



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Biskra

Faculté des Sciences exactes et des sciences de la Nature et de la Vie

Département des sciences agronomiques

Cours de Biologie Végétale Générale

Destinés aux étudiants : 1^{ère} année SNV

Préparés par : Dr. Benaziza Abdelaziz

Année Universitaire 2019/2020



Cours de Biologie Végétale Générale

INTRODUCTION

I\ Les grands groupes et leur cycle.

On a deux grands règnes:

- les végétaux qui ont une paroi squelettique pectocellulosiaue, capables de réaliser la photosynthèse (ils sont chlorophylliens et autotrophes). Ils sont en général immobiles car ils sont fixés au substrat (exception, les algues mobiles, ...).
- Les animaux : paroi non squelettique, système vacuolaire réduit, et sont hétérotrophes.

Chez les végétaux, on a deux grands groupes :

- Les procaryotes : ce sont des organismes cellulaires dépourvus de noyau à tous les stades de leur cycle de développement (les virus sont exclus de cette définition car ils ne peuvent se multiplier de façon autonome). L'ADN est présent à l'état diffus dans la cellule. Il n'y a jamais de véritable reproduction sexuée, ni de golgi, ni de réticulum endoplasmique.

On a trois principaux sous-groupes :

- les archéobactéries
 - Les eubactéries
 - Les cyanobactéries.
- Les eucaryotes : présence d'un noyau qui suivant le groupe peut être entouré de 1 à 3 membranes. La cellule se multiplie par mitose. Ils ont une reproduction sexuée typique (zygote pendant le développement). Les cellules ont un réticulum, un golgi et des plastidomes (plastés).

On a deux principaux sous-groupes : les Thallophytes et les Cormophytes.

A\ Structure de l'appareil végétatif.

Les thallophytes ont un appareil végétatif simple donc : les thalles n'ont ni tige, ni feuille, ni racine, ni vaisseau conducteur. Leur taille est très variable : de 10 μ m à 30 m. Ils sont constitués soit par des cellules isolées, soit par des filaments simples ou ramifiés, eux-mêmes constitués par des cellules pluri ou mononuclées (cellule = article). Les plurinuclées peuvent constituer un siphon. On constate la présence de parenchyme, d'où le contact des cellules les unes aux autres.

Les cormophytes ont un cormus constitué par des rameaux feuillés et possèdent en principe des racines. Deux groupes parmi les cormophytes n'en ont pas : les bryophytes et les ptéridophytes. Ils ont tous des vaisseaux conducteurs.

B\ La reproduction sexuée.

1\ La formation des gamètes

Pour les thallophytes, les cellules reproductrices se forment dans le gamétocyste.

Chez les cormophytes, elles se forment dans le gamétange.

Le gamétocyste : il a un développement à partir d'une cellule mère mononuclée qui voit son noyau se diviser plusieurs fois. Ensuite, autour des noyaux, se forme un gamète. L'enveloppe est formée à partir de la paroi de la cellule mère.

Le gamétange : il a un développement à partir d'une cellule mère mononuclée. Les premières divisions isolent d'abord une cellule pour former ensuite une enveloppe constituée d'une ou plusieurs assises de cellules et c'est seulement les cellules restantes qui donneront les gamètes.

2\ Les modes de fécondation.

Ils sont très variés chez les thallophytes :

- 2 gamètes mobiles : c'est la planogamie.
- oogamie quand le gamète femelle est immobile et que le gamète mâle est lui flagellé.
- cystogamie quand un des deux gamètes, ou que les deux gamètes ne sont plus individualisés

Chez les cormophytes : le gamète femelle est toujours immobile, le gamète mâle est beaucoup plus petit, cilié ou non (immobile ou non) : c'est la zoïdogamie (ou siphonogamie).

C\ La multiplication asexuée.

Elle est essentiellement réalisée par les spores.

Chez les thallophytes, les spores se différencient dans les sporocystes et dans les sporanges chez les cormophytes.

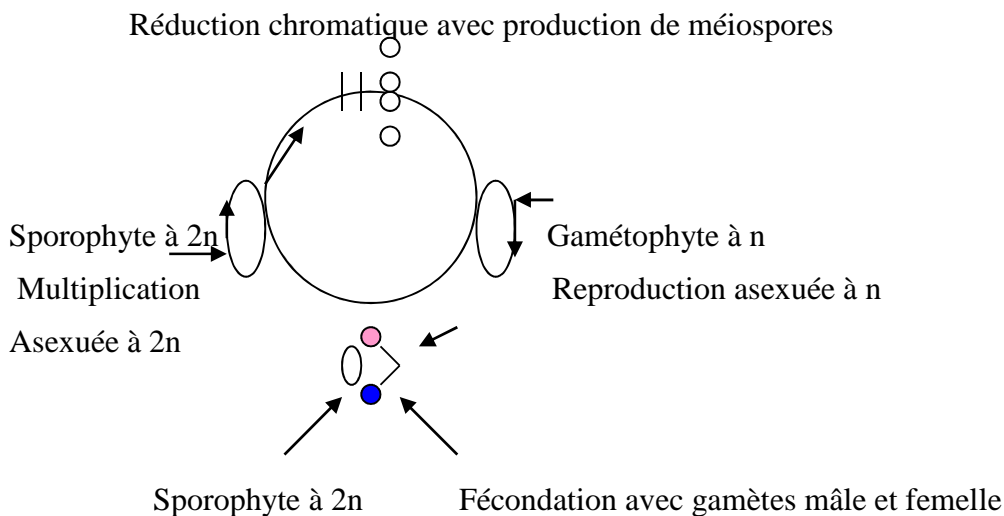
Chez les thallophytes : les spores proviennent d'une méiose (se sont des méiospores) ou d'une mitose (ce sont des mitospores). Les spores sont à n ou $2n$ chromosomes.

Chez les cormophytes, les spores sont toujours issues d'une méiose.

Chez les eucaryotes végétaux, le cycle sexué comprend généralement deux phases successives (haploïde donne les gamétophytes et diploïde donne les sporophytes). Ces stades sont séparés par la fécondation et par la méiose (réduction chromatique).

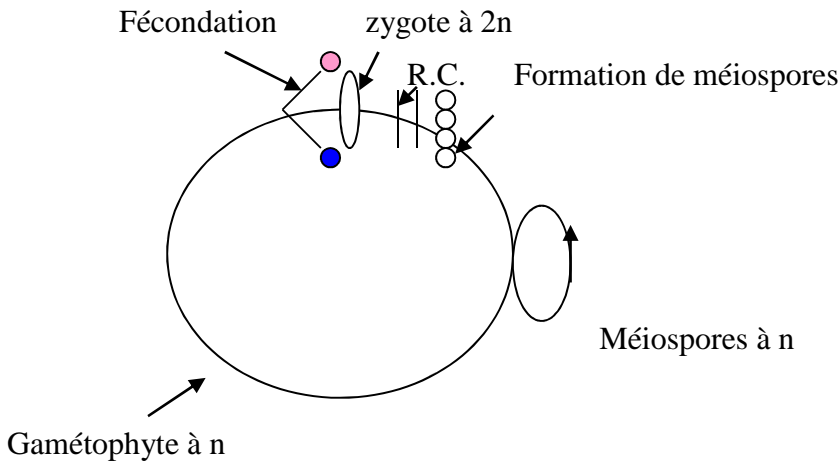
Selon l'importance de l'un des deux stades, on observe trois cas différents :

- Le cycle haplodiplophasique :



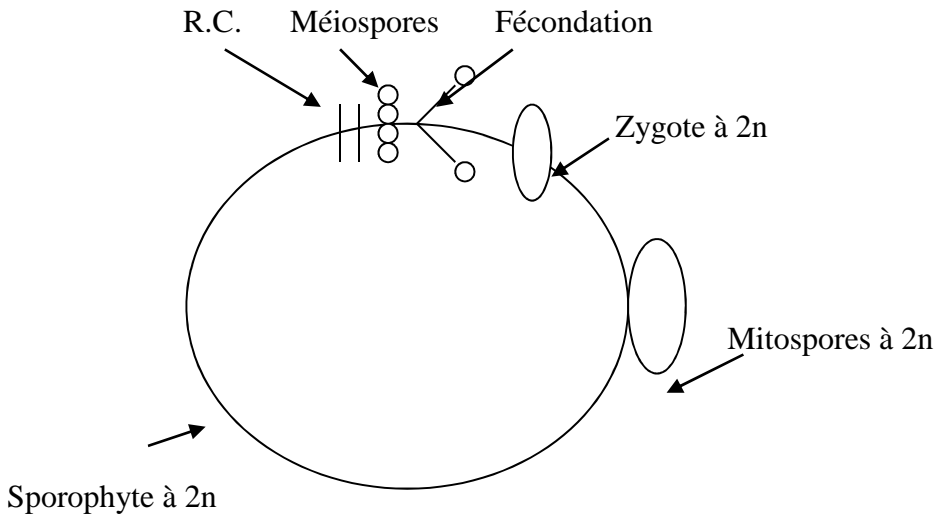
C'est le cycle d'une espèce digénétique.

- Le cycle haplophasique :



C'est le cycle d'une espèce monogénétique haploïde à une génération.

- Le cycle diplophasique :



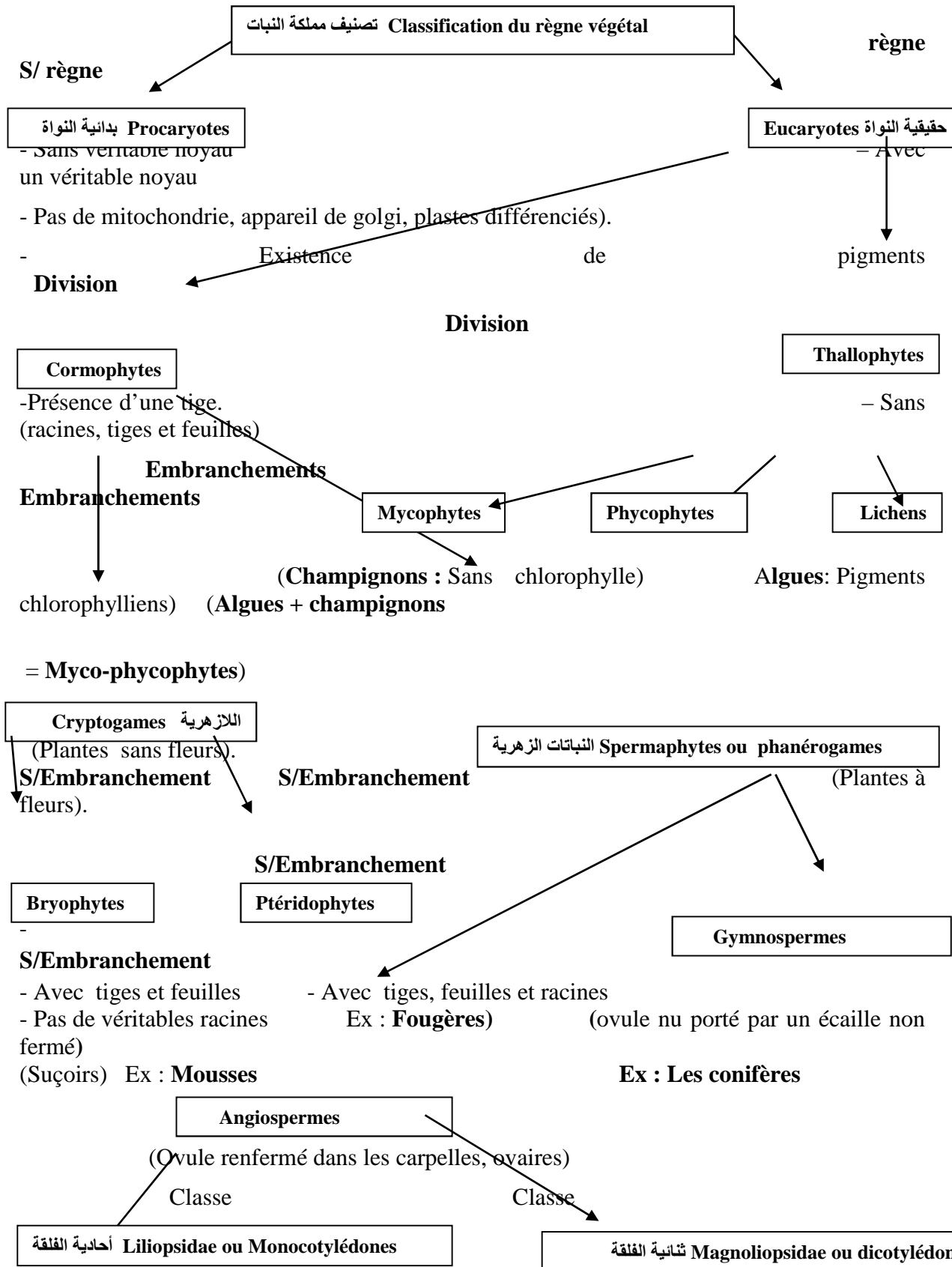
C'est le cycle d'une espèce monogénétique diploïde

Remarque : l'espèce est

- monoïque si les gamètes mâles et femelles sont sur le même individu
- dioïque si les deux types de gamètes sont sur des individus différents.

Classification des êtres vivants végétaux

بيولوجيا نباتية : دراسة الكائنات الحية النباتية



(Graines à un seul cotylédon)
cotylédons)

(Graines à deux

Familles :

* **Liliacées** : (Ail, Oignon, etc)

* **Orchidées** : (Fleurs)

Gamopétales

* **Poacées ou Graminées** :

(Blé, Maïs, Riz, Sorgho, etc)

Apétales

Dialypétales

عديمات البطالات

Exemples

de

Familles

* **Fagacées**

* **Brassicacées** (الصليبية)

* **Solanacées**

()

Ex : chêne vert ()

* **Fabacées** (البقوليات)

* **Oléacées** (زيتون)

* **Astéracées** ()

Classification des végétaux

Tous les êtres vivants sont répartis en : procaryotes et Eucaryotes

1. **Les procaryotes** : - Sont peu évolués

- Les cellules sont peu évoluées
- Le noyau est individualisé
- Absence de membrane nucléaire

) Bactéries : Microbes unicellulaires de formes : - allongée (Bacilles) ex : Coli bacille, E. Coli

- Sphérique (coques) ex : bacille de Coque

) Cyanobactéries : Classes des bactéries voisins d'algues bleu (Cyano = bleu).

2. **les eucaryotes** : ils sont caractérisés par :

-) Des cellules plus évoluées
-) Des noyaux bien individualisés
-) La présence des mitochondries
-) La présence des plastes
-) Ils sont généralement autotrophes (hétérotrophes).

2.1 **Les thallophytes** : Ils sont caractérisés par :

-) Un appareil végétatif formé d'un thalle

-) Absence des feuilles
-) Absence des racines
-) Absence de tiges

On distingue les algues (), les champignons (الفطريات) et les lichens (الاشنيات).

2.1.1 Les algues :

Appartiennent à l'embranchement des phycophytes, contiennent un pigment et une chlorophylle. On compte environ 250.000 espèces, ils mènent une vie aquatique (mère et eau douce), ils sont non vasculaires (thallophytes).

Cet embranchement contient trois sous embranchements :

-) Sous embranchement des **Chlorophytes** (algues vertes) : ils contiennent uniquement la chlorophylle.
-) Sous embranchement des **Chromophytes** (algues brunes) : ils contiennent la chlorophylle et un pigment brun.
-) Sous embranchement des **Rodophytes** (algues rouges) : ils contiennent la chlorophylle et un pigment rouges.

Certaines classifications placent les cyanophytes comme sous embranchement des phycophytes.

Le mode de reproduction des phycophytes est végétatif ou sexué.



Les algues sous la vue microscopique.

2.1.2 Les champignons :

Ne contiennent pas de chlorophylle, vivent en parasite ou en saprophyte de la matière organique, appartiennent à l'embranchement des Mycophytes, leur paroi n'est pas cellulosique (exception des Oomycètes) mais à base de chitine, leurs réserves sont de la matière organique et du glycogène; probablement proviennent d'algues après disparition de la chlorophylle.

Leur appareil végétatif est un thalle filamenteux (hyphe) dont l'ensemble forme le mycélium. Le mode de reproduction est asexué (végétatif) ou sexué (fusion des deux gamètes mâles et femelles).

Les champignons peuvent être associés aux plantes supérieures pour former les mycorhizes (ex : Betterave) ou avec les algues pour former les lichens.



Champignons des bois

2.1.3 Les Lichens :

Sont formés par l'association des algues et des champignons, les algues assurent la matière organique et les champignons assurent l'eau et les sels minéraux. Il existe environ 20.000 espèces, exemple : Xanthoria des murailles, se sont des plaques jaunes-oranges fixés sur des vieilles pierres ou écorces d'arbres.



Les Lichens sur arbres.

2.2 Les Cormophytes :

2.2.1 Les Cryptogames :

2.2.1.1 Les ptéridophytes :

(Fougères, Ptéridos= aile ou plume), c'est l'embranchement le plus ancien des végétaux vasculaires, ils sont formés de feuilles, tiges et racines. Ils poussent sur les vieux murs et émettent des rhizomes à fines racines et des feuilles appelées frondes, sous les quelles sont groupées des amas de sporanges en formes de lobes jaunes, portés par des pédicelles qui

se rompent en libérant des spores monocellulaires, ovales et leur germination donne naissance à un nouveau matériel végétal.



Les Fougères

2.2.1.2 Les Bryophytes :

(Mousses) ; Cryptogames non vasculaires, ils sont formés de feuilles, de tiges et pas de véritables racines. Ils se multiplient par voie asexuée (végétatif) ou sexuée (gamètes).

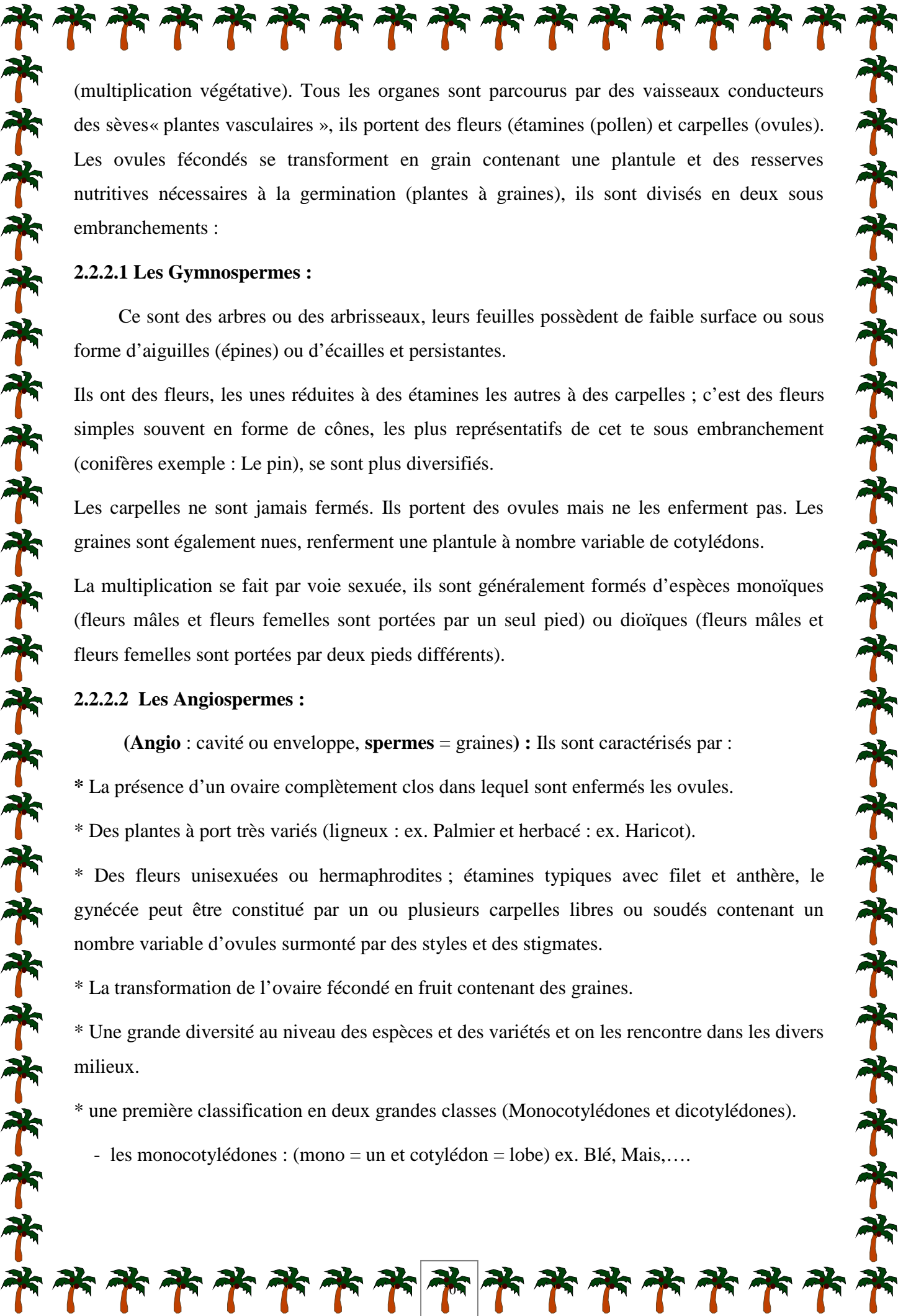


Mousses sur troncs d'arbres

Mousses sur une roche

2.2.2 Les Phanérogames :

(Phanéros : visible, games : fleurs)= (Spermatophytes = plantes à graines). Ils sont formés par des plantes à fleurs ou à graines, ils contiennent de véritables racines, tiges et feuilles. Leur multiplication se fait par voie sexuée (étamines et carpelles) ou asexuée



(multiplication végétative). Tous les organes sont parcourus par des vaisseaux conducteurs des sèves « plantes vasculaires », ils portent des fleurs (étamines (pollen) et carpelles (ovules). Les ovules fécondés se transforment en grain contenant une plantule et des réserves nutritives nécessaires à la germination (plantes à graines), ils sont divisés en deux sous-embranchements :

2.2.2.1 Les Gymnospermes :

Ce sont des arbres ou des arbrisseaux, leurs feuilles possèdent de faible surface ou sous forme d'aiguilles (épines) ou d'écailles et persistantes.

Ils ont des fleurs, les unes réduites à des étamines les autres à des carpelles ; c'est des fleurs simples souvent en forme de cônes, les plus représentatifs de ce sous-branchement (conifères exemple : Le pin), se sont plus diversifiés.


Les carpelles ne sont jamais fermés. Ils portent des ovules mais ne les enferment pas. Les graines sont également nues, renferment une plantule à nombre variable de cotylédons.

La multiplication se fait par voie sexuée, ils sont généralement formés d'espèces monoïques (fleurs mâles et fleurs femelles sont portées par un seul pied) ou dioïques (fleurs mâles et fleurs femelles sont portées par deux pieds différents).

2.2.2.2 Les Angiospermes :

(**Angio** : cavité ou enveloppe, **spermes** = graines) : Ils sont caractérisés par :

- * La présence d'un ovaire complètement clos dans lequel sont enfermés les ovules.
- * Des plantes à port très variés (ligneux : ex. Palmier et herbacé : ex. Haricot).
- * Des fleurs unisexuées ou hermaphrodites ; étamines typiques avec filet et anthère, le gynécée peut être constitué par un ou plusieurs carpelles libres ou soudés contenant un nombre variable d'ovules surmonté par des styles et des stigmates.
- * La transformation de l'ovaire fécondé en fruit contenant des graines.
- * Une grande diversité au niveau des espèces et des variétés et on les rencontre dans les divers milieux.
- * une première classification en deux grandes classes (Monocotylédones et dicotylédones).
 - les monocotylédones : (mono = un et cotylédon = lobe) ex. Blé, Mais,....



- Les dicotylédones : se caractérisent par un polymorphisme foliaire, disposition des nervures, le type floral, ils sont divisés en :

- Apétales (sans pétales)
- Dialypétales (pétales libres ou séparés)
- Gamopétales (pétales soudés).

Cytologie

Tous végétal est formé d'au moins d'une cellule, capable d'assurer les fonctions vitales de nutrition, de respiration et de synthèse. Chaque cellule est constituée d'une enveloppe plus rigide « paroi », qui limite le cytoplasme où baignent les inclusions telle que le noyau, vacuoles, plastes, ...

1. Paroi et membrane :

Deux enveloppes entourent la cellule végétale :

La paroi, épaisse, rigide, assure le maintien de la cellule et ses liaisons physiques avec les cellules voisines.

La membrane fine et interne qui limite le cytoplasme : membrane plasmique.

1.1 Paroi squelettique ou pecto cellulosique :

Elle assure la tenue du végétal, elle est inerte et perméable, formée de plusieurs couches dont la structure et l'épaisseur varient selon l'âge et le type de la cellule et qui sont de l'extérieur à l'intérieur de la cellule :

1.1.1 Lamelle moyenne :

Couche mitoyenne entre deux cellules, c'est un ciment de composé pectiques (pectates de calcium et de magnésium), insolubles dans l'eau, de ce fait elle assure la cohésion entre les cellules. Chez les cellules âgées, elle est imprégnée de lignine. Les composés pectiques peuvent être hydrolysés par des enzymes pectinases, cas de la plus part des fruits et deviennent solubles durant la maturité des fruits.

1.1.2 La Paroi primaire :

De 1 à 3 μm d'épaisseur, elle existe chez les cellules méristématiques et de nombreux parenchymes jeunes. Elle est formée de micro fibrilles de cellulose, disposés en réseaux, des composés pectiques, des hémicelluloses, des protéines de structure et une forte proportion d'eau (jusqu'à 60 %). Ces parois primaires sont élaborées par le cytoplasme et sont formées d'une ou de plusieurs couches. C'est l'unique paroi des cellules indifférenciées et en voie de croissance.



1.1.3 La paroi secondaire :

Elle apparaît dès que la paroi primaire à terminer sa croissance, elle est rigide, d'épaisseur très variable, formés de plusieurs couches dont les récentes sont les plus internes ; il s'agit de micro fibrilles de cellulose disposés en strates hélicoïdales parallèles ou croisées, elles contiennent aussi des hémi celluloses et d'autres glucides, elle peut s'imprégner de lignine, de silice ou de subérine (ex : le liège). Cette paroi n'existe pas chez tous les tissus adultes, elle est élaborée par des cellules spécialisées.

2. Membrane cytoplasmique ou Plasmalemme :

Elle limite le cytoplasme de toutes les cellules, invisible au microscope optique, assure les échanges d'eau, d'ions, de sucres, acides aminés, de protéines,...

Le plasmalemme est composé de trois feuilletts ; deux bandes sombres entourant une bande claire. Cette membrane est appelée membrane unité ou unité membranaire. C'est la même composition que celles du réticulum endoplasmique, des vacuoles (tonoplaste) et corps de golgi, elle est doublée chez les mitochondries et les plastes.

Ces feuilletts sont des phospholipides dont deux sont hydrophiles et un hydrophobe. Le feuillet clair est formé d'une double couche de phospholipides aux molécules opposées et le feuillet sombre par une couche de protéines et la partie hydrophile sont des phospholipides.

3. Cytoplasme fondamental ou hyaloplasme :

Au microscope photonique, il apparaît comme une substance colloïdale, homogène, transparente, plus au moins visqueuse et élastique. Il présente :

- Une structure fibreuse, formée de microfilaments et de microtubules de 5 à 25 nm
- Une composition organo minérale : 70 % à 90 % d'eau qui diminue à 10 % chez les graines mûres, 10% à 30 % de matières sèches qui se répartie en :
- 2 à 6 % de matières minérales, 8 à 24 % de matières organiques. Les éléments minéraux (Ca, P, S, K, Mg,...) sont en partie des sels dissous et d'ions et les substances organiques sont des glucides, lipides et protides.

4 Les vacuoles :

Ce sont des réserves régulateurs de la cellule végétale, occupe plus de 90 % du volume cytoplasmique et rempli d'un liquide riche en eau : suc vacuolaire.

Le développement est bien visible chez les cellules méristématiques, elles sont petites, nombreuses et filamenteuses, elles augmentent de volume et se rassemblent pour former une vacuole unique chez les autres types de cellules.

La variation de la teneur en eau des cellules est en fait due à la variation de la teneur en eau de la vacuole (turgescence ou plasmolyse), la vacuole tamponne cette variation par le phénomène d'osmose.

Le suc vacuolaire varie du liquide au solide, il contient de l'eau (constituant principal), glucides (glucose, fructose, saccharose,...), des acides organiques (acides malique, citrique, oxalique,...) des tanins, des acides aminés, des colorants (ex : anthocyanes,...), des sels minéraux et des ions (nitrates, phosphates,...) et des cristaux (ex : oxalate de calcium).

Chez les grains mûres, les vacuoles se déshydratent (10 % d'eau) pour former les grains d'aleurodes « vacuoles solides ».



5 Le noyau : (cerveau de la cellule)

5.1 Structure : Il est de forme sphérique chez les cellules jeunes (méristèmes) et souvent lenticulaire chez les cellules végétales. Sa taille varie selon la taille de la cellule et du nombre de chromosomes, en dehors de la période de division le noyau comprend :

5.1.1 Enveloppe nucléaire : double membrane de type cytoplasmique, ponctué de pores nucléaires permettant les échanges avec le cytoplasme.

5.1.2 Le nucléoplasme : (suc nucléaire) : substance incolore, qui remplit l'espace libre du noyau, il assure la turgescence, riche en protéines simples et en phosphates sans acides nucléiques ni lipides, il possède des propriétés proches de celles du cytoplasme.

5.1.3 La chromatine : plus dense que le nucléoplasme, constitué de filaments enchevêtrés répartis dans tout le suc nucléaire. On parle d'euchromatine quand ils sont lâches et d'hétérochromatine quand ils sont tassés. La chromatine est la forme des chromosomes en dehors des périodes de division, elle est formée d'ADN (Acide désoxyribonucléique).

5.1.4 Les nucléoles : Ce sont des inclusions nucléaires, de forme sphérique, leur nombre varie en fonction des espèces et leur forme selon l'état physiologique des cellules. Ils ne sont plus séparés du suc nucléaire. Ils sont formés de fibrilles et des granules qui renferment des ARN (acides ribonucléiques).

5.2 Rôle : Le noyau est le cerveau de tout ce qui doit être exécuté dans la vie non seulement d'une cellule mais de l'individu tout entier.

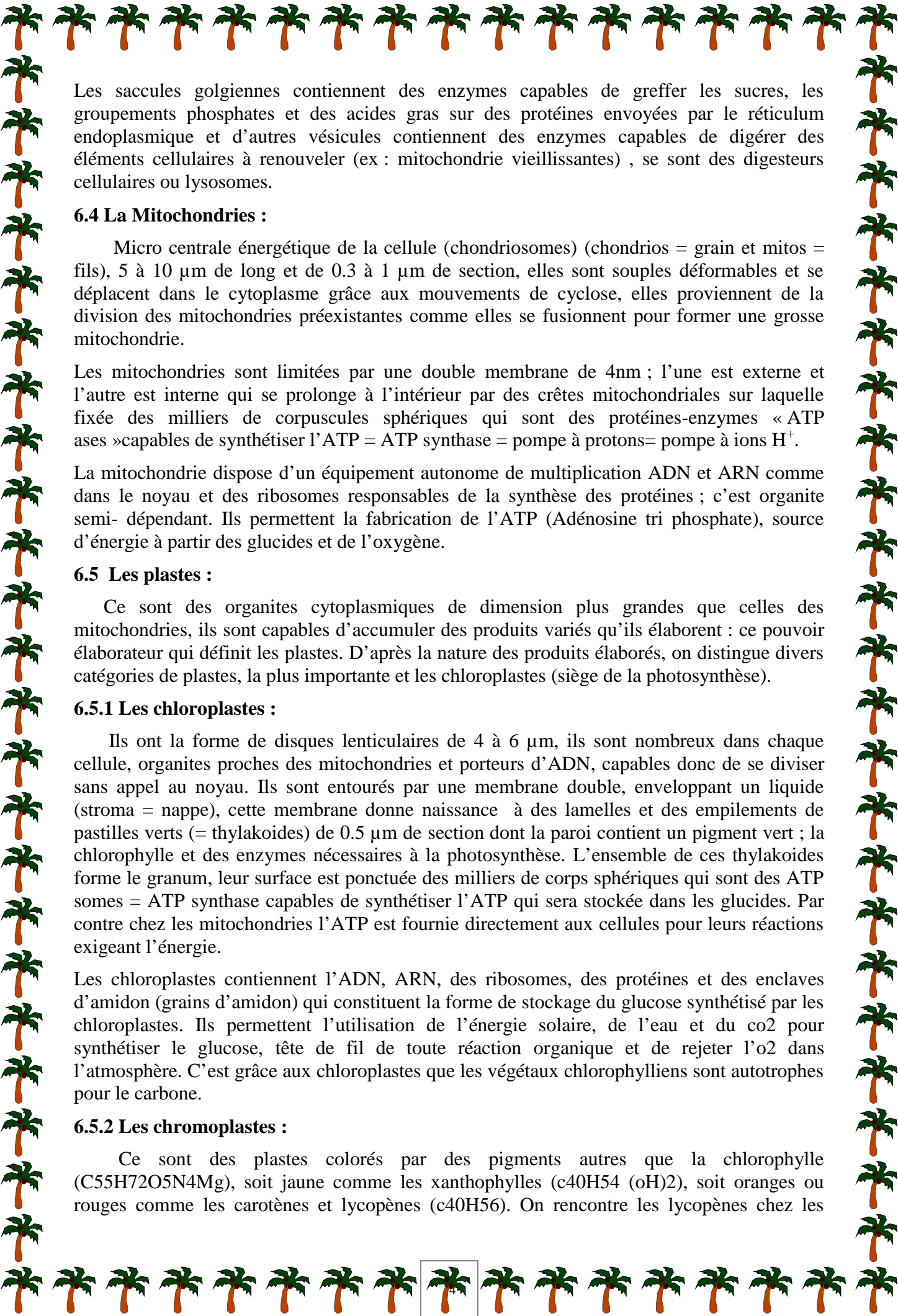
6. Les constituants cellulaires et leurs rôles :

6.1 Réticulum endoplasmique : Est un organe du hyaloplasme, sous forme de tubules ou de saccules anastomosées en réseaux (= réticulum), ils sont limités par une membrane simple d'environ 50 Å et entourant un espace interne transparent. Certains éléments du réticulum ont une membrane tapissée extérieurement (du côté du hyaloplasme) par des grains osmiophiles de 150 à 300 Å de diamètre (ribosomes), cette forme constitue le réticulum endoplasmique granuleux ou ergastoplasme (siège de la synthèse des protéines). Les parties du réticulum dépourvues de ribosomes constituent le réticulum endoplasmique lisse (siège de la synthèse des lipides). Cet organe pourrait intervenir dans la circulation intra et inter cellulaire de certaines substances, il est en rapport direct avec la membrane nucléaire grâce aux évaginations tubuleuses formées par cette dernière, il joue le rôle d'entrepôt et avec l'appareil de Golgi il prépare les molécules qui doivent être excrétées.

6.2 Les ribosomes : Se sont des grains très osmiophiles, épais dans le cytoplasme ou appliqués contre la membrane du réticulum endoplasmique. Ils sont constitués de protéines et un ARN (ARN ribosomal) et des lipides. Ils peuvent être groupés en polyribosomes par l'ARN messager.

6.3 Appareil de Golgi : Il est découvert dans les cellules du méristème radicaire de l'oignon, il est formé de plusieurs éléments, les dictyosomes; lignes parallèles et serrées, réunies deux à deux par un contour plus au moins délaté. Son aspect correspond à un empilement de saccules, limitées par une membrane simple, fortement aplatie mais renflés en ampoules sur leur bord qui peuvent se détacher et devenir indépendante (vésicules golgiennes séparées du dictyosome).

Les dictyosomes jouent un rôle sécrétoire (sécrétion), élaboration des parois cellulaires, accumulation des produits divers élaborés dans d'autres organites et transportés par les vésicules golgiennes vers les lieux d'excrétion.



Les saccules golgiennes contiennent des enzymes capables de greffer les sucres, les groupements phosphates et des acides gras sur des protéines envoyées par le réticulum endoplasmique et d'autres vésicules contiennent des enzymes capables de digérer des éléments cellulaires à renouveler (ex : mitochondrie vieillissantes) , se sont des digesteurs cellulaires ou lysosomes.

6.4 La Mitochondries :

Micro centrale énergétique de la cellule (chondriosomes) (chondrios = grain et mitos = fils), 5 à 10 μm de long et de 0.3 à 1 μm de section, elles sont souples déformables et se déplacent dans le cytoplasme grâce aux mouvements de cyclose, elles proviennent de la division des mitochondries préexistantes comme elles se fusionnent pour former une grosse mitochondrie.

Les mitochondries sont limitées par une double membrane de 4nm ; l'une est externe et l'autre est interne qui se prolonge à l'intérieur par des crêtes mitochondriales sur laquelle fixée des milliers de corpuscules sphériques qui sont des protéines-enzymes « ATP ases » capables de synthétiser l'ATP = ATP synthase = pompe à protons = pompe à ions H^+ .

La mitochondrie dispose d'un équipement autonome de multiplication ADN et ARN comme dans le noyau et des ribosomes responsables de la synthèse des protéines ; c'est organite semi- dépendant. Ils permettent la fabrication de l'ATP (Adénosine tri phosphate), source d'énergie à partir des glucides et de l'oxygène.

6.5 Les plastes :

Ce sont des organites cytoplasmiques de dimension plus grandes que celles des mitochondries, ils sont capables d'accumuler des produits variés qu'ils élaborent : ce pouvoir élaborateur qui définit les plastes. D'après la nature des produits élaborés, on distingue divers catégories de plastes, la plus importante et les chloroplastes (siège de la photosynthèse).

6.5.1 Les chloroplastes :

Ils ont la forme de disques lenticulaires de 4 à 6 μm , ils sont nombreux dans chaque cellule, organites proches des mitochondries et porteurs d'ADN, capables donc de se diviser sans appel au noyau. Ils sont entourés par une membrane double, enveloppant un liquide (stroma = nappe), cette membrane donne naissance à des lamelles et des empilements de pastilles verts (= thylakoides) de 0.5 μm de section dont la paroi contient un pigment vert ; la chlorophylle et des enzymes nécessaires à la photosynthèse. L'ensemble de ces thylakoides forme le granum, leur surface est ponctuée des milliers de corps sphériques qui sont des ATP somes = ATP synthase capables de synthétiser l'ATP qui sera stockée dans les glucides. Par contre chez les mitochondries l'ATP est fournie directement aux cellules pour leurs réactions exigeant l'énergie.

Les chloroplastes contiennent l'ADN, ARN, des ribosomes, des protéines et des enclaves d'amidon (grains d'amidon) qui constituent la forme de stockage du glucose synthétisé par les chloroplastes. Ils permettent l'utilisation de l'énergie solaire, de l'eau et du CO_2 pour synthétiser le glucose, tête de fil de toute réaction organique et de rejeter l' O_2 dans l'atmosphère. C'est grâce aux chloroplastes que les végétaux chlorophylliens sont autotrophes pour le carbone.

6.5.2 Les chromoplastes :

Ce sont des plastes colorés par des pigments autres que la chlorophylle ($\text{C}_{55}\text{H}_{72}\text{O}_5\text{N}_4\text{Mg}$), soit jaune comme les xanthophylles ($\text{C}_{40}\text{H}_{54}(\text{OH})_2$), soit oranges ou rouges comme les carotènes et lycopènes ($\text{C}_{40}\text{H}_{56}$). On rencontre les lycopènes chez les

cellules épidermiques des pétales, dans le péricarpe des fruits (Tomates, Fraises,...), dans les cellules de certaines racines (carottes).

On distingue deux catégories de chromoplastes :

- Chromoplastes fibrillaires dont les carotènes sont intégrés dans des structures fibrillaires.
- Chromoplastes globulaires dont les xanthophylles sont intégrés ou dissous dans des gouttelettes lipidiques dispersées dans la substance fondamentale du plaste.

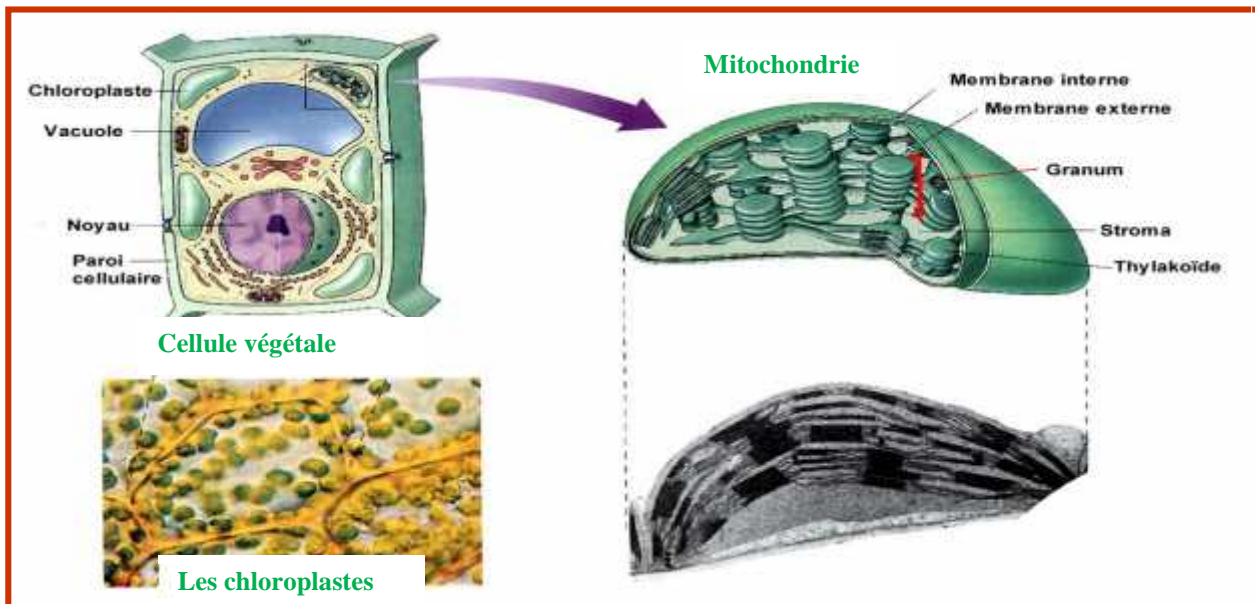
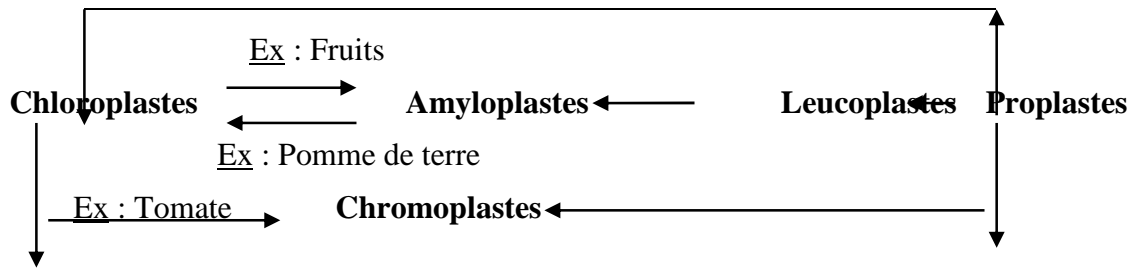
6.5.3 Les protéoplastes :

Ils sont peu fréquents, on les observe dans le sac embryonnaire de certaines espèces, dans les cellules du parenchyme radicaire,... Ils contiennent des réserves protéiques sous formes de faisceaux serrés de fibrilles protéiques.

6.5.4 Les Amyloplastes :

Ils sont abondants chez les tissus de réserves, ils se chargent d'amidon élaboré dans d'autres tissus (le stockage de l'amidon chez les chloroplastes est une phase de transition).

) Exemple de transformation des différentes catégories de plastes





Les Angiospermes.

I\ Généralités.

C'est un sous-embranchement des spermatophytes qui est divisé en deux sous-classes : les monocotylédones et les dicotylédones. Ces angiospermes sont caractérisées par la présence de l'ovule dans un ovaire et de la graine dans un fruit. Les organes reproducteurs (à l'origine des gamètes) sont placés dans une structure particulière : la fleur.

II\ Cas d'une dicotylédone avec *Ranunculus acris*.

A\ L'appareil reproducteur mâle (les étamines)

Les étamines sont constituées d'un filet (pédicelle rattaché au réceptacle floral) et d'une anthère où se différencie le pollen. Chaque anthère est constituée de deux loges, symétriques par rapport au filet, qui comportent chacune deux sacs polliniques. Dans une étamine jeune, chaque étamine jeune comprend une masse centrale de grosses cellules à noyaux volumineux : ce sont les archéosporés. Elles sont entourées de plusieurs assises de cellules : par les cellules nourricières qui forment le tapis, par plusieurs assises transitoires, par une assise mécanique dont les cellules lignifiées interviennent dans l'ouverture de l'anthère et par un épiderme.

Les archéosporés subissent la réduction chromatique et donnent, chacun, quatre microspores (à N chromosomes).

Remarque : chez les monocotylédones, il y a cloisonnement après chaque division cellulaire, alors que chez les dicotylédones, il y a cloisonnement toutes les deux divisions.

Les microspores se divisent une nouvelle fois et s'entourent d'une paroi épaisse, ornementée, et constituée de deux couches (l'exine et l'intine). L'exine est percée de pores germinatifs. A maturité, chaque grain de pollen contient une cellule végétative à gros noyau et une cellule reproductrice à petit noyau. Le grain de pollen est le gamétophyte mâle qui va se disséminer. Ce grain a commencé son développement dans l'anthère, avant de se charger en matériaux de réserve et de subir la déshydratation qui le fait passer à l'état de vie ralentie (parfois, on a seulement des loges polliniques). L'ouverture des anthères se fait grâce à la dessiccation. La longévité d'un grain de pollen est variable (graminées : un jour ; rosacées : 100 jours).

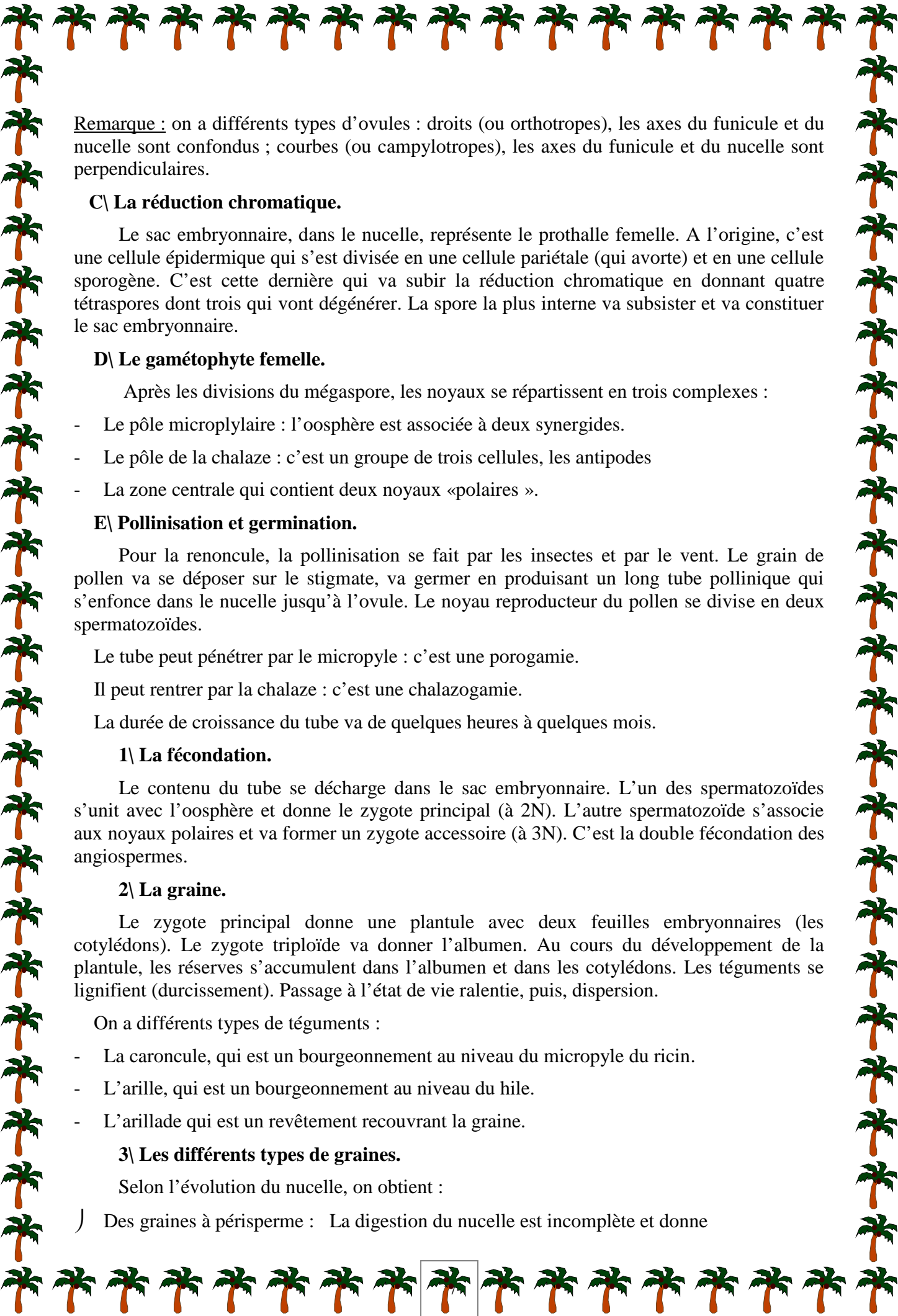
B\ L'appareil reproducteur femelle.

Il est constitué par :

- Les carpelles qui sont, chacun, formés par une partie renflée et creuse qui contient un ovule.
- Un style court, terminé par un stigmate formé de papilles.
- L'ovule est constitué par une partie tégumentaire formée de deux membranes. Ces deux membranes sont interrompues par une minuscule pore : Le micropyle. L'ovule est inséré sur la partie renflée de l'ovaire, sur le placenta. Cet ovule est relié au funicule.

Chez la renoncule, l'ovule est anatrophe : le micropyle est en bas, proche du placenta. Le plan de raccordement du funicule et de l'ovule s'appelle le hile. (Anatrophe = complètement renversé).

Dans le funicule, pénètre un faisceau de tissus conducteurs qui se ramifient au niveau de la chalaze. A l'intérieur de l'ovule se trouve le nucelle.



Remarque : on a différents types d'ovules : droits (ou orthotropes), les axes du funicule et du nucelle sont confondus ; courbes (ou campylotropes), les axes du funicule et du nucelle sont perpendiculaires.

C\ La réduction chromatique.

Le sac embryonnaire, dans le nucelle, représente le prothalle femelle. A l'origine, c'est une cellule épidermique qui s'est divisée en une cellule pariétale (qui avorte) et en une cellule sporogène. C'est cette dernière qui va subir la réduction chromatique en donnant quatre tétraspores dont trois qui vont dégénérer. La spore la plus interne va subsister et va constituer le sac embryonnaire.

D\ Le gamétophyte femelle.

Après les divisions du mégaspore, les noyaux se répartissent en trois complexes :

- Le pôle microphytaire : l'oosphère est associée à deux synergides.
- Le pôle de la chalaze : c'est un groupe de trois cellules, les antipodes
- La zone centrale qui contient deux noyaux «polaires ».

E\ Pollinisation et germination.

Pour la renoncule, la pollinisation se fait par les insectes et par le vent. Le grain de pollen va se déposer sur le stigmate, va germer en produisant un long tube pollinique qui s'enfonce dans le nucelle jusqu'à l'ovule. Le noyau reproducteur du pollen se divise en deux spermatozoïdes.

Le tube peut pénétrer par le micropyle : c'est une porogamie.

Il peut rentrer par la chalaze : c'est une chalazogamie.

La durée de croissance du tube va de quelques heures à quelques mois.

1\ La fécondation.

Le contenu du tube se décharge dans le sac embryonnaire. L'un des spermatozoïdes s'unit avec l'oosphère et donne le zygote principal (à 2N). L'autre spermatozoïde s'associe aux noyaux polaires et va former un zygote accessoire (à 3N). C'est la double fécondation des angiospermes.

2\ La graine.

Le zygote principal donne une plantule avec deux feuilles embryonnaires (les cotylédons). Le zygote triploïde va donner l'albumen. Au cours du développement de la plantule, les réserves s'accumulent dans l'albumen et dans les cotylédons. Les téguments se lignifient (durcissement). Passage à l'état de vie ralentie, puis, dispersion.

On a différents types de téguments :

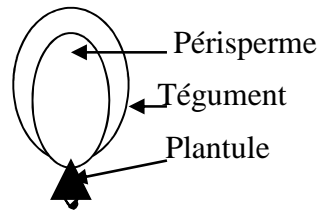
- La caroncule, qui est un bourgeonnement au niveau du micropyle du ricin.
- L'arille, qui est un bourgeonnement au niveau du hile.
- L'arillade qui est un revêtement recouvrant la graine.

3\ Les différents types de graines.

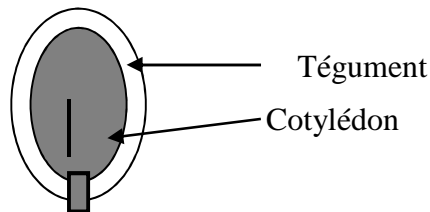
Selon l'évolution du nucelle, on obtient :

-) Des graines à périsperme : La digestion du nucelle est incomplète et donne

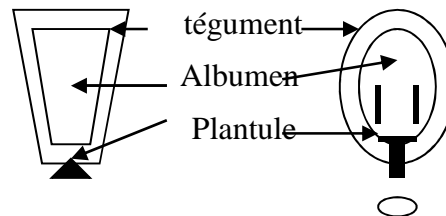
Une partie restante qui s'enrichit en réserves



) Des graines exalbuminées :
Pas de développement d'albumen, la
Graine est sans réserve (crucifères,
Orchidées)



) des graines albuminées :
L'embryon est petit et les
Cotylédons sont foliacés



4\ La germination.

Elle a lieu quand la graine est dans un bon état physiologique et quand les conditions du milieu sont favorables. Un bon état physiologique est caractérisé par un grand pouvoir germinatif qui dépend de l'état de maturité des graines (certaines germent immédiatement mais pendant un temps très court, d'autres ont une germination différée : elles ne peuvent germer qu'après une «dormance » ayant plusieurs origines : les téguments de l'embryon sont immatures, des inhibiteurs de levée de dormance sont présents et doivent être éliminés par des conditions favorables du milieu : réhydratation).

Cette germination a lieu quand des conditions favorables comme la concentration en oxygène, la température, la quantité de lumière, ou, des facteurs biologiques sont réunis. Il y a alors croissance de la racicule et émission d'un bourgeon (la gemmule) qui donnera les premières feuilles. Il y a parfois une tigelle entre la racicule et la gemmule.

On a deux types de germination :

) La germination épigée (exemple, le haricot). La graine est soulevée hors du sol car il y a un accroissement rapide de la tigelle qui donne l'axe hypocotyle qui soulève les deux cotylédons hors du sol. La gemmule se développe (après la racicule) et donne une tige feuillée au-dessus des deux cotylédons. Le premier entre-nœud donne l'épicotyle. Les premières feuilles, au-dessus des cotylédons sont les feuilles primordiales (elles sont plus simples que les futures feuilles).

) La germination hypogée (exemple, le maïs). La graine reste dans le sol, la tigelle ne se développe pas et les cotylédons restent dans le sol.



Bilan sur les angiospermes :

Ils ont un cycle haplodiplophasique (surtout sporophytique). Les gamètes femelles sont parasites du sporophyte. La fécondation est une siphonogamie (**attention, c'est une double fécondation**).

III\ Les archégoniates cormophytes.

A partir des mousses, l'évolution des gamètes mâles et femelles donne une diminution du territoire végétatif du prothalle et la perte de son indépendance.

Passage au milieu aérien et mode de vie.

Le gamétophyte mâle se développe à partir des réserves accumulées dans les spores. Il y a diminution du nombre d'anthéridies.

Le gamétophyte femelle : le prothalle cesse d'accumuler des réserves, elles seront élaborées après la fécondation. Ce sont les gamétophytes les plus évolués.

La réduction des gamétophytes et des gamétanges est une stratégie évolutive. Cette stratégie entraîne, un allongement du cycle de développement (80 heures pour les champignons et plusieurs années pour les fleurs), la suppression partielle de la génération haploïde indépendante (fragile), l'affranchissement des aléas d'un approvisionnement énergétique et en eau, en permettant le développement de prothalles parasites du sporophyte.

L'évolution a d'abord formé des gamètes mobiles dans l'eau pour les algues et les mousses, puis des gamètes véhiculés, pour les archégoniates, par les tubes polliniques grâce à la siphonogamie. Celle-ci permet un affranchissement de l'eau pour effectuer la fécondation. C'est aussi le passage d'une fécondation simple à une fécondation double qui conduit chez les angiospermes à la formation d'un embryon « nourrice » ou albumen.

Les phanérogames ou spermaphytes :

LES GYMNOSPERMES.

Ce sont des végétaux vasculaires dont la fécondation est indépendante du milieu extérieur et dont les éléments reproducteurs (gamétophytes) sont les grains de pollen chez les mâles et les ovules chez les femelles.

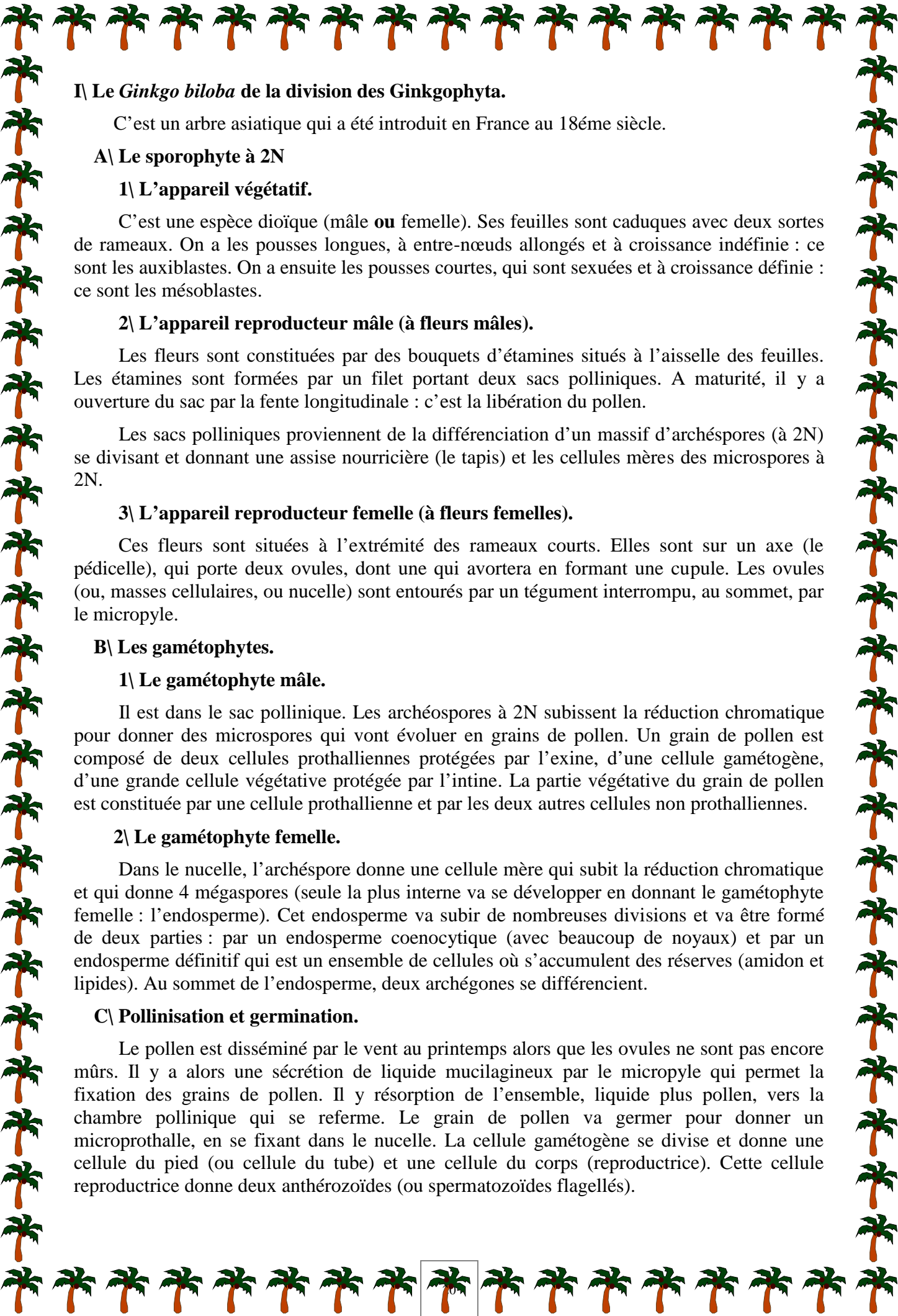
On a deux sous-ensembles majeurs : les gymnospermes dont les ovules et les graines sont nus, et les angiospermes chez qui la graine est dans un fruit.

Ils apparaissent au Dévonien. Leur épanouissement a lieu à la fin de l'ère primaire et pendant l'ère secondaire. Maintenant, ce groupe est en déclin. Les plus nombreux sont les coniférales. Ce sont surtout des arbres et arbustes à feuilles persistantes.

Leur anatomie :

- trachéides à ponctuations aréolées.
- le bois secondaire est homoxylé.
- ils possèdent de nombreux canaux à résine (d'où le terme de résineux).

On trouve trois classes : les Cycadophytes, les Coniférophytes, les Gnétophytes. On a toutefois un autre type de classification avec quatre subdivisions : les Cycophyta, les Ginkgophyta, les Coniférophyta, les Gnétophyta.



I\ Le *Ginkgo biloba* de la division des Ginkgophyta.

C'est un arbre asiatique qui a été introduit en France au 18^{ème} siècle.

A\ Le sporophyte à 2N

1\ L'appareil végétatif.

C'est une espèce dioïque (mâle **ou** femelle). Ses feuilles sont caduques avec deux sortes de rameaux. On a les pousses longues, à entre-nœuds allongés et à croissance indéfinie : ce sont les auxiblastes. On a ensuite les pousses courtes, qui sont sexuées et à croissance définie : ce sont les mésoblastes.

2\ L'appareil reproducteur mâle (à fleurs mâles).

Les fleurs sont constituées par des bouquets d'étamines situés à l'aisselle des feuilles. Les étamines sont formées par un filet portant deux sacs polliniques. A maturité, il y a ouverture du sac par la fente longitudinale : c'est la libération du pollen.

Les sacs polliniques proviennent de la différenciation d'un massif d'archéspores (à 2N) se divisant et donnant une assise nourricière (le tapis) et les cellules mères des microspores à 2N.

3\ L'appareil reproducteur femelle (à fleurs femelles).

Ces fleurs sont situées à l'extrémité des rameaux courts. Elles sont sur un axe (le pédicelle), qui porte deux ovules, dont une qui avortera en formant une cupule. Les ovules (ou, masses cellulaires, ou nucelle) sont entourés par un tégument interrompu, au sommet, par le micropyle.

B\ Les gamétophytes.

1\ Le gamétophyte mâle.

Il est dans le sac pollinique. Les archéspores à 2N subissent la réduction chromatique pour donner des microspores qui vont évoluer en grains de pollen. Un grain de pollen est composé de deux cellules prothalliennes protégées par l'exine, d'une cellule gamétogène, d'une grande cellule végétative protégée par l'intine. La partie végétative du grain de pollen est constituée par une cellule prothallienne et par les deux autres cellules non prothalliennes.

2\ Le gamétophyte femelle.

Dans le nucelle, l'archéspore donne une cellule mère qui subit la réduction chromatique et qui donne 4 mégaspores (seule la plus interne va se développer en donnant le gamétophyte femelle : l'endosperme). Cet endosperme va subir de nombreuses divisions et va être formé de deux parties : par un endosperme coenocytique (avec beaucoup de noyaux) et par un endosperme définitif qui est un ensemble de cellules où s'accumulent des réserves (amidon et lipides). Au sommet de l'endosperme, deux archégonies se différencient.

C\ Pollinisation et germination.

Le pollen est disséminé par le vent au printemps alors que les ovules ne sont pas encore mûrs. Il y a alors une sécrétion de liquide mucilagineux par le micropyle qui permet la fixation des grains de pollen. Il y a résorption de l'ensemble, liquide plus pollen, vers la chambre pollinique qui se referme. Le grain de pollen va germer pour donner un microprothalle, en se fixant dans le nucelle. La cellule gamétogène se divise et donne une cellule du pied (ou cellule du tube) et une cellule du corps (reproductrice). Cette cellule reproductrice donne deux anthérozoïdes (ou spermatozoïdes flagellés).



D\ Fécondation et formation de l'œuf et du sporophyte.

Libérés du grain de pollen, les spermatozoïdes nagent dans le liquide du nucelle et l'un d'eux va féconder l'oosphère (c'est une zoïdogamie à milieu interne à l'organisme liquide). Cette fécondation est suivie de la formation de zygote (ou œuf). Le noyau du zygote se divise immédiatement et donne un pré-embryon qui se différencie en deux zones. Une zone supérieure qui est un suspenseur (c'est aussi le col de l'archégone), et une zone inférieure méristématique : l'embryon qui, complètement différencié, est formé d'une radicule, d'une tigelle, d'une gémule et de deux cotylédons.

E\ Le développement de l'ovule fécondé.

A maturité, l'ovule donne une pré-graine dont le tégument se divise en trois couches. Le nucelle persiste en une mince couche. L'endosperme occupe toute la partie centrale. Les réserves sont dans l'endosperme avant la fécondation. Les ovules peuvent tomber avant d'être fécondés. Il n'y a pas de vie ralentie avant la germination.

Chez le Ginkgo, on assiste à la première apparition d'un ovule (mégasporange) nu. Le gamétophyte n'a pas de vie autonome : le gamétophyte mâle est parasite du sporophyte et le gamétophyte femelle est réduit.

La fécondation est une zoïdogamie avec le liquide fourni par l'ovule. Le cycle est haplodiplophasique, il est surtout diplophasique car c'est la seule forme de vie autonome.

II\ Le pin coniferophyta.

Ce sont des arbres de grande taille dont les feuilles sont groupées par deux en aiguilles. L'espèce est monoïque. L'appareil végétatif constitue le sporophyte. Cette espèce entraîne une acidification du sol qui devient alors moins fertile.

A\ Les appareils reproducteurs (sur le sporophyte).

1\ L'appareil mâle.

Il est constitué de cônes groupés en épis à la base de jeunes pousses. Les cônes sont des associations, autour d'un axe de feuilles modifiées (ou écailles), qui forment les étamines. Le sporange (le sac pollinique) est situé à la face inférieure des écailles. Le pollen est libéré par une ouverture longitudinale. Chaque grain est limité par une paroi riche en sporopollénine, dilatée latéralement en bâtonnets, ce qui favorise la dissémination par éochorie. Une microspore haploïde donne un grain de pollen. Le gamétophyte mâle se développe dans le sac pollinique, puis, à maturité, le grain est constitué de deux cellules prothalliennes, d'une cellule reproductrice et d'une cellule végétative. Le grain est disséminé pendant sa phase de vie ralentie.

2\ L'appareil femelle.

Des cônes se développent au sommet des jeunes pousses et sont une association d'écailles à l'aisselle des bractées. Au printemps de la première année, deux ovules sont à la face supérieure de chaque écaille. Les ovules ne sont pas protégés par une formation sporophytique, ce qui les laisse nus. Le nucelle est entouré d'un tégument laissant une ouverture apicale (le micropyle).

Quand l'archéspore augmente de taille, elle subit la méiose qui donne quatre mégaspores dont seule, la plus profonde, persiste. Le noyau se divise plusieurs fois et donne le gamétophyte femelle. L'endosperme coenocytique arrête vite de se développer.



B\ La pollinisation.

Elle est assurée par le vent. Les grains de pollen sont captés par le mucilage et arrivent au contact du nucelle. Ils germent alors en produisant un tube pollinique dans lequel s'engage le noyau de la cellule végétative. Puis la cellule reproductrice se divise en deux cellules dont une cellule spermatogène (anthéridie). Le développement s'interrompt alors jusqu'au printemps suivant.

C\ La fécondation.

Le développement du gamétophyte femelle reprend car il y a formation de cellule dans l'endosperme. Quand celle-ci a terminé, il y a individualisation de 2 ou 3 archégonies. Les archéspores donnent une oosphère volumineuse à col réduit.

Le pollen à une reprise de métabolisme plus tardive (seulement quelques jours avant la fécondation). L'anthéridie se divise en deux gamètes mâles non limités par une paroi.

Quand le tube pollinique, dans le col de l'archégonie, déverse son contenu dans l'oosphère, on a une cellule mâle qui dégénère et une qui s'unit à l'oosphère pour former un zygote à 2N. Le gamète mâle n'a jamais été mobile : c'est une fécondation par siphonogamie.

D\ Le zygote.

Après s'être divisé deux fois, le zygote donne un embryon coenocytique à quatre noyaux dans la partie basale (à l'opposé du col de l'archégonie).

Les cellules les plus basales sont les cellules embryonnaires. Elles sont surmontées par la cellule du suspenseur qui s'allonge de manière importante. Cette croissance donne une séparation de quatre cellules embryonnaires qui donnent quatre embryons dont trois qui dégénèrent. L'embryon qui reste s'organise en une jeune plantule.

E\ La graine.

Pendant le développement de l'embryon, les cellules de l'endosperme et des jeunes feuilles de la plantule (cotylédons) se chargent de réserves ; le tégument s'épaissit, se lignifie ; l'endosperme et la plantule se déshydratent et sont accompagnés d'une réduction des activités métaboliques. C'est le passage à la vie ralentie. L'ovule est transformé en une graine pourvue d'une aile. Après une période de vie ralentie, quand les conditions sont favorables, la graine germe et donne une nouvelle plante feuillée.

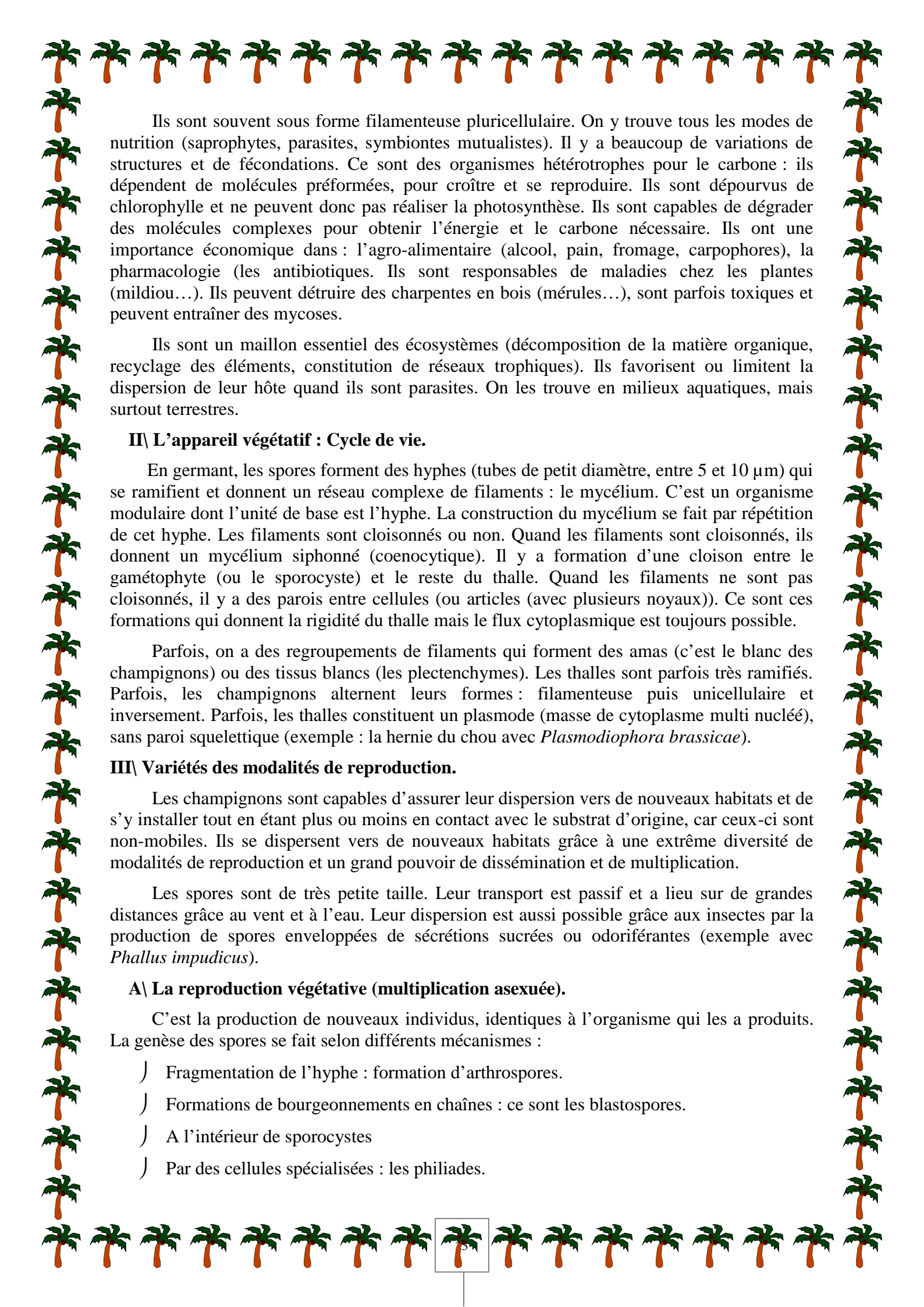
Le cycle est caractérisé par l'alternance d'une génération sporophytique dominante et d'une génération gamétophytique réduite. Cette dernière se développe au sein du sporophyte, en parasite de celui-ci. Les différences essentielles avec le Ginkgo portent sur la fécondation (ici on a siphonogamie) et sur la graine qui, ici, est une véritable graine capable de vivre à l'état de vie ralentie.

LES CHAMPIGNONS.

I\ Généralités.

C'est une espèce immobile qui a longtemps été classée chez les végétaux mais qui a des similitudes avec les animaux (mode de vie, paroi cellulaire en chitine).

Maintenant, les champignons ont un règne propre : les Fungi. C'est un vaste ensemble d'organismes eucaryotes (300.000 espèces connues) mais on estime la totalité à 1,5 millions d'espèces.



Ils sont souvent sous forme filamenteuse pluricellulaire. On y trouve tous les modes de nutrition (saprophytes, parasites, symbiontes mutualistes). Il y a beaucoup de variations de structures et de fécondations. Ce sont des organismes hétérotrophes pour le carbone : ils dépendent de molécules préformées, pour croître et se reproduire. Ils sont dépourvus de chlorophylle et ne peuvent donc pas réaliser la photosynthèse. Ils sont capables de dégrader des molécules complexes pour obtenir l'énergie et le carbone nécessaire. Ils ont une importance économique dans : l'agro-alimentaire (alcool, pain, fromage, carpophores), la pharmacologie (les antibiotiques. Ils sont responsables de maladies chez les plantes (mildiou...). Ils peuvent détruire des charpentes en bois (mérules...), sont parfois toxiques et peuvent entraîner des mycoses.

Ils sont un maillon essentiel des écosystèmes (décomposition de la matière organique, recyclage des éléments, constitution de réseaux trophiques). Ils favorisent ou limitent la dispersion de leur hôte quand ils sont parasites. On les trouve en milieux aquatiques, mais surtout terrestres.

II\ L'appareil végétatif : Cycle de vie.

En germant, les spores forment des hyphes (tubes de petit diamètre, entre 5 et 10 μm) qui se ramifient et donnent un réseau complexe de filaments : le mycélium. C'est un organisme modulaire dont l'unité de base est l'hyphe. La construction du mycélium se fait par répétition de cet hyphe. Les filaments sont cloisonnés ou non. Quand les filaments sont cloisonnés, ils donnent un mycélium siphonné (coenocytique). Il y a formation d'une cloison entre le gamétophyte (ou le sporocyste) et le reste du thalle. Quand les filaments ne sont pas cloisonnés, il y a des parois entre cellules (ou articles (avec plusieurs noyaux)). Ce sont ces formations qui donnent la rigidité du thalle mais le flux cytoplasmique est toujours possible.

Parfois, on a des regroupements de filaments qui forment des amas (c'est le blanc des champignons) ou des tissus blancs (les plectenchymes). Les thalles sont parfois très ramifiés. Parfois, les champignons alternent leurs formes : filamenteuse puis unicellulaire et inversement. Parfois, les thalles constituent un plasmode (masse de cytoplasme multi nucléé), sans paroi squelettique (exemple : la hernie du chou avec *Plasmodiophora brassicae*).

III\ Variétés des modalités de reproduction.

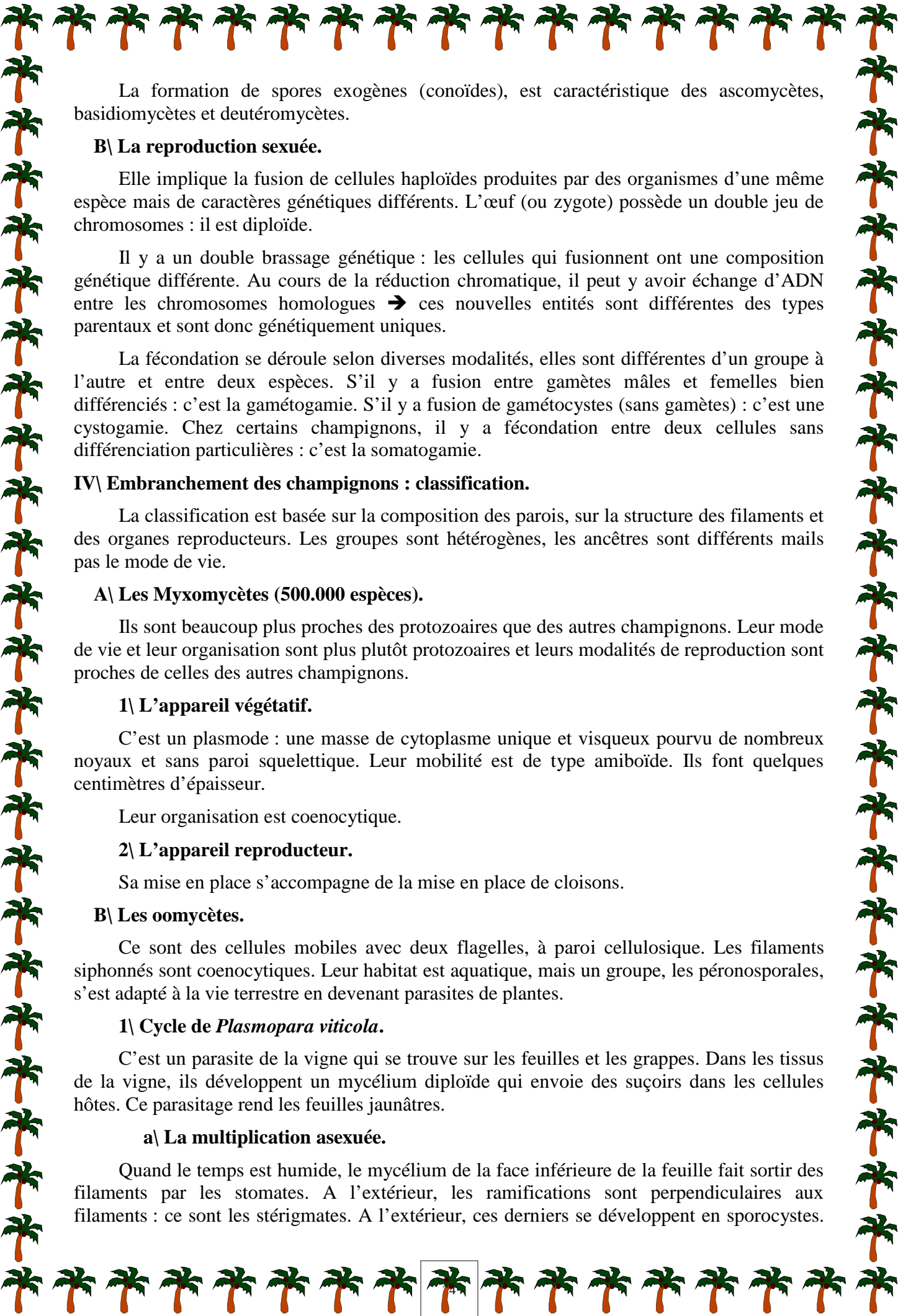
Les champignons sont capables d'assurer leur dispersion vers de nouveaux habitats et de s'y installer tout en étant plus ou moins en contact avec le substrat d'origine, car ceux-ci sont non-mobiles. Ils se dispersent vers de nouveaux habitats grâce à une extrême diversité de modalités de reproduction et un grand pouvoir de dissémination et de multiplication.

Les spores sont de très petite taille. Leur transport est passif et a lieu sur de grandes distances grâce au vent et à l'eau. Leur dispersion est aussi possible grâce aux insectes par la production de spores enveloppées de sécrétions sucrées ou odoriférantes (exemple avec *Phallus impudicus*).

A\ La reproduction végétative (multiplication asexuée).

C'est la production de nouveaux individus, identiques à l'organisme qui les a produits. La genèse des spores se fait selon différents mécanismes :

-) Fragmentation de l'hyphe : formation d'arthrospores.
-) Formations de bourgeonnements en chaînes : ce sont les blastospores.
-) A l'intérieur de sporocystes
-) Par des cellules spécialisées : les philiades.



La formation de spores exogènes (conoïdes), est caractéristique des ascomycètes, basidiomycètes et deutéromycètes.

B\ La reproduction sexuée.

Elle implique la fusion de cellules haploïdes produites par des organismes d'une même espèce mais de caractères génétiques différents. L'œuf (ou zygote) possède un double jeu de chromosomes : il est diploïde.

Il y a un double brassage génétique : les cellules qui fusionnent ont une composition génétique différente. Au cours de la réduction chromatique, il peut y avoir échange d'ADN entre les chromosomes homologues → ces nouvelles entités sont différentes des types parentaux et sont donc génétiquement uniques.

La fécondation se déroule selon diverses modalités, elles sont différentes d'un groupe à l'autre et entre deux espèces. S'il y a fusion entre gamètes mâles et femelles bien différenciés : c'est la gamétogamie. S'il y a fusion de gamétocystes (sans gamètes) : c'est une cystogamie. Chez certains champignons, il y a fécondation entre deux cellules sans différenciation particulières : c'est la somatogamie.

IV\ Embranchement des champignons : classification.

La classification est basée sur la composition des parois, sur la structure des filaments et des organes reproducteurs. Les groupes sont hétérogènes, les ancêtres sont différents mais pas le mode de vie.

A\ Les Myxomycètes (500.000 espèces).

Ils sont beaucoup plus proches des protozoaires que des autres champignons. Leur mode de vie et leur organisation sont plus plutôt protozoaires et leurs modalités de reproduction sont proches de celles des autres champignons.

1\ L'appareil végétatif.

C'est un plasmode : une masse de cytoplasme unique et visqueux pourvu de nombreux noyaux et sans paroi squelettique. Leur mobilité est de type amiboïde. Ils font quelques centimètres d'épaisseur.

Leur organisation est coenocytique.

2\ L'appareil reproducteur.

Sa mise en place s'accompagne de la mise en place de cloisons.

B\ Les oomycètes.

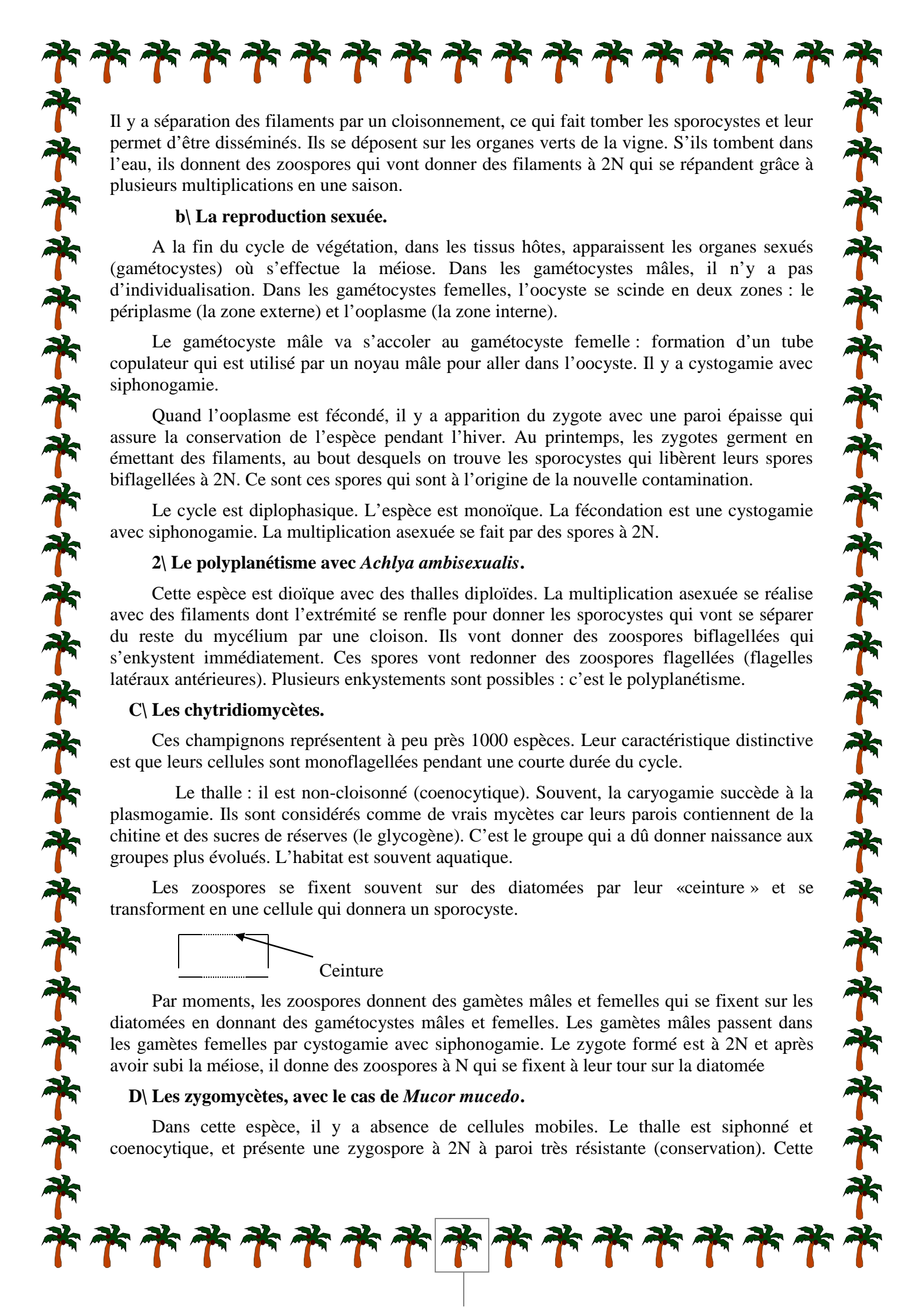
Ce sont des cellules mobiles avec deux flagelles, à paroi cellulosique. Les filaments siphonnés sont coenocytiques. Leur habitat est aquatique, mais un groupe, les péronosporales, s'est adapté à la vie terrestre en devenant parasites de plantes.

1\ Cycle de *Plasmopara viticola*.

C'est un parasite de la vigne qui se trouve sur les feuilles et les grappes. Dans les tissus de la vigne, ils développent un mycélium diploïde qui envoie des suçoirs dans les cellules hôtes. Ce parasitisme rend les feuilles jaunâtres.

a\ La multiplication asexuée.

Quand le temps est humide, le mycélium de la face inférieure de la feuille fait sortir des filaments par les stomates. A l'extérieur, les ramifications sont perpendiculaires aux filaments : ce sont les stérigmates. A l'extérieur, ces derniers se développent en sporocystes.



Il y a séparation des filaments par un cloisonnement, ce qui fait tomber les sporocystes et leur permet d'être disséminés. Ils se déposent sur les organes verts de la vigne. S'ils tombent dans l'eau, ils donnent des zoospores qui vont donner des filaments à $2N$ qui se répandent grâce à plusieurs multiplications en une saison.

b\ La reproduction sexuée.

A la fin du cycle de végétation, dans les tissus hôtes, apparaissent les organes sexués (gamétocystes) où s'effectue la méiose. Dans les gamétocystes mâles, il n'y a pas d'individualisation. Dans les gamétocystes femelles, l'oocyste se scinde en deux zones : le périplasme (la zone externe) et l'ooplasme (la zone interne).

Le gamétocyste mâle va s'accoler au gamétocyste femelle : formation d'un tube copulateur qui est utilisé par un noyau mâle pour aller dans l'oocyste. Il y a cystogamie avec siphonogamie.

Quand l'ooplasme est fécondé, il y a apparition du zygote avec une paroi épaisse qui assure la conservation de l'espèce pendant l'hiver. Au printemps, les zygotes germent en émettant des filaments, au bout desquels on trouve les sporocystes qui libèrent leurs spores biflagellées à $2N$. Ce sont ces spores qui sont à l'origine de la nouvelle contamination.

Le cycle est diplophasique. L'espèce est monoïque. La fécondation est une cystogamie avec siphonogamie. La multiplication asexuée se fait par des spores à $2N$.

2\ Le polyplanétisme avec *Achlya ambisexualis*.

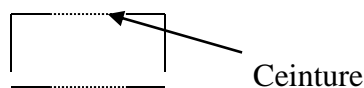
Cette espèce est dioïque avec des thalles diploïdes. La multiplication asexuée se réalise avec des filaments dont l'extrémité se renfle pour donner les sporocystes qui vont se séparer du reste du mycélium par une cloison. Ils vont donner des zoospores biflagellées qui s'enkystent immédiatement. Ces spores vont redonner des zoospores flagellées (flagelles latéraux antérieures). Plusieurs enkystements sont possibles : c'est le polyplanétisme.

C\ Les chytridiomycètes.

Ces champignons représentent à peu près 1000 espèces. Leur caractéristique distinctive est que leurs cellules sont monoflagellées pendant une courte durée du cycle.

Le thalle : il est non-cloisonné (coenocytique). Souvent, la caryogamie succède à la plasmogamie. Ils sont considérés comme de vrais mycètes car leurs parois contiennent de la chitine et des sucres de réserves (le glycogène). C'est le groupe qui a dû donner naissance aux groupes plus évolués. L'habitat est souvent aquatique.

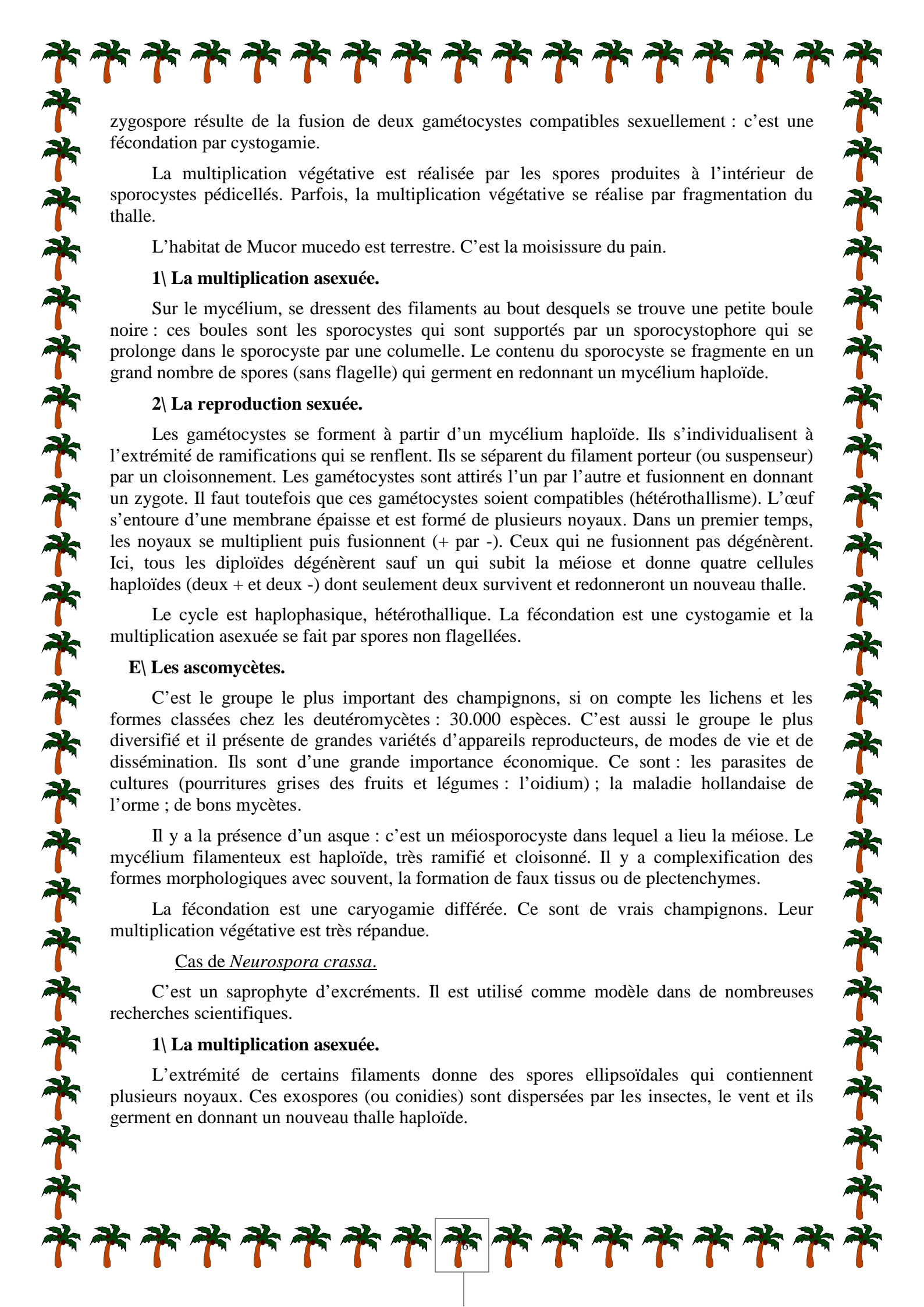
Les zoospores se fixent souvent sur des diatomées par leur «ceinture» et se transforment en une cellule qui donnera un sporocyste.



Par moments, les zoospores donnent des gamètes mâles et femelles qui se fixent sur les diatomées en donnant des gamétocystes mâles et femelles. Les gamètes mâles passent dans les gamètes femelles par cystogamie avec siphonogamie. Le zygote formé est à $2N$ et après avoir subi la méiose, il donne des zoospores à N qui se fixent à leur tour sur la diatomée

D\ Les zygomycètes, avec le cas de *Mucor mucedo*.

Dans cette espèce, il y a absence de cellules mobiles. Le thalle est siphonné et coenocytique, et présente une zygosporangie à $2N$ à paroi très résistante (conservation). Cette



zygospore résulte de la fusion de deux gamétocystes compatibles sexuellement : c'est une fécondation par cystogamie.

La multiplication végétative est réalisée par les spores produites à l'intérieur de sporocystes pédicellés. Parfois, la multiplication végétative se réalise par fragmentation du thalle.

L'habitat de *Mucor mucedo* est terrestre. C'est la moisissure du pain.

1\ La multiplication asexuée.

Sur le mycélium, se dressent des filaments au bout desquels se trouve une petite boule noire : ces boules sont les sporocystes qui sont supportés par un sporocystophore qui se prolonge dans le sporocyste par une columelle. Le contenu du sporocyste se fragmente en un grand nombre de spores (sans flagelle) qui germent en redonnant un mycélium haploïde.

2\ La reproduction sexuée.

Les gamétocystes se forment à partir d'un mycélium haploïde. Ils s'individualisent à l'extrémité de ramifications qui se renflent. Ils se séparent du filament porteur (ou suspenseur) par un cloisonnement. Les gamétocystes sont attirés l'un par l'autre et fusionnent en donnant un zygote. Il faut toutefois que ces gamétocystes soient compatibles (hétérothallisme). L'œuf s'entoure d'une membrane épaisse et est formé de plusieurs noyaux. Dans un premier temps, les noyaux se multiplient puis fusionnent (+ par -). Ceux qui ne fusionnent pas dégèrent. Ici, tous les diploïdes dégèrent sauf un qui subit la méiose et donne quatre cellules haploïdes (deux + et deux -) dont seulement deux survivent et redonneront un nouveau thalle.

Le cycle est haplophasique, hétérothallique. La fécondation est une cystogamie et la multiplication asexuée se fait par spores non flagellées.

E\ Les ascomycètes.

C'est le groupe le plus important des champignons, si on compte les lichens et les formes classées chez les deutéromycètes : 30.000 espèces. C'est aussi le groupe le plus diversifié et il présente de grandes variétés d'appareils reproducteurs, de modes de vie et de dissémination. Ils sont d'une grande importance économique. Ce sont : les parasites de cultures (pourritures grises des fruits et légumes : l'oidium) ; la maladie hollandaise de l'orme ; de bons mycètes.

Il y a la présence d'un asque : c'est un méiosporocyste dans lequel a lieu la méiose. Le mycélium filamenteux est haploïde, très ramifié et cloisonné. Il y a complexification des formes morphologiques avec souvent, la formation de faux tissus ou de plectenchymes.

La fécondation est une caryogamie différée. Ce sont de vrais champignons. Leur multiplication végétative est très répandue.

Cas de *Neurospora crassa*.

C'est un saprophyte d'excréments. Il est utilisé comme modèle dans de nombreuses recherches scientifiques.

1\ La multiplication asexuée.

L'extrémité de certains filaments donne des spores ellipsoïdales qui contiennent plusieurs noyaux. Ces exospores (ou conidies) sont dispersées par les insectes, le vent et ils germent en donnant un nouveau thalle haploïde.



2\ La reproduction sexuée.

La fécondation présente une convergence morphologique comme chez les algues rouges. Sur le mycélium, se dresse un filament particulier (le filament ascogonial) qui est constitué de grosses cellules plurinucléées (ou articles). A la base de ce filament, se développe un autre filament qui donne le proascocarpe. Le filament ascogonial est surmonté du trichogyne. L'organe femelle est l'association de l'ascogone et du trichogyne (le trichogyne joue le rôle de capteur de gamètes mâles). Les gamètes mâles ne naissent pas de sporocystes, mais elles sont bourgeonnées latéralement par les articles de certains filaments. Les spermaties n'ont pas de flagelles et ont un noyau volumineux. Elles sont emmenées passivement vers le trichogyne. Quand il y a contact, le noyau migre vers le trichogyne jusqu'à l'ascogone qu'il féconde. Plusieurs spermaties peuvent fusionner avec le trichogyne mais une seule va féconder l'ascogone.

3\ Le développement du zygote.

L'ascogone fécondée est diploïde Le développement se fait sur place et engendre des filaments présentant la particularité d'être divisés en cellules comptant deux noyaux chacune. Ces sont des cellules à dicaryons.

On observe le phénomène du crochet : l'extrémité d'un dicaryon bourgeonne latéralement. Les deux noyaux subissent une division et un noyau fils passe dans le bourgeon alors que l'autre reste dans la première cellule. Le bourgeon latéral se sépare de la cellule terminale par une cloison. On obtient trois cellules : une cellule à deux noyaux différents et deux cellules à un noyau. : C'est une dangeardie. Le bourgeon se recolle à la cellule initiale et y fait passer son noyau (deux cellules à deux noyaux distincts).

4\ La formation de l'asque.

La cellule de l'asque est le siège d'une méiose. Les filaments dicaryontiques se terminent par une cellule où les deux noyaux fusionnent en un noyau diploïde. C'est la cellule ascogène qui va s'allonger alors que le noyau (à $2N$) subit la méiose. A la fin, on a huit noyaux haploïdes (quatre + et quatre-) autour desquels s'individualise une ascospore. Un asque est l'association d'une membrane et de huit noyaux haploïdes. Ces ascospores vont donner un nouveau mycélium haploïde.

5\ La formation de l'ascocarpe.

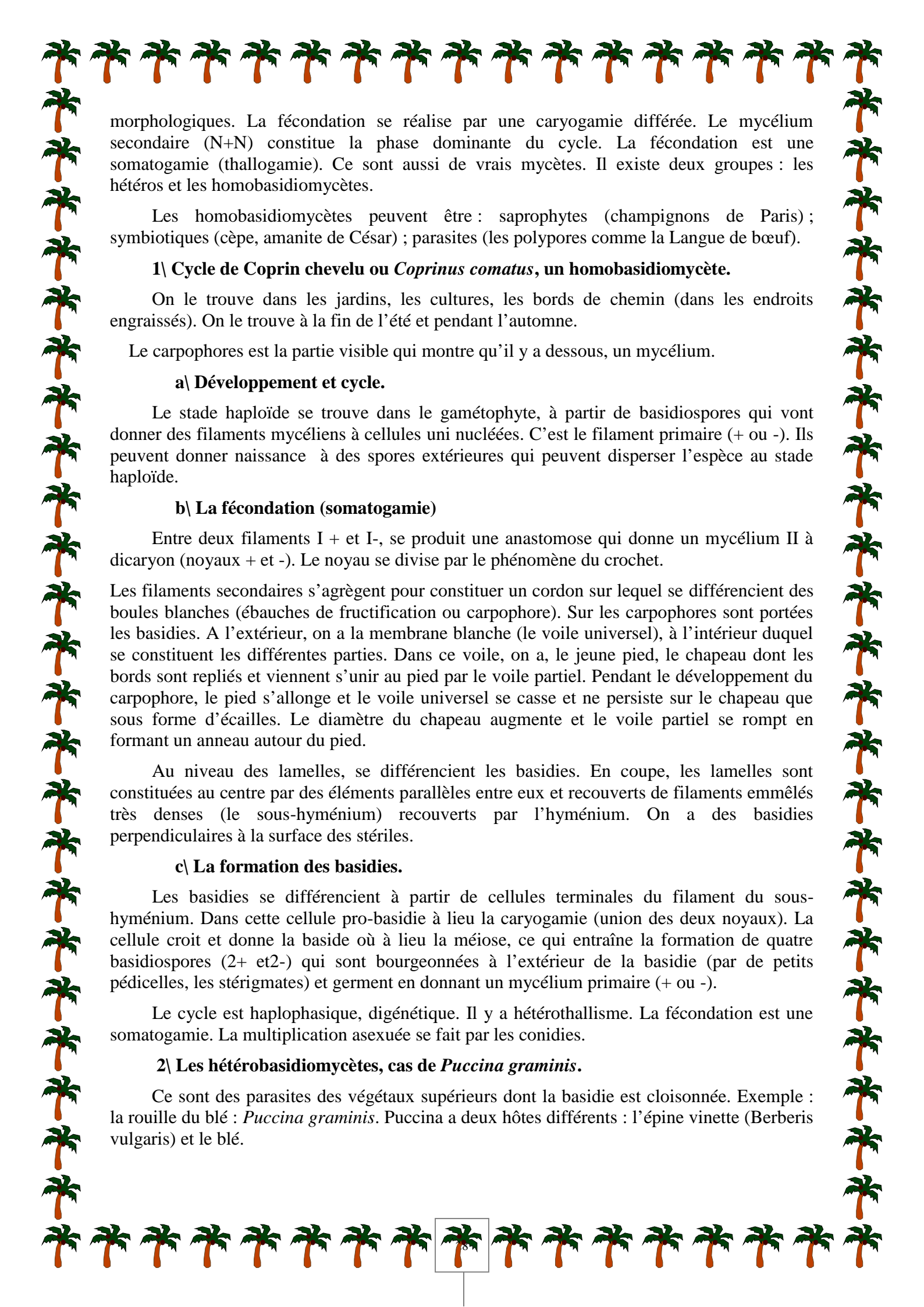
Les filaments qui entourent l'ascogone (le proascocarpe) se développent et constituent la paroi d'un conceptacle ouvert à la partie supérieure par un ostiole. C'est la formation de l'ascocarpe. Un ascocarpe a une morphologie variable : globuleux, ouvert par un port ou non (c'est alors un périthèce) ou en forme de coupe (apothécie). Les ascocarpes peuvent être constitués par une masse de tissus avec des veines. Dans le cas des levures, on n'a pas d'ascocarpe.

Ici, le cycle est haplodiplophasique. La fécondation est une trichogamie. La multiplication se fait par les conidies.

F\ Les basidiomycètes.

Ce sont les plus connus. Ils forment de gros carpophores très visibles. Ils ont des conséquences économiques : ils sont parasites de cultures et d'arbres (rouilles, charbons), ils peuvent aussi être saprophytes (destructeurs de charpentes).

Ces champignons possèdent des basidies (l'équivalent d'un méiosporocyste) où se réalise la méiose. Le mycélium filamenteux est très ramifié et cloisonné. On a souvent des formations de faux tissus (pectenchymes). Il y a complexification des formes



morphologiques. La fécondation se réalise par une caryogamie différée. Le mycélium secondaire (N+N) constitue la phase dominante du cycle. La fécondation est une somatogamie (thallogamie). Ce sont aussi de vrais mycètes. Il existe deux groupes : les hétéros et les homobasidiomycètes.

Les homobasidiomycètes peuvent être : saprophytes (champignons de Paris) ; symbiotiques (cèpe, amanite de César) ; parasites (les polypores comme la Langue de bœuf).

1\ Cycle de Coprin chevelu ou *Coprinus comatus*, un homobasidiomycète.

On le trouve dans les jardins, les cultures, les bords de chemin (dans les endroits engraissés). On le trouve à la fin de l'été et pendant l'automne.

Le carpophore est la partie visible qui montre qu'il y a dessous, un mycélium.

a\ Développement et cycle.

Le stade haploïde se trouve dans le gamétophyte, à partir de basidiospores qui vont donner des filaments mycéliens à cellules uni nucléées. C'est le filament primaire (+ ou -). Ils peuvent donner naissance à des spores extérieures qui peuvent disperser l'espèce au stade haploïde.

b\ La fécondation (somatogamie)

Entre deux filaments I + et I-, se produit une anastomose qui donne un mycélium II à dicaryon (noyaux + et -). Le noyau se divise par le phénomène du crochet.

Les filaments secondaires s'agrègent pour constituer un cordon sur lequel se différencient des boules blanches (ébauches de fructification ou carpophore). Sur les carpophores sont portées les basidies. A l'extérieur, on a la membrane blanche (le voile universel), à l'intérieur duquel se constituent les différentes parties. Dans ce voile, on a, le jeune pied, le chapeau dont les bords sont repliés et viennent s'unir au pied par le voile partiel. Pendant le développement du carpophore, le pied s'allonge et le voile universel se casse et ne persiste sur le chapeau que sous forme d'écailles. Le diamètre du chapeau augmente et le voile partiel se rompt en formant un anneau autour du pied.

Au niveau des lamelles, se différencient les basidies. En coupe, les lamelles sont constituées au centre par des éléments parallèles entre eux et recouverts de filaments emmêlés très denses (le sous-hyménium) recouverts par l'hyménium. On a des basidies perpendiculaires à la surface des stériles.

c\ La formation des basidies.

Les basidies se différencient à partir de cellules terminales du filament du sous-hyménium. Dans cette cellule pro-basidie a lieu la caryogamie (union des deux noyaux). La cellule croît et donne la baside où a lieu la méiose, ce qui entraîne la formation de quatre basidiospores (2+ et 2-) qui sont bourgeonnées à l'extérieur de la basidie (par de petits pédicelles, les stérigmates) et germent en donnant un mycélium primaire (+ ou -).

Le cycle est haplophasique, digénétique. Il y a hétérothallisme. La fécondation est une somatogamie. La multiplication asexuée se fait par les conidies.

2\ Les hétérobasidiomycètes, cas de *Puccinia graminis*.

Ce sont des parasites des végétaux supérieurs dont la basidie est cloisonnée. Exemple : la rouille du blé : *Puccinia graminis*. *Puccinia* a deux hôtes différents : l'épine vinette (*Berberis vulgaris*) et le blé.



a) Le stade haploïde et la Berberis.

Le stade haploïde est le gamétophyte. Le développement de ce mycète sous forme haploïde se réalise quand il est sur une feuille de Berberis. Il germe et donne un filament (à cellule à un noyau) et envoie des suçoirs dans les cellules foliaires de l'hôte. Ce parasitage entraîne une production de taches jaunes / oranges sur les feuilles. Les taches sur la face supérieure sont des pycnides ou spermogonies et sur la face inférieure se sont des écidies.

Les pycnides : sont organisés en forme de bouteilles logées dans des cavités de la feuille ouverte vers l'extérieur. On observe deux sortes de filaments : les premiers se fragmentent en chapelets de cellules uninucléées (conidiospores). Leur dissémination est assurée par les insectes, ils ne germent pas (ils sont comme des gamètes mâles). Par l'ouverture du pycnide sort un filament sexuel en relation avec le mycélium haploïde : ce sont les hyphes récepteurs. La fécondation se fait par ces hyphes (ils ont le rôle de trichogyne).

A la face inférieure de Berberis, on a des enchevêtrements d'hyphes qui constituent des nodules (proécidies non fécondées), limitées par la paroi mycélienne (tissu nourricier et tissu fécondable).

Quand les spermogonies sont mûres, elles excrètent une goutte de nectar où se trouvent les spermaties transportées par les insectes vers d'autres feuilles. L'espèce est hétérothallique. Si la spermatie rentre en contact avec l'hyphe récepteur d'un mycélium de signe opposé, le noyau pénètre l'hyphe et passe d'une cellule à l'autre jusqu'au tissu fertile de l'écidie dont les cellules deviennent dicaryotiques. Dans un premier temps, les noyaux + et - ne fusionnent pas. Ce sporophyte se développe au dépend du tissu nourricier. Le développement donne naissance à un organe en forme de cupule : l'écidie mature. Sa taille augmente et casse l'épiderme de la face inférieure de la feuille. Un filament donne naissance à l'écidiospore à 2 noyaux, paroi épaisse avec une cellule disjonctrice. Les écidiospores ne germent que si elles rencontrent du blé. Là, il y aura formation d'un mycélium dicaryotique, entre les cellules du blé.

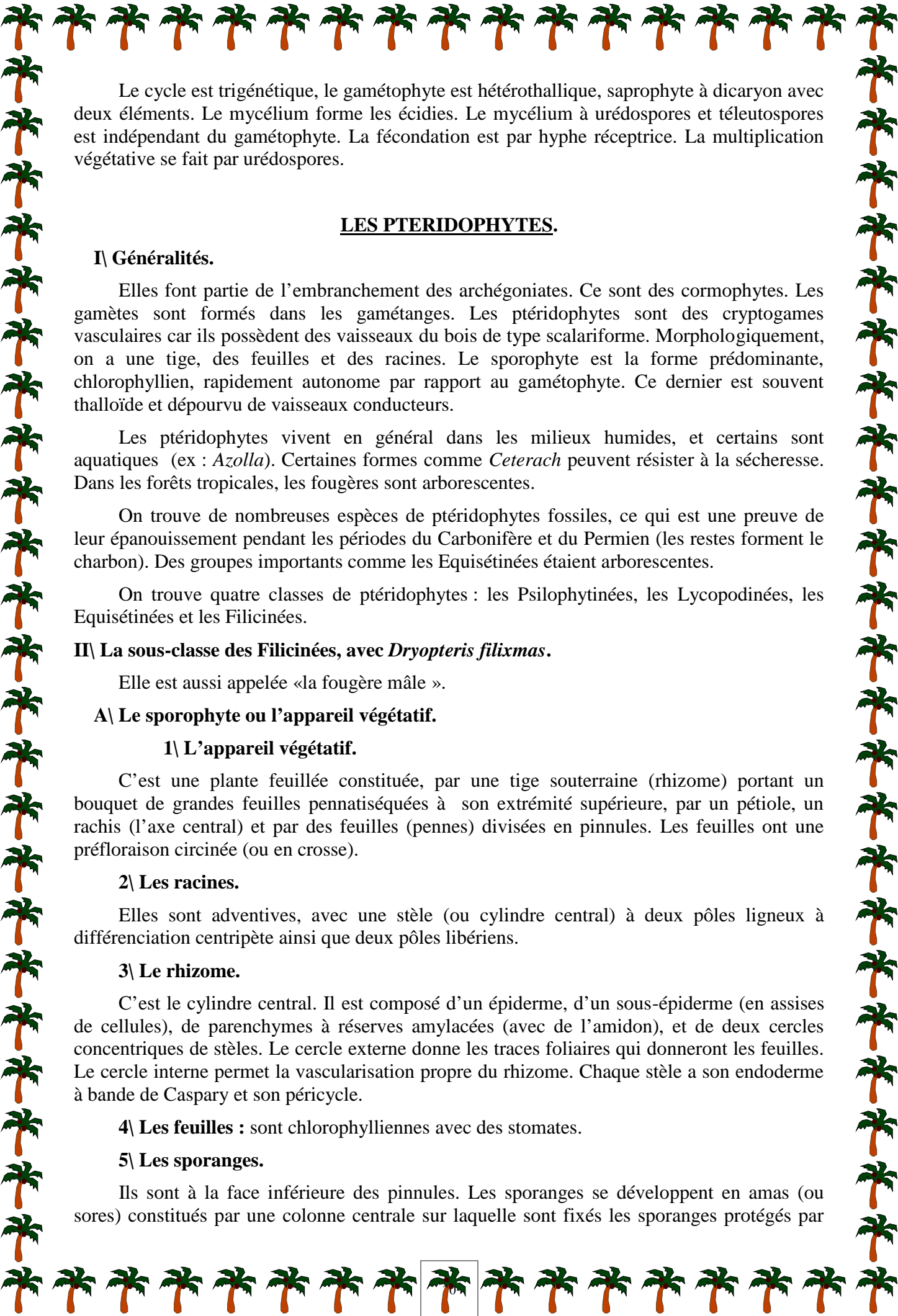
b) Le stade diploïde et le blé.

Dans la feuille de blé, le mycélium donne des fructifications allongées sous-épidermiques : les urédosores. Sur les urédosores se différencient les urédospores binucléées, qui se trouvent à l'extrémité d'un long pédicelle. Elles font éclater l'épiderme, donnant à la feuille une couleur rouille. Les urédospores peuvent germer sur le blé, ce qui propage la maladie, avec formations de filaments à dicaryon

La multiplication végétative. Elle se réalise grâce à des téléutospores. Le mycélium dicaryotique constitue un autre type de fructifications de couleur noire (c'est un groupement sous forme de téléutosores, ensemble de pédicelles à l'extrémité desquels se trouvent les téléutospores). Ils sont dicaryotiques, tombent sur le sol où elles passent l'hiver. Pendant cette période, les noyaux fusionnent.

Au printemps, chaque cellule de la téléutospore émet un filament, le promycélium, où s'engage le noyau diploïde qui subit la méiose et donnent deux noyaux + et deux -. Ces quatre noyaux s'isolent par une cloison et donnent des basidies cloisonnées (les hétérobasidies). Chaque cellule émet un prolongement latéral (les stérigmates) qui bourgeonne une basidiospore où passe un noyau, puis celle-ci est libérée.

Cette basidiospore infectera ensuite la Berberis.



Le cycle est trigénétique, le gamétophyte est hétérothallique, saprophyte à dicaryon avec deux éléments. Le mycélium forme les écidies. Le mycélium à urédospores et téléutospores est indépendant du gamétophyte. La fécondation est par hyphes réceptrice. La multiplication végétative se fait par urédospores.

LES PTERIDOPHYTES.

I\ Généralités.

Elles font partie de l'embranchement des archégoniates. Ce sont des cormophytes. Les gamètes sont formés dans les gamétanges. Les ptéridophytes sont des cryptogames vasculaires car ils possèdent des vaisseaux du bois de type scalariforme. Morphologiquement, on a une tige, des feuilles et des racines. Le sporophyte est la forme prédominante, chlorophyllien, rapidement autonome par rapport au gamétophyte. Ce dernier est souvent thalloïde et dépourvu de vaisseaux conducteurs.

Les ptéridophytes vivent en général dans les milieux humides, et certains sont aquatiques (ex : *Azolla*). Certaines formes comme *Ceterach* peuvent résister à la sécheresse. Dans les forêts tropicales, les fougères sont arborescentes.

On trouve de nombreuses espèces de ptéridophytes fossiles, ce qui est une preuve de leur épanouissement pendant les périodes du Carbonifère et du Permien (les restes forment le charbon). Des groupes importants comme les Equisétinées étaient arborescentes.

On trouve quatre classes de ptéridophytes : les Psilophytinées, les Lycopodinées, les Equisétinées et les Filicinées.

II\ La sous-classe des Filicinées, avec *Dryopteris filixmas*.

Elle est aussi appelée «la fougère mâle ».

A\ Le sporophyte ou l'appareil végétatif.

1\ L'appareil végétatif.

C'est une plante feuillée constituée, par une tige souterraine (rhizome) portant un bouquet de grandes feuilles pennatiséquées à son extrémité supérieure, par un pétiole, un rachis (l'axe central) et par des feuilles (pennes) divisées en pinnules. Les feuilles ont une préfloraison circinée (ou en crose).

2\ Les racines.

Elles sont adventives, avec une stèle (ou cylindre central) à deux pôles ligneux à différenciation centripète ainsi que deux pôles libériens.

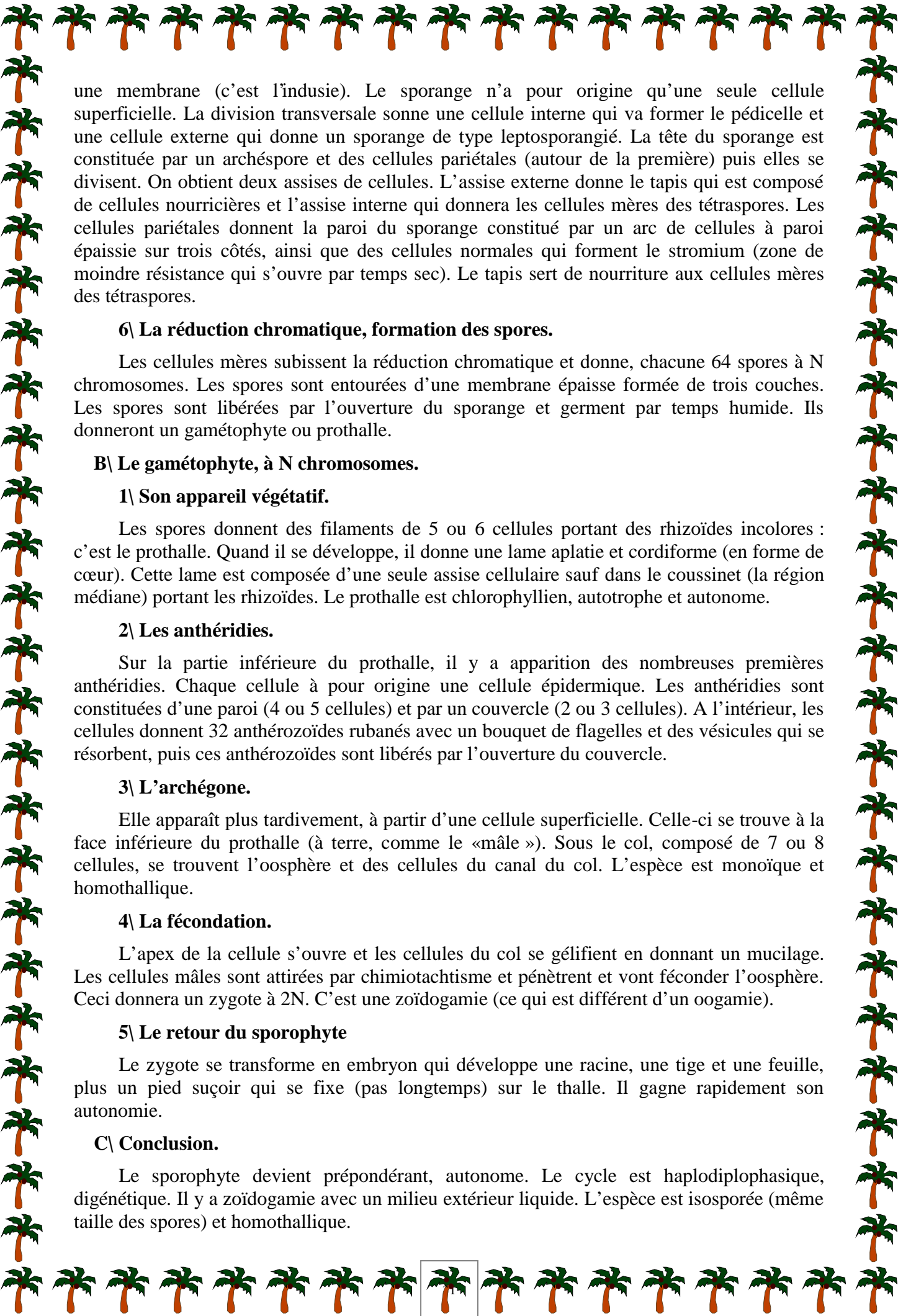
3\ Le rhizome.

C'est le cylindre central. Il est composé d'un épiderme, d'un sous-épiderme (en assises de cellules), de parenchymes à réserves amylacées (avec de l'amidon), et de deux cercles concentriques de stèles. Le cercle externe donne les traces foliaires qui donneront les feuilles. Le cercle interne permet la vascularisation propre du rhizome. Chaque stèle a son endoderme à bande de Caspary et son péricycle.

4\ Les feuilles : sont chlorophylliennes avec des stomates.

5\ Les sporanges.

Ils sont à la face inférieure des pinnules. Les sporanges se développent en amas (ou sores) constitués par une colonne centrale sur laquelle sont fixés les sporanges protégés par



une membrane (c'est l'indusie). Le sporange n'a pour origine qu'une seule cellule superficielle. La division transversale donne une cellule interne qui va former le pédicelle et une cellule externe qui donne un sporange de type leptosporangié. La tête du sporange est constituée par un archéspore et des cellules pariétales (autour de la première) puis elles se divisent. On obtient deux assises de cellules. L'assise externe donne le tapis qui est composé de cellules nourricières et l'assise interne qui donnera les cellules mères des tétraspores. Les cellules pariétales donnent la paroi du sporange constitué par un arc de cellules à paroi épaissie sur trois côtés, ainsi que des cellules normales qui forment le stromium (zone de moindre résistance qui s'ouvre par temps sec). Le tapis sert de nourriture aux cellules mères des tétraspores.

6) La réduction chromatique, formation des spores.

Les cellules mères subissent la réduction chromatique et donne, chacune 64 spores à N chromosomes. Les spores sont entourées d'une membrane épaisse formée de trois couches. Les spores sont libérées par l'ouverture du sporange et germent par temps humide. Ils donneront un gamétophyte ou prothalle.

B) Le gamétophyte, à N chromosomes.

1) Son appareil végétatif.

Les spores donnent des filaments de 5 ou 6 cellules portant des rhizoïdes incolores : c'est le prothalle. Quand il se développe, il donne une lame aplatie et cordiforme (en forme de cœur). Cette lame est composée d'une seule assise cellulaire sauf dans le coussinet (la région médiane) portant les rhizoïdes. Le prothalle est chlorophyllien, autotrophe et autonome.

2) Les anthéridies.

Sur la partie inférieure du prothalle, il y a apparition des nombreuses premières anthéridies. Chaque cellule a pour origine une cellule épidermique. Les anthéridies sont constituées d'une paroi (4 ou 5 cellules) et par un couvercle (2 ou 3 cellules). A l'intérieur, les cellules donnent 32 anthérozoïdes rubanés avec un bouquet de flagelles et des vésicules qui se résorbent, puis ces anthérozoïdes sont libérés par l'ouverture du couvercle.

3) L'archégone.

Elle apparaît plus tardivement, à partir d'une cellule superficielle. Celle-ci se trouve à la face inférieure du prothalle (à terre, comme le « mâle »). Sous le col, composé de 7 ou 8 cellules, se trouvent l'oosphère et des cellules du canal du col. L'espèce est monoïque et homothallique.

4) La fécondation.

L'apex de la cellule s'ouvre et les cellules du col se gélifient en donnant un mucilage. Les cellules mâles sont attirées par chimiotactisme et pénètrent et vont féconder l'oosphère. Ceci donnera un zygote à 2N. C'est une zoïdogamie (ce qui est différent d'un oogamie).

5) Le retour du sporophyte

Le zygote se transforme en embryon qui développe une racine, une tige et une feuille, plus un pied suçoir qui se fixe (pas longtemps) sur le thalle. Il gagne rapidement son autonomie.

C) Conclusion.

Le sporophyte devient prépondérant, autonome. Le cycle est haplodiplophasique, digénétique. Il y a zoïdogamie avec un milieu extérieur liquide. L'espèce est isosporée (même taille des spores) et homothallique.



III\ La sous-classe des lycopodiniées, avec *Selaginella sp.*

A\ Le sporophyte.

1\ L'appareil végétatif.

C'est une plante feuillée de type herbacé. Ses tiges sont vascularisées, se ramifient de manière dichotomique et portent de petites feuilles (les lancéoles) en disposition spiralée ou opposée. Sur la face supérieure, près de l'insertion de la tige, on a quatre ligules (des petites languettes). Les racines ne sont pas directement fixées sur la tige mais sur des axes rhizophores.

2\ Le sporange.

Il se développe à l'aisselle de feuilles dites fertiles : les sporophylles. Elles sont groupées en épis sporangifères. On sommet des rameaux, on trouve les strobiles.

On trouve deux types de sporanges sur le même pied :

-) Les mégasporanges qui donnent quatre tétraspores volumineuses.
-) Les microsporangies qui donnent de nombreuses microspores.

Les épis sporangifères portent les mégasporanges à leur base et les microsporangies à leur apex.

Remarque : on les a parfois sur deux rangs verticaux chacun.

Dès les premiers stades, le développement des mégas et microsporangies sont identiques. Ils ont : une paroi composée de plusieurs cellules, de cellules nourricières en manchon qui vont donner le tapis et les cellules mères des tétraspores.

Le développement est eusporangié (à partir d'un petit groupe de cellules superficielles).

3\ La réduction chromatique.

Dans les microsporangies, les cellules mères subissent la réduction chromatique et donnent de nombreuses microspores.

Dans les mégasporanges, toutes les cellules mères avortent, sauf une, qui va subir la réduction chromatique et donnera quatre tétraspores volumineuses.

B\ Les prothalles.

1\ Le gamétophyte mâle, ou, le microgamétophyte.

Une fois que les microspores sont libérées des microsporangies, on obtient deux prothalles dont un qui est à l'origine des anthéridies (l'anthéridie, après de multiples divisions, est formée d'une paroi entourant quatre cellules spermatogènes : les gamétogènes). Les cellules spermatogènes donnent plusieurs anthérozoïdes biflagellés, libérés après la rupture de la spore.

2\ Le gamétophyte femelle.

Son développement débute dans le mégasporange. Le noyau se divise plusieurs fois et donne un prothalle coenocytique (un noyau dans une cellule), puis il y a apparition de cellules à l'un des pôles.

Le prothalle adulte est chlorophyllien au niveau de l'ouverture et porte des rhizoïdes. Du côté opposé à l'ouverture, on a une zone riche en amidon. La partie supérieure des archéogones réduits est constituée d'un col de 2 ou 3 cellules (de chaque côté). L'oosphère est entourée par des cellules prothalliennes et par deux cellules du canal du col.

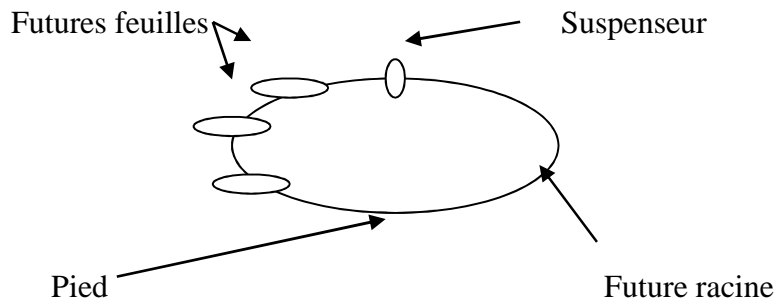
L'espèce est dioïque.

3\ La fécondation.

Les anthérozoïdes libérés, nagent dans l'eau vers les archégonies (ils sont attirés par chimiotactisme). Il y a alors, fécondation d'une ou plusieurs oosphères, qui entraînera le développement d'un zygote. La fécondation est une zoïdogamie en milieu extérieur liquide.

4\ Le développement du nouveau sporophyte à 2N.

L'œuf se divise en deux et donne alors une cellule supérieure (suspenseur) et une cellule inférieure qui, en se divisant, va donner un embryon avec une tige, une racine et un pied, fixant au départ, l'embryon sur le prothalle.



L'embryon et la jeune plantule restent un peu fixés au prothalle puis deviennent autonomes.

On a un cycle avec deux types de spore : c'est une hétérosporie. Ce phénomène entraîne la formation de deux types de gamétophytes, d'où l'hétérothallisme.

Il y a réduction du gamétophyte et de ses organes reproducteurs.

C'est une espèce haplodiplophasique, digénétique dont les spores sont une forme de résistance et de dissémination de l'espèce.

LES BRYOPHYTES.

Certaines bryophytes sont encore thalloïdes (avec des thalles) : ce sont les hépatiques. D'autres possèdent une tige et des feuilles mais pas de racines, seulement des rhizoïdes ayant un rôle de fixation et d'absorption.

Les bryophytes sont séparées des autres archégoniates par le fait qu'elles sont dépourvues de vaisseaux pour la conduction de la sève ; cependant, chez les espèces les plus évoluées, il y a un début de différenciation des tissus. Il existe une grande domination du gamétophyte par rapport au sporophyte qui est, toute sa vie, parasite du gamétophyte.

Les bryophytes vivent le plus souvent en milieu humide. On observe sur ces mousses le phénomène de reviviscence : elles peuvent supporter une dessiccation prolongée, en passant à un état de vie ralentie. Quand des conditions viables reviennent, elles font repartir leur métabolisme.



I\ La classe des hépatiques, avec *Riccia sp.*

A\ Le gamétophyte :

Au départ, on a un mitospores à N, puis il germe sur un sol humide et donne de petits filaments : des protonémas de 4 cellules chacun (une cellule est un rhizoïde). Le développement est réalisé par les divisions successives de la cellule apicale, ce qui donne un thalle prostré sur le sol. Ce dernier a l'aspect d'une rosette à plusieurs branches.

Sur le thalle, on peut distinguer deux zones :

- Le parenchyme ventral, riche en réserves et portant les rhizoïdes et les écailles (les amphigastes).
- La zone supérieure est formée par un parenchyme chlorophyllien ou assimilateur. On trouve de nombreux canaux aérifères. L'assise supérieure (ou épiderme) est non chlorophyllienne.

B\ L'appareil reproducteur de *Riccia sp.*

Il est composé des anthéridies et des archégonies sur la partie dorsale du thalle, dans le sillon longitudinal.

1\ Les anthéridies.

Elles sont formées par une cellule superficielle du thalle qui, par divisions successives, donne un sac formé par une enveloppe externe constituée d'une assise de cellules. A l'intérieur, les nombreuses cellules sont obtenues par mitose : c'est la différenciation en anthérozoïdes.

Il y a libération des méiospores grâce à la résorption de la paroi externe. Ces spores sont formées de gros noyaux et possèdent deux flagelles.

2\ Les archégonies.

C'est une cellule superficielle, qui, à maturité, a la forme d'une «bouteille » attachée au thalle par un pied pluricellulaire (ou pédicelle). Quand le développement de l'archégonie est complet, le ventre est surmonté d'un col (ou calyptra) constitué d'une seule couche de cellules. L'oosphère est à l'intérieur du ventre.

3\ La fécondation.

A maturité, l'archégonie s'ouvre au sommet. Les cellules qui se trouvent à l'intérieur du col se gélifient. Les anthérozoïdes, attirés par chimiotactisme (à cause des sucres et des substances de mucilage), se déplaçant dans une goutte d'eau, vont pénétrer dans le col et un seul des anthérozoïdes va s'unir à l'oosphère, ce qui va donner un œuf. C'est la première cellule (à 2N) du sporophyte dont la fécondation s'effectue par zoïdogamie

4\ Le sporophyte à 2N.

L'œuf, par divisions successives, donne un sporophyte globuleux inclus dans le ventre de l'archégonie. Il présente deux zones distinctes :

- J une zone externe : l'amphithécium qui forme la paroi du sporophyte
- J une zone interne : l'endothécium qui par mitoses va donner des cellules nourricières et les cellules mères des archéspores.
- J les cellules mères subissent la réduction chromatique et chacune d'elles donnera 4 méiospores libérées après la destruction des tissus du thalle (en général, un an après).



) La nouvelle génération donne un protonéma.

Remarques :

) par liquéfaction, les cellules nourricières et l'amphithécium forment un liquide nutritif.

) les archéspores sont toujours dans le ventre des archégones.

Le sporophyte a une existence transitoire, c'est un parasite du gamétophyte. Il disparaît après la réduction chromatique.

⇒ Le cycle est haplodiplophasique mais avec une dominance du gamétophyte.

II\ La classe des mousses, avec *Funaria hygrometrica*.

On la trouve dans les sous-bois clairs, dans les landes après les incendies

A\ Le gamétophyte : l'appareil végétatif.

Une méiospore à N qui germe sur un sol humide et donne naissance à un filament chlorophyllien unisériel, rampant : le protonéma. Ce filament se ramifie et émet des rhizoïdes. Sur ces filaments naissent des cellules renflées qui après s'être divisées, donnent les tiges feuillées de la *Funaria* : c'est le gamétophyte. Le protonéma disparaît et laisse un ensemble de gamétophytes groupés. Chaque pied présente la seconde partie de l'appareil végétatif. Celle-ci est représentée par une tige parfois ramifiée au sommet, portant des petites feuilles à la base et des rhizoïdes unisériels. La tige possède une anatomie simple : un épiderme, une couche d'une assise ou deux de cellules de soutien (les stéréides), une zone corticale parenchymateuse. La zone interne est composée de cellules de fine section jouant un rôle dans la conduction de l'eau. Les feuilles de petites tailles (les microphylls) sont formées d'un limbe d'une seule assise de cellules. La nervure centrale présente des cellules superficielles épidermiques et des cellules internes qui sont des conducteurs.

B\ L'appareil reproducteur monoïque.

1\ Les anthéridies.

Elles sont situées à l'extrémité des rameaux latéraux des gamétophytes. Elles se trouvent dans des corbeilles spécifiques, dites «à anthéridies», fermées par un ensemble de feuilles modifiées par rapport aux autres : ce sont les feuilles périgoniales. Entre les anthéridies, se développent des poils stériles : les paraphyses. Les anthéridies se développent à partir d'une cellule superficielle. Des sacs allongés sont reliés à la corbeille par un pied bisériel, à l'extrémité se trouve l'opercule. Les cellules internes se divisent par méiose et donnent des anthérozoïdes qui sont à N chromosomes.

2\ L'archégone.

Il y en a de 2 à 5 par pied. Elles sont situées à l'extrémité de la tige principale, entourées de feuilles périgoniales mais pas de paraphyses. Le développement a lieu à partir d'une cellule unique superficielle. Sa morphologie rappelle celle du *Riccia sp.*, mais le pied est plus épais et le ventre est constitué de 2 ou 3 assises de cellules.

La fécondation : A maturité, les cellules de canal du col (à l'extrémité supérieure) se gélifient. Les anthérozoïdes sont attirés par chimiotactisme et se déplacent vers l'archégone en nageant dans l'eau de pluie ou dans de la rosée, puis ils pénètrent dans le col. Un anthérozoïde fusionne avec l'oosphère et donne un zygote entouré par une membrane cellulosique.

La reproduction est une zoïdogamie tributaire du milieu (eau ou rosée nécessaire).



3\ Le sporophyte.

L'œuf grossit par mitose et donne le sporophyte (ou sporogone). Il se développe ensuite en entraînant l'archégone qui donnera naissance à la coiffe. Le sporophyte est constitué par le pied (suçoir) fixé en parasite sur le gamétophyte, la soie (long filament), la capsule (ou urne) qui est obturée par les dents du péristome et fermée par l'opercule et le tout est recouvert par la coiffe. Cette urne contient les méiospores à maturité.

4\ L'urne.

Elle se différencie à partir d'une cellule provenant des divisions de l'œuf. Ces cellules (de l'urne) s'organisent en endothécium et amphithécium (constitué par un épiderme pouvant posséder des tomites, par un parenchyme lacuneux et chlorophyllien, par 2 ou 3 assises de cellules qui forment la paroi).

5\ Les archéspores.

En se divisant, les archéspores donnent naissance à des cellules nourricières et aux cellules mères. Ces dernières subissent la réduction chromatique et donnent 4 méiospores (ou tétraspores). Lorsque ces spores sont mûres, la coiffe puis l'opercule tombent, les dents s'écartent, la soie se courbe et les spores peuvent être disséminées et donneront un protonéma quand le temps deviendra humide.

→ Comme chez *Riccia*, le gamétophyte est prédominant (le sporocyste est parasite), la fécondation est une zoïdogamie, le cycle est haplodiplophasique digénétique et l'espèce est diploïde.

Remarque : Les gamétanges qui donnent naissance à des assises cellulaires sont différents des gamétocystes des algues et des champignons qui donnent des «graines» séparées par la paroi.

Les Algues.

I\ Généralités.

Les algues sont des thallophytes. Elles se reproduisent grâce à des gamètes qui se forment dans les gamétocystes et se multiplient végétativement par des spores formées dans les sporocystes.

Les algues se caractérisent par la présence d'un noyau et de plastides, et par la reproduction sexuée.

En 1975, des chercheurs ont trouvé un procaryote : l'Olochon, qui vit en symbiose avec l'Aclidie et qui contient de la chlorophylle A et B. Il serait à l'origine de tous les végétaux supérieurs contenant ces deux types de chlorophylles.

Les algues existent dans tous les milieux humides, dans l'air. Dans les régions tropicales on les trouve même sur les murs des bâtiments. Elles peuvent être endophytes de certains protozoaires ou métazoaires. Certaines algues s'associent à des champignons et forment les lichens.

Au point de vue reproduction, on trouve trois cycles différents chez les algues : haplophasique, haplodiplophasique ou diplophasique. Elles ont des modes de fécondation divers : planogamie (gamètes flagellés), oogamie (gamète mâle mobile et femelle immobile), cystogamie (pas de gamète flagellé), trichogamie...



II\ Caractères morphologiques et cytologique des algues.

- Elles peuvent être unicellulaires, filamenteuses, ou parenchymateuses. Leur taille est très variable : de $3\mu\text{m}$ à 60m .
- Cytologie des algues : Le plastidum est appareil cinétique qui concerne les flagelles.
- Chez les algues, les plastes sont très variés et différents par leur morphologie, leur nombre, leurs dimensions, la structure et la composition chimique.
- La morphologie des plastes varie beaucoup d'un groupe à l'autre. Les algues considérées comme les moins évoluées ne contiennent qu'un plaste par cellule. Ce sont les archéons.

D'autres algues ont leurs plastes réunis en réseau par un tractus incolore : on dit que ces plastes sont mesplastidiés. Les formes les plus évoluées d'algues renferment de nombreux plastes indépendants, comme ceux des plantes supérieures qui sont dits néoplastidiés. Cette fragmentation successive des plastes entraîne une augmentation de la surface active par rapport au volume des substances plastidioles renfermées dans la cellule. Certaines formes évoluées ont une structure hétéroplastidiées. On assiste à une division du travail entre deux séries de plastes : des chloroplastes spécifiques de la photosynthèse et des leucoplastes ou amiloplastes spécifiques de l'élaboration et de l'accumulation d'amidon.

Remarque : Quel que soit leur nombre, les chloroplastes montrent un phototachisme très net offrant leur plus grande surface aux rayons lumineux suivant l'intensité de ceux-ci.

III\ Structure.

A\ L'enveloppe.

Le nombre de chloroplastes est témoin de l'origine de ces groupes. Chez les algues, on a par exemple :

- Les rhodophylles ont un chloroplaste entouré de deux membranes. En fait, ces deux membranes ont une origine différente
- Euglénophylles et dinophycées ont trois membranes autour des plastes. Pour les dinophycées, cela viendrait de trois symbioses successives et pour les euglénophylles, ce serait une cellule eucaryote qui aurait englobé une association déjà symbiotique avec des chloroplastes à deux membranes et peut-être quelques restes d'algues vertes.
- Dans le cas des organites à quatre membranes, il y aurait deux symbioses successives, une symbiose entre un ancêtre eucaryote et une cyanobactérie. Ce qui donnerait l'archétype d'une algue rouge qui ensuite aurait subi une symbiose avec un eucaryote flagellé incolore.

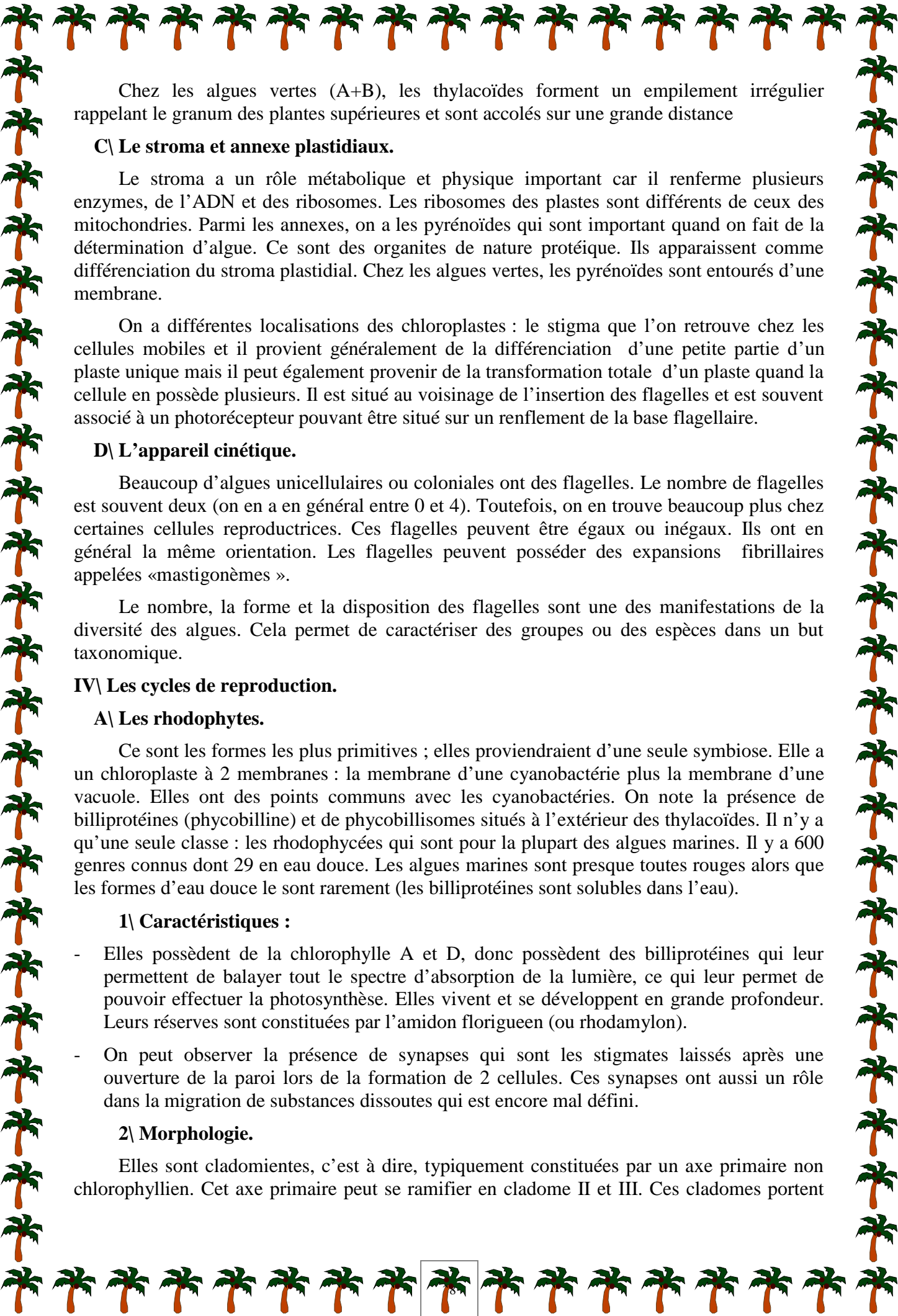
En microscopie électronique, on a mis en évidence l'existence d'un organisme nucléomorphe (vestige de noyau).

B\ Les chloroplastes.

Ce sont les plastes chlorophylliens des algues. Ils possèdent une structure lamellaire due aux thylacoïdes qui sont des sacs membraneux aplatis, au niveau desquels sont localisés les pigments des cyanobactéries. Ils ne sont pas entourés de membrane dans le cytoplasme.

Chez les algues rouges, les thylacoïdes sont séparés les uns des autres. Les phycobilisomes sont à l'extérieur des thylacoïdes comme chez les cyanobactéries.

Chez les algues brunes (les phéophytes) diatomées et les chrysophycées, les thylacoïdes sont groupés par trois et accolés sur une grande surface. Chez les cryptophycées, les thylacoïdes sont groupés par paires.



Chez les algues vertes (A+B), les thylacoïdes forment un empilement irrégulier rappelant le granum des plantes supérieures et sont accolés sur une grande distance

C\ Le stroma et annexe plastidiaux.

Le stroma a un rôle métabolique et physique important car il renferme plusieurs enzymes, de l'ADN et des ribosomes. Les ribosomes des plastes sont différents de ceux des mitochondries. Parmi les annexes, on a les pyrénoides qui sont important quand on fait de la détermination d'algue. Ce sont des organites de nature protéique. Ils apparaissent comme différenciation du stroma plastidial. Chez les algues vertes, les pyrénoides sont entourés d'une membrane.

On a différentes localisations des chloroplastes : le stigma que l'on retrouve chez les cellules mobiles et il provient généralement de la différenciation d'une petite partie d'un plaste unique mais il peut également provenir de la transformation totale d'un plaste quand la cellule en possède plusieurs. Il est situé au voisinage de l'insertion des flagelles et est souvent associé à un photorécepteur pouvant être situé sur un renflement de la base flagellaire.

D\ L'appareil cinétique.

Beaucoup d'algues unicellulaires ou coloniales ont des flagelles. Le nombre de flagelles est souvent deux (on en a en général entre 0 et 4). Toutefois, on en trouve beaucoup plus chez certaines cellules reproductrices. Ces flagelles peuvent être égaux ou inégaux. Ils ont en général la même orientation. Les flagelles peuvent posséder des expansions fibrillaires appelées «mastigonèmes».

Le nombre, la forme et la disposition des flagelles sont une des manifestations de la diversité des algues. Cela permet de caractériser des groupes ou des espèces dans un but taxonomique.

IV\ Les cycles de reproduction.

A\ Les rhodophytes.

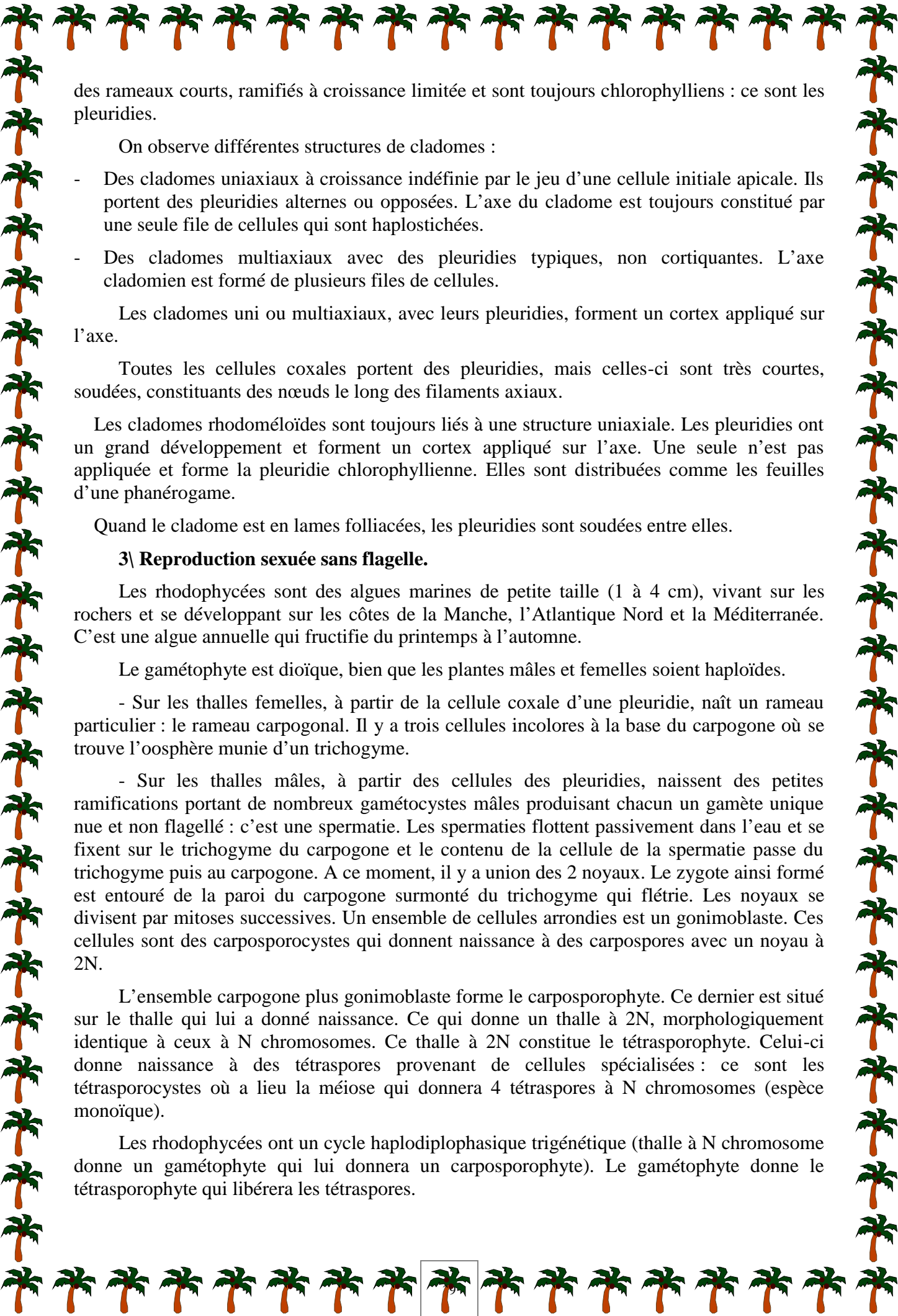
Ce sont les formes les plus primitives ; elles proviendraient d'une seule symbiose. Elle a un chloroplaste à 2 membranes : la membrane d'une cyanobactérie plus la membrane d'une vacuole. Elles ont des points communs avec les cyanobactéries. On note la présence de billiprotéines (phycobilline) et de phycobillisomes situés à l'extérieur des thylacoïdes. Il n'y a qu'une seule classe : les rhodophycées qui sont pour la plupart des algues marines. Il y a 600 genres connus dont 29 en eau douce. Les algues marines sont presque toutes rouges alors que les formes d'eau douce le sont rarement (les billiprotéines sont solubles dans l'eau).

1\ Caractéristiques :

- Elles possèdent de la chlorophylle A et D, donc possèdent des billiprotéines qui leur permettent de balayer tout le spectre d'absorption de la lumière, ce qui leur permet de pouvoir effectuer la photosynthèse. Elles vivent et se développent en grande profondeur. Leurs réserves sont constituées par l'amidon floriguen (ou rhodamylon).
- On peut observer la présence de synapses qui sont les stigmates laissés après une ouverture de la paroi lors de la formation de 2 cellules. Ces synapses ont aussi un rôle dans la migration de substances dissoutes qui est encore mal défini.

2\ Morphologie.

Elles sont cladomientes, c'est à dire, typiquement constituées par un axe primaire non chlorophyllien. Cet axe primaire peut se ramifier en cladome II et III. Ces cladomes portent



des rameaux courts, ramifiés à croissance limitée et sont toujours chlorophylliens : ce sont les pleuridies.

On observe différentes structures de cladomes :

- Des cladomes uniaxiaux à croissance indéfinie par le jeu d'une cellule initiale apicale. Ils portent des pleuridies alternes ou opposées. L'axe du cladome est toujours constitué par une seule file de cellules qui sont haplostichées.
- Des cladomes multiaxiaux avec des pleuridies typiques, non cortiquantes. L'axe cladomien est formé de plusieurs files de cellules.

Les cladomes uni ou multiaxiaux, avec leurs pleuridies, forment un cortex appliqué sur l'axe.

Toutes les cellules coxales portent des pleuridies, mais celles-ci sont très courtes, soudées, constituants des nœuds le long des filaments axiaux.

Les cladomes rhodoméloïdes sont toujours liés à une structure uniaxiale. Les pleuridies ont un grand développement et forment un cortex appliqué sur l'axe. Une seule n'est pas appliquée et forme la pleuridie chlorophyllienne. Elles sont distribuées comme les feuilles d'une phanérogame.

Quand le cladome est en lames foliacées, les pleuridies sont soudées entre elles.

3) Reproduction sexuée sans flagelle.

Les rhodophycées sont des algues marines de petite taille (1 à 4 cm), vivant sur les rochers et se développant sur les côtes de la Manche, l'Atlantique Nord et la Méditerranée. C'est une algue annuelle qui fructifie du printemps à l'automne.

Le gamétophyte est dioïque, bien que les plantes mâles et femelles soient haploïdes.

- Sur les thalles femelles, à partir de la cellule coxale d'une pleuridie, naît un rameau particulier : le rameau carpogonal. Il y a trois cellules incolores à la base du carpogone où se trouve l'oosphère munie d'un trichogyne.

- Sur les thalles mâles, à partir des cellules des pleuridies, naissent des petites ramifications portant de nombreux gamétocystes mâles produisant chacun un gamète unique nue et non flagellé : c'est une spermatie. Les spermaties flottent passivement dans l'eau et se fixent sur le trichogyne du carpogone et le contenu de la cellule de la spermatie passe du trichogyne puis au carpogone. A ce moment, il y a union des 2 noyaux. Le zygote ainsi formé est entouré de la paroi du carpogone surmonté du trichogyne qui flétrie. Les noyaux se divisent par mitoses successives. Un ensemble de cellules arrondies est un gonimoblaste. Ces cellules sont des carposporocystes qui donnent naissance à des carpospores avec un noyau à 2N.

L'ensemble carpogone plus gonimoblaste forme le carposporophyte. Ce dernier est situé sur le thalle qui lui a donné naissance. Ce qui donne un thalle à 2N, morphologiquement identique à ceux à N chromosomes. Ce thalle à 2N constitue le tétrasporophyte. Celui-ci donne naissance à des tétraspores provenant de cellules spécialisées : ce sont les tétrasporocystes où a lieu la méiose qui donnera 4 tétraspores à N chromosomes (espèce monoïque).

Les rhodophycées ont un cycle haplodiplophasique trigénétique (thalle à N chromosome donne un gamétophyte qui lui donnera un carposporophyte). Le gamétophyte donne le tétrasporophyte qui libérera les tétraspores.



B\ Les cormophytes

1\ Généralités.

Ce sont des algues qui possèdent les chlorophylles A et C. Ils font partie de la classe des Phéophycées. Ce sont des algues en général marines. Leur taille et leur abondance leur donne un rôle important dans la végétation marine et dans les zones de balancement des marées. De plus, ces algues abritent une faune variée de poissons, crustacés qui y trouvent une nourriture abondante (c'est la chaîne alimentaire des bords de mer).

Par exemple : - au Japon, certains bords de mer sont exploités pour l'alimentation humaine : ce sont les Kombu. – Ils sont utilisés dans l'industrie alimentaire pour l'extraction des alginates dans : les yaourts, les cosmétiques, la peinture, l'imprimerie... Ils servent d'épaississants ou de gélifiants.

Dans ce groupe, l'anatomie et les modes de reproduction sont variés. Toutefois, les phéophycées possèdent une grande homogénéité dans leurs structures cytologiques. Leurs plastes contiennent de la chlorophylle A et C, et de la fucoxanthine (pigment spécial de coloration noire). Elles sont toujours pluricellulaires. Les cellules reproductrices mâles sont toujours biflagellées (un flagelle antérieur et un postérieur). Les flagelles s'insèrent sur le côté de la cellule.

2\ Les cycles de reproduction.

On en a de 2 types : haplodiplophasique chez *Ectocarpus* et *Laminaria*, et diplophasique chez *Fucus*.

a\ *Ectocarpus siliculosus*.

Ils sont en forme de petites touffes de filaments bruns qui sont ramifiés et constitués de simples fils de cellules (ils sont rampants ou dressés). Chaque cellule renferme plusieurs plastes rubanés, où l'on trouve des pyrénoides.

On a deux types d'individus identiques morphologiquement :

- les gamétophytes à N chromosomes.
- les individus sporophytiques à 2N chromosomes.

1\ La multiplication asexuée.

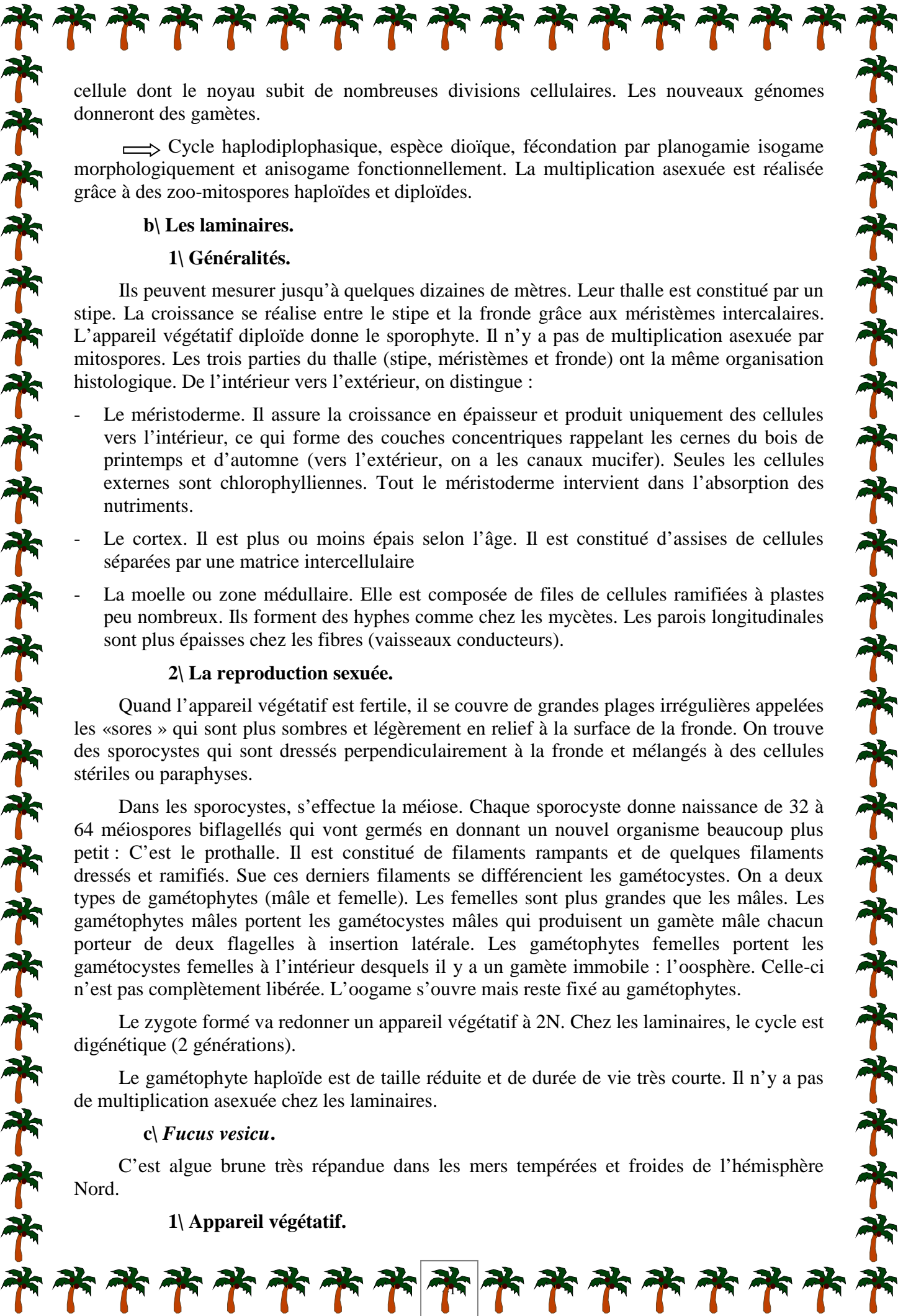
Elle se fait à partir de sporocystes pluriloculaires. Ils se forment à partir d'une cellule, qui subit de nombreuses mitoses, puis donne des petites loges qui vont donner naissance à une zoospore qui se fixera pour donner naissance à un nouveau gamétophyte. Si les zoospores sont haploïdes, ils proviennent d'un gamétophyte et s'ils sont diploïdes, ils proviennent d'un sporophyte.

2\ La reproduction sexuée.

Certaines cellules issues des sporocystes, à partir des gamétophytes (mâles ou femelles) donnent des spermatozoïdes. Certains gamètes se comportent comme des gamètes femelles attirants les gamètes mobiles mâles. C'est une reproduction de type planogamie car les gamètes mâles ont des flagelles (sont mobiles), isogame morphologiquement (même forme) mais anisogame fonctionnellement.

Les gamétophytes sont dioïques, qu'ils soient mâles ou femelles.

Le zygote formé va se développer en redonnant un sporophyte identique au gamétophyte. Dans des cas exceptionnels, le sporocyste reste sous la forme d'une grande



cellule dont le noyau subit de nombreuses divisions cellulaires. Les nouveaux génomes donneront des gamètes.

⇒ Cycle haplodiplophasique, espèce dioïque, fécondation par planogamie isogame morphologiquement et anisogame fonctionnellement. La multiplication asexuée est réalisée grâce à des zoo-mitospores haploïdes et diploïdes.

b\ Les laminaires.

1\ Généralités.

Ils peuvent mesurer jusqu'à quelques dizaines de mètres. Leur thalle est constitué par un stipe. La croissance se réalise entre le stipe et la fronde grâce aux méristèmes intercalaires. L'appareil végétatif diploïde donne le sporophyte. Il n'y a pas de multiplication asexuée par mitospores. Les trois parties du thalle (stipe, méristèmes et fronde) ont la même organisation histologique. De l'intérieur vers l'extérieur, on distingue :

- Le méristoderme. Il assure la croissance en épaisseur et produit uniquement des cellules vers l'intérieur, ce qui forme des couches concentriques rappelant les cernes du bois de printemps et d'automne (vers l'extérieur, on a les canaux mucifer). Seules les cellules externes sont chlorophylliennes. Tout le méristoderme intervient dans l'absorption des nutriments.
- Le cortex. Il est plus ou moins épais selon l'âge. Il est constitué d'assises de cellules séparées par une matrice intercellulaire
- La moelle ou zone médullaire. Elle est composée de files de cellules ramifiées à plastes peu nombreux. Ils forment des hyphes comme chez les mycètes. Les parois longitudinales sont plus épaisses chez les fibres (vaisseaux conducteurs).

2\ La reproduction sexuée.

Quand l'appareil végétatif est fertile, il se couvre de grandes plages irrégulières appelées les «sores » qui sont plus sombres et légèrement en relief à la surface de la fronde. On trouve des sporocystes qui sont dressés perpendiculairement à la fronde et mélangés à des cellules stériles ou paraphyses.

Dans les sporocystes, s'effectue la méiose. Chaque sporocyste donne naissance de 32 à 64 méiospores biflagellés qui vont germés en donnant un nouvel organisme beaucoup plus petit : C'est le prothalle. Il est constitué de filaments rampants et de quelques filaments dressés et ramifiés. Sur ces derniers filaments se différencient les gamétocystes. On a deux types de gamétophytes (mâle et femelle). Les femelles sont plus grandes que les mâles. Les gamétophytes mâles portent les gamétocystes mâles qui produisent un gamète mâle chacun porteur de deux flagelles à insertion latérale. Les gamétophytes femelles portent les gamétocystes femelles à l'intérieur desquels il y a un gamète immobile : l'oosphère. Celle-ci n'est pas complètement libérée. L'oogame s'ouvre mais reste fixé au gamétophytes.

Le zygote formé va redonner un appareil végétatif à 2N. Chez les laminaires, le cycle est digénétique (2 générations).

Le gamétophyte haploïde est de taille réduite et de durée de vie très courte. Il n'y a pas de multiplication asexuée chez les laminaires.

c\ *Fucus vesicu.*

C'est algue brune très répandue dans les mers tempérées et froides de l'hémisphère Nord.

1\ Appareil végétatif.

Il est diploïde, constitué d'un ensemble de lanières plus ou moins rubanées, ramifiées dicotomiquement dans un même plan. L'algue est fixée sur un rocher grâce à un disque adhésif et peut atteindre quelques décimètres de long. Sur la fronde, on observe une nervure médiane saillante, des vésicules pleines de gaz (des flotteurs). La croissance de la fronde se fait par une cellule initiale unique, située dans une invagination au sommet des ramifications. Comme chez les Laminaires, il n'y a pas de multiplication asexuée.

2\ La multiplication sexuée.

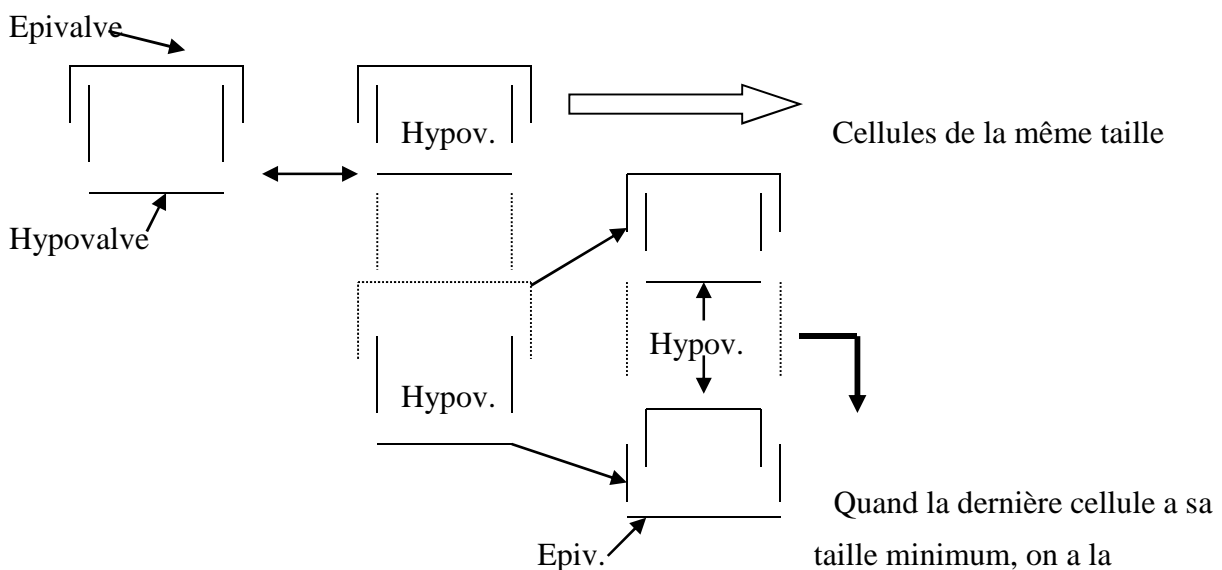
Le thalle est diploïde, c'est un sporophyte, qui porte des gamétophytes regroupés à l'intérieur de conceptacles qui sont à l'extrémité des frondes. Le fucus est une espèce dioïque (une plante mâle et une plante femelle).

- Le gamétophyte mâle. A son extrémité, il y a des poils non fertiles (les paraphyses), qui sont de petits filaments ramifiés qui portent les gamétocystes. Chaque gamétocyste subit la méiose et donnent quatre noyaux. Puis, il subit quatre mitoses qui donnent 64 spermatozoïdes biflagellés sur le côté.
- Le gamétophyte femelle. On y trouve des réceptacles mélangés à des paraphyses non ramifiés, ce qui donne un gamétocyste femelle où se réalise la méiose qui va donner quatre cellules, puis huit oosphères non flagellées. Ces dernières sont libérées dans l'eau de mer et attirent les spermatozoïdes. Là, a lieu la fécondation qui donne naissance à un zygote à $2N$ qui germera en donnant un thalle mâle ou femelle à $2N$. C'est une reproduction par oogamie. Le cycle est diplophasique et monogénétique, l'espèce est diplophasique.

d\ *Bacillarophyceae*.

C'est une diatomée avec un important rôle écologique : ils constituent la base de chaînes écologiques et ont un rôle d'auto-épurateurs dans les rivières et servent d'indicateurs de pollution.

Ces diatomées sont constituées par 2 valves (épivalves et hypoalves). Quand la cellule se divise, il apparaît entre les deux valves, des connectives (ou ceintures ou bandes) qui sont appelées des cingulum. L'épivalve génère une valve de même dimension que son ancienne hypovalve. La diatomée est comme une boîte de camembert.



Reproduction sexuée et les diatomées retrouvent leur taille initiale.



C\ Les chlorophycées.

1\ Généralités.

Ce sont des algues qui possèdent de la chlorophylle A et B.

Elles sont regroupées en quatre classes :

- Les chlorophyceae
- Les Prasinophyceae
- Les Zygothryxales
- Les Charophyceae

On trouve, dans ces quatre classes, tous types d'algues : unicellulaires, flagellées, filamenteuses, ramifiées, en siphon (pas de cellules déterminées mais avec un grand nombre de noyaux)... Dans la sous-classe des chlorophycidées, on trouve par exemple l'ordre des volvocales, et comme type de chlorophycées flagellées, on a le genre *Chlamydomonas*.

2\ Cycle de *Chlamydomonas isogame*.

C'est une espèce dioïque. Les cellules normales peuvent donner des sporocystes qui donneront des sporocystes qui redonneront des *Chlamydomonas*.

Le gamétocyste : il est obtenu grâce à une réunification des parties antérieures (là où sont les flagelles). Il donne un pré-zygote à quatre flagelles (pendant peu de temps). Ce planogamète perd ses flagelles et donne un zygote avec une membrane épaisse, qui peut servir de forme de résistance. Dans le zygote, il y a la réduction chromatique qui donne les méiospores qui redonneront un nouveau *Chlamydomonas*. Cette espèce a un cycle monogénétique.

3\ Cycle de reproduction de l'Ulve (*Ulva lactuca*).

L'Ulve fait partie de l'Ordre des **Ulvales** et de la sous-classe des **Ulotrichophycidées**. Le thalle est en forme de lame avec deux couches cellulaires. Il se reproduit à grande vitesse à cause de l'eutrophisation des côtes (les eaux marines sont trop riches en phosphore). Ces algues sont bien étudiées pour de multiples raisons :

- Elles n'ont pas de multiplication asexuée.
- Leur reproduction sexuée est celle d'une espèce dioïque.

Les deux types de gamétophytes sont identiques morphologiquement. Les cellules qui bordent ces thalles deviennent des gamétocystes et libèrent des gamètes biflagellés (de 16 à 32 gamètes pour le mâle et de 8 à 16 pour la femelle). Les gamètes femelles sont aussi biflagellés mais bien plus grosses.

La copulation donne un œuf planozygote à quatre flagelles. Il se fixe et donne un thalle diploïde, morphologiquement identique aux thalles haploïdes des deux sexes. Les cellules en bordure de ce thalle diploïde (ou sporophyte) donnent des sporocystes à l'intérieur desquels il y a réduction chromatique et formation de quatre méiospores quadri flagellées. Ceux-ci se fixent et redonnent des thalles haploïdes. Dans chaque sporocyste, on a deux méiospores mâles et deux femelles.

⇒ Cycle haplodiplophasique, digénétique (à deux générations). Comme il a des thalles mâles et femelles, individus dioïques et planogamie anisogame car les gamètes mâles et femelles se différencient par leur taille.



4\ Cycle d'Oedogonium.

Il fait toujours parti des chlorophycées mais de la sous-classe des Oedoniophycidées.

Cette sous-classe se caractérise par des genres coloniaux qui forment des filaments. Ces filaments se caractérisent par une croissance intercalaire : seules certaines cellules se divisent. Celles qui ont subi la division portent une calotte marquée par des cicatrices (on a la formation d'un bourrelet). Les espèces de Gedogonium sont monoïques ou dioïques.

Pour reconnaître une espèce, il faut observer le zygote. Les zygotes portent différentes ornementsations.

Dans le cas des monoïques, le sporocyste va former une zoospore (ou androspore) qui va s'insérer dans la cellule se trouvant sous l'oosphère puis va former un mâle nain qui, lui, ira féconder l'oosphère.

5\ Cycle des zygophycées. Cas du Zygnéma.

Ce sont des algues filamenteuses ou unicellulaires. Leur caractère commun est la façon dont se déroule la reproduction sexuée.

Le zygnéma est une espèce dioïque. La reproduction a lieu quand les conditions du milieu deviennent défavorables. Les filaments se mettent en parallèle les uns aux autres. Une cellule prend le rôle de cellule mâle et fait migrer tout son cytoplasme vers la cellule contiguë (réceptrice ou femelle). Il y a fécondation et formation d'un zygote par une cystogamie anisogame. Quand une cellule commence à subir ce phénomène, toutes les autres font de même : c'est une conjugaison scalariforme. Il n'y a pas de gamètes flagellés. L'œuf s'entoure d'une membrane épaisse, différemment ornée selon les espèces, puis se laisse tomber au fond du milieu de vie. Quand les conditions redeviennent favorables, il germe, subit la méiose et donne quatre noyaux haploïdes dont trois qui dégèrent. Le noyau subsistant va donner un nouveau thalle haploïde.

Remarque : Pour la cystogamie isogame, le contenu des deux cellules migre dans un canal copulateur où le zygote se forme.

6\ Les pyrophycées.

Elles ont deux parties séparées par sillon longitudinal où se trouve un flagelle. Un autre flagelle se trouve dans un autre sillon partant du centre.

Sexualité et compatibilité.

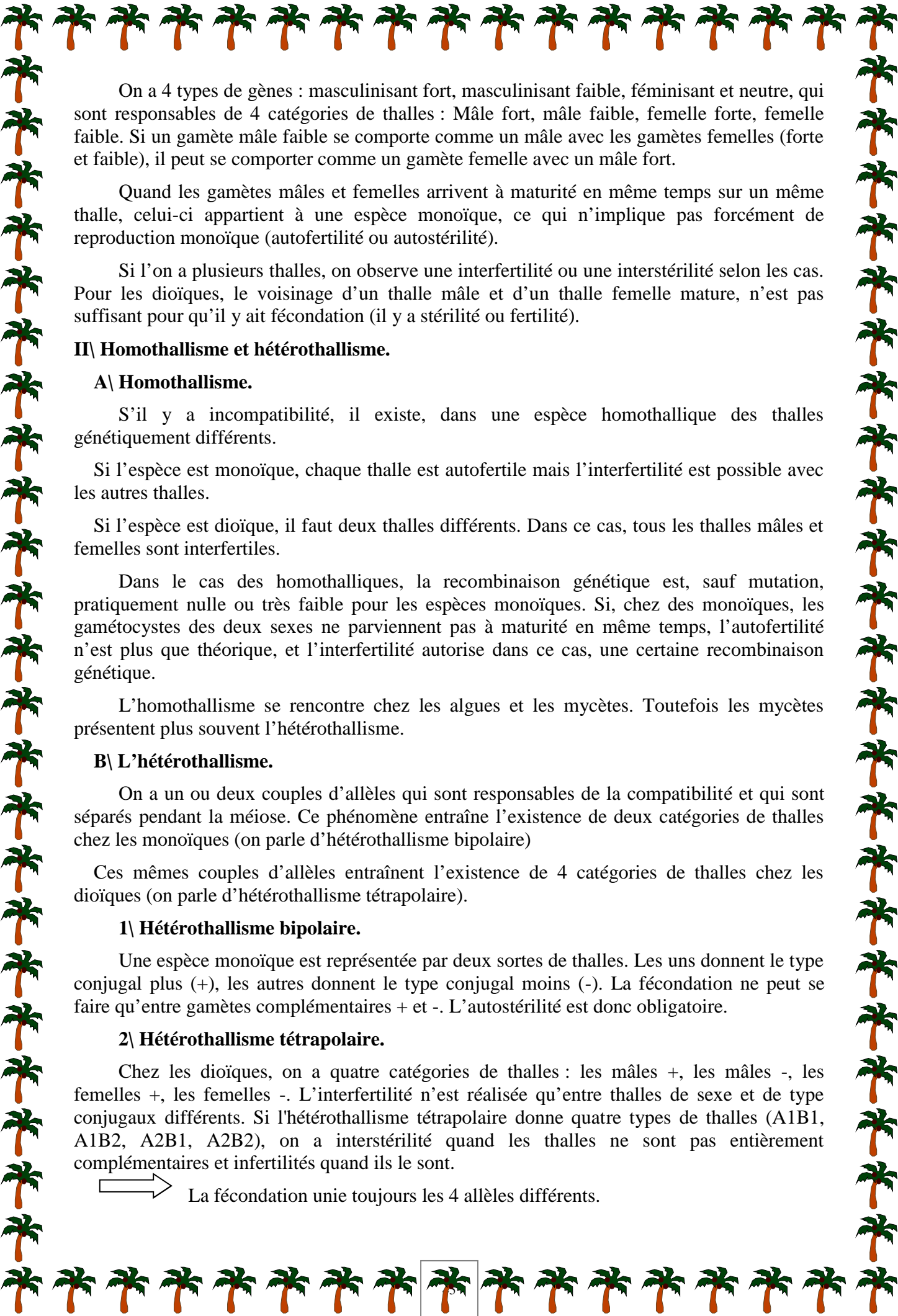
Si la reproduction sexuée suppose la formation de gamètes des deux sexes, elle exige en outre la compatibilité : les gamètes mâles et femelles doivent avoir le pouvoir de s'unir.

1\ La différenciation sexuelle.

Elle est génotypique ; si à la méiose, une ségrégation est responsable de la formation en nombre égal de deux catégories de méiospores, on a alors 50% de mâles et 50% de femelles.

A contrario, s'il n'y a pas de ségrégation sexuelle méiotique, la manifestation de la sexualité sera beaucoup plus tardive et seulement d'ordre phénotypique. Cette différenciation s'établit sous l'influence de facteurs internes et externes. Ces deux possibilités se rencontrent chez les algues et chez les mycètes.

Cette présentation du déterminisme de la sexualité est simplifiée car il ne tient pas compte du phénomène de sexualité relative.



On a 4 types de gènes : masculinisant fort, masculinisant faible, féminisant et neutre, qui sont responsables de 4 catégories de thalles : Mâle fort, mâle faible, femelle forte, femelle faible. Si un gamète mâle faible se comporte comme un mâle avec les gamètes femelles (forte et faible), il peut se comporter comme un gamète femelle avec un mâle fort.

Quand les gamètes mâles et femelles arrivent à maturité en même temps sur un même thalle, celui-ci appartient à une espèce monoïque, ce qui n'implique pas forcément de reproduction monoïque (autofertilité ou autostérilité).

Si l'on a plusieurs thalles, on observe une interfertilité ou une interstérilité selon les cas. Pour les dioïques, le voisinage d'un thalle mâle et d'un thalle femelle mature, n'est pas suffisant pour qu'il y ait fécondation (il y a stérilité ou fertilité).

II\ Homothallisme et hétérothallisme.

A\ Homothallisme.

S'il y a incompatibilité, il existe, dans une espèce homothallique des thalles génétiquement différents.

Si l'espèce est monoïque, chaque thalle est autofertile mais l'interfertilité est possible avec les autres thalles.

Si l'espèce est dioïque, il faut deux thalles différents. Dans ce cas, tous les thalles mâles et femelles sont interfertiles.

Dans le cas des homothalliques, la recombinaison génétique est, sauf mutation, pratiquement nulle ou très faible pour les espèces monoïques. Si, chez des monoïques, les gamétocystes des deux sexes ne parviennent pas à maturité en même temps, l'autofertilité n'est plus que théorique, et l'interfertilité autorise dans ce cas, une certaine recombinaison génétique.

L'homothallisme se rencontre chez les algues et les mycètes. Toutefois les mycètes présentent plus souvent l'hétérothallisme.

B\ L'hétérothallisme.

On a un ou deux couples d'allèles qui sont responsables de la compatibilité et qui sont séparés pendant la méiose. Ce phénomène entraîne l'existence de deux catégories de thalles chez les monoïques (on parle d'hétérothallisme bipolaire)

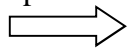
Ces mêmes couples d'allèles entraînent l'existence de 4 catégories de thalles chez les dioïques (on parle d'hétérothallisme tétrapolaire).

1\ Hétérothallisme bipolaire.

Une espèce monoïque est représentée par deux sortes de thalles. Les uns donnent le type conjugal plus (+), les autres donnent le type conjugal moins (-). La fécondation ne peut se faire qu'entre gamètes complémentaires + et -. L'autostérilité est donc obligatoire.

2\ Hétérothallisme tétrapolaire.

Chez les dioïques, on a quatre catégories de thalles : les mâles +, les mâles -, les femelles +, les femelles -. L'interfertilité n'est réalisée qu'entre thalles de sexe et de type conjugués différents. Si l'hétérothallisme tétrapolaire donne quatre types de thalles (A1B1, A1B2, A2B1, A2B2), on a interstérilité quand les thalles ne sont pas entièrement complémentaires et infertilités quand ils le sont.



La fécondation unie toujours les 4 allèles différents.



LES BACTERIES.

On a deux grands groupes, les archéobactéries et les eubactéries.

La classification est basée sur des caractères génotypiques, sur la filiation évolutive (techniques de séquençage, types de parois, ...). Par exemple, la paroi des archéobactéries ne renferme pas d'acide muramique qui est le composant typique des peptidoglycanes. Les lipides membranaires présentent des chaînes aliphatiques ramifiées, alors que chez les eubactéries, ces mêmes chaînes ne le sont pas. De plus, les archéobactéries possèdent des gènes discontinus.

I\ Les eubactéries.

A\ Morphologie des eubactéries.

Elles sont en général unicellulaires mais on les trouve parfois sous forme de colonies plus ou moins structurées. Les cellules sont soit sphériques : coccoïdes, soit en bâtonnets : Bacillus.

L'enveloppe : c'est la membrane la plus interne, elle est cytoplasmique, rarement en contact avec le milieu externe dont elle est séparée par la paroi. Chez certaines espèces, la membrane cytoplasmique peut s'invaginer pour donner un empilement de membrane interne : le mésosome. Cela se retrouve particulièrement chez les bactéries photosynthétiques ou, chez les bactéries ayant des échanges gazeux importants.

La coloration de Gram permet de séparer les eubactéries en deux groupes : les g+ et les g-. Cette coloration est révélatrice d'une différence de structure de la paroi.

- Chez les g+, la membrane cytoplasmique est recouverte d'une zone épaisse de peptidoglycane qui enferme la cellule dans une coque relativement rigide et épaisse. Cette gangue est responsable de la forme cellulaire et est chargée de constituants secondaires comme l'acide teïchoïque.

- Chez les g-, la couche de peptidoglycanes est faible et est recouverte d'une seconde membrane externe de composition spéciale renfermant des LippoPolySaccharides (LPS). Entre la membrane interne et la membrane externe, se situe un espace étroit appelé le Périplasma où se situe le peptidoglycane.

Les bactéries s'entourent souvent d'une enveloppe supplémentaire plus ou moins structurée, parfois épaisse, appelée le Glycocalyx.

B\ Le génome.

Dans une bactérie, il est représenté par un double brin d'ADN circulaire. Le génome est parfois complété par des anneaux d'ADN supplémentaires plus petits : ce sont les plasmides. Ils offrent au monde bactérien des possibilités extraordinaires d'adaptation car ils sont souvent transmissibles d'une cellule à l'autre. Les bactéries échangent entre elles des portions de séquences d'ADN ou de plasmides qui peuvent s'intégrer complètement dans le génome de la bactérie receveuse.

C\ Les cils et les flagelles.

Ils sont comparables aux flagelles des cellules mobiles des algues. Ils sont constitués par un petit nombre de fibrilles et s'insèrent au niveau du plasmalemme sur un blépharoblaste. La protéine constituant ces flagelles est élastique et contractile comme la myosine des muscles.



D\ La multiplication asexuée.

Les bactéries se divisent par scissiparité. La division cellulaire peut-être rapide (de 20 à 30 minutes), à partir d'une cellule, on peut en obtenir jusqu'à 10^9 en 24 heures. C'est un phénomène de parasexualité. Chez certaines bactéries, il existe des processus parasexuels aboutissant à des recombinaisons génétiques voisines de celles résultant de la reproduction sexuée des eucaryotes.

On connaît trois processus : transformation, transduction, conjugaison qui a des caractéristiques générales qui permettent de les distinguer de la reproduction sexuée des eucaryotes.

Chez ces derniers, la contribution des deux gamètes pour constituer le matériel génétique du zygote est symétrique. Un zygote diploïde redevient haploïde à la suite d'une méiose. Dans les processus parasexuels, il n'y a pas de gamètes, mais deux cellules à rôle opposé : un parent donneur qui introduit dans l'autre parent (receveur ou accepteur), une partie de son matériel génétique et donne un mérozygote qui contient la totalité du matériel génétique de l'accepteur. Ce matériel génétique est appelé endogénote.

De plus, un ou plusieurs fragments d'ADN du donneur (exogénote) rentre dans ce nouveau matériel génétique mais les exogénotes sont incapables de se multiplier et finissent par disparaître. De temps en temps, l'exogénote peut s'insérer avec la région homologue de l'ADN du receveur. Par la suite, des descendances du mérozygote vont apparaître et donneront des bactéries à matériel génétique recombiné. Toutefois, la majeure partie du génome provient du receveur.

1\ La transformation.

Exemple avec *Streptococcus pneumoniae* : Un échange génétique peut se produire, quand, dans un milieu de culture où se développe une population bactérienne avec un génotype donné, on introduit de l'ADN correspondant à un génotype différent. La transformation ne peut se produire que si les bactéries sont dans un état «compétent ».

Dans le cas de l'agent de la pneumonie (g+), l'état de compétence est conféré par un facteur de compétence (une protéine soluble de faible poids moléculaire, produite et excrétée par les bactéries dans le milieu de culture) qui est absorbé sur certains sites de la surface cellulaire. Ce facteur induit une cascade de réactions permettant l'entrée dans la cellule de l'ADN transformant.

Si l'ADN est originaire d'un organisme différent mais s'il présente suffisamment d'homologies avec celui de l'endogénote, il est intégré à ce dernier sous forme de courtes séquences. La bactérie réceptrice, en intégrant une partie de l'information génétique de l'ADN donneur, acquière donc, une ou plusieurs caractéristiques du donneur.

2\ La transduction.

Ce mécanisme de recombinaison génétique s'opère par l'intermédiaire d'un bactériophage. Il y a infection d'une bactérie par un virus (virion), qui se multiplie à l'intérieur et qui provoque sa destruction. Pendant cette multiplication, ce virus peut intégrer à son ADN une partie du génome de la cellule infectée. Au cours de l'infection d'une nouvelle bactérie, le virion introduit dans celle-ci, une séquence du génome de la cellule infectée précédemment. Ces virions sont appelés : « vecteur de transduction ».

3\ La conjugaison (sur *Escherichia coli*).

Une véritable différenciation de type sexuel existe. Deux bactéries entrent en contact par un pont cytoplasmique. La bactérie mâle est plus petite que la bactérie femelle (réceptrice). La bactérie mâle injecte un brin d'ADN représenté par un plasmide ou un chromosome.

Un trait dominant du monde bactérien est une grande variété et un important métabolisme. Les bactéries peuvent fixer l'azote atmosphérique.

Exemple : Des bactéries sont à l'origine du gaz naturel et de la houille. Elles ont donc un rôle fondamental. Sur l'Homme, elles peuvent avoir un rôle bénéfique ou pathogène.

Les bactéries peuvent être :

- aérobies strictes.
- aérobies facultatives (elles vivent avec ou sans oxygène).
- anaérobies strictes (elles vivent sans oxygène).
- anaérobies qui supportent la présence d 'oxygène en faibles concentrations.

Les bactéries anaérobies sont les plus anciennes. Certaines bactéries, comme les végétaux, sont capables d'utiliser les radiations lumineuses comme source d'énergie. Ce sont des phototrophes, mais leurs pigments sont différents de ceux des végétaux. En général, la photosynthèse a lieu en milieu, à peu près, anaérobie.

Les bactéries qui effectuent toutes leurs synthèses à partir du CO₂ comme seule source de carbone sont dites «photoautotrophes ».

D'autres bactéries vivent au dépend des composés organiques tout en continuant à utiliser l'énergie lumineuse. Ce sont les «photohétérotrophes ».

Des bactéries vertes utilisent le CO₂ comme source de carbone et H₂S comme source de pouvoir réducteur. Ces bactéries sont dites : « chimio-litho-hétérotrophes ».

→ Les bactéries peuvent vivre partout.

Remarque : Les pigments permettant la photosynthèse sont les bactériophylles et les caroténoïdes.

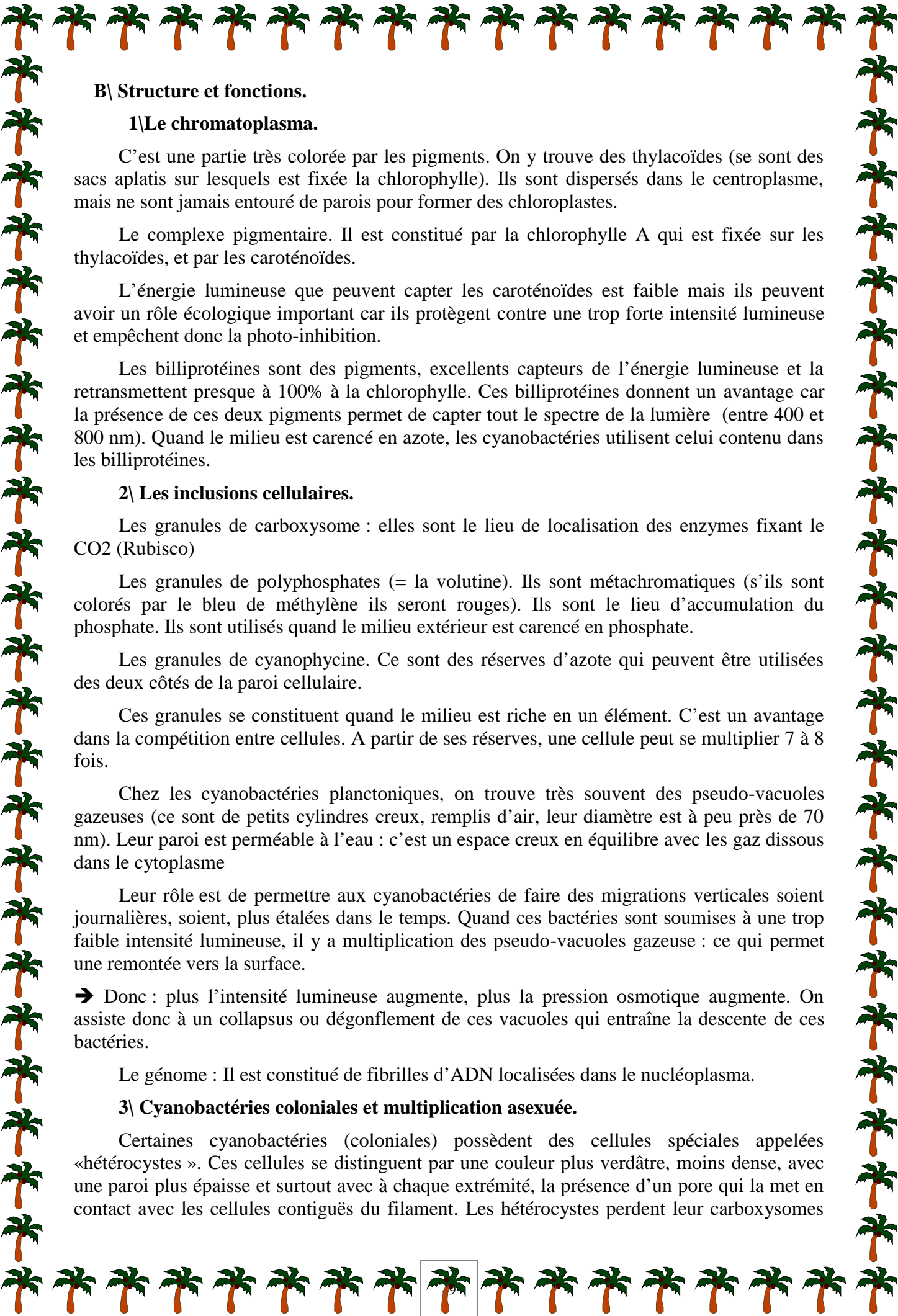
II\ Les cyanobactéries.

C'est le deuxième grand groupe des procaryotes. On les appelle aussi cyanophycées ou blue-green algae.

A\ Généralités.

Les cyanobactéries n'ont pas de recombinaison génétique. Au niveau des pigments, on note la présence de chlorophylle A, ainsi que d'autres pigments : les billiprotéines qui sont solubles dans l'eau (exemple : la Phycoérythrine qui est rouge et la phycocyanine qui est bleue).

Au microscope, la cellule bactérienne apparaît souvent homogène car elle n'a pas de plastes individualisés. Toutefois, on arrive à distinguer une zone périphérique : le chromatoplasme, et une partie centrale : le centroplasme ou nucléoplasme. La cellule est entourée d'une paroi épaisse. Celle-ci est similaire à la paroi des gram-. Dans un certain nombre de genres, on note la présence d'une gaine. Celle-ci peut avoir une structure lamellaire très épaisse. Les cellules sont dans une sorte de gelée.



B\ Structure et fonctions.

1\Le chromatoplasma.

C'est une partie très colorée par les pigments. On y trouve des thylacoïdes (se sont des sacs aplatis sur lesquels est fixée la chlorophylle). Ils sont dispersés dans le centroplasma, mais ne sont jamais entouré de parois pour former des chloroplastes.

Le complexe pigmentaire. Il est constitué par la chlorophylle A qui est fixée sur les thylacoïdes, et par les caroténoïdes.

L'énergie lumineuse que peuvent capter les caroténoïdes est faible mais ils peuvent avoir un rôle écologique important car ils protègent contre une trop forte intensité lumineuse et empêchent donc la photo-inhibition.

Les billiprotéines sont des pigments, excellents capteurs de l'énergie lumineuse et la retransmettent presque à 100% à la chlorophylle. Ces billiprotéines donnent un avantage car la présence de ces deux pigments permet de capter tout le spectre de la lumière (entre 400 et 800 nm). Quand le milieu est carencé en azote, les cyanobactéries utilisent celui contenu dans les billiprotéines.

2\ Les inclusions cellulaires.

Les granules de carboxysome : elles sont le lieu de localisation des enzymes fixant le CO₂ (Rubisco)

Les granules de polyphosphates (= la volutine). Ils sont métachromatiques (s'ils sont colorés par le bleu de méthylène ils seront rouges). Ils sont le lieu d'accumulation du phosphate. Ils sont utilisés quand le milieu extérieur est carencé en phosphate.

Les granules de cyanophycine. Ce sont des réserves d'azote qui peuvent être utilisées des deux côtés de la paroi cellulaire.

Ces granules se constituent quand le milieu est riche en un élément. C'est un avantage dans la compétition entre cellules. A partir de ses réserves, une cellule peut se multiplier 7 à 8 fois.

Chez les cyanobactéries planctoniques, on trouve très souvent des pseudo-vacuoles gazeuses (ce sont de petits cylindres creux, remplis d'air, leur diamètre est à peu près de 70 nm). Leur paroi est perméable à l'eau : c'est un espace creux en équilibre avec les gaz dissous dans le cytoplasme

Leur rôle est de permettre aux cyanobactéries de faire des migrations verticales soient journalières, soient, plus étalées dans le temps. Quand ces bactéries sont soumises à une trop faible intensité lumineuse, il y a multiplication des pseudo-vacuoles gazeuse : ce qui permet une remontée vers la surface.

→ Donc : plus l'intensité lumineuse augmente, plus la pression osmotique augmente. On assiste donc à un collapsus ou dégonflement de ces vacuoles qui entraîne la descente de ces bactéries.

Le génome : Il est constitué de fibrilles d'ADN localisées dans le nucléoplasma.

3\ Cyanobactéries coloniales et multiplication asexuée.

Certaines cyanobactéries (coloniales) possèdent des cellules spéciales appelées «hétérocystes ». Ces cellules se distinguent par une couleur plus verdâtre, moins dense, avec une paroi plus épaisse et surtout avec à chaque extrémité, la présence d'un pore qui la met en contact avec les cellules contiguës du filament. Les hétérocystes perdent leur carboxysomes

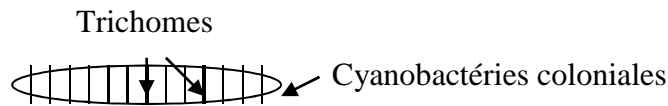
(et l'enzyme Rubisco [Ribulose 1,5 diphosphate carboxylase] qui fixe le CO₂), et ne peuvent donc plus effectuer la photosynthèse, et ne peuvent en conséquence, plus rejeter d'oxygène.

Les hétérocystes sont considérés comme les cellules les plus aptes à fixer l'azote atmosphérique. Tout autour des hétérocystes, il n'y a pas d'oxygène, c'est ce qui permet un meilleur fonctionnement de la nitrogénase (c'est l'enzyme qui fixe l'azote).

En milieu anaérobie, toutes les cellules fixent l'azote atmosphérique. Les hétérocystes ont la faculté de produire des askinètes. Ce sont des spores de résistances : c'est une cellule normale qui grandit, se remplit de matière organique et se protège avec une épaisse membrane, puis se laisse tomber au fond du milieu, puis remontera plus tard pour recoloniser le milieu.

Remarque : il existe de vrais et de fausses ramifications chez les cyanobactéries.

La multiplication asexuée : certaines formes de cyanobactéries forment des endospores ou nannocystes, d'autres forment des exospores. Beaucoup de cyanobactéries se multiplient grâce à des spores pluricellulaires qui sont appelés hormospores.



Ecologie des cyanobactéries :

Elles sont rencontrées dans tous les milieux. Dans certains cas, elles ont un rôle utile, par exemple, dans certains cours d'eau, elles fixent l'azote et servent ainsi d'engrais naturel. Elles peuvent aussi avoir des effets négatifs : elles peuvent sécréter des toxines qui seront toxiques pour les autres habitants du milieu. Elles peuvent aussi être néfastes par leur nombre.

HISTOLOGIE

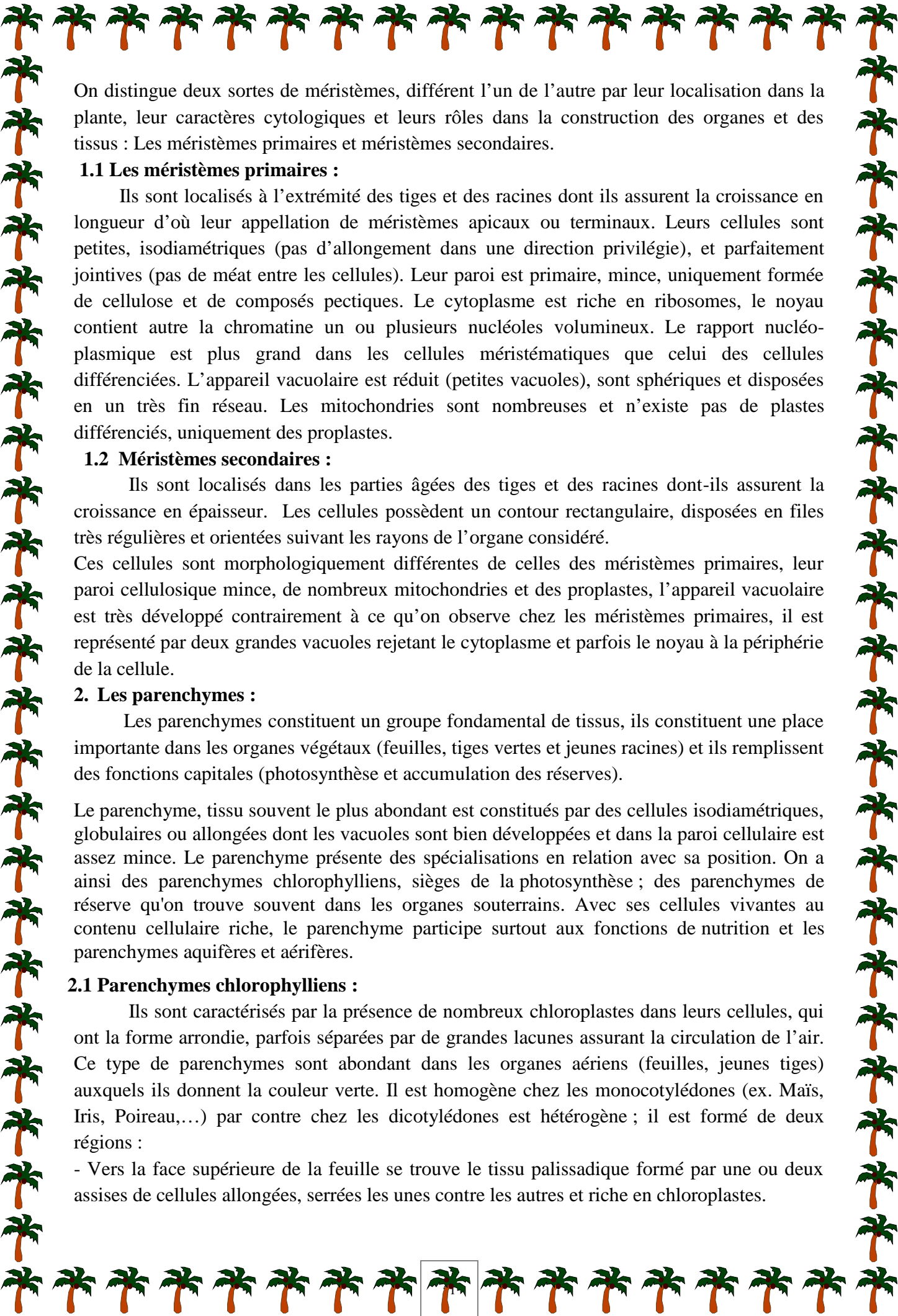
Dans les organes végétaux supérieurs, les cellules ayant la même organisation et même fonction sont groupées en ensembles appelés Tissus. Chez les végétaux supérieurs (tissus vasculaires ; pourvus de tissus conducteurs très différenciés) on distingue les tissus suivants :

- Tissus de nutrition ou de réserves organes
 - Tissus de protection
 - Tissus de conduction
 - Tissus de soutien
 - Tissus de sécrétion
- } Tissus principaux, présents dans tous les
des végétaux supérieurs

Les tissus adultes proviennent de tissus indifférenciés (les méristèmes), la transformation morphologique et physiologique des cellules méristématiques en tissus adultes différenciés constitue le processus de différenciation cellulaire.

1. Les méristèmes :

Les tissus adultes ou tissus différenciés sont construits à partir de cellules formées par des tissus végétaux indifférenciés appelés Méristèmes dont les cellules se multiplient activement.



On distingue deux sortes de méristèmes, différent l'un de l'autre par leur localisation dans la plante, leur caractères cytologiques et leurs rôles dans la construction des organes et des tissus : Les méristèmes primaires et méristèmes secondaires.

1.1 Les méristèmes primaires :

Ils sont localisés à l'extrémité des tiges et des racines dont ils assurent la croissance en longueur d'où leur appellation de méristèmes apicaux ou terminaux. Leurs cellules sont petites, isodiamétriques (pas d'allongement dans une direction privilégiée), et parfaitement jointives (pas de méat entre les cellules). Leur paroi est primaire, mince, uniquement formée de cellulose et de composés pectiques. Le cytoplasme est riche en ribosomes, le noyau contient autre la chromatine un ou plusieurs nucléoles volumineux. Le rapport nucléoplasmique est plus grand dans les cellules méristématiques que celui des cellules différenciées. L'appareil vacuolaire est réduit (petites vacuoles), sont sphériques et disposées en un très fin réseau. Les mitochondries sont nombreuses et n'existe pas de plastes différenciés, uniquement des proplast.

1.2 Méristèmes secondaires :

Ils sont localisés dans les parties âgées des tiges et des racines dont-ils assurent la croissance en épaisseur. Les cellules possèdent un contour rectangulaire, disposées en files très régulières et orientées suivant les rayons de l'organe considéré.

Ces cellules sont morphologiquement différentes de celles des méristèmes primaires, leur paroi cellulosique mince, de nombreux mitochondries et des proplast, l'appareil vacuolaire est très développé contrairement à ce qu'on observe chez les méristèmes primaires, il est représenté par deux grandes vacuoles rejetant le cytoplasme et parfois le noyau à la périphérie de la cellule.

2. Les parenchymes :

Les parenchymes constituent un groupe fondamental de tissus, ils constituent une place importante dans les organes végétaux (feuilles, tiges vertes et jeunes racines) et ils remplissent des fonctions capitales (photosynthèse et accumulation des réserves).

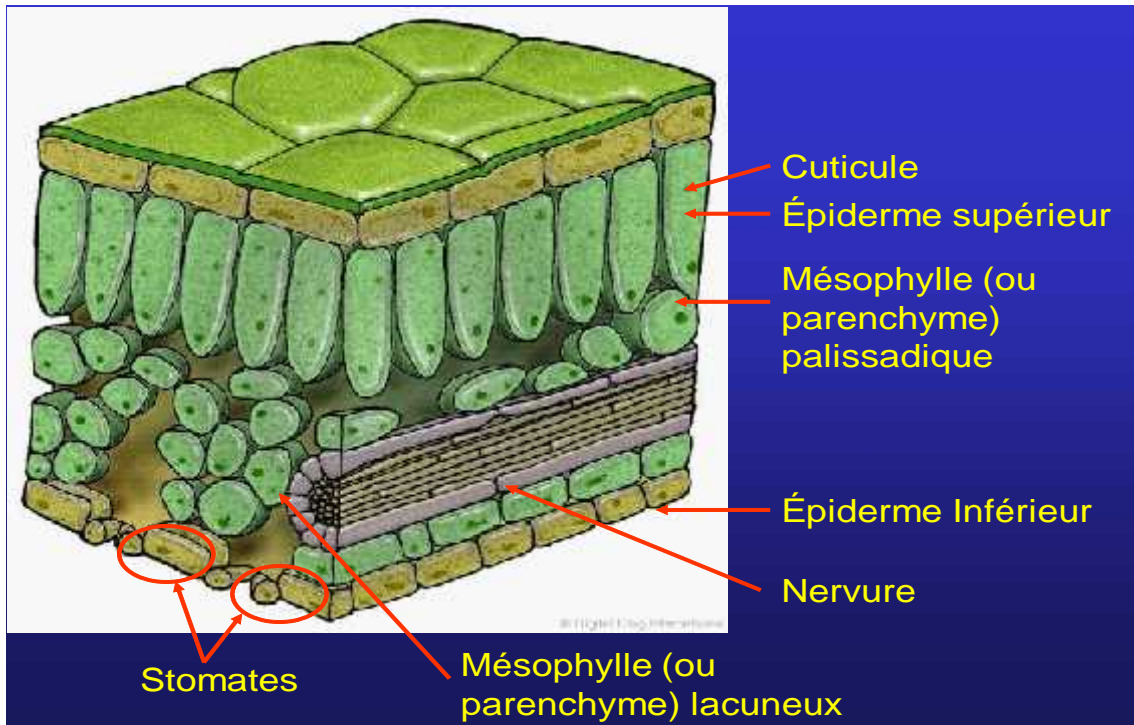
Le parenchyme, tissu souvent le plus abondant est constitués par des cellules isodiamétriques, globulaires ou allongées dont les vacuoles sont bien développées et dans la paroi cellulaire est assez mince. Le parenchyme présente des spécialisations en relation avec sa position. On a ainsi des parenchymes chlorophylliens, sièges de la photosynthèse ; des parenchymes de réserve qu'on trouve souvent dans les organes souterrains. Avec ses cellules vivantes au contenu cellulaire riche, le parenchyme participe surtout aux fonctions de nutrition et les parenchymes aquifères et aérifères.

2.1 Parenchymes chlorophylliens :

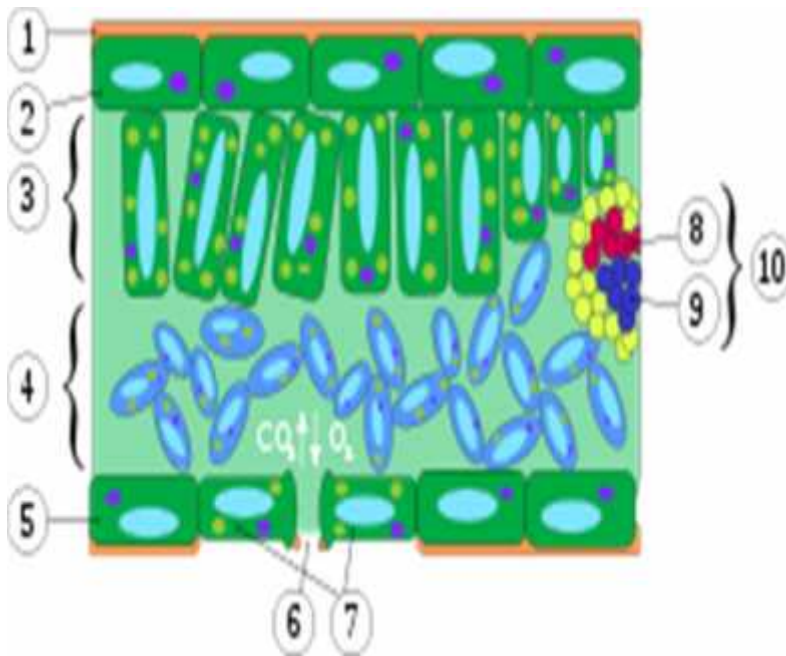
Ils sont caractérisés par la présence de nombreux chloroplastes dans leurs cellules, qui ont la forme arrondie, parfois séparées par de grandes lacunes assurant la circulation de l'air. Ce type de parenchymes sont abondant dans les organes aériens (feuilles, jeunes tiges) auxquels ils donnent la couleur verte. Il est homogène chez les monocotylédones (ex. Maïs, Iris, Poireau,...) par contre chez les dicotylédones est hétérogène ; il est formé de deux régions :

- Vers la face supérieure de la feuille se trouve le tissu palissadique formé par une ou deux assises de cellules allongées, serrées les unes contre les autres et riche en chloroplastes.

- Vers la face inférieure se trouve le tissu lacuneux, formé de cellules courtes, plus au moins arrondies, moins riches en chloroplastes que celles de tissus palissadiques et réservant entre elles de grandes lacunes où circule l'atmosphère interne de la feuille.



Structure d'une feuille

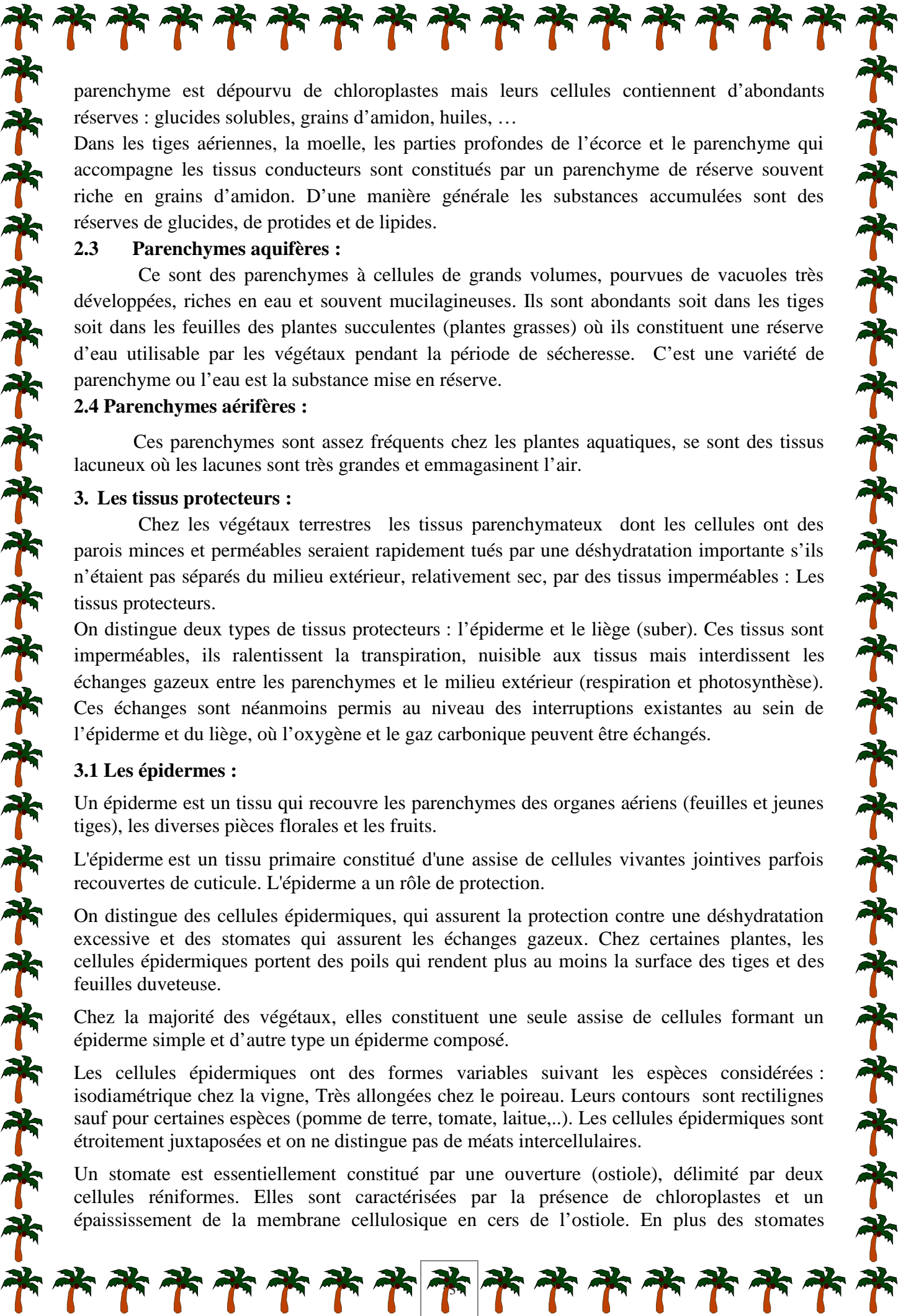


- (1) : cuticule
- (2) et (5) : épiderme
- (3) : parenchyme palissadique
- (4) : parenchyme spongieux
- (6) : stomate
- (7) : cellules stomatiques
- (8) : xylème
- (9) : phloème
- (10) : tissu conducteur

Schéma d'une coupe transversale de feuille montrant ses différents constituants :

2.2 Les parenchymes de réserves :

Ils se localisent dans les organes souterrains tels que les racines (ex. carotte, radis, betterave,...) tiges souterraines (rhizomes, tubercules) et dans les graines. Ce type de



parenchyme est dépourvu de chloroplastes mais leurs cellules contiennent d'abondants réserves : glucides solubles, grains d'amidon, huiles, ...

Dans les tiges aériennes, la moelle, les parties profondes de l'écorce et le parenchyme qui accompagne les tissus conducteurs sont constitués par un parenchyme de réserve souvent riche en grains d'amidon. D'une manière générale les substances accumulées sont des réserves de glucides, de protides et de lipides.

2.3 Parenchymes aquifères :

Ce sont des parenchymes à cellules de grands volumes, pourvues de vacuoles très développées, riches en eau et souvent mucilagineuses. Ils sont abondants soit dans les tiges soit dans les feuilles des plantes succulentes (plantes grasses) où ils constituent une réserve d'eau utilisable par les végétaux pendant la période de sécheresse. C'est une variété de parenchyme où l'eau est la substance mise en réserve.

2.4 Parenchymes aérifères :

Ces parenchymes sont assez fréquents chez les plantes aquatiques, se sont des tissus lacuneux où les lacunes sont très grandes et emmagasinent l'air.

3. Les tissus protecteurs :

Chez les végétaux terrestres les tissus parenchymateux dont les cellules ont des parois minces et perméables seraient rapidement tués par une déshydratation importante s'ils n'étaient pas séparés du milieu extérieur, relativement sec, par des tissus imperméables : Les tissus protecteurs.

On distingue deux types de tissus protecteurs : l'épiderme et le liège (suber). Ces tissus sont imperméables, ils ralentissent la transpiration, nuisible aux tissus mais interdisent les échanges gazeux entre les parenchymes et le milieu extérieur (respiration et photosynthèse). Ces échanges sont néanmoins permis au niveau des interruptions existantes au sein de l'épiderme et du liège, où l'oxygène et le gaz carbonique peuvent être échangés.

3.1 Les épidermes :

Un épiderme est un tissu qui recouvre les parenchymes des organes aériens (feuilles et jeunes tiges), les diverses pièces florales et les fruits.

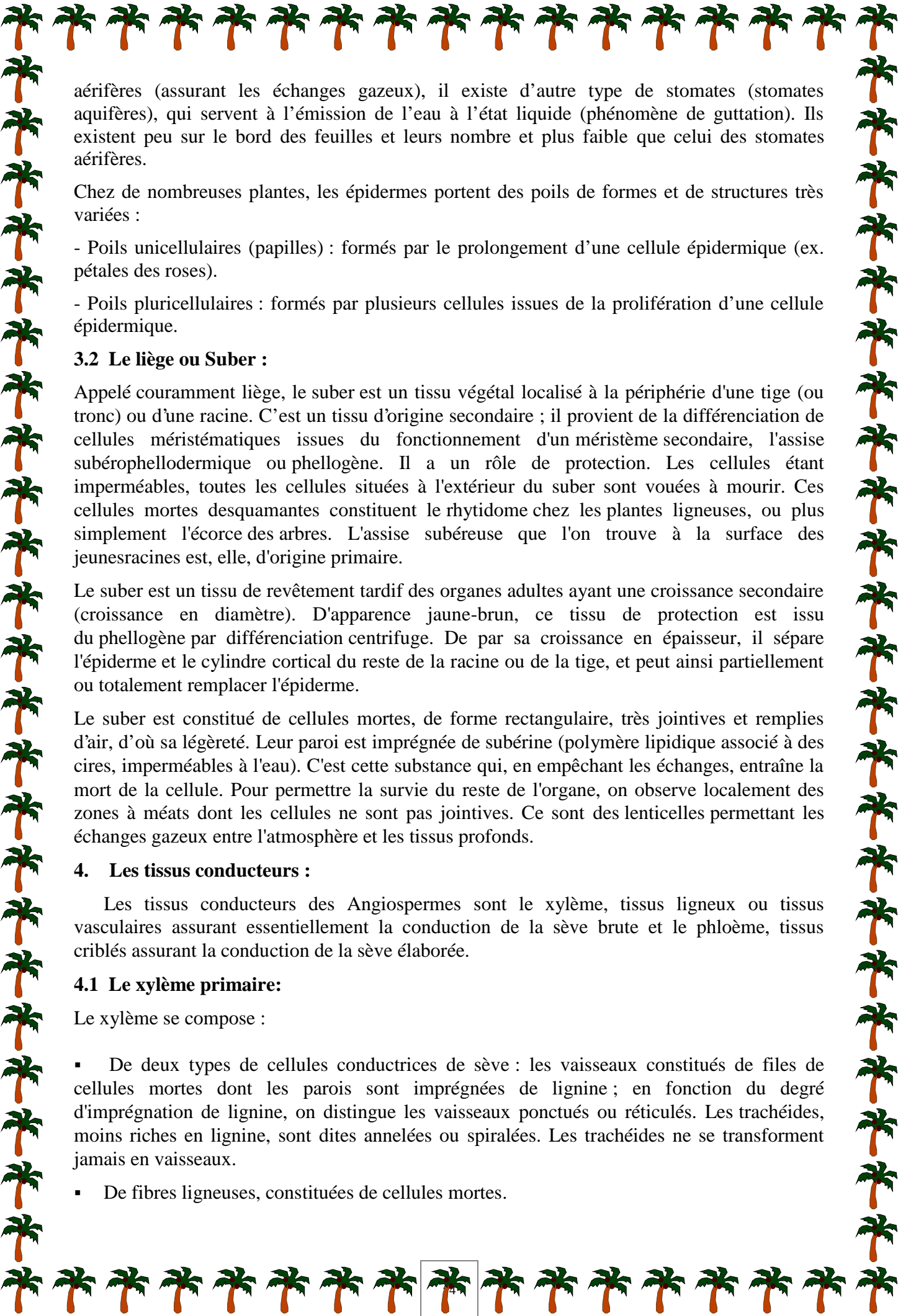
L'épiderme est un tissu primaire constitué d'une assise de cellules vivantes jointives parfois recouvertes de cuticule. L'épiderme a un rôle de protection.

On distingue des cellules épidermiques, qui assurent la protection contre une déshydratation excessive et des stomates qui assurent les échanges gazeux. Chez certaines plantes, les cellules épidermiques portent des poils qui rendent plus au moins la surface des tiges et des feuilles duveteuse.

Chez la majorité des végétaux, elles constituent une seule assise de cellules formant un épiderme simple et d'autre type un épiderme composé.

Les cellules épidermiques ont des formes variables suivant les espèces considérées : isodiamétrique chez la vigne, Très allongées chez le poireau. Leurs contours sont rectilignes sauf pour certaines espèces (pomme de terre, tomate, laitue,...). Les cellules épidermiques sont étroitement juxtaposées et on ne distingue pas de méats intercellulaires.

Un stomate est essentiellement constitué par une ouverture (ostiole), délimité par deux cellules réniformes. Elles sont caractérisées par la présence de chloroplastes et un épaississement de la membrane cellulosique en cers de l'ostiole. En plus des stomates



aérifères (assurant les échanges gazeux), il existe d'autre type de stomates (stomates aquifères), qui servent à l'émission de l'eau à l'état liquide (phénomène de guttation). Ils existent peu sur le bord des feuilles et leur nombre est plus faible que celui des stomates aérisés.

Chez de nombreuses plantes, les épidermes portent des poils de formes et de structures très variées :

- Poils unicellulaires (papilles) : formés par le prolongement d'une cellule épidermique (ex. pétales des roses).
- Poils pluricellulaires : formés par plusieurs cellules issues de la prolifération d'une cellule épidermique.

3.2 Le liège ou Suber :

Appelé couramment liège, le suber est un tissu végétal localisé à la périphérie d'une tige (ou tronc) ou d'une racine. C'est un tissu d'origine secondaire ; il provient de la différenciation de cellules méristématiques issues du fonctionnement d'un méristème secondaire, l'assise subérophelloodermique ou phellogène. Il a un rôle de protection. Les cellules étant imperméables, toutes les cellules situées à l'extérieur du suber sont vouées à mourir. Ces cellules mortes desquamantes constituent le rhytidome chez les plantes ligneuses, ou plus simplement l'écorce des arbres. L'assise subéreuse que l'on trouve à la surface des jeunes racines est, elle, d'origine primaire.

Le suber est un tissu de revêtement tardif des organes adultes ayant une croissance secondaire (croissance en diamètre). D'apparence jaune-brun, ce tissu de protection est issu du phellogène par différenciation centrifuge. De par sa croissance en épaisseur, il sépare l'épiderme et le cylindre cortical du reste de la racine ou de la tige, et peut ainsi partiellement ou totalement remplacer l'épiderme.

Le suber est constitué de cellules mortes, de forme rectangulaire, très jointives et remplies d'air, d'où sa légèreté. Leur paroi est imprégnée de subérine (polymère lipidique associé à des cires, imperméables à l'eau). C'est cette substance qui, en empêchant les échanges, entraîne la mort de la cellule. Pour permettre la survie du reste de l'organe, on observe localement des zones à méats dont les cellules ne sont pas jointives. Ce sont des lenticelles permettant les échanges gazeux entre l'atmosphère et les tissus profonds.

4. Les tissus conducteurs :

Les tissus conducteurs des Angiospermes sont le xylème, tissus ligneux ou tissus vasculaires assurant essentiellement la conduction de la sève brute et le phloème, tissus criblés assurant la conduction de la sève élaborée.

4.1 Le xylème primaire:

Le xylème se compose :

- De deux types de cellules conductrices de sève : les vaisseaux constitués de files de cellules mortes dont les parois sont imprégnées de lignine ; en fonction du degré d'imprégnation de lignine, on distingue les vaisseaux ponctués ou réticulés. Les trachéides, moins riches en lignine, sont dites annelées ou spiralées. Les trachéides ne se transforment jamais en vaisseaux.
- De fibres ligneuses, constituées de cellules mortes.

▪ De parenchymes ligneux formés de cellules vivantes qui regroupent le parenchyme vertical et le parenchyme horizontal. Le premier est surtout présent dans le xylème secondaire et joue un rôle de réserve, le second forme des rayons ligneux et résulte de l'activité du cambium libéro-ligneux (méristème secondaire).

Le xylème permet la circulation de la sève brute constituée d'eau et de sels minéraux puisés dans le sol par les racines. Dans les vaisseaux la circulation se fait essentiellement verticalement, alors que dans les trachéides la présence de paroi transversale provoque une circulation en chicanes. Le xylème a aussi un rôle de soutien.

Le xylème primaire provient de la différenciation du méristème primaire. Dans l'organe en cours d'élongation apparaît du procambium, tissu méristématique dont certaines cellules se différencient en trachéides capable d'élongation (le protoxylème) et d'autres en vaisseaux (le métaxylème).

La différenciation du procambium n'est pas identique dans la tige et dans la racine. Elle est centripète dans les racines et centrifuge dans les tiges. Cette différence permet de distinguer une racine d'une tige. Le xylème (du grec *xylon*, "bois") ou tissu xylémique, est un constituant des tissus végétaux formé de l'association de vaisseaux, de cellules mortes ou vivantes de soutien et de cellules associées.

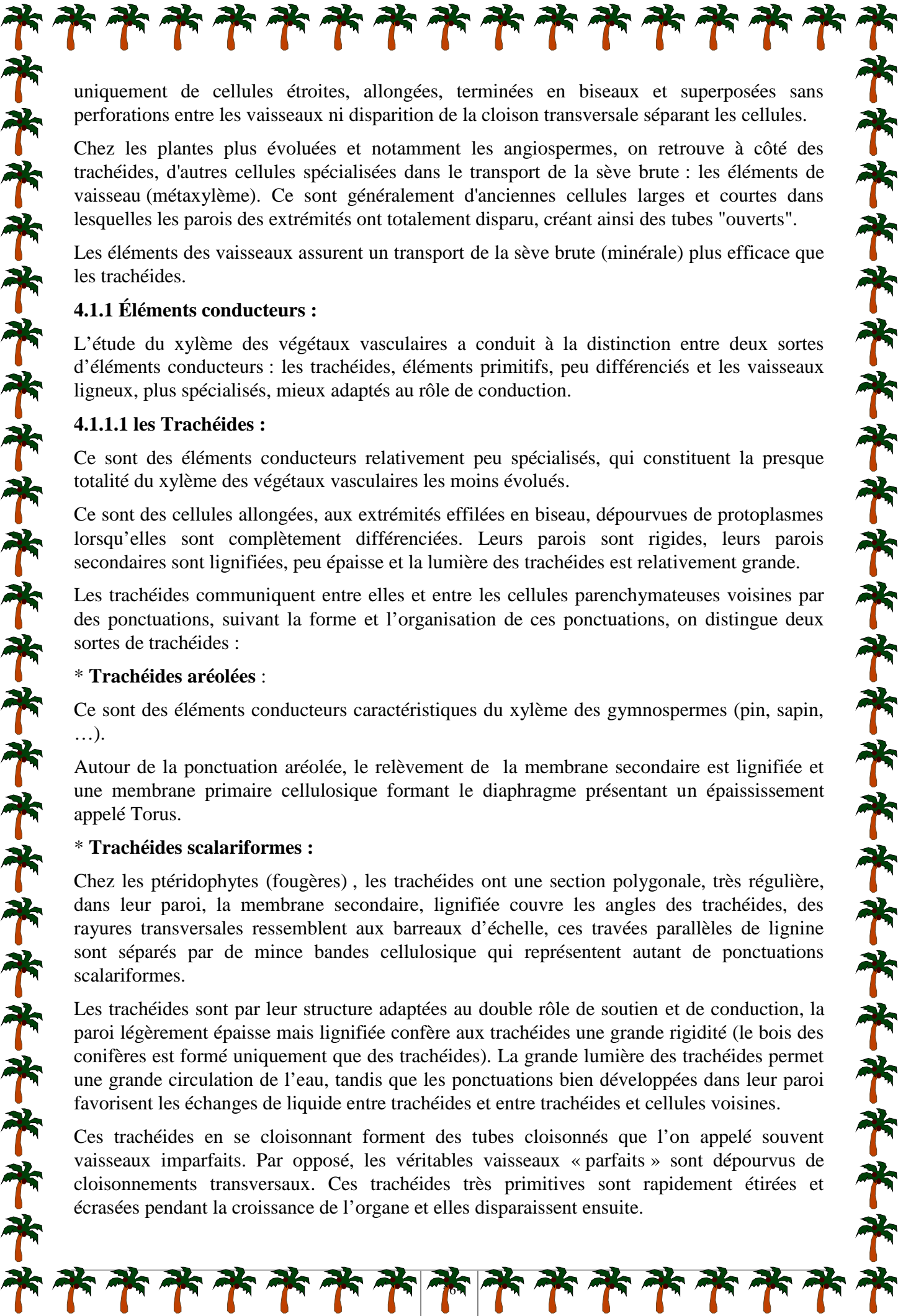
Les vaisseaux du xylème sont constitués de faisceaux de cellules mortes alignées et entourées de lignine. Ils ont la capacité de transporter de grandes quantités d'eau et de nutriments depuis le sol jusqu'à l'usine photosynthétique : les feuilles. Le xylème conduit donc la sève brute (minérale).

Le xylème est composé de cellules mortes. Ainsi, les solutés n'ont pas besoin de franchir de membrane plasmique pour transiter dans la plante ce qui lui permet des gains substantiels d'énergie en évitant notamment l'utilisation de pompe ATP dépendante.



Faisceau vasculaire de *Cucurbita pepo* L.

Chez quelques végétaux primitifs, comme chez les plantes cryptogames et les gymnospermes, les vaisseaux conducteurs sont appelés trachéides (protoxylème). Ils sont constitués



uniquement de cellules étroites, allongées, terminées en biseaux et superposées sans perforations entre les vaisseaux ni disparition de la cloison transversale séparant les cellules.

Chez les plantes plus évoluées et notamment les angiospermes, on retrouve à côté des trachéides, d'autres cellules spécialisées dans le transport de la sève brute : les éléments de vaisseau (métaxylème). Ce sont généralement d'anciennes cellules larges et courtes dans lesquelles les parois des extrémités ont totalement disparu, créant ainsi des tubes "ouverts".

Les éléments des vaisseaux assurent un transport de la sève brute (minérale) plus efficace que les trachéides.

4.1.1 Éléments conducteurs :

L'étude du xylème des végétaux vasculaires a conduit à la distinction entre deux sortes d'éléments conducteurs : les trachéides, éléments primitifs, peu différenciés et les vaisseaux ligneux, plus spécialisés, mieux adaptés au rôle de conduction.

4.1.1.1 les Trachéides :

Ce sont des éléments conducteurs relativement peu spécialisés, qui constituent la presque totalité du xylème des végétaux vasculaires les moins évolués.

Ce sont des cellules allongées, aux extrémités effilées en biseau, dépourvues de protoplasmes lorsqu'elles sont complètement différenciées. Leurs parois sont rigides, leurs parois secondaires sont lignifiées, peu épaisses et la lumière des trachéides est relativement grande.

Les trachéides communiquent entre elles et entre les cellules parenchymateuses voisines par des ponctuations, suivant la forme et l'organisation de ces ponctuations, on distingue deux sortes de trachéides :

*** Trachéides aréolées :**

Ce sont des éléments conducteurs caractéristiques du xylème des gymnospermes (pin, sapin, ...).

Autour de la ponctuation aréolée, le relèvement de la membrane secondaire est lignifié et une membrane primaire cellulosique formant le diaphragme présentant un épaississement appelé Torus.

*** Trachéides scalariformes :**

Chez les ptéridophytes (fougères), les trachéides ont une section polygonale, très régulière, dans leur paroi, la membrane secondaire, lignifiée couvre les angles des trachéides, des rayures transversales ressemblent aux barreaux d'échelle, ces travées parallèles de lignine sont séparées par de minces bandes cellulosiques qui représentent autant de ponctuations scalariformes.

Les trachéides sont par leur structure adaptées au double rôle de soutien et de conduction, la paroi légèrement épaisse mais lignifiée confère aux trachéides une grande rigidité (le bois des conifères est formé uniquement que des trachéides). La grande lumière des trachéides permet une grande circulation de l'eau, tandis que les ponctuations bien développées dans leur paroi favorisent les échanges de liquide entre trachéides et entre trachéides et cellules voisines.

Ces trachéides en se cloisonnant forment des tubes cloisonnés que l'on appelle souvent vaisseaux imparfaits. Par opposé, les véritables vaisseaux « parfaits » sont dépourvus de cloisonnements transversaux. Ces trachéides très primitives sont rapidement étirées et écrasées pendant la croissance de l'organe et elles disparaissent ensuite.



4.1.1.2 Les vaisseaux ligneux :

Ce sont des éléments conducteurs caractéristiques des végétaux vasculaires les plus évolués tel que les angiospermes. Ce sont des longs tubes dont la paroi présente vers l'intérieur des épaissements lignifiés, de dispositions variées. Ces épaissements correspondent à une paroi secondaire lignifiée doublant vers l'intérieur la paroi primaire cellulosique. Les vaisseaux peuvent être :

- * Des anneaux plus au moins rapprochés (vaisseaux annelés).
- * Une spire à tours plus au serrés (vaisseaux spiralés)
- * Des bandes transversales plus au moins irrégulières, très rapprochées les unes des autres (vaisseaux rayés). Si les rayures sont nombreuses et irrégulières, en réseau (vaisseaux réticulés).
- * Un revêtement de lignine continu sauf au niveau des punctuations où la membrane est cellulosique est seule (vaisseaux ponctués).

Le revêtement de lignine rend la paroi des vaisseaux solide et maintien les ouvertures béantes (largement ouvertes). En fait, se sont des éléments morts (pas de cytoplasme et noyau).

Un vaisseau ligneux se différencie à partir d'une file de cellules vivantes qui s'allongent, dont la paroi latérale forme des épaissements ligneux secrétés par des corps de golgi, le contenu cellulaire disparaît et les cloisons se percent complètement pour former un tube parfait.

Chez les premiers éléments ligneux différenciés dans un organe, les cloisons transversales restent cellulosiques, peuvent demeurer vaisseaux imparfaits, mais chez les véritables vaisseaux « parfaits », les cloisons transversales disparaissent. A la place de chaque cloison se trouve une ou plusieurs perforations faisant directement communiqué entre eux les éléments constituant un vaisseau. Contrairement à une trachéide qui est formée d'une seule cellule, un vaisseau est formé par un assemblage de cellules différenciées.

Les éléments conducteurs du xylème primaire sont disposés dans des organes végétaux en amas caractéristiques appelé faisceaux vasculaires ou ligneux. Leurs dispositions dans les organes végétaux est un élément important de la définition de la structure primaire de ces organes.

Suivant le moment de leur différenciation, au cours de la formation et de l'allongement d'un organe, on distingue deux catégories d'éléments conducteurs dans le xylème primaire : protoxylème et métaxylème.

* Le protoxylème :

Il est formé par des éléments conducteurs apparaissant au début de la différenciation du xylème, lorsque la croissance de la partie de l'organe qui les contient n'est pas encore achevée (tige ou racine). Ce sont des trachéides annelées ou spiralées de petits calibres. Ils s'observent chez toutes les plantes vasculaires (ptéridophytes et gymnospermes comprises).

Les vaisseaux du protoxylème peuvent s'allonger pendant la croissance de l'organe par écartement des anneaux et des tours de spires, ils sont étirés et écrasés. Dans les parties des tiges et des racines dont la croissance est achevée, on observe que des traces du protoxylème en voie de résorption.



* Le métaxylème :

Il est formé par des éléments conducteurs différenciés lorsque la croissance de la partie de l'organe qui les contient est achevée. Ce sont des trachéides chez les ptéridophytes et les gymnospermes, des vaisseaux de forts calibres, rayés, réticulés, ponctués, chez les angiospermes. Ces éléments ne sont soumis à aucun étirement et persistent longtemps que ceux du protoxylème. Quand tous les éléments du xylème primaire sont différenciés, les plus anciens sont les plus étroits (trachéides annelées et spiralées), les plus récents sont les plus larges (trachéides scalariformes et aréolées, vaisseaux rayés ou ponctués).

4.1.2 Les fibres :

Ce sont des éléments assurant uniquement le rôle de soutien et qui constitue une grande part du bois des angiospermes (50 à 80 %). Les fibres sont des cellules allongées, étroites dont les extrémités sont effilées. Leurs parois, lignifiées, très épaisses et la lumière cellulaire est très réduite. Ces parois présentent des ponctuations de petits calibres et moins nombreuses. Les fibres sont alors des éléments morts dépourvus de protoplasme.

4.1.3 Les cellules parenchymateuses :

En plus des éléments conducteurs et des fibres, qui sont des éléments morts, le xylème contient des cellules parenchymateuses vivantes qui accumulent fréquemment dans leurs cytoplasmes des grains d'amidon et rarement des huiles, qui sont utilisés ultérieurement par la plante, les cellules parenchymateuses constituent donc un tissu de réserve (parenchyme ligneux).

La distinction du parenchyme longitudinal dans le bois est variable selon les espèces. Les files cellulaires peuvent être disposées au sein des autres constituants du bois (parenchyme diffus, exemple des genres *Malus* et *Quercus*) ou groupées autour des vaisseaux (parenchyme périvasculaire exemple du genre *Fraxinus*).

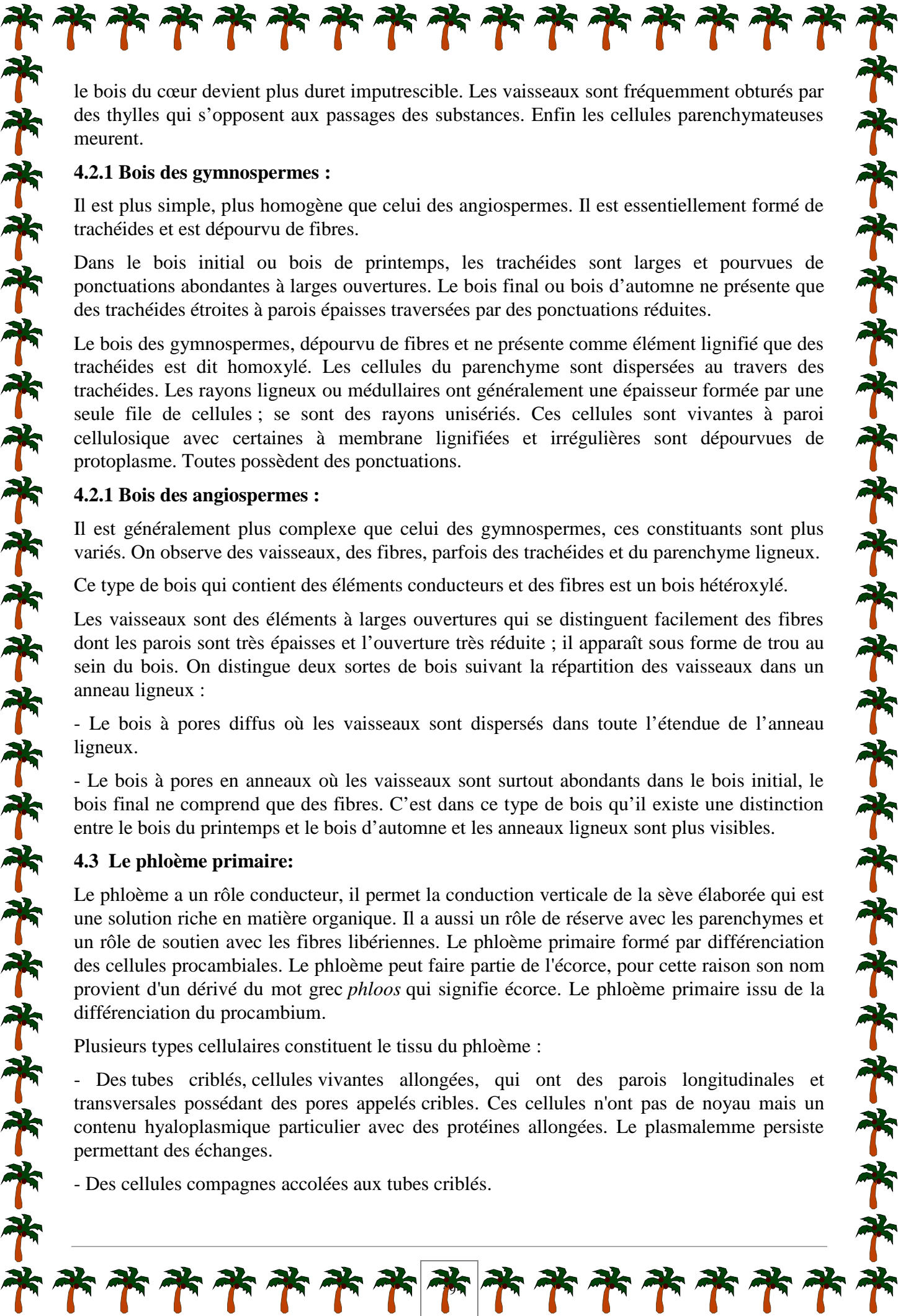
L'épaisseur des rayons ligneux est variable selon les espèces ; rayons unisériés (une seule couche exemple du saule, peuplier), rayons multisériés (plusieurs couches exemple pommier, chêne) et on peut trouver aussi de très large rayons ligneux et des rayons unisériés (exemple d'hêtre).

4.2 Le xylème secondaire ou bois :

Le xylème secondaire ou bois, situé dans les zones de croissance secondaires et qui dérive du méristème secondaire. Il est caractérisé par un alignement radial de ses cellules du fait des caractéristiques de fonctionnement du cambium libéro-ligneux (méristème secondaire) : il se forme en position interne par rapport au cambium et mène à la formation de vaisseaux, de fibres, de parenchymes verticaux et horizontaux.

Le bois est formé de couches concentriques bien visibles, le bord extérieur foncé contrastant avec le bord interne de couche suivante qui est plus claire. Chaque couche est un anneau ligneux ou cerne correspondant à une formation annuelle de bois ; la partie claire est le bois initial ou bois du printemps. La partie sombre est le bois final ou bois d'automne. Les rayons ligneux peuvent être observés à l'œil nu.

Chez certaines espèces, la partie profonde du bois, le cœur ou duramen est plus sombre et plus dense que sa partie externe ; l'aubier qui est un bois vivant du tronc qui assure seul la conduction de la sève brute, alors que le duramen est un bois mort. La transformation des couches profondes de l'aubier en bois du cœur au cours de la croissance du tronc est marquée par une accumulation de tanins, de résines dans les parois et les cavités cellulaires. De ce fait



le bois du cœur devient plus dur et imputrescible. Les vaisseaux sont fréquemment obturés par des thyllés qui s'opposent aux passages des substances. Enfin les cellules parenchymateuses meurent.

4.2.1 Bois des gymnospermes :

Il est plus simple, plus homogène que celui des angiospermes. Il est essentiellement formé de trachéides et est dépourvu de fibres.

Dans le bois initial ou bois de printemps, les trachéides sont larges et pourvues de ponctuations abondantes à larges ouvertures. Le bois final ou bois d'automne ne présente que des trachéides étroites à parois épaisses traversées par des ponctuations réduites.

Le bois des gymnospermes, dépourvu de fibres et ne présente comme élément lignifié que des trachéides est dit homoxylé. Les cellules du parenchyme sont dispersées au travers des trachéides. Les rayons ligneux ou médullaires ont généralement une épaisseur formée par une seule file de cellules ; se sont des rayons unisériés. Ces cellules sont vivantes à paroi cellulosique avec certaines à membrane lignifiées et irrégulières sont dépourvues de protoplasme. Toutes possèdent des ponctuations.

4.2.1 Bois des angiospermes :

Il est généralement plus complexe que celui des gymnospermes, ces constituants sont plus variés. On observe des vaisseaux, des fibres, parfois des trachéides et du parenchyme ligneux.

Ce type de bois qui contient des éléments conducteurs et des fibres est un bois hétéroxylé.

Les vaisseaux sont des éléments à larges ouvertures qui se distinguent facilement des fibres dont les parois sont très épaisses et l'ouverture très réduite ; il apparaît sous forme de trou au sein du bois. On distingue deux sortes de bois suivant la répartition des vaisseaux dans un anneau ligneux :

- Le bois à pores diffus où les vaisseaux sont dispersés dans toute l'étendue de l'anneau ligneux.
- Le bois à pores en anneaux où les vaisseaux sont surtout abondants dans le bois initial, le bois final ne comprend que des fibres. C'est dans ce type de bois qu'il existe une distinction entre le bois du printemps et le bois d'automne et les anneaux ligneux sont plus visibles.

4.3 Le phloème primaire:

Le phloème a un rôle conducteur, il permet la conduction verticale de la sève élaborée qui est une solution riche en matière organique. Il a aussi un rôle de réserve avec les parenchymes et un rôle de soutien avec les fibres libériennes. Le phloème primaire formé par différenciation des cellules procambiales. Le phloème peut faire partie de l'écorce, pour cette raison son nom provient d'un dérivé du mot grec *phloos* qui signifie écorce. Le phloème primaire issu de la différenciation du procambium.

Plusieurs types cellulaires constituent le tissu du phloème :

- Des tubes criblés, cellules vivantes allongées, qui ont des parois longitudinales et transversales possédant des pores appelés cribles. Ces cellules n'ont pas de noyau mais un contenu hyaloplasmique particulier avec des protéines allongées. Le plasmalemme persiste permettant des échanges.
- Des cellules compagnes accolées aux tubes criblés.

- Des cellules parenchymateuses libériennes verticaux jouant un rôle de réserve, et horizontaux formant les rayons libériens et les fibres libériennes.
- Des fibres libériennes, cellules dont la paroi est épaisse et lignifiée ou cellulósique.
- Les cellules compagnes accolées aux tubes criblés.

Le mouvement de la sève élaborée dans le phloème est bidirectionnel, tandis que dans les cellules de xylème, il est continu (ascendant).

4.3.1 Les cribles:

Les parois transversales des cellules du tube criblé sont complètement traversées par de nombreux parois ou orifices interrompant les membranes cellulósiques ainsi que la lamelle moyenne. Les cloisons transversales constituent donc des cribles (tubes criblés).

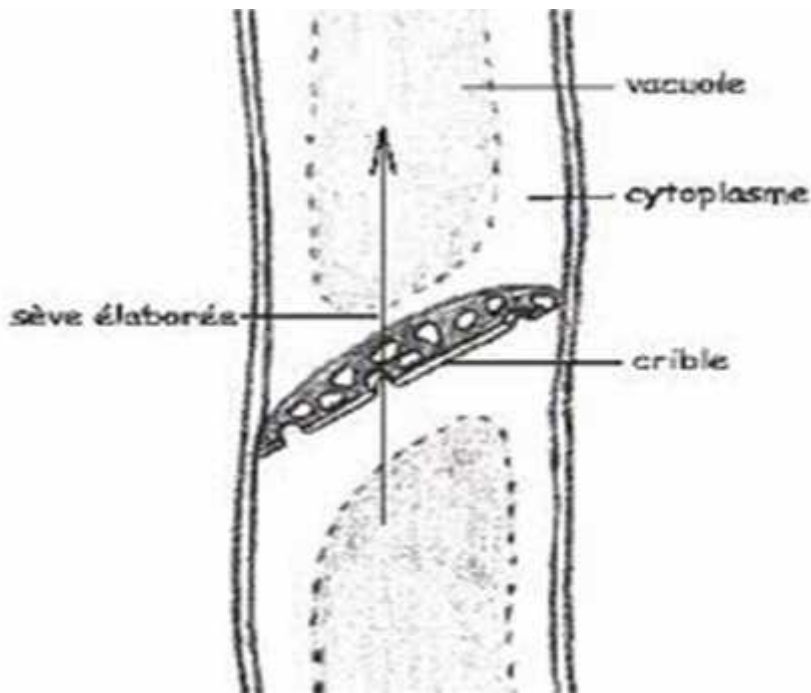
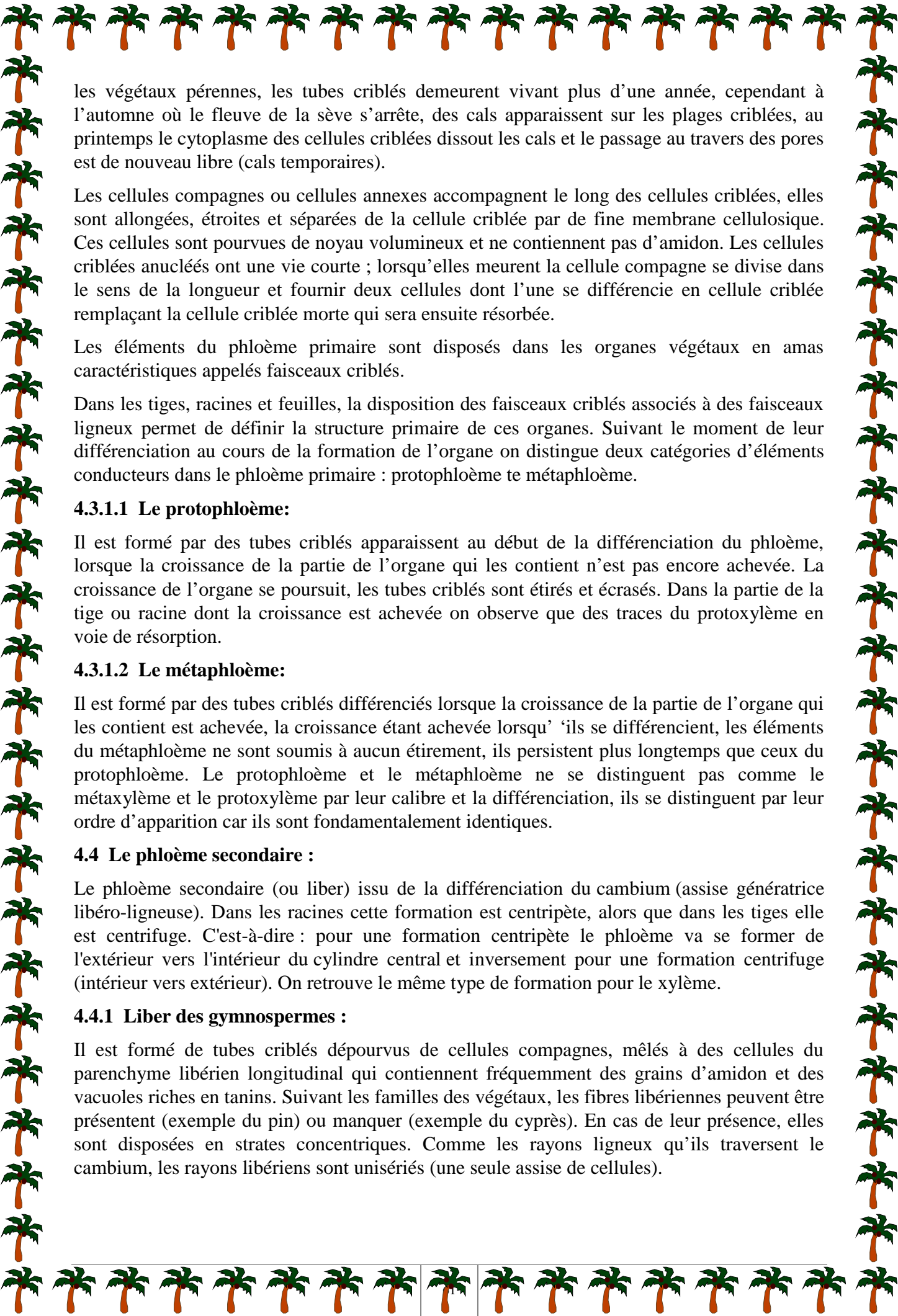


Schéma d'un tube criblé

Chez les gymnospermes les cribles sont répartis sur toutes les parois des cellules criblées (paroi transversale et longitudinale), mais chez la plus part des angiospermes ne présentent des pores que sur leur cloison transversal, leurs parois longitudinales sont imperforées. Pour ce ce type de végétaux, il existe deux modes de répartitions des pores, cribles simples (exemple des courges) où les pores sont répartis sur toute la surface transversale et cribles composés (exemple tabac, vigne) où les cribles sont répartis en plages criblées séparées par des zones dépourvues de pores.

Les cellules criblées sont vivantes à cytoplasme sans vacuole, le noyau disparaît en cas de différenciation complète des cellules. Les cytoplasmes des cellules criblées se fusionnent pour former enfin un tube criblé.

Le fonctionnement d'un tube criblé est de courte durée, avant la mort des cellules criblées un dépôt de callose constitue une cal qui se forme de part et d'autre de chaque crible ou de chaque plage criblées et les cellules criblées meurent ensuite cas des végétaux annuels. Chez



les végétaux pérennes, les tubes criblés demeurent vivant plus d'une année, cependant à l'automne où le fleuve de la sève s'arrête, des calcs apparaissent sur les plages criblées, au printemps le cytoplasme des cellules criblées dissout les calcs et le passage au travers des pores est de nouveau libre (calcs temporaires).

Les cellules compagnes ou cellules annexes accompagnent le long des cellules criblées, elles sont allongées, étroites et séparées de la cellule criblée par de fine membrane cellulosique. Ces cellules sont pourvues de noyau volumineux et ne contiennent pas d'amidon. Les cellules criblées anucléés ont une vie courte ; lorsqu'elles meurent la cellule compagne se divise dans le sens de la longueur et fournir deux cellules dont l'une se différencie en cellule criblée remplaçant la cellule criblée morte qui sera ensuite résorbée.

Les éléments du phloème primaire sont disposés dans les organes végétaux en amas caractéristiques appelés faisceaux criblés.

Dans les tiges, racines et feuilles, la disposition des faisceaux criblés associés à des faisceaux ligneux permet de définir la structure primaire de ces organes. Suivant le moment de leur différenciation au cours de la formation de l'organe on distingue deux catégories d'éléments conducteurs dans le phloème primaire : protophloème et métaphloème.

4.3.1.1 Le protophloème:

Il est formé par des tubes criblés apparaissent au début de la différenciation du phloème, lorsque la croissance de la partie de l'organe qui les contient n'est pas encore achevée. La croissance de l'organe se poursuit, les tubes criblés sont étirés et écrasés. Dans la partie de la tige ou racine dont la croissance est achevée on observe que des traces du protoxylème en voie de résorption.

4.3.1.2 Le métaphloème:

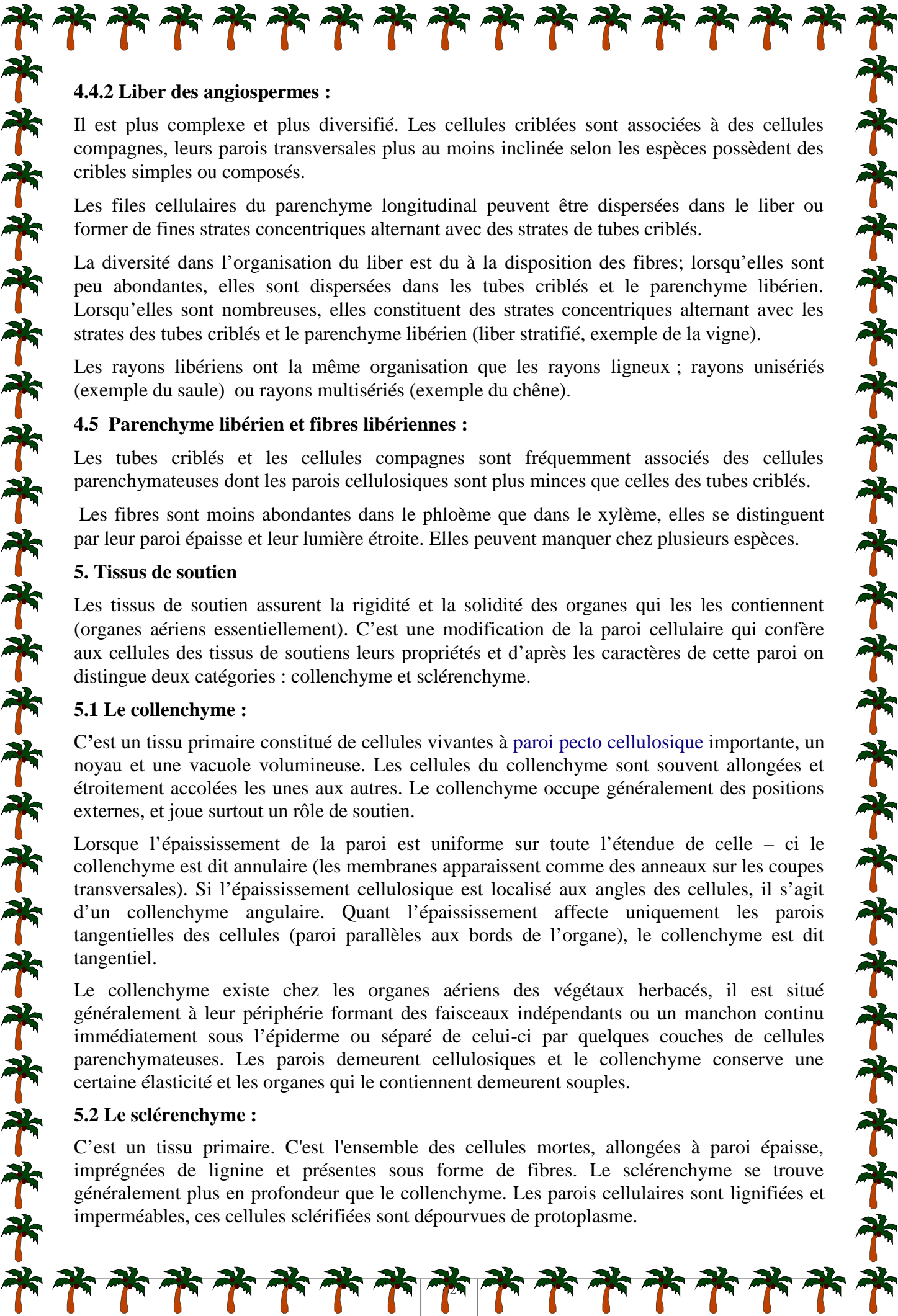
Il est formé par des tubes criblés différenciés lorsque la croissance de la partie de l'organe qui les contient est achevée, la croissance étant achevée lorsqu' 'ils se différencient, les éléments du métaphloème ne sont soumis à aucun étirement, ils persistent plus longtemps que ceux du protophloème. Le protophloème et le métaphloème ne se distinguent pas comme le métaxylème et le protoxylème par leur calibre et la différenciation, ils se distinguent par leur ordre d'apparition car ils sont fondamentalement identiques.

4.4 Le phloème secondaire :

Le phloème secondaire (ou liber) issu de la différenciation du cambium (assise génératrice libéro-ligneuse). Dans les racines cette formation est centripète, alors que dans les tiges elle est centrifuge. C'est-à-dire : pour une formation centripète le phloème va se former de l'extérieur vers l'intérieur du cylindre central et inversement pour une formation centrifuge (intérieur vers extérieur). On retrouve le même type de formation pour le xylème.

4.4.1 Liber des gymnospermes :

Il est formé de tubes criblés dépourvus de cellules compagnes, mêlés à des cellules du parenchyme libérien longitudinal qui contiennent fréquemment des grains d'amidon et des vacuoles riches en tanins. Suivant les familles des végétaux, les fibres libériennes peuvent être présentes (exemple du pin) ou manquer (exemple du cyprès). En cas de leur présence, elles sont disposées en strates concentriques. Comme les rayons ligneux qu'ils traversent le cambium, les rayons libériens sont unisériés (une seule assise de cellules).



4.4.2 Liber des angiospermes :

Il est plus complexe et plus diversifié. Les cellules criblées sont associées à des cellules compagnes, leurs parois transversales plus au moins inclinée selon les espèces possèdent des cribles simples ou composés.

Les files cellulaires du parenchyme longitudinal peuvent être dispersées dans le liber ou former de fines strates concentriques alternant avec des strates de tubes criblés.

La diversité dans l'organisation du liber est due à la disposition des fibres; lorsqu'elles sont peu abondantes, elles sont dispersées dans les tubes criblés et le parenchyme libérien. Lorsqu'elles sont nombreuses, elles constituent des strates concentriques alternant avec les strates des tubes criblés et le parenchyme libérien (liber stratifié, exemple de la vigne).

Les rayons libériens ont la même organisation que les rayons ligneux ; rayons unisériés (exemple du saule) ou rayons multisériés (exemple du chêne).

4.5 Parenchyme libérien et fibres libériennes :

Les tubes criblés et les cellules compagnes sont fréquemment associés des cellules parenchymateuses dont les parois cellulodiques sont plus minces que celles des tubes criblés.

Les fibres sont moins abondantes dans le phloème que dans le xylème, elles se distinguent par leur paroi épaisse et leur lumière étroite. Elles peuvent manquer chez plusieurs espèces.

5. Tissus de soutien

Les tissus de soutien assurent la rigidité et la solidité des organes qui les contiennent (organes aériens essentiellement). C'est une modification de la paroi cellulaire qui confère aux cellules des tissus de soutiens leurs propriétés et d'après les caractères de cette paroi on distingue deux catégories : collenchyme et sclérenchyme.

5.1 Le collenchyme :

C'est un tissu primaire constitué de cellules vivantes à **paroi pecto cellulodique** importante, un noyau et une vacuole volumineuse. Les cellules du collenchyme sont souvent allongées et étroitement accolées les unes aux autres. Le collenchyme occupe généralement des positions externes, et joue surtout un rôle de soutien.

Lorsque l'épaississement de la paroi est uniforme sur toute l'étendue de celle – ci le collenchyme est dit annulaire (les membranes apparaissent comme des anneaux sur les coupes transversales). Si l'épaississement cellulodique est localisé aux angles des cellules, il s'agit d'un collenchyme angulaire. Quant l'épaississement affecte uniquement les parois tangentielles des cellules (paroi parallèles aux bords de l'organe), le collenchyme est dit tangentiel.

Le collenchyme existe chez les organes aériens des végétaux herbacés, il est situé généralement à leur périphérie formant des faisceaux indépendants ou un manchon continu immédiatement sous l'épiderme ou séparé de celui-ci par quelques couches de cellules parenchymateuses. Les parois demeurent cellulodiques et le collenchyme conserve une certaine élasticité et les organes qui le contiennent demeurent souples.

5.2 Le sclérenchyme :

C'est un tissu primaire. C'est l'ensemble des cellules mortes, allongées à paroi épaisse, imprégnées de lignine et présentes sous forme de fibres. Le sclérenchyme se trouve généralement plus en profondeur que le collenchyme. Les parois cellulaires sont lignifiées et imperméables, ces cellules sclérifiées sont dépourvues de protoplasme.

Ces tissus assurent le soutien de la plante. On les trouve donc essentiellement dans les parties aériennes comme la tige et la feuille et rarement dans les racines.

Selon la forme et les dimensions, on distingue deux sortes de cellules :

Les fibres, cellules très allongées et des sclérites, cellules courtes de formes irrégulières.

5.2.1 Les fibres :

Ce sont des cellules fusiformes, très allongées (chez certaines espèces arrivant à quelques Centimètres). On désigne aussi sous le nom de fibre des cellules très allongées dont la paroi est peu ou pas lignifiée ; c'est le cas des fibres du lin (non lignifiées), chanvre (partiellement lignifiée). Ces fibres essentiellement cellulosiques sont des fibres textiles.

Les fibres du xylème et du phloème se diffèrent des fibres sclérenchymateuses par leur présence dans au sein du tissu conducteur et qu'elles ont la même origine, tandis que les fibres du sclérenchyme sont des différenciations locales à l'intérieur du parenchyme.

5.2.2 Les sclérites : Ce sont des cellules courtes aux parois très épaisses et lignifiées. Les sclérites peuvent être isolées au sein du parenchyme (exemple des sclérites des feuilles du théier), groupées en amas (exemple des sclérites des poires), ou assemblées en une assise continue (exemple du tégument de la graine d'haricot).

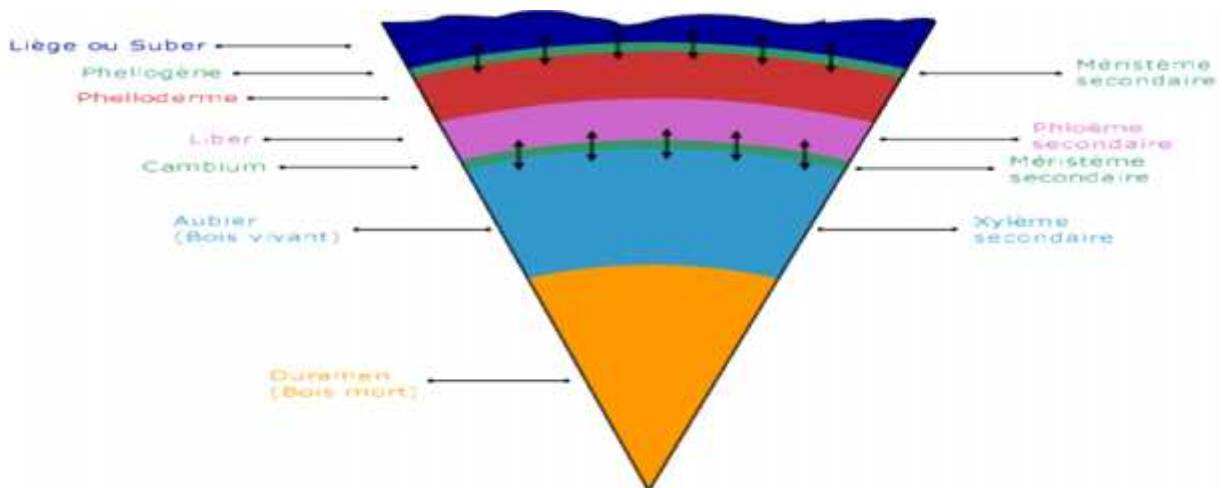


Schéma de la structure secondaire d'une tige

6. Les tissus sécréteurs :

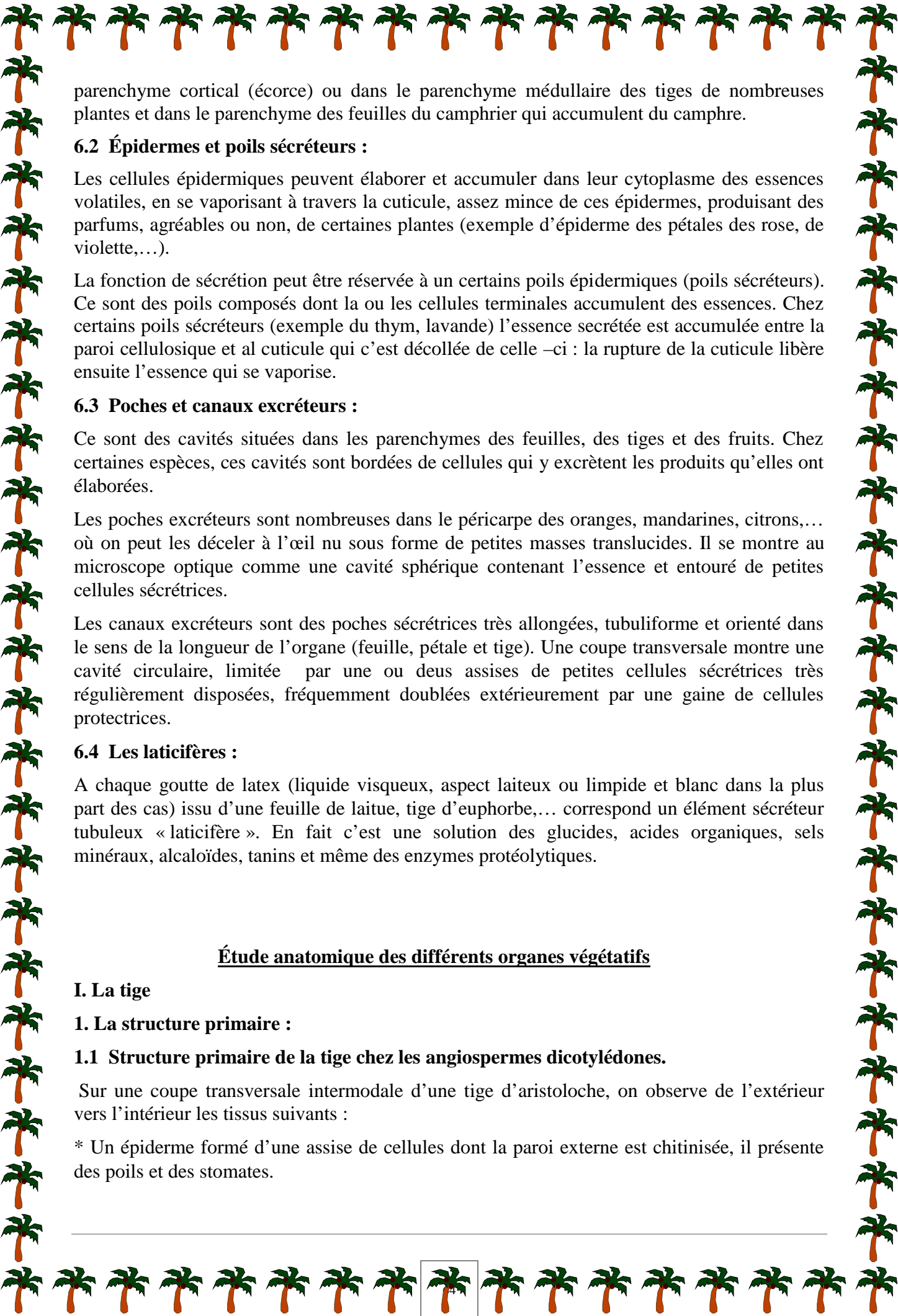
Ce sont des tissus spécialisés dans la synthèse de certaines substances (essences, tanins, résine, latex,...). Ce pouvoir de synthèse définit une sécrétion.

Les tissus sécréteurs peuvent accumuler les produits synthétisés au sein même de leurs cellules ou de les rejeter hors de celles-ci dans des cavités aménagées dans les organes végétaux. Dans ce cas on parle d'excrétion des produits sécrétés.

On distingue différentes catégories de tissus sécréteurs : cellules sécrétrices, les épidermes sécréteurs, les poches et les canaux excréteurs et les laticifères.

6.1 Les cellules sécrétrices isolées:

Elles se localisent au sein du parenchyme, dispersées, isolées et accumulent dans leurs vacuoles le produit qu'elles ont sécrété ; cas des cellules à tanin dispersées dans le



parenchyme cortical (écorce) ou dans le parenchyme médullaire des tiges de nombreuses plantes et dans le parenchyme des feuilles du camphrier qui accumulent du camphre.

6.2 Épidermes et poils sécréteurs :

Les cellules épidermiques peuvent élaborer et accumuler dans leur cytoplasme des essences volatiles, en se vaporisant à travers la cuticule, assez mince de ces épidermes, produisant des parfums, agréables ou non, de certaines plantes (exemple d'épiderme des pétales des rose, de violette,...).

La fonction de sécrétion peut être réservée à un certains poils épidermiques (poils sécréteurs). Ce sont des poils composés dont la ou les cellules terminales accumulent des essences. Chez certains poils sécréteurs (exemple du thym, lavande) l'essence sécrétée est accumulée entre la paroi cellulosique et al cuticule qui c'est décollée de celle -ci : la rupture de la cuticule libère ensuite l'essence qui se vaporise.

6.3 Poches et canaux excréteurs :

Ce sont des cavités situées dans les parenchymes des feuilles, des tiges et des fruits. Chez certaines espèces, ces cavités sont bordées de cellules qui y excrètent les produits qu'elles ont élaborées.

Les poches excréteurs sont nombreuses dans le péricarpe des oranges, mandarines, citrons,... où on peut les déceler à l'œil nu sous forme de petites masses translucides. Il se montre au microscope optique comme une cavité sphérique contenant l'essence et entouré de petites cellules sécrétrices.

Les canaux excréteurs sont des poches sécrétrices très allongées, tubuliforme et orienté dans le sens de la longueur de l'organe (feuille, pétale et tige). Une coupe transversale montre une cavité circulaire, limitée par une ou deus assises de petites cellules sécrétrices très régulièrement disposées, fréquemment doublées extérieurement par une gaine de cellules protectrices.

6.4 Les laticifères :

A chaque goutte de latex (liquide visqueux, aspect laiteux ou limpide et blanc dans la plus part des cas) issu d'une feuille de laitue, tige d'euphorbe,... correspond un élément sécréteur tubuleux « laticifère ». En fait c'est une solution des glucides, acides organiques, sels minéraux, alcaloïdes, tanins et même des enzymes protéolytiques.

Étude anatomique des différents organes végétatifs

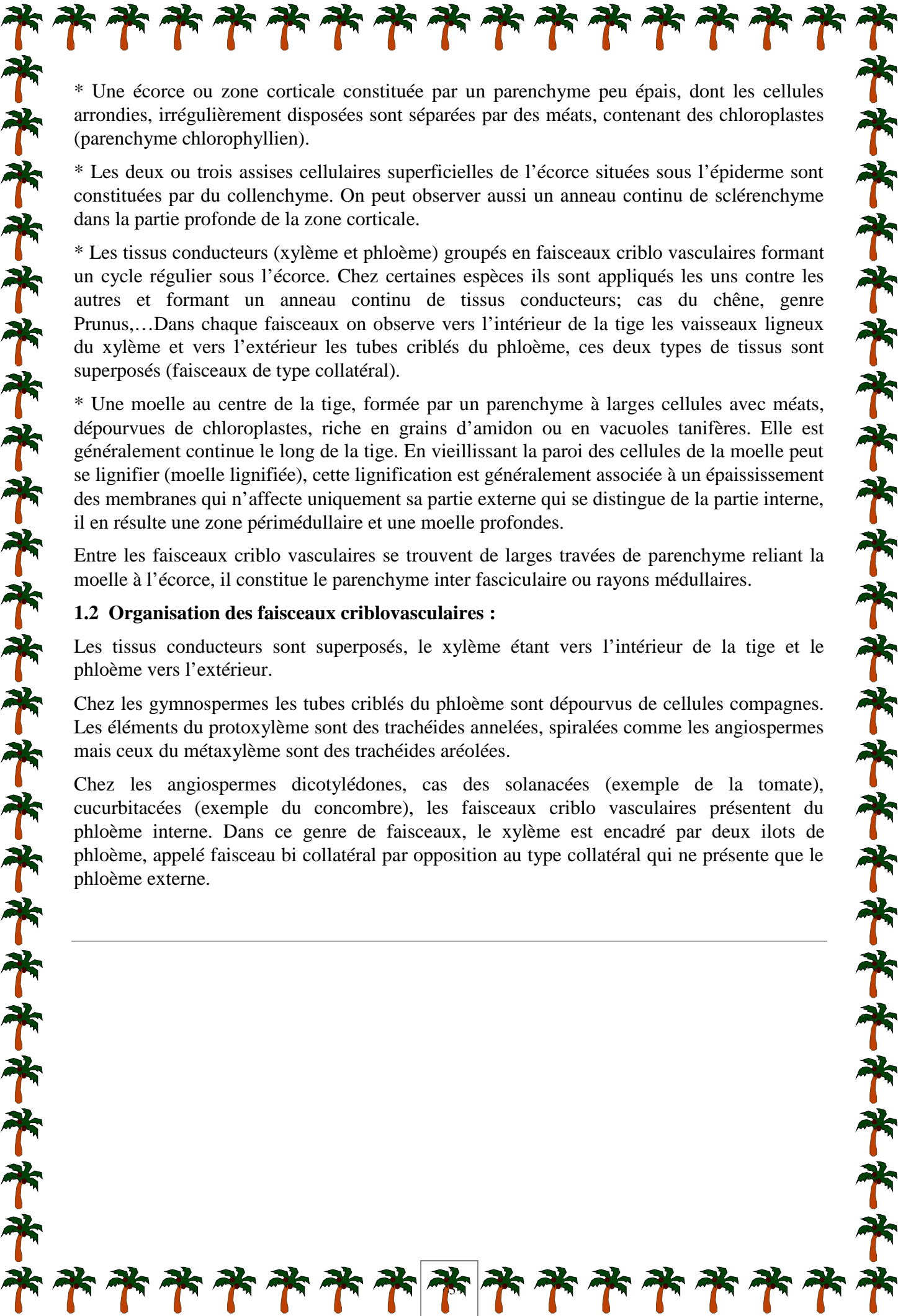
I. La tige

1. La structure primaire :

1.1 Structure primaire de la tige chez les angiospermes dicotylédones.

Sur une coupe transversale intermodale d'une tige d'aristoloche, on observe de l'extérieur vers l'intérieur les tissus suivants :

* Un épiderme formé d'une assise de cellules dont la paroi externe est chitinisée, il présente des poils et des stomates.



* Une écorce ou zone corticale constituée par un parenchyme peu épais, dont les cellules arrondies, irrégulièrement disposées sont séparées par des méats, contenant des chloroplastes (parenchyme chlorophyllien).

* Les deux ou trois assises cellulaires superficielles de l'écorce situées sous l'épiderme sont constituées par du collenchyme. On peut observer aussi un anneau continu de sclérenchyme dans la partie profonde de la zone corticale.

* Les tissus conducteurs (xylème et phloème) groupés en faisceaux criblo vasculaires formant un cycle régulier sous l'écorce. Chez certaines espèces ils sont appliqués les uns contre les autres et formant un anneau continu de tissus conducteurs; cas du chêne, genre Prunus,... Dans chaque faisceaux on observe vers l'intérieur de la tige les vaisseaux ligneux du xylème et vers l'extérieur les tubes criblés du phloème, ces deux types de tissus sont superposés (faisceaux de type collatéral).

* Une moelle au centre de la tige, formée par un parenchyme à larges cellules avec méats, dépourvues de chloroplastes, riche en grains d'amidon ou en vacuoles tanifères. Elle est généralement continue le long de la tige. En vieillissant la paroi des cellules de la moelle peut se lignifier (moelle lignifiée), cette lignification est généralement associée à un épaississement des membranes qui n'affecte uniquement sa partie externe qui se distingue de la partie interne, il en résulte une zone pérимédullaire et une moelle profondes.

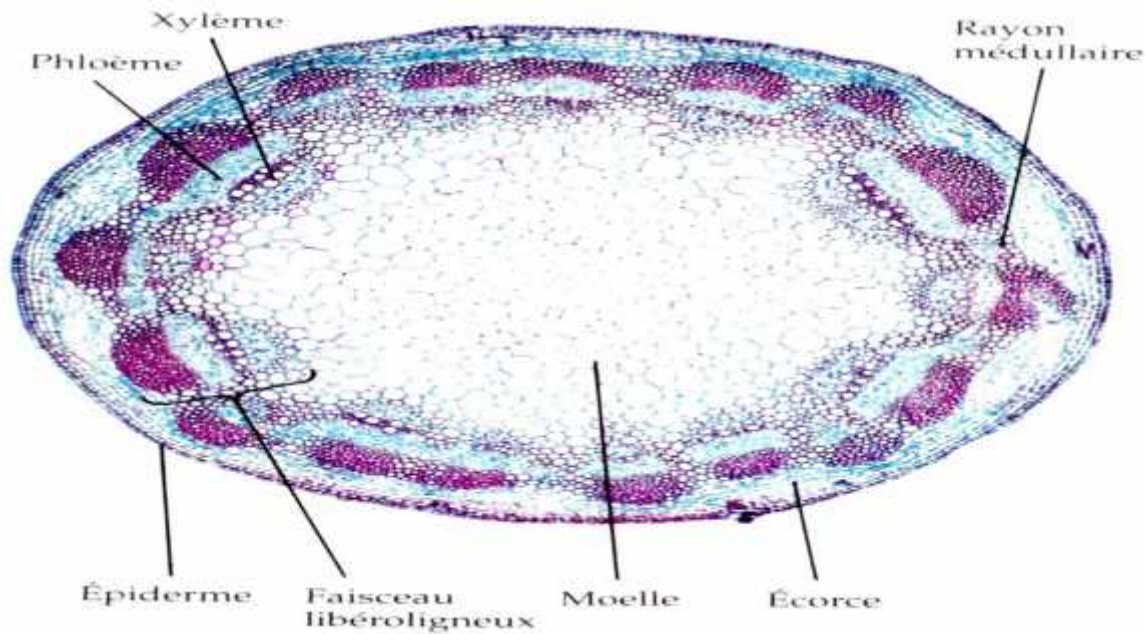
Entre les faisceaux criblo vasculaires se trouvent de larges travées de parenchyme reliant la moelle à l'écorce, il constitue le parenchyme inter fasciculaire ou rayons médullaires.

1.2 Organisation des faisceaux criblovasculaires :

Les tissus conducteurs sont superposés, le xylème étant vers l'intérieur de la tige et le phloème vers l'extérieur.

Chez les gymnospermes les tubes criblés du phloème sont dépourvus de cellules compagnes. Les éléments du protoxylème sont des trachéides annelées, spiralées comme les angiospermes mais ceux du métaxylème sont des trachéides aréolées.

Chez les angiospermes dicotylédones, cas des solanacées (exemple de la tomate), cucurbitacées (exemple du concombre), les faisceaux criblo vasculaires présentent du phloème interne. Dans ce genre de faisceaux, le xylème est encadré par deux ilots de phloème, appelé faisceau bi collatéral par opposition au type collatéral qui ne présente que le phloème externe.



Structure primaire d'une tige de dicotylédone

Chez certaines espèces (exemple du lin), les cellules parenchymateuses du protoxylème se différencient en fibres après la résorption des éléments conducteurs du tissu criblé (fibres textiles).

Chez les renonculacées (exemple d'anémone), ne se forme pas de tissus secondaires, ils ne possèdent pas de cambium ou s'il est présent, il ne se différencie jamais (cambium non fonctionnel).

1.3 Sens de différenciation des tissus conducteurs dans un faisceau criblo vasculaire :

Les éléments conducteurs d'un faisceau criblo vasculaire se différencient à partir d'un tissu embryonnaire appelé procambium ou pro conducteur.

Dans une jeune tige, il se situe immédiatement sous le point végétatif, on observe des faisceaux de procambium disposés de la même façon que les faisceaux criblovasculaires d'une tige différenciée.

L'analyse de la différenciation d'un faisceau procambial se fait en distinguant :

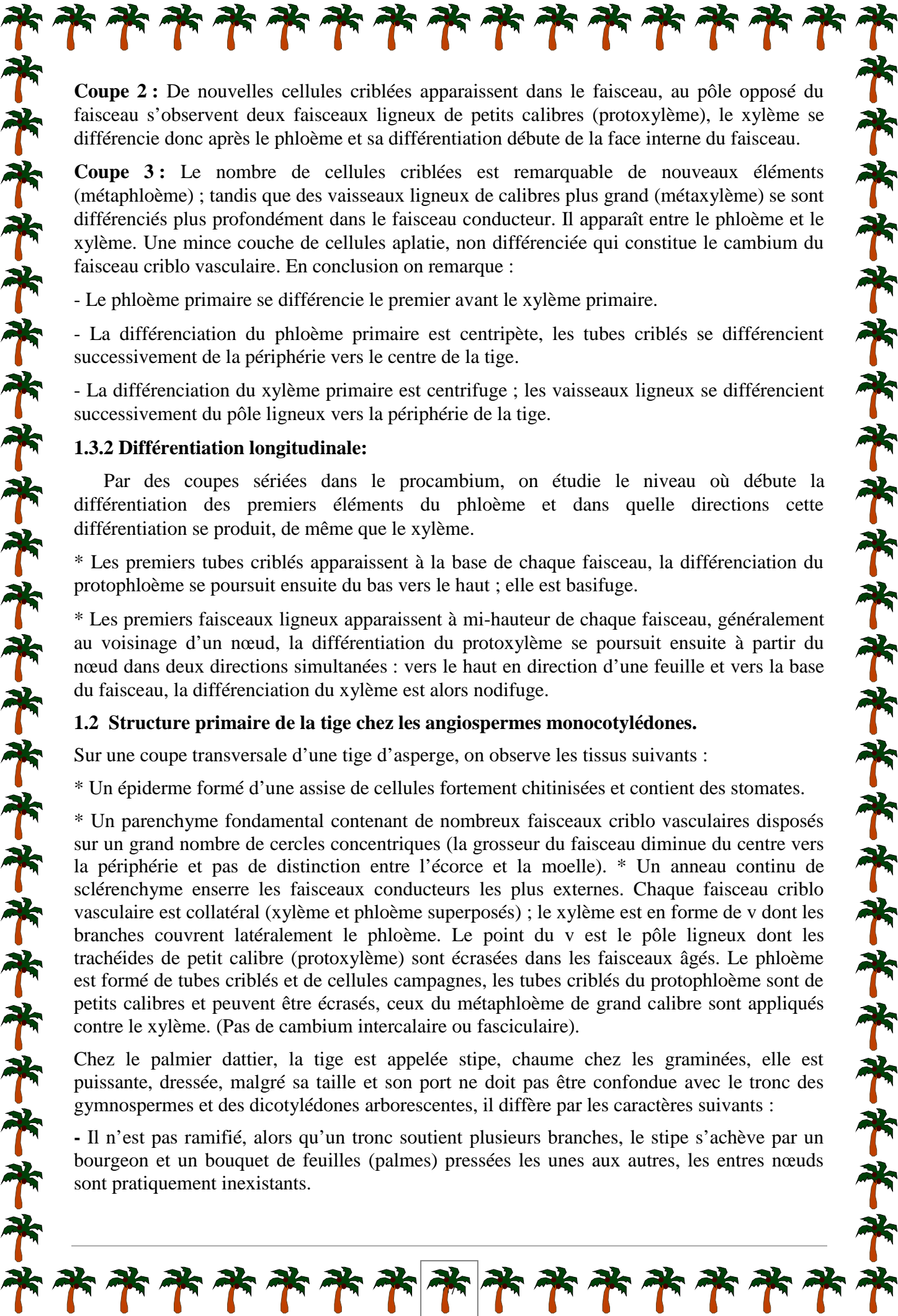
- * Une différenciation transversale : on étudie l'ordre d'apparition des éléments conducteurs différenciés (phloème et xylème) par rapport à l'axe de la tige, donc dans un sens radial.

- * Une différenciation longitudinale : on étudie comment progresse la différenciation d'un élément conducteur dans le sens de la longueur d'un faisceau du procambium.

1.3.1 Différenciation transversale :

Pour l'étudier on pratique une série de coupes transversales successives pour le point végétatif et on suit l'ordre d'apparition d'un faisceau criblo vasculaire

Coupe 1 : Une des cellules les plus externes d'un faisceau du procambium est différenciée en cellules criblées (protophloème). Le phloème est donc le tissu qui se différencie le premier et sa différenciation commence sur la face externe du faisceau.



Coupe 2 : De nouvelles cellules criblées apparaissent dans le faisceau, au pôle opposé du faisceau s'observent deux faisceaux ligneux de petits calibres (protoxylème), le xylème se différencie donc après le phloème et sa différenciation débute de la face interne du faisceau.

Coupe 3 : Le nombre de cellules criblées est remarquable de nouveaux éléments (métaphloème) ; tandis que des vaisseaux ligneux de calibres plus grand (métaxylème) se sont différenciés plus profondément dans le faisceau conducteur. Il apparaît entre le phloème et le xylème. Une mince couche de cellules aplatie, non différenciée qui constitue le cambium du faisceau criblo vasculaire. En conclusion on remarque :

- Le phloème primaire se différencie le premier avant le xylème primaire.
- La différenciation du phloème primaire est centripète, les tubes criblés se différencient successivement de la périphérie vers le centre de la tige.
- La différenciation du xylème primaire est centrifuge ; les vaisseaux ligneux se différencient successivement du pôle ligneux vers la périphérie de la tige.

1.3.2 Différenciation longitudinale:

Par des coupes sériées dans le procambium, on étudie le niveau où débute la différenciation des premiers éléments du phloème et dans quelle directions cette différenciation se produit, de même que le xylème.

* Les premiers tubes criblés apparaissent à la base de chaque faisceau, la différenciation du protophloème se poursuit ensuite du bas vers le haut ; elle est basifuge.

* Les premiers faisceaux ligneux apparaissent à mi-hauteur de chaque faisceau, généralement au voisinage d'un nœud, la différenciation du protoxylème se poursuit ensuite à partir du nœud dans deux directions simultanées : vers le haut en direction d'une feuille et vers la base du faisceau, la différenciation du xylème est alors nodifuge.

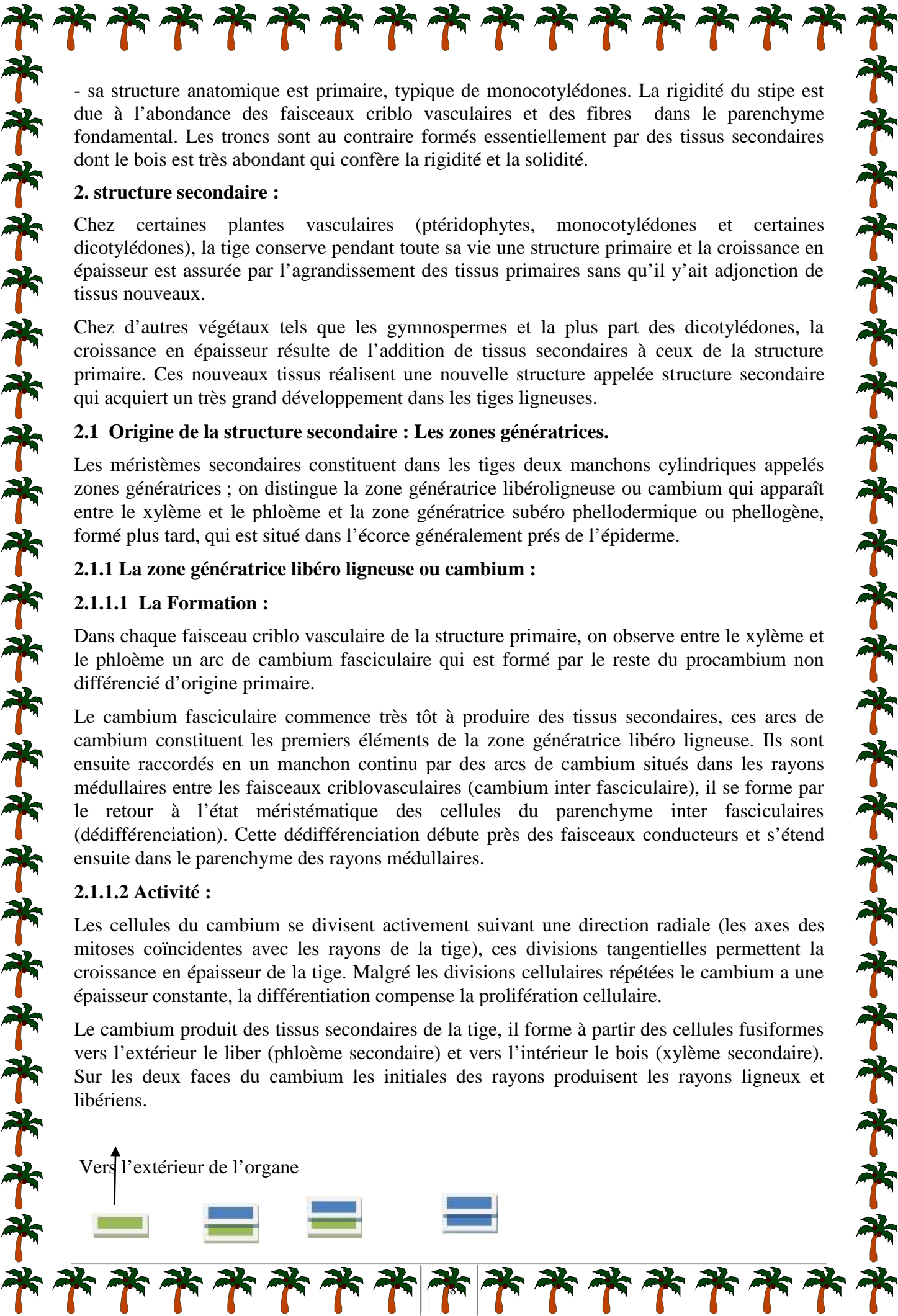
1.2 Structure primaire de la tige chez les angiospermes monocotylédones.

Sur une coupe transversale d'une tige d'asperge, on observe les tissus suivants :

- * Un épiderme formé d'une assise de cellules fortement chitinisées et contient des stomates.
- * Un parenchyme fondamental contenant de nombreux faisceaux criblo vasculaires disposés sur un grand nombre de cercles concentriques (la grosseur du faisceau diminue du centre vers la périphérie et pas de distinction entre l'écorce et la moelle). * Un anneau continu de sclérenchyme enserre les faisceaux conducteurs les plus externes. Chaque faisceau criblo vasculaire est collatéral (xylème et phloème superposés) ; le xylème est en forme de v dont les branches couvrent latéralement le phloème. Le point du v est le pôle ligneux dont les trachéides de petit calibre (protoxylème) sont écrasés dans les faisceaux âgés. Le phloème est formé de tubes criblés et de cellules campagnes, les tubes criblés du protophloème sont de petits calibres et peuvent être écrasés, ceux du métaphloème de grand calibre sont appliqués contre le xylème. (Pas de cambium intercalaire ou fasciculaire).

Chez le palmier dattier, la tige est appelée stipe, chaume chez les graminées, elle est puissante, dressée, malgré sa taille et son port ne doit pas être confondue avec le tronc des gymnospermes et des dicotylédones arborescentes, il diffère par les caractères suivants :

- Il n'est pas ramifié, alors qu'un tronc soutient plusieurs branches, le stipe s'achève par un bourgeon et un bouquet de feuilles (palmes) pressées les unes aux autres, les entres nœuds sont pratiquement inexistantes.



- sa structure anatomique est primaire, typique de monocotylédones. La rigidité du stipe est due à l'abondance des faisceaux criblo vasculaires et des fibres dans le parenchyme fondamental. Les troncs sont au contraire formés essentiellement par des tissus secondaires dont le bois est très abondant qui confère la rigidité et la solidité.

2. structure secondaire :

Chez certaines plantes vasculaires (ptéridophytes, monocotylédones et certaines dicotylédones), la tige conserve pendant toute sa vie une structure primaire et la croissance en épaisseur est assurée par l'agrandissement des tissus primaires sans qu'il y ait adjonction de tissus nouveaux.

Chez d'autres végétaux tels que les gymnospermes et la plus part des dicotylédones, la croissance en épaisseur résulte de l'addition de tissus secondaires à ceux de la structure primaire. Ces nouveaux tissus réalisent une nouvelle structure appelée structure secondaire qui acquiert un très grand développement dans les tiges ligneuses.

2.1 Origine de la structure secondaire : Les zones génératrices.

Les méristèmes secondaires constituent dans les tiges deux manchons cylindriques appelés zones génératrices ; on distingue la zone génératrice libéroligneuse ou cambium qui apparaît entre le xylème et le phloème et la zone génératrice subéro phellodermique ou phellogène, formé plus tard, qui est situé dans l'écorce généralement près de l'épiderme.

2.1.1 La zone génératrice libéro ligneuse ou cambium :

2.1.1.1 La Formation :

Dans chaque faisceau criblo vasculaire de la structure primaire, on observe entre le xylème et le phloème un arc de cambium fasciculaire qui est formé par le reste du procambium non différencié d'origine primaire.

Le cambium fasciculaire commence très tôt à produire des tissus secondaires, ces arcs de cambium constituent les premiers éléments de la zone génératrice libéro ligneuse. Ils sont ensuite raccordés en un manchon continu par des arcs de cambium situés dans les rayons médullaires entre les faisceaux criblovasculaires (cambium inter fasciculaire), il se forme par le retour à l'état méristématique des cellules du parenchyme inter fasciculaires (dédifférenciation). Cette dédifférenciation débute près des faisceaux conducteurs et s'étend ensuite dans le parenchyme des rayons médullaires.

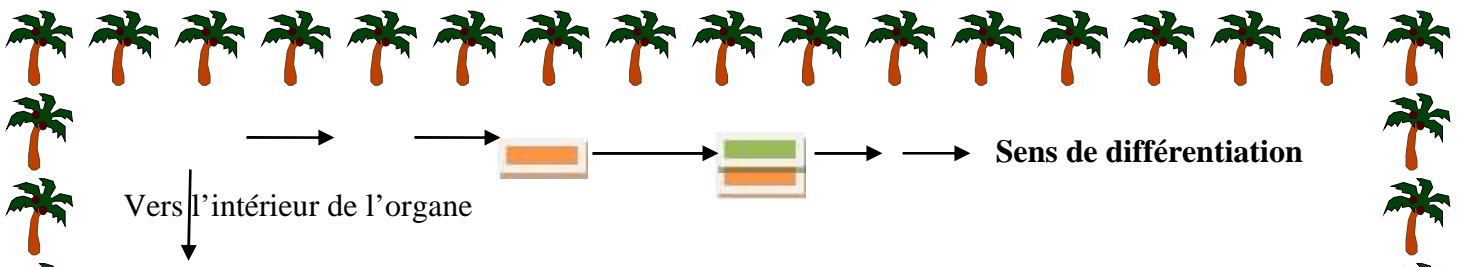
2.1.1.2 Activité :




Les cellules du cambium se divisent activement suivant une direction radiale (les axes des mitoses coïncidentes avec les rayons de la tige), ces divisions tangentielles permettent la croissance en épaisseur de la tige. Malgré les divisions cellulaires répétées le cambium a une épaisseur constante, la différenciation compense la prolifération cellulaire.

Le cambium produit des tissus secondaires de la tige, il forme à partir des cellules fusiformes vers l'extérieur le liber (phloème secondaire) et vers l'intérieur le bois (xylème secondaire). Sur les deux faces du cambium les initiales des rayons produisent les rayons ligneux et libériens.

Vers l'extérieur de l'organe





 : Cellule cambiale
  : Cellule du lib
  : Cellule du bois

Les initiales d'un rayon peuvent disparaître et le rayon qui leur correspond prend alors fin. Il peut aussi s'en former par cloisonnement des cellules fusiformes et un nouveau rayon commence alors à apparaître.

L'activité du cambium est saisonnière, elle a eu lieu au printemps et en été dans les régions à climat tempéré et pendant la saison des pluies dans les régions où le régime des pluies définit le climat. Cette activité débute dans les jeunes tiges, généralement avec le débourrement des bourgeons, puis gagnent successivement les branches, le tronc et enfin les racines, l'arrêt de l'activité cambiale se fait dans le même ordre.

2.1.2 La zone génératrice subéro phellodermique ou phellogène :

Cette zone apparaît plus tardivement que le cambium (une ou plusieurs années après), chez les végétaux herbacés présentant une structure secondaire, cette zone ne se forme pas.

2.1.2.1 La formation

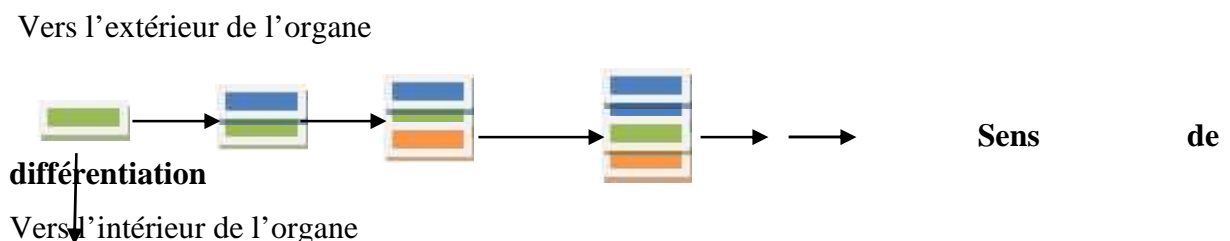
Le plus souvent elle se constitue à partir de l'assise cellulaire sous épidermique mais elle peut être plus profondément dans l'écorce (exemple du pin) et parfois dans le phloème primaire (exemple : vigne, cyprès). Quelque soit son lieu de formation, cette zone résulte d'une dédifférenciation de cellules parenchymateuses et souvent même de cellule du collenchyme (cas des assises sous épidermiques).

Les premières divisions qui marquent le début d'une zone subéro phellodermique peuvent apparaître de façon continue tout autour de la tige, mais le plus souvent elles se forment dans des zones localisées qui correspondent aux futures lenticelles puis s'étendent ensuite sur tout le pourtour de la tige.

2.1.2.2 L'activité :




Comme celle du cambium, les cellules de cette zone se divisent selon une direction radiale. Le premier tissu formé par cette zone est le lige ou suber qui se différencie sur la face externe, sur la face interne apparaissent quelques assises d'un tissu parenchymateux pouvant être chlorophyllien (Phelloderme). Comme le cambium, cette zone présente une activité saisonnière.

La zone subéro phellodermique et les tissus produits forment un ensemble protecteur appelé périderme.



Vers l'intérieur de l'organe



 : Cellule du phellogène  : Cellule du su  : Cellule du phelloderme

2.2 Structure secondaire des tiges ligneuses :

2.2.1 Disposition des tissus conducteurs secondaires:

Lorsque le manchon du cambium est formé, la formation de tissus secondaires sur les deux faces peut se réaliser suivant deux modèles :

1- Le liber et le bois ne sont produits qu'au niveau des faisceaux conducteurs de la structure primaire par le cambium fasciculaire. Dans les rayons médullaires primaires, le cambium inter fasciculaire ne forme pas de tissus conducteurs mais un parenchyme secondaire constituant de larges rayons ligneux et libériens (exemple : vigne ; hêtre), il en résulte la formation d'un anneau discontinu de tissus conducteurs secondaires (pachyte discontinu, pachyte = épaisseur).

2- Le liber et le bois sont formés sur toute l'étendue du cambium. Il en résulte la formation d'un anneau continu de tissus conducteurs ne présentant que d'étroits rayons ligneux et libériens (pachyte continu des conifères, chêne,...).

Le bois d'une tige ligneuse âgée de trois ans est disposé en couches concentriques (cernes), l'épaisseur de chaque couche correspond à l'épaisseur du bois formé pendant une année par le cambium. Elle comprend un bord interne clair (bois du printemps ou bois initial) et un bois externe foncé (bois d'automne ou bois final).

L'épaisseur de ces couches est variable, elle est de quelques millimètres (cas du chêne) à quelques centimètres (cas du saule, peuplier). Chez les angiospermes (bois hétéroxylé), le bois initial renferme des vaisseaux nombreux et peu de fibres et le bois final renferme peu de vaisseaux, étroits et beaucoup de fibres. Chez les gymnospermes (bois homoxylé), les trachéides du bois initial sont beaucoup plus larges que celles du bois final.

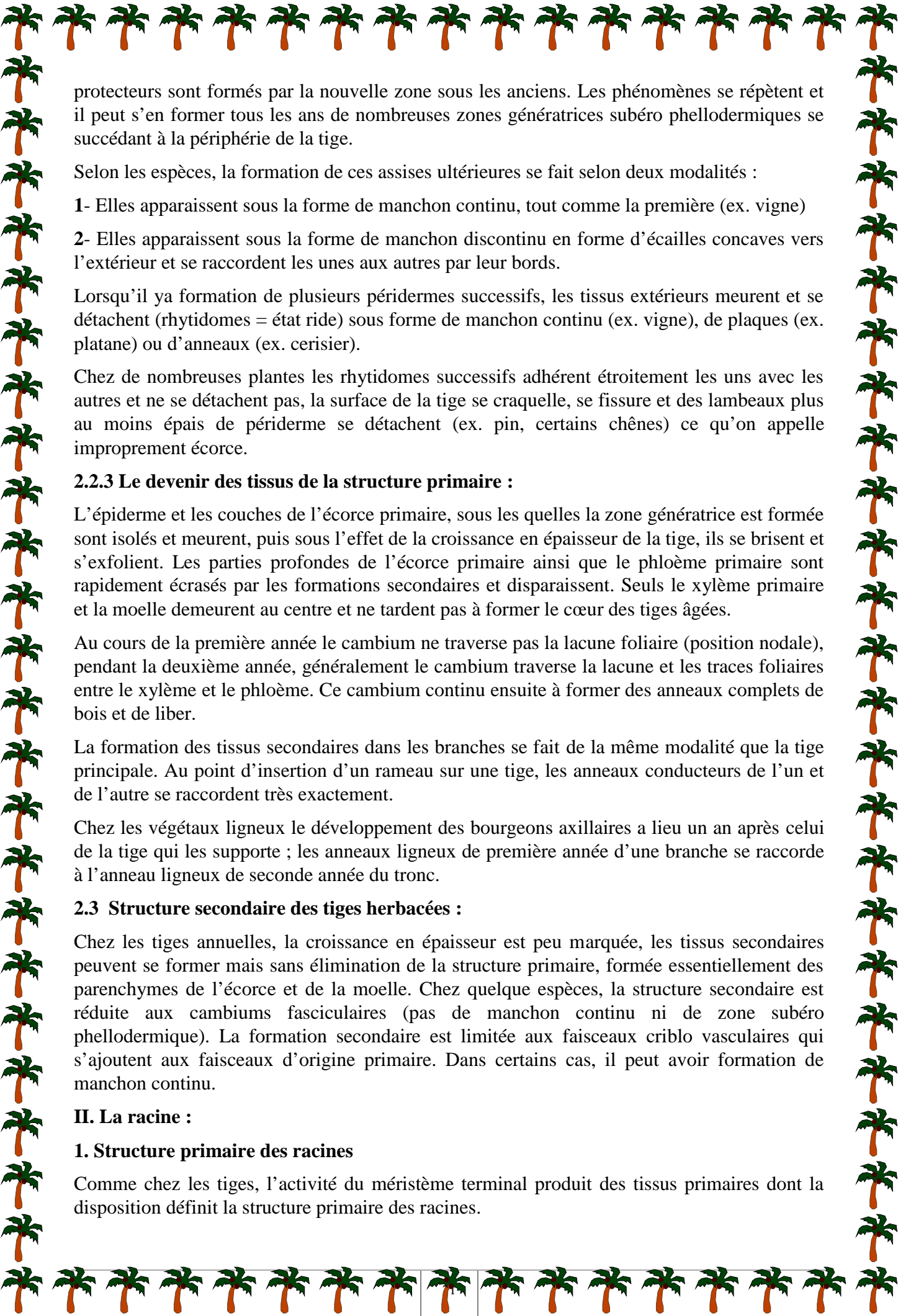
Comme le bois le liber est formé de couches concentriques dont chacune correspond à l'épaisseur du liber formé pendant une année par le cambium. Les couches annuelles du liber sont peu épaisses, réduites à de minces feuillets de quelques dixièmes de millimètre. Souvent les feuillets plus externes se désagrègent puis sont résorbés. Chaque couche annuelle de liber correspond à un liber initial formé de tubes criblés larges et nombreuses et un liber final à tubes criblés étroits.

2.2.2 Disposition des tissus protecteurs secondaires (périderme):

Lorsque la zone génératrice subérophellodermique est formée, la prolifération puis la différenciation de ces cellules produisent du liège, épais à l'extérieur, du phelloderme réduit à l'intérieur. Le liège est souvent formé de couches annuelles ; liège initial, à large cellules et un liège final à cellules étroites.

La zone génératrice formée dans l'écorce persiste et fonctionne durant toute la vie de la plante ou au moins durant de nombreuses années. Au début de son fonctionnement, la couche de liège est mince, la surface de la tige ligneuse débarrassée de son épiderme est lisse et quand cette couche devient épaisse, la surface de la tige se fissure et se craquelle (la surface extérieure est mécaniquement brisée par la croissance en épaisseur).

Dans la plus part du temps, la première zone formée sera remplacée par une seconde qui se différencie sous elle dans le phloème. La première cesse de fonctionner et de nouveaux tissus



protecteurs sont formés par la nouvelle zone sous les anciens. Les phénomènes se répètent et il peut s'en former tous les ans de nombreuses zones génératrices subéro phellodermiques se succédant à la périphérie de la tige.

Selon les espèces, la formation de ces assises ultérieures se fait selon deux modalités :

- 1- Elles apparaissent sous la forme de manchon continu, tout comme la première (ex. vigne)
- 2- Elles apparaissent sous la forme de manchon discontinu en forme d'écailles concaves vers l'extérieur et se raccordent les unes aux autres par leur bords.

Lorsqu'il ya formation de plusieurs péridermes successifs, les tissus extérieurs meurent et se détachent (rhytidomes = état ride) sous forme de manchon continu (ex. vigne), de plaques (ex. platane) ou d'anneaux (ex. cerisier).

Chez de nombreuses plantes les rhytidomes successifs adhèrent étroitement les uns avec les autres et ne se détachent pas, la surface de la tige se craquelle, se fissure et des lambeaux plus au moins épais de périderme se détachent (ex. pin, certains chênes) ce qu'on appelle improprement écorce.

2.2.3 Le devenir des tissus de la structure primaire :

L'épiderme et les couches de l'écorce primaire, sous lesquelles la zone génératrice est formée sont isolés et meurent, puis sous l'effet de la croissance en épaisseur de la tige, ils se brisent et s'exfolient. Les parties profondes de l'écorce primaire ainsi que le phloème primaire sont rapidement écrasés par les formations secondaires et disparaissent. Seuls le xylème primaire et la moelle demeurent au centre et ne tardent pas à former le cœur des tiges âgées.

Au cours de la première année le cambium ne traverse pas la lacune foliaire (position nodale), pendant la deuxième année, généralement le cambium traverse la lacune et les traces foliaires entre le xylème et le phloème. Ce cambium continu ensuite à former des anneaux complets de bois et de liber.

La formation des tissus secondaires dans les branches se fait de la même modalité que la tige principale. Au point d'insertion d'un rameau sur une tige, les anneaux conducteurs de l'un et de l'autre se raccordent très exactement.

Chez les végétaux ligneux le développement des bourgeons axillaires a lieu un an après celui de la tige qui les supporte ; les anneaux ligneux de première année d'une branche se raccorde à l'anneau ligneux de seconde année du tronc.

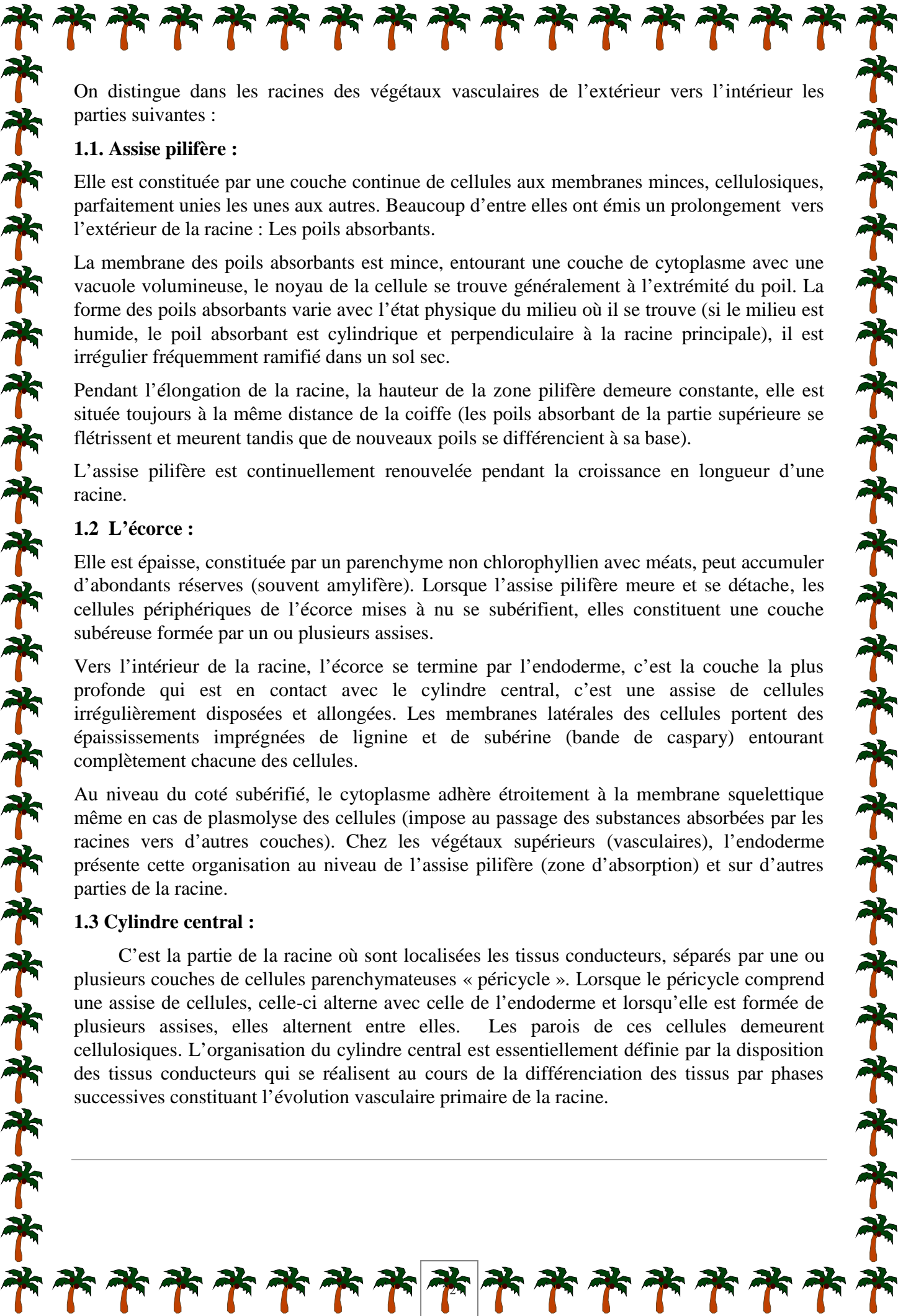
2.3 Structure secondaire des tiges herbacées :

Chez les tiges annuelles, la croissance en épaisseur est peu marquée, les tissus secondaires peuvent se former mais sans élimination de la structure primaire, formée essentiellement des parenchymes de l'écorce et de la moelle. Chez quelque espèces, la structure secondaire est réduite aux cambiums fasciculaires (pas de manchon continu ni de zone subéro phellodermique). La formation secondaire est limitée aux faisceaux criblo vasculaires qui s'ajoutent aux faisceaux d'origine primaire. Dans certains cas, il peut avoir formation de manchon continu.

II. La racine :

1. Structure primaire des racines

Comme chez les tiges, l'activité du méristème terminal produit des tissus primaires dont la disposition définit la structure primaire des racines.



On distingue dans les racines des végétaux vasculaires de l'extérieur vers l'intérieur les parties suivantes :

1.1. Assise pilifère :

Elle est constituée par une couche continue de cellules aux membranes minces, cellulósiques, parfaitement unies les unes aux autres. Beaucoup d'entre elles ont émis un prolongement vers l'extérieur de la racine : Les poils absorbants.

La membrane des poils absorbants est mince, entourant une couche de cytoplasme avec une vacuole volumineuse, le noyau de la cellule se trouve généralement à l'extrémité du poil. La forme des poils absorbants varie avec l'état physique du milieu où il se trouve (si le milieu est humide, le poil absorbant est cylindrique et perpendiculaire à la racine principale), il est irrégulier fréquemment ramifié dans un sol sec.

Pendant l'élongation de la racine, la hauteur de la zone pilifère demeure constante, elle est située toujours à la même distance de la coiffe (les poils absorbant de la partie supérieure se flétrissent et meurent tandis que de nouveaux poils se différencient à sa base).

L'assise pilifère est continuellement renouvelée pendant la croissance en longueur d'une racine.

1.2 L'écorce :

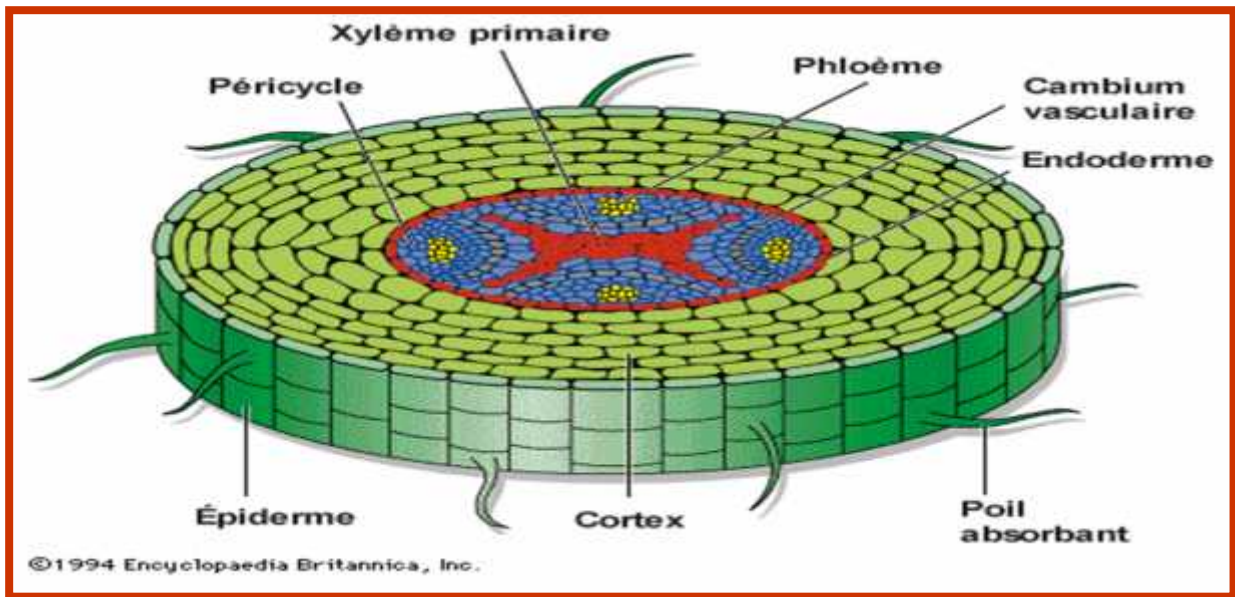
Elle est épaisse, constituée par un parenchyme non chlorophyllien avec méats, peut accumuler d'abondants réserves (souvent amylofère). Lorsque l'assise pilifère meure et se détache, les cellules périphériques de l'écorce mises à nu se subérifient, elles constituent une couche subéreuse formée par un ou plusieurs assises.

Vers l'intérieur de la racine, l'écorce se termine par l'endoderme, c'est la couche la plus profonde qui est en contact avec le cylindre central, c'est une assise de cellules irrégulièrement disposées et allongées. Les membranes latérales des cellules portent des épaissements imprégnés de lignine et de subérine (bande de caspary) entourant complètement chacune des cellules.

Au niveau du coté subérifié, le cytoplasme adhère étroitement à la membrane squelettique même en cas de plasmolyse des cellules (impose au passage des substances absorbées par les racines vers d'autres couches). Chez les végétaux supérieurs (vasculaires), l'endoderme présente cette organisation au niveau de l'assise pilifère (zone d'absorption) et sur d'autres parties de la racine.

1.3 Cylindre central :

C'est la partie de la racine où sont localisées les tissus conducteurs, séparés par une ou plusieurs couches de cellules parenchymateuses « péricycle ». Lorsque le péricycle comprend une assise de cellules, celle-ci alterne avec celle de l'endoderme et lorsqu'elle est formée de plusieurs assises, elles alternent entre elles. Les parois de ces cellules demeurent cellulósiques. L'organisation du cylindre central est essentiellement définie par la disposition des tissus conducteurs qui se réalisent au cours de la différenciation des tissus par phases successives constituant l'évolution vasculaire primaire de la racine.



Coupe schématique d'une racine

2. Racines des spermaphytes (Angiospermes et gymnospermes):

2.1 Racines à évolution vasculaire complète : (cas de la fève : *Faba vulgaris* L.)

L'organisation du cylindre central est étudié sur des coupes transversales de racines, à la même distance du collet, dans des racines plus en plus âgées. On suit toutes les étapes de l'évolution des tissus conducteurs primaires dans le cylindre central.

1^{ère} coupe : Elle montre le début de la différenciation dans le cylindre central ; contre le péricycle on observe en quatre points quelques tubes criblés du protophloème, le reste du cylindre central est indifférencié.

2^{ème} coupe : Le métaphloème est différencié « centripète », il contient des fibres sclérifiées à parois peu épaissies. En alternance avec les massifs du phloème, contre le péricycle quatre faisceaux du xylème sont différenciés. Le pôle ligneux (protoxylème) de chacun d'eux est adossé au péricycle, les vaisseaux se différencient dans une orientation centripète. Ils constituent alors le xylème alterne à différenciation centripète.

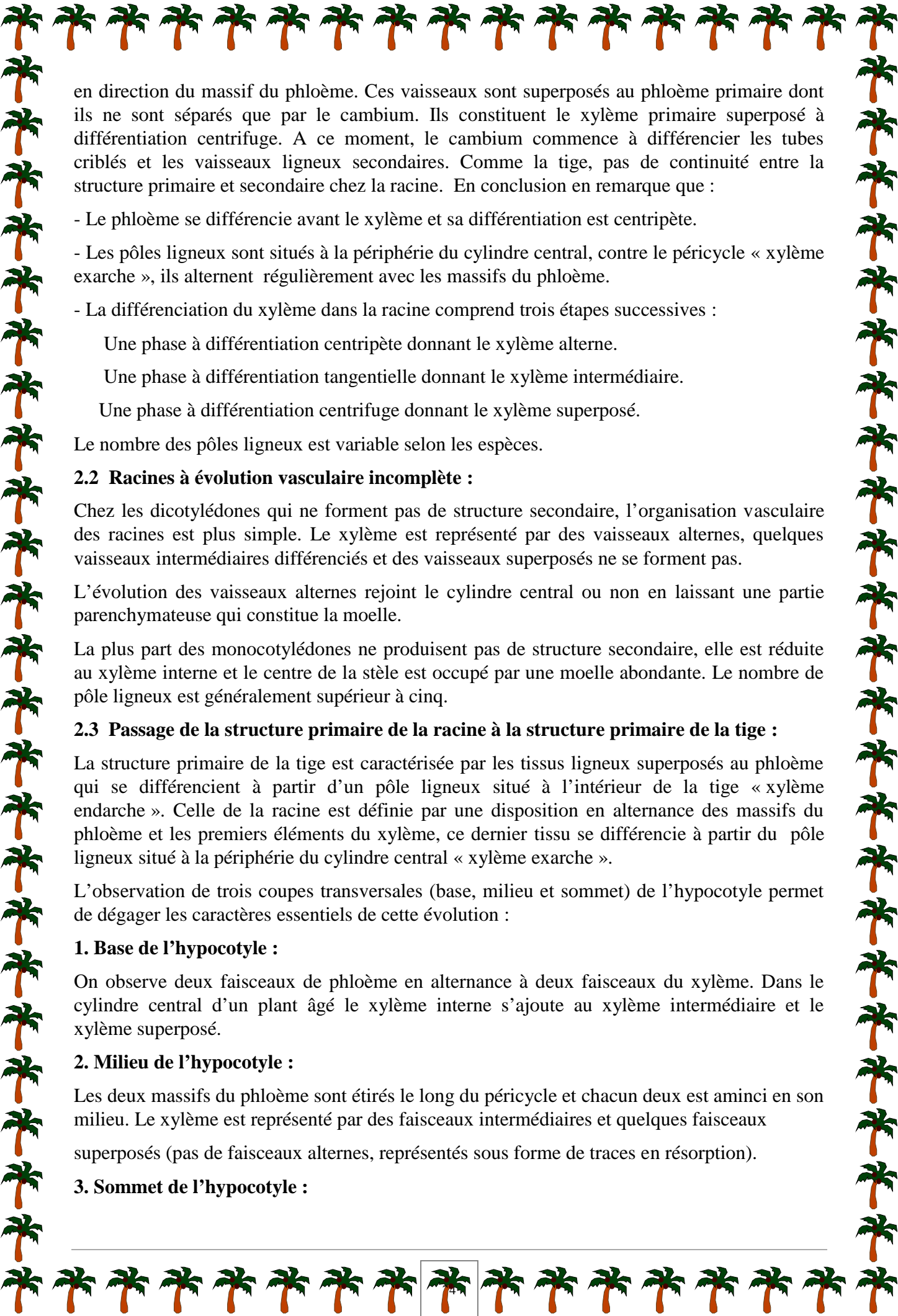
Par ailleurs, on remarque dans les cellules situées contre le bord interne des faisceaux du phloème des cloisonnements qui marquent le début de la formation d'un cambium précoce.

3^{ème} coupe : Les quatre faisceaux du phloème primaires sont complètement différenciés et de nombreux éléments du protophloème sont écrasés et résorbés.

Aux vaisseaux du xylème alterne centripète s'ajoute de nouveaux vaisseaux qui se sont différenciés tangentiellement (parallèle au bord du péricycle)). Ils constituent le xylème intermédiaire à différenciation tangentielle.

Un manchon continu du cambium est formé à partir des cellules du péricycle au niveau des pôles ligneux et les arcs du cambium de la face interne du phloème. A ce stade il prend un contour sinueux (il passe sur la face interne du phloème et le contour externe des pôles ligneux).

4^{ème} coupe : Elle présente la dernière phase de la différenciation du xylème primaire. Les derniers vaisseaux du xylème différenciés sont formés de l'intérieur de la stèle vers l'extérieur



en direction du massif du phloème. Ces vaisseaux sont superposés au phloème primaire dont ils ne sont séparés que par le cambium. Ils constituent le xylème primaire superposé à différenciation centrifuge. A ce moment, le cambium commence à différencier les tubes criblés et les vaisseaux ligneux secondaires. Comme la tige, pas de continuité entre la structure primaire et secondaire chez la racine. En conclusion en remarque que :

- Le phloème se différencie avant le xylème et sa différenciation est centripète.
- Les pôles ligneux sont situés à la périphérie du cylindre central, contre le péricycle « xylème exarche », ils alternent régulièrement avec les massifs du phloème.
- La différenciation du xylème dans la racine comprend trois étapes successives :

Une phase à différenciation centripète donnant le xylème alterne.

Une phase à différenciation tangentielle donnant le xylème intermédiaire.

Une phase à différenciation centrifuge donnant le xylème superposé.

Le nombre des pôles ligneux est variable selon les espèces.

2.2 Racines à évolution vasculaire incomplète :

Chez les dicotylédones qui ne forment pas de structure secondaire, l'organisation vasculaire des racines est plus simple. Le xylème est représenté par des vaisseaux alternes, quelques vaisseaux intermédiaires différenciés et des vaisseaux superposés ne se forment pas.

L'évolution des vaisseaux alternes rejoint le cylindre central ou non en laissant une partie parenchymateuse qui constitue la moelle.

La plus part des monocotylédones ne produisent pas de structure secondaire, elle est réduite au xylème interne et le centre de la stèle est occupé par une moelle abondante. Le nombre de pôle ligneux est généralement supérieur à cinq.

2.3 Passage de la structure primaire de la racine à la structure primaire de la tige :

La structure primaire de la tige est caractérisée par les tissus ligneux superposés au phloème qui se différencient à partir d'un pôle ligneux situé à l'intérieur de la tige « xylème endarche ». Celle de la racine est définie par une disposition en alternance des massifs du phloème et les premiers éléments du xylème, ce dernier tissu se différencie à partir du pôle ligneux situé à la périphérie du cylindre central « xylème exarche ».

L'observation de trois coupes transversales (base, milieu et sommet) de l'hypocotyle permet de dégager les caractères essentiels de cette évolution :

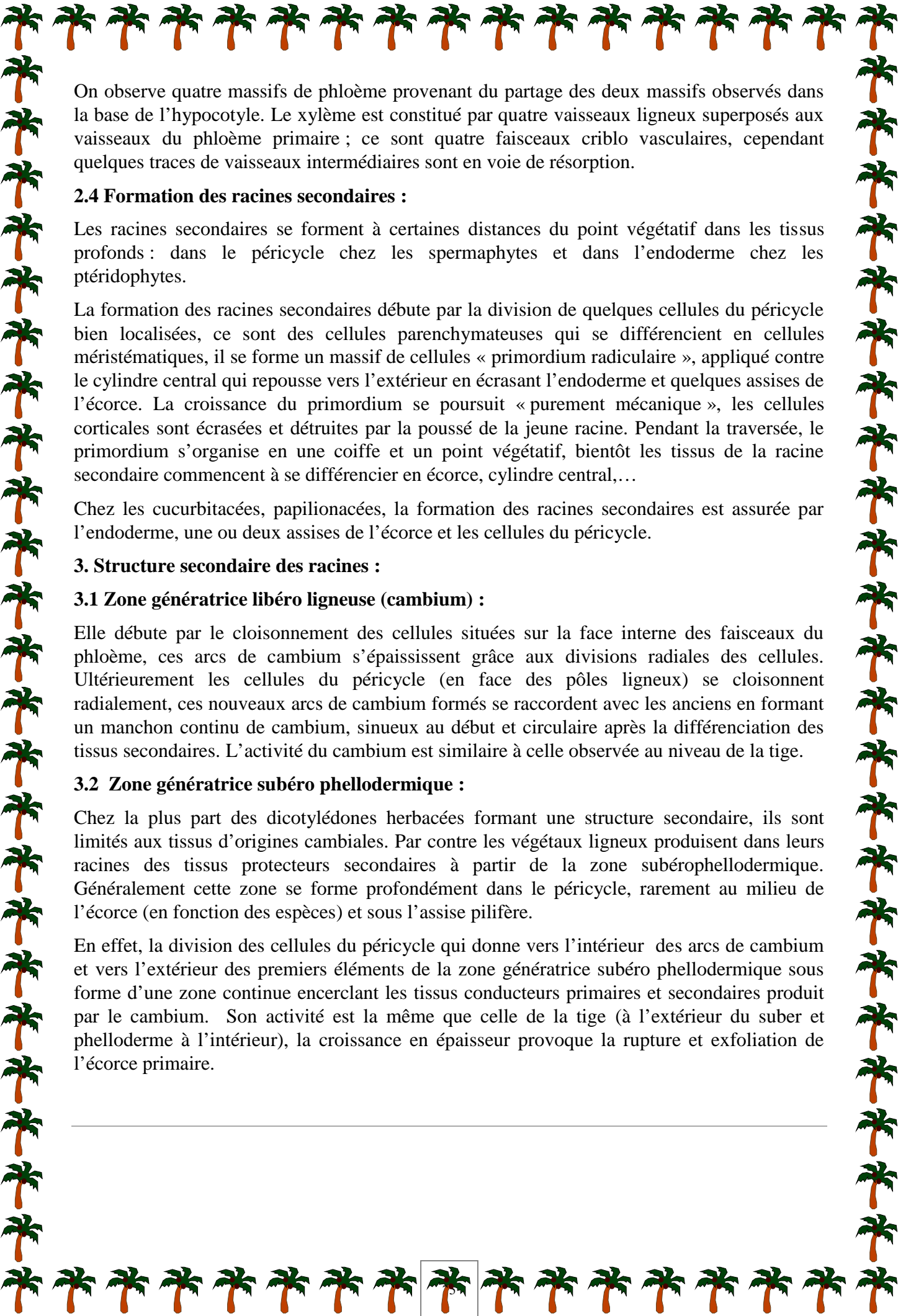
1. Base de l'hypocotyle :

On observe deux faisceaux de phloème en alternance à deux faisceaux du xylème. Dans le cylindre central d'un plant âgé le xylème interne s'ajoute au xylème intermédiaire et le xylème superposé.

2. Milieu de l'hypocotyle :

Les deux massifs du phloème sont étirés le long du péricycle et chacun deux est aminci en son milieu. Le xylème est représenté par des faisceaux intermédiaires et quelques faisceaux superposés (pas de faisceaux alternes, représentés sous forme de traces en résorption).

3. Sommet de l'hypocotyle :



On observe quatre massifs de phloème provenant du partage des deux massifs observés dans la base de l'hypocotyle. Le xylème est constitué par quatre vaisseaux ligneux superposés aux vaisseaux du phloème primaire ; ce sont quatre faisceaux criblo vasculaires, cependant quelques traces de vaisseaux intermédiaires sont en voie de résorption.

2.4 Formation des racines secondaires :

Les racines secondaires se forment à certaines distances du point végétatif dans les tissus profonds : dans le péricycle chez les spermatophytes et dans l'endoderme chez les ptéridophytes.

La formation des racines secondaires débute par la division de quelques cellules du péricycle bien localisées, ce sont des cellules parenchymateuses qui se différencient en cellules méristématiques, il se forme un massif de cellules « primordium radulaire », appliqué contre le cylindre central qui repousse vers l'extérieur en écrasant l'endoderme et quelques assises de l'écorce. La croissance du primordium se poursuit « purement mécanique », les cellules corticales sont écrasées et détruites par la poussée de la jeune racine. Pendant la traversée, le primordium s'organise en une coiffe et un point végétatif, bientôt les tissus de la racine secondaire commencent à se différencier en écorce, cylindre central,...

Chez les cucurbitacées, papilionacées, la formation des racines secondaires est assurée par l'endoderme, une ou deux assises de l'écorce et les cellules du péricycle.

3. Structure secondaire des racines :

3.1 Zone génératrice libéro ligneuse (cambium) :

Elle débute par le cloisonnement des cellules situées sur la face interne des faisceaux du phloème, ces arcs de cambium s'épaississent grâce aux divisions radiales des cellules. Ultérieurement les cellules du péricycle (en face des pôles ligneux) se cloisonnent radialement, ces nouveaux arcs de cambium formés se raccordent avec les anciens en formant un manchon continu de cambium, sinueux au début et circulaire après la différenciation des tissus secondaires. L'activité du cambium est similaire à celle observée au niveau de la tige.

3.2 Zone génératrice subéro phellodermique :

Chez la plus part des dicotylédones herbacées formant une structure secondaire, ils sont limités aux tissus d'origines cambiales. Par contre les végétaux ligneux produisent dans leurs racines des tissus protecteurs secondaires à partir de la zone subéro phellodermique. Généralement cette zone se forme profondément dans le péricycle, rarement au milieu de l'écorce (en fonction des espèces) et sous l'assise pilifère.

En effet, la division des cellules du péricycle qui donne vers l'intérieur des arcs de cambium et vers l'extérieur des premiers éléments de la zone génératrice subéro phellodermique sous forme d'une zone continue encerclant les tissus conducteurs primaires et secondaires produit par le cambium. Son activité est la même que celle de la tige (à l'extérieur du suber et phelloderme à l'intérieur), la croissance en épaisseur provoque la rupture et exfoliation de l'écorce primaire.