70
13.2	Sexuée.....	70
13.2.1	Ascomycètes.....	71
13.2.2	Basidiomycètes	71
1	Classification.....	72

2	Ecologie.....	72
3	Usage.....	72
4	Définition	73
5	Critères d'identification des lichens.....	73
6	Structure des lichens.....	73
7	Types des thalles (morphologie et structure).....	75
7.1	Lichens gélatineux.....	75
7.2	Lichens secs.....	75
7.2.1	Crustacés	75
7.2.2	Thalles Foliacés	76
7.2.3	Thalles Fruticuleux.....	77
7.2.4	Thalle des Composites	78
7.2.5	Thalles lépreux	78
7.2.6	Thalles squamuleux	79
8	Reproduction	79
8.1	Reproduction sexuée	79
8.1.1	Apothécie dite lécanorine	79
8.1.2	Apothécie dite lécidéine (biatorine).....	79
8.2	Reproduction asexuée.....	80
8.2.1	Soridies	80
8.2.2	Isidies.....	80
8.2.3	Céphalodies	80

CHAPITRE III BRYOPHYTES

1	Classification.....	82
2	Caractères généraux	82
3	Appareil végétatif.....	83
4	Appareil de reproduction	83
4.1	Reproduisent par voie asexuée	83
4.2	Reproduisent par voie sexué	83
5	Marchantiophytes (Hépatiques)	84
5.1	Caractères généraux	84
5.2	Reproduction	85
5.2.1	Reproduction sexuée	85
5.2.2	Reproduction asexuée.....	87
6	Anthocérotes (Anthocérophytes)	87
6.1	Caractères généraux	87
6.2	Reproduction	88

6.2.1	Reproduction asexuée.....	88
6.2.2	Reproduction sexuée	88
7	Mousses (Muscinées) (Bryophytes).....	89
7.1	Caractères généraux	89
7.2	Classification	89
7.2.1	Bryales	89
7.2.2	Sphagnales	90
7.2.3	Andréales.....	90
7.3	Reproduction	91
7.3.1	Multiplication végétative	91
7.3.2	Reproduction sexuée	91

CHAPITRE IV PTERIDOPHYTES

1	Généralité sur les caractères morphologiques des ptéridophytes (Figure 99).....	93
2	Importance évolutive de la reproduction.....	95
3	Systematique	96
4	Lycophyta (Lycophytes) (les lycopodes, les sélaginelles)	96
4.1	Lycopodiaceae	96
4.2	Selaginellaceae (Figure 103).....	97
4.2.1	Appareil végétatif de <i>Selaginella denticulata</i>	97
4.2.2	Les macrosporange (mégasporange).....	97
4.2.3	Les microsporange	97
4.2.4	Les sporanges mâles	98
4.2.5	Les sporanges femelles	98
5	Sphenophytes (phenophytes)	98
5.1	Aspect morphologique d' <i>Equisetum arvensis</i> , les prêles (Figure 104)	98
5.2	Filicophyta (Filicophyte) (fougères)	99

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Différents domaines de la botanique.....	1
Figure 2. Première phylogénie du monde vivant (Haeckel ,1866) (la classification sur recherche de parenté)	5
Figure 3. Classification des êtres vivants (systèmes à deux règnes, de Linné (1735)	6
Figure 4. Classification des êtres vivants (systèmes à cinq règnes, de Whittaker (1969)	6
Figure 5. Subdivision du monde vivant en trois domaines (Woese et <i>al.</i> , 1990)	7
Figure 6. Colonisation du milieu aérien.....	8
Figure 7. Émergence et Évolution	8
Figure 8. a : Classification classique (linnéenne) ; b : Sous niveaux dans la classification classique (linnéenne)	9
Figure 9. Nomenclature scientifique binominale (Linné ,1753)	10
Figure 10. Archéthalle unicellulaire coccoïde dissocié de <i>Cosmarium</i>	11
Figure 11. Archéthalles unicellulaire d' <i>Euglena</i>	11
Figure 12. Reproduction asexuée (mitose et autospores) de <i>Chlorella</i>	12
Figure 13. [a : Multiplication par sporulation ; b : Productions des gamètes] chez la <i>Chlamydomonas</i> sp,	13
Figure 14. Colonies mucilagineuses [a : <i>Synura</i> ; b : <i>Eudorina illinoisensis</i> ; c : <i>Pandorina</i> ; d : <i>Volvox</i>]	14
Figure 15. Cénobes [a : <i>Scenedesmus</i> ; b : <i>Pediastrum duplex</i>]	14
Figure 16. [a : <i>Pleurococcus</i> ; b : <i>Clindrocystis</i>]	15
Figure 17. [a : <i>Zygnema</i> ; b : <i>Spirogyra</i> ; c : <i>Mougeotia</i>]	15
Figure 18. <i>Chrysodinales</i>	15
Figure 19. Différents types de Nématothalles (prothalles)(<i>Gorenflot</i> ,1975 modifié)	16
Figure 20. [a : thalles siphonnés; b : <i>Bryopsis plumosa</i> ; c : <i>Valonia</i>]	17
Figure 21. <i>Cladophora</i>	17
Figure 22. Filament est cloisonné	17
Figure 23. Passage d'un prothalle haplostique à un prothalle polystique	18
Figure 24. Coupe transversale du thalle en tube d' <i>Enteromorpha intestinalis</i>	18
Figure 25. Thalle foliacé monostromatique de <i>Porphyra</i>	18
Figure 26. Thalle foliacé bichromatique du <i>Monostroma fuscum</i>	18
Figure 27. Représentation schématique d'un cladome d'algue <i>Chara</i>	19
Figure 28. Différents types du cladome	19
Figure 29. Thalle ficoïde de fucus <i>Laminaria</i>	20
Figure 30. Croissance en longueur des algues filamenteuses [a : Croissance diffuse de filaments atélmiques ; b : Croissance apicale des filaments cloisonné télomiques ; c : Croissance apicale des filaments siphonné télomiques ; d : Croissance marginale ; e : Croissance intercalaire ; f : Croissance trichothallique	21
Figure 31. Croissance en épaisseur [a filament polystiques (<i>Fucus</i>); b : cladome de <i>Chara</i> ; c : coupe transversale dans la lame <i>Laminaria hyperborea</i>]	22

Figure 32. Différents types de Ramification latérale	22
Figure 33. Ramification subdichotomique (<i>Codium</i>)	23
Figure 34. (a : constituant de la paroi cellulaire ; b : appareil synaptique	24
Figure 35. Ultrastrure des flagelles	25
Figure 36. Divers types de cellules flagelles chez diverses lignées d'algues	25
Figure 37. Structure de la zone de transition flagellaire chez les chlorobionta	25
Figure 38. Disposition des flagelles sur la cellule	26
Figure 39. Structure des cellules dans les grands groupes d'algues.....	27
Figure 40. Divers types d'organes de fixation.....	28
Figure 41. Structure fine des pyrénoides	28
Figure 42. Types de plastes	29
Figure 43. Origine des chloroplastes par endosymbiose primaire (a) et secondaire (b) (Franz Lang et al., 2000 ; Gould, 2012) modifié	30
Figure 44. Ultrastructure de plaste (Segarra et al. 2015)	30
Figure 45. Reproduction par bouturage.....	33
Figure 46. Reproduction par bouturage (<i>Valonia</i>)	34
Figure 47. Reproduction par les propagules	34
Figure 48. Formation de cystes (sporocystes ou sporanges)	34
Figure 49. Formation de spores résistantes (acinètes)	34
Figure 50. Différents modes de fécondation	35
Figure 51. Cycle monogénétique (a : diplophasique ; b : haplophasique)	37
Figure 52. Cycle digénétique haplodiphase	37
Figure 53. Cycle trigénétique	37
Figure 54. Différents types de thalle chez les cyanobactéries	39
Figure 55. Cellules végétative, hétérocyste et akinètes chez les cyanobactéries (<i>Nostoc</i> et <i>Anabaena</i>	40
Figure 56. Morphologie d'une cellule de cyanobactérie	41
Figure 57. Ultrastructure du chloroplaste de cyanobactérie	41
Figure 58. Voie de reproduction des cyanobactéries	42
Figure 59. Positionnements des algues benthiques atlantiques	48
Figure 60. Cycle de reproduction de <i>Antithamnion Plumula</i>	51
Figure 61. Cycle de reproduction de <i>Fucus vésiculeux</i>	53
Figure 62. Cycle de reproduction de <i>Ulva lactuca</i> (chez la laitue de mer)	54
Figure 63. Structure de la paroi cellulaire et de membrane cytoplasmique d'une cellule fongique (Selitrennikoff, 2001)	58
Figure 64. a : Thalle unicellulaire ; b : Champignons eucarpiques	60
Figure 65. Formes des thalles chez les champignons	61
Figure 66. Etapes de formation des hyphes	61
Figure 67. Différents types de septum	61
Figure 68. Dolipore chez <i>Rhizoctonia</i> (Basidiomycètes).....	62
Figure 69. a : Sclérote ; b : Section transversale au niveau du pseudoparenchyme	62
Figure 70. Stroma avec détail de tissus stromatique	62
Figure 71. Formation des différents types de spores asexuées	66
Figure 72. Modes de fécondation (a : planogamie ; b : cystogamie ; c : spermatisation ; d : perittogamie	67
Figure 73. Formation de l'oospore	68

Figure 74. Formation de zygospires	69
Figure 75. Formation d'ascospores	69
Figure 76. Formation de l'oospore basidiospores	70
Figure 77. Origine des Appareil sporifères des champignons (a : cleistothèce ; b : apothécie ; c : locule ; d : périthèce ; e : basidiocarpe)	71
Figure 78. Associations symbiotiques lichéniques	74
Figure 79. Structure des lichens	74
Figure 80. a : fixation du thalle sur le substrat ; b : Structure d'un thalle gélatineux	75
Figure 81. Fixation [a : plaqué sur la surface ; b : Incrusté dans le substrat] ; c : Structure d'un thalle des Crustacé	76
Figure 82. Fixation de thalle [a : quelques points ; b : par une petite zone ; c : par une petite zone (ombilic)] ; d : structure dorsiventrals d'un thalle foliacé.....	77
Figure 83. Modes de fixation [a : thalle en lanières ; b : thalle en tiges ; c : thalle pendant, d : thalle dressé ombiliqué], e : Structure hétéromère du thalle radié (<i>Usnea</i>)	78
Figure 84. Morphologie du thalle des Composites.....	78
Figure 85. Thalles lépreux	79
Figure 86. Thalles squamuleux	79
Figure 87. Types de fructification (a : lécanorine ; b : lécidéine)	80
Figure 88. Types de propagules (a : sorédies ; b : isidies, c : céphalodies)	81
Figure 89. Organes de reproduction de (a : archégone ; b : anthéridie) des bryophytes	84
Figure 90. Cycle de développement des bryophytes	83
Figure 91. a : Hépatiques à thalle ; b : Hépatiques à tige feuillée	84
Figure 92. Morphologie (a) et Coupe transversale du thalle (b) de Marchantiophytes.....	84
Figure 93. Structure des gamétangiospores (a : anthéridiophore ; b : archégoniophore) chez les Marchantiophytes	85
Figure 94. Cycle de vie chez <i>Marchantia polymorpha</i>	85
Figure 95. Morphologie d'Anthocéros laevis (Anthocérotes	86
Figure 96. Cycle de vie des Anthocérotes	87
Figure 97. Morphologie de (a : Bryyales ; b : Sphagnales ; c : Andréales)	89
Figure 98. cycle de vie des mousses : le polytric	91
Figure 99. Arbre phylogénétique simplifié des Trachéophytes	92
Figure 100. Tissus conducteurs chez les ptéridophytes s.l	93
Figure 101. Différents types de stèles chez les ptéridophytes s.l. (en noir : le xylème, en blanc : le phloème)	93
Figure 102. Lycopode avec 5 épis sporifères terminaux .	96
Figure 103. Sporophylles portant les sporanges mâles et femelles chez <i>Selaginella denticulata</i>	97
Figure 104. Aspect morphologique d' <i>Equisetum arvensis</i> , les prêles	98
Figure 105. Aspect général de Filicophyte : appareil végétatif de polypode	99

TABLEAUX

Tableau 1. Évolution des systèmes de classification et des règnes.....	5
Tableau 2. Suffixes des taxons des algues, champignons et les embryophytes (De Riviers, 2002)	11

1 Introduction générale à la botanique

La botanique vient du mot grec ‘Botane’ qui désigne une plante ou une herbe. Elle est la science de la nature consacrée à l’étude des végétaux et de tout ce qui a un rapport immédiat avec les végétaux. La botanique présente plusieurs domaines qui la rattachent aux autres sciences du vivant qui sont notamment voir (Figure. 1).

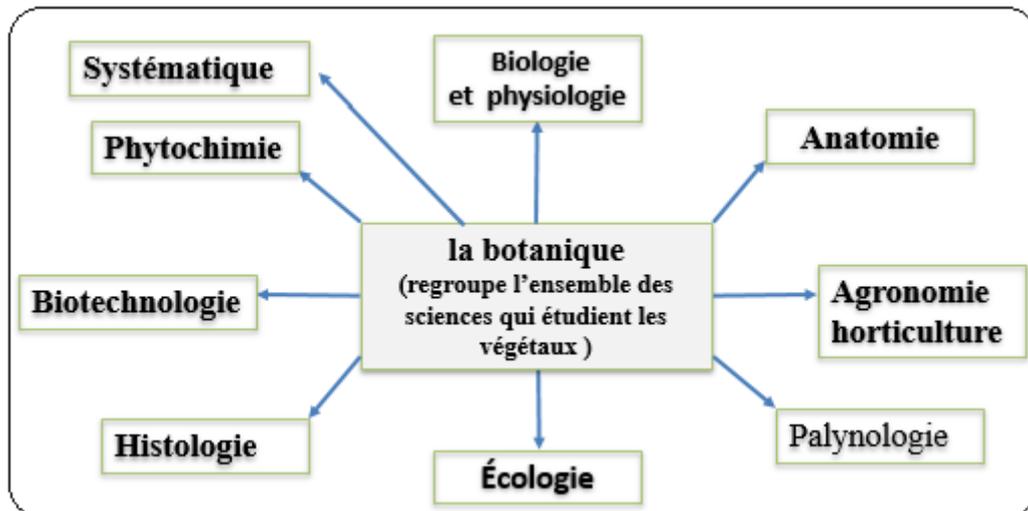


Figure1. Différents domaines de la botanique

2 Définition, notion et concept en classification

2.1 Végétal

Actuellement, une plante est définie comme un organisme pluricellulaire photosynthétique représentant un groupe naturel autotrophe avec paroi constituée de cellulose.

2.2 Notion d'individu

Un individu biologique est un organisme issu d'une reproduction sexuée. Les individus issus par la multiplication végétative (stolons, rhizomes ou par fragmentation conduit à une reproduction identique (clone) ayant le même génotype.

2.3 Notion de population

Une population est un ensemble d'individus biologiques pouvant s'inter-féconder et réparti dans une aire géographique bien individualisée.

2.4 Notion de caractères

Les caractères (traits : de forme, de couleur, de taille etc.) qui constituent une espèce varient d'un organisme à l'autre. Certains traits de caractères sont propres à des familles exemple : Gousses = fruit des *Fabaceae* (légumineuse) Ex : Fève et pois.

La biologie moléculaire a rajouté certains traits de caractères par la reconnaissance de certains gènes :

2.4.1 Gène homologue

Les gènes ont le même rôle, leur nature est identique mais leur aspect est différent Ex : les épines des *Cactaceae* sont homologues à des feuilles des *Rosaceae* ;

2.4.2 Gène analogue

Gènes analogues sont des traits similaires en forme mais la nature est différents observés chez deux espèces Ex : les épines des *Cactaceae* sont analogues à celles des *Rosacéae* mais la fonction est différente.

2.5 Notion de l'espèce

L'espèce est l'unité de base de la classification botanique. Elle représente un groupe de populations naturelles pouvant se reproduire entre elles (interfécondité) et dont la descendance est fertile.

2.5.1 Concept biologique de l'espèce

Il existe à l'intérieur d'une espèce un grand polymorphisme :

- a) L'espèce est un groupe de populations naturelles capables d'intercroisement et qui sont reproductivement isolées d'autres groupes semblables ;
- b) Une espèce est un ensemble d'individus qui évoluent conjointement sur le plan héréditaire.

2.5.2 Critères de ressemblance et d'interfécondité

- a) Une espèce est un pool de gènes protégés. Ces gènes du même pool génique constituent une combinaison harmonieuse, car ils ont été adaptés par la sélection naturelle ;
- b) Dans la pratique, l'espèce est considérée comme une unité systématique fondée sur les ressemblances et les dissemblances et sur les solutions de continuité phénotypique.

2.6 Notion de thallophytes et cormophytes

Elles sont basées sur l'organisation de l'appareil végétatif et de l'appareil reproducteur.

2.6.1 Thallophytes

L'appareil végétatif est un thalle dont les cellules ne sont pas organisées en tissus avec absence de tige, feuilles et racines ;

2.6.2 Cormophytes

L'appareil végétatif est un cormus, les cellules sont organisées en tissus regroupées en organes (tige, feuilles et racines).

3 Historique de la classification dans le règne végétal

Les plantes occupent une place fondamentale dans notre vie, tant au niveau environnemental qu'aux niveaux alimentaire, médical et économique. L'étude des plantes est très ancienne. Dans l'antiquité, 2200 ans avant l'ère chrétienne, une centaine d'espèces étaient cultivées en grand nombre.

En 372 – 287 avant notre ère, Théophraste a donné un système de classification qui distingue entre les herbes, lianes, arbres et arbrisseaux. Il liste 480 espèces en les groupant de manière artificielle. Puis Pline, dans son <Histoire naturelle > et Dioscoride classent les plantes selon leur utilisation médicinale, alimentaire, etc., et donnent des noms aux plantes.

Un classement, scientifique, des végétaux devint nécessaire avec l'augmentation du nombre de plantes connues et a été entamé par les botanistes au XVIème siècle. Au 17ème siècle, John Ray (1628-1705) répartit 18000 espèces en Imperfectae (Cryptogames) et proposa la première classification des végétaux basée sur le nombre de cotylédons de la graine. Il fait la distinction entre les Monocotylédones et Dicotylédones (Historia plantarum).

Le botaniste français, Tournefort (1656-1708) qui est le père du concept de genre, a décrit 10000 plantes en 700 espèces et 22 classes, de manière artificielle. Les familles sont séparées sur la base des pièces florales (apétales, monopétales, polypétales).

Carl Von Linné (1707-1778) naturaliste suédois du 18ème siècle, présenta un système de classification basé sur les caractères de la constitution de la fleur. Selon ces critères, les plantes ont été réparties en 24 classes basées sur le nombre et la disposition des étamines et 67 ordres sur la disposition et le nombre de pistils. Il développa en outre la nomenclature binomiale.

En 1753, la première flore mondiale 'Species Plantarum' est publiée avec 40000 genres. Ce type de classification a montré ses limites puisque des espèces n'ayant aucune ressemblance

générale mais présentant un caractère en commun étaient regroupées dans les mêmes divisions alors que des espèces qui se ressemblent étaient séparées.

Des progrès de la botanique générale sont réalisés au cours du vingtième siècle grâce à l'emploi du microscope. Ils amenèrent à la classification naturelle, qui prend le pas sur la classification artificielle. A partir des espèces décrites par Linné et les genres inventés par Tournefort, Bernard et Antoine- Laurent de Jussieu (1959) créent le concept de famille qui regroupe des plantes ayant en commun un certain nombre de caractères. Sur le même principe, d'autres botanistes inventent des divisions supérieures : ordres, classes, embranchements.

A partir de la 2ème moitié du 19ème siècle, avec les idées de Lamarck et Darwin sur l'évolution, les espèces sont considérées comme une forme issue de l'évolution d'espèces parentales. Ces espèces se sont bifurquées ou trifurquées et ont donné naissance aux différentes espèces, différentes les unes des autres, et cela sous l'influence des conditions du milieu ou de brusques mutations.

En 1950, l'entomologiste Hennig élaborera des concepts basés sur le principe de parenté phylogénétique ou cladistique. La preuve d'une parenté phylogénétique entre différents taxons n'est fournie que lorsqu'ils partagent les mêmes caractères dérivés. Les premiers cladogrammes ont été construits à partir des caractères morphologiques. Cette classification tient donc compte du lien de parenté entre divisions voisines et les regroupe suivant leurs degrés d'évolution et leurs étapes d'apparition. Elle fait appel aux espèces disparues ou fossiles (paléobotanique) pour établir l'ordre d'apparition des groupes. Dans cette classification, un certain nombre de caractères morphologiques sont pris en considération ; certains considérés comme primitifs d'autres comme évolués. Ces caractères sont appelés par De Bessey et Hutchinson les caractères morphologiques de la phylogénie. Ainsi, plusieurs classifications phylogénétiques furent proposées : Haeckel (1866) (**Figure 2**) Engler et Prantl (1887), De Bessey (1915), Hutchinson (1926), Emberges (1960), Takhtajan (1968), Dahlgreen (1975), Cronquist (1981).

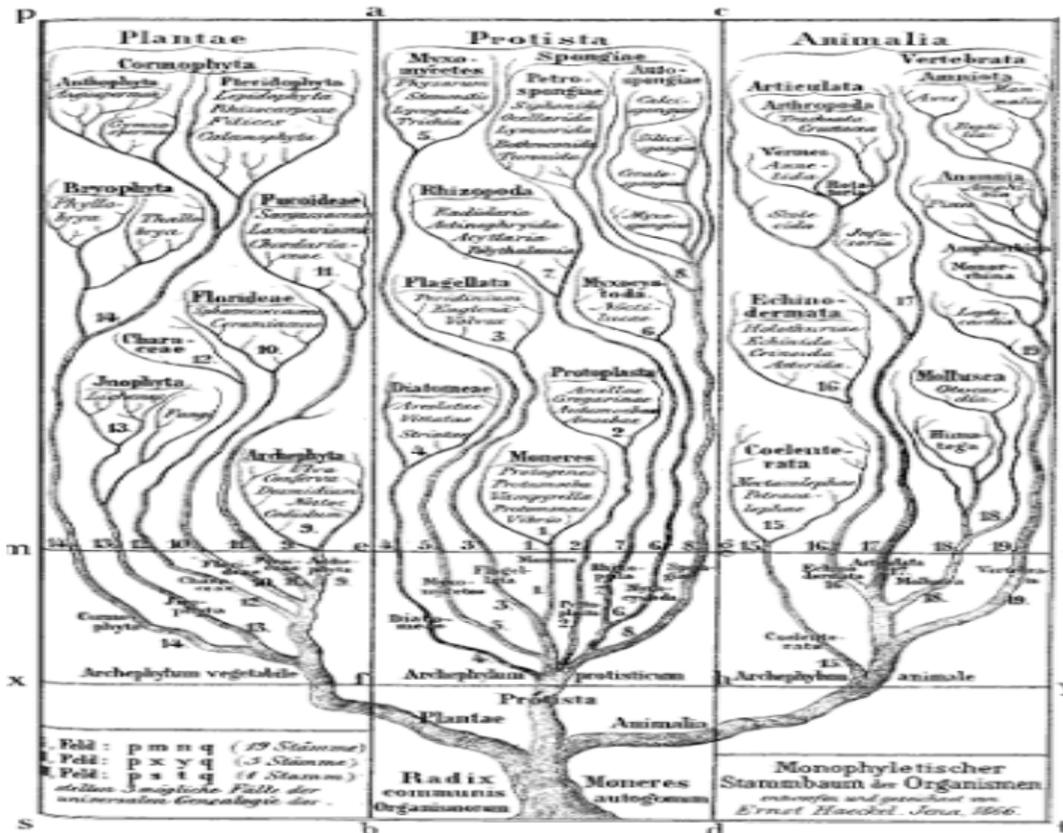


Figure 2. Première phylogénie du monde vivant (Haeckel, 1866)
(la classification sur recherche de parenté)

3.1 Classification des êtres vivants et place des végétaux (Tableau 1)

La distinction entre les deux règnes animal et végétal existe depuis le 4ème siècle, mais ce n'est qu'en 1735 que la reconnaissance formelle de ces deux règnes a fait son apparition, et ce, dans la première publication de Carl von Linné (1707-1778) sur la classification systématique (Figure 3).

Tableau 1. Évolution des systèmes de classification et des règnes

Linné (1735) 2 Règnes	Hoeckel (1866) 3 Règnes	Whittaker (1969) 5 Règnes	Woese et al. (1990) 3 Domaines
		Procaryotes	EUBACTERIES
	Protistes	Protistes	ARCHEO-BACTERIES
Règnes végétal (êtres vivants verts)	Règnes végétal	Champignons	EUCARYOTES
Règnes animal	Règnes animal	Règnes animal	

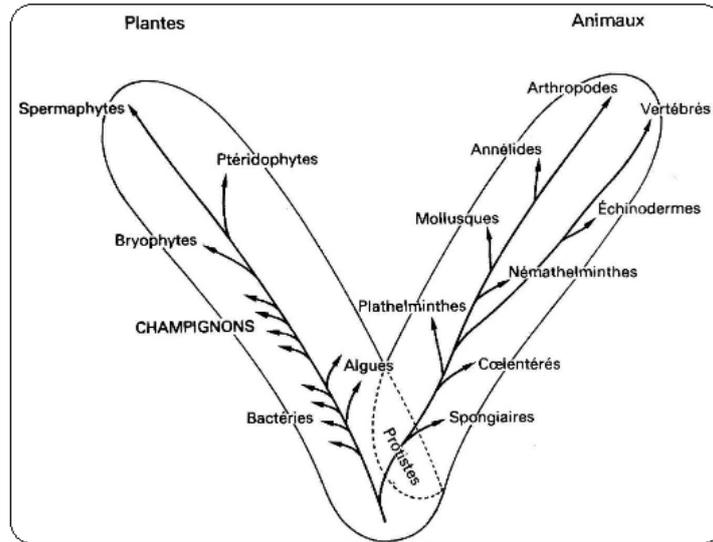


Figure 3. Classification des êtres vivants. (Systèmes à deux règnes, de Linné (1735))

Après l'invention du microscope photonique au 16èmesiècle, des organismes unicellulaires ont été observés et décrits. En 1866, Ernst Haeckel rajouta un troisième règne : Le règne des protistes. Plus tard, En 1969, Whittaker proposa la classification en 5 règnes. Ce système de 5 règnes ne rend, néanmoins, pas compte des liens des parentés entre organismes (Figure 4).

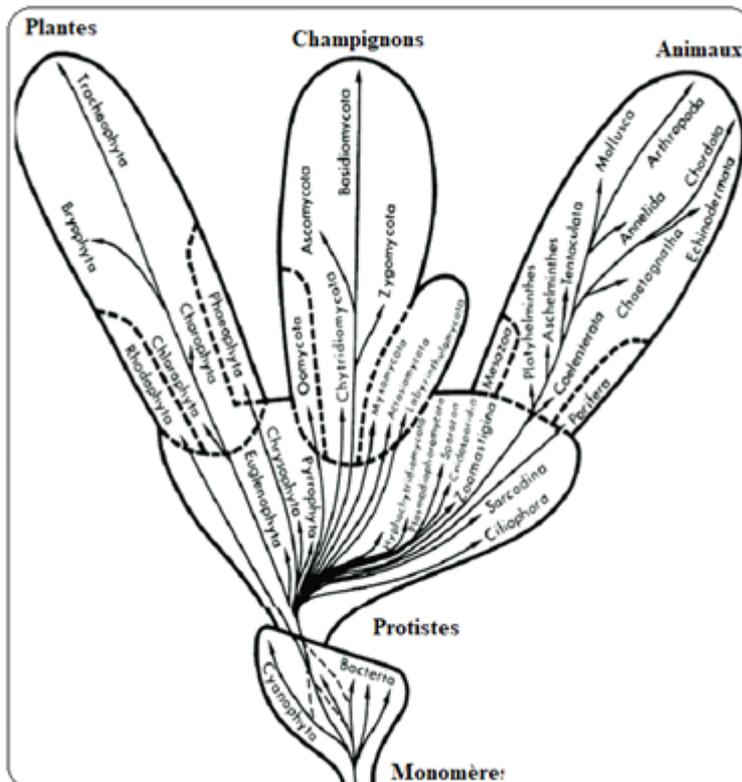


Figure 4. Classification des êtres vivants. (Systèmes à cinq règnes, de Whittaker (1969))

L'équipe de Woese *et al.*, (1977), effectua des analyses plus spécifiques sur des procaryotes qui sont très semblables à l'observation au microscope. L'analyse de leurs compositions chimiques et de leurs ARN ribosomiaux 16 S (ARNr) a montré que les eubactéries et les archéobactéries sont des entités très distinctes. De ce fait, ils ont subdivisé le monde vivant en trois domaines (= super règnes ou empires) qui sont : les eubactéries, les archéobactéries et les eucaryotes (**Figure 5**)

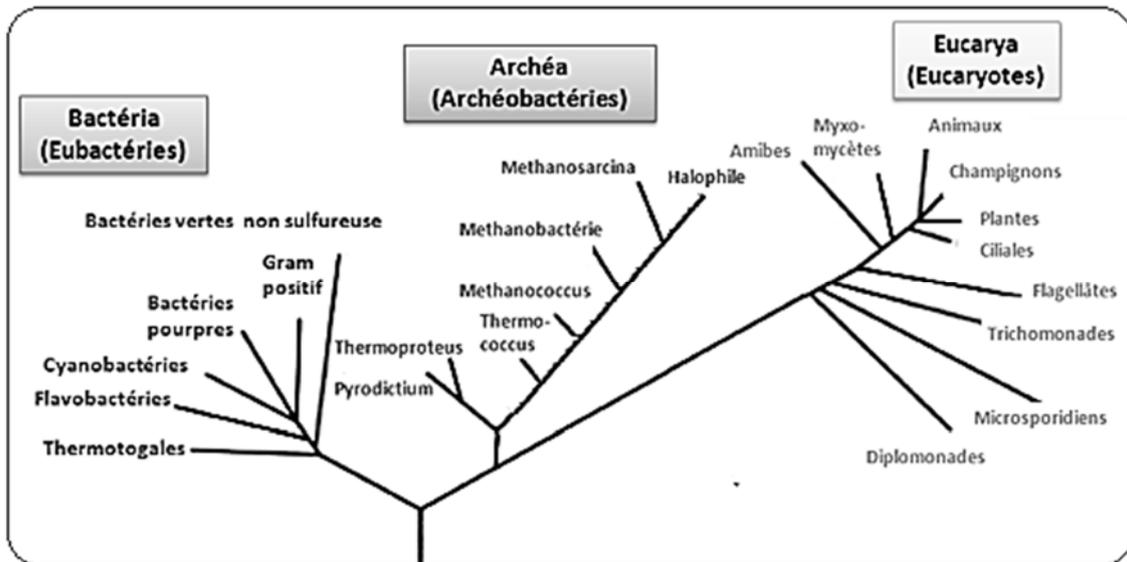


Figure 5. Subdivision du monde vivant en trois domaines (Woese *et al.*, 1990)

3.2 Évolution du monde végétale

La vie est apparue sur Terre il y a environ 3,8 milliards d'années. Au cours des temps géologiques, de nombreux groupes d'êtres vivants sont apparus et se sont développés. Certains d'entre eux ont régressé, d'autres ont complètement disparu. L'histoire de la vie est marquée par la succession et le renouvellement des groupes. Les espèces qui constituent ces groupes apparaissent et disparaissent soit progressivement soit brutalement à l'occasion des grandes crises de la biodiversité.

3.2.1 Passage du milieu marin originel au milieu aérien

3.2.1.1 Colonisation du milieu aérien

Les végétaux supérieurs terrestres dérivent d'une microalgues verte (cyanobactérie). La sortie des eaux correspond à l'adaptation progressive d'une forme marine à une forme lagunaire puis terrestre Grâce à l'endosymbiose primaire et secondaire (**Figure 6**)

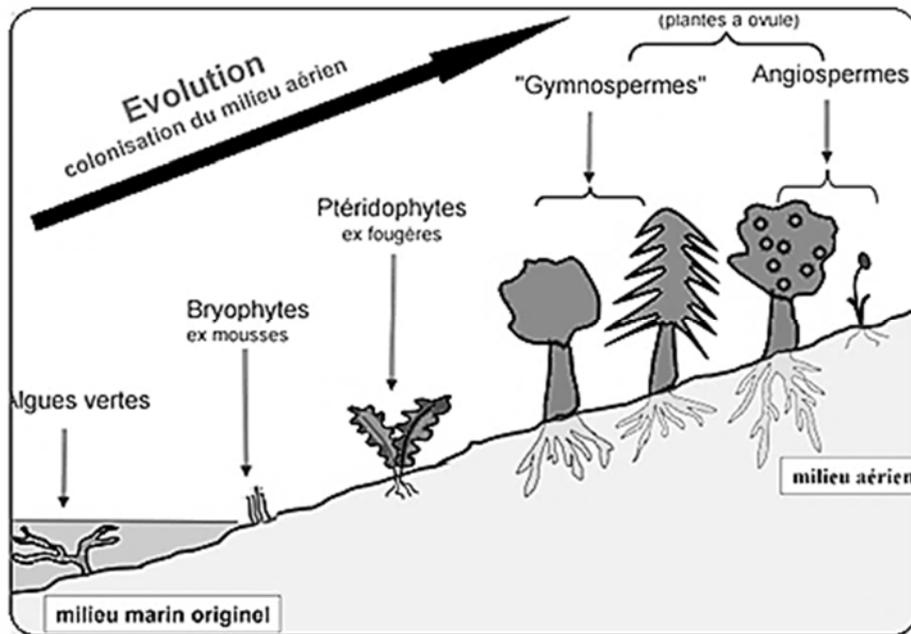


Figure 6. Colonisation du milieu aérien

3.2.1.2 Émergence et Évolution

Les Algues vertes et les végétaux supérieurs (Embryophytes) sont des chlorobiontes ils ont un ancêtre commun et à partir de cet ancêtre commun : certaines lignées se sont adaptées à la vie terrestre en différenciant des structures de soutien (Bryophytes), suivi par la formation des racines et des tissus vasculaires (Ptéridophytes). Au cours de leur évolution vers la reproduction sexuée, les embryophytes se répartissent en deux groupes : Les Bryophytes avec prédominance de la génération gamétophytique et les Ptéridophytes Gymnospermes Angiospermes avec prédominance de la génération sporophytique. (Figure 7)

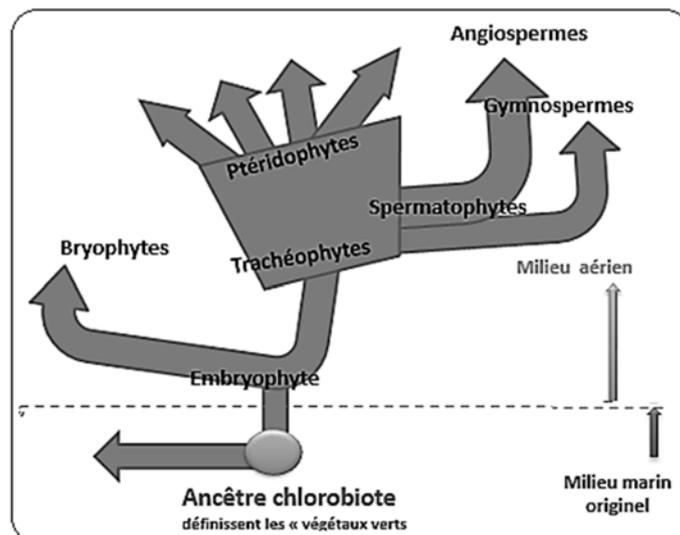


Figure 7. Émergence et Évolution

3.3 Nomenclature et unité taxonomiques

3.3.1 Taxonomie

Taxonomie ([du grec taxis (arrangement) et nomos (loi)], la taxonomie est une branche de la biologie, qui a pour but d'identifier les plantes, les nommer et les classer via des clés de détermination appelées taxons (unités systématiques).

3.3.2 Systématique et Nomenclature

La systématique est la science qui s'occupe de la classification, de la nomenclature et des affinités entre les êtres vivants. La classification consiste à reconnaître et à définir des groupes (taxons), c'est-à-dire un ensemble d'organismes possédant en commun un caractère particulier, que les taxonomistes auront à nommer.

Ces 2 concepts (systématique et classification) reposent sur la hiérarchisation et la nomenclature

3.3.3 Hiérarchisation Taxonomique

Devant le grand nombre des plantes, Linné a rangé et mis en ordre 7 taxons dans un système hiérarchisé, présenté dans l'ordre décroissant de la façon suivante (**Figure 8a**). Ce type de classification ayant montré ses limites, des sous niveaux furent créés (**Figure 8b**).

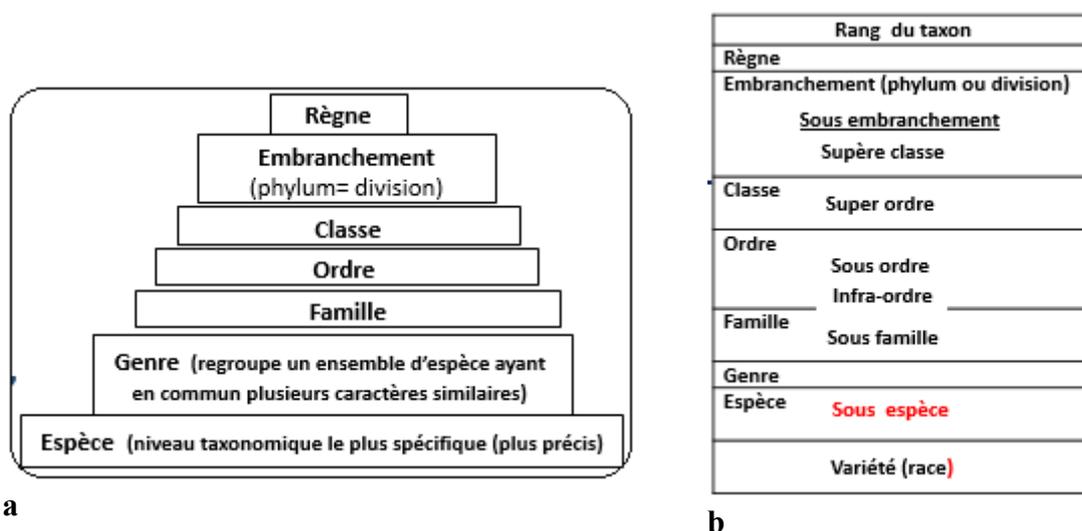


Figure 8. a : Classification classique (linnéenne) ;
b : sous niveaux dans la classification classique (linnéenne)

Les suffixes utilisés pour désigner les groupes régis par le code de nomenclature botanique sont les suivants (Tableau2)

Tableau 2. Suffixes des taxons des algues, champignons et les embryophytes (De Riviers, 2002)

Rang du taxon	Algues	Champignons	Embryophytes
Embranchement (Phylum ou Division)	-phyta	-mycota	-phyta
Classe	-phyceae	-mycetes	-opsida
Sous-classe	-phycidae	-mycetidae	-idae
Famille	-aceae	-aceae	-aceae
Sous-famille	-oideae	-oideae	-oideae
Tribu	-eae	-eae	-eae
Sous-tribu	-inae	-inae	-inae

3.3.4 Règle de nomenclature botanique

Avant Linné, plusieurs espèces étaient désignées par le même nom vernaculaire (populaire, vulgaire). Ce qui pouvait être dangereux dans les cas où il y a des plantes comestibles et d'autres toxiques. Linné a mis donc au point une nomenclature, encore utilisée de nos jours, donnant aux organismes des noms scientifiques connus, évitant ainsi les confusions entre les espèces. C'est dans son ouvrage *Species Plantarum* qu'il mit en place la nomenclature binominale (ou binomiale). Chaque espèce est composée de deux noms latins qui constituent le binôme (**Figure 9**) :

- Le premier correspond au genre. Sa première lettre est toujours écrite en majuscule.
- Le second qui présente l'espèce, s'écrit toujours en minuscule.

Les 2 termes sont écrits avec des caractères différents du reste du texte : en *italique* (le plus souvent) ou en **gras** et soulignés.

Le binôme est suivi du nom complet ou plus ou moins abrégé du 1^{er} auteur-descripteur de la plante en écriture normale, suivi d'un point quand le nom est abrégé.

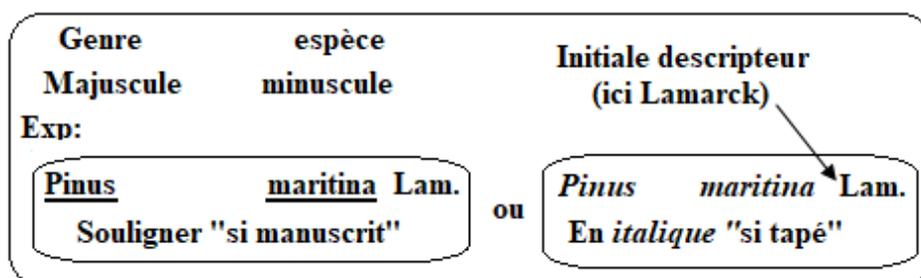


Figure 9. Nomenclature scientifique binominale (Linné ,1753)

CHAPITRE I

LES ALGUES

CHAPITRE 1 : LES ALGUES

1 Morphologie et évolution des thalles

Le thalle se distingue du cormus par son appareil végétatif qui est constitué d'un ensemble de cellules présentant un niveau peu développé de différenciation cellulaire avec absence d'organes spécialisés : tige, feuilles et racines, qui caractérisent les cormophytes dont (les Bryophyte). Ce type de thalle, est adapté au milieu aquatique. Il assure sa nutrition minérale, sa photosynthèse et reste polyvalent.

2 Structure du thalle

Le thalle des algues peut être unicellulaire ou pluricellulaire. Certains thalles ont une structure articulée (avec des articles plurinucléés) ou coenocytique (siphonnée). Le thalle des algues est caractérisé par une grande diversité ; on distingue trois types principaux : archéthalles, prothalles, cladomes.

2.1 Archéthalles

L'Archéthalle est un thalle primitif (archaïque). Il est caractérisé par une cellule unique ou par plusieurs cellules toutes semblables et ayant les mêmes fonctions. Elles sont capables de se diviser par bipartition végétative. Quand les conditions deviennent propices, elles peuvent se transformer en organes producteurs, sporocystes ou gamétocyte, émettant des spores ou gamètes. Les archéthalles peuvent être :

2.1.1 Les archéthalles unicellulaires

2.1.1.1 Archéthalle unicellulaire coccoïde dissocié

Les archéthalles unicellulaires se transforment en cellules filles immobiles (sans flagelles) incapables de se mouvoir par elles-mêmes et flottent passivement dans l'eau Ex : *Cosmarium*. (Figure 10).

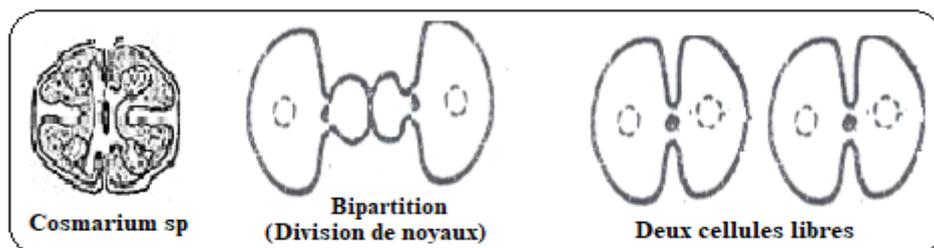


Figure10. Archéthalle unicellulaire coccoïde dissocié de *Cosmarium*.

2.1.1.2 Archéthalles unicellulaire monadoïdes (phytoflagellés) dissocié

Les archéthalles unicellulaires donnent, après bipartition, des cellules filles mobiles, pourvus de flagelles Ex : *Euglena* (Figure 11).

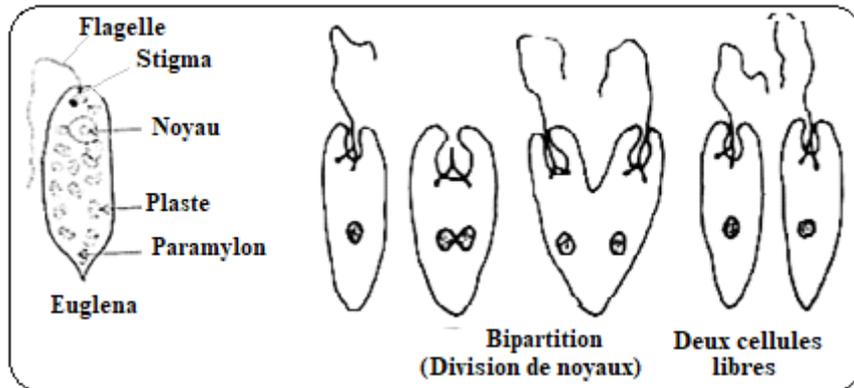


Figure11. Archéthalles unicellulaire d'*Euglena*

2.1.1.3 Archéthalle unicellulaire (multiplication asexuée des archéthalles par sporulation)

Certains archéthalles sont incapables de bipartition végétative. Chaque cellule se transforme en sporocyste et chaque spore libérée donne un archéthalle unicellulaire.

2.1.1.4 Archéthalle unicellulaire coccoïde dissocié (groupe Coccophycidées)

L'algue *Chlorella* est unicellulaire immobile. A un certain moment, elle va se transformer en sporocyste qui va donner quatre autospores, qui sont libérés après la rupture de la paroi de la sporocyste (Figure 12).

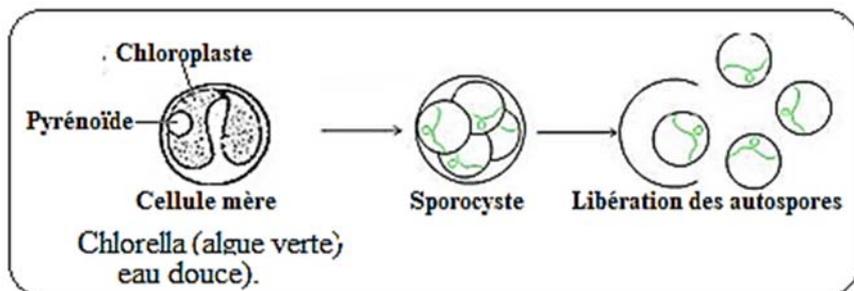


Figure12. Reproduction asexuée (mitose et autospores) de *Chlorella*

2.1.1.5 Archéthalle unicellulaire monoïde dissocié (groupe Monadophycidées)

Le *Chlamydomonas* sp, unicellulaire, se multiplie par sporulation (endosporulation). Il se transforme en sporocyste produisant des spores mobiles par des flagelles (zoospores) (Figure 13a), et très rarement la cellule mère de *Chlamydomonas* se transforme en un gamétocyste produisant des gamètes (Figure 13b).

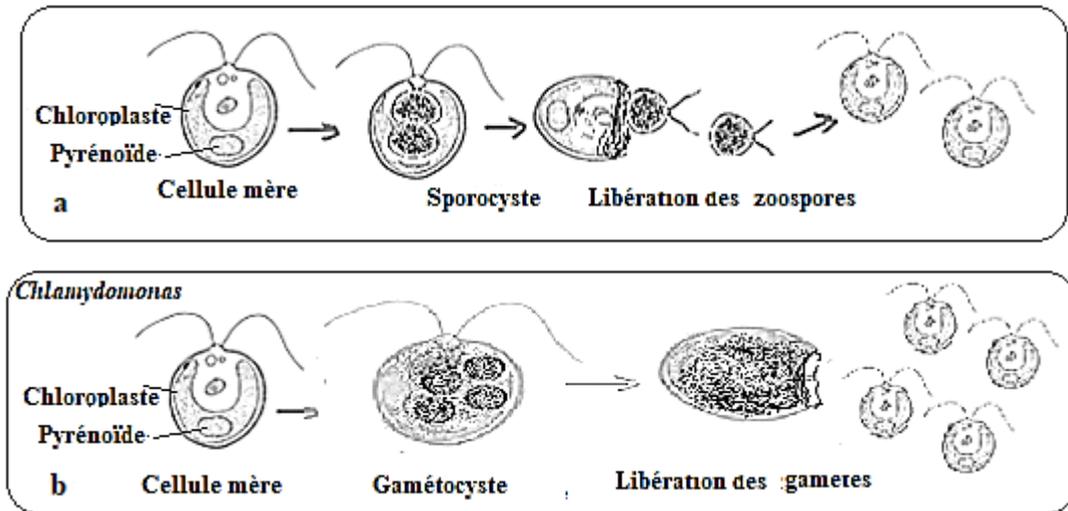


Figure13. [a : Multiplication par sporulation ;
b : Productions des gamètes] chez la *Chlamydomonas* sp,

2.1.2 Archéthalle colonial ou cénobial

On parle d'archéthalle colonial ou cénobial, lorsque les cellules sont réunies en colonie ou en cénobe avec un nombre déterminé de cellules. Chez ces archéthalles, Il n'y a pas de communication intercellulaire. On peut distinguer deux sortes de colonies : les colonies mucilagineuses et les cénobes.

2.1.2.1 Colonies mucilagineuses

Les colonies sont constituées de cellules groupées sans forme définie dans une gelée englobant l'ensemble. Ce type de groupement se trouve :

Ex1 : *Synura sp* (Ochrophyta) : forme des colonies libres composées de cellules maintenues ensemble par leurs extrémités postérieures allongées (**Figure 14a**) ;

Ex2 : *Eudorina illinoisensis* est un : archéthalle colonial unicellulaire, formé de 4 cellules qui sont spécialisées dans leurs fonctions. Nous avons 4 cellules végétatives au pôle antérieur, et au pôle postérieur 4 cellules germinatives (**Figure 14b**).

Ex 3 : Algue verte, *Pandorina* : unicellulaire, mobile, est formée de 4 à 16 cellules selon l'espèce. Chaque cellule ressemble à *Chlamydomonas* avec 2 flagelles. Les cellules d'une colonie se divisent toutes en même temps par un nombre défini de fois (2 à 4 mitoses) et reconstituent chacune une colonie (**Figure 14c**).

Ex 4. Le *Volvox* : Algue verte sous forme d'une sphère creuse. La colonie cellulaire est constituée de cellules mobiles reliées par des ponts cytoplasmiques (**Figure 14d**)

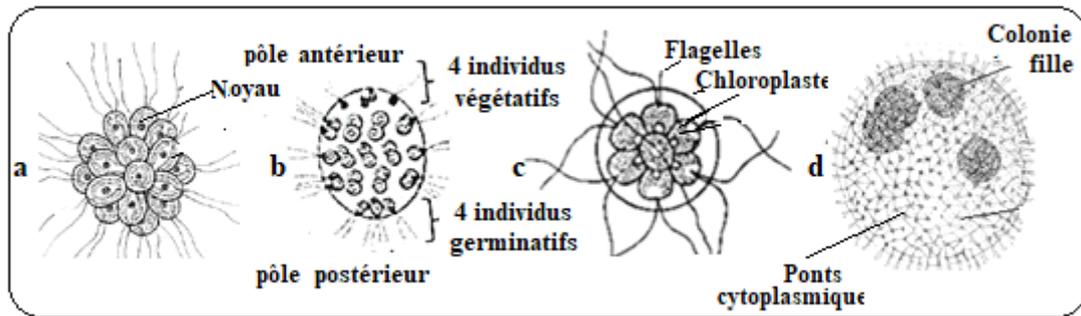


Figure14. Colonies mucilagineuses [**a** : *Synura* ;
b : *Eudorina illinoisensis* ; **c** : *Pandorina* ; **d** : *Volvox*]

2.1.2.2 Cénobes

Ce sont des colonies immobiles ayant toujours une structure régulière. Ce type de formes se trouve :

Ex1 : *Scenedesmus* : Est un archéthalle immobile colonial formée de 4 cellules de forme ellipsoïdale ou fusiforme alignées côte à côte, les cellules marginales du cénobe ayant souvent une ornementation différente de celles du centre (**Figure 15 a**).

Ex2 : *Pediastrum duplex* (*Hydrodictyacées*) avec cénobe formé de 16 cellules organisées en disque étoilé. Ces cellules se spécialisent dans une fonction. Par exemple certaines cellules se transforment en sporocystes pour libérer des spores mobiles (zoospores) (**Figure 15 b**).

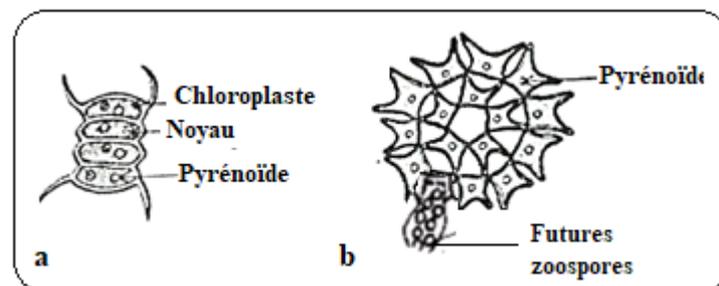


Figure15. Cénobes [**a** : *Scenedesmus* ; **b** : *Pediastrum duplex*]

2.1.3 Archéthalles pluricellulaires

2.1.3.1 Archéthalles pluricellulaires massif sans gelé

Ils sont formés d'un amas de cellules. Ex : *Pleurococcus* : Algue verte microscopique et unicellulaire qui pousse sur les vieux murs et troncs d'arbres humides. Ces cellules sphériques à pyrénoïde central et à grand chloroplaste (**Figure 16 a**).

2.1.3.2 Archéthalle palmelloïde

Les cellules sont englobées dans un mucilage commun. On parle d'archéthalle palmelloïde.

Ex : *Clindrocystis* (Figure 16 b).

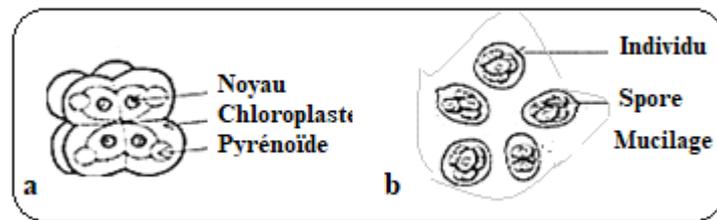


Figure16. [a : *Pleurococcus* ; b : *Clindrocystis*]

2.1.3.3 Archéthalles trichoïde

Archéthalle pluricellulaire, filamenteux, sans base ni sommet, non fixé. Toutes les cellules se divisent par bipartition transversale qu'on retrouve chez les chlorophycées du genre *Zygnema* sp (2 chloroplastes étoilés) (Figure 17 a), *Spirogyra* sp (chloroplastes rubanés) (Figure 17 b) et *Mougeotia* sp (chloroplastes qui s'orientent avec la lumière) (Figure 17c).

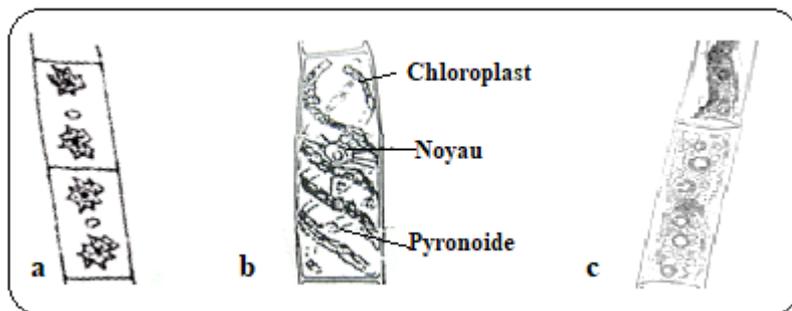


Figure17. [a : *Zygnema* ; b : *Spirogyra* ; c : *Mougeotia*]

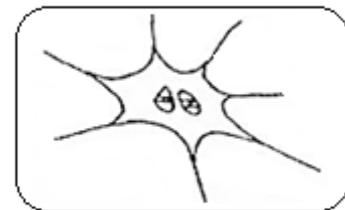


Figure18. *Chrysodinales*

2.1.3.4 Archéthalles amiboïdes

Les cellules d'archéthalle amiboïde sont dépourvues de paroi rigide (archéthalle nu). Elles renferment un seul noyau comme chez les *Rhizodinales*, ou plusieurs noyaux ayant une structure coenocytique ; Ex : les *Chrysodinales* (Figure 18). Les plasmodesmes se déplacent par des pseudopodes.

2.2 Nématothalle (prothalle)

2.2.1 Constitution

Les Nématothalles (prothalles) sont tous filamenteux. Ils sont formés de filaments rampants sur un substrat sur lequel peuvent se développer des filaments nématothalles dressés. On distingue plusieurs types de nématothalles. Ils peuvent être :

2.2.1.1 Homotriche Prostrés

Le thalle est réduit à des filaments rampants (**Figure 19a**) ;

2.2.1.2 Homotriche Erectés

Il est constitué seulement de filaments dressés sans filaments rampants (**Figure 19b, c**) ;

2.2.1.3 Hétérotriches (complets)

Le thalle Hétérotriches (complets) présente à la fois des axes rampantes et dressés (**Figure 19d**) ;

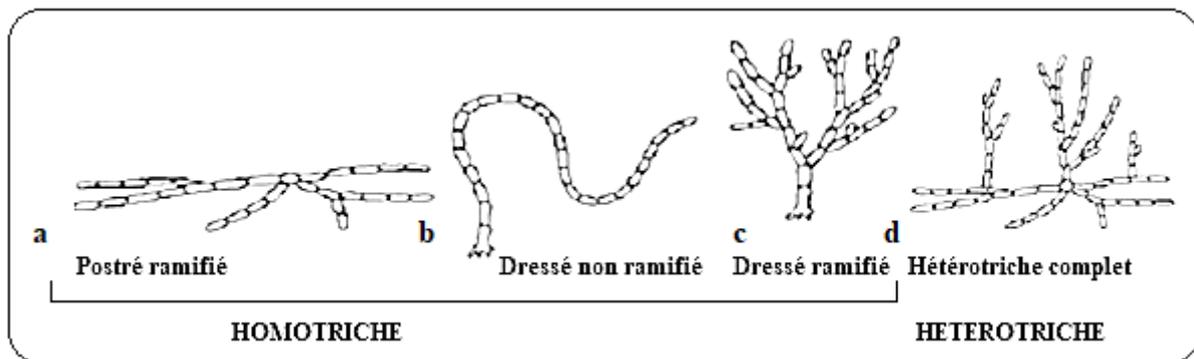


Figure 19. Différents types de Nématothalles (prothalles) (*Gorenflot, 1975* modifié)

2.2.2 Les différents types de filaments

2.2.2.1 Filament siphonné

Le filament siphonné (**Figure 20a**) est entièrement dépourvu de cloison (sous forme de siphon) avec plusieurs noyaux dans le cytoplasme. Ex : *Bryopsis plumosa* (**Figure 20b**). Les thalles siphonnés peuvent être renflés en vésicules (thalle en vésicule) Ex : *Valonia* (**Figure 20c**).

2.2.2.2 Filament hémi siphonné

Le filament hémi siphonné est constitué d'articles plurinucléés séparés par des cloisons. Ex : *Cladophora* sp (**Figure 21**).

2.2.2.3 Filament haplostiques

Le filament est cloisonné (**Figure 22**), et constitué d'une seule file de cellules qui se divisent transversalement comme le *Cladophora* sp.

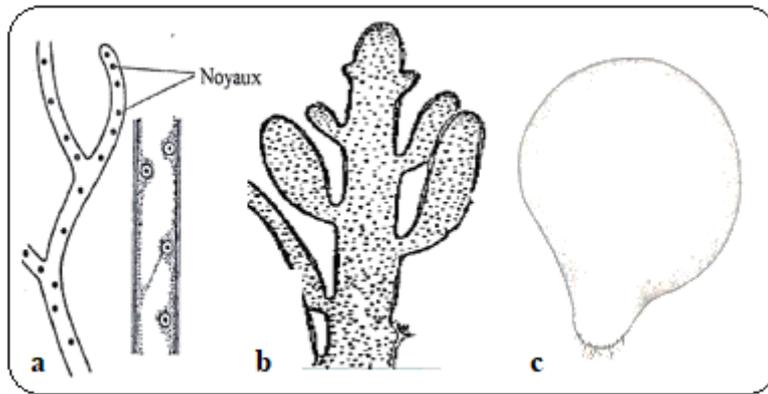


Figure20. [a : thalles siphonnés;
b : *Bryopsis plumosa*; c : *Valonia*]

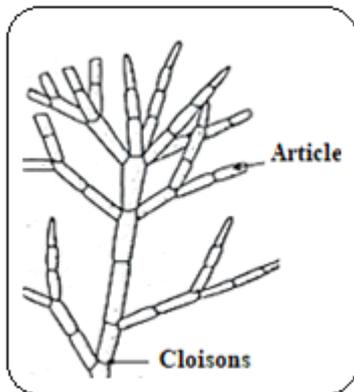


Figure21. *Cladophora*

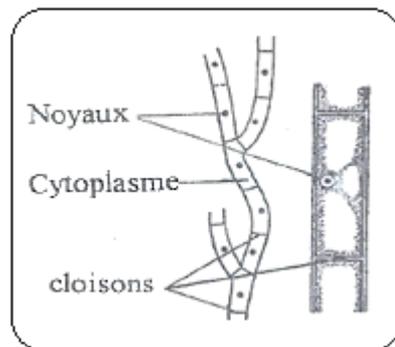


Figure22. Filament cloisonné

2.2.3 Nématothalles polystiques

Le polystique comporte plusieurs files de cellules. Il est formé par la bipartition des cellules du filament haplostique de façon longitudinale (**Figure 23**). Les nématothalles polystiques peut former :

2.2.4 Nématothalles Tubulaires

Les filaments se sont associés pour former une structure en tube creux avec une seule couche de cellules à la périphérie du tube). Ex : *Enteromorpha intestinalis* à paroi monostomatique (**Figure 24**).

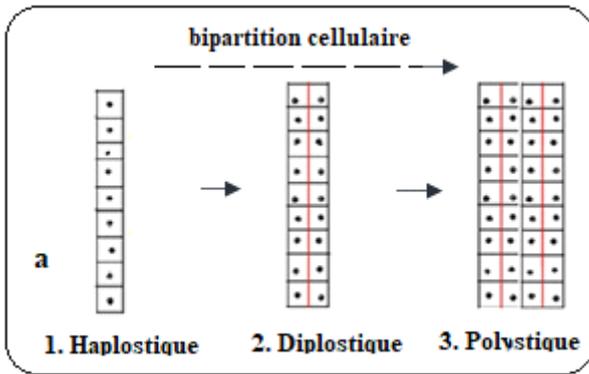


Figure23. Passage d'un prothalle haplostique à un prothalle polystique

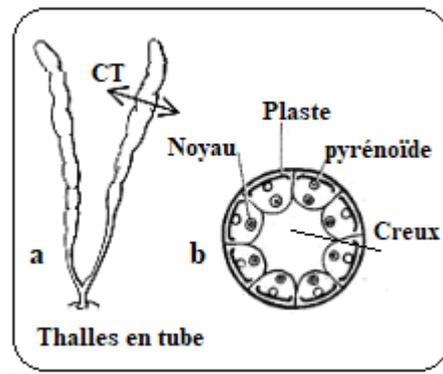


Figure24. Coupe transversale du thalle en tube d'*Enteromorpha intestinalis*

2.2.5 Nématothalles foliacés (lamellaires)

D'autres prothalles prennent l'aspect foliacé Ex : *Porphyra* (**Figure25a**), la lame peut n'avoir qu'une seule couche de cellules (monostromatique) (**Figure25b**), ou comme chez *Ulva lactuca* (laitue de mer) (**Figure 26a**), la lame peut avoir deux cellules d'épaisseur (bistromatique) (**Figure 26b**)

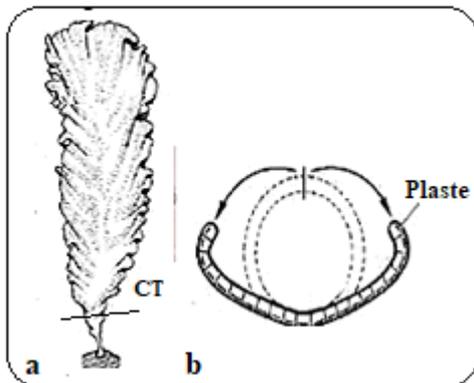


Figure25. Thalle foliacé monostromatique de *Porphyra*

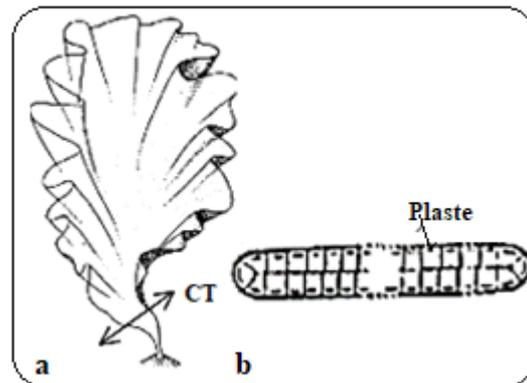


Figure26. Thalle foliacé bichromatique du *Monostroma fuscum*

2.3 Cladome (cladothalles)

Les thalles cladomiens représentent les degrés de complication structurale les plus grands. On les trouve dans les algues les plus évoluées. Ils présentent un ou plusieurs axes appelés cladomes, à croissance indéfinie et des rameaux latéraux à croissance définie que l'on appelle pleuridies (**Figure27**).

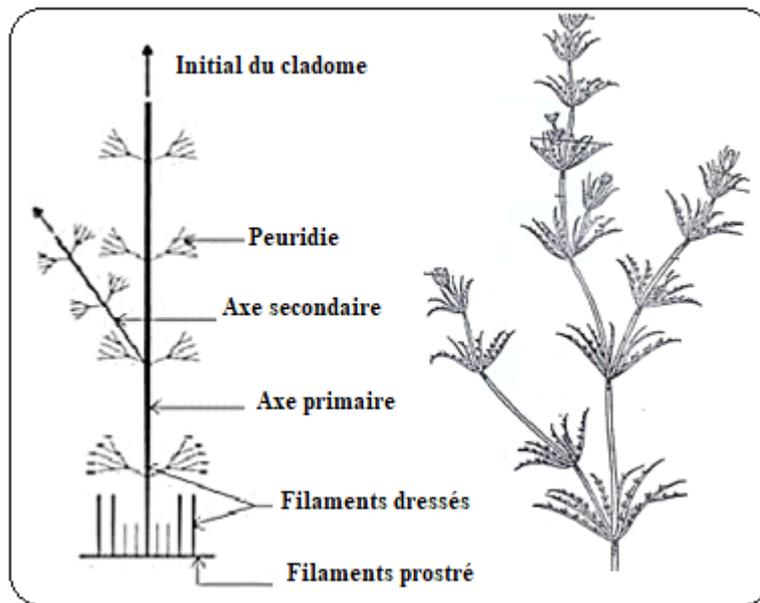


Figure27. Représentation schématique d'un cladome d'algue *Chara*

Les cladomes sont des thalles en principe dressés, présentant des ramifications plus régulières. Ils comportent un axe principal. Cet axe peut être uniaxial, sa structure est haplostique ou multiaxial. Sa structure est polystique (**Figure28**).

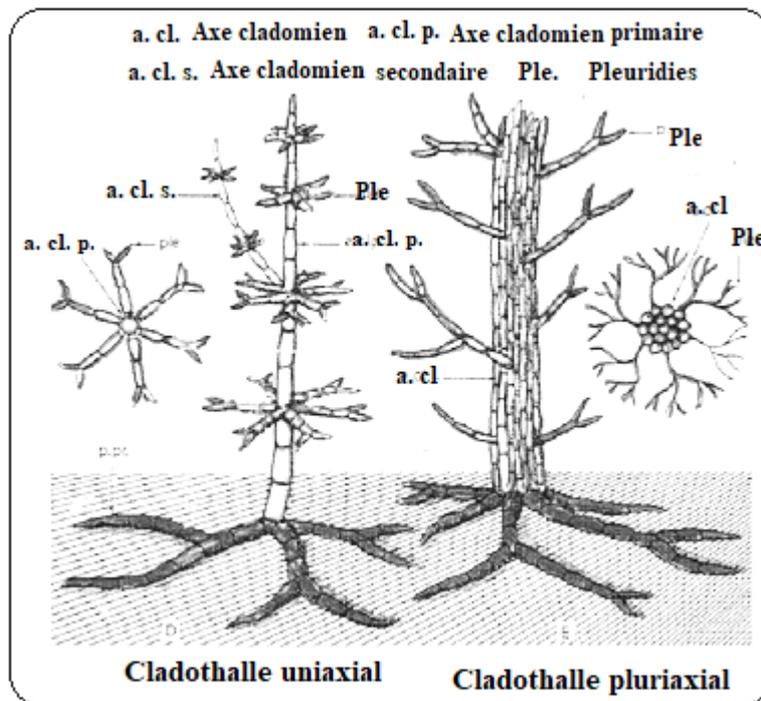


Figure28. Différents types du cladome

Chez les algues à structure siphonné, les filaments coenocytiques à croissance terminale peuvent également montrer des différenciations entre siphons axiaux et siphons latéraux. On peut

donc parler de structure cladomienne siphonnée uniaxiale Ex : *Bryopsis* ou multiaxiale Ex : *Codium*

Le cladome des thalles ficoïde, est une structure très caractéristique qui représente un degré plus élevé d'évolution. Ex : *Laminaria*. Il est toujours de grande taille à l'état adulte, et montre une différenciation en trois parties : une base importante, un stipe cylindrique ou plus ou moins aplati et une fronde de forme variée (**Figure29**).

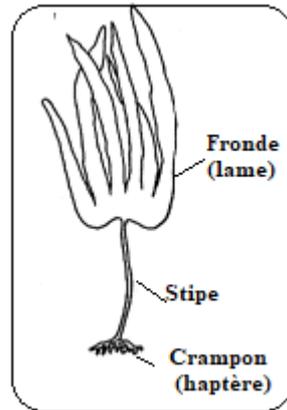


Figure29. Thalle ficoïde de fucus *Laminaria*

2.4 Croissance et ramification chez les algues

2.4.1 Croissance en longueur des algues filamenteuses (pluricellulaires)

La croissance des thalles filamenteux est assurée par les divisions actives des cellules méristématiques. Au cours de l'évolution, différents types de croissance en longueur sont apparus successivement :

2.4.1.1 Croissance diffuse de filaments atélmiques

Les cellules de tous les archéthalles sont capables de se diviser par bipartition transversale végétative (**Figure30a**) ;

2.4.1.2 Croissance apicale des filaments cloisonné télomiques

La croissance en longueur s'effectue par l'activité d'une cellule initiale active située au sommet du filament cloisonné. Cette cellule va donner par cloisonnement transversal et vers le bas des cellules du filament axial Ex : *Halopteris scoparia* (**Figure30b**) ;

2.4.1.3 Croissance apicale des filaments siphonné télomiques

Une autre voie évolutive a conduit à l'apparition de certaines algues qui sont formées de thalles siphonnés (coenocytique). Les noyaux actifs qui se trouvent au sommet du siphon vont subir de nombreuses mitoses pour assurer la croissance en longueur du filament, sans formation de paroi cellulaire Ex : *Codium* (**Figure30c**) ;

2.4.1.4 Croissance marginale

Elle se fait par toutes les cellules apicales de la bordure du thalle pour former une lame ou un éventail (Le thalle est en éventail) comme *Padina pavonia* (**Figure30d**) ;

2.4.1.5 Croissance intercalaire

La croissance intercalaire se localise au niveau de quelques cellules actives qui se trouvent au milieu de filament. Elles se divisent vers le haut et vers le bas. Ex : *Bachelotia antillarum* (**Figure30e**) ;

2.4.1.6 Croissance trichothallique

La croissance trichothallique est un cas particulier de croissance intercalaire. Elle est réalisée au niveau de quelques cellules intercalaires subterminales. La division de ces cellules engendre au-dessous d'elles de nouvelles cellules du filament axial et vers le haut des cellules plus étroites, qui s'allongent sans porter des ramifications. Ex : algues brunes (**Figure30f**).

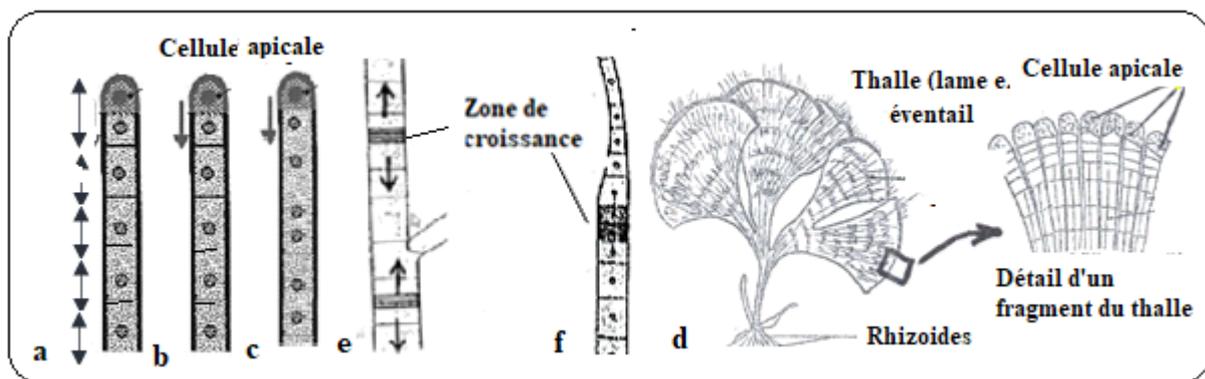


Figure 30. Croissance en longueur des algues filamenteuses [a : Croissance diffuse de filaments atélmiques ; b : Croissance apicale des filaments cloisonné télomiques ; c : Croissance apicale des filaments siphonné télomiques ; d : Croissance marginale ; e : Croissance intercalaire ; f : Croissance trichothallique

2.4.2 Croissance en épaisseur

- La croissance en épaisseur du filament polystiques Ex : *Fucus*, est assurée par la division des cellules dans le sens longitudinal (**Figure31a**) ;
- La croissance peut se faire par condensation des pleuridies autour de l'axe formant un cortex pleuridien lorsque l'archéthalle est un cladome (**Figure .31b**). Ex : *Leptosiphonia*.
- La croissance peut se faire par cortication. Les pleuridies sont fixées sur l'axe par l'intermédiaire d'une cellule coxale. De cette cellule (qui va se diviser

transversalement), vont naitre des filaments corticaux qui recouvriront l'axe vers le haut et vers le bas de part et d'autre.

- d) La croissance est assurée par le fonctionnement de l'assise cellulaire corticale externe appelée méristoderme. Ces cellules sont capables de se diviser parallèlement à la surface, pour produire un tissu secondaire formé de files de cellules parallèles. ex. chez *Laminaria hyperborea* (Figure31c).

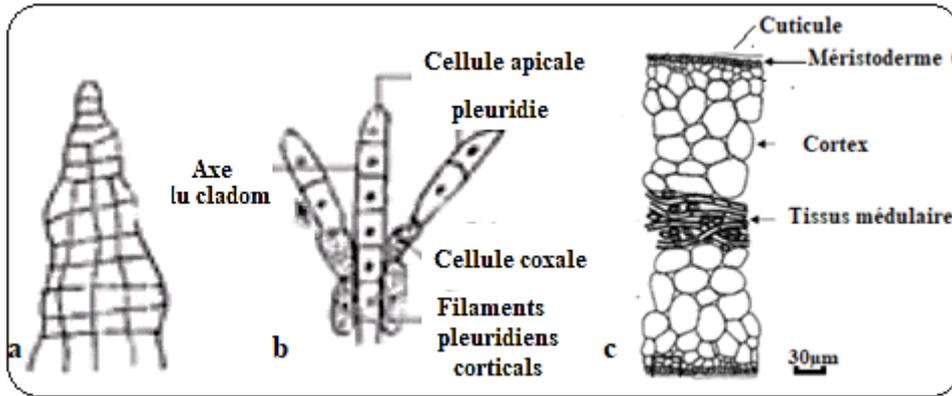


Figure 31. Croissance en épaisseur [a filament polystyques (*Fucus*); b : cladome de *Chara* ; c : coupe transversale dans la lame *Laminaria hyperborea*]

2.5 Ramification

2.5.1 Ramification latérale

La partie dressée est souvent formée de filaments porteurs de ramifications de différents types. Ainsi, la ramification latérale peut être (Figure32) :

- a) Irrégulière : ramification non symétrique, ni uniforme.
- b) Alterne : les rameaux sont disposés de part et d'autre, un à un en spirale le long des axes.
- c) Opposée : Les pousses sont portées sur un même axe et ont un seul point commun : Elles sont insérées par un même nœud dans deux directions inverses.
- d) Verticillée : Sur l'axe principal sont insérés plusieurs filaments au même niveau.

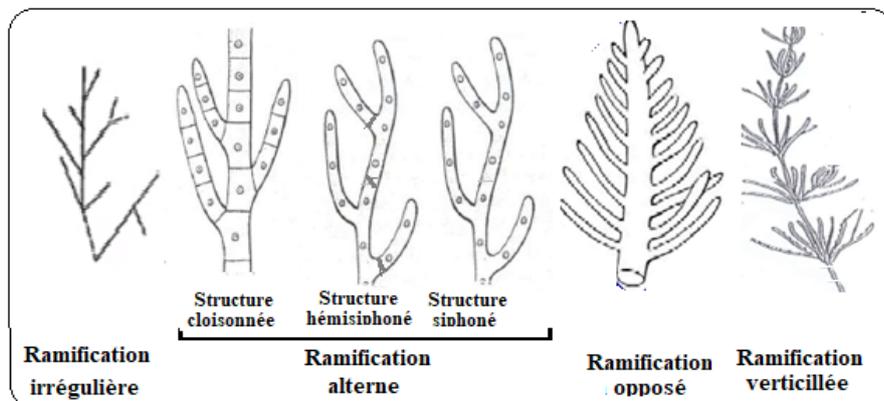


Figure32. Différents types de Ramification latérale

2.5.2 Ramification dichotomique

La cellule apicale initiale de filament haplostique se divise longitudinalement en donnant deux axes (rameaux) identiques qui continuent à croître simultanément à la même vitesse. Ils ont donc la même longueur (**Figure33**).

Chez les filaments siphonnés, on peut trouver les mêmes types de croissance et de ramification. Dans ce cas, ce ne sont pas les cellules localisées actives qui en sont responsables, mais c'est un ensemble de noyaux qui se multiplient activement.

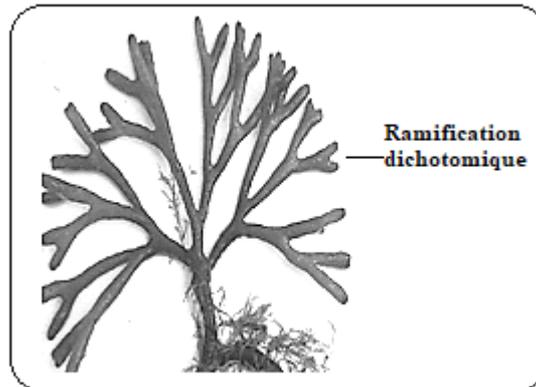


Figure33. Ramification subdichotomique (*Codium*)

3 Caractères cytologiques (paroi, structure et évolution des plastes)

3.1 Paroi cellulaire (Figure34a).

La paroi cellulaire est absente chez les formes amiboïdes et les thalles plasmodiaux et est présente chez les algues pluricellulaires. La paroi de nature glucidique est formée de plusieurs couches : la locula, le ciment et la vagina.

3.1.1 Locula :

La locula est souvent formée de composés pectiques et de cellulose (chaque cellule à sa propre paroi).

3.1.2 Ciment :

Les cellules sont unies entre elles par un ciment dont la composition chimique varie selon les groupes d'algues. Chez les algues rouges (Rhodophycophytes), Il est constitué de gélose ou agar – agar et carraghénane ; Chez les algues brunes (Phéophycophytes), il est formé d'alginate et sels alginiques et Chez les algues vertes (Chlorophycophytes), le ciment est constitué de mannane et de xylènes.

3.1.3 Vagina

Elle est présente dans certaines espèces imprégnées de substance minérale. La silice qui constitue le frustule chez les Diatomées ; le carbonate de calcium qui se rencontre dans la paroi cellulaire de certaines algues rouges, ce qui leur confère une organisation calcairisée chez l'*Acetabulaire*.

La paroi qui sépare 2 cellules voisines contient un appareil synaptique ou synapse. C'est une formation au niveau de laquelle s'établissent des échanges entre 2 cellules. Elle est de nature lipoprotéique (**Figure34b**).

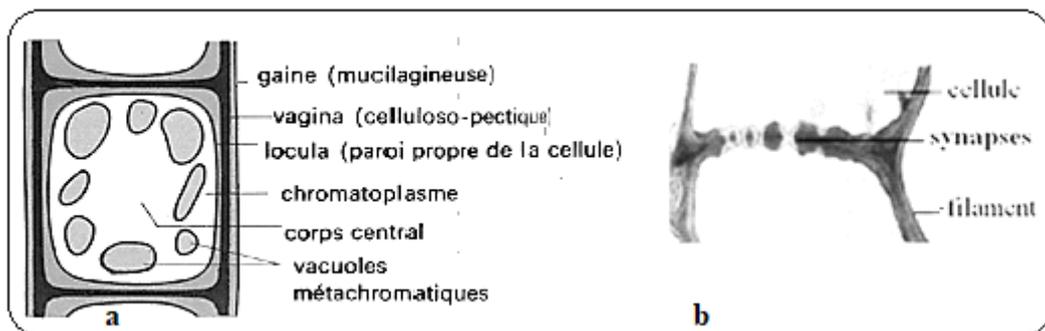


Figure34. (a : constituant de la paroi cellulaire ; b : appareil synaptique)

3.2 Noyau

Les cellules des algues sont uninucléées, plurinucléées dans quelques espèces, avec présence du centrosome dans les cellules mobiles contrairement aux cellules immobiles où il est absent.

3.3 Flagelle (appareil cinétique)

L'appareil flagellaire chez différentes algues unicellulaire ou coloniales et dans les cellules reproductrices (Zoïdes : zoospores, zoogamètes) chez la plupart des algues pluricellulaires assure généralement la mobilité. Il est d'une grande diversité, sauf chez les algues rouges où il est absent. Cette diversité est dans :

3.3.1 Ultrastructure des flagelles

Les flagelles peuvent être : des flagelles lisses ou des flagelles en fouet.

Ils portent des expansions latérales fibrillaires appelées les mastigonèmes. Ce sont des flagelles pleuronématés qui se trouvent sous forme de Flagelles pleuronématés pectinés ou Flagelles pleuronématés pennés (**Figure35**).

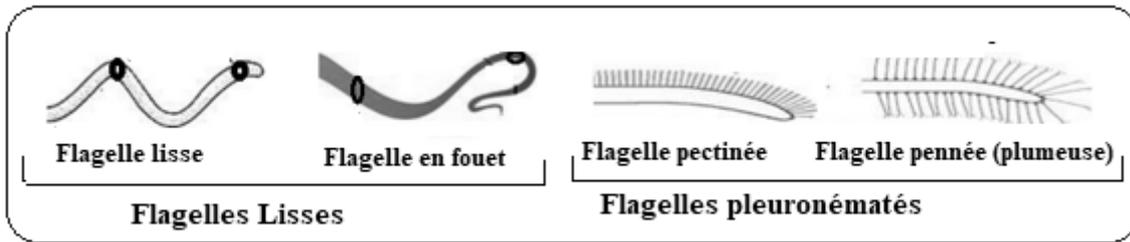


Figure 35. Ultrastructure des flagelles

3.3.2 Nombre de flagelles

Le nombre de flagelles est variable. Il est en général d'un ou deux et parfois 4, mais rarement au-delà. Il existe différents types de cellules (Figure 36) :

3.3.2.1 Cellule isokontée

La cellule porte 2 ou 4 flagelles identiques ;

3.3.2.2 Cellule anisokontée

La cellule porte 2 flagelles de même structure et de tailles différentes ;

3.3.2.3 Cellule hétérokontée

La cellule porte 2 flagelles ont longueur inégale et une structure différente ;

3.3.2.4 Cellule stéphanokontée

Les flagelles sont nombreux et répartis en couronne ou sur toute la surface de la cellule.

Dans certains cas, la structure de la zone de transition flagellaire est considérée comme un bon marqueur phylogénétique. Les cellules flagellées des chlorobionta, en particulier, possèdent toutes une structure étoilée en section transversale constituée de filaments reliant les doublets de tubules entre eux. En section longitudinale, cette structure présente la forme d'un H (pièce en H) (Figure 37).

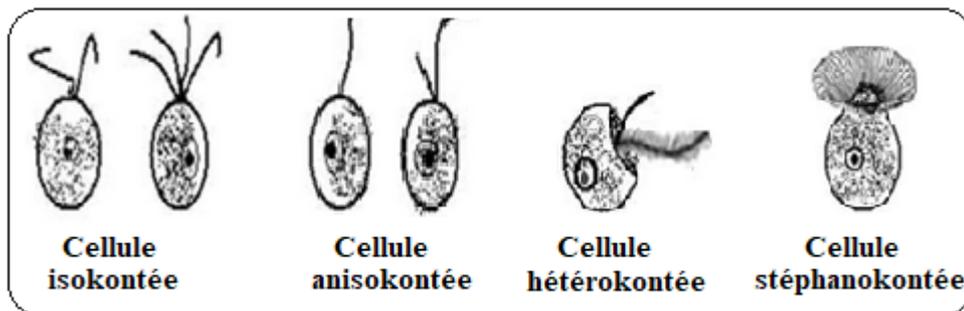


Figure 36. Divers types de cellules flagelles chez diverses lignées d'algues

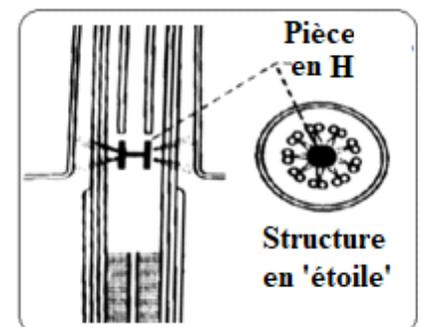


Figure 37. Structure de la zone de transition flagellaire chez les chlorobionta

3.3.3 Disposition des flagelles sur la cellule

Les flagelles peuvent être (**Figure38**) :

3.3.3.1 Disposition acrokontée

Les flagelles sont insérés à l'apex de la cellule. Les flagelles sont orientés vers le sens du déplacement ;

3.3.3.2 Disposition basikontée

Les flagelles sont insérés au pôle basal. Les flagelles sont orientés dans le sens contraire du déplacement

3.3.3.3 Disposition amphikontée

Les flagelles sont insérés latéralement à la cellule.

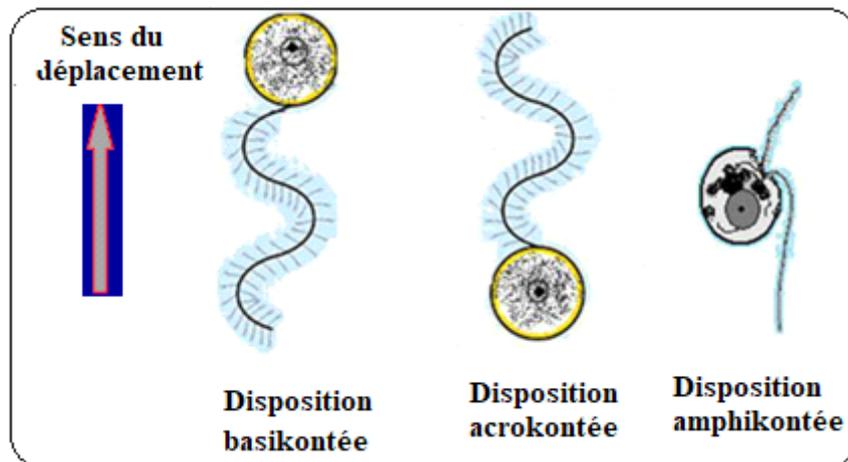


Figure 38. Disposition des flagelles sur la cellule

3.3.4 Structure dans les grands groupes d'algues

L'absence ou la présence puis la nature des cellules flagellées sont caractéristiques des grands groupes, ainsi chez (**Figure39**).

3.3.4.1 Chlorophytes

Les Chlorophytes sont caractérisés par des cellules isokontées, stéphanokontées) ;

3.3.4.2 Chromophytes

Les Chromophytes sont caractérisés par des cellules anisokontées et aétérokontées ;

3.3.4.3 Rhodophytes

Les Rhodophytes sont caractérisés par des cellules sans flagelle (que ce soit : algue unicellulaires, spore, gamètes).

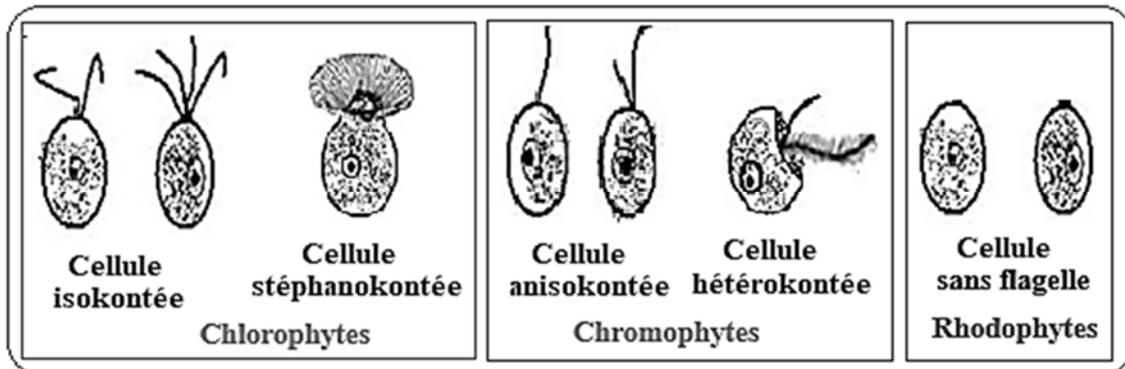


Figure 39. Structure des cellules dans les grands groupes d'algues

3.4 Organes de fixation

Ils permettent à l'individu de se fixer au substrat.

3.4.1 Cellule adhésive

La fixation peut se faire par une cellule basale, ayant une grande surface adhésive Ex : les archéthalles (**Figure 40a**) ;

3.4.2 Rhizoïdes

Les rhizoïdes sont des filaments végétatifs fins, ramifiés incolores (comme des racines) qui s'insèrent à la base du thalle Ex : *Caulerpa* ; *Chara* (**Figure 40b**) ;

3.4.3 Crampons

Les grandes algues marines se fixent, sans ordre apparent, sur un substrat par une série d'haptères qui forment le crampon. Ex : *Fucus Laminaire* (**Figure 40c**)

3.4.4 Disque de fixation

Les cellules adhésives ont la forme d'une ventouse avec une surface plane qui se fixe sur le substrat (**Figure 40d**).

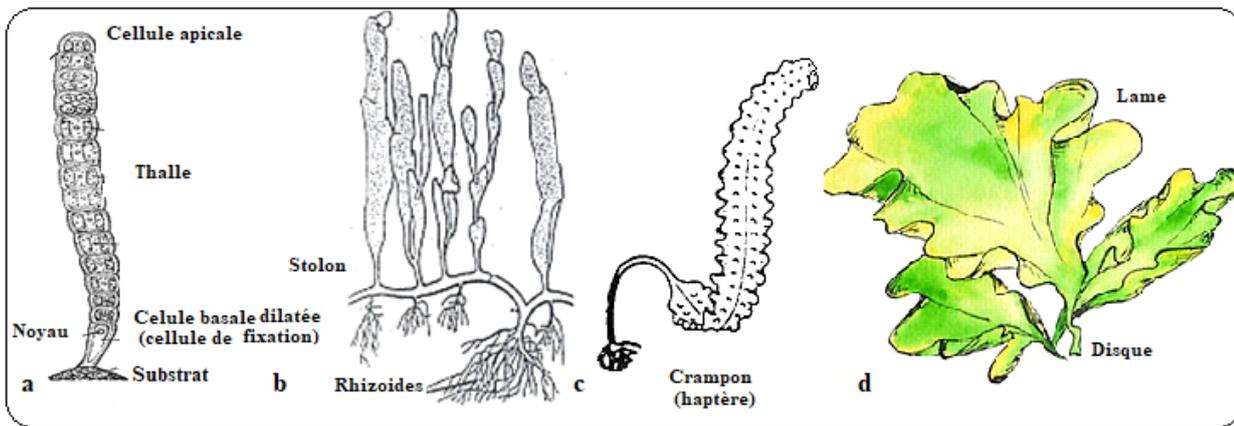


Figure 40. Divers types d'organes de fixation

3.5 Appareil plastidial (plaste)

Le plaste est un organe présent dans les cellules des eucaryotes chlorophylliens (algues et plantes). Ils ont une structure homogène chez les cormophytes. Les algues présentent de grandes variations, aussi bien dans leur structure que dans la nature des pigments dans les plastes.

3.5.1 Morphologie et évolution

Les plastes contiennent des pigments photosynthétiques qui élaborent des inclusions protidiques appelés pyrénoides. Ils peuvent être un centre de synthèse d'amidon. Les pyrénoides renferment des enzymes photosynthétiques qui chez les cormophytes sont dispersées dans le stroma du plaste. Chez les algues vertes, le pyrénoidé (de forme étoilée, allongée, en lentille) (**Figure 41**) est entouré d'amidon.

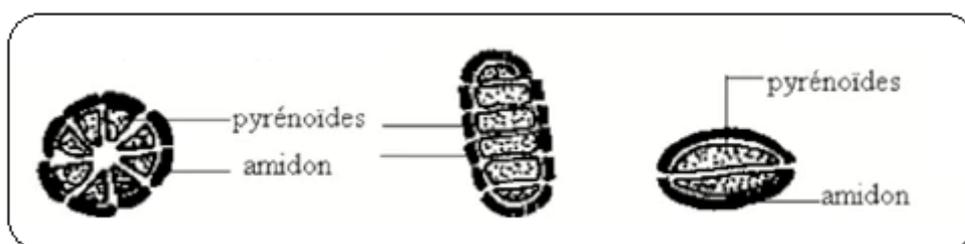


Figure 41. Structure fine des pyrénoides

3.5.2 Organisation des plastes

Les plastes varient selon les groupes d'algues. Leur nombre augmente avec l'évolution de l'algue, à partir de type de l'Archéoplastidié au type néoplastidié :

3.5.2.1 Archéoplastidié

Les archéoplastes se trouvent chez les groupes d'algues les plus primitifs. La cellule ne renferme qu'un seul plaste de grande taille, de position et de forme variées contenant un gros pyrénanoïde entouré de grains d'amidon. Ex1 : *Porphyra* (plaste central étoilé) (Figure 42a) ; Ex2 : *Ulva* (plaste appliqué contre la paroi de la cellule).

3.5.2.2 Mésoplastidié

La cellule contient un réseau de territoires plastidiaux (Plusieurs chloroplastes) réunis entre eux par de simples trabécules (tractus cytoplasmiques). Ils sont plus ou moins colorés et chaque territoire plastidial peut ou non posséder un pyrénanoïde Ex : *Cladophora* (Figure 42b);

3.5.2.3 Néoplastidié (Figure 42c)

Le néoplastidié se trouvent dans les groupes les plus évolués, les plastes sont nombreux, de petite taille et de forme lenticulaire. On a 3 cas :

- Bryopsis* : chaque plaste contient 1pyrenoïde et grain d'amidon ;
- Codium* : chloroplaste qui ne porte pas de pyrénanoïde
- Caulerpa* : il y'a spécialisation des plastes. On a des plastes qui ne portent pas de pyrénanoïde, et il y'a la présence d'amyloplastes qui synthétisent de l'amidon comme les végétaux supérieurs

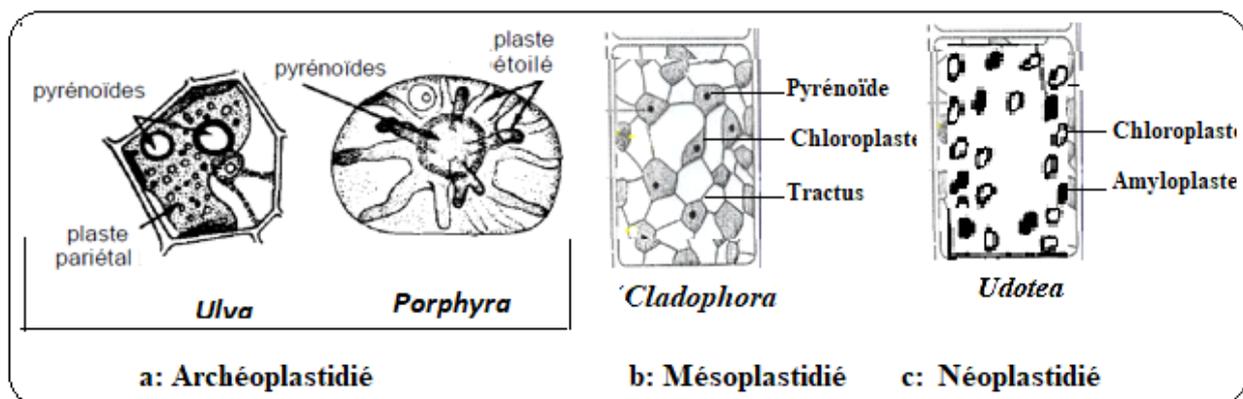


Figure 42. Types de plastes

3.5.3 Ultrastructure des plastes (Figure 43)

Les plastes présentent des différences structurales importantes. Deux théories endosymbiotiques ont été proposées pour expliquer leur origine : l'endosymbiose primaire a mentionné qu'un organisme unicellulaire eucaryote hétérotrophe a absorbé une cyanobactérie qui s'est transformée en chloroplaste. Cet eucaryote autotrophe serait l'ancêtre hypothétique commun des algues rouges, algues vertes et des plantes terrestres qui constituent la lignée verte et qui présentent un plaste à double membrane. Puis une deuxième diversification a eu lieu par

l'endosymbiose secondaire : Une cellule eucaryote hétérotrophe absorbe cette cellule eucaryote autotrophe (limité par une enveloppe à deux membranes : endosymbiose primaire) qui s'est transformée en chloroplaste à quatre membranes. Cet autre eucaryote serait l'ancêtre hypothétique des algues brunes.

Les plastes des algues ont une double membrane et un stroma lamellaire comme les plantes supérieures. Les thylakoïdes sont de nature lipoprotéique et ils ont une disposition caractéristique de chaque groupe d'algues. (Figure 44).

3.5.3.1 Rhodophytes

Les thylacoïdes sont isolés les uns des autres et répandus uniformément.

3.5.3.2 Chromophytes

Observation des faisceaux de 3 à 4 thylacoïdes.

3.5.3.3 Chlorophycophytes

La disposition est plus irrégulière. Les thylacoïdes sont parfois isolés, parfois regroupés.

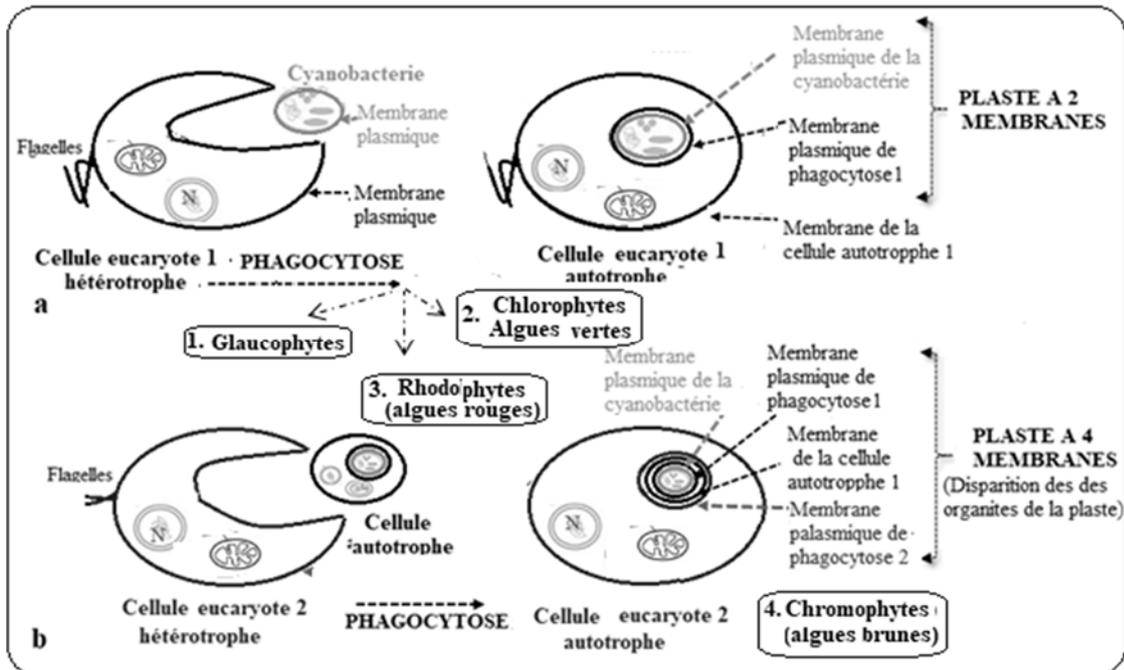


Figure 43. Origine des chloroplastes par endosymbiose primaire (a) et secondaire (b) (Franz Lang et al., 2000 ; Gould, 2012) modifié

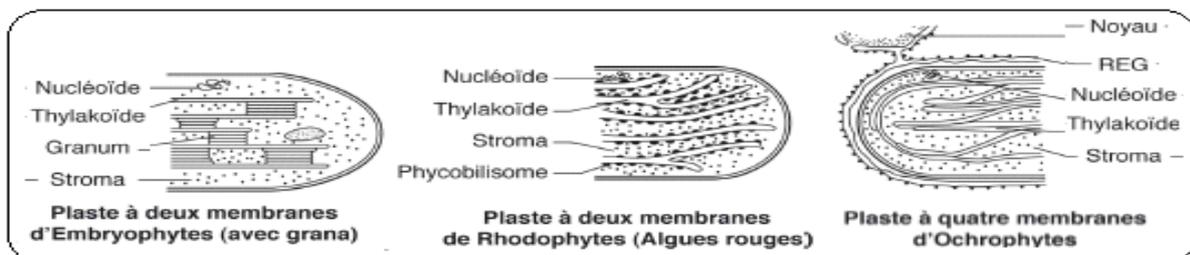


Figure 44. Ultrastructure de plaste (Segarra et al. 2015)

3.5.4 Pigments photosynthétisants

3.5.4.1 Les chlorophylles

La chlorophylle a est présente dans toutes les algues. Elle est associée à d'autres chlorophylle (b, c et d) dont la nature varie selon les algues. La chlorophylle a est nécessaire pour initier la première étape de la photosynthèse chez tous les végétaux (transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique)

3.5.4.2 Les caroténoïdes

3.5.4.2.1 Carotène α

Les carotènes α se trouvent chez les Rodophytes et les chlorophycophytes et les plantes supérieures

3.5.4.2.2 Carotène β

Les carotènes β se trouvent chez toutes les algues et les végétaux supérieures.

3.5.4.2.3 Xanthophylles

Dérivent des carotènes. Les xanthophylles possèdent des fonctions alcool ou acétone. La lutéine des plantes supérieures est abondante chez les chlorophycophytes.

3.5.4.2.4 Fucoxanthine

la fucoxanthine donne la couleur brune aux péloplastes.

3.5.4.3 Phycobilines

Les phycobilines sont des phycoérythrine et phycocyanine. Ils caractérisent les Rodophycophytes donnant la couleur rose aux Rhodoplastes.

3.6 Mitochondries

Les mitochondries sont toujours présentes, sous formes filamenteuses ou granuleuses.

3.7 Appareil de golgi

Les dictyosomes sont en général groupés autour du noyau

3.8 Réticulum endoplasmique et ribosome

Il sont toujours présents

3.9 Stigma (œil primitif)

Le stigma forme une lentille photosensible accumulant des gouttelles lipidiques et des carotènes spécifiques à certaines cellules flagellées d'algues vertes et d'autres organismes unicellulaires photosynthétiques qui le rend sensible à la lumière.

3.10 Inclusions cytoplasmiques

3.10.1 Vacuoles

3.10.1.1 Vacuoles ordinaires

Les vacuoles ordinaires contiennent des substances variées comme chez les végétaux supérieurs, en général de grande taille.

3.10.1.2 Vacuoles pulsatiles

Les vacuoles pulsatiles existent chez les algues unicellulaires flagellées. Elles ont un rôle d'excrétion (eau et déchet) et un rôle dans la régulation osmotique ;

3.10.1.3 Vacuoles digestives

Les vacuoles digestives existent chez les algues unicellulaires prédatrices. Elles résultent du phénomène de phagocytose.

3.10.2 Gouttelettes lipidiques

Les gouttelettes lipidiques sont les produits principaux de la photosynthèse chez les algues qui ne synthétisent pas de l'amidon. Chez les chlorophycophytes, les gouttelettes lipidiques sont abondantes dans les cellules de résistance (Kyste, zygote).

3.10.3 Grains d'amidon extraplastidial

Les Rhodophycophytes et les Chromophytes synthétisent un grain d'amidon extraplastidial. Il est différent de celui des chlorophycophytes par sa composition et ses propriétés chimiques.

4 Reproduction des algues

4.1 Reproduction asexuée

Les parties du thalle se détachent, se fixent sur le substrat et se développent pour donner de nouveaux individus. Le patrimoine génétique est conservé chez les descendants par des mitose équationnelles.

4.1.1 Multiplication végétative (constance du génome)

4.1.1.1 Bipartition cellulaire

Les cellules vont se diviser en deux cellules filles qui assurent la dissémination (Ex : *Cosmarium*, *Chlamydomonas*) ou une réunification dans une colonie (exemple : Diatomées). Cette bipartition n'existe pas chez les algues rouges.

4.1.1.2 Fragmentation du thalle

4.1.1.2.1 Reproduction par bouturage

Une partie du thalle se brise, se fixe sur un substrat et donne naissance à un nouvel individu. Ex : *Asparagopsis*, *Fucus* (**Figure 45a**). Chez des Cyanobactéries filamenteuses, certaines cellules se segmentent et donnent de petits fragments pluricellulaires appelés hormogonies qui se détachent et forment un nouveau thalle (**Figure 45b**).

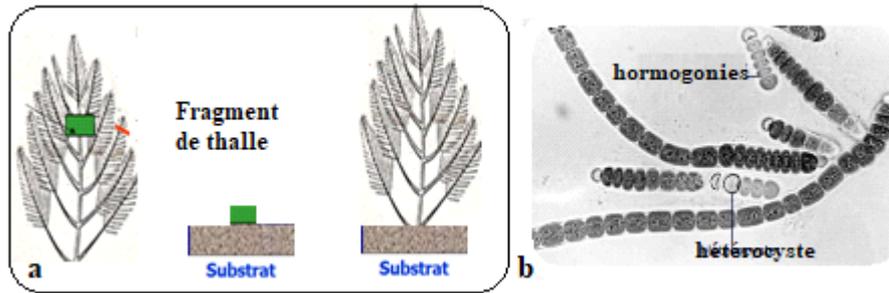


Figure 45. Reproduction par bouturage

4.1.1.2.2 Reproduction par bourgeonnement

Le thalle forme des cystes sur le côté d'une vésicule qui, par bourgeonnement, donnent des thalles-fils. Ex : Chez les Algues *Valonia*. (Figure 46).

4.1.1.2.3 Reproduction par les propagules

Il y'a apparition d'un massif de cellules sur le thalle capables, après séparation de l'algue-mère, de donner naissance à un nouvel individu. Ex. Chez les Algues brunes du genre *Sphacelaria*. (Figure 47).

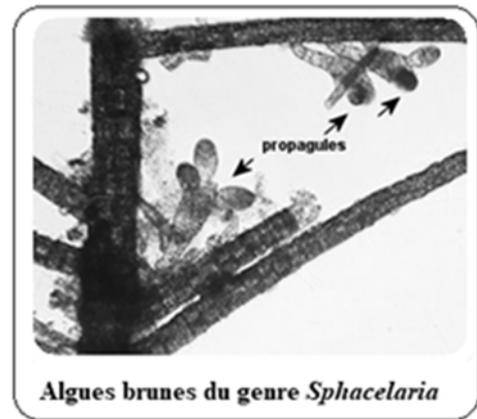
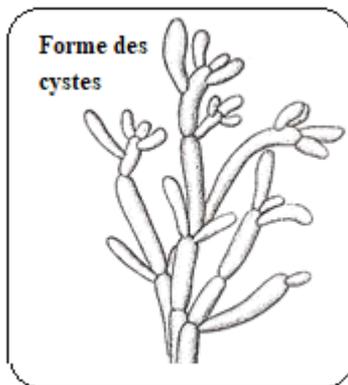


Figure 46. Reproduction par bouturage (*Valonia*)

Figure 47. Reproduction par les propagules

4.2 Formation de cellules spécialisées ou spores

4.2.1 Zoospores (spores flagellées)

Les zoospores sont présentes seulement chez les végétaux à thalle. Elles sont mobiles dans l'eau (flagelles) et elles constituent le plus souvent une forme de multiplication végétative. Elle se trouvent chez toutes les Algues uni ou pluricellulaires et sont produites par certaines espèces sauf les Algues rouges.

4.2.2 Formation de cystes (sporocystes ou sporanges) (Figure 48)

Une partie du thalle (eucarpie) ou la totalité du thalle (holocarpie) donne des cellules fertiles ou cystes appelées sporocystes (ou sporanges) contenant les cellules-mères des spores. Les spores libérées par une ouverture des organes précédant, sont dispersées, tombent sur un substrat et après germination donnent naissance à un nouvel individu. Certaines spores sont immobiles, les aplanospores (2), d'autres sont mobiles, les zoospores.

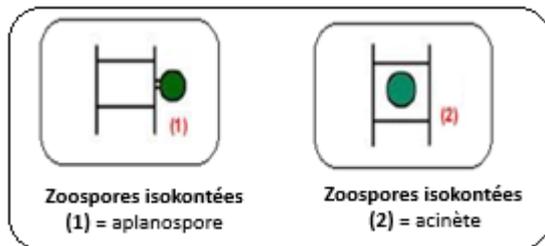


Figure 48. Formation de cystes (sporocystes ou sporanges)

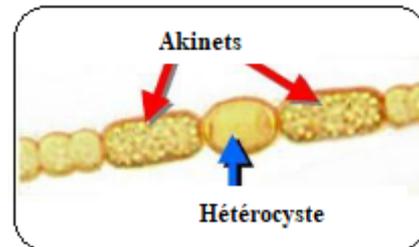


Figure 49. Formation de spores résistantes (acinètes)

4.2.3 Formation de spores résistantes (acinètes= acinètes) (Figure 49)

4.3 Les gamètes et types de fécondation (types de gamies)

4.3.1 Gamètes

Le gamète est une cellule haploïde servant à la reproduction sexuée.

4.3.2 Gamie = (fécondation ou conjugaison)

La fécondation s'accomplit en deux étapes :

4.3.2.1 Plasmogamie

Du grec *plasma* = formation et *gamos* = mariage. C'est l'union des cytoplasmes des deux gamètes.

4.3.2.2 Caryogamie

Du grec *karuon* = noyau et *gamos* = mariage. La caryogamie est la Fusion de deux noyaux mâle et femelle lors de la fécondation. La cellule résultant d'une gamie est un zygote (2n diploïde).

4.4 Diversité des modes de fécondation (Figure 50).

4.4.1 Isogamie (Figure 50a).

La fécondation entre deux gamètes mobiles morphologiquement et physiologiquement identiques Ex : *Chlamydomonas*, levure.

4.4.2 Anisogamie (Figure 50b)

Fécondation entre deux gamètes mobiles qui conservent la même organisation mais sont de tailles différentes. Ex : *Ulva lactuca*

4.4.3 Oogamie (zoïdogamie) (Figure 50c)

La fécondation se fait entre un gamète femelle de grande taille immobile (oosphère) chargé en réserve et un gamète mâle petit et mobile (anthérozoïdes = spermatozoïdes). Ex: *Dictyota*, *Fucus*, *Laminaires*.

4.4.4 Trichogamie (Figure 50d)

Le gamète mâle, petit sans flagelles est capté par le trichogyne qui surmonte le gamète femelle. Ex : Algues rouges.

4.4.5 Cystogamie (Figure 50e)

Dans la siphonogamie, le contenu entier d'un gamétocyste mâle se déverse par l'intermédiaire d'un tube de conjugaison dans un gamétocyste femelle Ex : *Spirogyra*

Dans la siphonogamie, le contenu entier d'un gamétocyste mâle se déverse par l'intermédiaire d'un tube de conjugaison dans un gamétocyste femelle. Ex : *Spirogyra*.

4.4.6 Aplanogamie (Figure 50f)

L'aplanogamie s'effectue entre 2 gamètes qui sont immobiles, le gamète femelle restant dans le gamétophyte. Leur rencontre se fait passivement grâce à des courants d'eau qui transporte le gamète male qui s'accôle à la papille de gamète femelle.

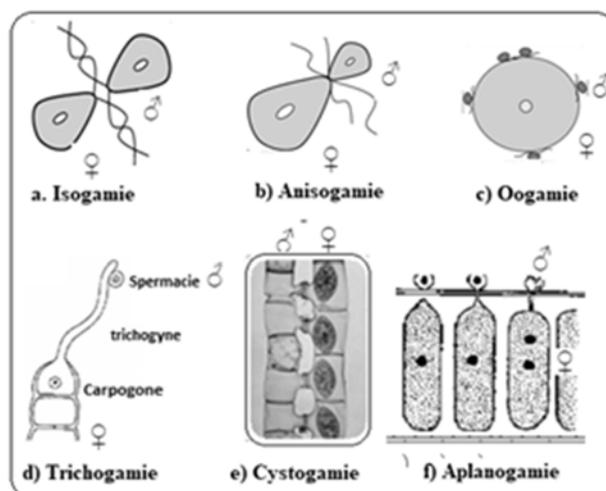


Figure 50. Différents modes de fécondation

4.5 Cycle de développement

Le cycle de développement permet le passage du zygote jusqu'au nouveau zygote. Il présente 2 types d'alternance :

4.5.1 Alternance de génération

Une génération débute par une cellule reproductrice zygote (méiospore) jusqu'au nouveau zygote. L'alternance des générations se compose de deux parties distinctes : le gamétophyte (n) et le sporophyte (plante) (2n).

4.5.2 Alternance nucléaire

L'alternance nucléaire correspond à l'alternance de phases chromosomiques. Un individu peut être haploïde à n chromosome correspondant à l'haplophase, ou diploïde à 2n chromosomes correspondant à la diplophase.

4.5.2.1 Cycle haplophasique (haplontique)

Le cycle de développement est haploïde, et s'étend de la méiose jusqu'à la fécondation (fusion des gamètes) et formation de zygote.

4.5.2.2 Cycle diplophasique (diplontique)

Lorsque le cycle de développement est diploïde, il dure de la fécondation à la méiose

4.5.2.3 Cycle monogénétique (Figure 51)

Le cycle monogénétique présente une seule génération. Il est représenté soit par un sporophyte, soit par un gamétophyte

4.5.2.4 Le cycle digénétique (Figure 52)

Le cycle digénétique est représenté par deux générations qui se succèdent alternativement. Si le gamétophyte est semblable morphologiquement au sporophyte, on dit qu'il s'agit d'un cycle digénétique isomorphe. Si le gamétophyte est morphologiquement différent du sporophyte on parle de cycle digénétique hétéromorphe.

4.5.2.5 Cycle trigénétique (Figure 53)

Dans le cycle trigénétique, on note la présence d'une troisième génération d'individus, nommée le carposporophyte. (Ex : Rhodobiontes (Algues Rouges), Ascomycètes, Basidiomycètes basales). Le carposporophyte est toujours parasite du gamétophyte femelle, il produit des carpospores qui donnent naissance à une génération morphologiquement identique au gamétophyte, mais au lieu de produire des gamètes, il produit des tétraspores qui redonneront à la suite des spores qui, une fois germés, donneront les gamétophytes.

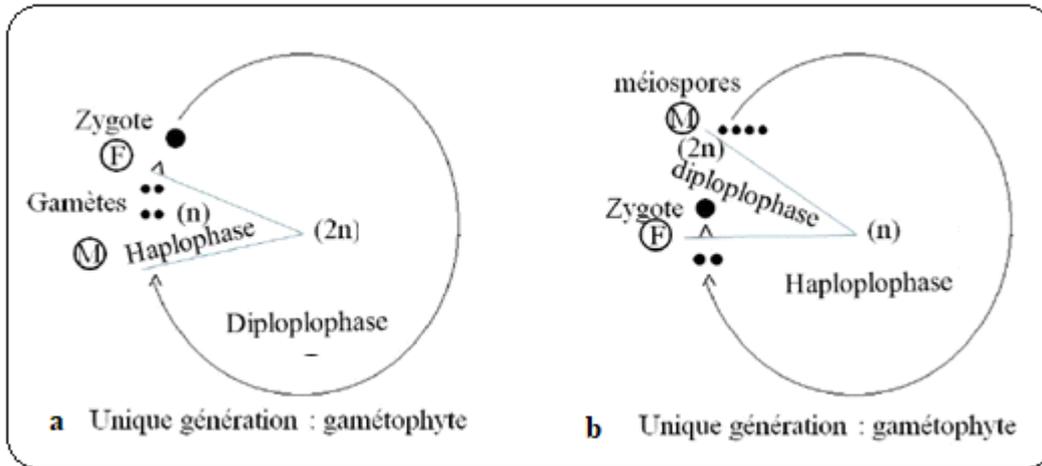


Figure 51. Cycle monogénétique (a : diplophasique ; b : haplophasique)

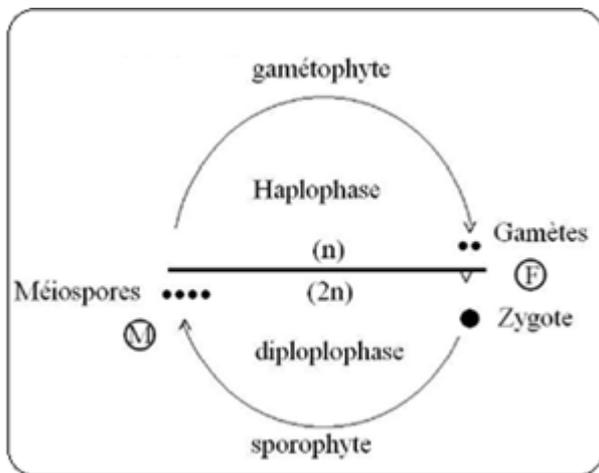


Figure 52. Cycle digénétique haplodiphasique

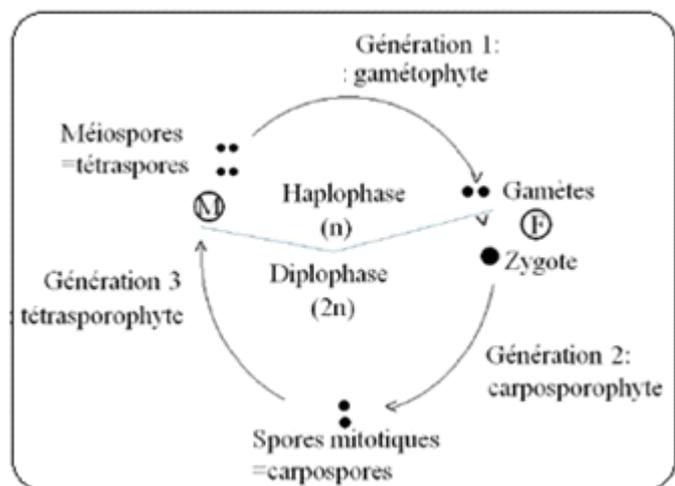


Figure 53. Cycle trigénétique

5 Systématique de particularité des principaux groupes

5.1 Les Algues procaryotes (Cyanophytes / Cyanobactéries)

Les Cyanobactéries (cyanophytes = cyanophycées = cyanoschizophytes = algues bleues) est un groupe primitif d'algues. Elles sont apparues il y a près de 3 milliards d'années. Elles renferment 150 genres et 2000 espèces. Ce sont les seules algues procaryotes appartenant au domaine des Eubactérie. Elles sont photoautotrophes et nécessitent peu d'éléments pour croître : H₂O, CO₂, nutriments (azote et phosphore), lumière. Ce sont des organismes autotrophes grâce à la présence de la chlorophylle a et de pigments surnuméraires : phycobiliprotéines [la phycocyanine (bleues) et la phycoérythrine (couleur rouges)], et leur couleur varie du jaune sale au noir, passant par différentes teintes de bleu-vert ou de brun. Elles ne possèdent jamais de flagelles. Elles se déplacent par glissement à l'aide du mucilage comme chez les Cyanothecae, par

oscillation comme chez *Oscillatoria*, et par mouvement de vis qui s'enfonce dans le bois comme chez les *Spirulines* ou elles flottent grâce à de petites bulles d'air.

5.1.1 Adaptation des Cyanobactérie

Elles ont une grande capacité d'adaptation dans :

- Les milieux aquatiques : (Eau douce (diversité et abondance) ; Mers [Picoplancton ou nanoplancton] et dans les Océans (50% de la production primaire de la terre (fixation du CO₂ par photosynthèse).
- Les milieux terrestres : en symbiose (lichens et cycas) ; dans les roches ; déserts, roches nues...etc) ; végétaux ou animaux) ;
- Les milieux extrêmes : dans les régions froides (cryophiles) proches de 0°C ; dans les sources chaudes (Thermopyles) ($T^{\circ} > 70^{\circ}\text{C}$).

5.1.2 Importance écologique majeure

- Fixent le CO₂ et produisent de l'O₂ (elles ont joué un rôle important dans l'apparition des végétaux et des animaux.
- Elles sont capables de fixer du N₂ atmosphérique par la présence de cellules spécialisées nommées hétérocystes. Elles participent à la fertilisation du sol.
- Formation de roches calcaires : les stromatolithes (baie des requins en Australie)

5.1.3 Intérêt économique

Production de protéines, vitamines, acides gras, pigments et compléments alimentaires (cas de la spiruline par exemple) et source de substances bioactives comme calmant dans le cas du sida par exemple

5.1.4 Toxicité

Certaines cyanophycées libèrent des endotoxines dangereuses pour l'homme et les animaux.
Ex : *Microcystis* sp (dommages au foie) ; *Anabaena spiroïdes* (mort des chiens).

5.2 Morphologie et appareil végétatif des cyanobactéries

Les Cyanobactéries se présentent sous diverses formes (**Figure 54**) :

- Unicellulaires solitaires.
- Colonie non filamenteuse. Ex : *Microcystis* sp (unicellulaires coloniales informes, cénobes).
- Colonie filamenteuse : Les trichomes peuvent être simples, ramifiés ou présentant de fausses ramifications et peuvent être aussi intégrés dans une masse mucilagineuse Ex : *Microcoleus* sp.)

Le filament est formé d'un ensemble de trichomes, entouré de gaine mucilagineuse, lorsqu'elle est présente chez certaines cyanobactéries. L'appareil végétatif est un thalle archaïque.

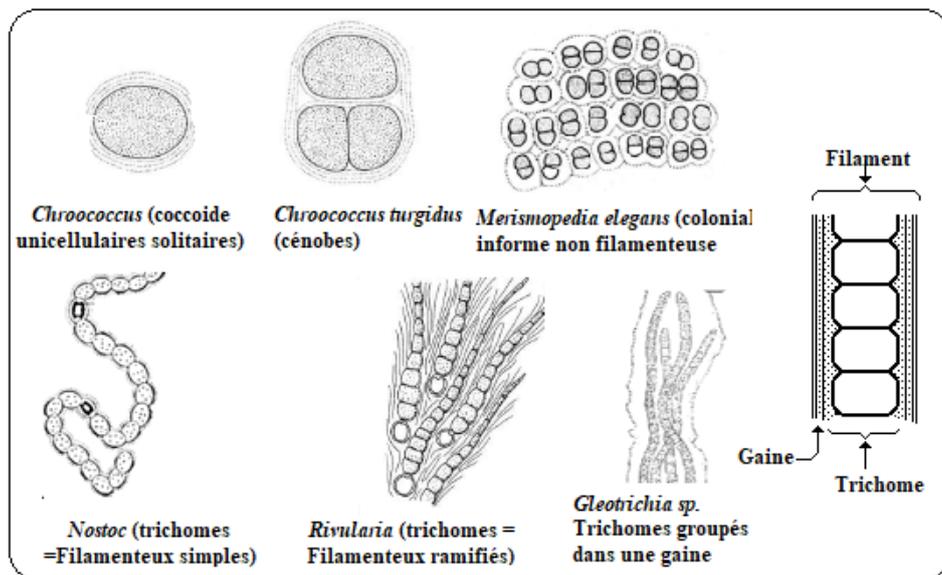


Figure 54. Différents types de thalle chez les cyanobactéries

Il y'a 3 types de cellules chez les cyanobactéries filamenteuses : Cellules végétatives, Hétérocystes et Akinètes (**Figure 55**).

5.2.1 Cellule végétative (V)

Les cellules végétatives assurent la synthèse des nutriments. Elles sont identiques et occupent la majorité de la colonie.

5.2.2 Hétérocyste (H)

L'hétérocyste est une cellule translucide, à paroi épaisse. Il se trouve chez certaines cyanobactéries nommées hétérocystées. Il est le site de la fixation d'azote et se forme à partir des cellules végétatives en condition de manque d'azote. Suivant les espèces on rencontre des hétérocystes intercalaires et/ou terminaux.

5.2.3 Akinète (A)

Les akinètes sont des spores immobiles, de grande taille, produites chez les formes hétérocystées. Elles sont résistantes, capables de survivre dans des conditions défavorables. (Sécheresse, froid, disparition des aliments). Leur durée de vie est très grande (+100 ans). Elles sont très riches en granules de réserve.

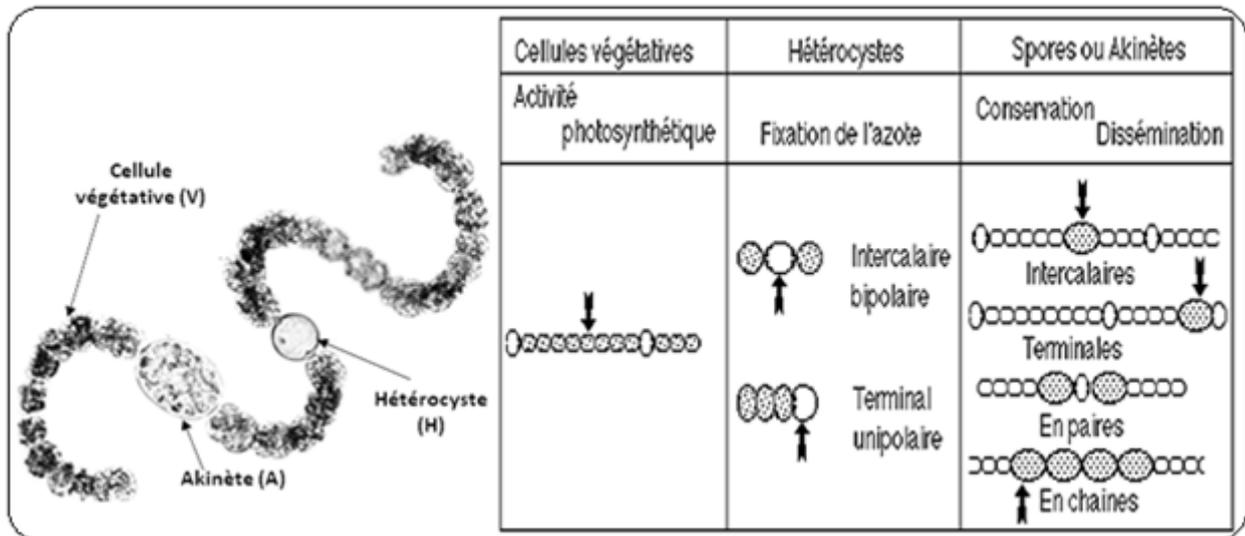


Figure 55. Cellules végétative, hétérocyste et akinètes chez les cyanobactéries (*Nostoc* et *Anabaena*)

5.3 Caractères cytologiques

Les cellules des Cyanophycées (Figure 56) montrent une coloration homogène (elles n'ont pas de plastes individualisés). L'ultra structure des cyanobactéries indique l'absence de noyau et d'organites cellulaires. Au microscope optique, on distingue deux zones différenciées, principalement par leur couleur (Figure 57) :

5.3.1 Chromatoplasme

Le chromatoplasme est situé dans la zone périphérique colorée contenant les thylakoïdes qui assurent la photosynthèse, la respiration et fixation d'azote. Les thylakoïdes portent, en plus des pigments photosynthétiques (chlorophylle a et c), le carotène, la phycocyanine et la phycoérythrine.

5.3.2 Centroplasma

Le centroplasma est localisé dans le centre de la cellule, il contient l'ADN, des plasmides circulaires et des réserves. Au microscope électronique, on distingue :

- La chlorophylle a qui se trouve dans des saccules de thylacoïdes et à l'extérieur de thylacoïdes ;
- De gros granules se trouvant à l'extérieur de thylacoïdes, correspondent aux phycobilisomes ;
- Elles contiennent aussi des xanthophylles jaunes et caroténoïdes orange.

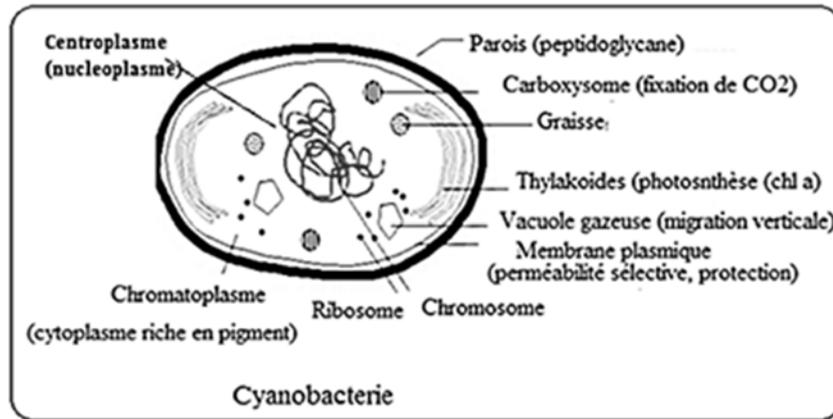


Figure 56. Morphologie d'une cellule de cyanobactérie

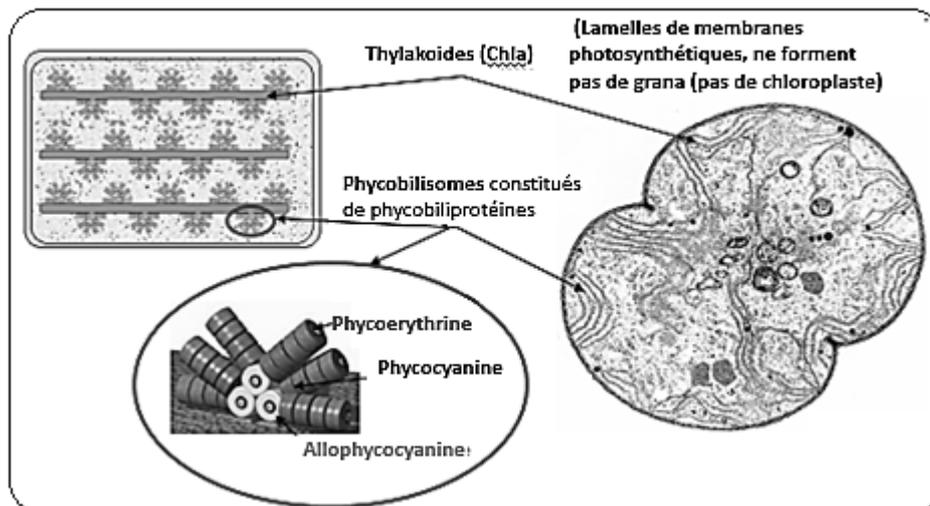


Figure 57. Ultrastructure du chloroplaste de cyanobactérie

5.4 Reproduction des cyanobactéries

Les cyanobactéries se reproduisent par :

5.4.1 Scissiparité ou division binaire (Figure 58 a)

La division simple se fait par apparition d'une membrane annulaire qui se développe vers le centre, provoquant une constriction puis une coupure et formation de deux individus.

5.4.2 Fragmentation

Le trichome se fragmente et donne naissance à des fragments de trichomes capables de donner de nouveaux individus (**Figure 58 b**)

5.4.3 Spores

5.4.3.1 Akinètes

Les akinètes sont des spores de résistance. Elles germent et donnent un nouvel individu (**Figure 55**).

5.4.3.2 Hormogonie

Les fragments hormogonies libérés peuvent se développer et former un nouveau thalle (**Figure 58c**).

5.4.3.3 Nécriidiums

Les nécriidiums sont responsables de la fragmentation préférentielle du thalle (**Figure 58 d**).

5.4.3.4 Coccospores

Les coccospores sont des spores à paroi épaisse, capables de résister à la dessiccation et de contribuer à la dissémination de l'espèce qui se réalise par :

5.4.3.5 Endospores

Les endospores se forment à l'intérieur d'une cellule végétative mère dont le cytoplasme se divise et dont la paroi devient l'enveloppe du sporocyste (**Figure 58 e**).

5.4.3.6 Exospores

Les exospores se forment par une succession de divisions transversales qui bourgeonnent en spores ou peuvent rester attachées en chapelet (**Figure 58 f**).

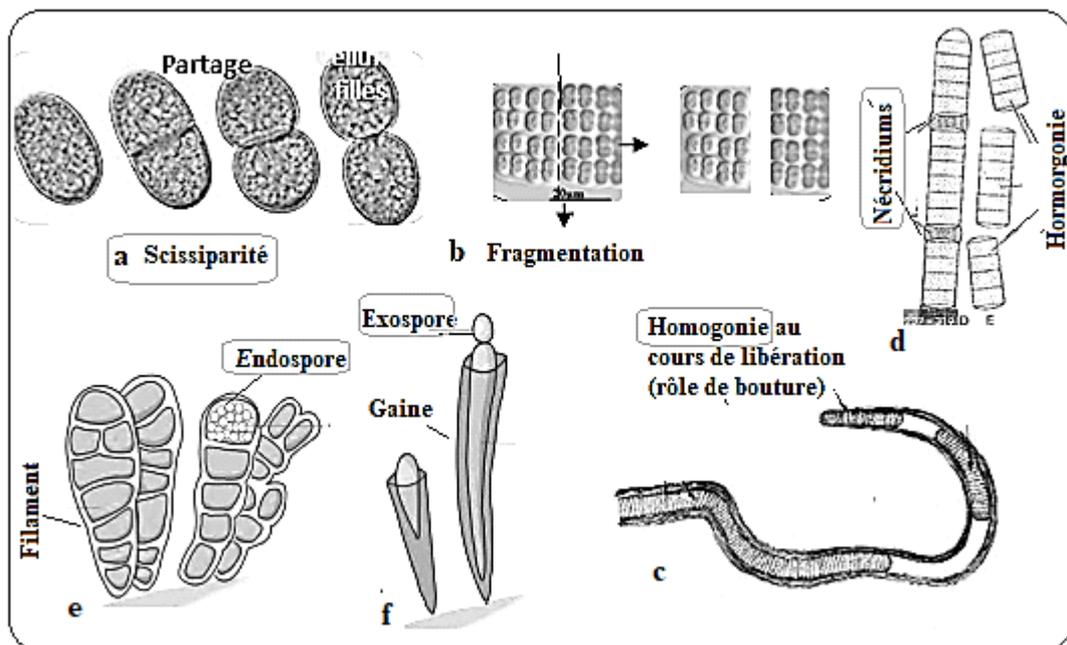


Figure 58. Voie de reproduction des cyanobactéries

5.5 Taxonomie des cyanobactéries

L'embranchement des **Cyanophytes** forme une seule classe les Cyanophyceae, elle-même divisée en deux sous classes :

5.5.1 Sous classes des Coccogonophycidae

Le Coccogonophycidae regroupe toutes les cyanophytes ayant une forme solitaire, coloniale ou parfois filamenteuse mais sans hormogonies. Ils se multiplient par coccospores. Cette sous classe comprend trois ordres :

- **Ordre1 : Chroococcales**

Les Chroococcales comprend deux familles dont la plus importante Chroococcaceae représentée par les genres : *Gleocapsa*, *Microcystis* et *Merismopedia*

- **Ordre2 : Chamaesiphonales**

Les Chamaesiphonales se reproduisent par des endospores et des exospores, Il est représenté par les genres suivants : *chamaesiphon* et *Entophaysalis*

- **Ordre3 : Pleurocapsales**

Les Pleurocapsales renferment des filaments simples et se reproduisent par des endospores. Parmi les genres représentatifs : *Pleurocapsa*.

5.5.2 Sous classes des Hormogonophycidae

Les Hormogonophycidae sont des cyanophytes ayant généralement des formes filamenteuses : trichomes simples, ramifiés. Dans cette sous classe, on rencontre des espèces à hétérocystes et à des akinètes. Cette sous classe comprend deux ordres :

- **Ordre1 : Nostocales**

Les Nostocales comprennent 3 familles

• **Famille1 : Oscillatoriaceae**

L'Oscillatoriaceae est caractérisée par l'absence de ramifications avec absence d'hétérocystes et d'akinètes. On citera comme genres représentatifs : *Oscillatoire*, avec thalle filamenteux simple (trichome), absence d'hétérocystes et akinète ;

• **Famille2 : Nostocaceae**

Le Nostocaceae est caractérisée par l'absence des ramifications mais présence des cellules spécialisées (hétérocystes et akinètes). Comme genres représentatifs : *Nostoc* et *Anabaena* ;

• **Famille3 : Rivulariaceae**

La Rivulariaceae est caractérisée par un trichome effilé, avec présence d'hétérocystes et d'akinètes. Comme genres *Gleotricha* et *Calothrix*

- **Ordre2** : Stigonimatales / **Famille** : Stigonemataceae

6 Les algues eucaryotes : phycophytes

6.1 Définition

- Végétaux thallophytes (ni tiges, ni racines, absence de véritables tissus spécialisés) eucaryotes chlorophylliens autotrophes.
- Environ 25 000 espèces avec des formes très variables.
- Peuvent être microscopiques de quelques μm (microalgues) à plusieurs mètres [macroscopiques (macroalgues)].
- Unicellulaires et pluricellulaires.
- Benthiques (fixées au substrat) ; planctoniques (phytoplancton): flottent dans l'eau (libres).
- Certaines espèces sont parasites ou symbiotiques (avec d'autres végétaux ou animaux).

6.2 Classification

Elle s'appuie principalement sur la nature des pigments des algues. On a 3 principaux embranchements :

- **Les Chlorophytes** (algues vertes) (Chlorophylle a, Chlorophylle b, caroténoïdes) ;
- **Les Chromophytes** (algues brunes) (Chlorophylle a Chlorophylle c, caroténoïdes (Pigments rouge, orange (carotènes) et jaunes (xanthophylles) ;
- **Les Rhodophytes** (algues rouges) (Chlorophylle a, phycobilines, caroténoïdes)

Classification des algues eucaryotes (selon CHADEFEAUD 1960)

La systématique des algues eucaryotes repose sur des critères cytologiques et cytochimiques. Les caractères morphologiques et anatomiques n'interviennent que pour établir les coupures du second ou du troisième ordre.

. La systématique des algues eucaryotes repose sur des critères cytologiques et cytochimiques. Les caractères morphologiques et anatomiques n'interviennent que pour établir les coupures du second ou du troisième ordre.

1. Embranchement : Rhodophycophytes (A. rouges)

Selon le type de thalle et le mode de fécondation, les Rhodophycophytes sont subdivisées en deux sous embranchements :

- ✓ Sous embranchement : Profloridées ; Il comprend les ordres suivants :
 - Bangiales (l'appareil végétatif est un prothalle)
 - Compsopogonales (l'appareil végétatif est un cladome)
- ✓ Sous embranchement : Floridées : Il comprend plusieurs ordres
 - Némalonaes
 - Géliidiales
 - Céramiales...

2. Embranchement : Chromophycophytes (A. brunes)

Selon la structure des cellules nageuses et de leurs fouets, la présence ou l'absence de grains d'amylon et la pigmentation des plastes, les chromophycophytes peuvent se subdiviser en quatre sous embranchements et 12 classes.

- ✓ Sous embranchement des Propyrrhophycées
 - Classe des Pocillophycinées
 - Classe des Paracrytophycinées
- ✓ Sous embranchement : Phéophycées
 - Classe des Cryptophycinées
 - Classe des Dinophycinées
 - Classe des Raphidophycinées
 - Classe des Euglénophycinées
 - Classe des Craspédophycinées
- ✓ Sous embranchement des Chrysophycées
 - Classe des Chrysophycées
 - Classe des Xanthophycinées
 - Classe des Silicophycinées
 - Classe des Bacillaryophycinées (Diatomées)
- ✓ Sous embranchement : Phéophycées
 - Classe des Phéophycées

3. Embranchement : Chlorophycophytes (A. vertes)

Les algues vertes vivant dans les mers, les eaux douces, sur les sols humides dans les endroits ombragés. On compte environ 350 genres, et 8000 espèces connues. Selon le type de

gamie et la présence ou l'absence des cellules nageuses, cet embranchement se divise en trois sous embranchements :

✓ Sous embranchement des Zygomycètes

Les Zygomycètes sont divisés en deux ordres

- Zygnémales
- Desmidiées

✓ Sous embranchement : Charophycées

Elles comprennent :

- Classe des prasinophycées
- Classe Euclorophytées est subdivisée en deux ordres :
 - Euclorovocales
 - Ulotrichales

✓ Sous embranchement : Euclophytes

Les Charophycées et 06 genres : Chara, Nitella, Tolypella, Nitellopsis, ...

6.3 Ecologie des algues

Grâce à la diversité des algues et leurs exigences écologiques variées, elles colonisent des milieux divers :

- La majorité des microalgues appartient au phytoplancton marin ou d'eau douce.
- La plupart des macroalgues sont fixées au fond du littoral (phytobenthon), sauf les sargasses (algues brunes) qui sont flottantes.
- Elles sont aériennes dans les sols et rochers, troncs d'arbres (beaucoup en région tropicale) ;
- Les algues Principales sont responsables de la production I^{aire} : 1^{er} chaînon des chaînes alimentaires.

Selon leur habitat, il y'a trois types d'algues

6.3.1 Algues marines non fixées (Algues pélagiques)

6.3.1.1 Phytoplancton

Les planctons sont des organismes vivants, de petite taille, flottants dans l'eau. Une grande partie du plancton est constitué par des algues unicellulaires. On peut distinguer, d'après la taille, les algues suivantes :

- Ultraplancton : moins de 2 µm (Chrysophycées de petites tailles).
- Nanoplancton : de 2 à 20 µm (petites Diatomées, nombreuse Chrysophycées, Cryptophycées).
- Microplancton : de 20 à 200 µm (Diatomées, Dinophycées).

L'abondance du phytoplancton, qui *est* à la base de la chaîne alimentaire, est fonction de la température, de l'eau et de sa richesse en sels nutritifs (l'azote, le phosphate et le fer). Ex : les phytoplanctons néritiques sont plus riches et plus variés que les phytoplanctons océaniques.

6.3.1.2 Grandes algues non fixées

Algues sargasses maintenues en surface par des flotteurs plein de gaz nommés aérocystes (sphères remplies d'un gaz produit par l'algue), elles se multiplient par voie végétative, par fragmentation des touffes. Il n'y a jamais de reproductions sexuées.

6.3.2 Algues symbiotiques

Les algues symbiotiques produisent de la matière et de l'oxygène à partir des sels minéraux et déchets de l'hôte. Ex : Les algues zooxanthelles qui fournissent des sucres à leurs hôtes et leur permettent d'exister dans les eaux pauvres en éléments nutritifs. Ex : Les lichens.

6.3.3 Algues benthiques (= phyto-benthon) (algues marines fixées)

Les différentes espèces d'algues se répartissent suivant leurs exigences. Plusieurs critères influencent cette répartition

a) Le mouvement de l'eau

- L'émersion

Dans la zone intertidale (zone de balancement des marées), toutes les algues ne supportent pas de la même façon le temps passé hors de l'eau lors des marées basses. Si l'émersion est nécessaire, cela induit la présence limitée dans les profondeurs.

- Intensité variable

Certaines algues préfèrent plutôt le mode abrité (elles sont plus ou moins protégées des courants et des vagues) au mode battu, et vice-versa.

Compétition entre certaines algues.

b) La composition de l'eau : la salinité

- Variation de la salinité létale (qui entraîne la mort)

Les algues sténohalines sont incapables de supporter de grandes variations de salinité, et ne tolèrent que de faibles variations de la concentration en sel du milieu aquatique.

- Variation de la salinité acceptée

Les algues eurythermes supportent de larges variations de la teneur en sel.

c) La lumière

Les algues benthiques sont des algues Fixées au substrat, regroupées en 3 familles suivant les pigments détenus par les algues : algues vertes (chlorophycée), algues brunes (phéophycée), algue rouge (rhodophycées).

En milieu marin, la vie des algues n'est possible qu'à des profondeurs relativement faibles, elles peuvent atteindre jusqu'à 100 à 200 m selon la turbidité (de l'eau, où la lumière pénètre dans les eaux et permet la photosynthèse des algues. Les différentes radiations qui composent la lumière sont absorbées par la couche d'eau traversée en fonction de leur longueur d'onde (**Figure 59**) :

- Algues vertes : la chlorophylle absorbe rouge et orange $\lambda = (595 - 780)$;
- Algues rouges : absorbe jaune vert – vert bleu $\lambda = (490 - 595)$;
- Algues brunes : absorbe bleu verdâtre - violet $\lambda = (380 - 490)$.

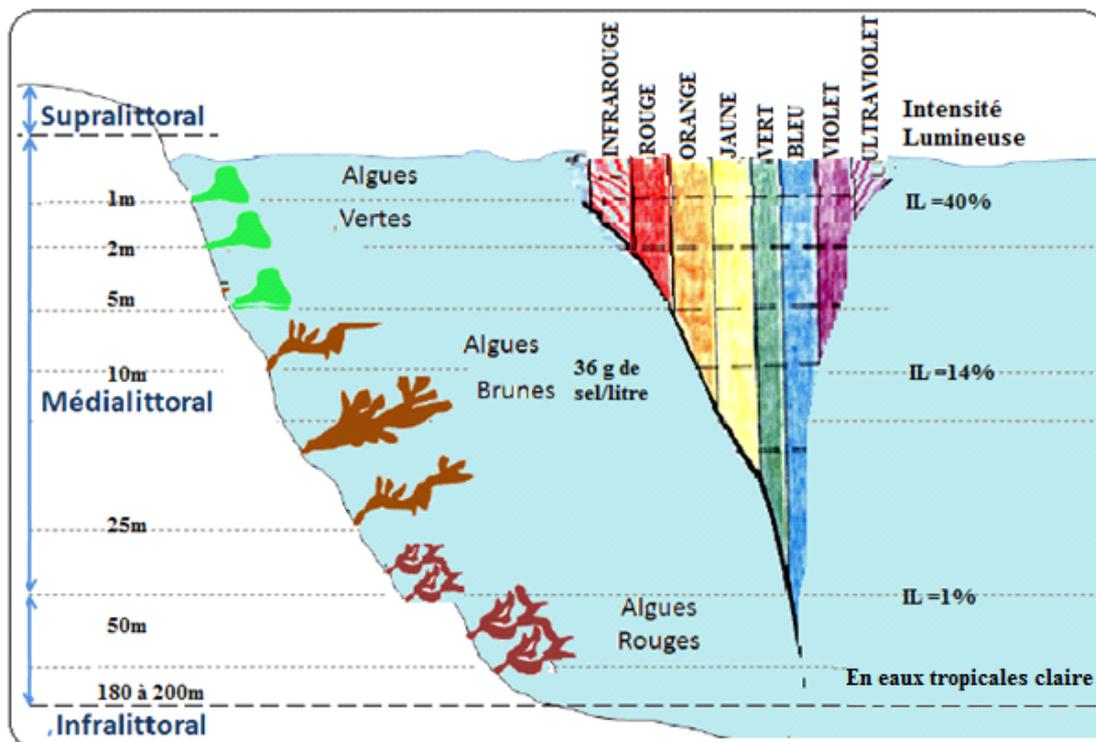


Figure 59. Positionnements des algues benthiques atlantiques

6.3.4 Algues d'eaux douces

Les algues d'eau douce comprennent un peu plus de 1100 genres et environ quatorze mille espèces répartis dans le monde. Il y'a l'intervention des mêmes facteurs écologiques que ceux vus dans les milieux marins. On distingue :

- Organismes benthiques ;
- Organismes planctoniques.

a) Eaux stagnantes

- ❖ **Flore planctonique** : Nombreuses algues unicellulaires ou coloniales (*Diatomées*, *Volvocales...*).
 - L'Héléoplancton varie selon le pH de l'eau et les teneurs en calcaire.
- ❖ **Algues benthiques** (Charophycées, Chlorophycées filamenteuses...)
 - En surface, on trouve des espèces eurythermes qui supportent des températures élevées.
 - Dans les points d'eau temporaires (mares peu profondes) desséchés en été, on trouve des algues adaptées à ce milieu, avec, production d'oospores à paroi épaisse et résistantes à la dessiccation ; et germination quand le point d'eau se remplit d'eau à nouveau (hiver suivant).

b) Eaux courantes :

- Phytoplancton des cours d'eau : Potamoplancton (*Diatomées*, *Chlorophycées* unicellulaires ou coloniales).

Dans les eaux à courts lents ; *Rhodophycées*

6.3.5 Algues aérophiles : nombreux substrats aériens peuplés par les algues :

- **Sols humides** : Tapis d'algues filamenteuses (ex : *Zygnema*) ou siphonnées (ex : *Vaucheria*) ;
- **Sols plus secs (voir arides)** : Présence d'algues jusqu'à une centaine de profondeur, entre particules minérales (algues unicellulaires variées).
- **Rochers, troncs d'arbre, sur les feuilles** : C'est le cas des Trentépothiales qui abondent dans les régions tropicales où le degré hygrométrique (d'humidité de l'atmosphère) de l'air est élevé.

7 Rhodophycophytes

7.1 Caractères généraux

- Absence de cellules nageuses (cellules végétatives, spores ou gamètes).
- Chloroplastes colorés en rouge, violet ou bleu, en présence de biliprotéides, phycoerythrine (rouge) et phycocyanine (bleu). Les plastes comprennent aussi de la chlorophylle a et β du carotène α et β et des oxycarotènes (jaunes).
- Réserves glucidiques constituées par des amyloons extraplastidiaux (amidons floriddéens) proches des dextrines et du glycogène.
- Parois cellulaires celluloso-pectiques, riches en cellulose.
- Gamétophytes toujours haploïdes souvent dioïques.
- Les sporophytes produisent des spores non nageuses, pigmentées, sans parois celluloso-pectiques, souvent amiboïdes.

On compte environ 3700 espèces de rhodophycophytes, presque tous marines. La plupart d'entre elles vivent fixées aux rochers, aux coquilles, assez souvent dans les endroits sombres, ou en profondeur. La présence de phycobiline permet l'enrichissement du milieu marin en oxygène. Ex. Cycle de : *Antithamnion Plumula*. Ordres des : Ceramiales, Fam. des : Ceramiacées. C'est une algue marine que l'on rencontre sur les rochers, dans les cuvettes sombres. Elle présente un thalle à cladome de petite dimension ($\approx 4\text{cm}$), de couleur rouge vif. La croissance des axes principaux est assurée par une cellule terminale (croissance indéfinie). Sur ses axes apparaissent de courtes branches opposées qui portent de petits rameaux (pleuridies).

7.2 Reproduction

A maturité, on distingue trois catégories d'organes reproducteurs :

- Grappes de cellules arrondies qui subissent une division méiotique pour donner quatre cellules haploïdes de couleur rose, sphériques et dépourvues d'appareil flagellé qui correspondent aux meiotospores (après germination elles donnent naissance aux gamétophytes mâles ou femelles). Ce sont des tetrasporophytes ($2n$) {Sporophytes}.
- D'autres thalles portent latéralement, sur leurs rameaux, des grappes de petites cellules sphériques. Chacune produit plusieurs cellules incolores appelées spermaties, qui correspondent aux gamètes mâles, ce sont des. {Gamétophytes mâles}.
- Une troisième catégorie de thalles, différente des précédentes par la présence, sur la base des pleuridies, d'un fil de 03 cellules qui se termine par un carpogone reconnaissable par son trichogyne. Ce sont des {Gamétophytes femelles}

- Fécondation : les spermatises sont entraînés par l'eau jusqu'à ce que l'une d'elles s'unisse à un trichogyne. Une fois le zygote formé, il subit des divisions cellulaires mitotiques successives pour donner une masse sphérique composée de nombreuses petites cellules colorées. Cet ensemble cellulaire forme une génération réduite parasite sur le gamétophyte femelle, dite carposporophyte (diploïdes) {Sporophytes 2} ;
- A maturité, les cellules les plus externes du carposporophyte seront détachées. Elles flotteront et se fixeront plus tard sur un substrat. Ce sont des carpospores $2n$. Après germination, elles donnent naissance à une nouvelle génération diploïde dite tétrasporophytes.

Type de gamie : Aplanogamie Trichogamie Cycle : Trigénétique (Figure 60).

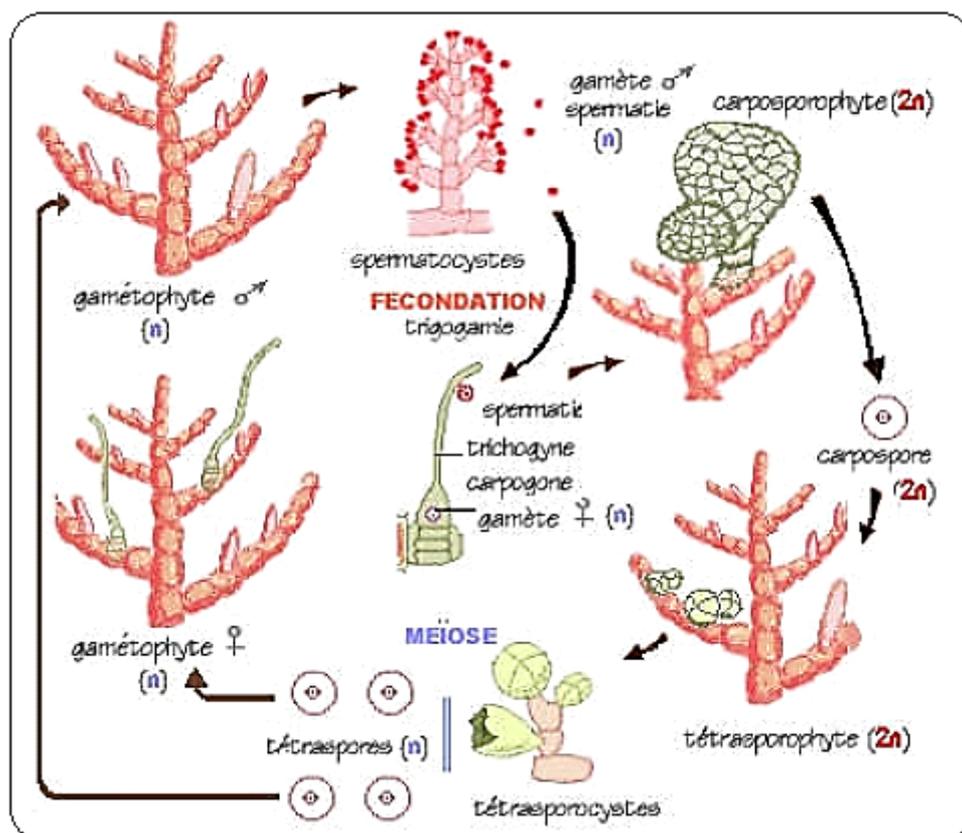


Figure 60. Cycle de reproduction de *Antithamnion Plumula*

On constate dans le cycle, successivement trois formes distinctes du végétal ; soit trois générations :

- La première génération est un gamétophyte haploïde, (mâle ou femelle), qui produit les gamètes (mâles ou femelles).
- Les deux autres générations sont des sporophytes diploïdes :

- ✓ Le premier sporophyte (génération supplémentaire toujours parasite du gamétophyte) peut produire par mitose des spores équationnelles diploïdes donnant naissance au :
- ✓ Deuxième sporophyte, qui produira des spores méiotiques à l'origine des nouveaux gamétophytes

8 Chromophycophytes (pyrro-chryse-algeno-pheo)

8.1 Caractères généraux

Les cellules des algues brunes (cellules végétatives, zoospores, ou zoogamètes) sont flagellées. Ce qui leur permet de se déplacer dans l'eau.

La chlorophylle a est masquée par d'autres pigments. elle est associée à l'oxy-carotène (jaune ou brunes) avec absence des biliprotéides (rouges & bleues) chez la plupart des espèces. Elles élaborent dans leur cytoplasme des grains d'amylons extraplastidiaux, ou des réserves glucidiques généralement formées de corps solubles dissous dans les vacuoles, tels que Laminarine, Leucosine ou lipides.

8.2 Reproduction sexuée Ex. *Fucus vésiculeux*

Le fucus est une algue brune qui se trouve dans le littoral. Son thalle est ramifié. Il comporte des flotteurs qui redressent le fucus à marée haute et des renflements appelés réceptacles garnis de minuscules boutons dont s'échappe une gelée orange ouverte. Ce sont des organes reproducteurs.

Les conceptacles mâles et femelles sont portés suivant les espèces, par le même individu (dioïque) ou par des pieds différents (monoïque). Les conceptacles mâles qui émettent une gelée orange, produisent des gamétocystes males (anthéridies) qui après méiose produisent des anthérozoïdes biflagellés mobiles.

Les conceptacles femelles rejettent une gelée verte contenant des gamétocystes femelles qui, après, émettent des oosphères.

Les gamétocystes mâles se trouvant dans les conceptacles mâles, sont portés par des poils ramifiés, alors que les conceptacles femelles contiennent des gamétocystes femelles portés par des poils simples.

L'anthérozoïde s'unit avec l'oosphère et donnera un zygote (2n) chromosomes, qui produira un jeune thalle. Ce type de fécondation est dit oogamie. Le cycle est mono génétique diploïde (diplophasique) (**Figure 61**).

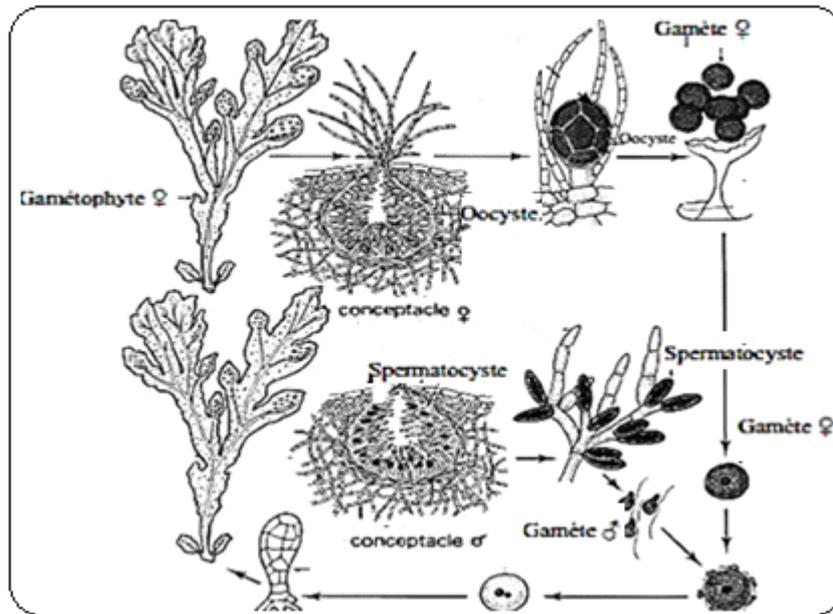


Figure 61. Cycle de reproduction de *Ficus vésiculeux*

9 Chlorophycophytes

9.1 Caractères généraux

Algues eucaryotes qui diffèrent de toutes les autres, et se rapprochent des plantes supérieures par leur appareil plastidial dans lequel le pigment chlorophyllien contient de la chlorophylle a et b, du β - carotène accompagné d' α - carotène. Il ya présence d'amidon vrai, sous forme de grains d'amidon intra plastidiaux. Le plus souvent il y a présence de cellules nageuses.

Ex : *Ulva lactuca* (chez la laitue de mer). Ordre des Ulotrichales. Fam. des Ulotrichales

Le thalle de L'*Ulva lactuca* » est sous forme d'une lame mince lobée, verte et fixée sur les rochers par des rhizoïdes. Il se trouve dans les zones recouvertes périodiquement par les marées.

9.2 Reproduction sexuée

L'*Ulva lactuca* est une algue hétérothallique. Ses appareils reproducteurs sont portés sur des pieds différents. Le thalle femelle est un gamétophyte femelle (n) à marge vert sombre, dont les cellules deviendront des gamétocystes. Elles subissent des divisions successives en donnant des gamètes haploïdes munis chacun de deux flagelles.

Les cellules de la marge jaunâtre du thalle mâle (gamétophytes mâle (n)) se différencient en gamétocystes qui, après plusieurs divisions, donneront naissance aux gamètes haploïdes semblables mais plus petits que les gamètes femelles.

Après la rupture de la paroi des gamétocystes, les gamètes sont projetés dans l'eau et la fécondation de type planogamie, anisogamie a lieu entre deux gamètes mobiles de tailles différentes et aboutit à la formation d'un zygote. Le zygote perd ses flagelles, se fixe sur le substrat, et se développe en un filament puis en un thalle foliacé diploïde « sporophyte $2n$ ».

Les cellules à la marge du thalle du sporophyte à $2n$ se transforment en sporocystes. Chacune d'elles subit une méiose pour donner 4 à 8 cellules haploïdes : des spores réductionnelles (spores méiotiques) à quatre flagelles. Ce sont des zoospores. Ces zoospores vont se fixer sur le substrat pour donner un thalle gamétophyte femelle ou mâle (n) (**Figure 62**)

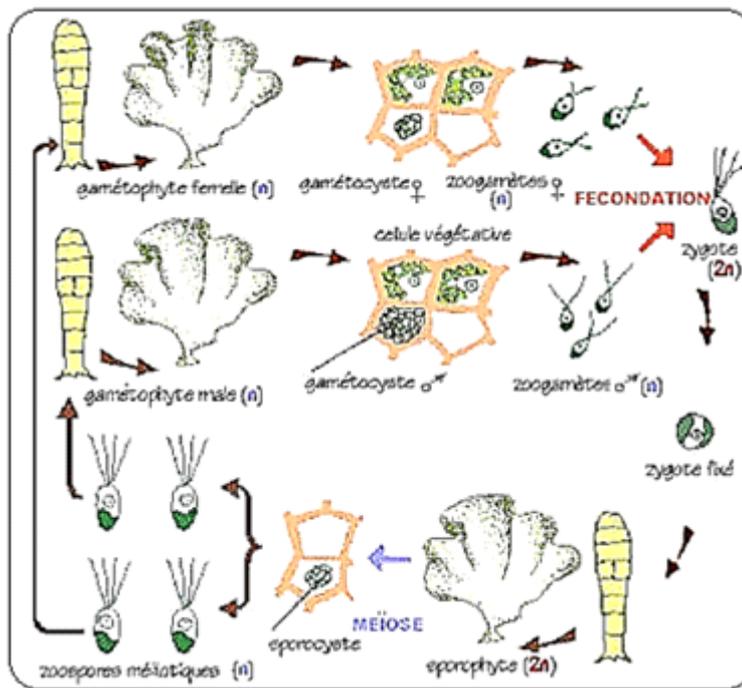


Figure 62. Cycle de reproduction de *Ulva lactuca* (chez la laitue de mer)

CHAPITRE II

CHAMPIGNONS ET LICHENS

CHAPITRE 2 : LES CHAMPIGNONS ET LICHENS

A. Champignon

1 Problèmes posés par la classification des champignons

Les champignons (mycophytes) étaient autrefois considérés comme des végétaux, en raison de leur immobilité, de la présence d'une paroi cellulaire épaissie et de plusieurs similitudes entre leurs cycles de production et ceux des algues. Une des classifications est celle de Geoffrey Clough Ainsworth (1905 – 1998) et Guy Richard Bisby (1889 – 1958) dans leur Dictionary of fungi (1971). Elle est aujourd'hui profondément remaniée (9^{ème} édition en 2001)

1.1 Ancienne classification d'Ainsworth

- Règne des Fungi
 - Division des Myxomycota (présentent des plasmodes)
 - Acrasiomycètes
 - Myxomycètes
 - Plasmodiophoromycètes
 - Division des Eumycota (ne présentent pas des plasmodes)
 - Subdivision des Mastigomycotina (présentent des spores mobiles zoospores)
 - Chytridiomycètes
 - Hyphochytridiomycètes
 - Oomycètes
 - Subdivision des Deuteromycotina
 - Subdivision des Zygomycotina
 - Subdivision des Ascomycotina
 - Subdivision des Basidiomycotina

Ce premier règne des champignons comprenait un certain nombre d'organisation qui par la suite, ont été remplacés dans d'autres règnes :

- Les Oomycètes et les Hyphochytridiomycètes qui sont maintenant classés dans les Straménopiles.

- Les Myxomycota qui sont maintenant classés dans plusieurs groupes de protistes (Mycétozoaires)

1.2 Classification phylogénique

L'utilisation des outils d'ADN (études de séquences d'ADN) a entraîné de profondes modifications dans la classification des champignons. Ils sont à présent classés dans un règne à part : Le règne des Fungi.

1.3 Classification actuelle

Actuellement, seuls les Eumycota constituent le règne des champignons. On distingue cinq embranchements aux caractéristiques propres.

1.3.1 Chytridiomycètes (Chytridiomycota)

Les Chytridiomycètes sont des espèces aquatiques. Ce sont les seuls champignons qui portent des spores possédant un flagelle. C'est un critère qui permet de les considérer comme des mycètes primitifs.

1.3.2 Zygomycètes (Zygomycota)

Les Zygomycètes sont des espèces à spores non flagellées et dont les cellules se ne sont pas séparées par des cloisons.

1.3.3 Gloméromycètes (Gloméromycota)

Les Gloméromycètes étaient autrefois classés dans les Zygomycètes, mais maintenant considérés comme constituant une division à part.

1.3.4 Ascomycètes (Ascomycota)

Les Ascomycètes produisent des spores regroupées en général par huit dans un sac appelé asque, duquel elles sont projetées à maturité à l'extérieur par ouverture de l'asque.

1.3.5 Basidiomycètes (Basidiomycota)

Les spores non flagellées de ces espèces sont des cellules spécialisées qui se développent à l'extrémité des basides avant leur dispersion par le vent.

Les Deuteromycota forment un groupe artificiel regroupant les champignons dont la reproduction sexuée n'est pas connue.

2 Caractères généraux

Les mycètes présentent une grande diversité. Ils présentent les caractères suivants :

Ils sont

- Eucaryotes.
- Hétérotrophes : ils absorbent de nombreuses molécules carbonées fabriquées par d'autres êtres vivants qu'ils doivent trouver dans leur environnement.
- Absorbotrophes : se nourrissent par décomposition (absorption) et non par ingestion (caractère animal).
- Le Thallophyte : leur appareil végétatif, appelé mycélium, est diffus, ramifié et tubulaire, constitué de filaments fins enchevêtrés appelés hyphes à croissance apicale.
- Reproduction par des spores non flagellées ou exceptionnellement à un seul flagelle (Chytridiomycètes : champignon aquatique).
- Capable de produire des substances qui leurs sont propres (tréhalose, mannitol, ...).
- Leur paroi contient de la chitine
- De structure et de forme très variable : les sporophores produisent des spores haploïdes, après une phase dicaryophase assez développée entre la plasmogamie et la caryogamie.

3 Caractères cytologiques

3.1 Paroi

La paroi est différente de celle des algues et des végétaux supérieurs par son organisation en une seule couche et par la nature fibreuse du composant principal : la chitine (**Figure 63**).

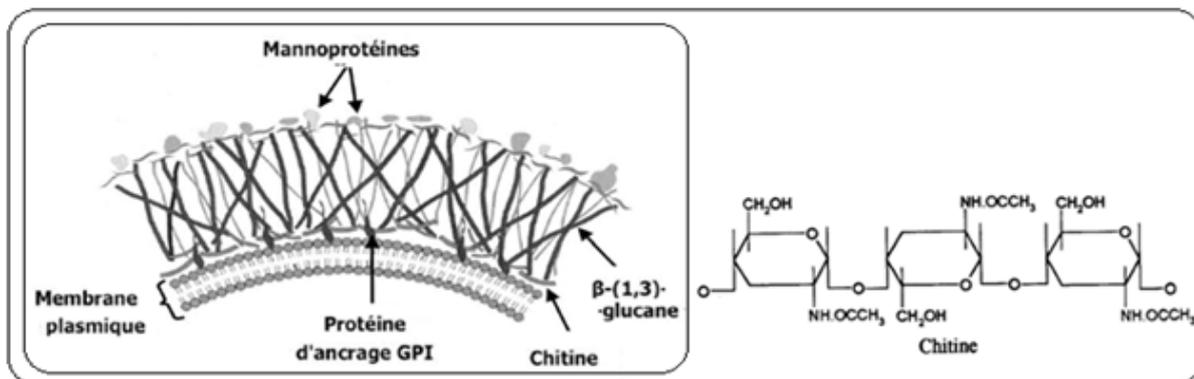


Figure 63. Structure de la paroi cellulaire et de membrane cytoplasmique d'une cellule fongique (Selitrennikoff, 2001)

Les champignons, les végétaux et les animaux sont, au niveau cellulaire, tous des organismes vivants se différenciant principalement au niveau de la structure de l'enveloppe cellulaire et de la composition du cytoplasme. L'enveloppe de la cellule fongique est constituée d'une paroi et d'une membrane, tout comme la cellule végétale. La paroi fongique est composée de 80% de polysaccharides antigéniques et est formée de 3 couches (Selitrennikoff, 2001) :

- La couche interne, entre la membrane et la paroi constituée de chitine, assure le maintien et la rigidité de la paroi et donc la survie des cellules ;
- La couche intermédiaire, constituée de β -(1,3) -glucane, qui confère une certaine élasticité à la paroi, est aussi le lieu d'ancrage des manoprotéines ;
- La couche externe, constituée de manoprotéines.

La membrane cellulaire est riche en stérols (ergostérol et zymostérol). De nombreux antifongiques interfèrent avec la synthèse de ces stérols, spécifiques de la cellule fongique et absents des cellules animales. D'autres antifongiques agissent également au niveau des constituants de la paroi, et dans certains cas à l'intérieur du cytoplasme ou du noyau.

3.2 Noyau

Un noyau de petite taille (éventuellement 2 : dicaryon) ;

3.3 Vacuole

Elle est centrale, repoussant le cytoplasme en périphérie ;

3.4 Réserves

Réserves de natures diverses mais le plus souvent :

- Ils stockent du glycogène ;
- Inclusions lipidiques dans le cytoplasme.

4 Thalle

Les thalles de champignons se distinguent des algues par l'absence de chlorophylle. Le thalle peut être :

4.1 Thalle unicellulaire

Le thalle unicellulaire constitue l'appareil somatique (ou végétatif). Le type unicellulaire est peu répandu et ne se rencontre que dans une partie des chytridiomycètes et ascomycètes

4.1.1 Champignons holocarpiques

Les champignons holocarpiques se transforment à maturité en un ou plusieurs organes reproducteurs ou bien ils donnent naissance à une partie reproductrice.

4.1.2 Champignons eucarpiques,

Les champignons eucarpiques formées de cellules unicellulaires peuvent être associées en colonies ex : les levures (**Figure 64**).

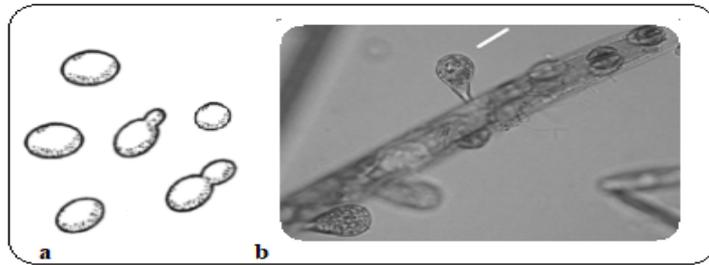


Figure 64. a : Thalle unicellulaire ; b : Champignons eucarpiques

4.2 Thalle pluricellulaire

Le thalle est généralement un thalle filamenteux : c'est un thalle constitué de filaments ramifiés latéralement, ou, par dichotomie, enchevêtrés les uns par rapport aux autres. L'ensemble des hyphes constitue le mycélium (**Figure 65 ; 66**).

- Hyphes non cloisonnés : Leur cytoplasme possède plusieurs noyaux. Des cloisons transversales existent seulement pour délimiter les organes reproducteurs ou pour séparer les parties jeunes au fur et à mesure du vieillissement du mycélium.
- Hyphes cloisonnés (**Figure 67 ; 68**) : Hyphes possèdent des cloisons cellulaires qui possèdent un pore simple ou bouché par des dépôts de matériel polysaccharidique ou de nature protéique (corps de woronin des Ascomycètes). Des nappes de réticulum endoplasmique peuvent être associés aux pores, formant un dolipore (Basidiomycètes). Ces pores interviennent directement dans la croissance de l'hyphe ; la partie active de l'hyphe étant la partie terminale.

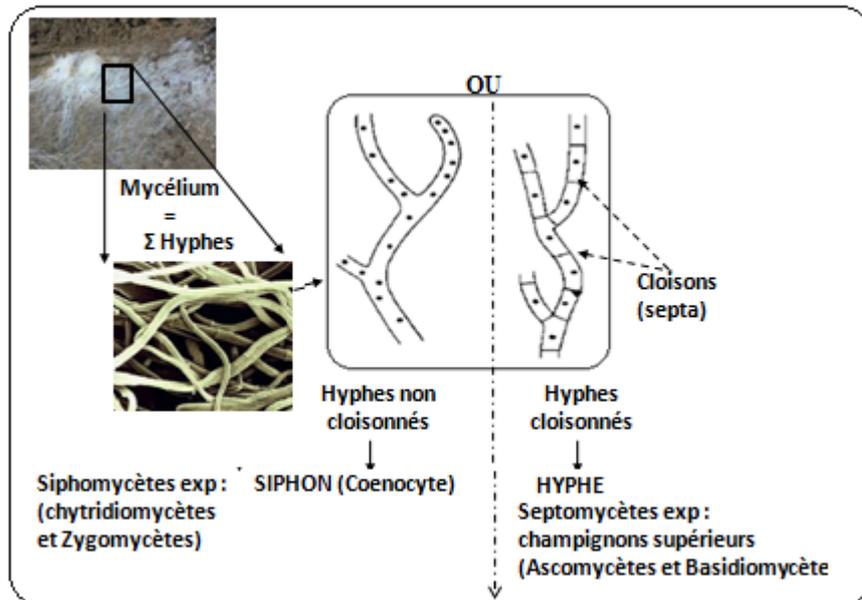


Figure 65. Formes des thalles chez les champignons

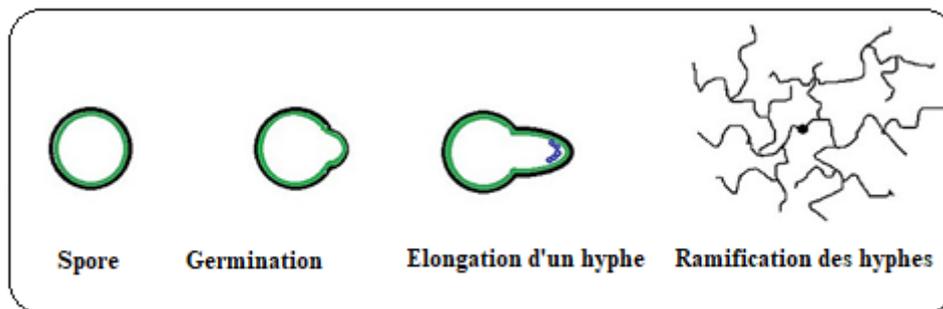


Figure 66. Etapes de formation des hyphes

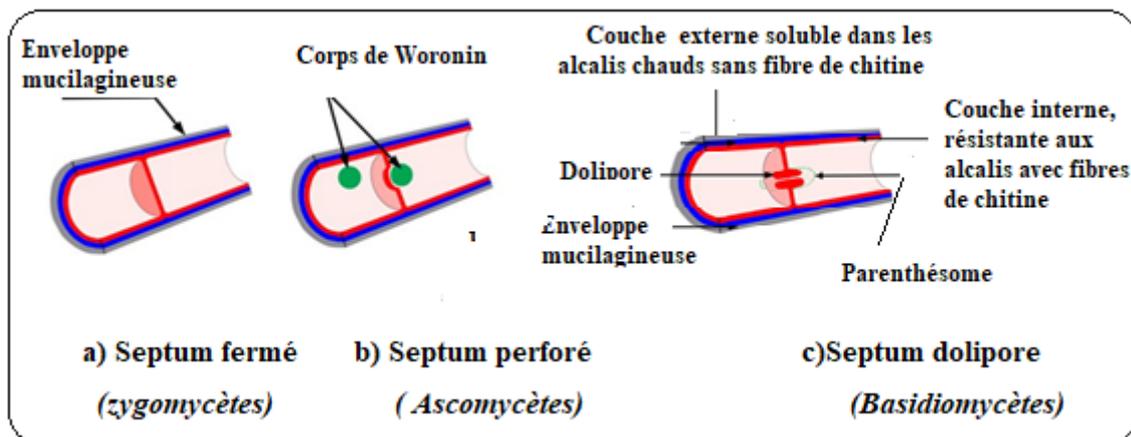


Figure 67. Différents types de septum

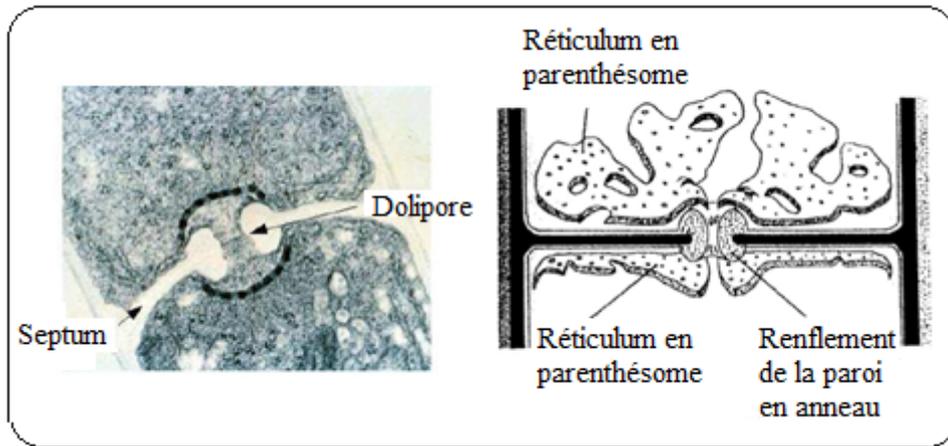


Figure 68. Dolipore chez *Rhizoctonia* (Basidiomycètes)

Le mycélium végétatif peut s'organiser pour donner un enchevêtrement de filaments plus ou moins soudés entre eux constituant ainsi un pseudo parenchyme. Sur ce pseudo tissu, s'organisent des structures de reproduction ou végétatives tels que les sclérotes ou les stromata (stroma au singulier) (**Figure 69 ; 70**).

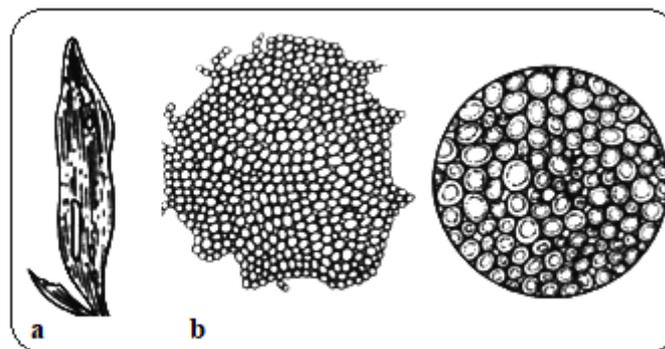


Figure 69. (a : Sclérote ; b : Section transversale au niveau du pseudoparenchyme)

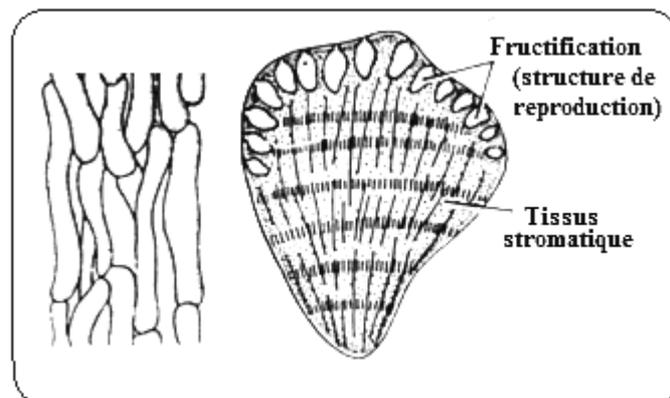


Figure 70. Stroma avec détail de tissu stromatique

5 Mode de vie

On distingue trois modes de vie :

5.1 Saprophytes

Les champignons exploitent les matières organiques des végétaux et animaux dont ils provoquent, avec l'aide de bactéries, la décomposition.

- Ils permettent le retour à l'état minéral de constituants essentiels.
- Aident à la formation de l'humus (terre provenant de la décomposition des végétaux) rendant le sol fertile ;
- Se trouvent dans tous les milieux : terrestres, eaux douces, eaux marines.

5.2 Parasites

Les champignons utilisent des matières organiques fabriquées par d'autres êtres vivants (végétaux, animaux et humains) qu'ils rendent malades, et peuvent même provoquer leur mort.

On les voit dans :

- Les mycoses des animaux ou de l'homme.
- Les maladies des plantes dont la rouille, carie, charbon, ergot des céréales, oïdium, mildiou.
- Les nécroses dont les taches, brunissement, chancre, fonte de semis, pourriture de la tige, gale.
- Les hyperplasies : divisions successives des cellules de l'hôte entraînant le nanisme des organes végétaux ou des organes entiers.
- Les hypertrophies : augmentation exagérée du volume des cellules de l'hôte, aboutissant à un gigantisme des organes végétaux ou de la plante entière.

5.3 Symbiotes :

Les 2 organismes vivent en symbiose à intérêt réciproque :

- **Lichen** : Champignons + Algue ;
- **Thé noir** (levure + Bactérie) : Champignons + Bactérie ;
- **Mycorhize** : Champignons + Plantes supérieures.

6 Rôle et effet

- Destructeurs de la matière organique morte.
- Participent aux cycles C, N, S, P donc à la fertilité des sols.
- Les enzymes de ces champignons sont utilisés industriellement.
- Producteurs d'antibiotiques, de protéines, d'alcaloïdes de stéroïdes, d'alcools, d'aldéhyde...
- Participent à la valorisation des denrées alimentaires (fermentation de pain, fromage, bière, vin...)
- Bio détérioration des appareils optiques, radio, glace, peinture, livres...
- Un apport important aux sciences fondamentales
 - En biologie moléculaire : c'est sur des champignons que le rôle de l'ADN dans la synthèse protéique a été mis en évidence (*Neurospora*, travaux de Beadle et Tatum) ;
 - La découverte de pénicilline chez le *pénicillium* et son mode d'action a permis de montrer que la synthèse de la paroi cellulaire est sous dépendance génétique ;
 - La découverte de l'aflatoxine chez l'*Aspergillus* responsable de cancer, permet d'étudier les mécanismes de cancérisation en laboratoire.

7 Le cycle biologique des champignons :

L'organe reproducteur qui porte les spores s'appelle la Fructification. Le cycle biologique des champignons peut se faire soit :

- En absence de fructifications, et dans ce cas la multiplication se réalise par les sclérotés ou par des fragments de mycélium ;
- Avec des fructifications uniquement asexuées ;
- Avec des fructifications uniquement sexuées ;
- Avec des fructifications sexuée et asexuée.

8 Reproduction

La reproduction des champignons est complexe, Elle peut être :

- Asexuée (anamorphe = forme asexuée de fructification) donnant des spores asexuées.
- Sexuée (téleomorphe = forme sexuée de fructification) aboutissant à la formation des spores sexuées.
- Certains champignons alternent entre ces types de reproduction.

8.1 Organes de production

8.1.1 Spore

La spore est une Structure de résistance permettant la dissémination rapide des champignons. Elle peut être mitotiques ou méiotiques.

8.1.2 Asque

L'asque est une cellule reproductrice des ascomycètes, à l'intérieur de laquelle se forme en général huit spores (ascospore : endospores).

8.1.3 Baside

La baside est une cellule spécialisée, terminée par un nombre variable de pointes (stérigmates), portant chacune une spore (basidiospore).

8.2 Reproduction asexuée

Les spores asexuées de forme variable, hyalines ou colorées, uni ou pluricellulaire se forme par :

8.2.1 Fragmentation du thalle

8.2.1.1 Arthrospores (Arthroconidies)

La reproduction asexuée par Arthrospores est réalisée par clivage de la paroi cellulaire ou du septum, pour former des cellules qui se comporteront comme des spores ;

8.2.1.2 Chlamydoconidies

La reproduction asexuée par les chlamydoconidies est réalisée dans le cas où les cellules sont enveloppées d'une paroi épaisse avant séparation.

8.2.2 Scission ou bourgeonnement

La reproduction asexuée par les blastospores, spores produites par bourgeonnement d'une cellule mère végétative.

8.2.3 Sporulation directe

8.2.3.1 Conidiospores (= conidies)

Les conidies (spores exogènes) sont formées sur des hyphes spécialisés nommés les conidiophores ;

8.2.3.2 Zoospores et Aplanospores

Les zoospores ou aplanospores sont formées à l'intérieur de sporocystes portés par un filament : les sporocystophores. Le contenu cytoplasmique du sporocyste se transforme à maturité soit en zoospores ou en aplanospores (**Figure 71**).

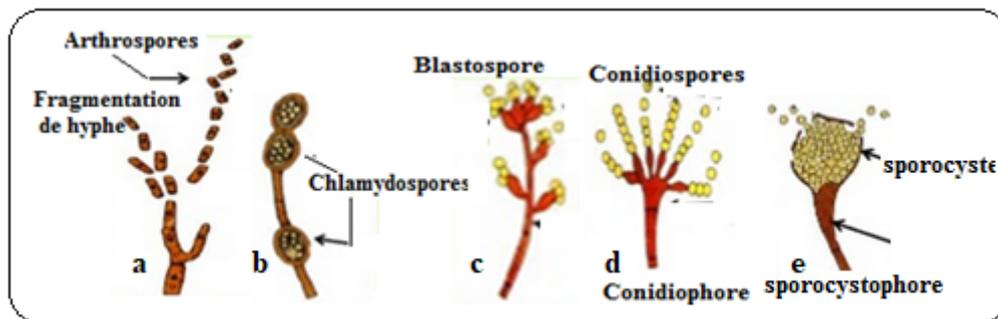


Figure 71. Formation des différents types de spores asexuées

8.3 Reproduction sexuée

Les organes de reproduction sexuée sont les gamétocystes à l'intérieur desquels se différencient des gamètes. On a : les Spermatocystes (Les gamétocystes mâles) et les Oogones qui peuvent être morphologiquement identiques ou différents.

9 Cycle des champignons

Le cycle des champignons comporte 3 phases :

9.1 Plasmogamie

La plasmogamie est la fusion des cytoplasmes de deux des 2 protoplasmes mâle et femelle, aboutissant à la formation de cellules binucléées (cellules à dicaryons) ;

9.2 Caryogamie

La caryogamie est la fusion des deux noyaux donnant un noyau diploïde ;

9.3 Méiose

La méiose est une division réductionnelle qui aboutit à la formation de 4 noyaux haploïdes.

10 Plasmogamie

On distingue 5 types de plasmogamie :

10.1 Planogamie (conjugaison planogamétique)

La planogamie est la Fusion de 2 gamètes dont l'un ou les deux sont mobiles (**Figure 72 a**).

10.2 Trichogamie (contacte gamétocystique)

La trichogamie est le contact du gamétocyste femelle avec le gamétocyste male sans fusion des protoplasmes. Les noyaux males migrent ensuite à travers un pore ou un tube de fertilisation ;

10.3 Cystogamie (conjugaison gamétocystique)

La cystogamie est la fusion de 2 gamétocystes, l'un mâle l'autre femelle, pour donner un zygote, qui peut se développer en spore de résistance (**Figure 72 b**).

10.4 Spermatisation

La spermatisation est la fusion du contenu d'une spore non mobile et uninucléé (spermatie) avec une cellule réceptive (**Figure 72 c**).

10.5 Perittogamie (somatogamie)

La Perittogamie est la fusion de 2 cellules somatiques équivalentes (**Figure 72 d**).

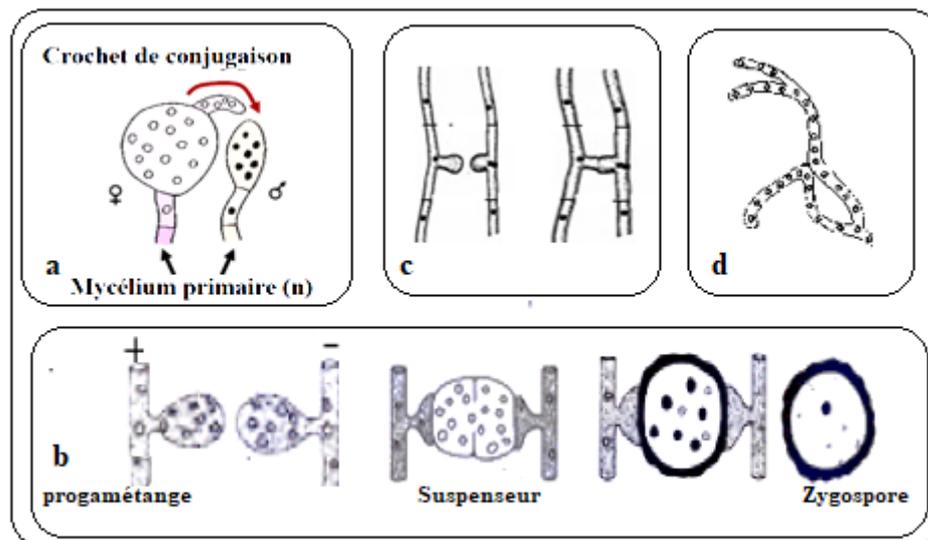


Figure 72. Modes de fécondation (a : planogamie ; b : cystogamie ; c : spermatisation ; d : perittogamie)

11 Notion de compatibilité : Sur la base de la compatibilité sexuelle on distingue :

11.1 Homothalliques

Une espèce est dite homothallique lorsque sa reproduction sexuée est produite par la même souche /thalle.

11.2 Hétérothallique

Une espèce est dite espèce hétérothallique quand la reproduction sexuée est produite par deux thalles distincts.

12 Spores sexuées

Selon les groupes de champignons on distingue :

12.1 Oospores

Les oospores se forment par contact gamétocystique entre 2 gamétocytes morphologiquement différents. Le spermatocyste et l'oogone qui contient 1 ou plusieurs gamètes appelés Oosphères. Au cours de la fécondation le spermatocyste s'applique contre l'oogone et émet un tube copulateur par lequel un ou plusieurs noyaux s'introduisent et fusionnent avec le ou les oosphères pour donner naissance à un ou plusieurs zygotes qui se développent en oospores. Ils caractérisent les Oomycètes (**Figure 73**).

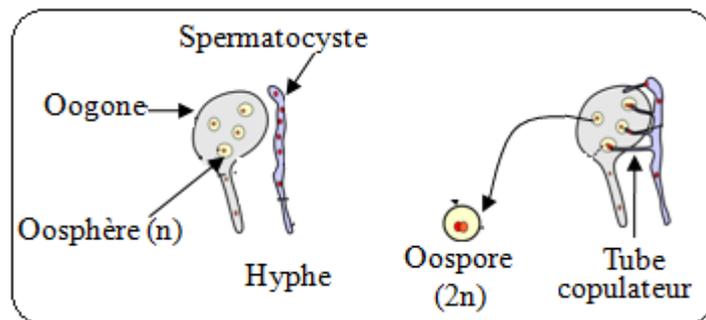


Figure 73. Formation de l'oospore

12.2 Zygosporés

C'est la conjugaison gamétocystique entre 2 gamétocytes semblables qui fusionnent pour donner une zygosporé. Présente chez les zygomycètes (**Figure 74**).

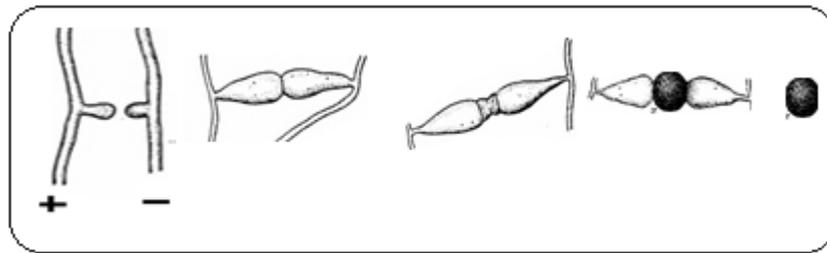


Figure 74. Formation de zygospores

12.3 Ascospores

Les ascospores se forment de manière endogène dans un asque. Elles prennent naissance généralement à partir d'un hyphe ascogène dont les noyaux de la cellule terminale dicaryotique subissent une caryogamie puis une méiose suivie d'une mitose donnant ainsi 8 noyaux haploïdes qui évoluent en 8 ascospores. Elles caractérisent les Ascomycètes (**Figure 75**).

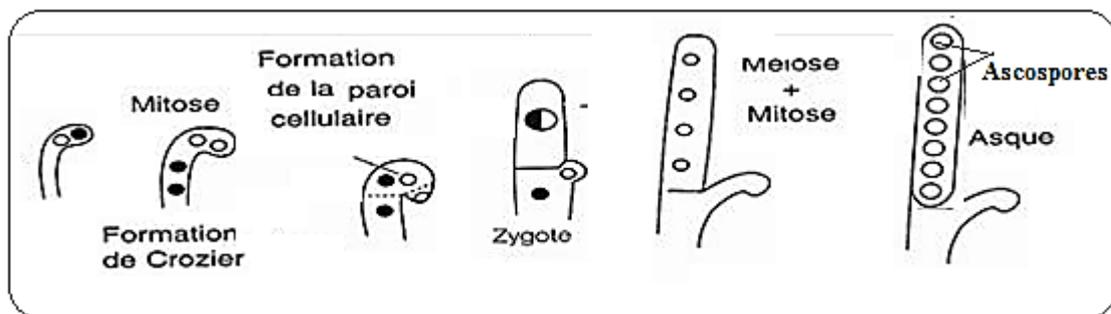


Figure 75. Formation d'ascospores

12.4 Basidiospores

Les basidiospores caractérisent les Basidiomycètes. Elles se forment d'une manière exogène sur une baside à partir d'hyphe dicaryotique dont les dicaryons subissent une caryogamie suivie d'une méiose donnant 4 noyaux haploïdes qui migrent à l'extrémité de stérigmates donnant 4 basidiospores (**Figure 76**).

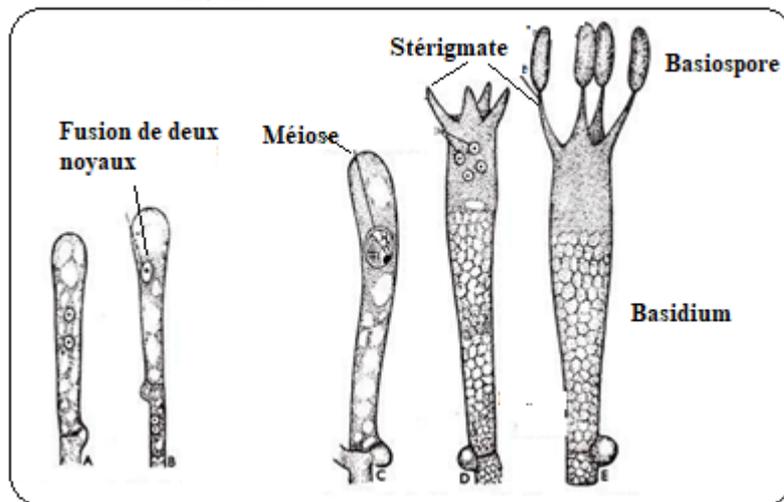


Figure 76. Formation de l'oospore basidiospores

13 Appareils sporifères

Les appareils sporifères sont d'origine :

13.1 Asexuée

Ce sont des filaments simples ou ramifiés + ou – différenciés appelés : Conidiophores qui portent des conidies ou sporocystophore portant des sporocystes. Les filaments peuvent s'agréger en stroma qui porte des conidiophores. Selon la morphologie du stroma on distingue :

13.1.1 Sporodochies

Le stroma est étalé en coussinet recouvert de conidiophores.

13.1.2 Acervule

L'agrégation d'hyphes sous cuticulaires ou sous épidermiques portant des conidiophores.

13.1.3 Pycnide

Le stroma est creux, en forme de sphère ou de bouteille fermée ou pourvu d'un ostiole.

13.2 Sexuée

Le stroma est tapissé par une couche fertile appelé hyménium et constitué selon le groupe de champignons par des asques ou des basides. Selon la morphologie des stromas on distingue les appareils suivants chez :

13.2.1 Ascomycètes

Les Ascomycètes sont :

13.2.1.1 Cleistothèce

Le cleistothèce est une ascocarpe entièrement fermée ;

13.2.1.2 Apothécie (pezize)

L'apothécie est une ascocarpe étalée en forme de disque ou de soucoupe. Complètement ouverte ;

13.2.1.3 Locule

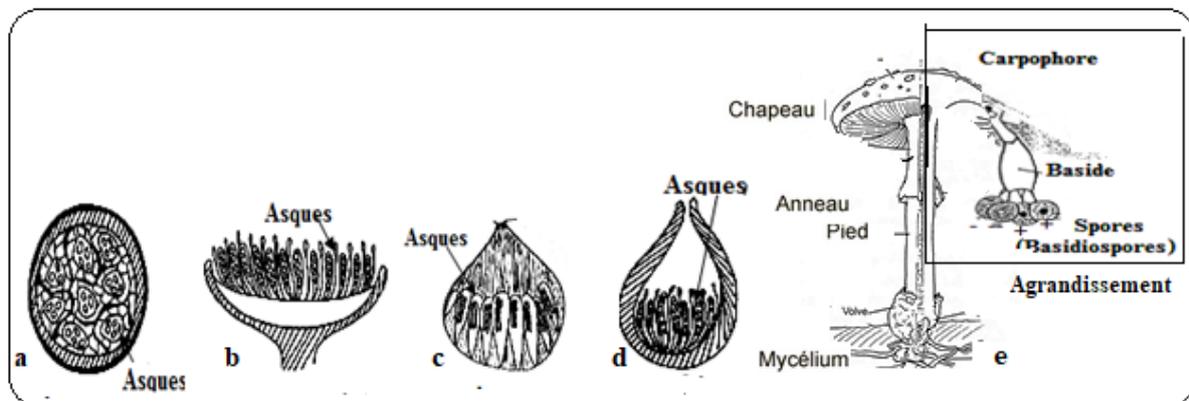
Le locule est une ascocarpe stomatique portant des asques dans les locules ne possédant pas de paroi propre ;

13.2.1.4 Périthèce

Le périthèce est une ascocarpe pourvue d'un pore ou d'un ostiole et possédant sa paroi propre.

13.2.2 Basidiomycètes

La baside est produite au niveau d'un appareil appelé basidiocarpe. Exemple : Le carpophore des champignons macroscopiques (**Figure 77**).



Figures 77. Origine des Appareil sporifères des champignons (a : cleistothèce ; b : apothécie ; c : locule ; d : périthèce ; e : basidiocarpe)

B. Les lichens

1 Classification

L'ancienne classification de Zahlbruckner (1907 - 1926) garde une valeur pratique face aux classifications récentes incomplètes des lichens (mycobiote). Elle sépare les lichens, considérés comme une classe, en deux sous classes :

- Les Ascolichenes (le champignon est un ascomycète) : comprenant environ une cinquantaine de familles ;

- Les Basidiolichenes (le champignon est un basidiomycète) : avec seulement 3 genres et moins de 20 espèces tropicales.

La systématique moderne montre que les lichens ne constituent pas une unité taxonomique spécifique, mais résultent de processus de lichénisation qui affecte plus de 20% des champignons actuellement connus comme des champignons lichénisés.

2 Ecologie

Les lichens se développent dans les milieux les plus divers dans le monde entier, sous toutes les altitudes, même les plus hautes. Ils colonisent souvent les substrats naturels ou artificiels très ingrats, vivant dans des conditions que ni les gonidies ni le mycélium ne supporteraient s'ils étaient seuls.

Les lichens ont une propriété de reviviscence très grande. En effet, ils ont le pouvoir de passer très rapidement de l'état sec à l'état humide en quelques minutes. C'est plus un phénomène physique que physiologique. L'absorption d'eau se fait par toute la surface du thalle. Les lichens sont bien adaptés à des variations hydriques de courte durée et peuvent résister à des très fortes dessiccations (2% de teneur en eau).

Ils résistent aux températures extrêmes en particulier les basses températures (-70°C). C'est pourquoi les régions du nord et les hautes montagnes sont riches en lichens. Ce sont aussi des bio indicateurs de pollution car sensibles à celle-ci.

3 Usage

Les lichens renferment une substance amylacée mucilagineuse, la lichénine, à laquelle on reconnaît des propriétés nutritives et médicamenteuses.

Sur le plan alimentaire quelques espèces sont utilisées dans l'alimentation de certains animaux.

Sur le plan industriel, ils fournissent des matières colorantes et certaines espèces sont utilisées comme émulsifiants et épaississants.

La principale utilisation des lichens reste leur usage en parfumerie. *Evernia prunastri* (mousse de chêne) donne des parfums à odeur de Chypre, de fougère et d'Orient.

4 Définition

Le lichen est représenté par plus de 18.500 espèces. Il résulte de l'association symbiotique entre les partenaires :

- a) Fongique, hétérotrophe. Des ascomycètes qui sont retrouvées chez environ 98% des lichens (donnant naissance aux Ascolichenes), ou des basidiomycètes du groupe des polypores, retrouvés chez environ 2% des lichens.
- b) Chlorophyllien, autotrophe, qui correspond soit :

- **Des algues procaryotes :**

Les cyanobactéries sont retrouvées chez environ 10% des lichens et appartiennent le plus souvent aux genres *Nostoc* et *Scytonema*.

- **Des algues eucaryotes :**

Les algues vertes sont retrouvées chez environ 80% des lichens (la Chlorophyceae est une chlorococcale)

- **Algues eucaryotes + cyanobactéries**

L'association est formée de 3 partenaires sont associés dans 5% des cas accompagné par une cyanobactérie

5 Critères d'identification des lichens

- Type du thalle : foliacé, crustacé ou fruticuleux ;
- Couleur du thalle : jaune, orangé, vert, vert bleu, brun ;
- La forme, la couleur et la localisation des organes portés par le thalle : Poils, cils ; rhizines, isides, sorédies et céphalodies... ;
- Appareil reproducteur : apothécie, périthèce, asques, paraphyses et ascospores.

6 Structure des lichens

Le lichen est un organisme autotrophe, Dans la construction du thalle, l'algue est représentée par des cellules ou gonidies et le Champignon est représenté par des hyphes. Trois lichens représentent les associations symbiotiques lichéniques dans leur diversité

- *Ophioparma ventosa* : elle est majoritaire. Elle associe un ascomycète à une algue verte du genre *trebouxia* (Figure 78a).
- *Lichina pygmaea* : elle réunit un ascomycète et une cyanobactérie (genre *calothrix*) (Figure 78b).
- *Dictyonema glabratum* : elle est minoritaire. Elle contient un basidiomycète et une cyanobactérie (*chroococcus*) (Figure 78c).



Figure 78. Associations symbiotiques lichéniques

Les observations au microscope électronique ont apporté des précisions sur les relations cytologiques. Il s'agit d'une pénétration de suçoirs fongiques dans les cellules de l'algue. Sur le plan physiologique, les hyphes, grâce aux gonidies, disposent d'une source de glucides. Les gonidies sont ravitaillées en eau et en sels minéraux par l'intermédiaire de mycélium (Figure 79).

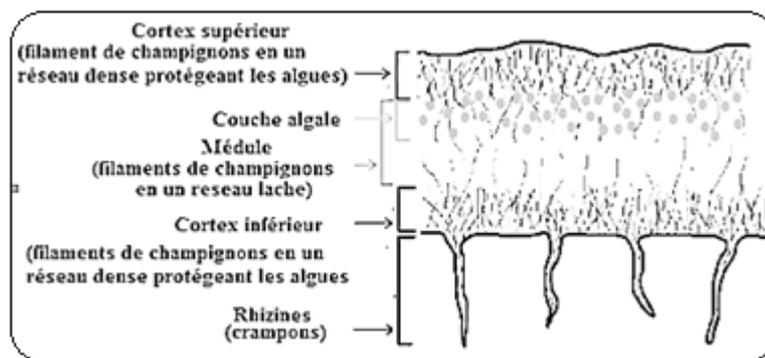


Figure 79. Structure des lichens

7 Types des thalles (morphologie et structure)

On distingue deux types de lichens

7.1 Lichens gélatineux

Les Lichens gélatineux fixés sur des rochers calcaires possèdent la consistance et l'apparence de la gélatine. A l'état sec, ces thalles sont noirâtres, rigides, cassants et friables. En présence d'eau, ils gonflent pour donner des masses gélatineuses (existence d'une gaine mucilagineuse) (**Figure 80a**). Ils contiennent des cyanobactéries, uniformément réparties dans toute l'épaisseur du thalle (pas de stratification dorsi-ventrale) Ex : *Collema pulposum*, *Ephebe*, *Leptogium*, *Lichina*. (**Figure 80b**).

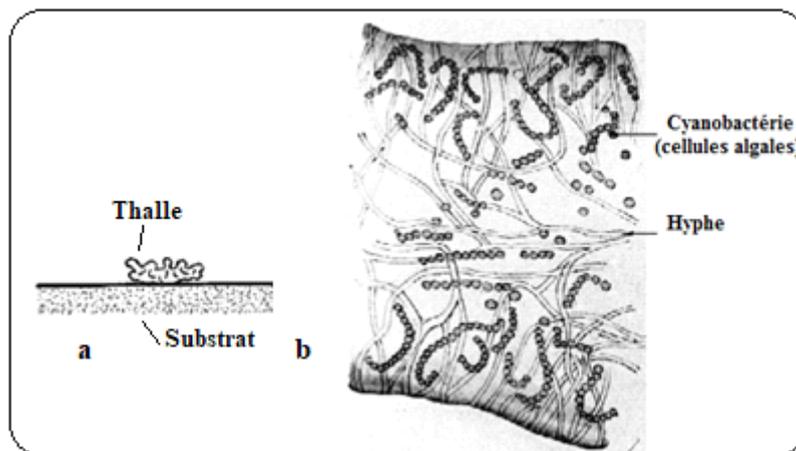


Figure 80. a : fixation du thalle sur le substrat ; b : Structure d'un thalle gélatineux

7.2 Lichens secs

Comportent plusieurs types

7.2.1 Crustacés

Les thalles crustacés présentent plus de 4/5 des lichens. Ils forment une croûte fortement adhérente au substrat dans lequel pénètrent les hyphes de la médulle (pas de cortex inférieur). En fonction de sa position vis-à-vis du substrat, le thalle crustacé peut être :

- Plaqué sur la surface du substrat difficilement détachable (**Figure 81a**).
 - Épisubstratique.
 - Épiphléode dans le cas d'un lichen corticole.
 - Épigé pour un lichen terricole.
- Incrusté dans le substrat (**Figure 81b**).
 - Endosubstratique.

- Endopléode.
- Endogé pour un lichen terricole.

Les thalles crustacés contiennent parfois, sous la médulle, un hypothalle visible à la périphérie du thalle où il peut former des zones concentriques plus ou moins colorées. Ex : *Lecanora*, *Ochrolechia*, *Pertusaria* (**Figure 81c**).

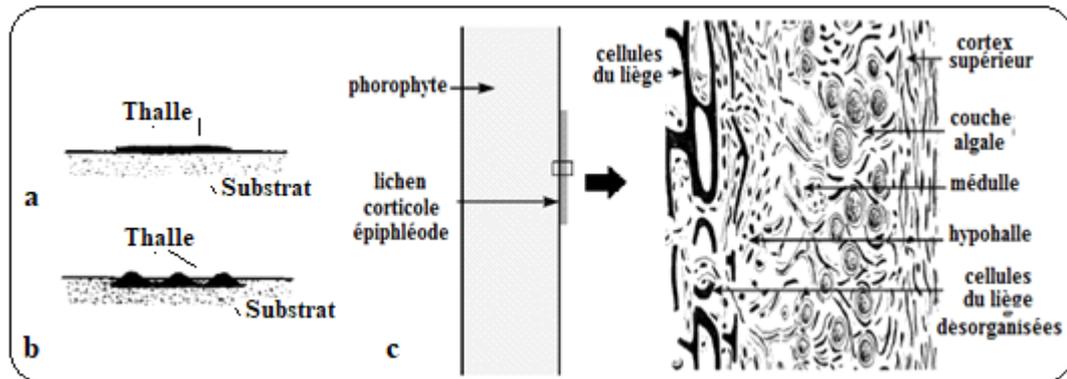


Figure 81. Fixation [a : plaqué sur la surface ; b : Incrusté dans le substrat] ;
c : Structure d'un thalle des Crustacés

7.2.2 Thalles Foliacés

Les thalles foliacés forment des lames (apparence de feuille) plus ou moins lobées. Ils sont fixés sur les écorces des arbres isolés riches en poussières, parfois en quelques points seulement, par des crampons nombreux par une petite zone (ombilic) souvent située au centre de la face inférieure (**Figure 82a ; b ; c**).

La plupart des thalles foliacés présentent une structure de type hétéromère avec une disposition dorsi – ventrale où l'on peut distinguer : un cortex supérieur ; une couche algale (algues vertes ou cyanobactéries) ; une médulle : hyphes lâches et un cortex inférieur (hyphes serrées donnant naissance à des rhizines. Ex : les *Parmelia*, *Xanthoria*, *Physia* (**Figure 82d**).

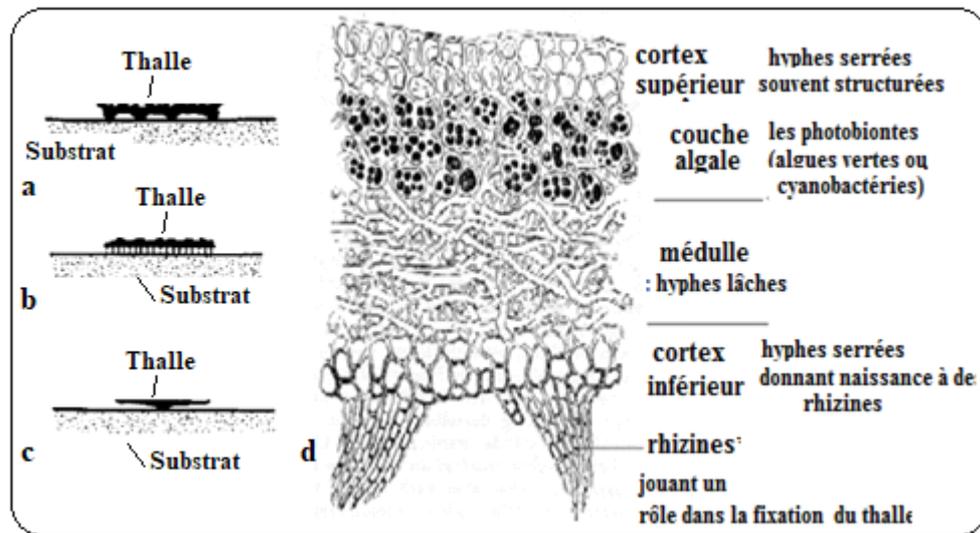


Figure 82. Fixation de thalle [a : quelques points ; b : par une petite zone ; c : par une petite zone (ombilic)] ; d : structure dorsi – ventrale d'un thalle foliacé

7.2.3 Thalles Fruticuleux

Les thalles Fruticuleux sont plus ou moins buissonnants, dressés, pendants ou prostrés, plus ou moins ramifiés, à section ronde ou aplatie (*Evernia*, *Ramalina* par exemple) et parfois cannelés ou canaliculés. On peut souvent distinguer un tronc principal et des rameaux (primaire et secondaires) parfois non ramifiés comme chez les *Thamnolia* (**Figure 83a ; b ; c ; d**).

La coupe anatomique a montré que le thalle est hétéromère et présente une symétrie plus ou moins radiale avec le cortex périphérique. Il présente une couche algale autour de la médulle centrale et la partie centrale de la médulle est occupée par un cordon axial. Ex : *Usnea*, *Cladonia rangiferina*. Certaines espèces (*Pseudevernia furfuracea* par ex.) présentent une organisation dorsi-ventrale comme chez les lichens foliacés (**Figure 83e**).

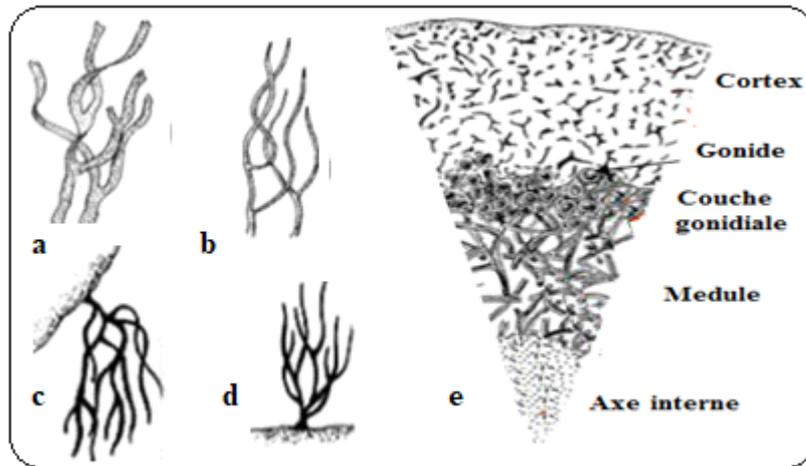


Figure 83. Modes de fixation [a : thalle en lanières ; b : thalle en tiges ; c : thalle pendant, d : thalle dressé ombiliqué], e : Structure hétéromère du thalle radié (*Usnea*)

7.2.4 Thalle des Composites

Les thalles des composites présentent deux types de thalles : un thalle primaire plus ou moins foliacé, squamuleux qui se trouve au niveau du substrat et un thalle secondaire dressé, ramifié, qui se développe secondairement à partir du thalle primaire (Crustacé ou foliacé). Le thalle secondaire dressé appelé podétion porte la fructification du champignon. (Sporogènes) Ex : *Cladonia*, *Stereocaulon* (**Figure 84**).

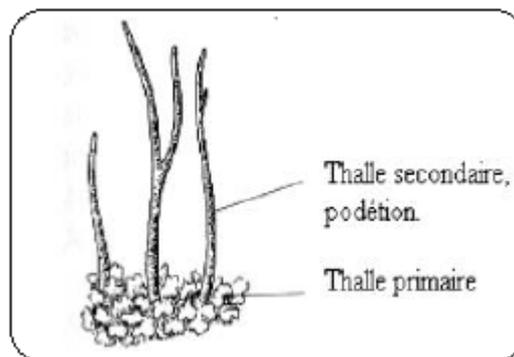


Figure 84. Morphologie du thalle des Composites

7.2.5 Thalles lépreux

Les thalles lépreux, considérés comme primitifs, parviennent à constituer de grandes surfaces farineuses (association plus ou moins cohérente de granules (0,1-0,2 mm)). Ils sont constitués chacun d'un peloton d'hyphes associé à quelques cellules algales, surtout sur des substrats protégés des eaux de ruissellement et ombragés. Ex : les thalles des *Lepraria*, *Chrysothrix candelaris* (**Figure 85**).

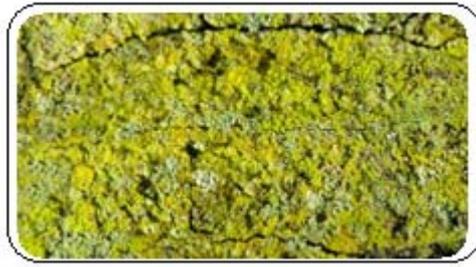


Figure 85. Thalles lépreux

7.2.6 Thalles squamuleux

Les thalles squamuleux sont intermédiaires entre les thalles crustacés et les thalles foliacés. Ils sont formés de petites écailles qui se chevauchent partiellement. La partie de l'écaille décollée du substrat commence à différencier un cortex inférieur Ex : *Normandina pulchella* (**Figure 86**).

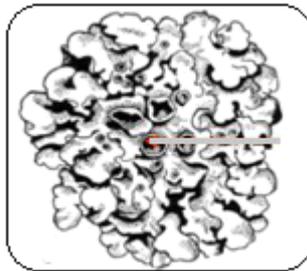


Figure 86. Thalles squamuleux

8 Reproduction

8.1 Reproduction sexuée

Le champignon est le seul qui présente une reproduction sexuée avec formation de fructification sur le thalle du lichen, en général des apothécies qui sont de deux types :

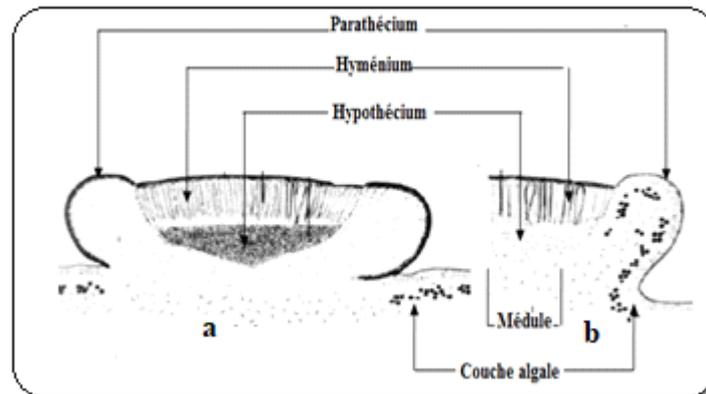
8.1.1 Apothécie dite lécanorine

Présente un bord thallin avec : un parathécium, un amphithécium et un hypothécium, où toutes les parties supérieures du thalle forment l'apothécie. L'hyménium, formé par des asques contenant des ascospores, tapisse l'apothécie. Exemple : *Lecanora*. (**Figure 87a**).

8.1.2 Apothécie dite lécidéine (biatorine)

Présente un bord propre avec un hypothécium (seule la médulle forme l'apothécie). Ex : *Lecidea* (**Figure 87b**).

Deux hyphes fongiques sexuellement différenciées fusionnent et donnent, à la surface du thalle, des structures en forme de boutons (les apothécies), ou des coupes plus ou moins fermées (les périthèces), dans lesquelles des cellules particulières (les asques) vont élaborer les ascospores (en général 8 spores). Après leur libération, ces spores issues d'une reproduction sexuée, germent et donnent des hyphes qui capturent des algues pour pouvoir redonner un nouveau thalle lichénique.



Figures 87. Types de fructification (a : lécanorine; b : lécidéine)

8.2 Reproduction asexuée

L'algue et le champignon produisent des propagules permettant la production directe du lichen. Ce sont les :

8.2.1 Soridies

Les soridies sont constituées par des gonidies et des hyphes qui reproduisent directement le thalle sur le substrat (**Figure 88a**).

8.2.2 Isidies

Les isidies sont des éclatements du thalle, sorte de bourgeonnement ayant la structure de ce thalle et qui sont libérés pour reconstituer le thalle (**Figure 88b**).

8.2.3 Céphalodies

Les céphalodies sont des structures ressemblant à des apothécies dans lesquelles l'algue est toujours une cyanobactérie alors que le thalle du lichen renferme une chlorophyceae. Cet organe a peut-être un rôle trophique (**Figure 88c**).

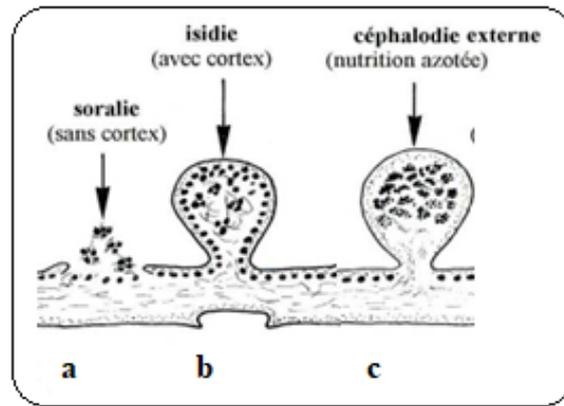


Figure 88. Types de propagules (a : sorédies; b : isidies, c : céphalodies)

CHAPITRE III

BRYOPHYTES

CHAPITRE III : LES BRYOPHYTES

Les Bryophytes (du grec Bruon= mousses), végétaux les plus primitifs des embryophytes se répartissent en trois groupes : Les Marchantiophytes (Hépatiques), les Anthocérotophytes et les Bryophytes (Mousses). Cette classification est basée sur leurs caractères communs : leur cycle de reproduction haplo-diplophasique à haplophase dominante, l'absence de lignine et le sporophyte jamais ramifié.

1 Classification

Division des *Bryophyta*

- Classe des *Bryopsida*
- Classe des *Sphagnopsida*
- Classe des *Andreaeopsida*

Division des *Hepaticophyta*

- Classe *Marchantiopsida*
- Classe *Jungermanniopsida*
- Classe *Haplomitriopsida*

Division des *Anthocerotophyta*

- Classe *Anthocerotopsida*

2 Caractères généraux

Une des principales caractéristiques des bryophytes est leur petite taille. Elles occupent des habitats très variés à l'exception du milieu marin, (Dans les milieux terrestres), mais se développent dans les endroits humides à l'abri du soleil direct, dans les sous-bois, dans les murs, etc... Ces végétaux réagissent très finement aux microconditions du milieu et constituent donc la plupart du temps de bons bioindicateurs.

Contrairement aux plantes à fleurs, les bryophytes sont dépourvues de racines et de vaisseaux conducteurs (non vasculaires). Elles possèdent à la place des racines des rhizoïdes lui permettant l'adhésion au substrat, et absorbent l'eau et les sels minéraux par diffusion à travers l'ensemble de toute la surface de la plante. Elles peuvent survivre à de longues périodes de dessiccation et présentent une surprenante reviviscence par temps humide.

Elles participent à la formation de l'humus, permettant ainsi aux végétaux plus exigeants de s'installer à leur tour. Les bryophytes sont des plantes photosynthétiques, chlorophylliennes. Bien que, chez les bryophytes, la couleur verte domine, elles peuvent aussi être jaunes, rouges, brunes, dorées, ou noires.

3 Appareil végétatif

L'appareil végétatif des bryophytes est un cormus, mais celui-ci est dépourvu de racines. Il porte des rhizoïdes unicellulaires chez les Marchantiophytes et des rhizoïdes pluricellulaires chez les Anthocérotophytes et les Bryophytes.

La morphologie des trois groupes est variable. L'appareil végétatif est :

- Un cormus ou thalle chez les Marchantiophytes (Hépatiques) ;
- Un thalle chez les Anthocérotophytes ;
- Un cormus chez les Bryophytes (Mousses).

4 Appareil de reproduction

Les bryophytes (sensu lato) se reproduisent par voies sexuée et asexuée.

4.1 Reproduisent par voie asexuée

Elle se réalise par :

- Fragmentation du gamétophyte ;
- Formation d'organes de dissémination spécialisés nommés propagules (massifs de cellules, parfois cellules isolées) de formes variées et pouvant se former sur des feuilles et les tiges.

4.2 Reproduisent par voie sexuée

Le gamétophyte (plante feuillée ou thalle) porte les anthéridies et les archégones (organes sexuels mâles et femelles) (**Figure 89**), donnant un zygote après fécondation. Celui-ci se développe dans l'archégone en un sporophyte. Ce sporophyte est formé d'un sporange appelé sporogone (capsule) qui produit des spores. Ces spores germent pour donner un protonéma sur lequel se développe le gamétophyte.

Le cycle de développement des bryophytes (sensu lato) présente une alternance régulière de phase : une phase haploïde représentée par le gamétophyte dominant et une phase diploïde constituant le sporophyte qui se développe sur le gamétophyte (**Figure 90**).

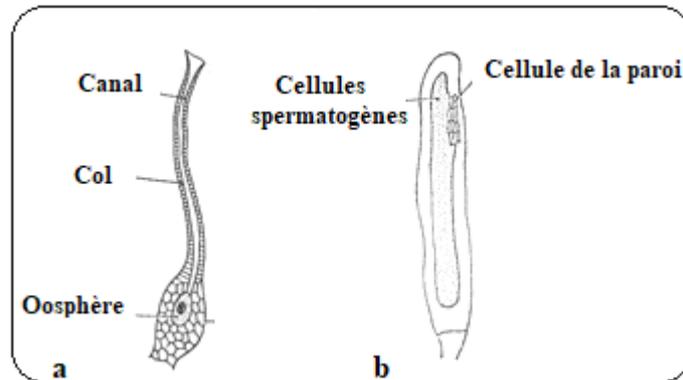


Figure 89. Organes de reproduction de (a : archégone ; b : anthéridie) des bryophytes

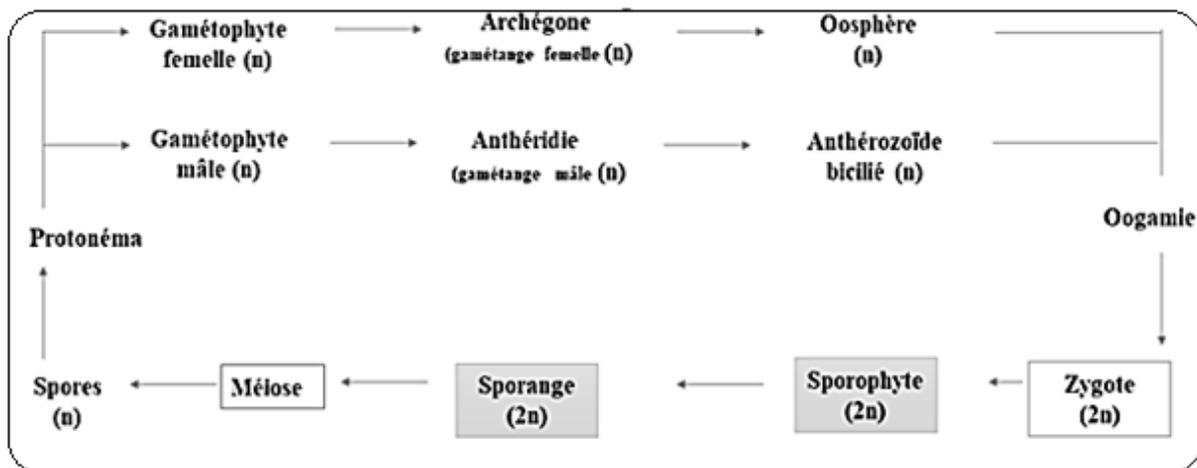


Figure 90. Cycle de développement des bryophytes

5 Marchantiophytes (Hépatiques)

5.1 Caractères généraux

Les Marchantiophytes (6000 à 8000 espèces) sont de petites plantes sans racines ni système vasculaire. Leur appareil végétatif est variable. Il se présente sous deux formes : sous forme d'une lame plus ou moins différenciée (Hépatiques à thalle) (**Figure 91a**), ou bien sous forme de tige feuillée (Hépatiques à feuilles) (**Figure 91b**), à symétrie bilatérale, souvent petite ne portant pas de bourgeons à ses essilles.

Les organes sexuels des hépatiques sont portés soit à l'extrémité antérieure de la plante, soit dorsalement. La capsule du sporophyte est simple sans columelle, elle s'ouvre par quatre valves dont les élatères (cellules particulières) se développent entre les spores et facilitant la dissémination.

Le gamétophyte porte des rhizoïdes unicellulaires. L'épiderme supérieur est dépourvu de stomates mais possède des pores permettant les échanges gazeux(**Figure 92b**)..

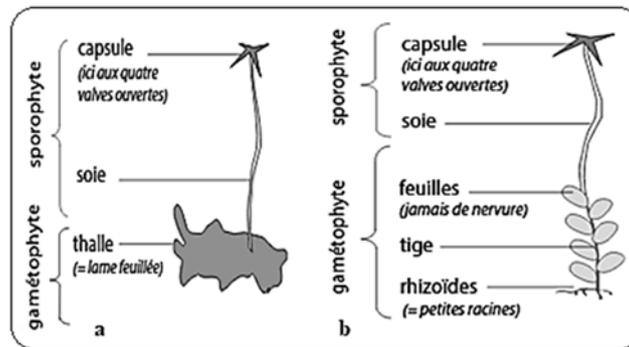


Figure 91. (a : Hépatiques à thalle ;
b : Hépatiques à tige feuillée)

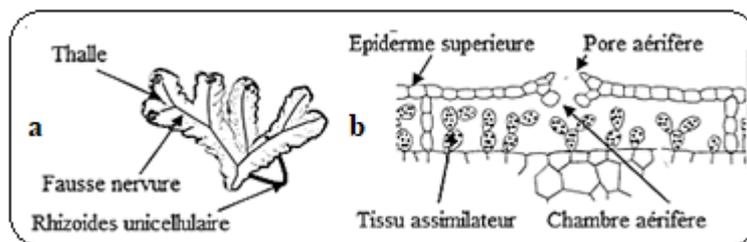


Figure 92. Morphologie (a) et Coupe transversale du thalle (b) de Marchantiophytes

5.2 Reproduction

5.2.1 Reproduction sexuée

Les thalles en croissance produisent des gamétangiophores (Anthéridiophores, archégoniophores). Sur les Anthéridiophores se différencient des anthéridies (gamétanges mâles) enfoncées dans des cavités à la face supérieure. L'éclatement des anthéridies libère les anthérozoïdes. Sur les archégoniophores se développent des archégonies (gamétanges femelles) enfoncés dans des cavités situées sur la face inférieure.

Les archégonies et les anthéridies (**Figure 93a ; b**) proviennent de la différenciation de cellules épidermiques. L'œuf fécondé (zygote) issu d'une oogamie se développe à l'intérieur de l'archégonie donnant un sporophyte femelle. Le cycle de vie est représenté (**Figure 94**).

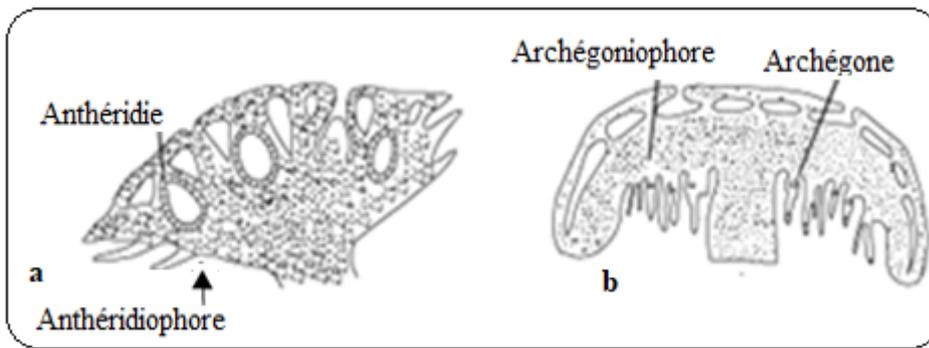


Figure 93. Structure des gamétangiosphères (a : anthéridiophore ; b : archégoniophore) chez les Marchantiophytes

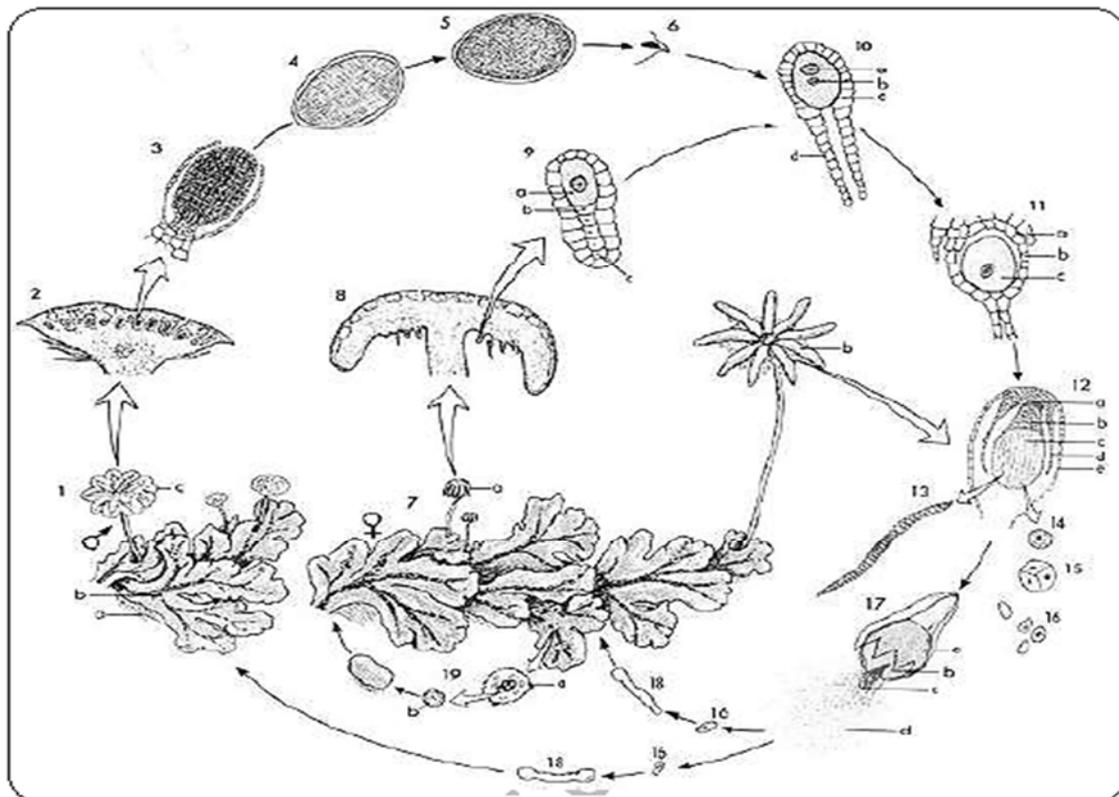


Figure 94. Cycle de vie chez *Marchantia polymorpha*

1 Thalle (gamétophyte) - a Rhizoïdes . b Corbeille à propagules c Anthéridiophore	12 Archégone développé a Pied b Soie c Capsule d Ventre e Coiffe (involucre)
2 Anthéridiophore	13 Elatère
3-5 Anthéridie	14 Cellule-mère de spore
6 Anthérozoïde	15 Tétrade
7 Thalle (gamétophyte) a Jeune archégoniophore b Archégoniophore mature	16 Spores
8 Archégoniophore	17 Sporophyte déhiscent a Coiffe (involucre) b Capsule c Elatères d Spores
9 Archégone a O(v)osphère b Cellule ventrale du canal du col c Cellule apicale du canal du col	18 Spore germant
10 Archégone a Noyau de l'o(v)osphère b Noyau de l'antherozoïde c Ventre de l'archégone d Col de l'archégone	19 Cycle de reproduction asexuée a Corbeille à propagules b Propagule
11 Archégone a Coiffe (involucre) b Ventre c Zygote	

5.2.2 Reproduction asexuée

La multiplication végétative est très importante. Elle est assurée par les Propagules. Ce sont de petits amas de cellules, qui se trouvent dans des replis épidermiques appelés corbeilles à propagules. Elles se dispersent par le vent, la pluie ou même les insectes, et peuvent donner de nouveaux thalles par reproduction végétative.

6 Anthocérotes (Anthocérophytes)

Les anthocérotes sont peu nombreux avec 150 espèces dans le monde réparties entre 4 genres. Ils ressemblent aux hépatiques, mais ils diffèrent par leurs sporophytes dont la capsule est allongée comme une corne (**Figure 95**). Cette classe comprend seulement l'ordre des Anthocérales. Certaines espèces tropicales sont épiphytes, sur les feuilles, les rameaux ou des troncs d'arbres.

6.1 Caractères généraux

- Cloisonnement du zygote.
- Croissance continue du sporophyte (présence de méristème).
- Sporophyte cylindrique.
- Présence de columelle.
- Présence de stomates au niveau de la capsule.
- Ouverture de la capsule par deux valves.
- Un plaste unique par cellule et présentant un pyrénociste.
- Présence de pseudo-élatères formés de 4 cellules.
- Différenciation des anthéridies à partir des cellules sous épidermiques.
- Protonéma filamenteux puis thalloïde.

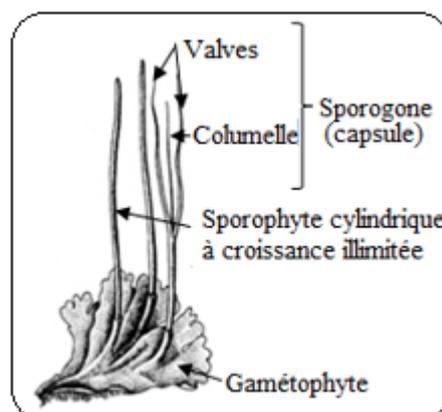


Figure 95. Morphologie d'Anthoceros laevis (Anthocérotes)

6.2 Reproduction

6.2.1 Reproduction asexuée

La reproduction asexuée se fait par des propagules comme chez les hépatiques

6.2.2 Reproduction sexuée

Le thalle d'Anthocérotes (phase dominante) est monoïque, à croissance dichotome. Grâce aux gouttelettes d'eau, les spermatozoïdes issus des anthéridies (gamétanges mâles) sont transportés jusqu'à l'archégone (gamétanges femelles) qui l'inclut dans le thalle.

Le zygote se forme après la fécondation (oogamie) dans l'archégone, puis subit des mitoses pour former un sporophyte diploïde ($2n$). Le sporophyte contient des sporanges contenant les cellules mères des spores qui, par méiose, vont donner des spores haploïdes (n). Le sporophyte ou sporogone est linéaire, au centre il y'a une colonne : la columelle avec des spores organisées en tétrades. Il va s'ouvrir par deux fentes longitudinales et quand les conditions sont favorables, les archéospores germent et engendrent un protonéma qui se développe en gamétophyte haploïde qui va développer des gamétanges (anthéridies et archéogones). Le cycle de cette espèce est digénétique haplodiplophasique (**Figure 96**).

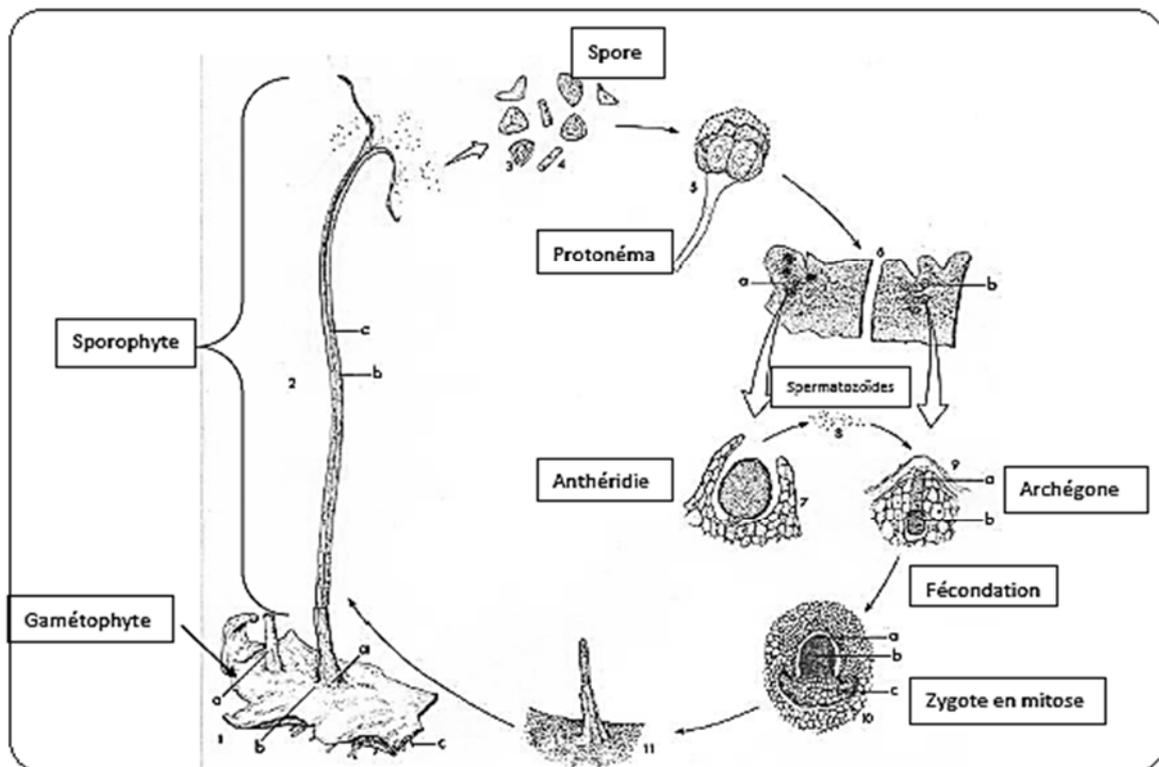


Figure 96. Cycle de vie des Anthocérotes

7 Mousses (Muscinées) (Bryophytes)

Les Mousses sont les plus répandues et les plus riches en espèces (13 500 espèces). On les rencontre dans le monde entier.

7.1 Caractères généraux

- Présence d'un protonéma bien développé filamenteux.
- Gamétophyte différencié en tige feuillée à symétrie radiale.
- Présence de rhizoïdes multicellulaires.
- Présence de stomates au niveau de la capsule.
- Présence d'un système vasculaire non lignifié (hydroïdes, leptoides).
- Les tissus conducteurs sont constitués de cellules allongées à paroi inégalement épaissie, présentant parfois de véritables pores.
- Des cellules spécialisées dans la conduction de l'eau (hydroïdes) forment le cylindre central.
- Elles sont entourées d'un manchon de cellules spécialisées dans la conduction de la sève élaborée (leptoïdes).
- Les sporophytes de quelques mousses différencient de véritables stomates.

7.2 Classification

Les mousses comportent 3 ordres qui diffèrent par des caractères morphologiques et anatomiques :

7.2.1 Bryales

Les Bryales (**Figure 97a**) est le groupe des mousses le plus riche avec plus de 15000 espèces. Il est formé d'un gamétophyte de couleur verte claire de 2 à 3 m de haut, formé de rhizoïde, poil filamenteux permettant à la mousse de se fixer sur le substrat et d'absorber l'eau les sels minéraux. La tige porte des feuilles en spirale tout autour d'elle. Elle peut être dressée ou couchée. Cette tige porte des feuilles photosynthétiques.

Le sporophyte est formé de pédicelle ou soie : axe long et mince supportant la capsule et permettant son alimentation en substances nutritives. La capsule qui est un organe creux comporte des spores qui s'ouvrent pour libérer les spores matures servant à la reproduction.

7.2.2 Sphagnales

L'ordre de Sphagnale (**Figure 97b**) contient une seule famille, les Sphagnacées, et un seul genre, le Sphagnum, avec 300 espèces. Il est très utilisé dans l'industrie cosmétique. Cette plante peut atteindre jusqu'à 20 cm de long, en touffes denses ou lâches et de couleur très variable : vertes avec une coloration jaunâtre, brunâtre ou parfois rougeâtre.

Elle vit dans des milieux très humides et sur les sols acides. La plante contient des cellules mortes qui se gorgent d'eau. Ce sont des espèces dioïques. Le pied est formé d'un gamétophyte qui ne contient pas de rhizoïdes (l'absorption se fait par les feuilles et la tige) et d'un sporophyte.

Les feuilles sont disposées en spirales autour de la tige ou des rameaux, l'extrémité de la tige (capitulum) est pourvue de nombreux rameaux, mais de plus en plus courts vers le sommet (donne un aspect étoilé). Le sporophyte est formé d'un pédicelle hyalin et d'une capsule brune. Les rameaux sont arqués vers le bas. Ce sont des rameaux pendants. Cette plante meurt par le bas et continue à croître.

7.2.3 Andréales

Les andréales (**Figure 97c**) sont des mousses qui vivent dans les roches siliceuses et dans les régions froides. Elles possèdent une tige avec des feuilles en spirale, un pédicelle chlorophyllien et une capsule globuleuse qui s'ouvre en 4 ;

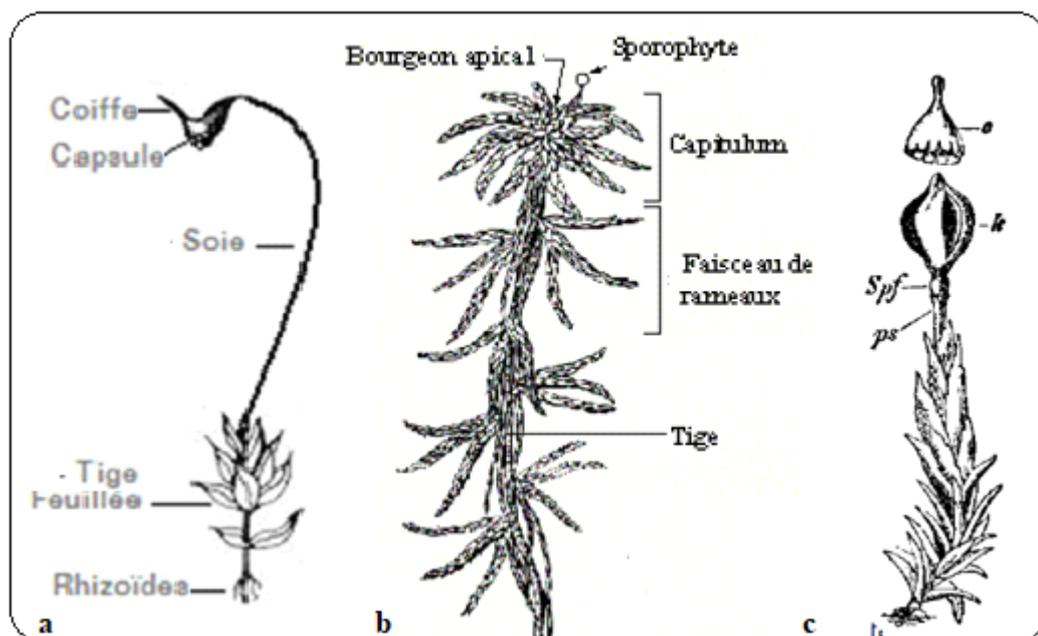


Figure 97. Morphologie de (a : Bryales ; b : Sphagnales ; c : Andréales)

7.3 Reproduction

7.3.1 Multiplication végétative

La multiplication végétative se fait par fragmentation du gamétophyte. Chez certaines espèces, le gamétophyte peut se différencier en petits massifs cellulaires nommés propagules, à l'extrémité des tiges, sur les feuilles, ou dans des structures spécialisées appelées corbeilles à propagules. A maturité, ces propagules sont disséminées par l'eau et donnent naissance, en se développant, à un nouvel individu gamétophytique.

7.3.2 Reproduction sexuée

Ex : Les mousses : le polytric

Les plantes forment au sommet de leur tige une couronne de feuilles plus grandes appelées soit anthéridiophores soit archégoniophores, selon que cette couronne abrite soit des organes sexuels mâles (anthéridies), soit des organes sexuels femelles (archégonies). Les sexes étant séparés sur des plants distincts, le polytric est dit dioïque. Des cellules internes de chaque anthéridie se transforment en gamètes mâles (anthérozoïdes,) munis de deux flagelles mobiles. Ceux-ci permettent aux anthérozoïdes de nager vers les archégonies. Les anthérozoïdes nagent jusqu'à l'oosphère et l'un d'eux s'unit au gamète femelle. La fusion des noyaux (= la fécondation) transforme l'oosphère en zygote, première cellule diploïde. Ce zygote se divise de nombreuses fois, tout en restant dans l'archégonie, lui-même rattaché au gamétophyte. Le développement de l'embryon finit par donner une longue soie terminée par une capsule recouverte d'une coiffe : l'ensemble porte le nom de sporophyte, car il produira les spores, et est diploïde à l'exception de la coiffe. Au sein de la capsule se produit la méiose, responsable de la production de spores haploïdes. Celles-ci seront libérées et emportées par le vent lorsque la capsule s'ouvrira. En tombant sur la terre humide, chaque spore germe, se divise de nombreuses fois pour former un protonéma, sorte de réseau filamenteux haploïde fixé par des poils rhizoïdes. Sur le protonéma se développent des bourgeons qui développeront autant de nouvelles tiges feuillées, autant de nouveaux gamétophytes, tous de même sexe chez le polytric dioïque. (Figure 98)

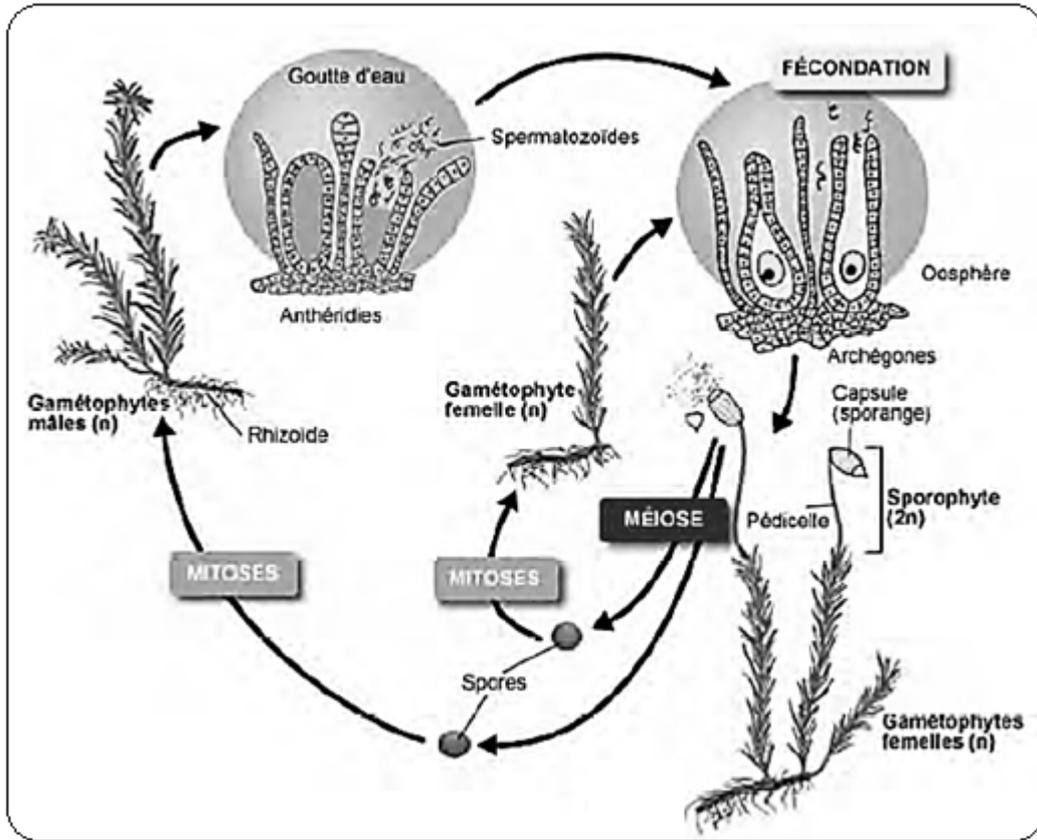


Figure 98. cycle de vie des mousses : le polytrich

CHAPITRE IV
PTERIDOPHYTES

CHAPITRE IV : LES PTERIDOPHYTES

1 Généralité sur les caractères morphologiques des ptéridophytes (Figure 99)

Les Ptéridophytes sont des cormophytes avec de véritables racines, des cryptogames vasculaires. Ils appartiennent au groupe des trachéophytes dont les caractères essentiels sont les suivants :

- Présence de trachéides (=vaisseaux imparfaits) de cellules conductrices allongées, à parois lignifiées, possédant des perforations à différentes dispositions (**Figure 100**) ;
- Présence d'une paroi cellulosique (homologue à celle des végétaux supérieurs) ;
- Synthèse de lignine, substance imprégnant la paroi cellulosique (un port arborescent) ;
- Les tissus conducteurs sont organisés en stèles (pachytes) ;
- Les éléments du liber sont des cellules criblées sans cellules compagnes ;
- Le xylème et le phloème qui se trouvent dans la stèle (cylindre central) sont entourés d'un péricycle et d'endoderme en U ;
- Il existe différents types de stèles qui dérivent du type du prostèle (**Figure 101**) ;
- Présence de cuticule de nature lipidique limitant l'évapotranspiration ;
- Présence de stomates qui sont capables de s'ouvrir et de se fermer pour réguler les échanges gazeux (vapeur d'eau, oxygène, dioxyde de carbone) entre l'intérieur et l'extérieur de la plante ;
- Polysporangiophytes avec un sporophyte ramifié à plusieurs sporanges.

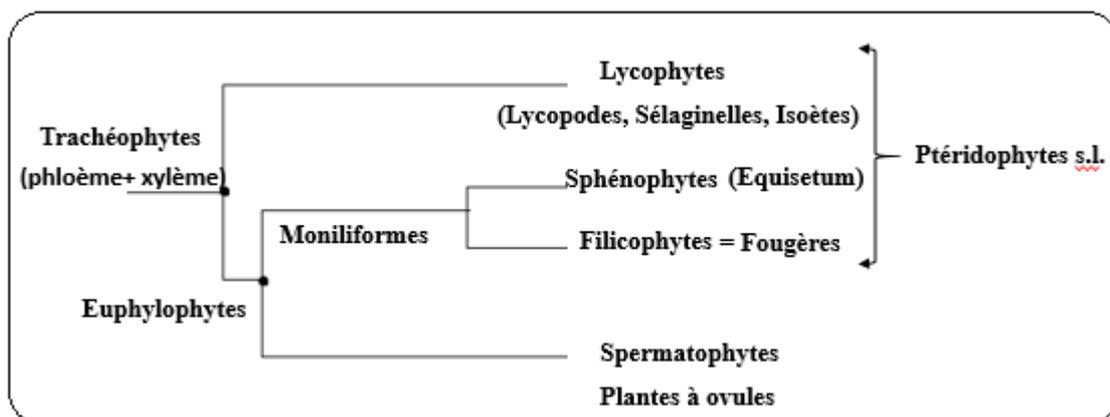


Figure 99. Arbre phylogénétique simplifié des Trachéophytes

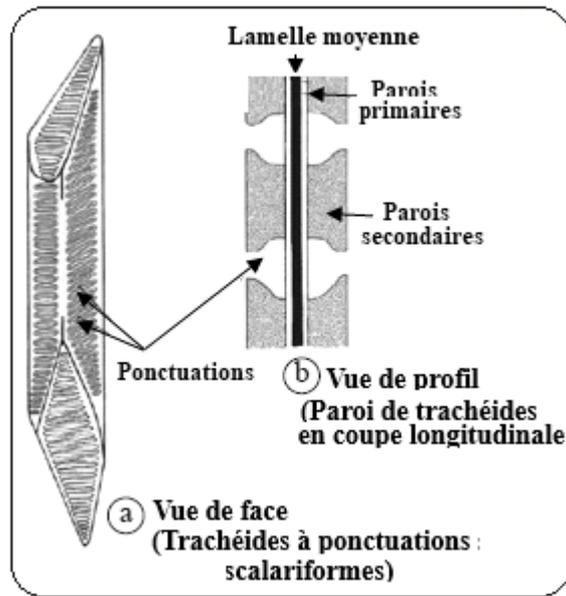


Figure 100. Tissus conducteurs chez les ptéridophytes s.l

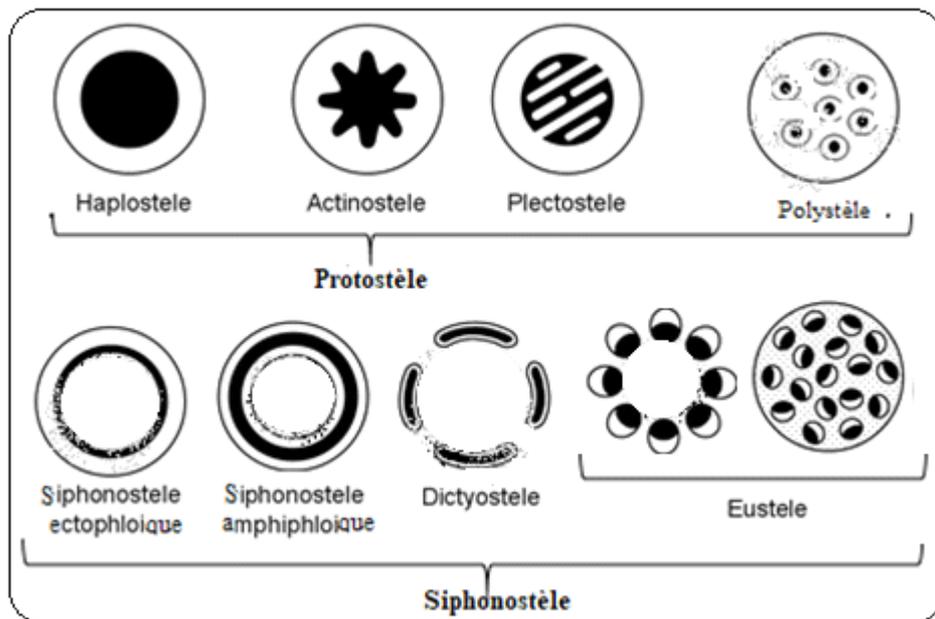


Figure 101. Différents types de stèles chez les ptéridophytes s.l.
(en noir : le xylème, en blanc : le phloème)

2 Importance évolutive de la reproduction

L'évolution des plantes a pris deux voies divergentes. Une voie évolutive a conduit à des organismes à gamétophyte dominant, de petite taille et non vascularisés, les Bryophytes, et l'autre voie a consisté en un développement du sporophyte et a conduit aux Ptéridophytes (fougères).

Les Ptéridophytes sont des plantes vasculaires à sporophyte dominant et à sporanges nus. Ils possèdent un cormus formé de vraies racines, tiges et feuilles. Ils sont munis d'un appareil vasculaire et de tissus de soutien assurant sa rigidité. Néanmoins cette évolution n'est pas parfaite du fait que la fécondation nécessite encore la présence de l'eau, puisque les gamètes mâles sont nageurs. De plus, le jeune diploïde doit se développer immédiatement et ne peut le faire que dans des conditions où l'eau est abondante au moins temporairement.

L'origine de l'hétérosporie vers la même époque est attestée par des sporanges fossiles contenant deux catégories de spores de taille contrastée.

Les gamétophytes doivent remplir deux fonctions antagonistes : produire le plus grand nombre de gamètes et fournir au zygote le plus de matières de réserve possible. Une solution à ce dilemme est la spécialisation fonctionnelle des gamétophytes : gamétophytes mâles dont toute la substance se transforme en gamètes mâles très mobiles, et gamétophytes femelles accumulant des réserves et produisant un nombre réduit de gamètes.

Toutefois, ces fougères hétérothalliques ont un handicap par rapport aux fougères homothalliques. Chez ces derniers, la dispersion à grande distance (par le vent) d'une seule spore peut suffire à fonder une nouvelle population, puisque le gamétophyte peut s'autoféconder (endoprothallie). Ceci confère aux premières fougères une aptitude colonisatrice très importante, expliquant en partie leur expansion rapide sur l'ensemble des terres émergées à la fin du Dévonien.

Les premières ptéridophytes qui sont apparus à environ – 430 millions sont les fougères arborescentes appartenant à deux embranchements : les Sphenophyta et les Lycopodophyta. Ils sont l'origine des gisements de combustibles fossiles que nous exploitons aujourd'hui. Actuellement, on n'a que des groupes de fougères qui sont toutes des plantes herbacées de petite taille (Prêles et Lycopodes). Elles montrent un appareil végétatif plus adapté à la vie terrestre et préfèrent de façon générale des milieux à forte humidité atmosphérique.

3 Systématique

Dans les anciennes classifications, les ptéridophytes comprennent :

- Classe des Psilophytinées (les psilotales).
- Classe des Lycopodinées (les lycopodes, les sélaginelles).
- Classe des Filicinées (les fougères).
- Classe des Articulées (les prêles).

Actuellement, trois embranchements distincts sont reconnus avec 18 000 espèces :

- Lycophyta (Lycophytes) (850 espèces, réparties en cinq genres dont les genres Sélaginelle, Lycopodium).
- Sphenophytes (phenophytes) (prêles).
- Filicophyta (Filicophyte) (fougères).

4 Lycophyta (Lycophytes) (les lycopodes, les sélaginelles)

Les Lycophytes, plantes Terrestres, épiphytes ou aquatiques sont de quelques centimètre de long. Ils sont caractérisés par des tiges ramifiées dichotomiquement, portant de nombreuses petites feuilles uninerves (Microphylles), avec dispositions spiralées ou opposées. Sur la face supérieure se trouve un appendice court ou ligule. Les racines ne sont pas portées directement par les tiges rampantes, mais par des portes racines (Rhizophores). Le gamétophyte de couleur blanche survit sur ou dans le sol grâce aux mycorhize endosymbiotique. Les sporanges sont portés isolément sur la face supérieure des sporophylles disposées en strobiles ou épi-sporifères. Les archégonies et les anthéridies se trouvent sur les faces supérieures des gamétophytes souvent sur le même pied (monoïque).

Les Lycophyta se subdivisent en deux familles : les Lycopodiaceae, présentant des spores identiques (Isospores), et les Selaginellaceae qui présentent des spores différentes (Hétérosporie).

4.1 Lycopodiaceae

Les Lycopodiaceae (**Figure 102**) présentent une tige rampante pourvue de racines, et portent des axes dressés sur lesquels se forment des sporanges dispersés le long de la tige ou sont groupés en strobile qui est une formation compacte en forme d'épi. Les sporanges sont généralement situés sur la face supérieure des feuilles. Les méiospores sont toutes de même taille (isosporie).

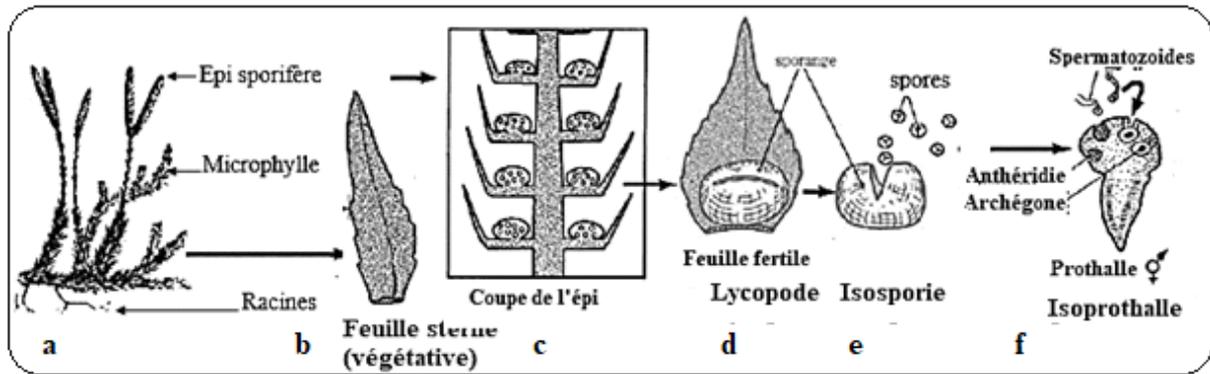


Figure 102. Lycopode avec 5 épis sporifères terminaux

4.2 Selaginellaceae (Figure 103)

Elles sont très importantes sur le plan évolution, car c'est au sein de ce groupe qu'apparaît l'hétérosporie, associée à une hétérosporangie marquée Ex : *Selaginella denticulata*.

4.2.1 Appareil végétatif de *Selaginella denticulata*

- La plante feuillée présente des microphyllies portées par des tiges dressées dichotomiques avec deux rangées de feuilles portant à leurs bases un appendice court ou ligule.
- Les racines ne sont pas directement portées par les tiges rampantes mais par des portes racines ou Rhizospores.
- Les sporanges se forment aux extrémités des rameaux végétatifs transformés en épis sporifères ou strobiles.
- Chaque sporophylle ne porte qu'un sporange. Il existe deux types de sporange :

4.2.2 Les macrosporanges (mégasporanges)

Les macrosporange sont portés par les macrosporophylles à la base de l'épi.

- * la macrosporange produisent 4 macrospores

4.2.3 Les microsporanges

Les microsporange sont portés par les microsporophylles au sommet de l'épi.

- * les microsporanges produisent une multitude de microspores.

Chez les Sellaginellaceae (prêles) il y'a l'hétérosporie, associé à une hétéroprothallie.

4.2.4 Les sporanges mâles

- Les microspores commencent leur développement à l'intérieur des microsporangies, puis le poursuivent après leur libération.
- La microspore subit des divisions répétées aboutissant à la formation d'un prothalle inclus dans l'enveloppe sporale : c'est l'endoprothallie.

Le prothalle est formé d'une seule cellule prothallienne supportant une anthéridie formée de 8 cellules de la paroi, et de 4 cellules spermatogènes qui donneront des spermatozoïdes biciliés.

4.2.5 Les sporanges femelles

- Les macrospores débutent leur développement à l'intérieur des macrosporangies, puis le poursuivent lorsqu'elles sont disséminées.
- Un prothalle se forme à l'intérieur de l'enveloppe sporale : c'est l'endoprothallie.

Les macrospores produisent des prothalles femelles plus volumineux que les prothalles mâles.

Il y a hétéroprothallie. La fécondation est une oogamie nécessitant de l'eau.

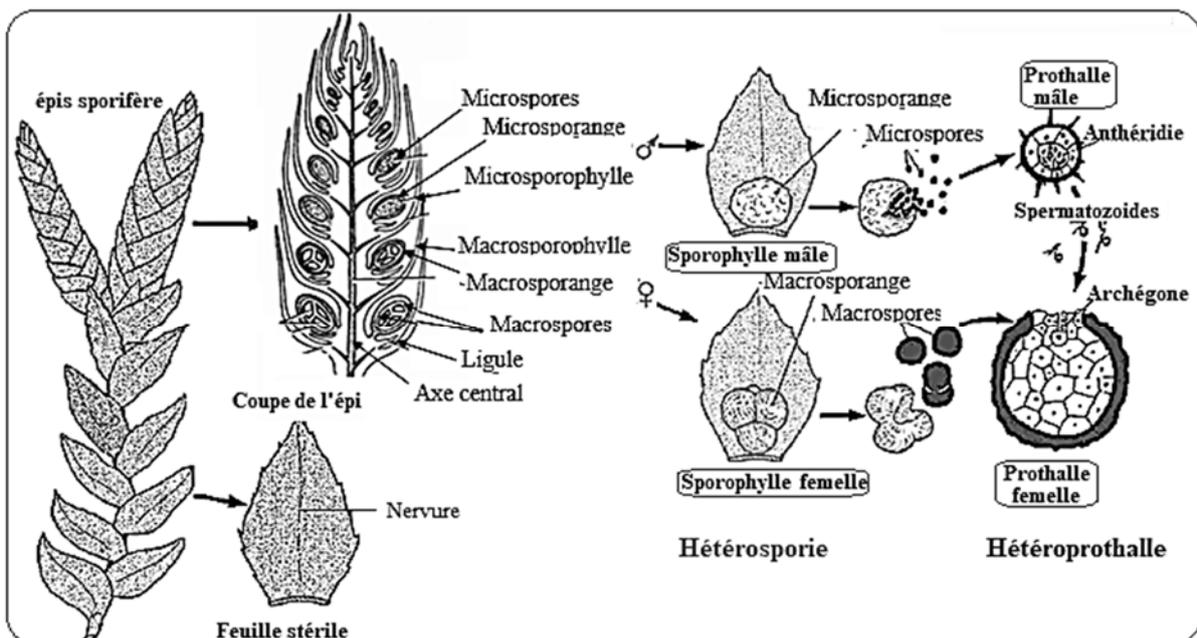


Figure 103. Sporophylles montrant les sporanges mâles et femelles chez *Selaginella denticulata*

5 Sphenophytes (phenophytes)

Les Sphenophytes sont représentés par le seul genre les prêles.

5.1 Aspect morphologique d'*Equisetum arvensis*, les prêles (Figure 104)

- Le rhizome (tige souterraine) porte des ramifications aériennes annuelles divisées en articles (segments) successifs cannelés.

- Les sporanges sont groupés en épis à l'extrémité des axes végétatifs ou d'axes spécialisés, les sporangiophores.
- Les spores sont identiques morphologiquement (isoporie morphologique), mais elles produisent des prothales mâles ou femelles (hétérosporie génétique) origine d'une hétéroprothallie.

Les spores des prêles possèdent des expansions de leurs parois, appelées élatères, très sensibles aux variations d'hydratation. Elles contribuent à la dissémination en se déployant brutalement lorsque le taux d'hygrométrie diminue.

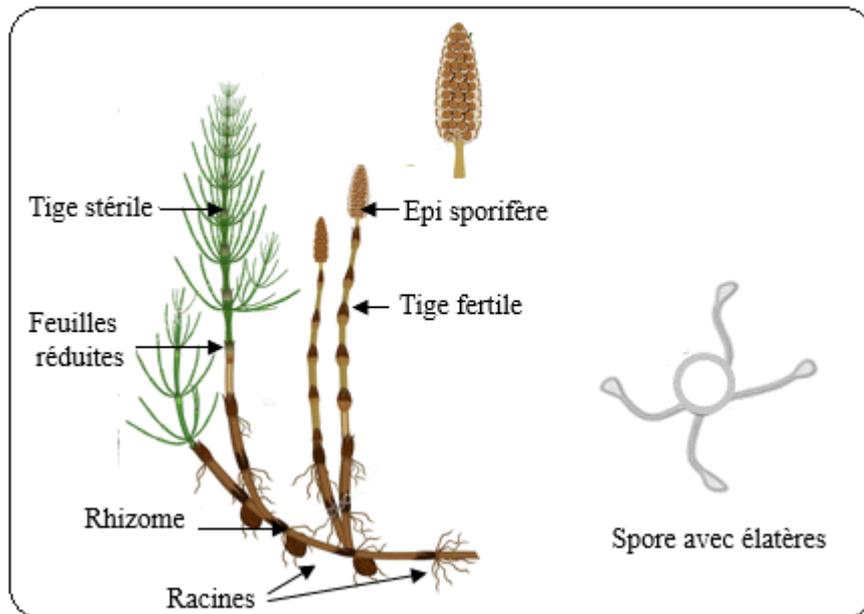


Figure 104. Aspect morphologique d'*Equisetum arvensis*, les prêles

5.2 Filicophyta (Filicophyte) (fougères)

Les Filicophytes constituent un groupe monophylétique des leptosporangiés. Leurs synapomorphies sont liées aux sporanges. Ils sont munis d'un anneau mécanique (cellules lignifiées en U) et issus chacun des divisions d'une seule cellule. Une autre synapomorphie est l'organisation de leur système conducteur en dictyostèle.

- La hauteur des Filicophytes varie entre quelques centimètres dans les régions tempérées à 20m dans les climats tropicaux et équatoriaux où elles sont majoritairement arborescentes.
- L'appareil végétatif est constitué d'un rhizome riche en réserves et ramifié, portant des racines adventives et de grandes feuilles appelées mégaphylles ou frondes. La tige feuillée représente le sporophyte diploïde.

Les sporanges contenant les spores sont regroupés en sores protégées ou non par une indusie qui sont localisées sur la face inférieure des folioles ou pinnules.

- Les spores haploïdes (méiospores) sont morphologiquement identiques : il y'a isosporie. La spore, une fois libérée, peut germer sur le sol et former une lame aplatie chlorophyllienne en forme de cœur d'environ 1 cm appelé prothalle.
- Le prothalle porte à la fois les * Anthéridies (gamétanges contenant les gamètes mâles) et les *Archégonies (gamétanges contenant les gamètes femelles). Le prothalle est donc gamétophyte. Il est haploïde ;
- La fécondation est une zoidogamie (spermatozoïdes x oosphère) nécessitant la présence d'eau dans le milieu extérieur (rosée ou pluie).
- Le zygote situé dans le ventre de l'archégonie subit un ensemble de mitoses et forme l'embryon qui vit aux dépens du prothalle chlorophyllien.
- L'embryon donne une nouvelle tige feuillée devenant rapidement autonome .

Le cycle de développement est donc digénétique haplodiplophasique hétéromorphe à diplophase dominante (**Figure 105**).

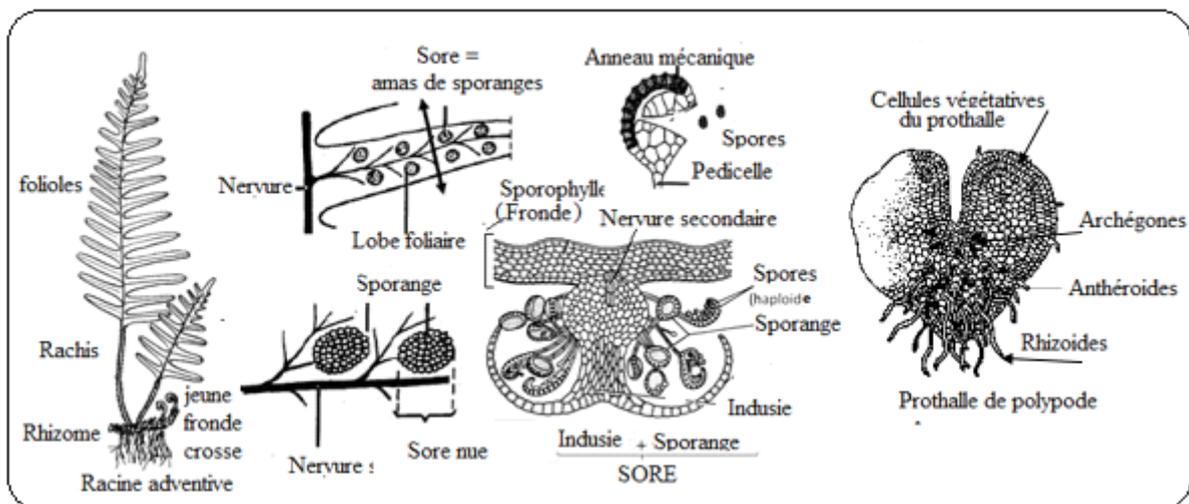


Figure 105. Aspect général de Filicophyte : appareil végétatif de polypode

Références bibliographiques

N. Amirouche, N. Bouguedoura, H. Hadj-Arab. 2008. Botanique ‘ Algue, Champignons, Lichens’ éd. Houma. Alger. 84p.

N. Amirouche, N. Bouguedoura, H. Hadj-Arab. 2010. Botanique ‘ Les embryophytes’ éd. Office des publications universitaires. Alger. 92p.

APG (Angiosperm Phylogeny Group) 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: 1-20.

J. C. Autrey, J. Bosser, I. K. Ferguson. 2008. Flore des Mascareignes ‘Ptéridophytes ‘1. Psilotacées à 26. Marsiléacées’’. Éd IRD, MSIRI, RBG-Kew. Paris. 452p.

L. Barsanti et G. Paolo. 2014. Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology. CRC Press, 361 pp.

J. Briquet. 1906. Règles internationales de la nomenclature botanique (1ère ed.). Jena, Gustav-Fischer.

H. Camefort et H. Boué. 1980. Reproduction et biologie des végétaux supérieurs « bryophytes, ptéridophytes, spermatophytes 2^{ème} ed. Doin éd. Paris. 133p.

V. Chassany, M. Potage, M. Ricou. 2014. Mini manuel biologie végétale ‘cours + QCM’ 2^{ème} éd Dunod. 221p.

G. Deysson.1979. Organisation et classification des plantes vasculaires. Deuxième partie ‘systématique’ éd CDU et SEDES. Paris Ve. 540P.

J.R. Durand et C. Lévêque. 1980. *Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-soudanienne : tome 1.* Paris : ORSTOM, (44), 389 p.

A. Génin 1990. **La botanique appliquée à l’horticulture.** 4^{ème} éd. Technique et Documentation – Lavoisier. Paris. 221P.

Gorenflot. 1975. *Précis de botanique :1protocaryotes et thallophytes eucaryotes.* Ed : Doin Paris VI. 184p

F. Dupont, J. L. Guignard. 2007. Botanique, systématique moléculaire. 14^{ème} édition, Elsevier Masson SAS.

W. Martin et M. Müller. 1998 *The hydrogen hypothesis for the first eukaryote.* Nature 392, 37–41.

J-L. Morère et G. Miquel. 1999. Dictionnaire de sciences biologiques. éd ellipses. 320p.

J – M. Petit, A-R. Maftah, R. Julien 1997. Biologie cellulaire. éd Masson. Paris. 189p

D.Robert, C. Dumas, C. Bajon. 1998. Biologie végétale ‘La production’ volume 3 ; éd Doin. Paris. 384p.

J-c. Roland et B. Vian. 1999. Atlas de biologie végétale ‘Organisation des plantes sans fleurs’. 5^{ème} éd. Dunod.Paris. 189p

J-C. Roland, H-E-M. Bouteau, F. Bouteau. 2008. Atlas de biologie végétale 'Organisation des plantes sans fleurs, algues et champignons. 7^{ème} éd. Dunod.Paris. 139p

B. Reviere. 2002. Biologie et phylogénie des algues. Tome 1. Belin, Paris, 352 p.

J. Segarra, E. Piètre (dir.), G. Bailly, O. Chassaing, D. Favre, T. Jean, F. Metz, C. Meunier (2015). Biologie BCPST 2e année. Ellipses, Paris.

D. Soltner. 1999. Les bases de la production végétale. 'La plante et son amélioration' Tome III. 2^{ème} Ed. Science et techniques agricoles.

C-R. Woese, W. E. Balch, L. J. Magrum, G. E. Fox and R. S. Wolfe. 1977. An ancient divergence among the bacteria », dans Journal of Molecular Evolution, vol. 9, p. 305–311.