

BIOLOGIE VEGETALE

Introduction générale sur la **BIOLOGIE VEGETALE**,

L'organisation de la plante basée sur deux parties :

- I. Organisation des plantes à fleurs
- II. Organisation des plantes sans fleurs

Première partie : Organisation des plantes à fleurs

Chapitre I : Cellule Végétale

Chapitre II : Système Racinaire

- Apex racinaire et rhizogénèse ;
- Différenciation dans la racine.

Chapitre III : Tige et Feuille

- Point végétatif caulinaire ;
- Différenciation dans la feuille et la tige
- Différent type de feuilles et dispositif de feuilles sur la tige

Chapitre IV : Tissus végétaux

- Tissus primaires ;
- Zones génératrices et tissus secondaires

Chapitre V : Appareil reproducteur, la Fleur

- Mise à fleur :
 - ✓ étamine et pollen ;
 - ✓ carpelle et ovule.
- Fleur typique et cas limite : différent type d'inflorescences
- Embryogenèse et formation de la graine ;
- Fruits : différents types de fruits
- Multiplication végétative
- Diversité et sous-ensemble

Chapitre VI : Reproduction des plantes à cônes

Deuxième partie : Organisation des plantes sans fleurs

Chapitre VII : Algues et champignons

- Algues ;
- Champignons

Chapitre VIII : Bryophytes et Ptéridophytes

- Bryophytes ;

- Ptéridophytes.

Chapitre IX : Tendances évolutives végétales

- Des plantes inférieures (Cryptogames : Thallophyte, Bryophytes, Ptéridophytes) vers les plantes à fleurs et à graines (préphanérogames et phanérogames : Spermaphytes) ;
- Cycles de développement des plantes.

Conclusion

BIBLIOGRAPHIE

Biologie végétale, Atlas, 1 et 2 : Organisation des plantes à fleurs et plantes sans fleurs, de Jean-Claude Roland 7^{ème} et 9^{ème} édition.

Physiologie végétale, Nutrition végétale de René Heller, 6^{ème} édition.

Botanique, les Plantes Supérieures de Joël Raymond ;

Physiologie végétale, Développement, 6^{ème} édition de René Heller.

Introduction générale

Les plantes à fleur ou phanérogames (de phaneros=apparent et gamos=union) sont des plantes les plus évoluées qui constituent dans la nature actuelle la majeure de peuplements terrestres. L'activité physiologique et la différenciation cellulaire y sont très marquées. Les plantes supérieures présentent plusieurs parties distinctes ou organes ayant chacun une structure et des fonctions propres ; c'est-à-dire l'appareil végétatif est typiquement constitué de racines, tiges et feuilles. Les organes reproducteurs en rameaux très diversifiés, les fleurs, conduisent à la formation des graines (d'où le nom des Spermaphytes (sperma=semences) donné à cet ensemble)

Insertion d'un schéma d'une plante supérieure avec racine, tige et feuille)

Les plantes sans fleur ou Cryptogames (de Kruptos=caché et gamos=union) sont constitués des Algues et des Champignons. Ce sont des plantes adaptées aux milieux aquatiques ou très humides. L'appareil végétatif ne présente pas des parties distinctes comme chez les plantes supérieures.

Historiquement, les Cryptogames constituent un vaste ensemble comportant les Algues, les Champignons, les Bryophytes et les Ptéridophytes. Il est maintenant bien établi que les Champignons forment un régime à part et les Algues ne sont pas un groupe monophylétique. L'étude des algues vertes, de Bryophytes et des Ptéridophytes illustre néanmoins le passage d'organismes unicellulaires à des individus pluricellulaires de plus en plus complexes dont les espèces les plus évoluées ont réalisé la conquête du milieu terrestre.

La longue histoire des plantes sans fleurs est jalonnée d'essais, d'erreurs, de progrès qui traduisent une plasticité remarquable et des potentialités multiples. Elle illustre les difficultés rencontrées par le monde vivant pour s'adapter aux conditions de vie dans et hors de l'eau. C'est pourquoi ils sont présentés les **Préphanérogames**, « groupe intermédiaire » qui, en prenant le relais de Ptéridophytes, ont réalisé l'ovule ou pré-graine), étape essentielle dans l'évolution de la reproduction sexuée et du cycle de développement.

Chapitre I : la cellule végétale

Introduction

L'observation au microscope d'une feuille de Mousse, d'un bord de pétale, d'un fragment de tige, des racines des fruits, des graines, ect., montre que la substance qui constitue ces organes n'est pas homogène et continue. Elle est subdivisée par un certain nombre de compartiments, plus ou moins irréguliers, décrits pour la première fois en 1567, sur un fragment très mince de liège, par un physicien Anglais **Robert Hooke**. Il leur a donné le nom des **cellules**. Par la suite, plusieurs études ont montré que toutes les parties des végétaux étaient faites des cellules. Par conséquent, on peut dire que les végétaux ont une structure cellulaire.

I. Anatomie (constitution morphologie) de la cellule végétale

Schema p.38

Tous les êtres vivants, à l'exception des procaryotes, sont constitués des cellules parfaites, très comparables entre elles dans leur organisation et dans leur fonctionnement. Toutes les cellules ont en commun un cytoplasme limité à l'extérieur par la membrane cytoplasmique, un noyau et son nucléole, 2 réticulums endoplasmiques (lisse et rugueux), un appareil de Golgi, des mitochondries et des peroxysomes, un cytosquelette fibreux avec ses microtubules et un centrosome qui semble les contrôler (seul chez les animaux, il y a un centriole dans le centrosome). Cependant, la cellule végétale se distingue de la cellule animale par la paroi pectocellulosique, par ses vacuoles très développées et par ses plastes dont certains assurent la fonction typiquement végétale, la photosynthèse.

Nous nous bornerons essentiellement à présenter les caractéristiques remarquables de la cellule végétale.

1. Paroi cellulosique ou pectocellulosique

(cella=loge, pièce ; cellula=logette, petite case ; la cellulose forme la paroi de petites cases que sont les cellules).

Contrairement à la cellule animale qui est généralement nue (seule membrane) la cellule végétale est entourée d'une paroi renforcée d'un dépôt cellulosique. Cette caractéristique se rencontre chez tous les végétaux à l'exception des bactéries et chez certains champignons. La membrane plasmique (plasma=forme) de la cellule végétale est doublée extérieurement d'une paroi cellulosique qui devient rigide au terme de la différenciation cellulaire. Les cellules végétales ont donc une forme définie (résistante à la turgescence lors de l'osmose). La paroi séparant deux cellules contiguës est double ; elle est constituée de lamelle d'une lamelle moyenne pectique départ et d'autre à laquelle sont appliqués les parois cellulosiques de chacune de deux cellules ; puis, au contact de cytoplasme se trouve les deux membranes plasmiques.

La paroi pecto-cellulosique est perméable. La cellulose est un polysaccharide dont la molécule est formée des milliers d'unités de glucoses assemblées en une chaîne parfaitement droite. Elle est le composé organique le plus abondant à la surface du globe.

La paroi cellulosique est formée de plusieurs couches qui se déposent successivement de l'extérieur vers l'intérieur de la cellule. L'orientation et la disposition des fibrilles de cellulose ne sont pas identiques dans les différentes couches : le 1^{er} niveau de cellulose (paroi primaire) permet la multiplication cellulaire ; les suivantes (paroi secondaire) permettent leur allongement ; enfin la paroi ne devient plus déformable quand la différenciation cellulaire est achevée.

La paroi cellulosique est interrompue par des pores, les **plasmodesmes**, propres aux cellules végétales. A leur niveau, il y a une continuité entre les cytoplasmes de deux cellules adjacentes permettant aux molécules de passer plus facilement d'une cellule à l'autre chez les végétaux que chez les animaux.

Chez des jeunes cellules, les parois de deux cellules contiguës sont étroitement jointives, mais rapidement, avec leur différenciation, la lamelle moyenne se fend dans les angles des cellules, déterminant de petits volumes (tri ou tétragone) plein d'air appelé méats ou espace intercellulaire. Progressivement, ces fentes peuvent s'allonger séparant partiellement deux faces cellulaires accolées. Ces zones créent un espace atmosphérique intracellulaire qui pénètre dans tous les organes de la plante et favorisent les échanges gazeux entre les tissus et l'atmosphère ambiante.

2. Les vacuoles

Les vacuoles sont des cavités creusées dans le cytoplasme. Ce sont des inclusions de grande taille, propre à la cellule végétale, rempli d'un liquide, le **suc vacuolaire**. Elles apparaissent généralement vides au microscope.

Les vacuoles contiennent de l'eau, des ions et de nutriments solubles que la cellule y stocke. La concentration du suc vacuolaire est très élevée que celle du cytosol et les liquides extracellulaires. L'entrée d'eau dans la cellule provoque une turgescence, pression hydrostatique dans la cellule, équilibrée par la force de résistance de la paroi. Cette pression permet un allongement de la cellule végétale bien plus rapidement que celui qu'on observe dans les cellules animales.

Les substances contenues dans la vacuole sont plus souvent glucidique et en particulier des substances de réserves solubles. Mais d'autres substances peuvent se rassembler dans la vacuole telles que des réserves protéiques, des pigments, des hétérosides, des alcaloïdes, des huiles essentielles, des tanins, des résines ou latex ainsi que des substances qui se cristallisent dans les vacuoles (oxalates ou carbonates de calcium, de silice). Des substances hydrophobes ou solidifiées se trouvent dans les vacuoles spécialisées de tailles diverses.

La solution colloïdale contenue dans la vacuole constitue une réserve :

- D'eau ;
- De substances minérales et organiques ;
- De déchets et/ou des substances qui semblent intervenir dans le métabolisme de la plante (tanin, alcaloïde, oxalate de calcium etc.,)

3. Les plastes

(plasto=forme, modèle, en relief : allusion à une forme tridimensionnelle apparaissant au microscope optique, dans le cytoplasme qui semble être uniforme et amorphe).

Ce sont de sortes de mitochondries spécialisées caractéristiques des végétaux. Ils sont absents chez les procaryotes et champignons.

Les divers types de plastes colorés, les chromoplastes et chloroplastes, portent de noms générique des **chromatophores** (chroma=couleur et pharein=porter). La majorité des plantes actuelles contiennent de chloroplastes (chloro=vert). Ils sont le siège de la photosynthèse, réaction qui occupe la première place parmi tous les phénomènes chimiques ayant lieu sur terre qu'il soit d'origine naturelle ou industrielle.

Cette 1^{ère} place est obtenue en raison de :

- La masse des substances mises en jeu ;
- La production des glucides, essentielle pour l'ensemble du monde vivant, dont la principale source d'énergie cellulaire est le glucose et dont la nutrition doit composer le sucre hydrolysable en glucose ;
- L'émission, surtout, d'O₂ nécessaire à la vie aérobie (animaux surtout)

Les plastes actifs dans une photosynthèse ne se différencient qu'à la lumière.

a. Chloroplastes

Les chloroplastes des plantes supérieures sont des organites ovoïdes de grande taille comparée aux autres organites cytoplasmiques. Leur longueur peut atteindre 10 micromètres. Ils se déplacent dans le cytoplasme comme les mitochondries, entraînés par le mouvement de cyclose. Les chloroplastes des algues vertes peuvent être beaucoup plus grande et avoir des formes variées.

Le chloroplaste est entouré de deux membranes, l'une externe et l'autre interne ; elles contrôlent sélectivement le passage des métabolites et des ions. A l'intérieur du chloroplaste, une 3^{ème} forme, par ses plis, les vésicules de **thylacoïdes** (thylacos=poche, bourse) dont l'empilement donne le **granum**. Les capteurs lumineux (chlorophylle, enzyme, producteur d'ATP) sont situés dans les membranes des thylacoïdes. Les produits de la photosynthèse (glucose) se forment entre les thylacoïdes et passent dans le cytoplasme en traversant les membranes grâce à des enzymes spécifiques (perméases) ; mais leur synthèse est plus rapide que leur élimination. Le glucose se polymérise en amidon qui apparaît sous forme de granules dans les chloroplastes quand la synthèse est active.

b. Les leucoplastes (leucos=incolore)

Ce sont des organites très voisins des chloroplastes (dont ils semblent dérivés) mais ils ne portent pas de chlorophylles. Ils sont très inégalement repartis dans les différents organes végétaux et sont particulièrement dans les tissus de réserves. Ils contiennent des protéines (protéoplastes) ou de l'amidon (amyloplast=stock du sucre par excellent) ou lipide (oléoplastes ou lipoplastes).

c. Les chromoplastes (chroma=couleur)

Ils ont une organisation très semblable à celle des chloroplastes mais ils portent des pigments autres que la chlorophylle. Certains chromoplastes sont le siège de la photosynthèse. D'autres chromoplastes sont photosynthétiquement bien inactifs, si bien qu'ils puissent intervenir en tant que capteur d'énergie lumineuse. Ils sont chargés des pigments dits accessoires tels que les caroténoïdes (carotènes et xanthophylle) et peuvent se trouver plus ou moins abondant dans la plupart des organes végétaux verts.

La différenciation de ces plastes à pigments accessoires n'est pas dépendant de la lumière. Ils colorent certains organes que la lumière n'atteint jamais dans les conditions normales (racines de carotte par exemple). De tels pigments accessoires sont encore responsables de la coloration de nombreux fleurs et fruits.

Les chromoplastes se différencient directement à partir des protoplastes, soient à partir des chloroplastes préalablement différenciés.

II.. Les méthodes d'étude de la cellule végétale

Depuis Hooke, un grand nombre des méthodes ont été mises au point pour caractériser les constituants de la cellule. La cytologie est la science qui consiste à étudier la cellule.

1. Etude de la cellule vivante

a. observation vitale sans coloration

A l'aide des pinces très fines, un fragment de la mince membrane transparente qui couvre la face intérieure d'une écaille d'un bulbe d'oignon est prélevée et placée sur une lame dans une goutte d'eau salée (3g de sel/l). La préparation est recouverte par une lamelle et observée au microscope.

Au fort grossissement, on observe la membrane cellulaire (membrane cytoplasmique) délimitant une pellicule de substance dans laquelle on a de petites granulations cytoplasmiques : c'est le cytoplasme où on voit un corpuscule brillant, le **noyau**, et la partie centrale absolument transparente constitué par la **vacuole**.

b. Coloration vitale

Il existe des colorations qui peuvent pénétrer dans la cellule et se fixer sur certains éléments pour les rendre plus apparents. Ces colorants tuent les cellules dans la plupart des cas mais une dilution de l'ordre de 1/1000 agit sans provoquer de troubles. L'épiderme d'oignon dans une goutte de rouge neutre dilué à 1/5000 par exemple colore seulement la vacuole qui prend une teinte **rose pâle**.

c.. Microdissection

On utilise dans un laboratoire des appareils appelés **microdissecteurs** ou **micromanipulateurs** constitués des instruments chirurgicaux dont la taille est à l'échelle de la cellule : ce sont des microaiguilles, des micropipettes, microbistouris, ect.

2...Etude de la cellule tuée depuis peu

a.. Coloration post-vitale

Considérant toujours l'exemple de l'épiderme d'oignon. On utilise cette fois une solution de rouge neutre à 1%, poison qui tue immédiatement la cellule et se fixe sur le noyau ainsi que les granulations cytoplasmiques qui deviennent plus visibles. Quand la cellule est tuée et figée, on dit qu'elle est **fixée**. L'acide acétique joue le rôle de fixateur.

b.. Fixation et coloration simultanée

Il est possible d'utiliser de liquide qui colore et fixe en même temps la cellule. Par exemple, on peut mettre le fragment d'épiderme dans une solution de vert de méthyl ou dans une solution d'iodure de potassium. La cellule est tuée et les divers éléments se colorent alors en vert ou en jaune.

Un fixateur est une solution qui doit tuer rapidement la cellule et doit également autant que possible laisser en place, sans les modifier, les divers éléments. Il n'y a pas de fixateur parfait. Les corps utilisés sont très nombreux : alcool, formol, bichlorure de mercure, bichromate de potassium, acide acétique, acide picrique. Il est possible d'effectuer la fixation par congélation.

Chapitre II : Le système racinaire

Introduction

La racine est habituellement souterraine ; on parle de **géotropisme positif** ou **phototropisme négatif**. Elle est spécialisée dans l'absorption de l'eau et des sels minéraux, la fixation de la plante au substrat et l'accumulation de réserves. L'ensemble des racines d'une plante constitue l'appareil racinaire.

Une des caractéristiques de l'appareil racinaire est sa grande longueur ; qui, dans les conditions naturelles est habituellement supérieure à celle de la partie aérienne de la plante. La racine traverse et établit des relations d'échanges avec un milieu très diversifié particulier, le sol, et elle montre par croissance, sa ramification, sa structure et son fonctionnement, de remarquables propriétés d'adaptation à cet environnement.

I. Apex racinaire et rhizogénèse

1. Allongement et activité de la rhizogénèse

La croissance racinaire est strictement subterminale (vers l'extrémité). C'est au niveau de l'apex qu'il faut rechercher les sites responsables de la rhizogénèse (de rhizo=racine). Des observations purement anatomiques et statiques ont montré une disposition de files cellulaires assez régulières à la pointe des racines, et une conception restée longtemps classique conduisait à penser que ces lignées étaient engendrées par les divisions de cellules privilégiées ou cellules initiales situées à l'extrémité de l'organe.

Il est souvent admis que trois séries d'initiales superposées se divisent régulièrement pour produire la coiffe à l'extrémité, le cortex au milieu et le cylindre central vers l'intérieur. Les travaux modernes ont révélé une zonation très caractéristique de l'apex toute différente de celle qu'on imaginait. L'emplacement présumé des initiales est occupé, en fait, par des cellules relativement vacuolisées dont la teneur en ARN et l'activité de synthèse sont faibles. Elles se divisent peu ou pas de sorte qu'on leur a donné le nom de centre **quiescent**.

Les cellules les plus actives c'est-à-dire celles qui se divisent abondamment forment une zone dite **zone de prolifération subapicale**, en arrière du centre quiescent. Elles augmentent leur masse par des synthèses rapides et, lorsqu'un seuil est atteint, elles entrent en mitose (pour

produire deux éléments semblables à cellule initiale = reproduction conforme). Ces cellules présentent des caractéristiques cytologiques de cellules embryonnaires et sont aisément identifiables. Elles sont de petites dimensions et leur noyau occupe tout le centre du volume cellulaire de sorte que le rapport nucléoplasmique est remarquablement élevé, égal ou supérieur à 1. Ces cellules sont très pauvres en produits de réserves et dont l'ensemble constitue un **méristème primaire**. Leur cycle est rapide et lorsque la croissance est active, il se déroule entièrement en quelques heures (jusqu'à deux cycles par jour).

L'apex racinaire est limité par une assise régulière des cellules indifférenciées qui se divisent tangentiellement à la surface, appelée **l'assise pilifère**. Tout à l'avant et à l'extérieur du centre quiescent, des cellules se distinguent par leur forme rectangulaire et leur division péricline : c'est **la zone d'entretien de la coiffe**.

Le fonctionnement des méristèmes racinaires est simple, si on le compare à celui des points végétatifs caulinaires. Il passe par des phases d'activité et de repos plus ou moins prononcées dont les causes sont d'origine interne ou externe (influence de l'humidité, de l'aération, de la température).

2. Formation des racines latérales

Le système racine se ramifie par la formation de **racines latérales**. Ce phénomène intervient à distance de l'apex, de l'ordre de quelques cm, c'est-à-dire après la **différenciation des tissus primaires**. Les cellules appartenant à l'assise limitant le cylindre central (péricycle) en proliférant édifient un massif de cellules aux caractères méristématiques primaires prononcés : c'est le **primordium d'une assise nouvelle**. Il est fixe par rapport aux pôles vasculaires et phloémiens. Il apparaît comme une hernie du cylindre central. Une poche digestive se forme devant lui par lyse et dissociation des cellules corticales. L'ébauche de racine qui émerge aura une structure et un fonctionnement identique à celui de la racine qui lui a donné naissance. Leurs systèmes conducteurs se raccordent là où a été initié le primordium. L'origine des racines latérales est donc profonde c'est-à-dire **endogène**.

(Racine gorgée de substance nutritive = racine tubérisée ; ou non = racine fibreuse ; les racines peuvent naître des tiges ou des feuilles = racines adventives).

II.. Différenciation dans la racine

1... Différent type de racine et différenciation cellulaire

Les apex racinaires construisent donc un système d'axes qui s'immiscent entre les parties souterraines et ancrent la plante au sol. Le système racinaire est dit **pivotant** ou en **pivot** (soja, lupin) lorsque la racine située dans le prolongement de la tige reste dominante. Il arrive souvent que la racine principale ou pivotante ralentisse ou arrête son développement au profit

des racines latérales, l'appareil racinaire est dit fasciculé (maïs). C'est dans la région bien aérée du sol, où l'humidité est optimale (ou maximale) que l'extension racinaire est favorisée. Elle est aussi sous la dépendance de corrélation complexe (trophique et hormonale) qui s'établit entre l'appareil souterrain et aérien. Si la plante est autotrophe, dans son ensemble, grâce à la photosynthèse de ses parties aériennes éclairées, les racines plongent dans l'obscurité et sont dépourvus de chloroplastes. Il en résulte une situation d'**hétérotrophie**.

Dans le méristème, les cellules se divisent par mitose et ne forment pas des masses cellulaires proliférant de façon anarchique mais au contraire constituent des ensembles dans lesquels les cloisonnements sont rigoureusement orientés. En direction basifuge, les mitoses se raréfient, la taille cellulaire augmente et les organites se modifient. L'augmentation de l'appareil vasculaire est l'une des transformations les plus apparentes qui marquent cette nouvelle orientation. La **différenciation** cellulaire résulte de l'expression des gènes restés jusqu'à là silencieux. Ils codent pour des populations d'enzymes qui créent des voies biochimiques spécifiques. La structuration permet une répartition intercellulaire du travail physiologique. La différenciation s'achève avec la mort cellulaire programmée, plus ou moins rapide. Tant que la cellule est nucléée, elle est capable de dédifférenciation naturelle ou provoquée expérimentalement : elle peut reprogrammer sa spécialisation, voire régresser à l'état méristématique primaire et donner un nouvel organisme entier. On dit que les cellules végétales sont **totipotentes**.

La différenciation correspond à l'apparition de synthèse nouvelle et de composés spécifiques (protéines) (càd a un fnt diff de leur génome). Ce phénomène (différenciation) permet de transformer les cellules issues de l'apex pour mettre en place la **structure primaire** de la racine (tissus associés de façon défini et simple).

2. Structure de la racine

La relation qui existe entre structure et fonction est particulièrement nette.

On distingue :

a.. La coiffe

C'est une sorte de capuchon recouvrant l'extrémité de la racine. Elle est formée de grandes cellules qui se différencient en élaborant des gros **amyloplastes** et un abondant mucilage extracellulaire, puis se desquament dans le milieu et dégénère. La coiffe joue le rôle de protecteur et favorise la pénétration de l'apex entre les particules du sol grâce à son mucilage qui attire des microorganismes (bactéries, champignons). En se nourrissant de ce mucilage, les microorganismes participent à la modification du milieu péri-racinaire, la **rhizosphère**. La coiffe est le site de la géo-perception ou gravi-perception (càd perception de la gravité orientant

la croissance racinaire). Il n'y a plus de réaction géotropique si l'on « décoiffe » une racine mais la croissance racinaire n'est pas inhibée. Celle-ci est rétablie une fois la coiffe régénérée.

Les amyloplastes volumineux présentent les caractéristiques d'être entraînée par la pesanteur (force gravitationnelle) et de tomber à la base des cellules lorsque la position de la racine change. Ces organites agissent comme des **statolites** (du latin status=action de se tenir, posture et lithos=pierre, par analogie avec les particules de l'oreille interne responsable de l'équilibre). Les cellules de la coiffe seraient donc des **statocystes**.

Schéma : graine germée placée horizontalement

b.. Le rhizoderme ou assise pilifère

Deux catégories de cellules se distinguent dans l'assise superficielle et homogène : l'une s'hydrate et se vacuolise (cellules de revêtement), les autres sont le siège de synthèses intenses d'acides nucléiques (ce sont des trichoblastes). Ils évoluent chacun en poil absorbant qui s'insinue entre les particules du sol qu'il mouille étroitement.

Le nombre des poils absorbants est impressionnant et abondant surtout chez les herbacées (peut dépasser 10-15 milliards pour un seigle par exemple). Ils développent une surface d'échange considérable entre l'organe et le sol. La zone pilifère forme un manchon de quelque cm de hauteur qui se détruit en direction basifuge. Elle est remplacée par les cellules sous-jacentes qui se sont subérifiées (zone subéreuse).

c.. Le parenchyme amylofère

Il est riche en méat et a un rôle de réserve. Il forme la partie du cortex. La racine constitue un tubercule lorsque le parenchyme amylofère est très développé. Il s'agit de la mise en réserve de composés (amidon, saccharose, inuline,..) à partir des assimilats fournis par les parties aériennes en période de pleine végétation. Stockés pendant l'hiver, ces composés sont mobilisés au moment de la reprise de la croissance.

d.. L'endoderme

Il constitue la limite interne de l'écorce. C'est grâce à un cadre subérifié et différencié dans leur paroi, les cellules endodermiques forment une assise très jointive. Le gradient de succion est interrompu à leur niveau. C'est par une sécrétion active que la sève est transmise au cylindre central. C'est l'essentiel de l'origine de la **poussée radriculaire** qui contribue à l'ascension de la sève dans le xylème. Cette sécrétion active se fait sous une certaine pression.

e.. Le cylindre central

Le rôle du cylindre central est essentiellement conducteur. Il est limité par le péricycle et renferme du xylème qui assure le transport de la sève brute et du phloème, l'approvisionnement en sève élaboré, riche en produits d'assimilation utilisés pour la synthèse et la croissance apicale ou mis en réserve dans le cortex.

Schéma : Absorption et migration horizontale de la sève brute depuis les poils absorbants jusqu'au xylème.

Dans la racine, xylème et phloème sont typiquement en **position alterne**. Les pôles vasculaires comme les pôles phloèmes sont externes et les cellules conductrices ont une différenciation centripète. Le phloème garde ce caractère dans les trois organes (racine, tige et feuille). Une évolution vasculaire change, par contre, le sens de différenciation du xylème : de centripète (1^{ère} phase), il deviendra tangentiel (2^{ème} phase), puis centrifuge (3^{ème} phase). Lorsqu'on s'élève (de la base au sommet) dans la plante, les 1^{ère} phases sont sautées et la troisième phase apparaît d'emblée : c'est le **phénomène d'accélération basifuge** qui explique la constitution de **faisceaux criblovasculaires** où xylème et phloème sont superposés dans les tiges et les feuilles. L'ensemble de trois phases vasculaires, et du phloème qui leur est associé forme un convergent qui peut être vu complet en général vers le collet.

Schéma : Anatomie comparée schématique de la tige et de la racine

3. Tiges souterraines

Lorsque la tige est partiellement ou totalement souterraine, les plantes peuvent présenter les différents organes suivants :

a..Le rhizome

C'est une tige souterraine tubérisée, plus ou moins épaisse simple ou ramifiée montrant une alternance des ondes épaisses et de parties minces ; de bourgeon terminal situé à l'extrémité du rhizome, se développe chaque année en tige aérienne.

b..Les tubercules

L'exemple classique est la pomme de terre que nous consommons souvent. Les tubercules sont des organes massifs tubérisés formés par l'hypertrophie des extrêmes des stolons (tiges souterraines horizontales minces).

c..Les bulbes

C'est un organe constitué d'une tige souterraine courte (plateau) portant sur sa face inférieure, un ensemble de racines adventives fasciculées et fibreuses et sur sa face supérieure des feuilles blanches charnues et gorgées de réserves. Dans un bulbe, les feuilles les plus externes, sèches, minces et colorées jouent un rôle protecteur. L'oignon est un exemple de bulbe : les feuilles sont réduites à leur gaine. Un oignon se développe en plante à partir du bourgeon terminal situé au centre du bulbe et au sommet.

Chapitre III : Tige et Feuilles

Introduction

Les organes aériens comprennent essentiellement de tige et de feuilles. Morphologiquement, les feuilles se présentent comme des appendices latéraux de la tige formant un axe.

Les feuilles et les tiges se distinguent par leurs caractéristiques morphologiques, anatomiques et physiologiques. Elles sont étroitement dépendantes du point de vue ontogénique et il n'existe pas l'un sans l'autre. Elles naissent simultanément dans le point végétatif caulinaire (de caule=tige). La tige se révèle être pour l'essentiel, au cours de l'ontogénèse, le prolongement des bases de feuille ou segment foliaire et la tige feuille apparaît comme un ensemble indissociable d'unités nées successivement.

I. Le point végétatif caulinaire

1. La tige

a. Caractères généraux

La tige est un axe, le plus souvent aérien, portant des feuilles et à son extrémité se trouve le **bourgeon terminal**. Les feuilles sont insérées latéralement au niveau des nœuds et à leur aisselle se trouve un ou plusieurs **bourgeons latéraux ou bourgeons axillaires** (en se développant) qui donnent des **rameaux latéraux**. Les parties entre deux nœuds successifs forment les entre-nœuds. Au cours de la vie d'une plante, les entre-nœuds sont susceptibles de s'allonger.

La phyllotaxie ou arrangement des feuilles sur un axe (tige) est régulière et caractéristique de l'espèce. Lorsque plusieurs feuilles sont insérées simultanément à chaque nœud, on parle des **dispositions verticillées** (ou les feuilles en verticille ou verticillées). Elles sont insérées, le plus souvent par paires alternant et se situant sur 4 génératrices de la tige (disposition opposée-décussée). Il y a une feuille à chaque nœud dans la **disposition alterne**.

La tige est généralement dressée (géotropisme négatif et phototropisme positif). Elle assure le **support** et la **ramification** du système aérien. Elle met en communication les organes

absorbants (des racines) et organes assimilateurs (des feuilles). Elle peut être herbacée ou ligneuse, simple ou ramifiée, creuse ou pleine. La section d'une feuille peut être circulaire, quadrangulaire, anguleuse, comprimée, ailée, ect.

b.. Croissance de la tige

La croissance en longueur de la tige est assurée par les bourgeons terminaux ou apicaux qu'elle porte. Lorsque le bourgeon est à croissance indéfinie, la tige est dite **monopodiale**. Elle est **sympodiale** lorsque le bourgeon terminal avorte au profit des fleurs ; la croissance en longueur est assurée par un ou plusieurs bourgeons axillaires situés à l'aisselle des feuilles.

Les rameaux ont une **organogénèse subapicale** (sur le flanc de l'apex) et une **croissance intercalaire** assez étendue. Beaucoup moins localisé que dans les racines, l'allongement se poursuit sur plusieurs entre-nœuds successifs. Il n'est pas uniforme.

Chez le Polygonum (Polygonaceae) par exemple, le maximum de croissance intercalaire se situe vers le milieu des entre-nœuds. Chez les Graminées, la zone d'élongation est restreinte à la base des entre-nœuds.

Le territoire organogène est constitué des cellules très méristématiques formant une sorte d'anneau subapical d'où naissent les feuilles successives : c'est le **méristème de flanc** ou **anneau initial**. La zone qui accroît la zone latérale est dite **aire maximale**. Un **initium** se soulève grâce à des cloisonnements périclines sous-épidermiques ; des divisions longitudinales construisent un procambium, ébauche de tissus conducteurs. Il apparaît un **primordium** puis une ébauche de feuille. Ce soulèvement entame l'anneau initial qui se trouve réduit : c'est l'**aire minimale**. L'apex devra se restaurer par une nouvelle croissance horizontale avant la prochaine initiation florale et le processus se répète. Ce fonctionnement latéral rythmé, périodique, est caractéristiques du stade végétatif.

Des cellules superficielles se détachant du méristème de flanc au moment de chaque surrection de l'ébauche de feuille profileront ultérieurement et produiront les **bourgeons axillaires**, origine des rameaux latéraux. Les bourgeons axillaires et feuilles ont une origine superficielle ou exogène (à la différence de la racine).

Le méristème médullaire se trouvant à la base de la zone apicale ne participe pas à la formation des feuilles mais ses potentialités sont strictement histogènes et ses dérivés constituent la moelle de la tige. La moelle a donc, seule parmi les tissus de la tige, une existence et une origine proprement caulinaire. L'activité de l'anneau initial et l'essentiel de l'entre-nœud (comme la base indivise de l'ébauche foliaire) produisent les autres parties. Les procambiums communs produisent en particulier le système conducteur.

La croissance en épaisseur de la tige est assurée par le fonctionnement soit du méristème seul, du méristème et des assises génératrices.

Schéma : coupe et dissection d'un point végétatif (organisation fondamentale de la tige)

c.. Différents types de tige

Le port des plantes est décrit en fonction de l'orientation de tige par rapport à la surface du sol ou par rapport à un support quelconque :

- Une plante dressée présente de tige verticale ;
- Une plante prostrée présente de tige couchée horizontalement sur la surface du sol ;
- Une plante radicante a de tige couchée et fixée au sol au niveau des nœuds par des racines adventives ;
- Une plantes volubile s'enroule par sa tige au tour d'un support ;
- Une plante grimpante est une plante qui, pour s'élever, s'appuie sur un support auquel elle s'accroche par des organes spécialisés (vrille, racine adventive, ect.)

Il existe évidemment bien d'autres ports intermédiaires dans la nature. Les plantes acaules sont sans tiges apparentes (tige très courte) et présentent des organes aériens dépourvus des feuilles ou feuilles disposées toujours en rosette (à la base) et en fin ne porte une ou plusieurs fleurs.

2.. La feuille

Les feuilles sont typiquement aplaties ; ce qui leur permet d'utiliser au maximum la lumière solaire et d'augmenter la surface d'absorption de CO₂. Grâce à leur richesse en parenchymes chlorophylliens, elles sont des organes assimilateurs (assure la photosynthèse).

Placée latéralement sur la tige, la feuille est formée de trois parties :

a.. Le limbe

Il est la partie large, aplatie dorso-ventralement. Sa principale fonction est d'assurer la photosynthèse et il possède de forme variable. Les nervures qui le parcourent (nervation) peuvent être parallèles (surtout chez les Monocotylédones), pennée, palmée, ect (chez les Dicotylédones). La structure du limbe peut être simple ou composée. Le limbe simple peut être entier ou découpé.

Un limbe est dit composé lorsqu'il montre une structure nettement individualisée appelé **folioles**. On parle de **foliolules** lorsque les folioles sont divisées à leur tour. Les feuilles simples découpées et les feuilles composées sont décrites en fonction de leur type de nervation.

b. Le pétiole

Il constitue l'axe qui porte le limbe. Lorsque le limbe est porté directement par la tige, la feuille est dite sessile, sinon elle est pétiolée.

c..La base de la feuille ou base foliaire

Elle comporte, en plus du bourgeon en position axillaire, une gaine plus ou moins développée portant soit de stipules (membraneux ou foliacé qui se rencontre par deux, au point d'insertion de la feuille), soit leurs équivalents (ligules ou **ochréa**). Les stipules sont rencontrés surtout chez les Dicotylédones ; il s'agit de lames foliacées habituellement au nombre de deux, de taille et forme très variable. Elles sont parfois transformées en épines. L'**ochréa** se rencontre chez les Polygonacées (la seule famille des Dicotylédones). Elle se présente sous la forme d'un étui membraneux entourant la tige au-dessus de l'insertion du pétiole. La ligule se rencontre surtout chez les Monocotylédones et se présente souvent sous forme d'une lame membraneuse, rarement sous la forme d'une ligne de poils entourant la tige au-dessus de l'insertion du limbe. Les feuilles ont une durée de vie plus ou moins longue et leur chute constitue un phénomène actif qui met en jeu un mécanisme particulier. Les plantes vivaces qui perdent leurs feuilles à chaque saison froide (correspondant au début de la saison sèche) sont dites plantes au **feuillage caduc**. Un végétal au feuillage toujours vert sont appelés **Sempervirents** ; le feuillage persistant à une durée de vie qui varie entre 2 à 5 ans.

Schéma : a. Feuille de Dicotylédones

b. Feuille de Monocotylédones

c. Bulbe d'oignon (*Allium cepa*) en coupe longitudinale

3...Différenciation dans la feuille et la tige

La mise en place de la **structure primaire** des feuilles et des tiges résulte de l'activité du méristème caulinaire. La différenciation conduit, en première approximation à 4 ensembles structurellement et fonctionnellement distincts :

- L'épiderme, assise de cellules superficielles qui assure le contact avec le milieu atmosphérique ;
- Les parenchymes qui forment la masse principale ;
- Les tissus de soutien assurent la rigidité de l'organe ;
- Les tissus conducteurs différenciés dans le procambium.

a.. Anatomie interne

La tige a une symétrie axiale alors que la feuille a une symétrie bilatérale accusée. L'ébauche foliaire s'accroît en hauteur par son méristème terminal et son méristème marginal

(corne) construit le **limbe** plus ou moins découpé et lobé. La morphogenèse et histogenèse du limbe se font selon des gradients qui peuvent être différents. Leur évolution est relativement complexe. L'anatomie foliaire est simple au stade adulte. Elle est formée d'un épiderme interne, ou supérieur, et un épiderme externe, ou inférieur, riche en stomates (généralement). Un tissu médian très chlorophyllien ou mésenchyme se situe entre les deux épidermes. Il est habituellement différencié en deux niveaux : un **parenchyme palissadique** renferme des cellules prismatiques alignées régulièrement et, au-dessus, un parenchyme lacuneux constitué des cellules en forme lobée laissant entre elles de larges espaces aérifères. Le tissu palissadique (parenchyme palissadique), riche en chloroplastes est le siège de la photosynthèse. Les échanges gazeux (apport de CO₂, élimination du O₂, intense transpiration ou rejet de H₂O) se font à travers le tissu lacuneux (parenchyme lacuneux) et l'épidermes.

Schéma :

L'approvisionnement et l'évacuation des métabolites sont assurés par les nervures de la feuille. Les Monocotylédones ont des nervures parallèles d'importance assez semblables. Chez les Dicotylédones, le faisceau confluent vers le bas en nervure de taille croissante. Les volumineuses nervures, en particulier la médiane, ont des tissus de soutien (collenchyme et sclérenchyme) associés aux tissus conducteurs. Le pétiole (dépourvu de limbe) a une structure histologique comparable à celle d'une tige.

b.. Comparaison des tiges de Dicotylédones et Monocotylédones et durée de vie

Chez les Dicotylédones, les faisceaux se répartissent sur un cercle autour de la moelle en formant une **couronne vasculaire**. L'intégration de faisceaux d'une feuille implique une interruption locale de la couronne vasculaire appelée **brèche foliaire**. Chez les Monocotylédones, les segments foliaires sont emboîtés et les faisceaux ont une course telle qu'ils apparaissent, en coupe, dispersés dans l'ensemble de la tige. Dépourvus de formations secondaires, les faisceaux de conduction des Monocotylédones ont un aspect caractéristique dû à l'apparition d'une phase supplémentaire de l'évolution vasculaire (4^{ème} phase ou phase concentrique) au cours de laquelle les vaisseaux entourent les cordons de phloème.

La taille et la durée de vie de la feuille sont limitées. Les cellules foliaires entrent en sénescence après une période de végétation (cette période est variable). Elles dégènèrent puis l'**abscission** se produit à la base du pétiole. Seule, la tige persiste.

Schéma : Disposition des vaisseaux conducteurs des Monocotylédones et Dicotylédones

Chapitre IV : Les tissus végétaux

Introduction

Les tissus végétaux sont issus des méristèmes situés dans la partie apical (ou partie jeune) de la plante. Il s'agit des cellules indifférenciées en permanentes mitoses. Au cours de la croissance végétale, il existe deux méristèmes : les méristèmes primaires donnent des tissus initiaux et les méristèmes secondaires produisent des tissus permettant l'accroissement en épaisseur de la plante (non obligatoire et absent chez les Monocotylédones).

Après multiplication (mitoses) cellulaire intense, les cellules méristématiques se différencient et se spécialisent pour donner :

- Tissus de protection (épiderme, suber) ;
- Tissus de soutien (collenchyme, sclérenchyme) ;
- Tissus d'assimilation (chlorophyllienne) ;
- Tissus de réserve (stockage d'amidon par exemple) ;
- Tissus de sécrétion (latex, essence ou huiles essentielles) ;
- Tissus conducteurs de sève (sève brute ou sève montante constitue d'eau et sels minéraux par le bois ou xylème ; sève élaborée ou sève descendante constituée d'une solution plus ou moins sucrée par le liber ou phloème).

I..Les tissus primaires

1...Les parenchymes

Les cellules parenchymateuses ont une organisation proposée comme « typique », « moyen » de cellule végétale (structure simple du pont de vue cytologique) chacune est pourvue d'une vacuole qui dépasse 80% du volume cellule. Les parois des parenchymes sont minces et traversé par de nombreux plasmodesme. Les échanges gazeux y sont intenses et assurés par un réseau de méats très développés appelés **parenchymes lacuneux** ou **aérenchymes**. La spécialisation porte essentiellement sur l'évolution des plastes. Dans les organes aériens, surtout les feuilles, se trouvent les **parenchymes chlorophylliens**. Ils sont pigmentés en vert par d'abondants et volumineux **chloroplastes lenticulaires** pourvus d'un système de thylacoïdes d'autant plus abondants que l'organe est éclairé. A l'obscurité, le système membranaire ne se forme pas ou disparaît simplement. La lumière est nécessaire au déroulement de la photosynthèse. Le cytoplasme est le siège d'un mouvement actif (cyclose) dans tous les territoires cellulaire et brasse les organites des cellules dans les tissus.

Les parenchymes amyliifère ou parenchymes de réserves sont abondants dans les organes souterrains (racines, rhizomes). En général, les tiges ont un parenchyme amyliifère. Les

plastes élaborent de volumineux grains d'amidon grâce à la photosynthèse et seront utilisés lors de reprise de la végétation.

Les plastes se trouvant dans les parenchymes de fruits et de fleurs subissent souvent une évolution particulière et accumulent dans pigments caroténoïdes (chromoplastes) qui colorent l'organe en jaune ou orange. D'autres cellules de type parenchymateux sont associées aux tissus conducteurs (parenchymes vasculaires et parenchymes phloémiens).

Les cellules parenchymateuses du corps de la plante adulte peuvent, sous l'influence de divers stimulus, modifier leur spécialisation initiale pour se transformer en un autre type cellulaire ou entrer en division et revenir à un état indifférencié : on dit qu'elles apparaissent encore **proche de l'état méristématique (ou la dédifférenciation)**.

2...L'épiderme

Il s'agit d'une assise de cellules qui couvrent les tiges, rameaux et feuilles. Il protège ces organes contre la dessiccation et les agressions extérieures de toutes sortes (tels que les bactéries, virus, champignons parasites,..). Il permet et règle les échanges gazeux avec l'atmosphère. Il comporte des **cellules de revêtement** et les **cellules stomatiques**. Il existe fréquemment des émergences uni ou pluricellulaires formant des poils qui jouent un rôle protecteur soit sécréteur (selon les conditions de l'environnement). Dans l'épiderme situé sous la face inférieure des feuilles, la densité des stomates est habituellement maximale.

L'épiderme est issu d'une assise de cellules méristématiques (protoderme) qui couvrent les organes en formation (la mitose se passe perpendiculairement : mitose anticline). Les cellules épidermiques aux caractères cytologiques de type parenchymateux portent des plastes **rudimentaires** sans chlorophylle. Elles secrètent sur la face externe, en contact avec le milieu, un **revêtement** ou **cuticule** constitué des dérivées lipidiques très hydrophobes, des cires en particulier, rendant la surface non mouillable à l'eau. L'épaisseur de la cuticule est constituée par un réseau de cutine (polymère d'hydroxy-acide à longues chaînes carbonée) imbibé d'eau et contenant des strates de cire. Les cellules stomatiques présentent une structuration particulière ; leurs parois se cutinisent et se clivent ébauchant un **orifice** ou **ostiole** à lèvres épaisses. L'ostiole communique vers l'extérieur avec la **chambre sous-stomatique** dans laquelle aboutit un réseau des méats. Les proplastes des stomates se transforment en plastes avec **enclaves amylofère** (à la différence des cellules épidermiques). Les cellules épidermiques contrôlent les échanges entre le milieu et la chambre sous-stomatique en modifiant les dimensions de l'ostiole (selon le potentiel hydrique cellulaire, lumière, teneur de CO₂,...). Dans les conditions physiologiques normales, il s'établit quotidiennement ouverture (diurne) et fermeture (nocturne) modulé chaque instant par les conditions environnementales.

Schéma : épiderme avec chambre sous-stomatique.

3..Le collenchyme

Il est le tissu de soutien des jeunes organes en croissance. C'est en position périphérique qu'il se forme précocement, généralement par cloisonnement péricline de cellules sous-épidermiques. Il en résulte des cordons de cellules, les **collocytes**, qui sont le siège d'une forte activité de synthèse conduisant à la formation des précurseurs des parois. Celle-ci s'épaissit en restant polysaccharidique comme les parois primaires. Elles sont constituées de nombreux feuillets concentriques (jusqu'à 50) de fibrille cellulosique qui assure une capacité de résistance, en particulier, aux tractions (parois souples et plastiques). Sous l'influence de régulateurs spécifiques, le réseau de polysaccharides se rompt par places (par endroit) et les couches de fibrilles ont la possibilité de glisser les uns contre les autres. Le collenchyme est résistant, extensible et permet l'élongation de l'organe.

De forme spécifique d'épaississement de sa paroi, il existe différents collenchymes :

- Collenchyme annulaire ou rond (cèleri) ;
- Collenchyme angulaire (betterave) ;
- Collenchyme tangentiel (sureau).

4.. Le sclérenchyme

C'est un ensemble assez divers de cellules de soutien ou sclérocytes ayant en commun la propriété d'élaborer un type particulier de paroi qui leur confère une grande dureté. C'est pour cette raison que certaines sont désignées sous le nom des **cellules pierreuses**.

La cellule ajoute à sa paroi primaire, une paroi secondaire constituée de strates de fibrilles de cellulose très serrées lorsqu'elle a cessé de croître. Ces parois sont élastiques mais non plastiques et sont résistantes à la traction. Certaines espèces fournissent ainsi des textiles de qualité (lin) ou des éléments de cordage solide (chanvre). L'ensemble se sclérifie tardivement c'est-à-dire s'imprègne totalement d'un polyphénol, la lignine, il devient inextensible. Les parois sont alors résistantes à la compression.

Les sclérocytes les plus longs sont les fibres. Lorsque la sclérification est achevée, les noyaux et les cytoplasmes dégèrent. Ils (sclérocytes) sont largement distribués dans les plantes vasculaires ; ils forment un anneau ou des faisceaux situés plus ou moins profondément dans l'organe. Ils constituent, en dehors du bois, les territoires durs et coriaces du végétal (téguments, noyaux de fruits, épines et aiguillons des feuilles et des tiges, etc). On les rencontre abondamment dans les organes des plantes adaptées à la sécheresse (Xérophytes).

5.. Les tissus conducteurs

Le **xylème** et le **phloème** forment le **système vasculaire**. Ils sont étroitement associés du point de vue ontogénique, anatomique et physiologique.

a.. Le xylème ou bois

Il assure le transport de la **sève minérale** ou **sève brute**. Il s'agit d'une solution aqueuse très diluée de sels minéraux puisée dans le sol. Les tissus conducteurs de sève brute sont constitués des cellules mortes, en fils, aux parois plus ou moins imprégnées de lignine. Les éléments qui les caractérisent sont des **trachéides** et des **vaisseaux**, cellules sclérifiées qui deviennent fonctionnelles après la résorption complète du protoplasme. Dans les organes jeunes, leurs parois secondaires sont discontinues ; ce qui permet un étirement et une croissance. On observe une série ontogénique ordonné très caractéristique : trachéides annelées, spiralées, rayées, ponctuées etc., (aspect ornemental). Les deux premiers se forment, par extension dans les organes jeunes (protoxylème) et les deux autres après la croissance et constitué le **metaxylème**.

Les vaisseaux des Angiospermes (Monocotylédones et Dicotylédones=plantes supérieures) les parois transversales ne reçoivent pas de dépôts secondaires. Elles sont détruites, digérées par les enzymes cellulolytiques et pectinolytiques secrétées au niveau du plasmalemme. Il se forme un tube continu aux parois longitudinales rigides maintenues ou vertes.

b.. Le phloème

Il assure le déplacement de la sève élaborée, riche en substances organiques. Il s'agit des cellules vivantes en fils, aux parois transversales criblées (ou perforées). La différenciation de celle-ci s'est obtenue par destruction de leur noyau et leurs structures cytoplasmiques. La disparition de la vacuole par rétraction et dégénérescence du **tonoplaste** puis hydratation du cytoplasme. Les cribles sont percés après dépôt de disques appariés de callose autour de certains plasmodesmes, principalement ceux situés sur les parois transversales. Après résorption de la callose, de larges pores font communiquer les cellules. Dans les organes permanents, de nouveaux dépôts de callose constituants des **cals** massifs obstruent les cribles pendant le repos hivernal (callose de dormance).

Les cellules criblées des Angiospermes sont pourvues de **cellules compagnes**. La cellule criblée et la cellule compagne sont issue d'une mitose inégale de la même cellule ; la plus grande cellule-fille s'hydrate considérablement et se transforme en un élément criblé. La plus petite reste très dense et garde des caractères méristématiques prononcés (elle remplace la cellule criblé une fois morte).

Schéma : Xylème ou bois : parois latérales secondaires lignifiées (cellules morte) ;

. Cellule criblée ou liber et avec formation de cal hivernal

II.. Les zones génératrices et tissus secondaires

1..Les zones génératrices

La croissance primaire est suivie d'une croissance toute différente due au fonctionnement des **méristèmes secondaires** ou **zones génératrices** (la division se fait de façon périclines ou tangentielle). Cette zone de division active des cellules est appelée cambium qui est formée de deux types de cellules : des initiales longues ou initiales fusiformes et des initiales courtes ou initiales radiales.

Les zones génératrices se distinguent des méristèmes primaires apicaux par leur production strictement histogène et par leurs caractéristiques cytologiques (vacuoles volumineuses). La structure histologique résulte directement de **cambium libéroligneux** et le **phellogène** (deux zones génératrices) (dendrochronologie= l'épaisseur des cernes annuels dépend de l'environnement et des conditions météorologiques, permet une datation absolue d'objet ancien. L'arbre est donc un enregistreur d'évènements intégrés dans la structure du bois).

a..Le cambium

Il produit des tissus conducteurs secondaires ajoutés directement aux éléments primaires : vers l'extérieur le **liber** ou **phloème** secondaire et vers l'intérieur le **bois** ou **xylème**. Il provoque la croissance en diamètre des organes et le port ligneux des espèces arborescentes (Gymnospermes et de nombreux Dicotylédones).

Chez les Gymnospermes, les mêmes cellules appelées trachéides, assurent le rôle de conduction et de soutien : le bois est dit **homoxylé**. Par contre, dans le bois des Angiospermes (il y a séparation de fonction), les fibres assurent le soutien et les vaisseaux, la conduction : le bois est **hétéroxylé**.

b.. Le phellogène et périderme

Le phellogène ou zone **génératrice subérophellodermique** adapte la structure de l'écorce face à l'accroissement interne. Il produit du suber ou liège vers l'extérieur et du phellogène vers l'intérieur. Les deux tissus forment un revêtement d'origine secondaire ou périderme. Le phellogène est issu de la reprise des mitoses périclines et de la dédifférenciation des cellules de type parenchymateux. La structure du phellogène est relativement simple. A la différence du cambium libéroligneux, il est homogène et constitué d'un seul type de cellules.

Le phelloderme est un parenchyme secondaire chlorophyllien. Le suber est constitué de cellules très jointives dont les parois élaborent des couches de composés lipidiques hydrophobes appelés **subérine** (paroi imperméable). Le suber est tissu protecteur mort de faible densité, isolant. Des **lenticelles** formées de cellules suberifiées sont séparées par de nombreux méats permettant les échanges gazeux au travers du périoderme. L'accumulation des couches externes subéreuses forme un **rhytidome** (du grec rhtidôma=ride, rugosité) plus ou moins crevassé.

Schéma : Remplacement de l'épiderme par le périoderme

2..Les tissus secondaires : bois et liège dans le tronc des arbres

Le bois et le liège sont des tissus les plus persistants car leurs parois sont renforcées (lignine, subérine). Ils fournissent des matériaux d'usage courant, à l'état natif ou remanié.

a..Le bois

L'orientation de la coupe est essentielle pour le produit fini. Les figures sinueuses provoquées par les sont mises en valeur en ébénisterie et en placage.

b.. Le liège

Les lenticelles sont poreuses. Les parois du liège contiennent subérine et lignine. Le bouchon est parallèlement extrait à la surface de l'écorce et réservé aux bouteilles de vin de "haute gamme" et champagne (écorce de chêne-liège).

Quand une branche est élaguée, le cambium enveloppe progressivement la blessure : il se forme un bourrelet cicatriciel et les nouveaux cernes finissent par enrober complètement les "moignon" qui est ainsi inclus dans le bois sous forme de «nœud mort » et que l'on retrouve dans les planches débitées à ce niveau.

Chapitre V : L'appareil reproducteur : la fleur

Introduction

Chez les Angiospermes (Mono et Dicot), l'unité de reproduction est la fleur. C'est un axe spécialisé qui porte les organes reproducteurs, les **étamines** et/ou les **carpelles**, habituellement enveloppement par les organes protecteurs formant les périanthes. La fleur résulte de la métamorphose des feuilles (par mécanisme de l'évocation florale).

Le développement d'une fleur se fait à partir d'un bourgeon qui donne d'abord un **bouton floral** dans lequel toutes les pièces florales sont déjà ébauchées. Celles-ci grandissent lors de l'éclosion du bouton floral et leur épanouissement forme la fleur.

Quand elle est portée par un axe plus ou moins long appelé **pédoncule florale**, la fleur est dite **pédonculée** ou elle est directement fixée sur la tige ou un rameau : la fleur est sessile (sans pédoncules). A la base du pédoncule floral ou de la fleur, il y a toujours un organe foliacé appelé **bractée florale**. Il peut avoir entre bractée et la fleur une seule (chez les Monocotylédones) ou deux (chez les Dicotylédones) lames foliacées de taille réduite appelé bractéole ou préfeuille.

Schéma : Disposition des feuilles chez les Angiospermes (la tige est représentée par une croix)

I.. organisation ou constitution de la fleur

Schéma simplifiée d'une fleur

La préfloraison est le mode de disposition des pièces florales dans un bouton floral. Elle caractérise les espèces, les familles, ... Elle est utilisée en botanique systématique.

1.. Le périanthe

Le périanthe d'une fleur présente souvent :

- Un calice formé des pièces externe, en général, vertes appelées **sépales** ;
- Une corolle formée des pièces internes alternant avec les sépales colorées habituellement non vertes appelée **pétales**.

Les pigments variés sont responsables de la coloration : la présence d'anthocyane se traduit par les couleurs rouge, rose, violet, bleu, et celle des flavonoïdes par le jaune. Le blanc indique l'absence des pigments.

Un périanthe où l'on peut distinguer un calice et une corolle est dit **double**, il est simple lorsque toutes les pièces le formant sont semblables et sont alors appelées **tépales**. Au niveau de chaque verticille du périanthe, les sépales, les pétales ou tépales peuvent être libres ou soudés.

2...L'androcée

L'androcée est formé par l'ensemble des étamines d'une fleur. Une étamine est généralement constituée d'une anthère à deux sacs polliniques, portés par le sommet d'un filet. Chaque sac est formé de deux loges.

- **Comparaison du nombre des étamines et du nombre des pièces de périanthe :**
 - ✓ L'androcée est **isostémone** lorsqu'il présente le même nombre d'étamines que de pétales ou sépales ;

- ✓ Quand une fleur a deux fois plus d'étamines que de pétale (ou sépales), deux cas sont possibles : l'androcée est **diplostémone** quand les étamines du verticille externe alternent avec les pétales ; il est **obdiplostémone** quand les étamines du verticille externe sont opposés aux pétales ;
- ✓ Un androcée formé de nombreuses étamines est dit **méristémone** si les étamines le constituant sont disposées en verticille et **polystémone** si les étamines sont disposées en hélice.
- **Liaison entre les étamines** : les étamines d'une fleur peuvent être libres ou soudées entre elles. La liaison entre les étamines se fait soit au niveau des filets soit au niveau des anthères. Dans le 1^{er}, l'androcée peut être **monadelphie** (tous les filets sont soudés entre eux), **diadelphie** ou didelphe (les filets se soudent en deux groupes) ou polydelphe (les filets se soudent en plusieurs groupes). L'androcée dont les étamines sont soudées par les anthères est dit **synanthère**.
- **Relation androcée-périclype** : les étamines peuvent être libres ou soudées au périclype par des filets ;
- **Formation des grains de pollen** : dans une jeune étamine, chaque loge est un tissu formé des cellules mères de grains de pollen. Chaque cellule mère diploïde subit une réduction chromosomique et donne des cellules filles haploïdes, dont chacune évolue en grain de pollen. Au cours de cette transformation, le noyau de la cellule fille se divise en deux noyaux fils haploïdes qui vont coexister dans le grain de pollen en formant, l'un le **noyau reproducteur** et l'autre le **noyau végétatif**. En même temps, le grain de pollen acquiert sa coloration spécifique jaune ou orangé par accumulation dans son cytoplasme des réserves **caroténoïdes**. La paroi des grains de pollen est double et imprégnée de chitine. La surface de la paroi comprend un certain nombre de pores germinatifs et peut être lisse ou présenter une ornementation faite de saillies d'une extraordinaire diversité.

Schéma de grain de pollen

3.. Le Gynécée (du grec *guné*=femme) ou pistil (*pistillus*=pilon)

Le gynécée est formé par l'ensemble des carpelles.

Un carpelle est constitué de trois éléments suivant :

- L'**ovaire** est la partie large, creusée intérieurement d'une cavité qui porte sur le bord placentaire un certain nombre d'ovules ;

- Le **style** est le prolongement mince de l’ovaire contenant dans son axe un cordon de cellules spéciales se gélifiant lors de la fécondation ;
- Le **stigmate** est la surface située au sommet du style spécialisé dans la réception de grains de pollen.

Les gynécées peuvent se distinguer par les caractères suivant :

- Le **nombre de carpelle** dans une fleur : le gynécée peut contenir un ou plusieurs carpelles ;
- La **position du gynécée** découlant de la forme du réceptacle floral et de la position relative de l’ovaire par rapport au périanthe :
 - ✓ Le gynécée est **super** si le réceptacle floral est plan ou convexe. Dans ce cas, l’ovaire est inséré presque au même niveau ou au-dessus de l’insertion du périanthe ;
 - ✓ Lorsque le réceptacle floral est concave (conceptacle), le gynécée est inséré en dessous du périanthe. Deux cas sont alors possibles : quand l’ovaire est soudé au conceptacle floral, le gynécée est **infère adhérent** ; quand l’ovaire est libre du conceptacle floral, le gynécée est **infère libre**.

Schéma : gynécée super, gynécée semi infère ou semi super, gynécée infère

- **La liaison entre les carpelles** : lorsque la fleur porte plusieurs carpelles, ceux-ci peuvent être libres ou soudés entre eux. La soudure intervient avec toutes les combinaisons possibles au niveau de trois éléments constituant le gynécée (ovaire, style, stigmate). Un gynécée à plusieurs carpelles soudés au niveau des ovaires peut montrer plusieurs loges (souvent autant de loges que de carpelles) ou seulement une loge.
- **La placentation** est le mode d’insertion des ovules dans la loge ovarienne. On distingue trois principaux types :
 - ✓ La placentation est **pariétale** lorsque les ovules sont fixés sur la paroi des carpelles. Ce type de placentation est rencontré dans le cas de carpelles libres à carpelles soudés ; dans ce dernier cas, l’ovaire contient une loge ;
 - ✓ La placentation est **axile** lorsque les ovules sont fixés sur l’axe du gynécée. Cet axe est formé par la soudure de carpelles ;
 - ✓ La placentation est centrale lorsque les ovules sont fixés sur une colonne centrale basale, la partie supérieure de la colonne ayant disparu.

- **La constitution de l'ovule** : au moment de l'épanouissement d'une fleur, l'ovule, bien que de taille très réduite, a une structure complexe mais précise. Un ou deux téguments enveloppent une masse de tissus où un groupe de cellules placées près de la nucelle s'est individualisé pour former le **sac embryonnaire**. Les téguments au sommet de ce sac embryonnaire sont rompus par un pore très réduit appelé **micropyle**. Le sac embryonnaire est formé généralement de huit (8) cellules disposées de façon suivante :
 - ✓ Trois (3) cellules du côté de micropyle dont la médiane sera la cellule fertile, encadrée de 2 cellules latérales appelées **synergides**.
 - ✓ Trois (3) cellules du côté opposé au micropyle appelées **antipodes** ;
 - ✓ Deux (2) cellules forment le noyau central de l'ovule.

Le sac embryonnaire est issu de la division d'une cellule sous-épidermique du nucelle. Cette cellule mère diploïde, subit une réduction chromosomique et donne 4 cellules haploïdes dont 3 dégénèrent. La cellule restante subit 3 divisions successives pour donner 8 cellules qui vont s'organiser en sac embryonnaire (homologue d'un prothalle femelle réduit).

Schéma : Ovule des Angiospermes.

4.. Formule et diagramme floral

La plupart des fleurs des Monocotylédones présente la formule florale suivante (ou de type 3 ou trimère).

3S + 3P + (3+3)E + 3 E (Périanthe=calice (S=sépale) et corolle (P=pétale) ; Androcée= étamines (E) ; Gynécée ou pistil= carpelles (C)).

La formule florale des Dicotylédones est de type 5 ou pentamère.

5S + 5P + (5+5)E + 5 E

Schéma : diagramme floral des Mono et Dicotylédones correspondants aux formules florales respectives.

II.. L'inflorescence

La fleur est rarement solitaire. Elle se trouve au voisinage d'une ou de plusieurs autres formant un ensemble appelé **inflorescence**.

Les inflorescences rencontrées peuvent se rapporter aux deux types principaux suivant :

- Lorsque l'**axe principal** de l'inflorescence est à croissance **continue**, les inflorescences sont dites **indéfinies** : l'âge des fleurs diminue en allant de la base vers le sommet de son inflorescence. La fleur du sommet est par conséquent la plus jeune.

On distingue plusieurs inflorescences indéfinies :

- ✓ La **grappe** présente des fleurs pédonculées. Elle a souvent une forme pyramidale ;
 - ✓ Le **corymbe** est une grappe dont toutes les fleurs sont situées presque dans un même plan horizontal. Les pédoncules floraux sont repartis le long de l'axe commun de l'inflorescence ;
 - ✓ L'**ombelle** est une grappe dont les fleurs sont également situées dans un même plan horizontal mais les pédoncules floraux (rayon de l'ombelle) partent d'un même point. Les bractées florales lorsqu'elles sont présentes forment un **involucre** à la base de l'inflorescence ;
 - ✓ L'**épi** présente des fleurs sessiles ;
 - ✓ Le **spadice** est un épi enveloppé à sa base par une grande bractée d'inflorescence appelée spathe (chez les femelles des Araceae et Arecaceae) ;
 - ✓ Les **capitules** présentent un axe d'inflorescence comprimé en un plateau (réceptacle d'inflorescence) portant sur sa face supérieure un ensemble de fleurs sessiles et sur le pourtour, un ensemble de bractées formant l'involucre ou péricliné.
- Lorsque l'axe principal est à croissance définie, on a des **cymes**, dans lesquels la fleur "centrale" est toujours âgée. Les cymes peuvent être **unipares** ou **multipares**.

Les inflorescences décrites ci-dessous sont simples. Elles peuvent être groupées en inflorescence dite composées qui sont soit constituées par le même type d'inflorescence simple (inflorescence composée ou homomorphe tel que grappe de grappes) soit d'inflorescence simple de différents types (inflorescence composée mixte tel que grappe de cymes).

Schéma : différents types d'inflorescences

III.. Caractères généraux de la fleur

Les différentes pièces qui constituent la fleur sont insérées au sommet plus ou moins développé du pédoncule floral appelé **réceptacle floral**. Celui-ci peut être plan, convexe (thalamus) ou concave (conceptacle).

La fleur présente un certain nombre de caractères généraux relatifs aux types d'insertion de ces pièces florales à sa symétrie et à son axe.

a.. Type d'insertion des pièces florales

Une fleur acyclique montre toutes ses pièces florales insérées en hélice. Chez les fleurs hémicycliques, une partie des pièces florales est insérée en hélice, le reste en verticille. Dans le cas d'une fleur cyclique, le nombre des pièces florales par verticilles est souvent constant. Par exemple une fleur trimère présente 3 pièces par verticille.

b.. Symétrie de fleur

Une fleur est actinomorphe lorsque toutes les pièces florales qui la constituent sont disposées symétriquement par rapport à son axe floral (symétrie radiaire). Si la fleur n'admet qu'un seul plan de symétrie, elle est zygomorphe (autrement dit, elle est asymétrique).

c.. Sexe de la plante

Les organes sexuels mâles d'une plante sont les **étamines** et les organes femelles sont les **carpelles**.

Les fleurs sont habituellement hermaphrodites lorsqu'elles contiennent en même temps les étamines et les carpelles. Les fleurs unisexuées ne montrent que les étamines (fleurs mâles) ou les carpelles (fleurs femelles). L'individu végétal dont les fleurs sont unisexuées est dit **monoïque** s'il porte en même temps les fleurs mâles et les fleurs femelles. Il est dit **dioïque** s'il ne présente les fleurs d'un seul sexe, soit mâle (pied mâle) soit femelle (pied femelle). L'individu est **polygame** lorsqu'il porte en même temps des fleurs mâles, des fleurs femelles et des fleurs hermaphrodites.

IV.. Pollinisation

C'est le transport du pollen des anthères sur le stigmate des pistils. Le grain de pollen peut être amené par le seul effet de pesanteur, suite à des mouvements des plantes, sur la surface stigmatique de la fleur dont il est issu. Il s'en suit une fécondation : il s'agit d'une **autofécondation** (pollinisation directe ou autogamie). Le dépôt du pollen des étamines sur le stigmate de la même fleur n'entraîne pas le **brassage génétique** (même patrimoine génétique). Plus généralement, les grains de pollen sont véhiculés par différents agents sur le stigmate d'une autre fleur de la même espèce végétale. Il s'agit alors d'une fécondation croisée (pollinisation croisée ou allogamie). Les patrimoines génétiques différents entraînent le brassage génétique. C'est un phénomène obligatoire quand l'espèce est dioïque.

Les agents responsables du transport de grains de pollen d'une fleur à l'autre sont très divers :

- Par le vent : anémogamie ou anémophilie ;
- Par les insectes : entomogamie ou entomophilie ;
- Par les oiseaux : ornithogamie ;
- Par l'homme : anthropogamie ;

- Par les animaux en général : zoogamie ou zoophilie ;
- Par l'eau : hydrophilie

Si la fécondation croisée est nécessaire dans le cas des fleurs unisexuées, la pollinisation directe est gênée chez certaines fleurs hermaphrodites de différentes façons :

- La maturation de deux types d'organes reproducteur d'une fleur est décalée dans le temps (exemple chez le maïs) : les organes mâles sont mûrs les premiers. On dit que la fleur est **protandre** (protandrie) ou **protérandre** (protérandrie). Il arrive que les organes femelles soient mûrs les premiers : la fleur est **protogyne** (protogynie) ou **protérogyne** (protérogynie) ;
- La disposition des étamines et des stigmates d'une même fleur gêne ou empêche l'autofécondation (étamine sous le stigmate ou le cas de dispositifs des organes de la vanille ou cas d'hétérostylie : ici est un exemple de pollinisation par les oiseaux ou ornithogamie) ;
- L'incompatibilité entre le pollen et stigmate d'une même fleur (pollinisation croisée obligatoire) ;
- Le plus souvent combinaison de plusieurs facteurs,...

V.. Fécondation et formation des graines

Une fois le grain de pollen parvient à la surface réceptrice d'un stigmate, il s'imbibe d'un liquide sécrété et germe en formant un tube pollinique traversant l'exine au niveau d'une ouverture ou pore germinatif (point d'amincissement de l'exine) et emprunte le tissu du style formé par des cellules gélifiées.

Au cours de la croissance du tube, le noyau végétatif se déplace à la pointe du tube suivi à une certaine distance par le noyau reproducteur. Le tube progresse jusqu'à la cavité ovarienne, atteint la surface placentaire puis l'ovule et le pénètre pour entrer en contact avec le sac embryonnaire. Le noyau végétatif se résorbe. Le noyau reproducteur se divise en deux noyaux fils toujours haploïdes (spermatozoïde dépourvu de cils= anthérozoïde). Dans le sac embryonnaire, un de ces noyaux fusionnent avec la **cellule fertile** ou **oosphère** pour donner un **œuf**, cellule diploïde qui se multiplie et se différencie en un **embryon**. L'autre noyau fusionne avec les deux noyaux haploïdes du centre pour former une cellule triploïde ($3nX$) qui va se différencier en un tissu appelé **albumen** (tissu de réserve). Il s'agit d'une **double fécondation** qui n'a lieu exclusivement que chez les Angiospermes chez lesquels la fécondation déclenche la formation de l'embryon et la formation de réserves.

L'ovule s'est transformé en graine (formation de l'embryon). Les réserves sont stockées, il y a trois possibilités :

- Le nucelle peut persister sous le nom de **périsperme** (graine à périsperme);
- Le plus souvent il est remplacé complètement par l'albumen ($3nX$) : **graine albuminée** ;
- Par fois l'albumen disparaît à son tour, les réserves sont stockées dans les cotylédons : **graines exalbuminées**.

Les téguments se modifient et jouent le rôle de protection. L'ensemble se déshydrate et l'embryon entre en vie ralentie. La germination permettra la reprise de vie et le développement de l'embryon grâce aux réserves de la graine. La germination non immédiate est due à des divers mécanismes d'inhibition (inhibiteur chimique, protéines photosensibles, l'imperméabilité des téguments ou enveloppes, résistance mécanique des enveloppes).

VI.. Formation du fruit

La fécondation déclenche également la transformation de l'ovaire en fruit. La paroi de l'ovaire évolue en péricarpe (épicarpe mésocarpe, endocarpe) des fruits.

Les principaux types de fruits sont les suivant :

1.. Les fruits secs indéhiscent (qui ne s'ouvre pas).

Ils sont appelés akènes quand ils présentent une seule graine enfermée dans un péricarpe sec et qui ne s'ouvre pas à maturité. Ils proviennent d'un ovaire formé d'un carpelle et d'une loge (akène : tout fruit sec à graine unique, qui n'adhère pas à sa coque et qui ne sort pas de la loge quand il parvient à maturité). Un akène ailé est dit **samare**. Chez la femme des Graminées, le fruit est un **caryopse**, qui est un akène à péricarpe soudé au tégument de la graine.

2.. Les fruits secs déhiscent

Ils sont généralement appelés capsules. Ils contiennent généralement de nombreuses graines et ont un péricarpe sec qui présente des zones de discontinuité correspondant au lieu de déhiscence du fruit.

On reconnaît plusieurs types de capsule :

a..Les follicules

C'est un fruit sec qui s'ouvre par une fente de déhiscence longitudinale ventrale correspondant au bord placentaire.

b.. La gousse

C'est un fruit qui s'ouvre par deux fente de déhiscence ; une ventrale et l'autre dorsale. Le follicule et la gousse dérivent de l'ovaire super unicarpelle et uniloculaire.

Les capsules sont des fruits secs qui proviennent d'un ovaire formé de deux carpelles ou plus, avec autant de loges que de carpelle ou seulement une seule loge. L'ouverture d'une capsule peut se faire au niveau de cloison séparant les loges (déhiscence septicide), au niveau de chaque loge (déhiscence loculaire), départ et d'autre de placenta (déhiscence szeptifrage ou

paraplacentaire), par des pores (capsules poricides), par des dents (capsules denticides) ou encore par une fente horizontale (capsule pycside).

c.. Les fruits charnus

Ils ont un péricarpe charnu à maturité. On distingue les **baies** dont le péricarpe est entièrement charnu et les **drupes** dont la couche la plus interne (endocarpe) du péricarpe est dur (osseuse, cartilagineuse,..) et forme un noyau. Une autre distinction est faite entre les **vrais fruits** qui proviennent de l'ovaire seule, et les **faux fruits** qui dérivent de la maturité de l'ovaire et d'une autre partie de la fleur (réceptacle floral, bractée floral) ou même de toute une inflorescence (fraise, pomme, ananas,...).

3...Dissémination des fruits et graines

Les fruits possèdent souvent des adaptations facilitant sa dispersion ou celle de ses graines :

- Par le vent : samares, akène à aigrette ;
- Par les animaux : transport externe par accrochage (galium, harpagophyton ou "griffe du diable") et transport interne après ingestion (cas des fruits tels que drupes, baies, fruits bacciformes ou fruits complexe avec partie charnue)

VII. Cycle de développement

En bref, les apports fondamentaux des Angiospermes à l'évolution sont :

- La fleur ;
- L'ovaire et ses fruits ;
- L'albumen, tissu de réserve polyploïde.

Le cycle de développement des Angiosperme se résume ainsi :

Schéma : Cycle de développement des Angiospermes

Multiplication végétative des plantes supérieures :

- Multiplication végétative naturelle (bouturage, marcottage, drageonnage) ;
- Multiplication végétative artificielle (greffage, culture de cellule végétale ou du méristème= biotechnologie végétale).

Chapitre VI : Reproduction chez les plantes sans fleur

Introduction

Les **phanérogames**, ou plantes à fleurs ont leurs organes reproducteurs visibles groupés aux extrémités de certains rameaux du sporophyte (plante feuillée) d'une part. D'autre part, elles ont la capacité de former des graines d'où le nom des **Spermaphytes**. Ils se divisent en

deux groupes (phylum) : les Angiospermes (fleur bien définie avec différente partie) et les Gymnospermes (organes reproducteurs souvent représentés par les cônes). Les Gymnospermes actuelles typiques sont essentiellement représentées par les **Conifères** (5000 espèces environ)

I. Appareil végétatif

Tous les Conifères sont des ligneux se fixant au sol par un puissant système racinaire. L'axe dressé et le mode de ramification sont variés. Ce sont des arbres (Pins, Cèdres, Sequoias) ou des arbustes (Genévriers). Leur bois est homoxylé (trachéides joue à la fois le rôle de soutien et de conduction de sèves). Ils possèdent en général un appareil sécréteur (canaux à résines) qui leur donne une odeur caractéristique justifiant leur appellation des **Résineux** par les forestiers. Ils fournissent un bois très exploité pour ses qualités technologiques (il constitue 2/3 des bois industriels). Les feuilles sont en aiguilles (Pin, Mélèzes, Cèdre), linéaire aplaties (Sapins, If) ou en écailles appliquées sur la tige (Cypprès, Thuyas). Elles sont fonctionnelles pendant 2 à 4 ans et peuvent réaliser la photosynthèse pendant plusieurs années, c'est-à-dire dans la majorité des cas, les feuilles sont persistantes. Elles sont caduques chez les Mélèzes. La croissance en épaisseur et en longueur de leur tronc est parfois importante (plusieurs mètres de diamètres et 120 mètres environ de haut chez Sequoia, avec une grande longévité : 1000 ans chez les If et 3000 ans chez Sequoia).

II. Reproduction

Certains conifères ont des fleurs **unisexes** et monoïques (Pins, Sapins), d'autres sont dioïques (If). Les organes reproducteurs sont sous forme des cônes. Les fleurs mâles forment de petits cônes constitués d'étamines portant 2 à 20 sacs polliniques sur leur face inférieure, libérant de grande quantité de pollen. Les fleurs femelles sont groupées en **cônes** constituées par des carpelles ou écailles portant 1 à 3 ovules nus sur la face supérieure et doublés par une bractée. La pollinisation se fait toujours par le vent (anémophilie ou anémogamie) et la fécondation par **siphonogamie** (tube pollinique conduit les noyaux reproducteurs ou gamètes au contact de l'oosphère différent de la **zoïdogamie** où les gamètes libérés dans un milieu liquide, nage l'aide de cils pour atteindre l'oosphère). Il n'y a pas double fécondation et donc pas d'œuf albumen ; c'est le prothalle haploïde ou **endosperme** qui se charge de réserves. Les processus de la fécondation et de l'embryogenèse (de reproduction) sont de longue durée. C'est pourquoi on peut observer plusieurs générations de cônes femelles visibles sur les mêmes branches (Pin). Les écailles petites et écartées laissent arriver librement le pollen. Elles grandissent et se ferment pour protéger les ovules qui se transforment en graines. Les cônes se lignifient, en général, (Pin, Epicéa, Cypprès) et s'ouvrent finalement par dessiccation en laissant échapper leurs graines. Les ovules deviennent exceptionnellement charnus chez les Genévriers

(« baies » de Genévriers). Les Ifs forment un repli rouge et charnu autour de l'ovule fécondé (arille) : il n'y a pas de cône.

Schéma : graines de pollen et cônes des Conifères

Les Conifères sont peu exigeants d'une manière générale. Ils se contentent de sols pauvres et de climats rudes, de sorte qu'ils soient abondamment utilisés comme essence de reboisement.

Cycle de reproduction ou de développement (p1)

NB : Chez les Spermaphytes primitifs (Préspermaphytes ou Préphanérogames) : **Cycadophytes** et **Ginkgophytes**, le tube pollinique s'éclate et libère les gamètes ciliés qui nagent dans un liquide sécrété par l'ovule pour atteindre les oosphères contenus dans les archéogones : on parle de la **Zoïdogamie**. Les ovules sont de grande taille car les réserves sont faites avant la fécondation. Il n'y a pas de graine (pas de dormance) : la graine germe immédiatement c'est-à-dire démarrage immédiat de la jeune plantule (pas de période de repos pour la graine).

Deuxième partie : Organisation des plantes sans fleurs

Chapitre VII : Algues et Champignons

Introduction

Les Algues ou Phycophytes (du grec phuos=algue ; phuton=plante) sont des Thallophytes chlorophylliens (organismes capables de faire la photosynthèse=autotrophes). Elles sont typiquement, des organes aquatiques et constituent le 1^{er} maillon des chaînes alimentaires (producteurs d'environ 7 sur 10 de la surface du globe). Elles sont rares en milieu aérien. Les Algues flottantes (pelagos) sont microscopiques en général, unicellulaires, et productrices du plancton (phytoplanctons, du grec plankton=errant). Les espèces qui se fixent au fond sont appelées des phytobenthos (du grec benthos=fond). Les Algues ont des couleurs variées dues la présence de pigments plus ou moins la chlorophylle : Algues verte, Algues brunes et Algues rouges. Les Algues vertes contiennent de la chlorophylle a et b qui assurent la photosynthèse semblables à celles des Embryophytes (groupe des chlorophytes). Les Algues brunes et rouges contiennent seulement de la chlorophylle a, associé à des pigments surnuméraires : les Algues brunes élaborent de **caroténoïdes** (carotène, xanthophylle) qui dissimule la couleur verte et les Algues rouges élaborent deux protéines colorées ou phycobilines (la phycoérythrine, rouge et phycocyanine, bleue). Ces pigments sont des

‘collecteurs d’énergie’ permettant l’utilisation d’une large gamme de lumière. Les plastes des Algues élaborent de l’amidon mais ceux des Algues brunes et rouges n’en stockent pas ; les réserves glucidiques et non sont synthétisées dans les cytoplasmes hors des plastes.

Les Champignons ou Mycophytes (myco=champignon, leur étude constitue la Mycologie), quant à eux, sont des Thallophytes dépourvus des plastes donc de chlorophylle. Ils sont hétérotrophes, c’est-à-dire des consommateurs comme les animaux. Ils se nourrissent grâce aux mycéliums (thalle de structure filamenteuse). Ils synthétisent fréquemment de la chitine (existant aussi chez les Arthropodes tels que insectes et crustacées) dans leur paroi (au lieu de la cellulose) et la mise en réserve de glucides sous forme de glycogène (glucane) stocké dans le cytoplasme comme dans les cellules animales (hépatocytes, par exemple).

I..Les Algues

1..Le Chlamydomonas

Il s’agit d’Algue verte unicellulaire appartenant au plancton d’eau douce. La cellule est mobile grâce aux deux flagelles ou fouets situés à l’avant du corps. Le volume cellulaire est essentiellement occupé par un chloroplaste incurvé en forme de cloche, à la base duquel se trouve un gros **pyrénoïde** entouré de grains d’amidons. Les thylacoïdes forment de longs saccules dispersés dans le stroma du plaste. Un stigma est situé juste sous la paroi et le plasmalemme dans la région antérieure (aire spécialisée du plaste contenant une accumulation de globules lipidiques renfermant des pigments caroténoïdes pourpres ou orange. Le stigma comme une sorte d’«œil primitif» qui semble intervenir dans les réactions photosensibles de la cellule (orientation des déplacements par rapport à la lumière).

La paroi, de nature glycoprotéique, est mince et rigide. Le noyau est central. La vacuole pulsatile se contracte et se vide périodiquement (elle est située près de la base des flagelles). Les autres organites sont semblables à ceux d’une cellule eucaryote habituelle. Grâce à son plaste et ses flagelles, le Chlamydomonas réunit les caractéristiques végétales (photosynthèse) et animale (locomotion).

Schéma : Organisation d’une cellule de Chlamydomonas

Les Algues unicellulaires ou Protophytes sont très nombreuses et variées, vivant en pleine eau, soit fixée libre ou soit fixées sur des substrats divers (rochers, coquilles,..). La chlorelle est une espèce non flagellée d’eau douce (cultivée pour une étude fine de photosynthèse) et présente des grandes similitudes avec le Chlamydomonas. *Cosmarium* et *Micraterias* sont des cellules dépourvues de moyens de locomotion. Les espèces qui ont un

appareil locomoteur tel que *Euglène* et *Cerastium* (flagelles locomoteurs) sont appelé des phytoflagellés.

2.. Les Diatomées

Les Diatomées sont largement répandues dans les eaux douces (fleuve, lac,...) et les eaux salées (mer, océan). Elles sont libres ou fixées à d'autres algues ou bien des supports (plantes submergées, rochers,...) et sont prédominantes dans le phytoplancton des mers froides ou tempérée (20 à 25% de production primaire nette océanique mondiale). Elle compte 10 000 à 12 000 espèces.

La cellule porte une paroi siliceuses (couches de silice hydratée, opale, associées aux matériaux organiques) ou frustule, constitué de deux valves inégales qui s'emboitent l'une dans l'autre (comme boîte de Pétri). Selon la spécificité de la géométrie ornementale du frustule, on distingue les **Diatomées centrales** (symétrie axiale et ornementation autour d'un axe) et les **Diatomée Pennale** (symétrie bilatérale et ornementation disposée de part et d'autre d'une fente, le raphé). Le cytoplasme contient une grosse vacuole centrale et des plastes lenticulaires bruns pourvus d'un pyrénoloïde.

Des nouvelles valves se forment dans de longues vésicules limitées par une différenciation du plasmalemme, le **silicalemme**.

La cellule a un mode division particulier à cause du frustule siliceux inextensible. Le protoplasme (cytoplasme sans membrane ?) se sépare en deux (à la fin de mitose) et chaque moitié entraîne une de deux valves de la paroi puis régénère la seconde. Le mécanisme compensateur permet un retour des cellules de grande taille qui passe par la reproduction sexuée (au cours de laquelle les gamètes se débarrassent du frustule) : la cellule issue de la fécondation augmente de taille avant de régénère une paroi.

Les Diatomées vivent soit indépendants soit associées en chainettes plus ou moins longues grâce à un mucilage. Les frustules résistent à la putréfaction après la mort de la cellule et s'accumule au fond des Océan sous forme des « boues siliceuses », donnant naissance à des roches siliceuses tels que les diatomites de Californie (d'origine marine, 1000m d'épaisseur, texture très fine) utilisée comme abrasifs dans l'industrie mécanique de précision.

3.. Association des cellules végétales (colonies et groupement cellulaire)

Les végétaux dont l'organise est constitué de cellules associée forment les Métaphyses (dérivant des Protophytes) dont les plus primitifs sont des simples agrégats où toutes les unités sont semblables (colonies isocellulaires). L'harmonie d'une vie pluricellulaire impose une certaine organisation. Il s'installe une polarité permettant, par exemple, une orientation des déplacements. Lorsque l'intégration de nouvelles unités devient importante, la vie sociale

impose une différenciation cellulaire suivie d'une séparation de certaine fonction marquée par une différence structurale entre les cellules (colonies hétérocellulaire) :

- Les **Cénobes** (koinos=commun) sont des colonies cellulaires formées des cellules nées les unes des autres par des divisions, généralement adaptées à la vie aquatique. Le Cénobe du **Scenedesmus** n'est pas flagellé ;
- Chez **Pediastrum**, la colonie, généralement non flagellée, a la forme d'un disque ;
- La **pandorine** est une masse globuleuse de 4 à 16 cellules maintenues par une enveloppe mucilagineuse commune. Chaque cellule ressemble à un Chlamydomonas ;
- Les **Pleurocoques** sont aériens et forment la poussière verte commune sur les faces les plus exposées à la pluie des troncs d'arbre. Les amas se dissocient par simple action mécanique (fore rudimentaire de vie pluricellulaire d'où le nom d'archéthalle) ;
- Les Fucus, les laminaires ou les Sargasses ont une division du travail physiologique très poussée (cellules assimilatrices, cellules conductrices initiales, crampons de fixation, flotteurs,...). Il se développe des systèmes d'échange et de signaux de reconnaissance intercellulaire et une structuration spécifique qui résulte de l'expression différentielle des génomes).

La majorité des micro-algues appartiennent au phytoplancton marin ou d'eau douce. La plupart des macro-algues sont fixées au fond du littoral (phytobenthos), sauf les Sargasses sont flottantes (phytopelagos).

4..Les thalles (thalles filamenteux et thalles membraneux)

Le thalle est une structure qui permet à l'algue de se fixer à un support ou représente l'appareil végétatif.

a. Thalles filamenteux

La structure filamenteuse est une construction pluricellulaire simple fréquente chez les Algues. Elle est issue de la division cellulaire dont les cellules filles ne se séparent pas et que les plans de mitose sont toujours orientés dans la même direction. L'**Ultrix** produit des spores flagellées qui nagent puis se fixent au substrat. Il se fore une file de cellule cylindrique pourvues chacune d'un chloroplaste unique et circulaire (perpendiculaire à l'axe) dont la cellule basale ou rhizoïde ancre le filament au sol. La spirogyre (chloroplastes rubanés hélicoïdaux) forme de lacés dispersés dans l'eau des mares. La capacité de division se restreint à certaines cellules, les cellules initiales, souvent localisées à l'apex du thalle.

b. Thalles membranes

Les thalles de certaines algues ont l'aspect d'une fine membrane qui dérive directement d'une structure filamenteuse. C'est le cas de **Prasiola** dont on observe un filament cellulaire

chez les jeunes formes. Le thalle s'élargit en éventail grâce à des mitoses, alternativement, transverses et longitudinales. Chez l'Ulve ou laitue de mer (sur le littoral), l'adulte est une large lame formée de deux assises cellulaires. Certaines algues comme l'enteromorphe, ces deux assises cellulaires s'écartent en formant un tube creux alors que dans d'autres espèces, ces tubes se remplissent ou se recouvrent de mucilage ; ce qui les rend particulièrement glissants sur les rochers ou les marches des quais des ports.

c.. Algues encroûtantes (ou thalle d'aspect minéral)

Il existe des algues qui s'étalent à la surface du substrat. Certaines secrètent du calcaire qui se dépose sur ou dans les parois cellulaires, allant jusqu'à donner au thalle un aspect minéral (Corallina). Le lithothamne, connu sous le nom de maërl, sert, en Bretagne, pour amender des terrains trop pauvres en chaux.

d..Thalles cladomiens

Une cladome est une association de deux sortes de filament : un axe engendré par une cellule initiale apicale dont la croissance est indéfinie et des rameaux latéraux ou pleuridies (pleuros=coté) formées de cellule riche en plastes issues d'une cellule initiale dont le fonctionnement est temporaire. Les pleuridies ont donc une croissance limitée.

Le thalle cladomien est une structure qui met en jeu des relations intercellulaires hiérarchisées (fores rudimentaire qui évoque ou préfigure celle d'un rameau feuillé de plante supérieure : l'axe et les pleuridies ressemblant respectivement à la tige, dont la croissance est indéfinie et aux feuilles dont la croissance est limitée et le rôle assimilateur). L'organisation cladomienne produit des formes élégantes et très découpées, bien représentées en particulier chez les Algues rouges. De nombreuses espèces édifient des thalles en lames, en cordons plus ou moins massifs observables chez les Algues les plus évoluées.

5.. Les characées

Les characées représentent une famille d'algues verte d'eau douce, relativement évolué par son organisation. Le thalle est un cladome qui s'accroît par une cellule initiale apicale, qui engendre une file de segments formés par une alternance de nœuds très courts et d'entre-nœuds constitués par une très longue cellule à plusieurs noyaux. Il se forme des axes secondaires semblables à ceux axes primaires et des rameaux latéraux courts, verticillés, à croissance définie, les pleuridies parfois appelées « feuille » (genre Charas et les Nitelles fréquents en mers).

L'analyse moléculaire indique que ce groupe serait à l'origine des plantes terrestres vasculaires : les plantes vasculaires et la Characées forment un groupe monophylétique.

6.. Structure siphonnée ou cœnocylique

Les algues n'ont pas toutes une structure cellulaire. Certaines sont constituées d'articles plurinucléés alors que d'autres sont formées de tubes continus ou siphons contenant une masse cytoplasmique non-cloisonnée. L'organisation cœnocytaire n'est pas incompatible avec une morphogénèse définie et complexe des thalles.

La structure typique se rencontre dans une lignée d'algues vertes, les Siphonales dont appartient le **Codium** (thalle en forme de cordons spongieux fixés aux rochers). Les **Bryopsis** ont un thalle finement découpé qui rappelle l'aspect des mousses. Les Caulerpes ont un appareil végétal qui est un vaste cœnocyte (très toxique, produit des toxines réduisant la faune, perturbe les écosystèmes littoraux).

7...Dichotomie

C'est un mode de ramification produisant deux rameaux égaux et symétriques qui donne un aspect régulièrement fourchu au thalle, visible aussi bien chez les formes filamenteuses que chez les formes lamellaires ou plus élaborées.

La dichotomie est issue d'un dédoublement de la cellule initiale apicale donnant deux cellules initiales filles semblables, qui donnent deux portions de thalle rigoureusement identiques (« rameaux jumeaux »), observable, par exemple, chez une algue brune côtière, le *Dictyota* (*D. dichotoma*).

8...La flore algale du littoral : zone de balancement des marées

Elle est abondante et variée, constituée surtout des espèces fixées d'algues brunes de la famille des Phéophycées (*Dictyota*, *Pelvetia*, *Ascophyllum*, *Fucus*, *Laminaria*,...) mêlées d'algues vertes (*Ulva*, *Codium*,...) et rouges (*Chondrus*, *Delesseria*, *Polysiphonia*,...).

Les ceintures algales successives sont reconnaissables du haut du rivage vers le bas :

- a.. le niveau à **Pelvetia**, recouvert seulement par les grandes marées ;
- b.. les niveaux à **Fucus** dans la zone moyenne (découvert et recouvert régulièrement deux fois par jour ; plusieurs espèces de *Fucus*) ;
- c.. les niveaux à lamellaires découverts, partiellement aux grandes marées.

Un autre facteur d'étagement est l'absorption de la lumière par l'eau (en quantité et qualité).

9...Reproduction chez les Algues : cas de Fucus vésiculeux

Le *Fucus vésiculeux* constitue un exemple classique d'étude de la reproduction sexuée chez les algues. La maturité sexuelle s'observe par l'apparition de renflements à l'extrémité des thalles contenant des conceptacles, les **gamétocystes** qui produisent des gamètes. Les gamètes mâles (spermatozoïde) et femelles (oosphère) sont produits par les thalles différents. La réduction chromosomique (gamétogénèse) a lieu dans les gamétocystes. Quatre divisions succèdent la méiose et 64 spermatozoïdes sont différenciés dans chaque gamétocyste mâle.

(spermatozoïdes très mobiles grâce aux deux flagelles). Une division succède à la méiose dans les gamétocystes femelles et 8 oosphères, volumineuses, chargées de réserves et dépourvues d'appareil locomoteur, sont produites.

Le cycle comprend une gamétogénèse (seule période haploïde) et une génération pluricellulaire (période ou phase diploïde=période diplophasique équi. période haplophasique).

Schéma : cycle de développement du fucus vésiculeux.

Les gamètes des algues présentent une grande diversité de structure, de comportement et d'origine :

- L'**isogamie** quand les gamètes sont morphologiquement identiques (chez les espèces primitives telles que Chlamydomonas où les gamètes sont semblables entre eux et semblables aux cellules parentales) ;
 - L'**anisogamie** quand les deux cellules sexuelles conservent la même organisation mais de taille différente (Ulve) dont la forme la plus évoluée est l'**oogamie**, dans laquelle les spermatozoïdes, de petite taille, nombreux et nageurs alors que les oosphères volumineux, immobiles, riches en réserves, en nombre restreint (Dictyota, Fucus, Laminaria).
 - On parle de **planogamètes** quand au moins un des gamètes est flagellé et actif ; la fécondation correspondante est dite **planogamie**. Il y a de cas où les deux gamètes ne sont pas mobiles et leur rencontre se fait passivement (entraîné par le courant d'eau) ; la fécondation est une **planogamie** (Algue rouges) ;
 - La **cystogamie** est un mode de fécondation particulier (absence de mise en jeu des gamètes libres) ; les deux gamétocystes eux-mêmes fusionnent et les deux filaments voisins établissent des tubes de copulation dans lesquels passe le protoplasme d'une des cellules (chez les spirogyres)
- (Planogamie et aplanogamie sont adaptées au milieu aquatique= condition de vie favorable. La cystogamie s'adapte à un mode de vie aérien= n'impose pas l'existence d'une phase liquide).

Schéma : cycle de développement.

II..Les Champignons

1..Les différents types de champignons

Les champignons sont essentiellement pour le recyclage de la matière organique (vue écologique). Ils forment avec les bactéries, les grands destructeurs des molécules complexes.

On distingue trois modes de vie :

a.. les saprophytes se nourrissent de matières organiques mortes : ce sont des détritivores dégradant les substrats variés et élaborent de l'humus des sols ;

b.. les parasites vivent au dépens des organismes vivant et sont responsables des dégâts considérables aux plantes cultivées ;

c.. les symbiotiques établissent avec une autre espèce un équilibre à bénéfices réciproques.

L'origine des Champignon est ancienne. Le groupe est très vaste et montre une grande diversité d'aspects, de tailles, de structures et d'activités métaboliques. Il est classé actuellement comme une lignée à part (distinct des animaux et des végétaux). Les formes les plus primitives passent par les stades aquatiques ; les individus sont mobiles avec flagelles (Zoospores, gamètes). Les champignons sont actuellement aériens dans leur majorité et pratiquent la fécondation sans émission des gamètes libres (cystogamie). En marge de la fécondation sexuée, on observe une multiplication végétative avec production des spores aériennes (ensemencement très efficace).

La classification la plus simple permet de séparer :

- Les **champignons siphonnés** comprenant les **Chytridiomycètes**, encore aquatiques et les **Zygomycètes** vivant sur le sol, à croissance de mycélium rapide et la fécondation par fusion des gamétocystes (certains sont parasites) ;
- Les **champignons septés** ayant un mycélium formé de filaments cloisonnés sont appelés **Septomycètes** (Septum=cloison) : les **Ascomycètes** et les Basidiomycètes (les deux classes) dont les formes évoluées produisent des appareils de fructifications massifs de formes caractéristiques constituent les « champignons » (sens courant du terme).

Les champignons ont des rôles positifs tels que les levures utilisées en agroalimentaire, les antibiotiques en soins médicaux et des rôles négatifs causant de maladies aux plantes et animaux (phytopathologie, parasites des animaux).

2.. Le thalle ou mycélium

Le mycélium ou thalle des champignons a une structure relativement simple. Il représente un appareil végétatif bien adapté au mode de vie hétérotrophe des champignons. Grace aux enzymes lytiques (protéase, amylase, RNases, phosphatase, ect.) excrétées, les champignons hydrolysent et scindent les molécules puis les produits de dégradation. On observe souvent les mycéliums des « moisissures, feutrage de siphon ou hyphes recouvrant les matières organiques en décomposition. Les hyphes sont constitués de cellules pluricellulaires

(les siphons s'allongent et se ramifient sans cloisonnement). Certaines espèces ont un mycélium qui se morcelle en milieu organique très riche et retourne à l'état unicellulaire (bourgeoisement des levures) : on parle de mycélium dissocié.

Les filaments de mycélium s'accroissent par leurs extrémités et peut atteindre plusieurs mètres par heure lors que les conditions sont favorables. L'accroissement en diamètre est limité par la rigidité de la paroi ais le cytoplasme se trouve canalisé dans une structure tubulaire. Le mycélium se ramifie soit par dichotomie de l'apex soit par bourgeoisement de filaments latéraux qui accroissent de la même façon par leur extrémité.

Il existe plusieurs types de mycéliums selon le mode de vie de champignon :

- Mycélium saprophytes (Mucorales) à partir des spores aériennes (le zygote s'enkyste ; entouré d'une paroi épaisse et résistante constitue une volumineuse zygosporé : le cycle est haplophasique) ;
- Mycélium symbiotique (mycorrhizes) : une mycorrhize est une association entre mycélium et une racine (myco=champignon ; rhiza= racine). On distingue les **mycorrhizes ectotrophes** qui forme un manchon autour des racines, plus ou moins déformées et les **mycorrhizes endotrophes** dont le mycélium s'immisce entre les cellules de racines puis pénètre à l'intérieur de celle-ci ;
- Mycélium parasite (suçoir ou haustorium ou thalle de champignon parasite) s'introduit dans les tissus de l'hôte, atteint les cellules et détourne à son profit les produit du métabolisme (à partir de stomate de l'épiderme, des blessures).

3.. Les lichens ou « organismes doubles »

Un lichen est une association permanente et stable établie entre champignon et une algue (cyanobactérie+algue verte unicellulaire) appelée **gonidie** (amas de cyanobactéries). Le mycélium du champignon est cloisonné : c'est un septomycète dont les filaments donnent au thalle une structure définie.

Un lichen associe ou joint les éléments de support et de protection (mycélium du champignon) à des cellules autotrophes (algues) permettant une autonomie nutritionnelle et une installation en milieux neufs arides. Les lichens sont indicateurs de pollution (leur disparition est signe d'une atmosphère viciée).

4...Ascomycètes

La fécondation se réalise en deux temps chez les champignons supérieurs (cycle sexué original) ; la fusion des noyaux (caryogamie) ne suit pas immédiatement la fusion des

cytoplasmes (plasmogamie). Une phase diploïde particulière s'intercale, constituée des cellules à deux noyaux supplémentaires qui se divisent simultanément (dicaryophase) donnant des cellules appelées **dicaryons** qui constitue le mycélium dit secondaire par opposition au mycélium haploïde dit primaire. A la suite de la caryogamie, la méiose produit des spores haploïdes (tétraspores) dans les **sporocystes**.

Ce sont des **asques** qui produisent les spores internes chez les Ascomycètes alors que chez les Basidiomycètes, les **basides** qui portent les spores à l'extrémité de courts pédoncules ou stigmates.

Une mitose se succède souvent à la méiose dans les asques. Il y a alors 8 ascospores. Les Ascomycètes les plus utilisés par l'homme (dans plusieurs domaines) sont les *Aspergillus* servant à fabriquer de fromage dont les « bleu » comme le roquefort (développement de *Penicillium*) conduisant à la découverte des antibiotiques (Pénicilline par **Sir Alexandre Fleming**). Les levures sont des Ascomycètes exploitées pour sa capacité de fermentation alcoolique des sucres (alternative respiratoire/fermentation suivant la teneur du milieu en O₂ ou effet Pasteur). La libération de CO₂ lors de la levée de la pâte en panification, l'éthanol est utilisé en vinification, brasserie, etc. (biotechnologie). La culture de mycélium d'Ascomycètes sert pour la production d'enzymes (« enzyme industriel »).

Schéma : champignon septé (développement simplifié d'une espèce hétérothallique)

Certains ascomycètes construisent un appareil sporifère ou ascocarpe (= « fruit à casques ») plus ou moins complexe et volumineux dont certains sont clos (*Penicillium*) d'autre appelé perithère (*Sordaria*) s'ouvrent à maturité par un canal où sortent les ascospores. Les appareils de fructification des Ascomycètes (Ascocarpes) sont des structures complexes dans lesquelles se produit la plasmogamie, la caryogamie, la réduction chromatique puis la différenciation des ascospores. Ils associent des hyphes haploïdes (mycélium primaire représentant le gamétophyte) et des hyphes à dicaryons (mycélium secondaire représentant le sporophyte). L'hyménium est formé par la juxtaposition d'éléments mycéliens stériles (paraphyses) et fertiles (asques).

5.. Basidiomycètes (rouille du blé)

C'est un groupe de champignons dont les plus familiers et les plus typiques sont les « champignons à chapeau » : l'appareil de fructification, ou **carpophores**, est massif, et de formes très caractéristiques. Les basidiomycètes primitifs n'élaborent pas de **carpophores**. Ce sont des parasites (agents des rouilles et des charbons) qui frappent certains végétaux

vasculaires (surtout les céréales). Les basides sont cloisonnées. Le cycle de développement est donc complexe mais peut être incomplet. La dicaryophase survit sur le blé, grâce à la longévité des urédospores.

On peut observer sur le champignon de couche (espèce cultivée de psalliote ou agaric) les caractères morphologiques et le développement du « fruit à basides » ou carpophore, qui comporte à maturité un pied et un chapeau sous lequel se trouve l'hyménium, producteur des basides et des basidiospores (hyménium ici disposé en lamelle rayonnantes chez les genres Bolet en forme de tube juxtaposé)

On distingue trois types principaux de Basidiomycètes à carpophores selon les modalités de développement :

- Les Hémiangiocarpes (hemi=moitié ; angios=clos ; karpos= fruit, tels que Amanites, Coprins, Lépiotes) ont un épanouissement comparable à celui du champignon de couche (hyménium d'abord clos puis en contact avec l'atmosphère) ;
- Les Gymnocarpes (gumnos=nu tels que chez Girolle) ont des fructifications dont l'hyménium est nu dès l'origine et la distinction entre pied et chapeau y est peu nette ;
- Les Angiocarpes dont les carpophores ne s'épanouissent pas et chambre fertile reste close (Lycoperdons ou vesses de loup).

Le cycle de reproduction des Basidiomycètes à carpophores apparaît simplifié. La sexualité ne met pas en jeu de gamétocystes différenciés. Le cycle est illustré typiquement par les coprins qui fournissent plusieurs espèces hétérothalliques mais le détail et le déroulement varient d'une espèce à l'autre : le champignon de couche a un cycle dégradé homothallique alors que certains Basidiomycètes ont un hétérothallisme faisant intervenir plusieurs types de spores et de mycéliums (hétérothallisme multipolaire).

Schéma : développement d'un coprin hétérothallique

Le genre amanite contient des espèces de champignons à chapeau bien développé, fréquemment dans la nature et important (espèces comestibles recherchées et espèces toxiques dangereuses). L'amanite phalloïde est responsable de 90 à 99% des empoisonnements mortels causés par les champignons (principes toxiques dont des polypeptides cycliques qui altèrent profondément le fonctionnement cellulaire, le foie et les reins en particulier ; il s'agit de la phalloïdine qui fragilise les membranes c'est-à-dire destruction des lysosomes et l'amanite qui perturbe la synthèse d'ARN donc destruction des nucléoles.