

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique

Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie et
Sciences de la Terre

Département de Biologie

جامعة غرداية



Université de Ghardaïa

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم
الأرض

قسم البيولوجيا

Cours de Biologie

Végétale

1^{ère} Année LMD

Conçu et Préparé par :
M. BENKHERARA Salah

Semestre : 2^{ème} Semestre/ UE : Unité d'Enseignement Fondamentale/ Matière 2 : BIOLOGIE VEGETALE GENERALE

Objectifs de l'enseignement

L'objectif de cette matière est d'inculquer aux étudiants les principes fondamentaux de l'organisation tissulaire des plantes, leurs appareils végétatifs et reproducteurs et leurs développements.

Connaissances préalables recommandées : Cette discipline est fondée sur la cytologie et les méthodes d'explorations (microscopie). L'étudiant doit avoir certaines notions sur les différentes parties d'un végétal.

CONTENU DE LA MATIERE :

INTRODUCTION

1. TYPES DE TISSUS VEGETAUX

1.1. Méristème primaire (racinaire et caulinaire)

1.1.1. Tissus primaires

1.1.1.1. Tissus protecteurs (épiderme et rhizoderme)

1.1.1.2. Tissus de remplissage (parenchyme)

1.1.1.3. Tissus de soutien (collenchyme et sclérenchyme)

1.1.1.4. Tissus conducteurs (xylème primaire, phloème primaire)

1.1.1.5. Tissus sécréteurs

1.2. Méristèmes secondaires (le cambium et le phellogène)

1.2.1. Tissus secondaires

1.2.1.1. Tissus conducteurs (xylème secondaire (bois) et phloème secondaire (liber))

1.2.1.2. Tissus protecteurs (suber ou liège, phelloderme)

2. ANATOMIE DES VEGETAUX SUPERIEURS

2.1. Etude de la tige

2.2. Etude de la racine

2.3. Etude de la feuille

2.4. Anatomie comparée entre feuilles mono et dicotylédones

3. MORPHOLOGIE DES VEGETAUX SUPERIEURS ET ADAPTATION

- 3.1. Tige
- 3.2. Feuilles
- 3.3. Racine
- 3.4. Fleurs
- 3.5. Inflorescences
- 3.6. Graines
- 3.7. Fruits

4. GAMETOGENESE, POLINISATION ET FECONDATION

Cycle de développement des Angiospermes

1. Reproduction agame
2. Reproduction sexuée
 - 2.1. Ovule et sac embryonnaire
 - 2.2. Grain de pollen
 - 2.3. Pollinisation et fécondation
 - 2.4. Développement de zygote : graine et fruits

RÉFÉRENCES

Alain Raveneau *et al.*, 2014- Biologie végétale. Ed. De Boeck, 733p.

Jean-Claude Laberche. 2004- Biologie végétale. Ed. Dunod, Paris, 270p.

Morot-Gaudry Jean François *et al.*, 2009- Biologie végétale : Nutrition et métabolisme. Ed. Dunod, Paris, 224p.

Paul Ozenda. 2000- Les végétaux : Organisation et diversité biologique. Ed. Dunod, Paris, 516p.

René Heller *et al.*, 2005- Physiologie végétale : Tome 1, Nutrition. Ed. Dunod, Paris, 209p.

INTRODUCTION

Le monde végétal contient un nombre très important de plantes qui vivent dans notre environnement. Elles présentent la principale source de nourriture directe ou indirecte et se sont considérées comme des fournisseurs de l'énergie nécessaire à notre vie et sont aussi indispensables à la survie des autres êtres vivants.

Ces plantes ou espèces végétales se distinguent des individus appartenant aux autres règnes par un certain nombre de critères qui leur sont spécifiques. Ces critères sont comme suit :

- Elles sont autotrophes :

C'est la propriété de photosynthèse qu'ont en commun tous les végétaux. Autrement dit, les plantes se caractérisent par l'acquisition d'un ensemble de pigments présents dans les chloroplastes des cellules de leur parties aériennes, principalement la chlorophylle, avec lesquels peuvent utiliser le dioxyde de carbone aérien et transformer l'énergie solaire en énergie chimique en produisant des molécules organiques plus ou moins complexes.

- Elles se caractérisent par des modalités de croissance originales :

Contrairement aux animaux et autres êtres vivants qui atteignent plus ou moins rapidement une taille définitive, les plantes continuent à croître jusqu'à leur mort. Cela est lié certainement à la présence des zones de croissance appelées méristèmes (tissus jeunes indifférenciés), responsables de l'accroissement en longueur (méristèmes primaires) et en épaisseur (méristèmes secondaires) et c'est pour ça qu'on trouve parfois des plantes de très grande taille pouvant atteindre 100 mètres ou plus (notamment chez certains arbres ligneux tels que les conifères).

- Elles possèdent un cycle de vie alternant différentes générations :

C'est considérée comme une des plus importantes particularités des végétaux. Chez les mammifères (exemple type des animaux), la femelle donne naissance à un petit qui sera identique à ce qu'elle était elle-même à sa naissance. Cela vient du fait que, chez les géniteurs, la méiose débouche directement sur la formation des gamètes. Chez les végétaux, la méiose n'aboutit pratiquement jamais à la formation des gamètes mais à celle de cellules haploïdes appelées spores: isospores si elles sont toutes identiques, hétérospores si elles se distinguent en deux catégories: microspores pour les organes sexuels mâles et macrospores pour les organes sexuels femelles. Ces spores, après une phase de développement plus ou moins importante, donnent naissance à un nouvel organisme (le gamétophyte) qui ne

ressemble en rien à la génération parentale (bien souvent). Il y a donc généralement un gamétophyte mâle issu de la microspore et un gamétophyte femelle engendré par la macrospore. Ces gamétophytes peuvent être autonomes et chlorophylliens (Algues, Mousses, Fougères ...) ou bien parasite de la génération sporophytique (Conifères, Plantes à fleurs). Lorsqu'ils arriveront au terme de leur développement, ils vont différencier des gamètes mâles et femelles. La fécondation intervient alors et le zygote qui en résulte entame un développement qui aboutit à l'édification d'un nouvel organisme: le sporophyte de la génération suivante qui sera également identique au sporophyte de la précédente génération. Cette alternance de générations "sporophyte-gamétophyte" constitue le cycle biologique de la plante.

- Elles sont formées de cellules ayant une paroi végétale pectocellulosique :

Toutes les cellules végétales sont délimitées par une paroi pectocellulosique qui s'est formée suite à la sécrétion de la cellulose et de quelques autres polysaccharides. Cette paroi est en principe souple et plus ou moins fragile tant que la cellule est en croissance mais elle devient peu à peu rigide pour protéger la cellule et jouer ainsi un rôle essentiel dans la rigidité et le port dressé de la plante.

- Elles sont immobiles :

Les plantes sont majoritairement immobiles et fixées à un substrat grâce à la présence d'un appareil racinaire (racines, rhizoïdes, crampons, etc...)

1. TYPES DE TISSUS VEGETAUX :

1.1. Les méristèmes : (structures histogènes et organogènes)

Définition :

Les méristèmes sont des tissus indifférenciés dont les cellules se multiplient activement. Les tissus sont en général élaborés et mis en place par ces structures particulières que l'on rencontre spécifiquement chez les végétaux. Contrairement aux plantes inférieures (Algues, champignons, lichens) et intermédiaires (Bryophytes et Ptéridophytes), la formation des tissus (histogenèse) et l'apparition des organes (organogenèse) ne sont pas assurés, chez les plantes à fleurs (plantes supérieures), par des cellules méristématiques uniques pour chaque organe, mais par des régions homogènes spécialisées qui sont les méristèmes. Les premiers méristèmes se forment généralement à l'extrémité de la future tige et de la future racine (au niveau de l'embryon). Les divisions cellulaires au niveau de ces méristèmes commencent au moment de la germination des graines et permettent l'accroissement en longueur des tiges et des racines et même la formation des jeunes feuilles.

Ces méristèmes sont de deux types : primaires et secondaires. Les méristèmes primaires sont responsables de la croissance indéfinie du végétal (ontogénèse), dont l'activité mitotique se poursuit pendant toute la durée de vie de la plante et entraîne son développement continu jusqu'à sa mort. Les méristèmes secondaires, qui se forment par la suite et latéralement, produisent de nouveaux tissus et sont considérés histogènes car permettent la croissance en largeur (épaisseur) des tiges et des racines plus ou moins âgées des plantes supérieures (généralement dicotylédones).

Cytologie :

Pour ce qui est de la cytologie, les cellules méristématiques *primaires* sont complètement indifférenciées, petites, isodiamétriques (environ 10 µm de diamètre), sans méat et accolées les unes aux autres. La paroi primaire est mince, composée de cellulose et de composés pectiques, munies de nombreux plasmodesmes. Le cytoplasme est riche en ribosomes, le noyau est arrondi, volumineux et riche en chromatine; le rapport RNP (rapport nucléo-plasmique) est élevé. Le réticulum endoplasmique est moyennement développé mais actif et est à l'origine de différents compartiments cytoplasmiques (appareil de Golgi, vacuoles, lysosomes, etc.). Les vacuoles sont petites et nombreuses. Les mitochondries sont relativement nombreuses et peu structurées. Les plastides sont des proplastides, peu différenciés et de petite taille (1 µm de diamètre).

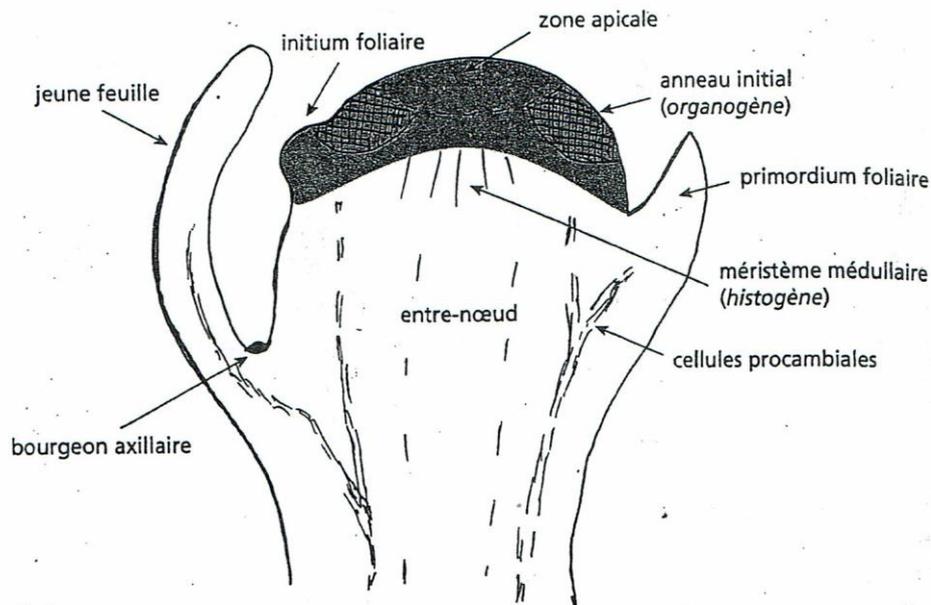
Quant aux méristèmes *secondaires*, les cellules sont allongées et sont disposées régulièrement selon l'axe longitudinal de l'organe. Elles possèdent un noyau plus ou moins étiré et se caractérisent par une ou deux vacuoles rejetant le cytoplasme à la périphérie.

1.1.1. Méristèmes primaires:

Les méristèmes primaires sont également de deux types : caulinaire et racinaire.

A/ Méristème caulinaire :

Les cellules du méristème de l'apex caulinaire ou encore appelé point végétatif caulinaire (de la tige) et sub-terminal se trouvent à l'intérieur d'un bourgeon terminal et produisent, par division mitotique, les nouveaux nœuds et nouvelles initiums foliaires qui vont se développer pour donner des jeunes feuilles; l'origine des feuilles est donc exogène. Ce méristème apical a un fonctionnement rythmique et l'intervalle du temps qui sépare deux initiations foliaires est appelé plastochrone.



Organisation et fonctionnement d'un méristème caulinaire

La zone apicale axiale (appelée zone quiescente) est formée de cellules vacuolisées qui se divisent rarement pendant la vie végétative de la plante. En dessous de cette zone se trouve le méristème médullaire qui s'est formé de cellules vacuolisées et plus ou moins aplaties. Par division mitotique plus ou moins rapide, ces cellules sont à l'origine du parenchyme médullaire qui peut être absent chez la plupart des Angiospermes aquatiques.

Le méristème latéral est en forme d'anneau (appelé aussi anneau initial). Ses cellules se divisent très activement et sont à l'origine des nouvelles feuilles. Lorsque le dôme apical atteint sa taille

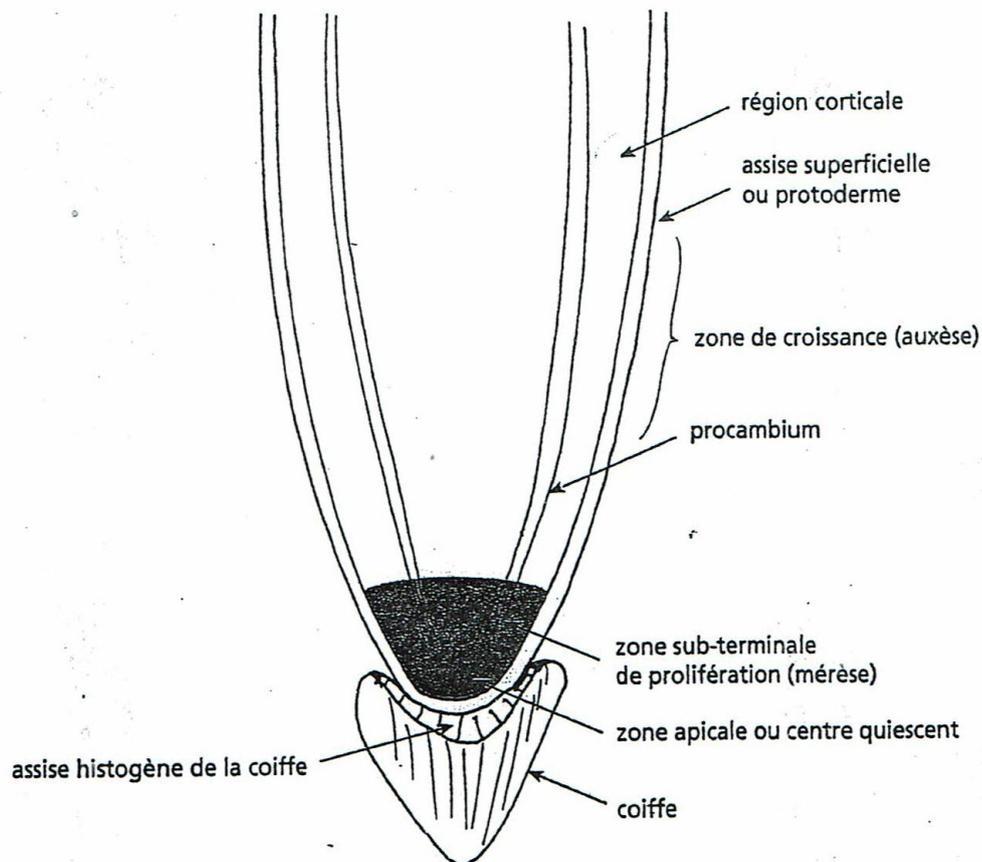
maximale, après plusieurs divisions mitotiques périclines (parallèles à la surface de l'apex), les *initiums* foliaires apparaissent au-dessus de l'apex, qui se développent par la suite pour former les *primordiums* foliaires qui sont à l'origine des *ébauches* foliaires puis des *jeunes* feuilles.

A partir des cellules procambiales qui apparaissent lors du développement des primordiums foliaires, le procambium se forme très rapidement. Celui-ci apparaît sous la forme d'un cordon longitudinal de cellules allongées, partant de la base des ébauches foliaires et se prolongeant dans l'entre-nœud sous-jacent. Il est à l'origine des tissus conducteurs primaires: xylème primaire et phloème primaire".

Ce primordium est à l'origine, par la suite, du méristème secondaire appelé Cambium.

B/ Méristème racinaire :

Le méristème racinaire, qui est en position sub-terminal, fonctionne d'une manière plus ou moins simple par rapport à celui de la tige, car l'édification de l'axe est continue.



Coupe longitudinale représentant l'organisation d'un méristème racinaire de blé

En effet, lorsqu'on parle du méristème racinaire, il n'y a aucune émission ou formation d'organes latéraux ni rythme de croissance. Il est constitué d'une zone axiale de forme lenticulaire: le *centre quiescent*. On n'y observe que peu de mitoses, ses cellules ont des petites vacuoles, la teneur en ARN et les synthèses y sont faibles. Au-dessus du centre quiescent, on observe latéralement le *méristème proximal*. C'est une zone de prolifération cellulaire sub-apicale avec des cellules moyennement isodiamétriques, riches en ribosomes et renferment des organites indifférenciés. Le rythme de divisions mitotiques y est élevé et la croissance peut atteindre une dizaine de millimètres par jour. Ce méristème *proximal* est à l'origine de l'écorce: endoderme, parenchyme cortical et rhizoderme.

Au centre de la jeune racine et au-dessus de la zone apicale ou centre quiescent, se trouve le procambium qui est formé de cellules plus ou moins allongées parallèlement à l'axe. Ce procambium est à l'origine du péricycle en périphérie et des tissus conducteurs (Xylème primaire et phloème primaire) dans sa partie centrale avec parfois du parenchyme médullaire. La racine est coiffée à l'extrémité par un manchon cellulaire qui s'appelle coiffe qui s'use lors de la pénétration de la racine dans le sol, malgré le lubrifiant (polysaccharides) sécrété par les cellules les plus externes. Cette coiffe peut se renouveler continuellement grâce à un méristème d'entretien adjacent au centre quiescent.

Contrairement aux rameaux latéraux de la partie aérienne qui sont complètement exogènes et portés par la tige ; l'émission des racines latérales est endogène car se fait à partir de tissus profonds de la partie souterraine. Elles apparaissent, à la suite de divisions périclines, par prolifération des cellules du péricycle à quelques centimètres de l'apex, après la différenciation des tissus primaires. Cette prolifération cellulaire forme un *primordium* racinaire qui va se prolonger entre les cellules de l'écorce pour se transformer en *ébauche* racinaire.

1.1.2. Méristèmes secondaires:

Deux méristèmes secondaires sont à l'origine des tissus secondaires des plantes et sont en principe responsables de l'accroissement en épaisseur des organes tige et racine des spermatophytes dicotylédones. Le premier est le cambium, se situe vers le centre de l'organe, le second est le phellogène qui se trouve vers la périphérie. Contrairement aux cellules des méristèmes primaires qui sont isodiamétriques, les cellules cambiales ont généralement une forme parallélépipédique allongée dans le sens de l'organe et sont souvent aplatie dans le sens radial. De même, leur rapport RNP est beaucoup plus faible par rapport à celui des cellules méristématiques primaires.

A/ Cambium :

Quand il y a un développement végétatif plus ou moins avancé, les cellules de procambium se transforment en cambium au niveau des entre-nœuds. Il y a donc apparition d'un nombre croissant de divisions périclines, produisant de nouvelles cellules alignées radialement. Ces cellules cambiales forment une zone génératrice libéro-ligneuse qui se localise toujours entre xylème et phloème primaires.

Les cellules cambiales sont soit *fusiformes très allongées* (150 à 9000 µm) à l'origine du bois ou xylème secondaire et du liber ou phloème secondaire (système vertical), soit *radiales presque isodiamétriques* à l'origine du parenchyme des rayons (système horizontal).

Les divisions de cette zone génératrice sont généralement périclines (c'est-à-dire parallèlement à la surface) ce qui entraîne une augmentation de diamètre et l'accroissement en épaisseur de l'organe. Parfois, des divisions anticlines (plan de division perpendiculaire à la surface) sont également observées, elles sont moyennement rapides et peu fréquentes mais permettent l'agrandissement de la circonférence cambiale.

La formation du xylème secondaire (bois) par des divisions multiples des cellules cambiales est à l'origine des cernes annuels concentriques, qui paraissent chaque année, et qui permettent de déterminer l'âge de la plante. Ces cernes résultent de la différence qui existe entre bois du printemps (bois initial) et bois d'été (bois final). Alors, l'étude de ces cernes annuels notamment au niveaux des tiges ou troncs des plantes porte le nom de la Dendrochronologie.

B/ Phellogène:

Le deuxième méristème secondaire (phellogène) ou assise subéro-phellogénique naît par différenciation plus ou moins profondes des cellules parenchymateuses situées en surface dans l'écorce. Ce tissu méristématique entre en activité de division, au niveau des entre-nœuds âgés, beaucoup plus tard par rapport au cambium et se trouve que dans les tiges et les racines des plantes ligneuses. Les divisions se font essentiellement vers l'extérieur et sont à l'origine d'un tissu de protection ou écorce appelée liège ou suber (vient de *subérine*: composé lipidique hydrophobe présent dans la paroi des nouvelles cellules). Les cellules de cette écorce sont imperméables à l'eau, se remplissent d'air et meurent rapidement. Les couches externes sont ensuite exfoliées et des plaques sont ainsi éliminées pour former le *rhytidome*. Des lenticelles se forment de place en place (à partir des stomates) permettant les échanges du gaz et assurant ainsi la survie de l'organe.

D'autre part, cette assise génératrice produit vers l'intérieur un parenchyme secondaire chlorophyllien peu abondant qui reste vivant (phelloderme). Ce parenchyme joue un rôle d'un tissu assimilateur ou de réserves.

1.2. Tissus végétaux:

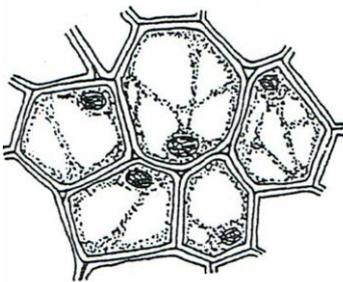
Un tissu végétal provient généralement de la prolifération d'une cellule végétale ou d'un petit groupe de cellules-mères provenant du même méristème. L'histologie est la science qui étudie les tissus. Les plantes, du point de vue histologique, se caractérisent par deux caractères fondamentaux : la pauvreté relative des types de tissus et les inter-relations profondes qui s'installent entre ces tissus.

En se référant au grand nombre et à l'extrême complexité des tissus animaux, une espèce végétale ne possède que cinq (5) tissus primaires et deux tissus secondaires.

1.2.1. Tissus primaires:

Les cinq (5) tissus primaires proviennent généralement de l'activité des méristèmes primaires caulinaire et racinaire.

A/ Parenchymes :



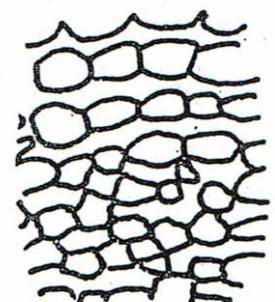
Les deux types de méristèmes primaires connus peuvent se différencier pour donner naissance à des cellules de parenchyme vivantes, de forme isodiamétrique et peu différenciées avec une paroi pectocellulosique et peu épaisse. Ce parenchyme assure généralement l'emballage des structures tissulaires et joue un rôle primordiale dans le stockage des macromolécules énergétiques de la plante (amidon, saccharose, ...).

B/ Tissus de soutien :

La plupart des plantes contiennent deux tissus de soutien responsables de la rigidité et de la souplesse.

- **Collenchyme:**

Ce tissu se caractérise par des cellules vivantes à paroi pectocellulosique moyennement épaisse et plus ou moins allongée. Les cellules de collenchymes, qui sont rarement isolées, se regroupent en tissus organisés en piliers, massifs ou



en gaines. L'abondance de ce tissu dans un organe quelconque lui permettra de résister facilement aux torsions auxquelles il peut être soumis.

Les facteurs environnementaux tels que le vent peuvent favoriser la formation de collenchyme chez une plante. Les cellules de ce tissu récupèrent leur pouvoir de division et se transforment en cellules de sclérenchyme.

- **Sclérenchyme :**

C'est un tissu squelettique mort. Les parois de ses cellules sont riches en cellulose, pectines en plus particulièrement en lignine. Morphologiquement, deux types cellulaires se différencient dans ce tissu (fibres scléreuses et sclérites), soit directement à partir des méristèmes, soit à partir des parenchymes.



Les fibres scléreuses sont des cellules allongées atteignant des longueurs inusitées, qui s'organisent parfois en piliers, massifs ou en gaines. Cependant, les sclérites sont des cellules isodiamétriques, trapues, à parois épaisses. L'exemple type est la cellule pierreuse de certaines variétés de fruits.

C/ Tissus conducteurs :

Deux ensembles tissulaires qui permettent la circulation de la sève brute et élaborée.

- **Xylème :**

C'est un ensemble histologique cohérent responsable du transport de la sève brute à partir des extrémités radiculaires à celles des tiges et des feuilles. Ce complexe est formé par quatre tissus structurellement et fonctionnellement différents. Ce sont les trachées, trachéides, fibres et le parenchyme xylémien.

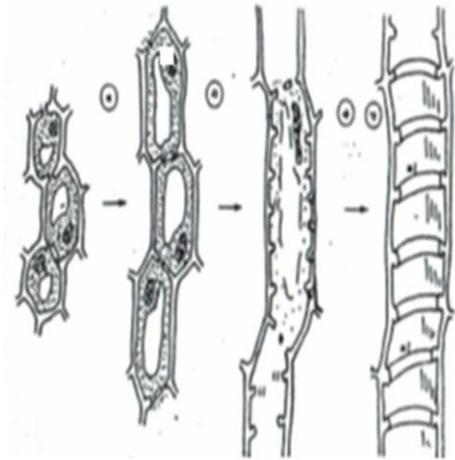
1/ Trachées (vaisseaux parfaits): ou *cellules xylémiennes* : ce sont les principaux éléments conducteurs. Ces vaisseaux sont formés de cellules végétales mortes (fortement incrustées de lignine dans leurs parois) qui s'allongent remarquablement dans l'axe de l'organe pour avoir plusieurs mètres de longueur et au moins 30 µm de diamètre et cela suite d'une différenciation très poussée des cellules profondes du procambium.

Chez la plante encore jeune dont les parois des premières cellules sont peu incrustées, la lignine se dépose en anneaux moyennement abondants ou en une spirale ligneuse plus ou moins lâche.

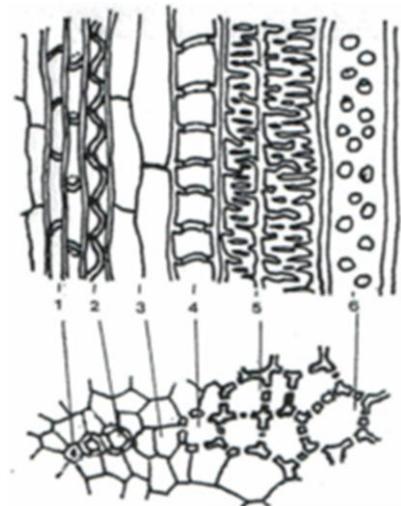
Afin de prévenir les risques d'écrasement croissants des parois, les cellules xylémiennes suivantes sont incrustées plus abondamment en position de réseaux ou en plages ponctuées. Ensuite, les systèmes membranaires y sont lysés, les organites sont détruits, le cytoplasme se confond avec le nucléoplasme et le *symplasme* finit par être évacué de la lumière cellulaire; la cellule xylémienne est une cellule morte réduite à son *apoplasme*.

Chez les plantes supérieures, les cellules xylémiennes se disposent bout à bout formant des files de cellules allongées dans l'axe des organes vascularisés. Les parois transversales finissent par être lysées établissant une continuité absolue; la structure résultante est un *vaisseau xylémien parfait*.

Apoplasme: un *apoplaste* est un ensemble des parois et des espaces intercellulaires (lacunes, méats) constituant un réseau continu à travers lequel l'eau et les sels minéraux peuvent circuler sans traverser les membranes plasmiques.
Symphasme: un *symplaste* est un réseau continu constitué des cytoplasmes des cellules vivantes, connectés entre-eux grâce aux plasmodesmes, à travers lequel l'eau et les sels minéraux peuvent circuler.



Différenciation des cellules méristématiques en cellules xylémiennes (Un vaisseau annelé se forme)



1. Vaisseau annelé (Protoxylème), 2. Spirale, 3. Parenchyme xylémien, 4. Vaisseau annelé (Métaxylème), 5. Réticulé, 6. Ponctué.

2/ Trachéides : Plus ou moins identiques aux trachées mais beaucoup plus courtes et ne dépassant pas 10 nm de long. Elles sont formées d'une seule cellule dotée d'une paroi transversale.

3/ Fibres ou sclérenchyme xylémien : Les fibres sont présentés par un tissu de sclérenchyme mort responsable de relier les vaisseaux xylémiens les uns aux autres et assurer la rigidité et l'imperméabilité du tissu de xylème.

4/ Parenchyme xylémien : C'est un tissu vivant formé de cellules peu différenciées, chargées de pallier aux insuffisances et aux besoins métaboliques des vaisseaux dans les derniers stades de leur involution.

- **Phloème :**

C'est un complexe histologique comme celui du xylème mais formés uniquement de trois tissus particulièrement différents (tubes criblés, éléments non conducteurs et cellules compagnes). Ce complexe histologique est responsable de la diffusion de la sève élaborée à partir des extrémités des tiges et des feuilles à celles du système racinaire.

1/ Tubes criblés (éléments conducteurs) : Chez les plantes à fleurs, les cellules phloémiennes vivantes se disposent bout à bout comme celles des vaisseaux xylémiens et s'allongent selon l'axe de l'organe mais sans aucune lyse des parois transversales qui contiennent des plasmodesmes. Des dépôts de callose ferment ces plasmodesmes qui s'évasent. Après disparition partielle de ces bouchons de callose, une perforation ou *crible* remplace le plasmodesme. La continuité symplasmique est assurée à travers ces cribles. La quasi-totalité des organites cytoplasmiques sont lysés et disparaissent. Le tonoplaste (membrane de la vacuole) disparaît entraînant la dilution des éléments cytoplasmiques.

2/ Eléments non conducteurs : Des fibres sont interposés avec un tissu de collenchyme entre les vaisseaux ou tubes criblés pour la rigidification du tissu du phloème.

3/ Cellules compagnes : Ces des cellules parenchymateuses (parenchyme phloémien), prennent naissance aux cellules des tubes criblés et ont un rôle nourricier. Chaque cellule mère se divise en deux cellules filles, l'une se différenciant en cellule criblée et l'autre en cellule compagne nourricière.

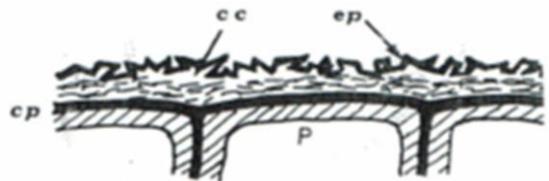
D/ Tissus de revêtement:

Toutes les parties aériennes des végétaux sont vêtues par, généralement une seule couche spéciale, appelée tissu de revêtement. C'est un tissu de protection de la partie aérienne (épiderme) et de la partie souterraine (rhizoderme).

- **Epiderme :**

Formées de cellules plus ou moins allongées et parfaitement accolées les unes aux autres formant ainsi un tissu plus ou moins imperméable. Ses cellules ont pour objectif contrôler la totalité des échanges entre milieux intérieur et extérieur et peuvent constituer une barrière efficace contre les déperditions d'eau par évaporation et contre d'éventuels agents pathogènes. L'imperméabilisation est renforcée par des dépôts lipidiques sur la face externe des cellules épidermiques. Ces dépôts forment une *cuticule* de structure et d'épaisseur variables (1 à 15 nm). La structure de ce tissu n'est pas homogène. Outre les cellules épidermiques, on peut y observer des cellules stomatiques, des cellules compagnes des stomates, des poils sécréteurs ou tecteurs, etc.

Extérieurement, la *couche cuticulaire* (dépôt pectocellulosique) est limitée par l'*épicuticule*, qui s'est formée suite d'une accumulation de cires diverses. Vers l'intérieur, une couche continue de pectine isole la cuticule de la paroi squelettique.



Structure de la cuticule.
cc : couche cuticulaire,
ep : épicuticule cireuse, cp : couche pectique

- **Rhizoderme :**

Plus simples que l'épiderme du point de vue structure. C'est un tissu homogène constitué d'un seul type de cellules. Une gaine mucilagineuse est formée à la place de la cuticule assurant la protection de la racine et facilitant sa pénétration dans le sol. Les cellules de ce tissu sont à l'origine de nombreux poils absorbants.

E/ Tissus sécréteurs:

Tissus spéciaux, se trouvent chez certains plantes, et sont généralement responsables de l'excrétion de certaines molécules du métabolisme secondaire. Un tissu sécréteur est parfois réduit à des cellules isolées plus ou moins réparties dans les tissus de l'organisme végétal, il peut se structurer en poches ou en canaux sécréteurs.

1.2.2. Tissus secondaires:

Les deux formations secondaires suivantes proviennent de l'activité des méristèmes secondaires (cambium et phellogène).

- **Périderme :**

Cet ensemble tissulaire provient des divisions mitotiques du phellogène ou assise subéro-phellodermique au niveau de la tige. Ce méristème secondaire est à l'origine du suber (liège) vers l'extérieur et d'une nouvelle écorce appelée phelloderme vers l'intérieur. Le premier est formé de cellules plus ou moins aplaties radialement qui meurent très rapidement après leur formation et se vident à cause de l'incrustation intense de leurs parois par la subérine imperméable. Les tissus situés en dessous du suber imperméable meurent. Le rhytidome se forme (du grec *rhytis*: ride) ou écorce. Dans la racine, l'écorce isolée vers l'extérieur par le périderme va s'exfolier sous la poussée des tissus secondaires.

- **Formations libéro-ligneuses :**

C'est des formations profondes par rapport au périderme et sont plus importantes dans les tiges que les racines.

1/ Liber : ou phloème secondaire. Ce tissu est disposé vers l'extérieur des organes tiges et racines plus ou moins âgés. Sa formation, centrifuge, est rythmique et donne des couches concentriques minces de cellules aplaties.

2/ Bois : C'est un xylème secondaire qui se développe vers l'intérieur. Ce tissu a une croissance rythmique centripète, synchronisée avec les saisons. Il forme des couches annuelles constituées de deux parties: le bois du printemps clair avec de grandes cellules car les conditions climatiques sont favorables à la croissance (eau et température) et le bois d'automne, plus sombre, plus dur et constitué de cellules plus petites. Ce bois constitue la partie la plus grande des troncs des arbres.

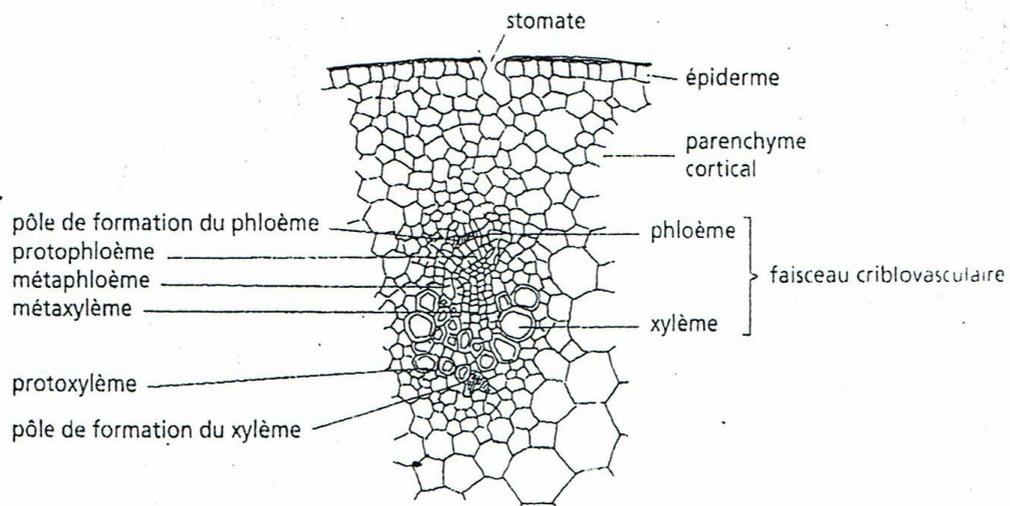
2. ANATOMIE DES VEGETAUX SUPERIEURS:

L'anatomie des plantes à fleurs ou plantes supérieures est un peu particulière par rapport aux autres plantes du globe terrestre.

2.1. Anatomie de la tige :

Dans une coupe transversale de tige jeune; les tissus suivants sont déterminés:

- **Epiderme:** formé d'une couche de cellules juxtaposées non chlorophylliennes (l'une à côté de l'autre) ayant des parois peu épaisses et moyennement riches en cellulose.
- **Parenchyme cortical**, formé de grandes cellules polyédriques moyennement riches en chloroplastes surtout à la périphérie.
- **Tissus conducteurs** (xylème et phloème) sont superposés. Le xylème, vers le centre de la tige, est coiffé vers l'extérieur par le phloème. Ce sont les faisceaux criblo-vasculaires (parfois encore appelés faisceaux libéro-ligneux).



Coupe transversale d'une tige dicotylédone jeune

Les diamètres des cellules xylémiennes ne sont pas identiques car ils diminuent au fur et à mesure que l'on se rapproche du centre de la tige. Les cellules les plus anciennes constituant le protoxylème (protos = premier) qui sont repoussés vers l'extérieur du faisceau. Leur différenciation est *centrifuge*. Les vaisseaux les plus jeunes sont formés par les cellules les plus récentes et sont appelés métaxylème et se caractérisent par une différenciation centripète. Les caractéristiques des deux types de vaisseaux de xylème sont indiquées dans le tableau suivant.

Tableau 01: Caractéristiques du protoxylème et du métaxylème

Protoxylème	Métaxylème
Apparaît quand la tige est en croissance	Apparaît quand la croissance de la tige est terminée
Premier formé	Succède au protoxylème
Trachéides annelées et spiralées	Éléments réticulés
Éléments souvent écrasés	Éléments persistants

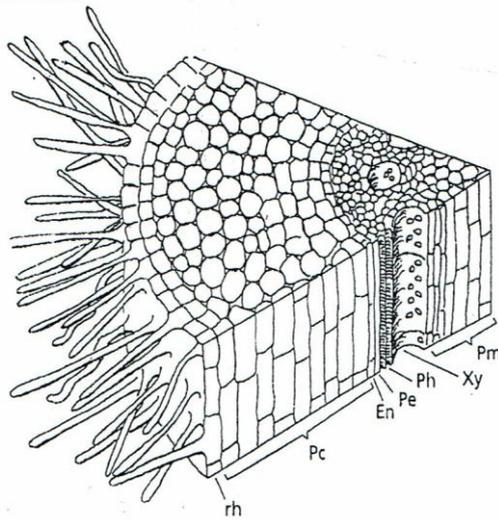
Quant au phloème, Il est possible de distinguer entre protophloème et métaphloème. Le protophloème apparaît sur la face externe du faisceau et ses cellules se différencient continuellement comme celles du métaphloème de l'extérieur à l'intérieur de la tige.

Au centre de la tige, un parenchyme s'est formé lors de la formation de ces structures tissulaire, appelé parenchyme médullaire, remplissant ainsi la moelle de l'organe. Ce parenchyme a pour objectif de réserve et se caractérise généralement par des cellules dont le diamètre est supérieur à celui des cellules du parenchyme cortical. Ces formations tissulaires correspondent à une tige Dicotylédone jeune, des formations secondaires vont apparaître très rapidement. Cependant, chez les Monocotylédones, où il n'y a pas de formations secondaires, ces structures primaires sont complètement définitives mais se caractérisent par une position plus ou moins différente.

2.2. Anatomie de la racine :

De l'extérieur à l'intérieur d'une coupe transversale effectuée au niveau des poils absorbants, les tissus suivants sont observés.

- **Poils absorbants** : Ce sont des prolongements des cellules du rhizoderme.
- **Parenchyme cortical** : formé de cellules isodiamétriques laissant entre-elles de grands méats. Ces cellules sont moyennement allongées dans le sens de l'axe de la racine. A la paroi cellulosique s'ajoute un cadre subéraie, sur quatre des six faces du parallélépipède. Au niveau du cadre, l'adhérence du cytoplasme à la paroi est très forte. Ceci oblige les substances dissoutes qui arrivent à ce niveau de traverser le cytoplasme, d'où un contrôle, par ces cellules, des ions et autres substances absorbés.
- **Cylindre central** : limité par les cellules de l'endoderme, puis par une couche cellulaire plus jointives appelée péricycle qui est à l'origine des racines secondaires.



Coupe transversale d'une racine dicotylédone jeune (au niveau de la zone pilifère)

(*rh*: rhizoderme, *Pc*: parenchyme cortical, *En*: endoderme,
Pe: péricycle, *Xy* : xylème, *Ph*: phloème, *Pm*: parenchyme médullaire)

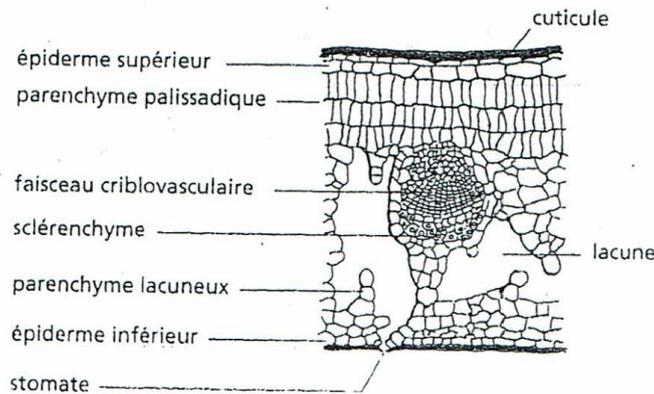
- **Tissu conducteur** : Vers le centre, des vaisseaux de xylème alternent régulièrement et sur un seul cercle avec les tubes criblés du phloème. Les cellules du xylème ont des tailles différentes selon leur emplacement dans le cylindre central. Près du péricycle, elles sont jeunes et petites. Vers le centre, elles sont grandes et âgées. La différenciation du xylème est centripète. Les cellules formées le plus tôt sont repoussées vers l'intérieur de la racine. Même si ceci est moins visible, il en est de même pour le phloème.
- **Parenchyme médullaire** : comme dans la tige, le parenchyme médullaire présente la partie centrale de la racine.

2.3. Anatomie de la feuille :

L'anatomie de la feuille est plus ou moins simple par rapport aux tiges et racines. De la face supérieure à la face inférieure d'une coupe transversale effectuée au niveau d'un limbe foliaire d'une espèce végétale dicotylédone, les tissus suivants sont observés :

- **Epiderme supérieur** : c'est une couche simple faite de cellules plus ou moins allongées, sans aucune chloroplaste, disposées les unes à côté des autres. L'épiderme est couvert extérieurement par une fine cuticule.
- **Parenchyme palissadique** : ou parenchyme chlorophyllien, formé d'une ou de plusieurs couches de cellules allongées, très riches en chloroplastes et parfaitement accolées les unes aux autres.

- **Parenchyme lacuneux** : c'est un tissu simple, formé de plusieurs cellules isodiamétriques, peu jointives et laissant entre elles d'importantes lacunes. Ces cellules sont moyennement pauvres en chloroplaste et plus particulièrement au centre de la feuille.
- **Tissus conducteurs** : les tissus de xylème et de phloème sont superposés et ressemblent à ceux de la tige. Ces tissus sont certainement la suite de ceux de la tige et du pétiole et correspondent aux nervures du limbe.



Coupe transversale d'une feuille dicotylédone jeune

Par comparaison avec les espèces Monocotylédones, Les Dicotylédones présentent des spécificités structurales particulièrement différentes (tableau ci-dessous).

Tableau 02: Anatomie comparée entre feuilles Monocotylédones et feuilles Dicotylédones.

Monocotylédones	Dicotylédones
Limbe à symétrie bilatérale	
Epiderme	
Plus de stomates sur la face inférieure	Stomates répartis généralement dans les 2 faces
Parenchyme chlorophyllien : Cellules isodiamétriques, peu chlorophylliennes, sans méats, Présence fréquente de collenchyme et de sclérenchyme	
homogène	Hétérogène - Parenchyme palissadique - Parenchyme lacuneux
Tissus conducteurs: Un ou plusieurs faisceaux criblovasculaires	
Faisceaux criblovasculaires : Xylème et phloème superposés Xylème vers la face ventrale de la feuille, Phloème vers la face dorsale de la feuille	
Nervures parallèles constituées d'un faisceau unique, très souvent uni à l'épiderme dorsal par les bandes des fibres sclérifiées	Nervures ramifiées constituées d'un ou de plusieurs faisceaux de xylème interne et de phloème externe, entourés de tissus de soutien
Pétiole à symétrie bilatérale	
Epiderme: Cutinisé, stomatifère	

3. MORPHOLOGIE DES VEGETAUX SUPERIEURS ET ADAPTATION:

Tiges, feuilles, racines, fleurs sont des termes connus de tous, facilement reconnaissables chez les végétaux et participant à l'organisation générale des plantes.

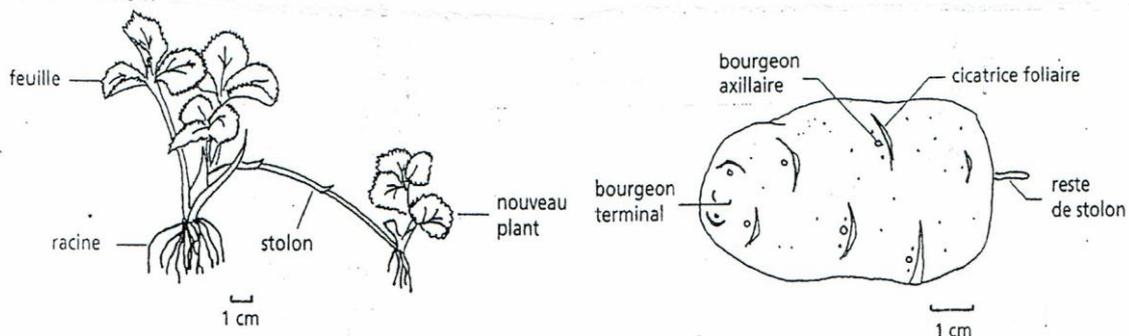
3.1. La tige et l'appareil caulinaire:

Comme déjà observé, un organisme végétal se présente à nous comme un empilement de modules dont le nombre et la disposition varient grandement avec l'espèce considérée. La tige est l'organe à structure modulaire mis en place par le méristème apical caulinaire.

Pour la grande majorité des angiospermes, la tige est la partie aérienne; elle occupe l'espace aérien au-dessus de la racine, y déployant les feuilles de l'organisme auxquelles elle sert de support.

Bien évidemment, on trouve dans le monde végétal de très nombreux autres types de tiges:

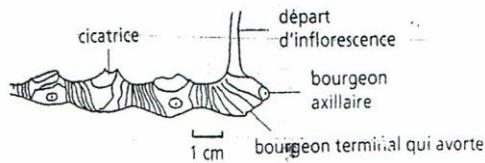
- **Stolons** (*Stolo* = rejeton) qui sont des tiges rampantes non souterraines à feuilles réduites et produisant à leur extrémité une tige à feuilles développées, semblable à celle dont elle est issue. Le fraisier est une plante formant une rosette de feuilles: Il émet des stolons avec de petites rosettes à leur extrémité qui donnent de nouvelles plantes. Une variante du stolon, le tubercule, est bien connue. Chez la pomme de terre; c'est la partie terminale du stolon enterré qui se développe et se charge de réserves.



Stolon de Fraise
(Tige aérienne rampante)

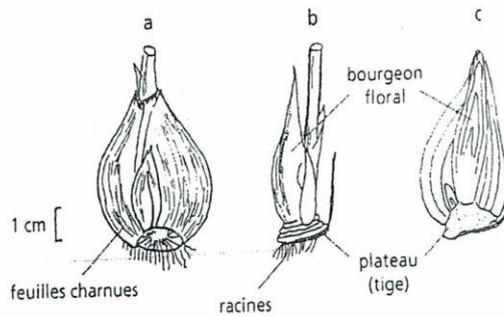
Tubercule de Pomme de terre
(Tige souterraine renflée)

- **Rhizome** (*rhizoma* = racine), qui malgré son nom ne doit pas être confondu avec une racine. C'est une tige puisqu'il porte des feuilles et des bourgeons.
- **Bulbes** (*bulbos* = bulbe) sont des ensembles souterrains constitués d'une tige très courte (plateau) et de feuilles charnues bourrées de substances de réserve et accolées les unes contre les autres.



Exemple de rhizome

(Tige charnue portant des feuilles écailleuses). Elle se ramifie et ses bourgeons axillaires sont à l'origine des feuilles et des fleurs aériennes.

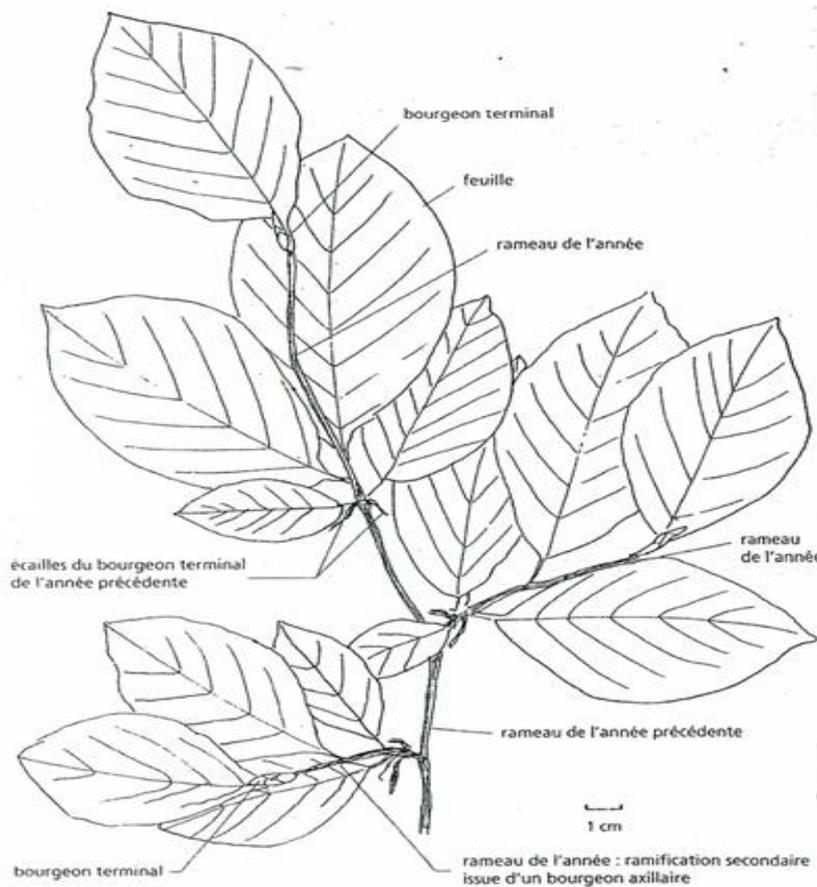


Exemple de bulbe

(a: aspect général, b: feuilles charnues ont été enlevées permettant de voir le plateau et le bourgeon floral central, c: coupe longitudinale)

Les tiges s'allongent et se ramifient. Deux variantes sont observables.

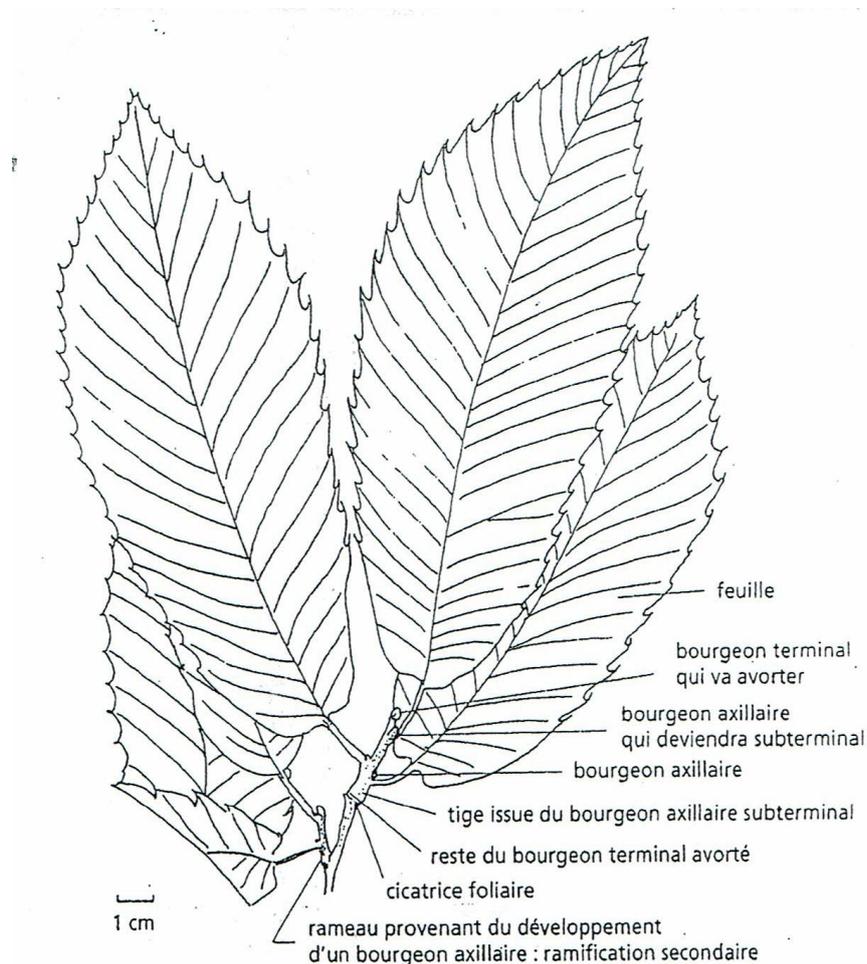
- Ramification monopodiale:** quand le bourgeon terminal de la tige principale reste fonctionnel d'une année sur l'autre. La tige principale et les ramifications sont donc constituées d'unités annuelles résultant de l'activité périodique d'un seul et vrai bourgeon terminal.



Ramification monopodiale

(Le bourgeon terminal se développe. Les bourgeons axillaires peuvent aussi se développer et donner des rameaux secondaires)

2. Ramification sympodiale: Le bourgeon terminal avorte et est remplacé par un bourgeon axillaire qui se redresse et se met en position sub-terminale. C'est le cas de Châtaigner; la ramification est dite sympodiale-monochasiale. Chez d'autres plantes, le bourgeon terminal est remplacé par deux bourgeons axillaires redressés. C'est une ramification sympodiale-dichasiale.



Ramification sympodiale monochasiale chez le Châtaigner
(Le bourgeon terminal avorte et est remplacé par le bourgeon axillaire sub-terminal qui se redresse et se développe)

3.2. La feuille:

Ce sont les feuilles d'une plante, essentiellement, qui assurent la quasi-totalité des synthèses glucidiques d'un organisme par le mécanisme connu sous le nom de photosynthèse ou assimilation chlorophyllienne.

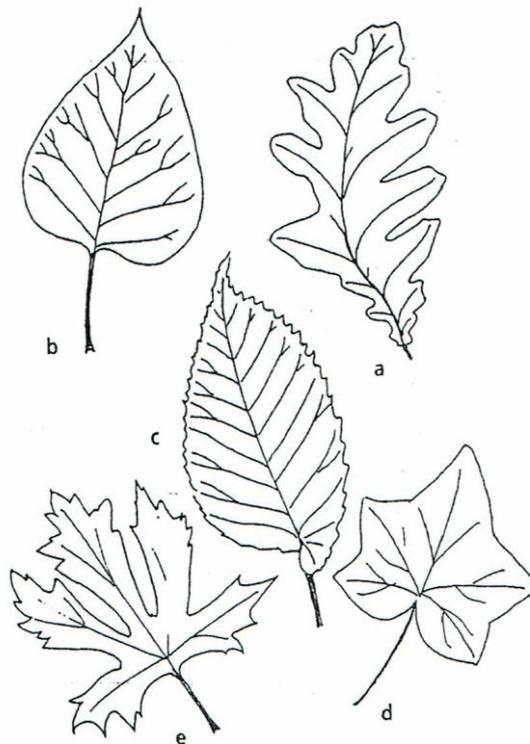
Au maximum de son développement, une feuille typique possède un limbe, lame foliacée de forme et de surface variables. A la surface d'un limbe foliaire un réseau de nervures est visible. Une nervure centrale partage le limbe en deux lobes symétriques. Les nervures secondaires, tertiaires,

etc. qui partent de la nervure centrale se déploient à la surface de chaque lobe, réduisant graduellement leur taille, leur diamètre vers les extrémités.

Le limbe se prolonge à sa partie inférieure par un pédoncule rétréci: **le pétiole**. La gaine est un simple évasement du pétiole, plus ou moins ample, à l'endroit où il s'insère sur un nœud de la tige. Rappelons que le plus souvent, un bourgeon latéral est inséré sur le nœud à l'aisselle de la gaine foliaire.

La grande variabilité des formes de feuille permet de les grouper en grands ensembles:

- **Feuilles simples:** elles possèdent un limbe unique au sommet de leur pétiole. Ce limbe est de divers types:



Quelques types de feuilles simples

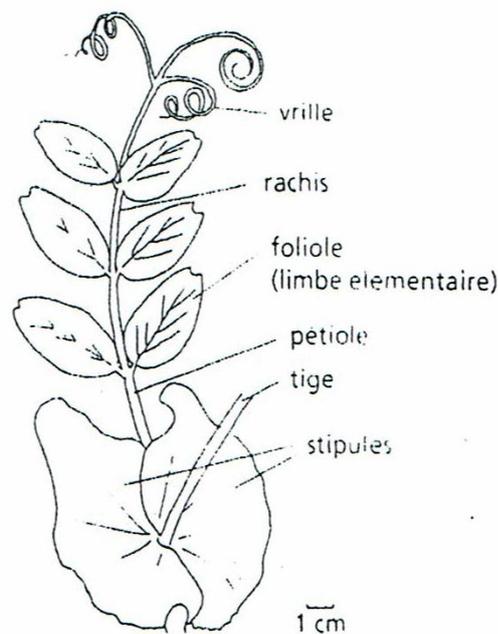
(a: lobée, b: entière, c: dentée, d: palmatifidée, e: palmatiséquée)

- **Feuilles composées:** Certaines feuilles comme celles de pois sont composées. Elles sont des **folioles**. A leur point d'insertion sur la tige; des **stipules** se développent.

La disposition des feuilles sur la tige n'est pas liée au hasard. Elles peuvent être alternes (une seule à chaque nœud), opposées (deux feuilles en vis-à-vis de chaque nœud) ou verticillées quand il y a trois feuilles ou plus, disposées en couronne à chaque nœud. Elles se placent selon des règles de phyllotaxie très précises.

La durée de vie des feuilles est limitée. La majorité des plantes ont des feuilles annuelles, certaines vivent plus longtemps, ce sont des feuilles persistantes.

Comme la tige, la feuille peut être définie d'après des caractères morphologiques. Elle se caractérise par sa position latérale sur les tiges et sa symétrie bilatérale ainsi que par sa croissance limitée dans le temps et l'espace. Elle axile un bourgeon, situé sur la tige.



Stipules de la feuille et les folioles transformées en vrilles de Pois

3.3. La racine et l'appareil racinaire:

La racine constitue l'appareil végétatif souterrain de la plante. Plus ou moins profondément ancré dans le sol, la racine assure deux fonctions importantes:

- 1/ La fixation en terre de l'organisme.
- 2/ L'absorption de l'eau et des sels minéraux.

A côté de ces fonctions traditionnelles, on reconnaît aujourd'hui à la racine d'autres rôles dont la place exacte dans le métabolisme de la plante tend à être réévaluée. Pour de nombreuses espèces, la racine agit comme organe d'accumulation des substances de réserve.

Le plus communément, une racine se présente comme un chevelu plus ou moins fourni qui se ramifie dans le sol. L'extrême pointe de la racine est recouverte d'une calotte de cellules qui se subérissent rapidement après leur production par le méristème. C'est une coiffe chargée de protéger le méristème pendant la progression de la racine dans le sol.

En arrière de la coiffe, sur 1 à 2 cm, s'étend une zone pilifère, caractérisée par la présence de nombreux poils absorbants. C'est la zone active dans l'absorption de l'eau par la racine.

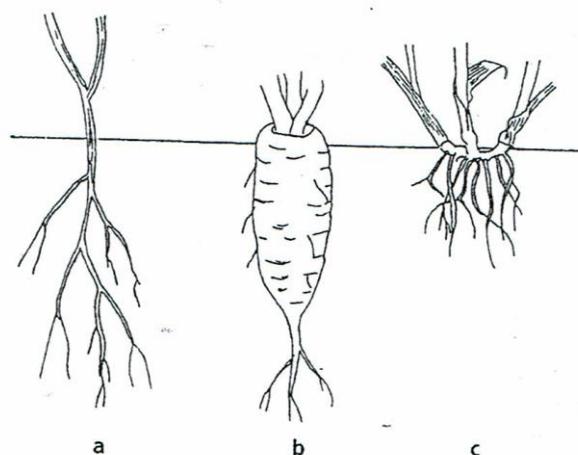
Enfin, en arrière de la zone pilifère, se trouve une zone d'élongation de la racine. Les cellules qui la caractérisent atteignent leur croissance maximale. C'est une zone à double fonction:

1/ En surface, une subérification intense de l'écorce.

2/ En profondeur, les différenciations cellulaires mettant en place les différents tissus de la racine.

La coiffe produit un mucus qui joue le rôle de lubrifiant permettant la progression de la racine.

Cette morphologie de la racine se complique quand la racine se développe. Elle se ramifie et devient pivotante, tubéreuse ou fasciculée.



Différents types de racines
(a: pivotante, b: tubéreuse, c: fasciculée)

On peut trouver ainsi :

- Des racines aériennes adventives qui apparaissent le long d'une tige.
- Des racines crampons qui fixent la plante à un support (le lierre).

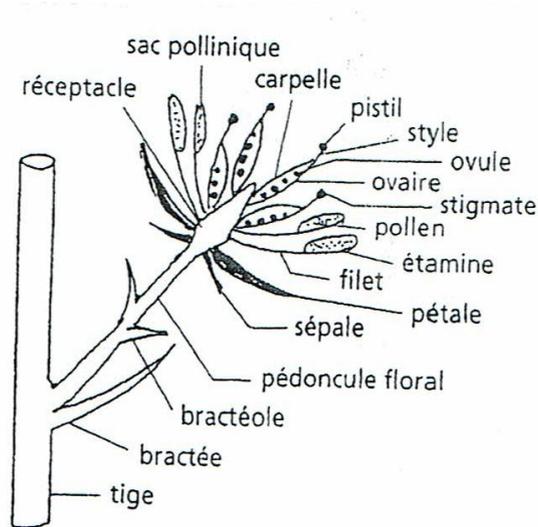
- Des racines aplaties chez quelques plantes vivant sur d'autres végétaux.

3.4. La fleur:

La fleur est un ensemble composite constitué de diverses pièces spécialisées. Elle contient les organes sexuels de la plante et se trouve en position terminale ou latérale sur la tige.

Les botanistes ont l'habitude de dire que la fleur est constituée de 4 verticilles de pièces florales placées sur un réceptacle, au sommet d'un pédoncule floral axilé par une bractée.

Il est possible de schématiser l'organisation générale d'une fleur.



Organisation générale d'une fleur d'Angiosperme

On distingue de l'extérieur vers l'intérieur:

- Le calice comprenant des pièces chlorophylliennes, les sépales.
- La corolle constituée de pièces non chlorophylliennes, diversement colorées, les pétales.
- L'androcée constitué des étamines portant à l'extrémité du filet et les sacs polliniques contenant le pollen.
- Le gynécée ou pistil formé de l'ovaire, contenant des ovules, surmonté du style et du stigmate.

Le calice et la corolle constituent la partie stérile de la fleur, le périanthe. L'androcée est la partie mâle, le gynécée est la partie femelle. Ensemble, ils forment la partie sexuée. Bien évidemment, on va trouver toutes les formes de variations possibles par rapport à ce schéma théorique. Souvent, on observera qu'une ou plusieurs pièces peuvent être absentes à l'intérieur d'un ou de plusieurs verticilles, qu'un ou plusieurs verticilles peuvent manquer complètement ou que des verticilles peuvent se dédoubler.

Ainsi pour des variations au niveau du périanthe, on parlera:

- De tépales: quand les pétales et les sépales sont de forme et de coloration identiques.
- De fleur actinomorphe, quand elle est régulière, c'est-à-dire quand elle présente une symétrie radiale.
- De fleur zygomorphe, quand elle est irrégulière et présente un plan de symétrie.
- De fleur asymétrique, quand elle est dépourvue de tout plan de symétrie.

Au niveau de la répartition des sexes dans les fleurs et les individus, on distingue:

- Les fleurs hermaphrodites possédant à la fois l'androcée et le gynécée.
- Les fleurs unisexuées ne possédant que l'androcée, (il s'agit alors d'une fleur staminée appelée aussi fleur mâle), ou le gynécée (fleur pistillée ou fleur femelle).
- Une plante est dioïque, si chaque individu ne porte que des fleurs mâles ou des fleurs femelles.
- Une plante est monoïque quand elle ne produit que des fleurs unisexuées mais chaque individu porte à la fois des fleurs mâles et femelles.

Pour les cycles reproducteurs, de nombreuses distinctions sont possibles:

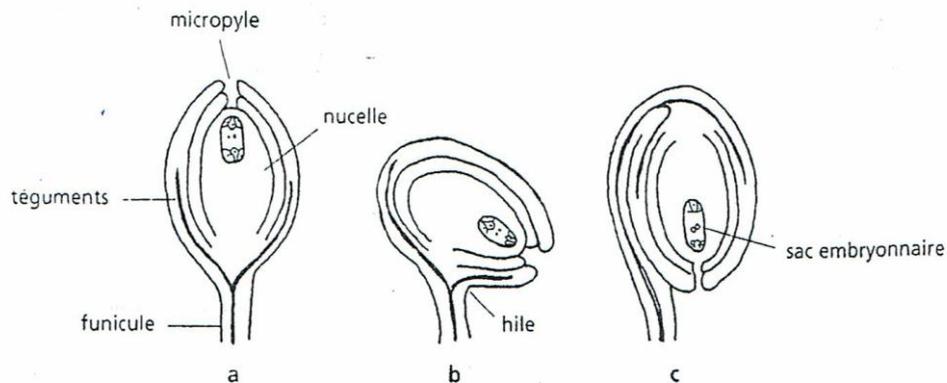
Dans l'androcée, on distingue les étamines introrses, pour lesquelles la fente de déhiscence est située sur la face supérieure et les étamines extrorses où la fente se trouve sur la face inférieure.

Quant au gynécée, la position de l'ovaire par rapport au réceptacle est importante. Il peut être supère comme chez la tomate, l'oranger ou infère (le pommier, la carotte ...).

Le gynécée est composé de carpelles. Le carpelle est formé de stigmate, style et ovaire. Ce dernier contient des ovules qui seront à l'origine des graines. Les ovules sont de petites masses ovoïdes de quelques dixièmes de millimètres de long. On peut observer qu'ils sont entourés de téguments, délimitant à l'une des extrémités de l'ovule une invagination, le micropyle. L'intérieur contient un tissu, le nucelle, dans lequel est inclus le sac embryonnaire. L'ovule n'est pas libre dans le carpelle. Il est attaché par le funicule constitué d'un tissu nourricier, le placenta. Le point d'insertion du funicule sur l'ovule est le hile.

Les ovules sont de trois types:

- L'ovule orthotrope (orthos = droit) est dressé sur un funicule très court.
- L'ovule anatrophe (ana = vers le haut) est porté par le funicule recourbé et uni à l'ovule sur sa plus grande largeur. Le micropyle s'ouvre vers le bas.
- L'ovule campylotrope (campylos = recourbé) est couché et porté latéralement par le funicule.

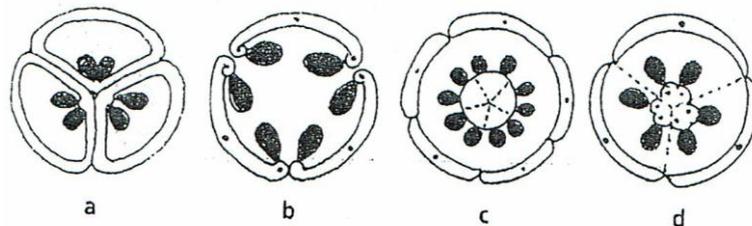


Représentation schématique des différents types d'ovules

(a: orthotrope, b: campylotrope, c: anatrophe)

La placentation définit la position des ovules à l'intérieur de l'ovaire. Celle-ci est fort variable. Il est possible de les regrouper en 4 grands types:

- Placentation axile: les ovules sont réunis au centre de l'ovaire.
- Placentation pariétale: les ovules sont soudés aux sutures des carpelles ouverts.
- Placentation centrale: les ovules se dressent au centre de la cavité ovarienne.
- Placentation axile devenant centrale avec la disparition des cloisons radiaires.



Quelques exemples de placentation

(a: axile, b: pariétale, c: centrale, d: axile devenant centrale)

Il est traditionnel aussi de représenter schématiquement la fleur. La formule florale est une expression condensée de la structure de la fleur. Elle s'écrit par une série de chiffres et de symboles qui correspondent à un code international. Le trèfle blanc a, ainsi, pour formule: 5S, 5P, (9) + 1E, 1C pour 5 sépales, 5 pétales, 10 étamines dont une libre et 1 carpelle. On peut aussi préciser **J** pour zygomorphe et **C** pour carpelle supère.

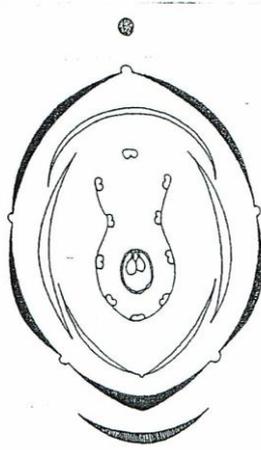


Diagramme floral du trèfle blanc

5S; 5P; (9)+1E; 1C

3.5. Les inflorescences:

Après avoir déployé une tige, ramifiée ou non, donné naissance à un nombre de feuilles variable sur cette tige, l'organisme végétal entre dans une nouvelle phase de sa vie: la phase reproductrice. Les méristèmes caulinaires végétatifs ont été remaniés en méristèmes reproducteurs.

A l'inverse de quelques plantes, qui lors de la floraison (formation des fleurs), présentent une fleur isolée et unique; d'autres telles que le trèfle blanc montrent des capitules globuleux. Il s'agit d'inflorescences (groupement de fleurs). Elles sont en position latérale sur la tige ou bien parfois en position terminale chez quelques espèces.

A première vue, les différents types d'inflorescences paraissent très nombreux. Pourtant leurs architectures reposent sur les lois qui régissent la ramification des tiges. De ce fait, elles appartiennent seulement à deux grands types fondamentaux.

- *Inflorescence de type monopodial:*

Ces inflorescences, faciles à reconnaître, sont souvent appelées racémeuses (du latin racemus = grappe de raisin). Ceci rappelle que la grappe est le type fondamental d'inflorescence monopodiale.

1/ **La grappe:**

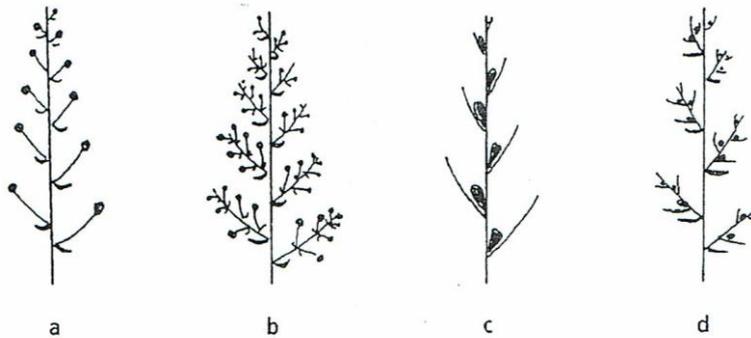
Les fleurs pédicellées, sont portées directement par le rameau principal. Les fleurs les plus âgées sont à la base, les plus jeunes sont au sommet. Plusieurs variantes sont possibles:

- ✓ Grappe ouverte: quand la croissance de l'axe est indéfinie.

- ✓ Grappe fermée: quand la croissance de l'axe est limitée. Dans ce cas la grappe se termine par une fleur.

2/ L'épi:

C'est une grappe dont les fleurs sont sessiles, c'est-à-dire sans pédicelle. L'épillet est un petit groupe de fleurs très incomplètes, enveloppées de bractées minces, sèches formant l'unité élémentaire dont sont constituées les inflorescences des Graminées par exemple.



Inflorescences de type monopodial

(a: grappe, b: grappe de grappes, c: épi, d: épi d'épillets)

3/ Le corymbe:

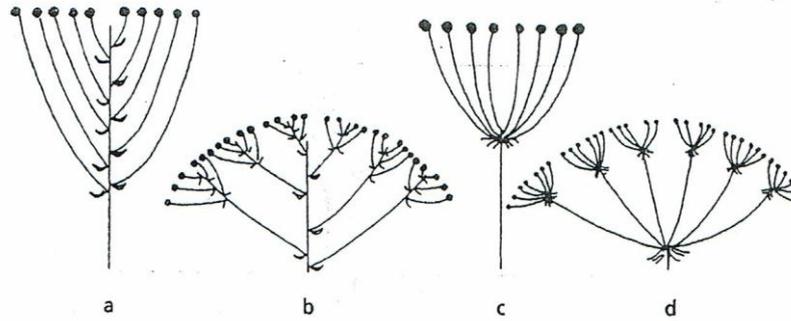
Il s'agit d'une grappe dont toutes les fleurs se disposent sur un plan du fait de l'inégalité des pédicelles (ex. fleurs de pommier).

4/ L'ombelle:

Diffère du corymbe par le fait que les fleurs sont toutes rattachées à l'axe au même niveau, matérialisé par l'involucre des bractées. Les ombelles simples sont assez rares, bien souvent il s'agit d'ombelles composées. Les rameaux les plus proches de la tige ne portent pas de fleurs mais de petites ombelles (ombellules).

5/ Le capitule:

Est une grappe de fleurs sessiles insérées sur le sommet d'une tige élargie en plateau. Il est homologue d'une ombelle dans laquelle tous les pédicelles seraient nuls (ex. Trèfle blanc). Il arrive de trouver dans la littérature que les fleurs des capitules soient appelées fleurons.

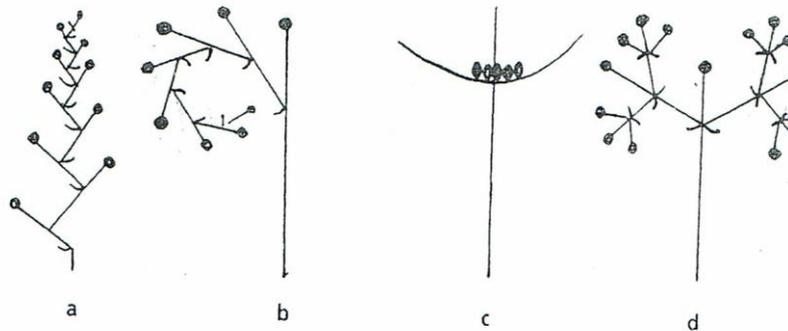


Inflorescence de type monopodial

(a: corymbe, b: corymbe de corymbes, c: ombelle, d: ombelle d'ombellules)

- *Inflorescence de type sympodial:*

Ces inflorescences sont des cymes. Elles sont définies, puisqu'une fleur occupe toujours l'extrémité de l'inflorescence. Elles sont généralement unipares (une fleur d'un côté) ou bipares (2 fleurs de chaque côté de l'axe) et ont une organisation centrifuge, orientée vers l'extérieur et ramassées sur elles-mêmes, ces inflorescences donnent des glomérules.



Quelques exemples de cymes

(a: cyme unipare hélicoïdale, b: cyme unipare scorpioïde, c: glomérule, d: cyme bipare)

3.6. Les graines:

D'une manière générale, chez les plantes à fleurs, dès la double fécondation réalisée, la fleur fane entraînant la chute des pièces florales. L'ovaire, quant à lui, subit des profondes modifications morphologiques qui aboutiront à la formation du fruit, tandis que les ovules deviennent des graines.

Les graines conservent la forme générale de l'ovule, mais leurs dimensions sont tout autres. Elles sont beaucoup plus grosses et contiennent :

1. **L'embryon** : qui est une plantule pluricellulaire, différenciée en une racicule (première racine), une gemmule (bourgeon apical), une tigelle (première tige) et le ou les cotylédon (s) (première (s) feuille (s) assurant la nutrition de la plante).
2. **Les téguments** : plus ou moins durs qui résultent de la transformation des téguments des ovules. A leurs surface, il est possible de reconnaître l'emplacement du hile (lieu de fixation

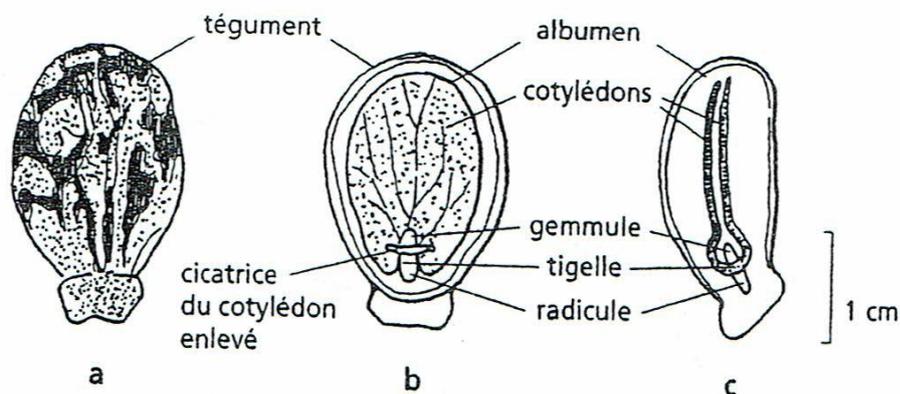
de l'ovule dans le carpelle) et le micropyle (espace entre les téguments ovulaires permettant le passage de tube pollinique lors de la fécondation).

3. Les substances de réserve qui entourent l'embryon : chez les plantes à fleurs, le tissu de réserve est essentiellement l'*albumen*. Cependant, c'est un tissu transitoire formé au dépens du nucelle. Chez certaines plantes cette digestion est incomplète et le nucelle s'enrichit alors de réserves pour former un tissu nourricier original. Le *périsperme*. Cet albumen, lui aussi peut se résorber ; les glucides passent alors dans le ou les cotylédons et forment de l'amidon. C'est différents tissus de réserves permettent de différencier trois types de graines :

1/ Les graines à périspermes : chez lesquelles le nucelle s'enrichi en totalité ou en partie de réserves (cas du canna ou du nénuphar)

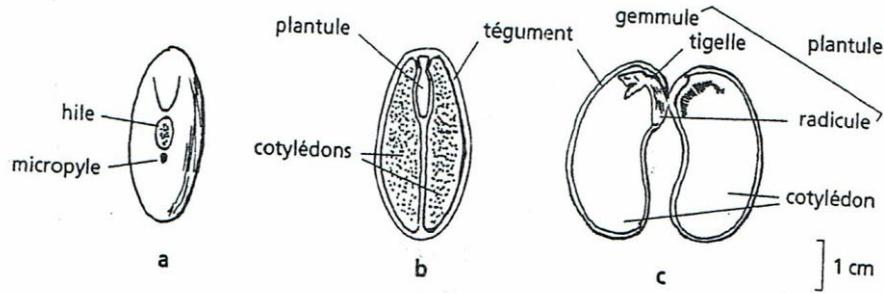
2/ Les graines albuminées : où l'albumen constitue le tissu de réserve. Dans ce cas, les plantules sont minces et fines car noyées littéralement dans l'albumen qui s'est substitué au nucelle pendant le grossissement de la graine. La graine de Ricin est la plus connue des graines albuminées.

3/ les graines exalbuminées : où l'albumen a été digéré. Les glucides ont migrés vers les cotylédons pour former de l'amidon. Les cotylédons occupent tout l'espace entre les téguments. Les graines de pois, de haricot sont des graines exalbuminées.



Graine albuminées de Ricin.

a : Aspect extérieur, b : un cotylédon et la plantule (coupe entre les deux cotylédons),
c : coupe longitudinale au niveau de l'embryon



Graine exalbuminée de Haricot

a : aspect extérieur, b : coupe longitudinale montrant les deux cotylédons et la plantule, c : le haricot ouvert

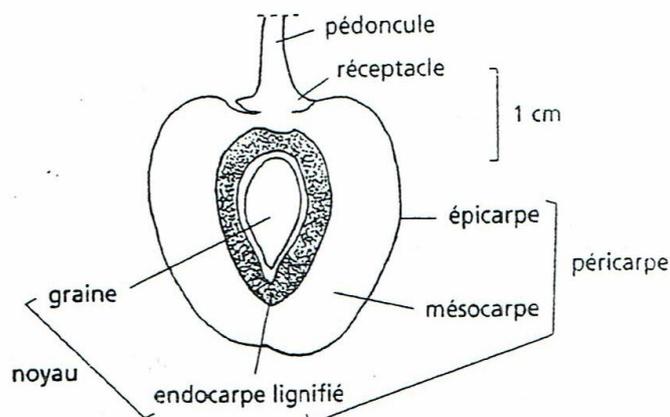
3.7. Les fruits:

En même temps que se forment les graines, les parois de l’ovaire subissent des transformations importantes et évoluent en fruits. Dans un fruits, on reconnaît trois ensembles cellulaires qui forment le péricarpe :

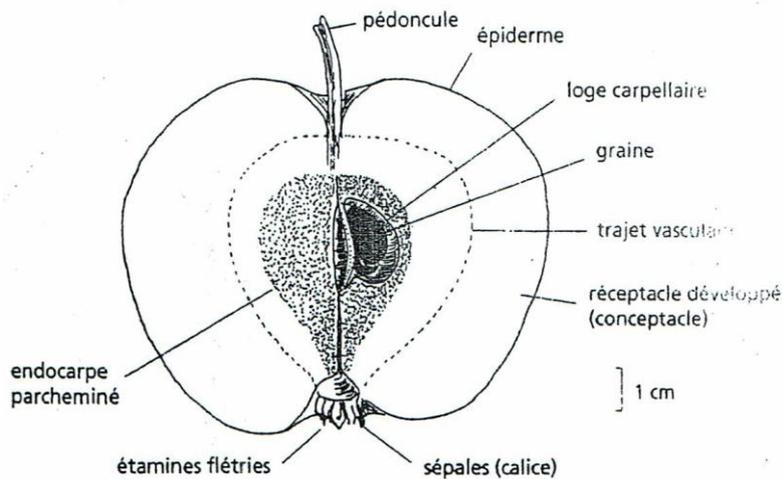
- L’**épicarpe** correspondant à l’épiderme externe du fruit
- Le **mésocarpe** (le tissu médian)
- L’**endocarpe** ou épiderme interne

Mais ces transformations peuvent affecter, aussi, le réceptacle floral qui peut s’hypertrophier comme chez la pomme. Dans ce cas, on n’est plus en présence d’un fruit, *sensu stricto*, mais de quelque chose de complexe qui porte le nom de **pseudo-fruit**, ou **faux fruit**. On l’oppose donc au **vrai fruit**.

Ces notions de vrais et faux fruits sont à rattacher à la position de l’ovaire sur le réceptacle. Ainsi, l’ovaire supère donne de vrais fruits et l’ovaire infère, invaginé et protégé par les parois du réceptacle donne des faux fruits.



La formation d’un fruit : la cerise



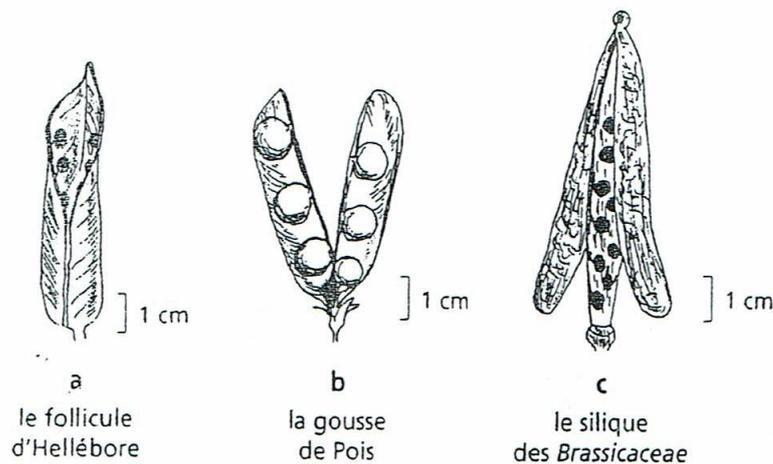
Coupe longitudinale d'une pomme

A) Les vrais fruits :

L'évolution du péricarpe au cours de leur formation permet de distinguer les fruits secs des fruits charnus.

Chez les **fruits secs**, le péricarpe se déshydrate et se lignifie, il devient dur. Certains fruits s'ouvrent à maturité et libèrent les graines. Ce sont des **fruits secs déhiscents**. On peut reconnaître :

- Le **follicule** comprenant un carpelle et s'ouvrant selon une fente (l'hellébore)
- La **gousse** à un carpelle et deux fentes (le trèfle blanc, le pois)
- La **silique** à deux carpelles et quatre fentes (la moutarde)
- La **capsule** à plusieurs carpelles et nombreuses fentes et pores de déhiscences (le pavot).



Exemples de fruits secs déhiscents

a : follicule de l'hellébore, b : la gousse de pois, c : la silique de la moutarde

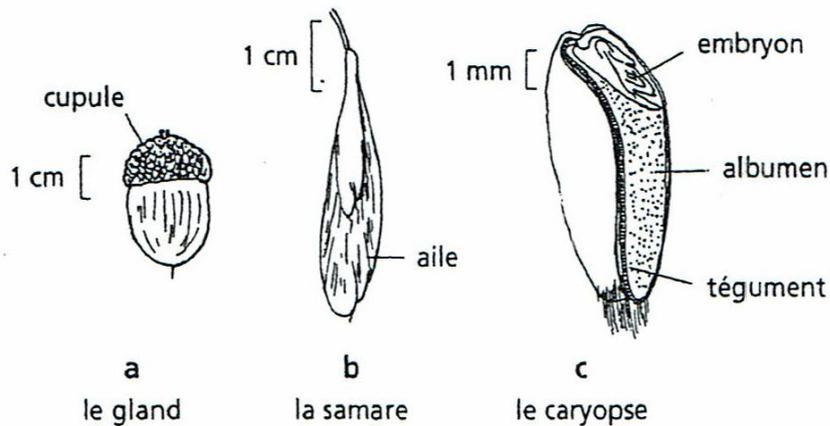
D'autres fruits secs restent fermés à maturité. Ce sont des **fruits secs indéhiscents**. Ils sont de trois types :

- Les **akènes** renferment une seule graine libre (le gland du chêne)

- La **samare** qui est un akène ailé (le frêne)
- Le **caryopse** contenant une graine soudée au péricarpe sec. C'est le fruit caractéristique des céréales (Poacées) (le blé)

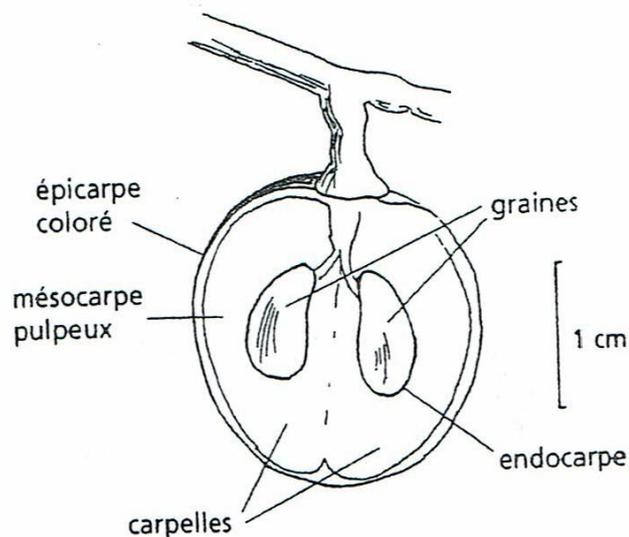
Dans les **fruits charnus**, les parois du mésocarpe s'hypertrophient pour donner la pulpe. Deux types sont reconnaissables :

- Les **baies** entièrement charnues comme le raisin et la tomate ou globuleuse : l'orange.
- Les **drupes** dont l'endocarpe lignifié forme un **noyau** qui protège les graines appelées aussi **amandes** (la cerise)

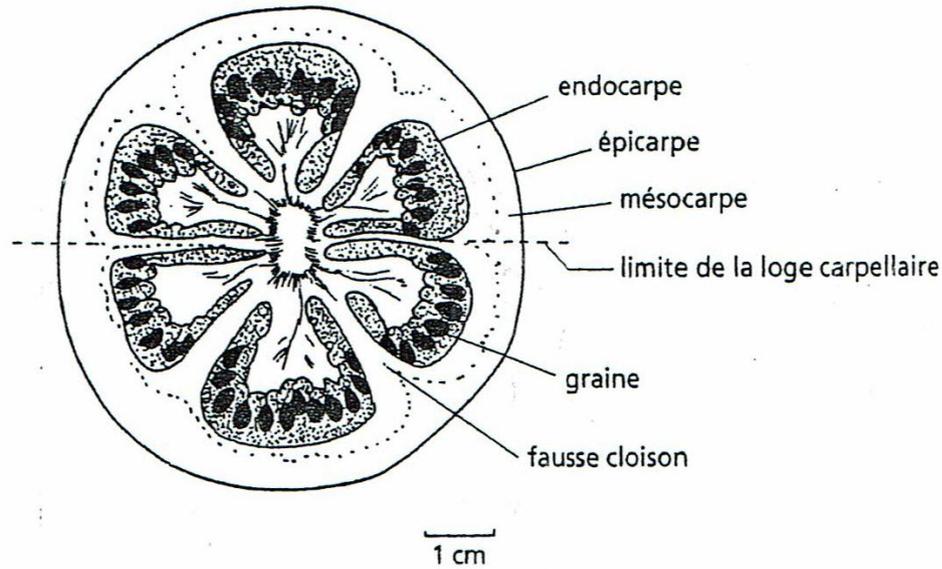


Exemples de fruits secs indéhiscents

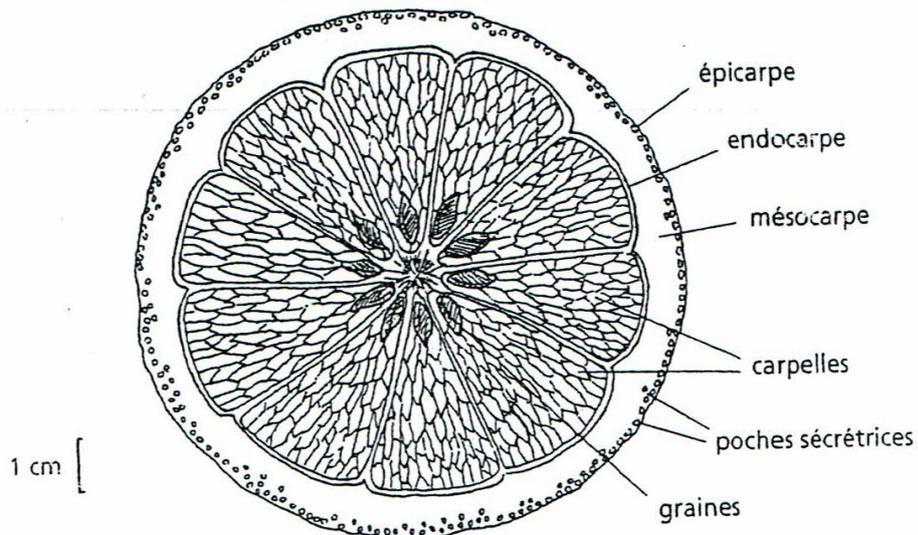
a : le gland du chêne est un akène, b : la samare du frêne, c : le caryopse du blé (coupe)



La baie du raisin (elle est formé à partir d'un ovaire composé supère à deux loges carpellaires)



La tomate est une baie qui s'est développée à partir d'un ovaire composé de deux carpelles

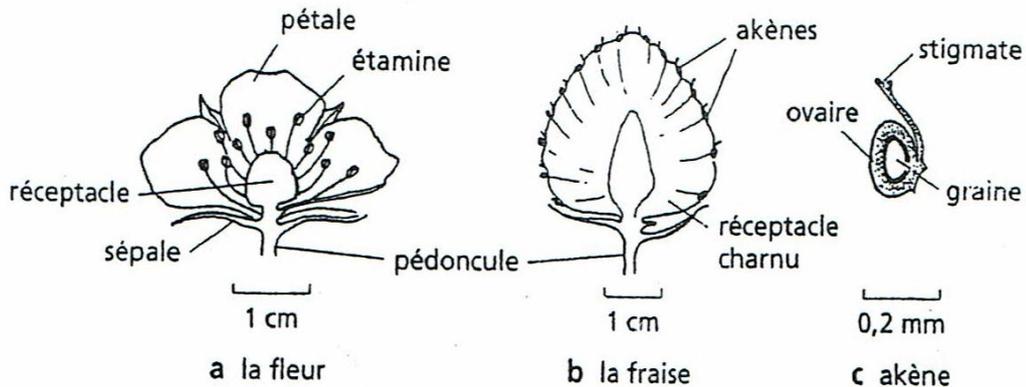


La baie globuleuse de l'orange

B) Les pseudo-fruits ou faux fruits :

La pomme est l'exemple classique de pseudo-fruits. Elle comporte cinq loges centrales, aux parois membraneuses, qui contiennent chacune deux graines (les pépins). La partie charnue peut être comprise de diverses manières suivant l'interprétation que l'on donne aux limites de l'ovaire infère. La paroi membraneuse des loges représente l'endocarpe tandis que la partie charnue serait pour partie d'origine péricarpique et pour partie d'origine réceptaculaire. Pour d'autres auteurs, la paroi membraneuse des loges correspondrait à la totalité du carpelle.

Il existe bien d'autres pseudo-fruits. Chez le fraisier, la partie charnue est d'origine réceptaculaire et les fruits sont les akènes disposés dessus.

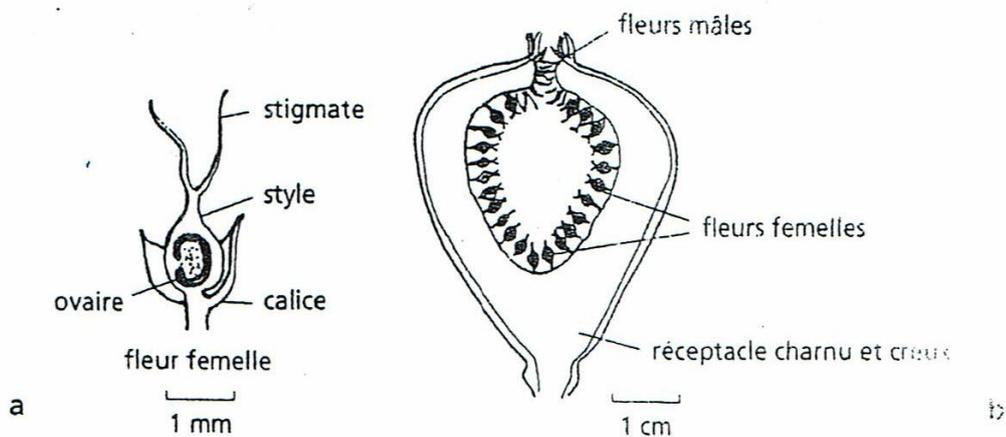


La fraise

a : coupe longitudinale de la fleur, b : coupe longitudinale du fruit, c : détail d'un akène

C) Les fruits composés :

La liste des fruits ne serait pas complète sans les fruits composés, qui sont des ensembles auxquels participe l'ensemble des fleurs d'une inflorescence. Chez la figue ; c'est le réceptacle de l'inflorescence qui est charnu et creux. Les fruits sont des akènes disposés à l'intérieur. L'ananas est la coalescence des baies, des bractées et de l'axe d'une inflorescence.



La figue

a : détail de l'une des fleurs femelles, b : coupe longitudinale du fruit

4. GAMETOGENESE, POLLINISATION ET FECONDATION :

La gamétogenèse correspond au développement des gamètes au cours de la vie de l'organisme. Elle permet le passage de cellules diploïdes (double) à des cellules haploïdes (simple).

Chez les végétaux, la gamétogenèse est différente selon le sexe de l'organe de la fleur qui produit le gamète. Un **gamète** est une cellule reproductrice de type haploïde qui a terminé la méiose et la différenciation cytoplasmique. Ce sont des cellules dont l'unique fonction est d'assurer la reproduction. Si la gamétogenèse se produit dans les anthères des étamines, il s'agira alors d'une gamétogenèse mâle (aussi nommée microgamétogenèse). Le gamète mâle résultant de cette gamétogenèse sera alors le *noyau spermatique* contenu dans le grain de pollen. Si elle a lieu dans un ovule de la plante, à la base d'un carpelle, il s'agira alors de gamétogenèse femelle (aussi nommée macrogamétogenèse ou mégagamétogenèse). Le gamète femelle résultant de cette gamétogenèse sera l'oosphère contenu dans le sac embryonnaire. La réunion des gamètes des deux sexes et, par conséquent, le retour à l'état diploïde est la *fécondation*.

Avant la fécondation, on va avoir plusieurs étapes :

- La pollinisation
- La germination des grains de pollens sur le stigmate
- La progression du tube pollinique à travers les tissus du gynécée.

La pollinisation est le transport du grain de pollen jusqu'à un stigmate, il en existe deux types :

- L'autopollinisation ou autogamie : pollinisation des grains de pollens d'une même fleur.
- La pollinisation croisée ou allogamie.

L'autostérilité ou l'auto-incompatibilité : ce dernier phénomène consiste à une impossibilité pour le grains de pollen d'une fleur de germer sur le stigmate de la gynécée de la même fleur ou d'atteindre et de féconder l'oosphère de la même fleur.

Chez les angiospermes, la pollinisation est assurée par des agents externes : le vent par exemple, on parle d'anémophilie ou anémogamie ; pour les insectes, on parle d'entomophilie ; pour les animaux, on parle de zoïdophilie ; pour les oiseaux, on parle d'ornitophilie ; pour les chauves-souris ; on parle de chiroptérophilie. Par l'eau, on parle d'hydrophilie.

La germination du grain de pollen exige la présence de l'eau, de sucres et d'éléments minéraux. Ces éléments sont libérés par le stigmate, le grain de pollen se regorge d'eau, augmente de taille et germe.

La cellule végétative forme le tube pollinique qui fait sailli par un des pores germinatif du grain

de pollen. Il traverse le stigmate, le style et l'ovaire pour arriver au niveau de l'ovule.

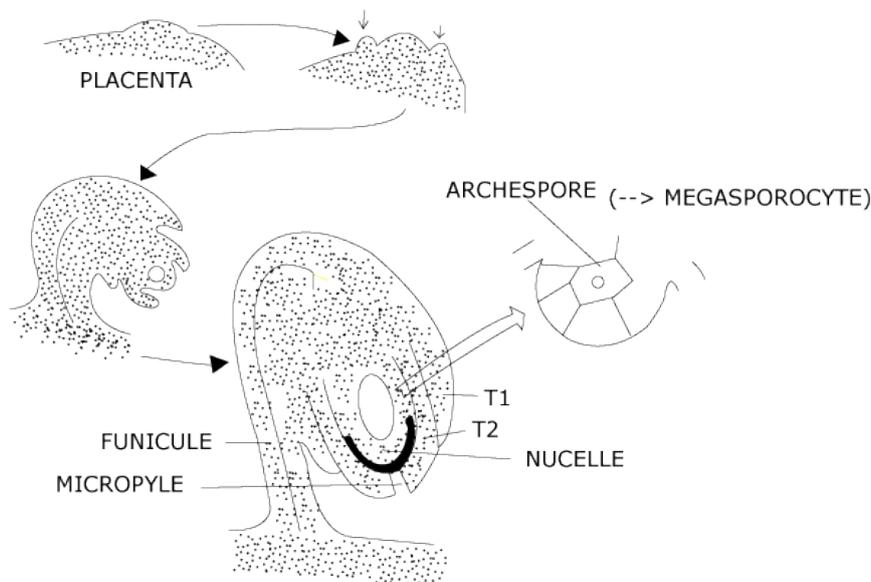
Le tube pollinique entre dans l'ovule soit par le micropyle, c'est l'acrogamie,

CYCLE DE DÉVELOPPEMENT DES ANGIOSPERMES:

1. REPRODUCTION AGAME:

1.1. Origine et Formation de l'Ovule:

L'ovule est produit par une prolifération locale du **placenta** : un massif cellulaire se soulève d'abord pour former le **nucelle** ; ensuite par des divisions périclinales, deux bourrelets circulaires, enveloppants, sont produits : ce sont les **téguments** (T1 et T2). Chez certains groupes d'Angiospermes, un seul tégument est formé. Les téguments grandissent en couvrant progressivement le nucelle mais en laissant libre un pore donnant accès au nucelle, le **micropyle**. L'ovule ayant atteint sa taille maximale est fixé au placenta par l'intermédiaire d'un petit pied, le **funicule**. Téguments et nucelle sont soudés à la base.

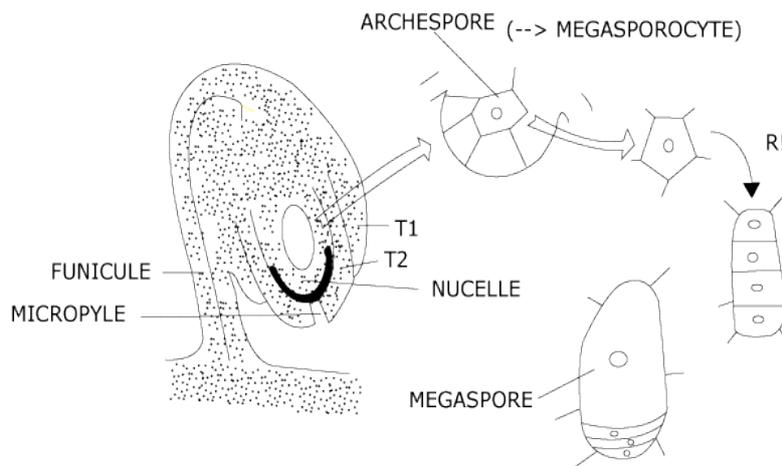


Origine et formation de l'ovule

Chez les Angiospermes, la reproduction agame qui conduit à la formation d'une spore haploïde (qui par divisions mitotiques donnera le gamétophyte), est étroitement associée à la production des gamètes ; sporogénèse et gamétogénèse s'enchaînent sans interruption.

1.2. Mégasporogénèse :

Très précocement au cours de la différenciation de l'ovule, une cellule, le plus souvent sous-épidermique, augmente en volume et devient l'unique cellule archésporiale puis le mégasporocyte. Celui-ci subit la méiose donnant 4 cellules haploïdes, les mégaspores, qui sont disposées en tétrade linéaire. Le plus souvent, les 3 cellules les plus proches du micropyle dégénèrent et le sac embryonnaire est formé à partir de la mégaspore la plus profonde qui prend un accroissement considérable en se développant au détriment des cellules du nucelle qui l'entourent.



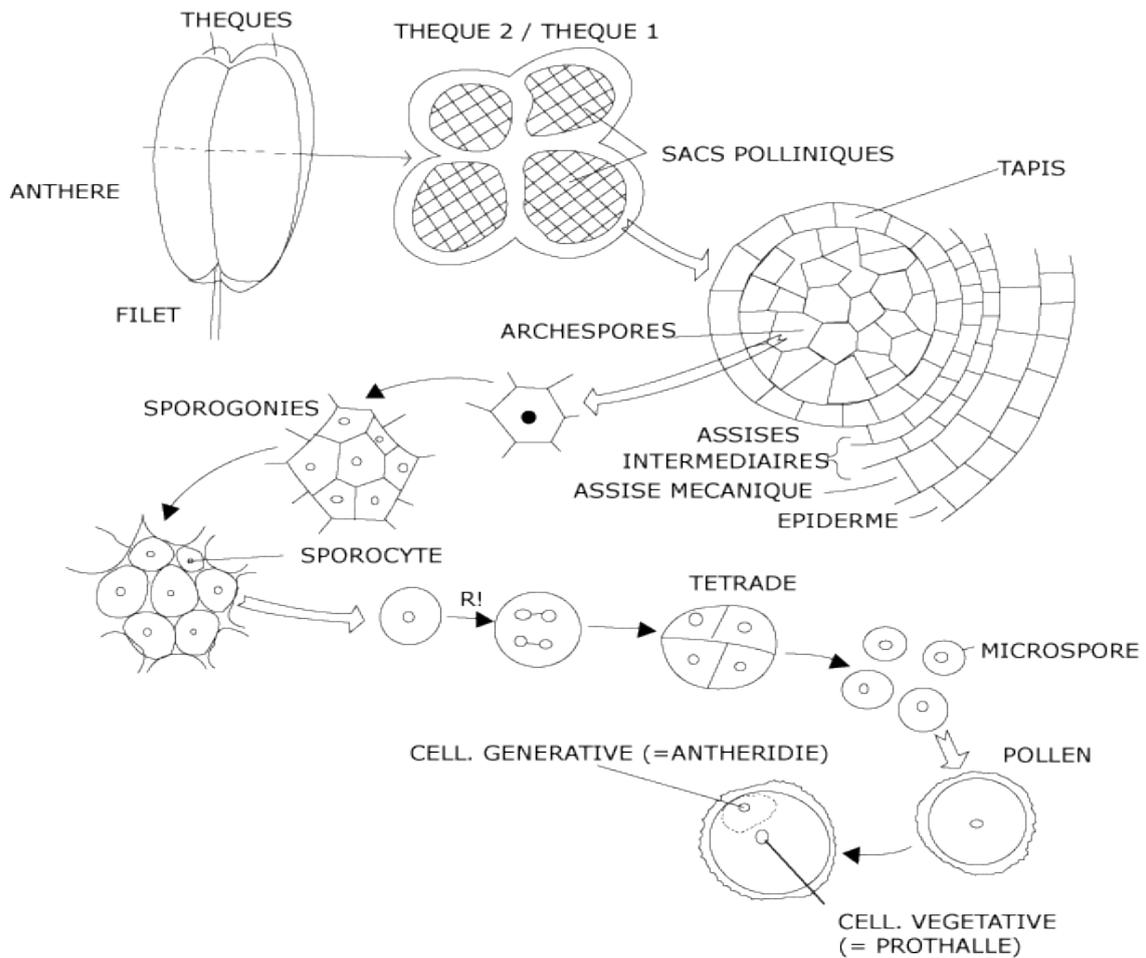
Mégasporogénèse

1.3. Microsporogénèse :

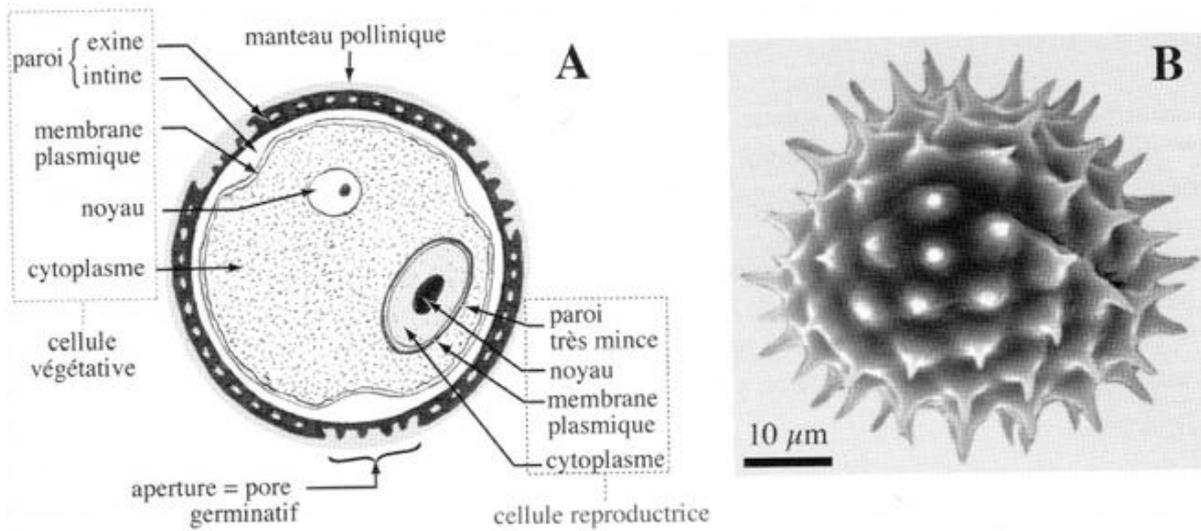
Pendant la différenciation de l'étamine, les sacs polliniques s'individualisent. Ils renferment un massif central d'**archéspores** complètement entouré d'une assise nourricière, le **tapis**, qui se désintègre au cours de la maturation du pollen. Vers l'extérieur de l'anthere, le tapis est renforcé par plusieurs assises cellulaires dites **assises intermédiaires** et d'un épiderme.

Les **archéspores** évoluent en **sporocytes** ou cellules-mères de microspores qui subissent la méiose.

Dans la plupart des cas, le cloisonnement des cellules se réalise après les deux divisions méiotiques et conduit à la formation d'une tétrade de cellules haploïdes. Celles-ci finissent par s'individualiser en microspores isolées dont la paroi externe (l'exine) s'imprègne de sporopollénine (*La sporopollénine est un polymère naturel constituant principal de l'exine des pollens et des spores, de nature lipidique*).



Microsporogénèse



Grain de pollen (gamétophyte mâle haploïde) triaperturé et bicellulaire d'Angiosperme dicotylédone
 A : organisation d'un grain de pollen, B : micrographie électronique à balayage d'un grain de pollen d'Astéracées.

2. REPRODUCTION SEXUEE:

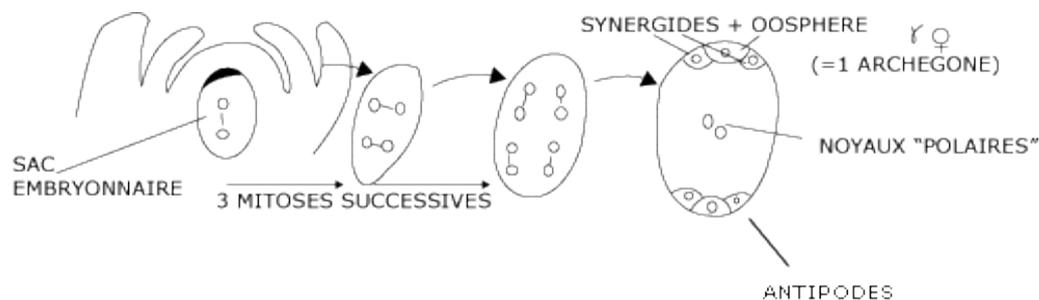
2.1. Mégagamétogenèse :

(Formation du **sac embryonnaire** (gamétophyte femelle ou mégagamétophyte) et de l'**oosphère** (gamète femelle)).

Pour environ 70% des espèces, la mégaspore fonctionnelle subit 3 vagues de divisions nucléaires successives conduisant à la formation de huit (8) noyaux haploïdes qui se répartissent en groupes de quatre (4) à chacun des deux (2) pôles du sac embryonnaire.

Un des noyaux de chaque groupe migre alors vers le centre de la cellule formant les noyaux polaires (provenant des pôles). La cytokynèse se produit ensuite terminant la formation du sac embryonnaire qui est constitué de 7 cellules :

- Deux **synergides** qui encadrent l'**oosphère** au pôle micropylaire ;
- Trois **antipodes** au pôle opposé
- Une grande **cellule centrale** qui contient les **2 noyaux polaires**, généralement volumineux, qui se situent du côté micropylaire de la cellule.



Mégagamétogenèse

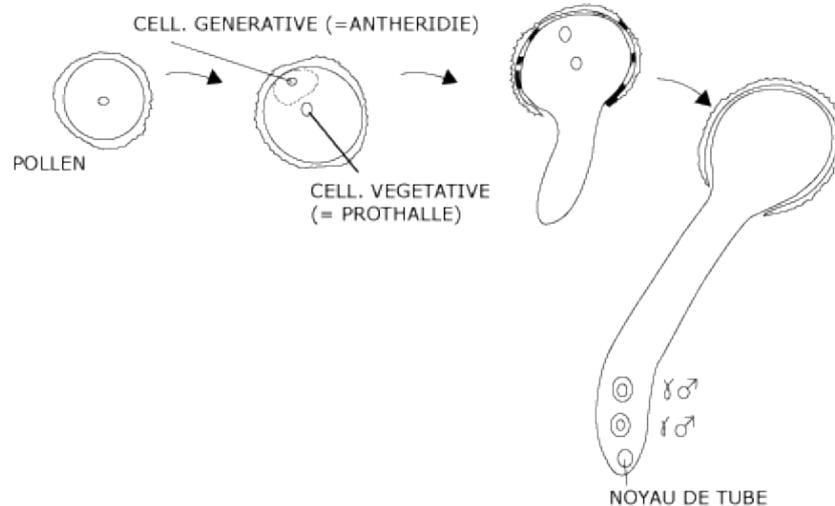
NB: Les processus de mégasporogenèse et mégagamétogenèse présentent de nombreuses variantes. Parfois, la cellule sous épidermique destinée à produire l'archéspore se divise une première fois de manière péricline et c'est la cellule-fille la plus profonde qui devient la véritable archéspore. Dans certains cas, plusieurs archéspores se différencient dans le nucelle. Il existe par ailleurs de très nombreuses variantes dans la formation du sac embryonnaire qui peuvent affecter la constitution génétique des noyaux des différentes cellules qui le constituent et le nombre d'antipodes (de zéro à plusieurs centaines).

2.2. Microgamétogenèse :

(Formation du **gain de pollen** (gamétophyte mâle ou microgamétophyte) et **des cellules spermatiques** (gamètes mâles)).

La microspore isolée subit une mitose asymétrique qui conduit à la formation d'une grande cellule végétative (c'est ce qui reste du prothalle) et d'une petite cellule générative (c'est ce qui

représente l'antheridie) qui est d'abord fixée à la paroi de la microspore. Cette cellule migre ensuite dans le cytoplasme de la cellule végétative puis subit une nouvelle mitose pour donner deux cellules spermatiques : les *gamètes mâles*.



Microgamétogenèse

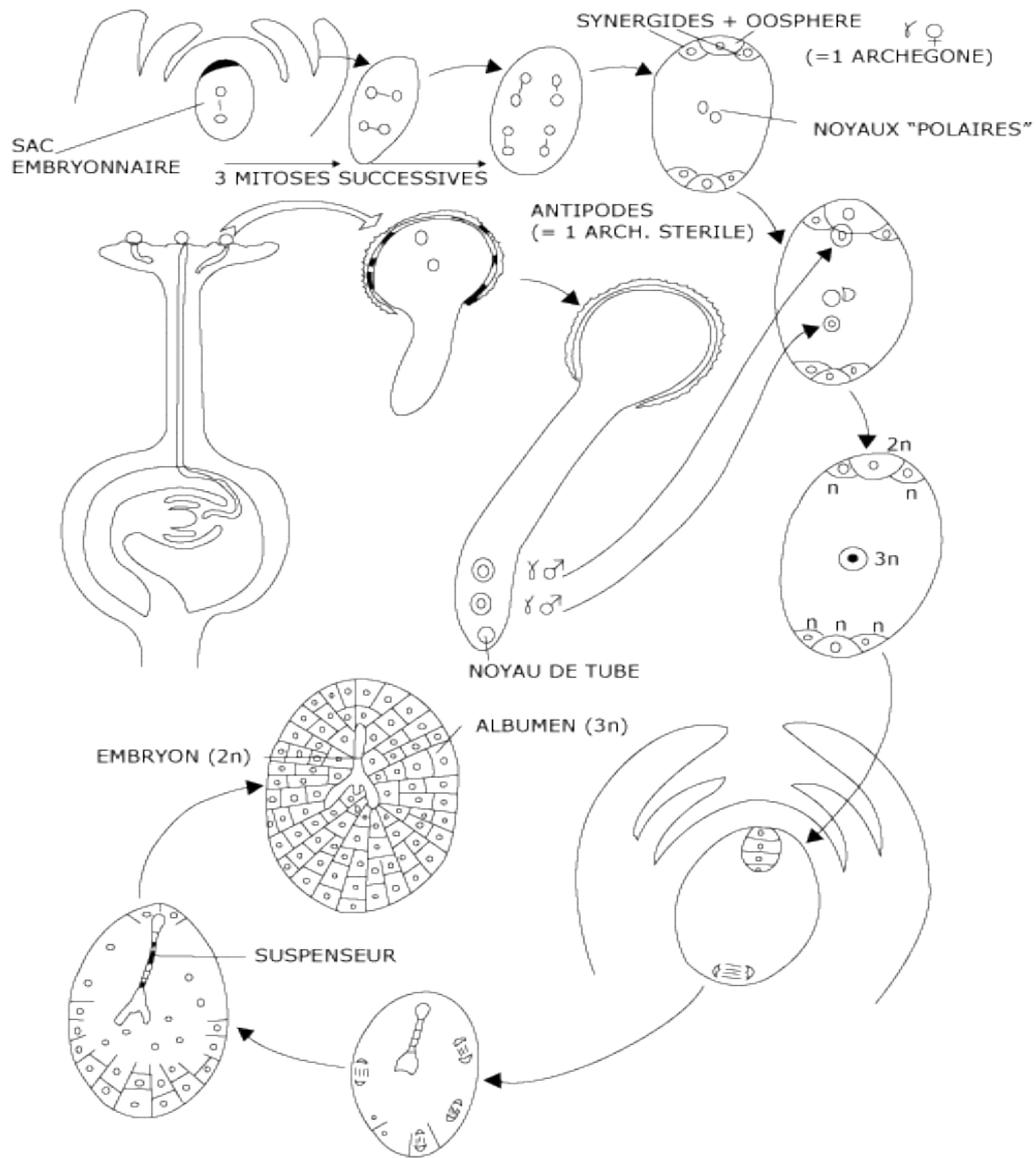
Le moment où cette mitose s'effectue varie selon les espèces ; elle se produit soit avant la dissémination du pollen, soit au cours de la croissance du tube pollinique dans le style.

2.3. Pollinisation et Fécondation :

Le grain de pollen est transporté passivement, le plus souvent par le vent (Anémophile) ou les insectes (Entomophile), de l'anthère qui le produit sur le stigmate d'une fleur. Il y germe en un **tube pollinique** qui s'allonge considérablement, se fraie un passage au travers du style qu'il traverse entièrement pour atteindre la cavité ovarienne puis le micropyle d'un ovule.

Il déverse sont contenu dans l'une des synergides et les deux gamètes mâles interviennent l'un et l'autre dans la fécondation du même sac embryonnaire, c'est pourquoi l'on parle de **Double Fécondation**.

L'un d'entre eux féconde l'oosphère, l'autre s'unit aux deux noyaux « polaires » de la cellule centrale du sac embryonnaire, noyaux qui auparavant s'étaient accolés, puis avaient fusionnés. La première fécondation aboutit à la formation d'un zygote **diploïde**, qui évoluera en **embryon** ; la deuxième donne un zygote **triploïde** qui évoluera en **albumen** qui servira au développement de l'embryon. C'est l'équivalent de l'endosperme des gymnospermes sauf qu'il est à trois n ($3n$) au lieu de (n) et il se forme après la fécondation.



Cycle de développement des Angiospermes. Gamétogenèse, fécondation et embryogenèse

NB : Certaines espèces végétales peuvent se multiplier sans reproduction sexuée bien qu'elles disposent de tous les organes. Le terme d'**apomixie** est le plus utilisé pour décrire le processus reproducteur dans lequel n'intervient pas de fusions de gamètes mais formation d'embryons.

Lorsqu'il y a formation d'un embryon à partir de l'oosphère, c'est la parthénogenèse haploïde. L'apogamie est dite lorsqu'il y a formation de l'embryon à partir d'une autre cellule du sac embryonnaire autre que l'oosphère. L'**aposporie** est le développement d'un embryon à partir d'une cellule diploïde qui ne résulte pas de la fécondation. La **polyembryonie** est définie par la présence de plusieurs embryons dans un même fruit (donc dans une même graine).

Ces embryons peuvent provenir d'un embryon normal et de plusieurs embryons formés par apomixie. On peut également observer la formation de plusieurs embryons dans la même graine issus de la coexistence de plusieurs sacs embryonnaires dans le même ovule.

2.4. Développement du zygote : Graine et Fruit

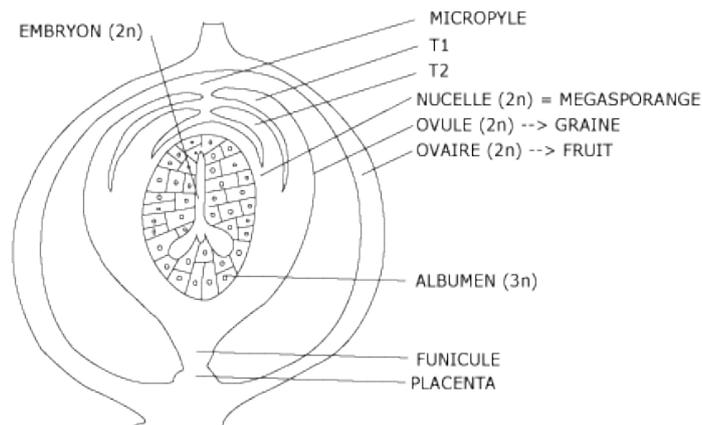
La Graine :

1/ Le tégument :

Après la fécondation, le micropyle se ferme, les téguments de l'ovule se sclérifient pour former le « **tégument** » de la graine, parfois appelé **spermoderme** ou enveloppe protectrice de la graine.

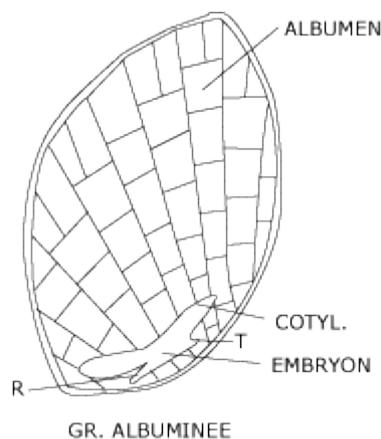
2/ L'albumen :

Le noyau triploïde central résultant de la fusion triple se divise activement ; les noyaux produits restent tout d'abord libres dans un symplaste. La cellularisation débute ensuite par la périphérie du sac embryonnaire et progresse vers le centre. Les cellules se chargent de réserves formant un tissu nourricier, l'**albumen**, autour de l'embryon issu du zygote principal.



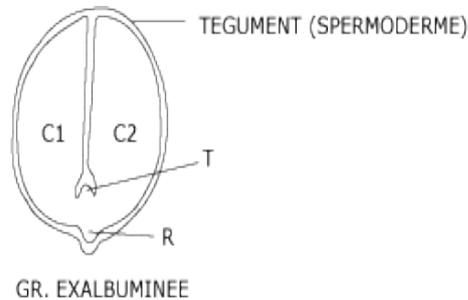
La graine

L'albumen peut persister et servir de réserve alimentaire pour le développement futur de l'embryon au cours de la germination (graines albuminées ex. : céréales (blé)).



Graine albuminée

Il peut aussi être entièrement consommé par l'embryon au cours du développement de celui-ci, comme tout ce qui reste du nucelle lui-même, voire encore le tégument interne. Les matières de réserve sont alors stockées dans les cotylédons (C). On parle alors de graines exalbuminées (ex. : légumineuses (pois)).



Graine exalbuminée

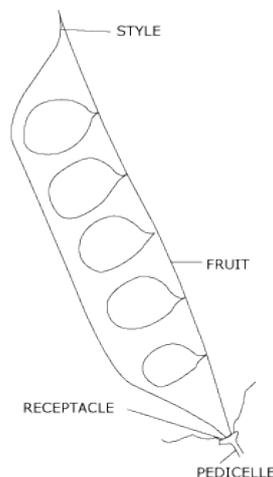
Il n'est pas rare que persiste, autour de l'albumen à maturité, une portion périphérique du nucelle, le périsperme, qui peut parfois remplacer l'albumen (graines périspermées).

3/ L'embryon :

Une fois fécondée, l'oosphère s'entoure d'une paroi cellulosique. Le zygote se divise ensuite et se cloisonne, sans phase de noyaux libres, pour former un suspenseur puis un embryon. Celui-ci est normalement constitué d'une tigelle, d'une radicule et d'un (Monocotylédones) ou de deux cotylédons (Dicotylédones).

Le fruit :

C'est de la différenciation de l'ovaire que le fruit tire son origine. Cette évolution se poursuit en même temps que mûrissent la (ou les) graine(s) provenant de la maturation de l'ovule ou des ovules. Au terme de ces transformations, il apparaît une grande diversité de fruits.



Fruit

