

Concepts généraux en développement

❖ *Acaule*

Plante sans tige ou à tige extrêmement courte

❖ *Accrescent(e)*

Se dit d'un organe floral qui continue à croître

❖ *Achlamydée*

Se dit d'une fleur sans périanthe, apérianthée

❖ *Actinomorphe*

Fleur à symétrie radiaire

❖ *Acyclique*

Fleur dont les pièces florales sont disposées sur le réceptacle en disposition spiralée (et non cyclique – en verticille – comme c'est le cas le plus fréquemment).

❖ *Adventif (-ve)*

Se dit d'un organe se formant sur une partie inhabituelle de la plante.

❖ *Agamospermie*

Reproduction sans fécondation. Les individus en résultant sont génétiquement identiques à la plante mère.

❖ *Albumen*

Tissu de réserve des graines des Angiospermes qui fournit à l'embryon les éléments de sa nutrition au moment de la germination.

❖ *Amidon*

Glucide constituant la principale substance de réserve des végétaux, formé par l'enchaînement simple de molécules de glucose.

❖ *Androcée*

Ensemble des organes mâles d'une fleur, c'est-à-dire des étamines.

❖ *Angiosperme*

Embranchement du règne végétal, groupant les plantes à fleurs et à fruits typiques (plantes phanérogames dont les graines sont contenues dans un fruit clos ; s'oppose à Gymnospermes).

❖ *Plante Annuelle*

Se dit d'une plante dont le cycle, de la germination à la dispersion des semences et à la mort, se déroule au cours de la même année.

❖ *Anthère*

Partie supérieure de l'étamine, constituée généralement par deux thèques (unies par le connectif) renfermant les sacs polliniques dans lesquels se forment les grains de pollen.

❖ ***Anthéridie***

Gamétange mâle des bryophytes et des ptéridophytes dans lequel se forment les gamètes mâles mobiles, ou anthérozoïdes.

❖ ***Anthérozoïde***

Gamète mâle mobile, cilié ou flagellé, chez les végétaux.

❖ ***Apétale***

Qualifie une fleur qui n'a qu'un seul verticille de pièces protectrices.

❖ ***Apex***

Pôle terminal et supérieur d'un organe.

❖ ***Apical(e)***

Situé au sommet d'un organe.

❖ ***Archégone***

Gamétange femelle des mousses et des fougères renfermant un gamète femelle immobile appelé oosphère destiné à être fécondé.

❖ ***ARN***

Abréviation d'acide ribonucléique.

❖ ***Assise (de cellules)***

Couche régulière de cellules jointives.

❖ ***Aubier***

Bois périphérique d'un tronc d'arbre dont les fibres ne sont point encore complètement durcies ; c'est le bois le plus jeune, riche en eau, tendre et de teinte claire.

❖ ***Autogame***

Se dit d'une plante lorsque ses fleurs sont pollinisées par leur propre pollen, c'est-à-dire menant à une autopolinisation.

❖ ***Autotrophe***

Se dit d'un être vivant qui est capable de produire sa propre matière organique comme les végétaux chlorophylliens et certaines bactéries.

❖ ***Auxine***

Désigne les hormones végétales qui provoquent essentiellement la croissance en longueur des cellules, des tiges, des pétioles, etc.

❖ ***Bractée***

Petite feuilles ou écaille située à la base d'un pédicelle floral, à la base d'une inflorescence.

❖ ***Bulbe (ou oignon)***

Tige modifiée, généralement souterraine et très contractée, portant un ou plusieurs bourgeons enveloppés d'écailles ; comme les bulbes tuniqueés charnues de l'oignon.

❖ ***Caduc (-que)***

Tous organe qui tombe, annuellement ou au cours de la vie (Ex feuilles caduques).

❖ ***Calice***

Verticille externe du périanthe, formé par les sépales, le plus ordinairement de couleur verte.

❖ ***Cambium***

Tissu méristématique de la tige ou de la racine assurant la croissance secondaire et produisant du bois sur sa face interne et du liber sur sa face externe. Le cambium ne contribue pas à l'allongement d'un organe (tige, racine), mais à son accroissement en épaisseur.

❖ ***Carpelle***

C'est l'organe reproducteur femelle. L'ensemble des carpelle forme le gynécée ou le pistil. Chaque carpelle comprend en principe trois parties : ovaire, style et stigmate.

❖ ***Caulinaire***

Se dit d'un organe inséré sur la tige.

❖ ***Collenchyme***

Tissu mécanique de soutien.

❖ ***Collet***

Zone de jonction de la tige et de la racine.

❖ ***Connectif***

Partie de l'étamine qui sépare les deux loges de l'anthère, en prolongement du filet.

❖ ***Cormophyte***

Plantes pourvues d'un tronc portant des feuilles différenciées, par opposition aux thallophytes, qui ne possèdent qu'un thalle.

❖ ***Cormus***

Tronc des plantes phanérogames.

❖ ***Corolle***

Partie interne du périanthe, souvent colorée, formée de pétales.

❖ ***Cryptogames***

Végétaux dont les organes de la reproduction sont invisibles. Ils sont dépourvus de fleurs proprement dites. Ex. mousses, fougères.

❖ ***Cuticule***

Couche externe cireuse qui recouvre et protège les organes aériens des végétaux.

❖ ***Dédifférenciation***

Certaines cellules peuvent retourner à l'état méristématique et commencer à se diviser en engendrant un nouveau méristème dont l'activité pourra donner par la suite un nouvel organe,

exemple le cas du bouturage qui permet de multiplier des individus sans passer par la reproduction ou encore celui de la formation des racines secondaires.

❖ ***Digénétique***

Un cycle qui a deux générations.

❖ ***Dioïque***

Se dit d'une plante dont les fleurs sont unisexuées, mâles ou femelles, et sont portées par des individus différents.

❖ ***Diploïde***

Cellule dont les chromosomes qu'elle contient sont présents par paires (2n chromosomes).

❖ ***Ecorce***

L'**écorce** est le revêtement extérieur du tronc, des branches et des racines des arbres, et plus généralement des plantes ligneuses. Elle est issue de la croissance secondaire de la plante et absente sur les jeunes arbres.

❖ ***Embryogenèse***

Formation et développement de l'embryon ; étude de ses formes successives ou stades embryonnaires.

❖ ***Entre-noeud***

Intervalle compris entre deux nœuds de la tige.

❖ ***Epicarpe***

Tissu de revêtement externe du fruit, désigné vulgairement sous le nom de peau.

❖ ***Etamine***

Organe reproducteur mâle, comportant typiquement le filet et l'anthere.

❖ ***Exalbuminée***

Graine dépourvue d'albumen.

❖ ***Exine***

Membrane externe du grain de pollen, parfois ornementée et interrompue de pores.

❖ ***Gamétange***

Structure végétale dans laquelle se forment les gamètes.

❖ ***Gamétophyte***

La génération du cycle de vie qui produit les gamètes. Donc un individu haploïde.

❖ ***Gynécée***

Ensemble des organes femelles (carpelles) d'une fleur.

❖ ***Haploïde***

Se dit d'une cellule ou d'un organisme qui ne possède qu'un nombre impair de chromosomes (n). C'est l'état habituel des tissus reproducteurs.

❖ ***Herbacé(e)***

Qui a la consistance molle et souple de l'herbe, par opposition à ligneux.

❖ ***Hermaphrodite***

Se dit d'une fleur comprenant à la fois des étamines et des carpelles.

❖ ***Hybride***

Plante dont les deux parents appartiennent à des espèces ou parfois des sous-espèces différentes, relevant habituellement du même genre.

❖ ***Intine***

Membrane interne du grain de pollen.

❖ ***Liane***

Plante ligneuse grimpante à longues tiges flexibles prenant appui sur divers supports et s'épaississant avec l'âge (Chèvrefeuille, Clématite, Lierre,...)

❖ ***Liber (ou phloème)***

Tissu conducteur de la sève élaborée, caractéristique des végétaux vasculaires.

❖ ***Liège (ou suber)***

Tissu protecteur secondaire de la tige et de la racine des spermatophytes formé par la zone génératrice subéro-phellodermique et constitué de cellules mortes remplies d'air, à paroi imprégnée de subérine.

❖ ***Méristème***

Tissu végétal jeune ou indifférencié, formé de petites cellules qui se multiplient activement.

❖ ***Micropyle***

Désigne une discontinuité des téguments de l'ovule par lequel rentre le tube pollinique.

❖ ***Monocotylédone***

Plante dont la graine possède un seul cotylédon.

❖ ***Monoïque***

Se dit d'une plante possédant des fleurs mâles et des fleurs femelles apparaissant sur le même individu.

❖ ***Oosphère***

Gamète femelle ou œuf non fécondé. Très grosse cellule incluse dans l'archégone ou l'ovule et destinée à être fécondée.

❖ ***Ontogenèse***

Recouvre l'ensemble des processus de développement des êtres vivants, à partir de la fécondation, par l'embryogenèse, l'acquisition de l'état adulte, la sénescence, puis la mort et/ou la reproduction qui conduisent à un nouveau cycle de vie.

❖ ***Organogénèse***

Ensemble des phénomènes donnant naissance aux organes à partir de tissus indifférenciés.

❖ ***Péricycle***

Tissu caractéristique des racines, limité vers l'extérieur par l'endoderme et vers l'intérieur, par le phloème. Son rôle dans la racine est de former et de créer les racines secondaires. Le péricycle est également impliqué dans la circulation de l'eau et des nutriments jusqu'au cylindre central.

❖ ***Phloème***

Tissu conducteur des végétaux vasculaires, conduisant la sève élaborée.

❖ ***Pivotant(e) (racine)***

Se dit d'une racine principale (ou pivot) toujours plus importante que les autres, et s'enfonçant perpendiculairement dans le sol.

❖ ***Pollen***

Est le gamétophyte mâle, il produit et contient les gamètes mâles, et permet leur déplacement.

❖ ***Pollinisation***

Transport du pollen de l'étamine aux stigmates du pistil chez les angiospermes ou à l'ovule chez les gymnospermes.

❖ ***Procambium***

Ensemble de cellules méristématiques primaires qui sont à l'origine des premiers éléments du xylème et du phloème primaires.

❖ ***Sac embryonnaire***

Portion de l'ovule situé sous le micropyle ou le gamétophyte femelle, formée de sept cellules et de 8 noyaux, et qui donnera, après fécondation, l'embryon.

❖ ***Somatique***

Relatif au soma, c'est-à-dire relatif à l'ensemble des cellules non reproductrices de l'organisme (opposé à germinatif).

❖ ***Tégument (ou périsperme)***

Membrane différenciée recouvrant un organe ; les téguments de l'ovule deviennent les téguments de la graine.

❖ ***Totipotence***

Capacité que possède une cellule de se différencier en tous les types cellulaires. C'est le cas des cellules souches embryonnaires.

Ou caractère des cellules embryonnaires aptes à former n'importe quel tissu selon les influences qu'elles subiront

❖ ***Xylème***

Tissu vasculaire qui assure la conduction de la sève brute ; le xylème secondaire est appelé bois.

❖ ***Zygomorphe***

Se dit d'une fleur (ou d'un ensemble d'organes d'une fleur) présentant une symétrie bilatérale (= irrégulier).

❖ ***Zygote (œuf fécondé)***

Cellule à $2n$ chromosomes provenant de l'union d'un gamète mâle et d'un gamète femelle.

Chapitre II : Les grandes étapes de l'acquisition des plans d'organisation (La croissance des Angiospermes)

1. Introduction

Le développement en biologie étudie toutes les modifications qualitatives et quantitatives chez une plante de la fécondation jusqu'à la mort.

Les modifications quantitatives représentent la croissance (des modifications irréversibles se produisant au cours du temps), comme par exemple, l'augmentation de taille, de volume, de masse.

On parle de différenciation quand la part prise par les modifications qualitatives va prédominer : c'est l'acquisition de propriétés morphologiques et fonctionnelles.

On observe différentes étapes de la croissance :

- **La mérése ou méresis** : c'est l'augmentation de la masse protoplastique, réalisée par multiplication cellulaire au niveau des méristèmes primaires.
- **L'auxèse ou auxésis** : c'est l'augmentation qui résulte du grandissement cellulaire au niveau des méristèmes secondaires.

Les deux phénomènes ne se produisent pas dans les mêmes territoires de l'individu et interviennent simultanément et assurent ainsi une croissance en longueur et une croissance en épaisseur des organes.

Tous les tissus d'une plante dérivent d'un type particulier de tissus non spécialisés, les méristèmes.

2. Méristèmes :

Le méristème est un tissu végétal jeune composé d'un groupe de cellules indifférenciées, à activité mitotique importante, responsables de la croissance indéfinie de la plante. Les méristèmes se présentent sous différentes formes, en différents lieux de la plante et ont des fonctions variées.

Les cellules méristématiques sont jeunes à fort pouvoir de division. Elles sont en général isodiamétriques, à fort rapport nucléoplasmique (le noyau est très important par rapport au cytoplasme). Le cytoplasme contient des organites peu différenciés (proplastides non différenciés en amyloplastides, très petites vacuoles) et une grande densité en ribosomes, témoin d'une activité de synthèse protéique importante.

L'embryon d'une plante d'Angiosperme comporte déjà les ébauches des futurs méristèmes caulinaires (des tiges) et racinaires qui se trouvent respectivement au niveau de la gemmule et de la radicule. Selon leur origine, on distingue les méristèmes primaires et secondaires.

Les méristèmes primaires apparaissent en premier au cours de l'embryogénèse (la formation de l'embryon), ces méristèmes primaires en fonctionnant vont donner des

tissus. Ils sont dénommés tissus primaires pour les différencier des tissus secondaires qui apparaissent chez certaines plantes ultérieurement.

Ces méristèmes sont localisés spécifiquement aux extrémités des axes (figure 01): méristème apical caulinaire et racinaire ; ils assurent essentiellement la croissance en longueur de ces organes avec parfois, l'aide d'un méristème intercalaire, situé à la base de l'entre-nœud, assure ainsi la croissance en longueur ; le procambium qui dérive des méristèmes apicaux ; il donne naissance aux tissus conducteurs et, éventuellement au cambium ; les bourgeons latéraux dont le développement est à l'origine d'une nouvelle tige feuillée ; ils sont donc responsable de la ramification caulinaire ; ils apparaissent à une certaine distance du méristème apical.

Le système racinaire est formé par un méristème apical racinaire mais il n'existe pas de méristèmes latéraux pour les racines, donc les racines secondaires se forment à partir des cellules du péricycle qui se dédifférencient (le retour à l'état méristématique pour se diviser en engendrant un nouveau méristème dont l'activité pourra donner par la suite des racines secondaires).

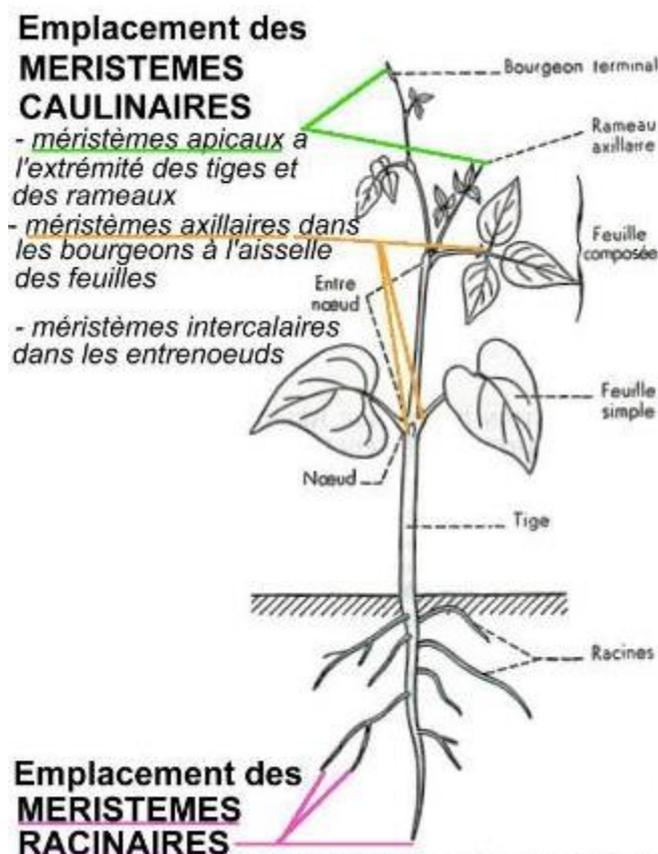


Figure 01 : Emplacement des méristèmes

2.1 Le méristème caulinaire

Le méristème caulinaire (de la tige) est responsable de l'édification de la partie aérienne de la plante, de lui, apparaissent des cellules qui en se multipliant et en se différenciant donneront les tiges, les feuilles, les bourgeons axillaires et les bourgeons floraux, il est donc histogène et organogène. De manière tout à fait répétitive et indéfinie, jusqu'à la mort de la plante. Le méristème caulinaire n'est pas constitué d'un simple empilement de cellules, mais en réalité de plusieurs zones sans limites très nettes. Chez les Angiospermes, ce méristème forme un dôme de 0,5 à 3 mm de diamètre, composé de cellules de petite taille.

La section centrale du méristème caulinaire révèle l'existence de trois régions (figure 02 et 03) :

1- Une zone axiale, Za, avec deux couches superficielles, les tunicas T1 et T2 et le corpus C. L'assise superficielle, tunica (T1), tout autour du méristème se distingue par ses divisions strictement anticlines (cloisons perpendiculaires à la surface), elle est à l'origine de l'épiderme.

Les cellules de la zone centrale, Zc ou zone axiale, Za (ou centre quiescent) possèdent une faible activité mitotique, et forment des cellules totalement indifférenciées. Celles-ci se divisent et migrent vers la zone périphérique (ZP) du méristème.

2. Une zone latérale, ZL entourant la zone axiale, on distingue des divisions périclines, (les cloisons sont parallèles à la surface). Les cellules de la zone périphérique sont plus actives et forment des primordia foliaires qui donneront les feuilles (rôle organogène du méristème), ainsi que les cellules qui donneront les tissus de l'écorce et les tissus conducteurs.

3. Un méristème médullaire, Mm, aux mitoses peu fréquentes formant des files empilées de cellules à l'origine de la moelle centrale, M.

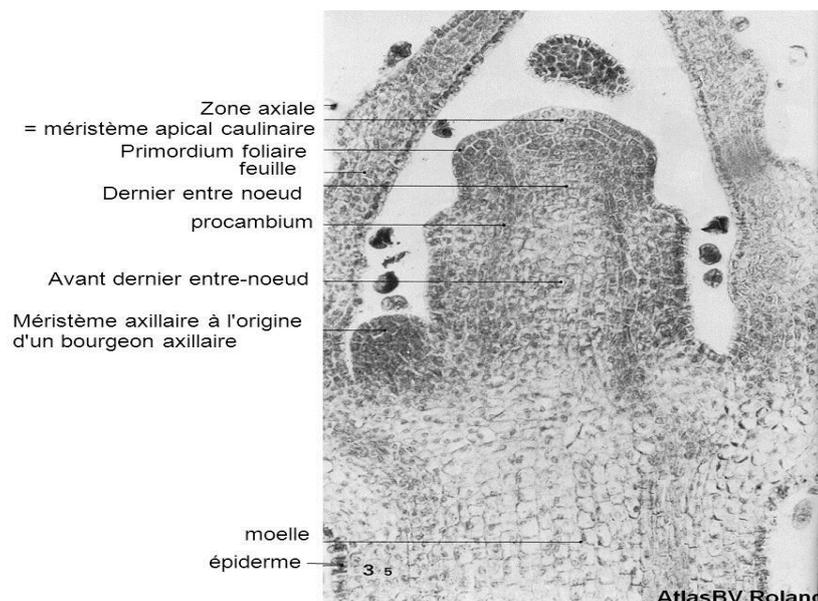


Figure 02: Le méristème caulinaire

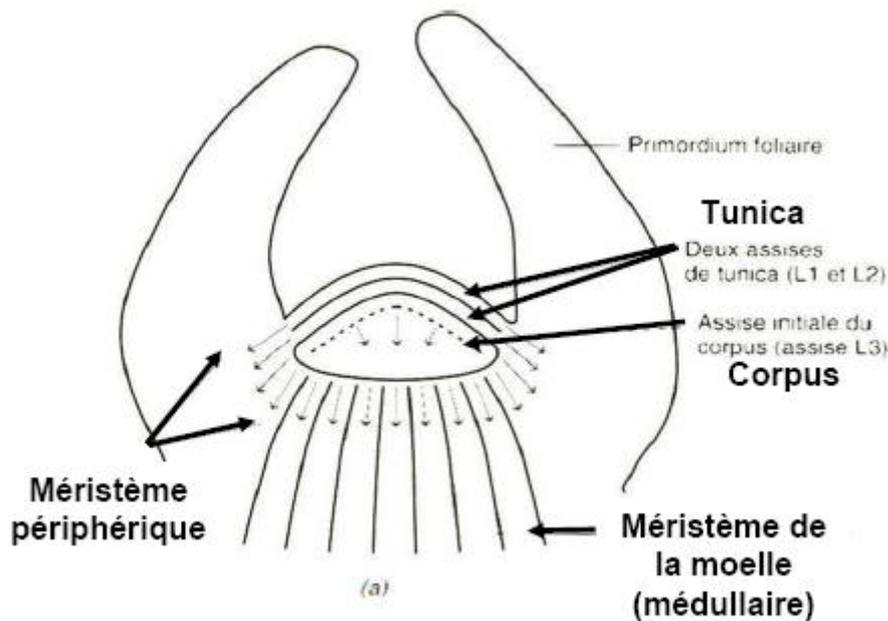


Figure 03: La zonation du méristème végétatif caulinaire

Développement et croissance du méristème apicale caulinaire

Au niveau de l'extrémité des tiges, les cellules méristématiques forment un anneau subapical à partir duquel prolifèrent des cellules qui constitueront les feuilles et les entrenœuds. Les bourgeons latéraux se forment à partir d'un îlot de cellules méristématiques issues de l'anneau subapical.

La croissance des tiges se poursuit simultanément sur plusieurs entrenœuds successifs, l'emplacement et l'importance des zones d'élongation variant selon les espèces. La croissance des entrenœuds résulte à la fois de la persistance de cellules en division à leur niveau (méristème intercalaire plus ou moins nets et actifs) et de l'élongation des cellules. Comme l'édification des racines, celle des tiges résulte de l'activité d'un méristème subterminal.

Cependant, les méristèmes des tiges ne produisent pas comme ceux des racines un axe continu, mais des unités successives (les feuilles + entrenœuds).

Les méristèmes axillaires sont à l'angle de la tige et des feuilles. Ils sont également dans un bourgeon. Ils produisent une tige-ramification et des feuilles. Ces méristèmes permettent une croissance indéfinie du végétal, qui ne s'arrête qu'à la mort de celui-ci.

Transformation du méristème apical en méristème floral

Sous l'action de signaux mal identifiés (peut être des protéines sensibles à la lumière ; un phytochrome et un cryptochrome). Les méristèmes caulinaires vont se transformer en méristèmes floraux, et vont donc être responsables de la forme d'une fleur. Cette fleur peut être unique ou en inflorescence.

* Ces transformations correspondent à un ralentissement d'activité de la zone latérale (ZL) qui donnera les sépales (premières pièces florales apparaissant).

*Le corpus donne naissance au réceptacle floral suite à sa prolifération abondante

*La tunica T2 sera à l'origine des pièces florales reproductrices

2.2 Le méristème racinaire

Le méristème apical de la racine est lui aussi formé durant l'embryogenèse. Il élabore les tissus de la racine et la coiffe: il est uniquement histogène. Il ne produit pas d'organes latéraux et n'est donc pas organogène.

Le méristème apical racinaire est protégé par une enveloppe appelée coiffe et situé au-dessus d'une zone sans division appelée zone quiescente. Il assure la croissance en longueur de la racine.

La racine représente un modèle simple pour comprendre le développement cellulaire. En effet, dans la racine, le développement se réalise dans une seule dimension de l'espace. Il est ainsi possible de suivre de manière rectiligne, les étapes successives de la vie des cellules, à partir de la cellule méristématique, c'est-à-dire la division, la croissance puis la différenciation des cellules.

Les mécanismes cellulaires de la croissance

L'observation au microscope de l'extrémité d'une racine permet de distinguer deux zones principales grâce aux caractéristiques cytologiques des cellules.

Les cellules de la zone apicale (d'apex qui signifie extrémité) située juste au-dessus de la coiffe possèdent les caractéristiques des cellules qui se divisent activement.

La zone d'élongation se situe après la coiffe et le méristème apical. Dans cette zone les cellules perdent leur capacité de division et grandissent. Cet accroissement des cellules s'accompagne de modifications importantes de la structure des cellules. Le rapport nucléoplasmique diminue, les organites se développent, les vacuoles dispersées confluent pour former en général une vacuole unique de grande taille, la paroi cellulaire s'épaissit. Ces modifications cellulaires traduisent l'élongation et la différenciation des cellules qui vont constituer les différents tissus fonctionnels de la racine (figure 04).

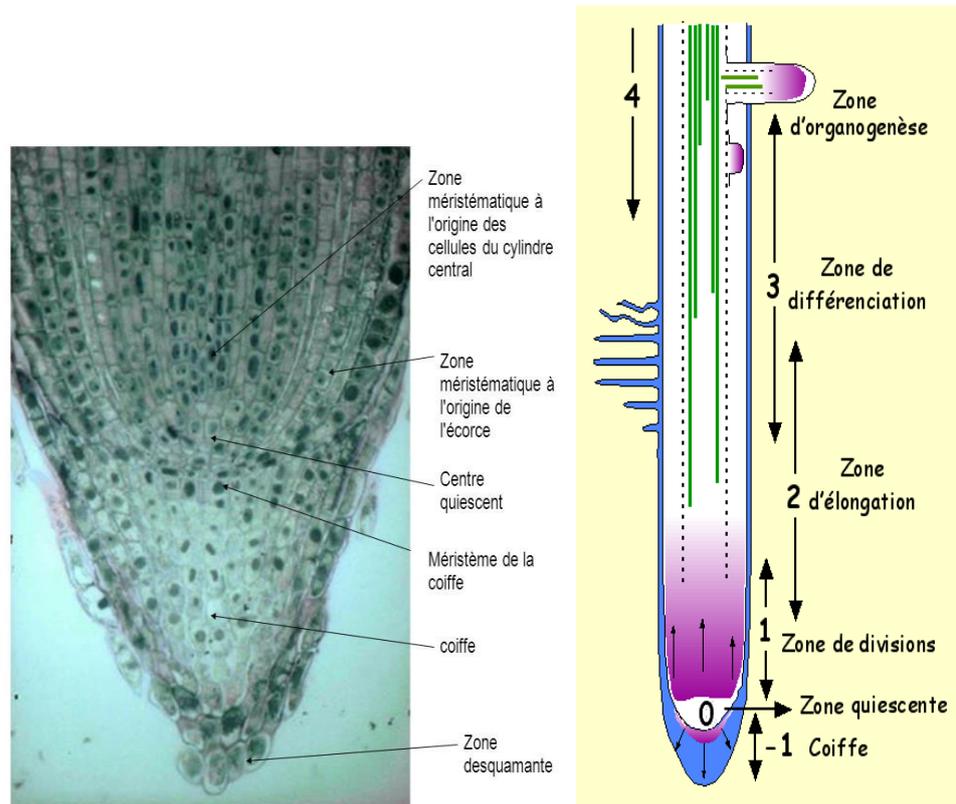


Figure 04 : Méristème apical racinaire et organisation de la racine

Les racines latérales se forment de manière endogène à quelque distance de l'apex à partir du péricycle (assise cellulaire située entre l'écorce et la stèle) qui se dédifférencie (le retour à l'état méristématique pour se diviser en engendrant un nouveau méristème dont l'activité pourra donner par la suite des racines secondaires). Le péricycle initie les ramifications de la racine. La structure et le fonctionnement des ramifications sont identiques à celui du méristème apical de la racine (figure 05).

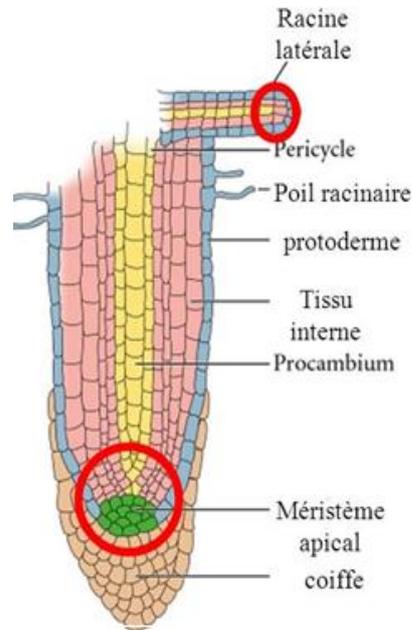


Figure 05 : Formation des racines latérales

3. Les cambiums (méristèmes secondaires ou cambium et phellogène) et histogénèse:

Les méristèmes secondaires sont à l'origine des tissus secondaires, ils sont constitués d'assises génératrices sous forme d'anneaux formés de cellules capables de se diviser rapidement, ces cellules diffèrent des cellules du méristème primaire par la forme (rectangulaire), et le contenu cellulaire ; une vacuole centrale et un noyau qui occupe une position latérale.

Les cellules permettent une croissance en épaisseur autour de la tige et des racines.

Ils n'apparaissent qu'après que la croissance en longueur est achevée dans la zone.

Ils ne sont pas présents chez tous les végétaux ; les plantes herbacées par exemple n'ont pas de croissance secondaire.

Les méristèmes secondaires n'existent que chez les gymnospermes et les angiospermes plus précisément les dicotylédones (ils manquent chez les monocotylédones).

Le développement d'une Dicotylédone, par exemple, se fait donc en deux temps :

Tout d'abord, les méristèmes primaires fonctionnent seuls mettant en place des **formations primaires**, puis, aux formations primaires viennent s'ajouter des **formations secondaires** produites par les **cambiums**, après un laps de temps plus ou moins important suivant les espèces.

On distingue deux types de méristèmes secondaires (cambiums): le cambium et le phellogène

3.1 Le cambium (zone génératrice libéro-ligneuse)

Dans les tiges des dicotylédones, le cambium provient d'une part de cellules restées procambiales placées entre le xylème primaire et le phloème, et d'autre part de la dédifférenciation de cellules parenchymateuses qui se dédifférencient entre les massifs de tissus conducteur pour fermer le cercle du cambium (figure 06).

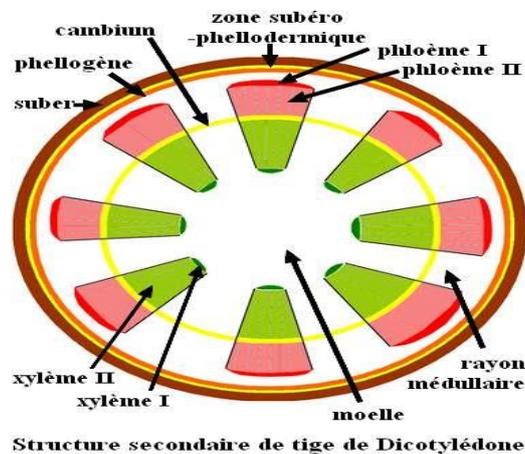


Figure 06 : coupe transversale dans une tige des dicotylédones

Dans les racines des dicotylédones, le cambium provient d'une part de cellules restées procambiales placées en face des massifs de phloème primaire, et d'autre part de la prolifération et de la différenciation de certaines cellules du péricycle en face des massifs de xylème primaires pour former l'anneau cambial (figure 07).

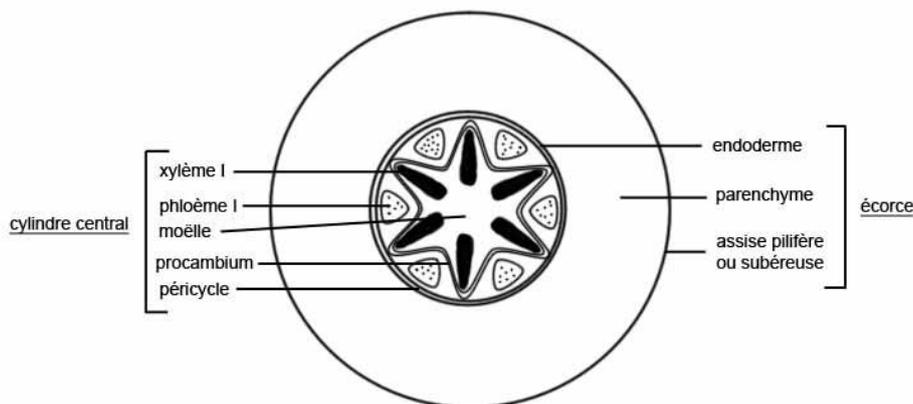


Figure 07 : coupe transversale dans une racine des dicotylédones

Le cambium est responsable de la formation des tissus conducteurs secondaires, il présente une activité mitotique orientée dans le sens radial.

Les cellules qui le constituent subissent des divisions, de manière à créer (figure 08) :

- vers l'intérieur : du xylème secondaire (bois), lignifié, tissu conducteur de la sève brute et de soutien contenant notamment des vaisseaux et des fibres.

- vers l'extérieur : du phloème secondaire (liber), tissu conducteur de la sève élaborée et de soutien.

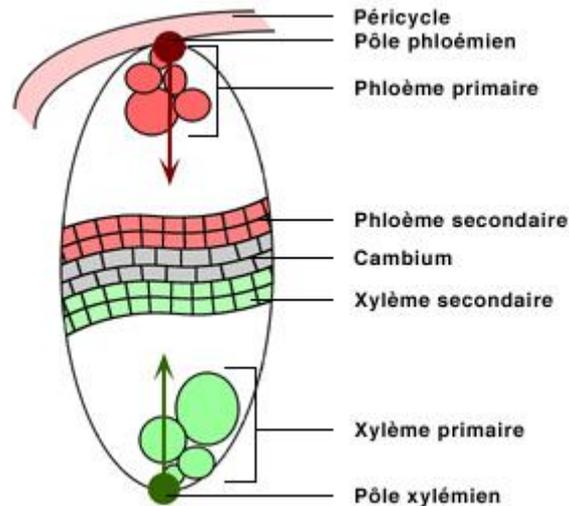


Figure 08 : Structures d'un faisceau xylémo-phloémien

Les vaisseaux primaires sont comprimés par la croissance des tissus secondaires.

Le cambium est constitué de deux catégories de cellules (figure 09)

- Des initiales longues, effilées en fuseau aux extrémités ; ces **initiales fusiformes** donnent naissance à des cellules de xylème et de phloème allongées dans le sens de l'axe de l'organe et constituant **le système vertical** ;
- Des initiales courtes qui produisent les cellules des rayons, étirées dans le sens radial ; ces **initiales radiales** sont à l'origine du **système horizontal** des tissus conducteurs secondaires.

Donc les tissus conducteurs issus du cambium, constitués par l'entrecroisement des systèmes verticaux et horizontaux.

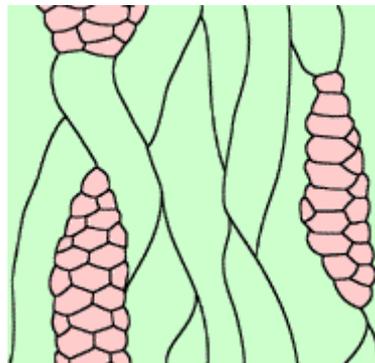


Fig. 09: Les initiales fusiformes (vert) et les initiales radiales (rose) dans un cambium

Ces tissus secondaires vont se développer et permettre la croissance en épaisseur du végétal. Ils prennent beaucoup d'importance. Ils remplacent petit à petit le xylème et le phloème primaires, ils vont assurer le transport de la sève et auront un rôle de soutien du végétal (le tronc de l'arbre).

3.2 Le phellogène (zone génératrice subéro-phéllodermique)

Moins courant que le précédent (cambium), n'intervenant que tardivement dans le cas des arbres, il est responsable de la formation des tissus protecteurs secondaires, il se forme dans l'écorce. Le phellogène produit deux tissus secondaires:

- Vers l'extérieur produit un tissu de revêtement, le **suber (liège)**, qui remplacera le rhizoderme exfolié dans une racine âgée et qui donnera un tissu protecteur complexe quand la tige vieillira;
- Vers l'intérieur un tissu d'accumulation de réserves, le **pheloderme** constitué d'un tissu parenchymateux, le phellogène ne produit pas toujours le pheloderme.

Le phellogène se forme dans la tige à partir de la dédifférenciation de cellules du collenchyme et du parenchyme cortical (de l'écorce) placées sous l'épiderme ; et dans la racine à partir de la dédifférenciation du péricycle.

Les cellules méristématiques de cambium et de phellogène se multipliant et en se différenciant donneront les tissus conducteurs et les tissus protecteurs, elles sont donc histogène (10).

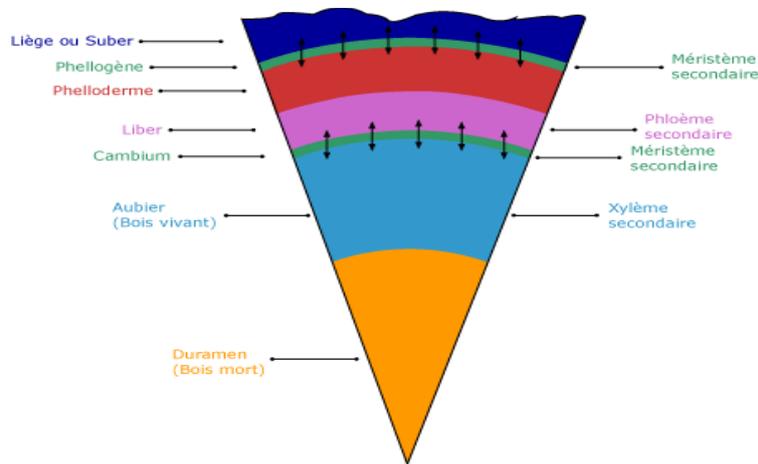


Figure 10 : l'emplacement des tissus secondaires

Chapitre III : Aspects fondamentaux du développement reproducteur Chez les plantes à fleurs

1. Introduction

Angiosperme est une plante qui formera des fleurs, et qui de ce fait aura un ovule enfermé dans une cavité appelée ovaire. A l'inverse de ce dernier, les Gymnospermes sont des plantes à ovule nue, ils ne sont donc pas protégés. Chez l'angiosperme, l'organe de reproduction est la fleur. Grâce à ce système d'ovules protégés, ils sont plus efficaces au niveau de la reproduction que les Gymnospermes.

2. Définition de la fleur

La fleur est un édifice complexe de pièce diversement spécialisé, dont certaines sont les organes sexuels. L'ensemble de la fleur contribue à la protection des organes sexuels et à l'accomplissement de la sexualité de la plante.

3. Structure de la fleur

Le pédoncule floral, à la structure d'une tige, va s'élargir à son extrémité pour former le réceptacle floral. Ce dernier est formé d'une succession de nœuds et d'entre-nœuds très courts. Toutes les pièces florales seront insérées au niveau des nœuds du réceptacle floral. Le plus souvent les pièces florales d'un même type s'insèrent toutes au niveau d'un même nœud. Un cercle de pièces florales se nomme verticille. On peut alors dire que les pièces sont insérées en verticille.

3.1 Caractéristiques florales

3.1.1 la symétrie florale

Il existe deux types de fleurs :

- **Fleur régulière ou actinomorphe:** dans ce cas les diverses pièces florales sont régulièrement disposés autour d'un axe central. On a une symétrie axiale. (figure 01).

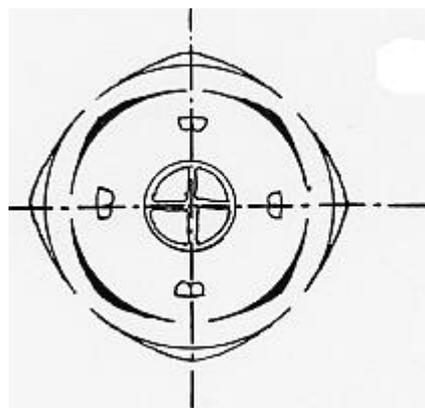


Figure 01: Diagramme d'une fleur actinomorphe

- **Fleur irrégulière ou zygomorphe:** fleur qui va présenter une symétrie bilatérale. (figure 02).

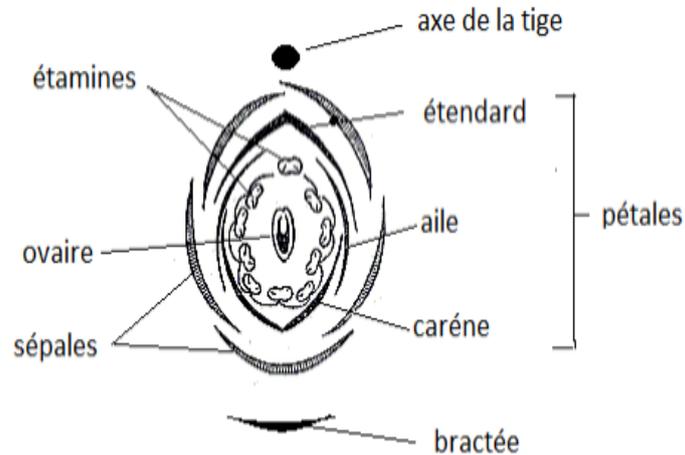


Figure 02: Diagramme d'une fleur zygomorphe

3.2 Types de fleur

Les types floraux sont définis par le nombre de pièces florales :

- Au nombre de 3 ou multiple de 3, on parle de fleurs trimères. Ces dernières sont très nombreuses chez les monocotylédones. Par exemple, il y a la tulipe.
- Au nombre de 4 ou multiple de 4, ce sont des fleurs tétramères que l'on rencontre principalement dans la famille des Brassicacées ou crucifère (les pétales forment une croix).
- Au nombre de 5 ou multiple de 5, on parle de fleurs pentamères. Elles sont les plus courantes chez les dicotylédones.

4. Les organes reproducteurs

4.1 Androcée

Les **étamines**, dont l'ensemble constitue l'**androcée**, sont les organes mâles de la fleur, dans lesquels se forment les grains de pollen ; tandis que le gynécée est la partie femelle. L'androcée et le gynécée constituent les pièces florales fertiles en opposition au périgone constitué de pièces florales stériles.

Chaque étamine est typiquement constituée d'une partie inférieure le plus souvent cylindrique, grêle et allongée (nommée **filet**) assurant sa fixation sur le réceptacle et d'une partie supérieure de forme très variable, appelée **anthère**. Cette dernière est généralement formée de deux **thèques**, unies par un **connectif** (prolongement du filet); chaque thèque renferme habituellement deux **sacs polliniques** (microsporanges), communiquant entre eux au moment de la libération du pollen - celle-ci se fait par déhiscence des anthères (figure 03).

Vue latérale

Coupe transversale

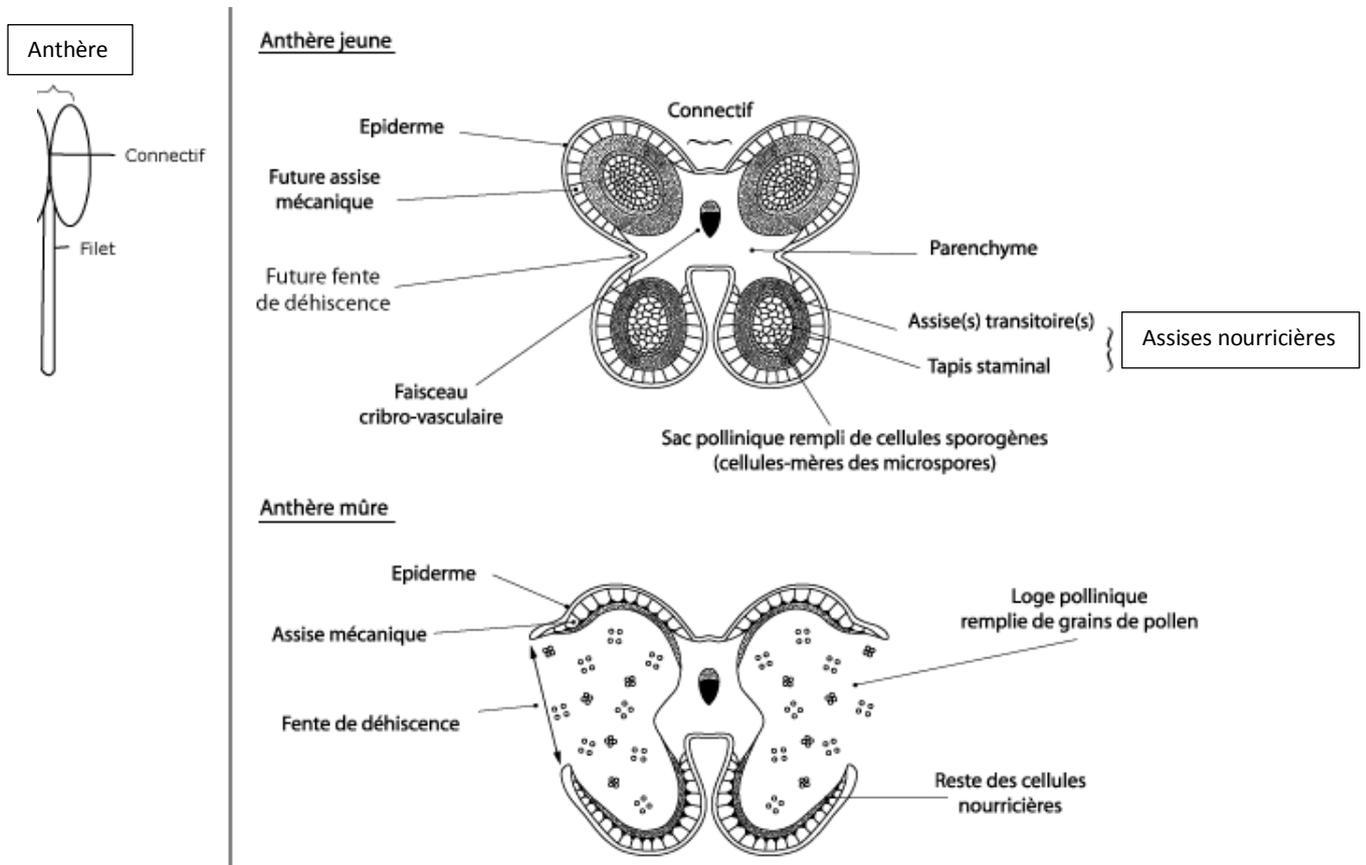


Figure 03 : Etamine et coupes transversales d'anthères

4.1.1 La 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 désintègrera au cours de la maturation du pollen. Vers l'extérieur de l'anthère, 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 la méiose 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 (substance très résistante à toute forme de dégradation physique et chimique) (figure 04 et 05).

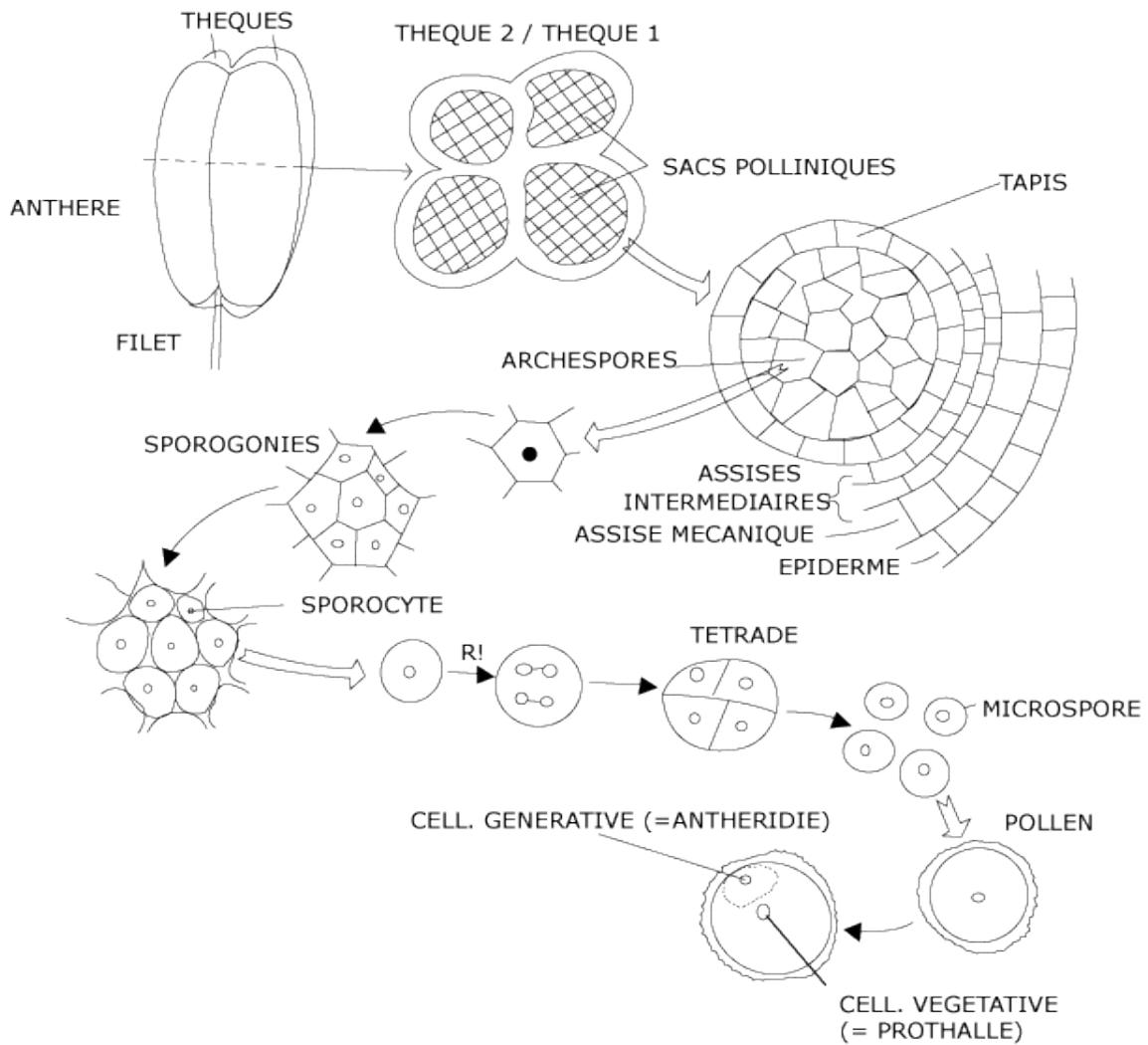


Figure 04 : Microsporogénèse

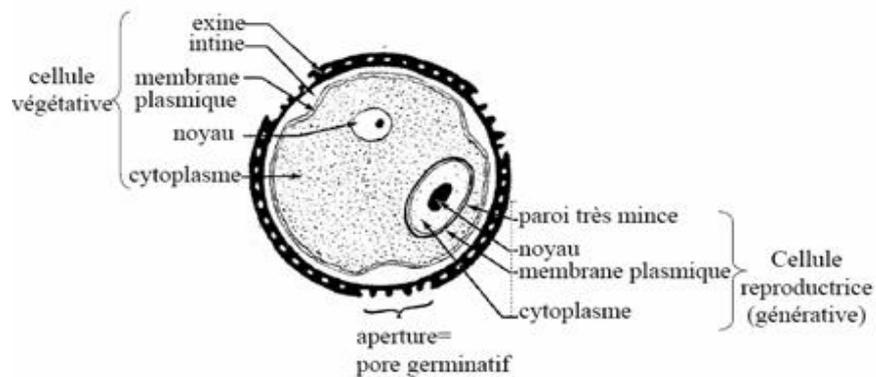


Figure 05 : structure d'un grain de pollen bicellulaire d'angiospermes

4.1.2 La 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 et d'une petite cellule générative 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 (figure 06).

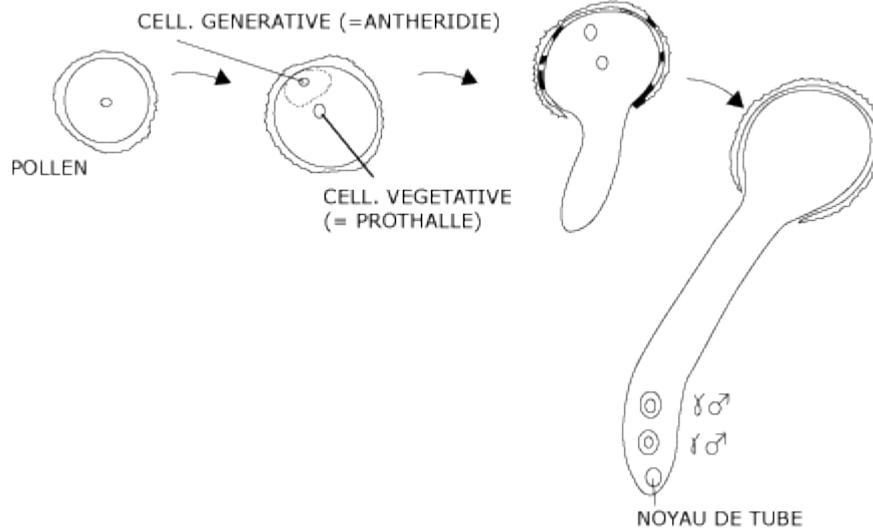


Figure 06 : Microgamétogenèse

Le moment de cette mitose 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.

4.2 Gynécée ou Pistil

Pour rappel, le *gynécée* ou *pistil* ou *organe femelle* est l'ensemble des carpelles d'une même fleur. Une partie importante du gynécée persiste après la fécondation et évolue en fruit. Le gynécée est parfois réduit à un seul carpelle. S'ils sont plusieurs, les carpelles sont **libres** ou **soudés** entre eux selon différents types d'organisation.

Le carpelle, généralement vert, comprend typiquement de la base au sommet : une partie basilaire dilatée et creuse, nommée **ovaire** contenant un ou plusieurs ovules, une partie médiane, le **style**, et une partie terminale, le **stigmate** papilleux. Le stigmate est normalement un collecteur de pollen et le style, une voie de passage du tube pollinique vers la cavité de l'ovaire.

4.2.1 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 péricleines, 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** (**figure 07**). L'ovule ayant atteint sa taille maximale, et est fixé au placenta par l'intermédiaire d'un petit pied, le **funicule**. Téguments et nucelle sont soudés à la base.

Le hile est l'extrémité du funicule (endroit où commence la partie ovoïde).

Par le funicule passe le faisceau conducteur qui alimente l'ovule.

La bifurcation du faisceau s'appelle la chalaze.

L'ovule est entouré de téguments.

Le micropyle est l'endroit où passe le tube pollinique.

Le raphé est la soudure entre le tégument et le funicule.

Le nucelle est le tissu nourricier (figure 08).

Tous les tissus sont formés de cellules diploïdes.

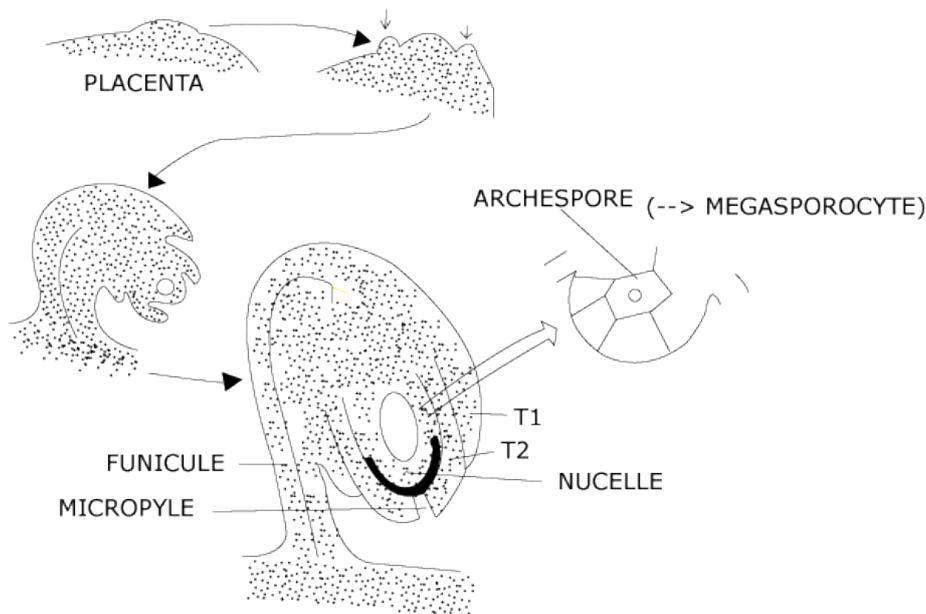


Figure 07 : Origine et formation de l'ovule

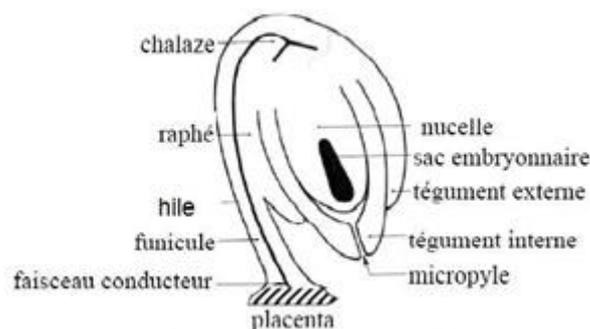


Figure 08 : Structure d'un ovule anatrophe

4.2.2 La 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 (R!) donnant 4 cellules haploïdes, les mégasporos,

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 (figure 09).

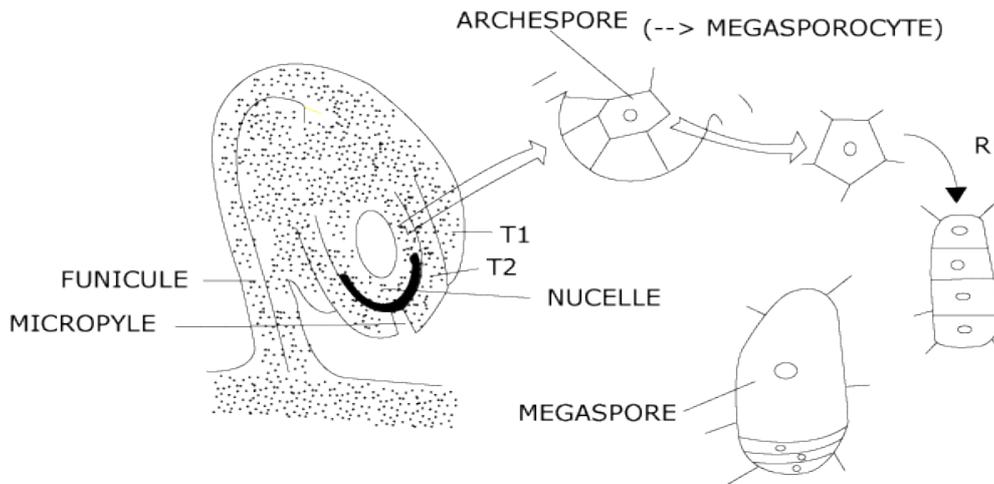


Figure 09 : Mégasporogénèse

4.2.3 La mégagamétogénèse

(Formation du sac embryonnaire = gamétophyte femelle et l'oosphère = gamète femelle).

La mégaspore fonctionnelle subit 3 vagues de divisions nucléaires successives conduisant à la formation de huit noyaux haploïdes qui se répartissent en groupes de quatre à chacun des deux 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 et 8 noyaux haploïdes (figure 10):

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

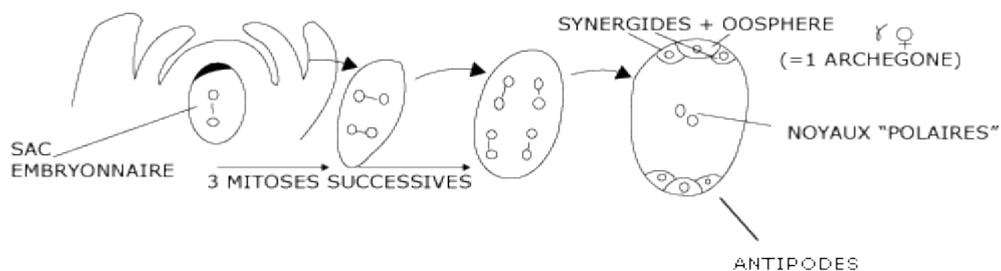


Figure 10 : Mégagamétogénèse

5. La pollinisation et la fécondation

La pollinisation est le transport du pollen *de l'anthere* qui le produit jusqu'au stigmate d'un pistil. Elle peut être directe ; c'est l'**autopollinisation (autogamie)** : le pollen fécondant provient des étamines de la même fleur ou du même individu. Elle peut être croisée ; c'est l'**allopollinisation (allogamie)** le pollen fécondant provient d'une fleur d'un individu différent mais de la même espèce. Le grain de pollen est transporté passivement, le plus souvent par le vent (**anémogame**) ou par les insectes (**entomogame**).

Le grain de pollen tombe sur le stigmate ; il germe et développe un tube pollinique qui pénètre dans le style pour atteindre la cavité ovarienne puis le micropyle d'un ovule, jusqu'au sac embryonnaire. Il déverse son 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**, propre aux Angiospermes.

L'un d'entre eux féconde l'oosphère pour donner un zygote diploïde (l'œuf), qui évoluera en embryon, l'autre s'unit aux deux noyaux « polaires » de la cellule centrale du sac embryonnaire, noyaux qui auparavant s'étaient accolés, puis avaient fusionnés pour former un second zygote, triploïde qui évoluera en **albumen**, réserves nutritives pour l'embryon (figure 11).

Après la fécondation, l'ovaire se transforme en fruit contenant des graines, résultat des ovules.

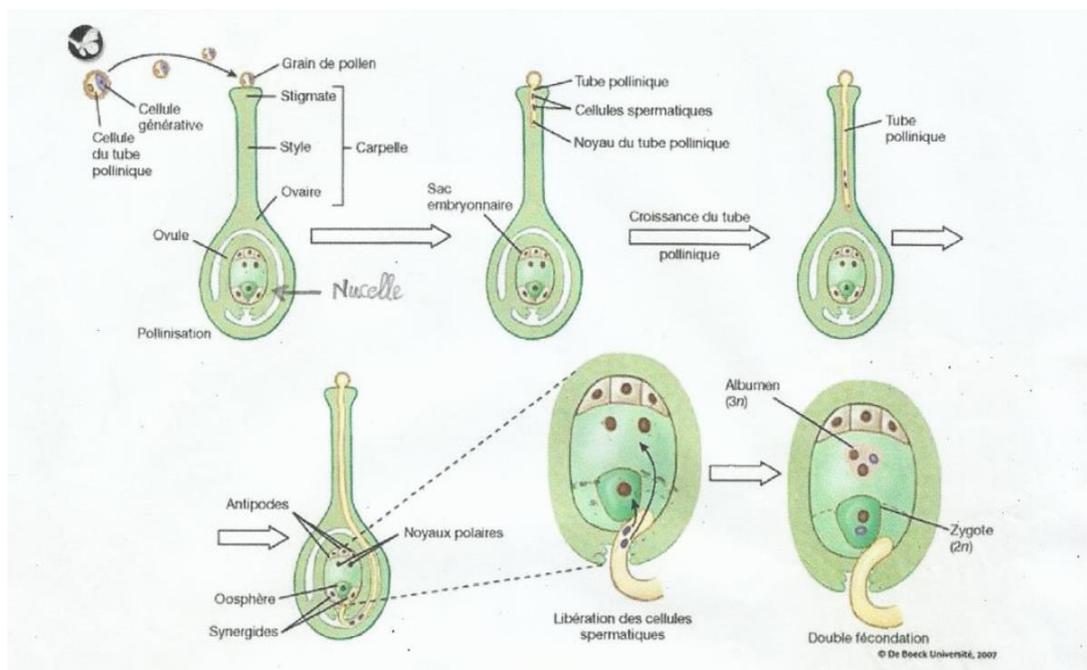


Figure 11 : la double fécondation

6. L'embryogenèse des plantes à fleurs

Tout d'abord, le zygote principal subit une mitose inégale car elle va donner deux cellules superposées, il y aura une petite cellule apicale et une grande cellule basale.

La cellule apicale donnera le futur embryon principal alors que la cellule basale formera le suspenseur. Ce dernier va se diviser afin de former un fil de cellules. Ce suspenseur permet à l'embryon d'être suspendu dans le tissu nourricier.

La cellule apicale va également subir des mitoses avec des orientations inégales. Cela permettra de former un embryon globuleux. À ce stade toutes les cellules sont méristématique.

Le 2^{ème} stade de l'embryogenèse est l'embryon cordiforme, c'est-à-dire un embryon en forme de cœur. On voit les ébauches des 2 cotylédons.

Les cellules méristématiques s'organise pour former le protoderme qui est le cœur de l'embryon.

Quelques cellules deviennent procambiale et seront les futures cellules de l'embryon.

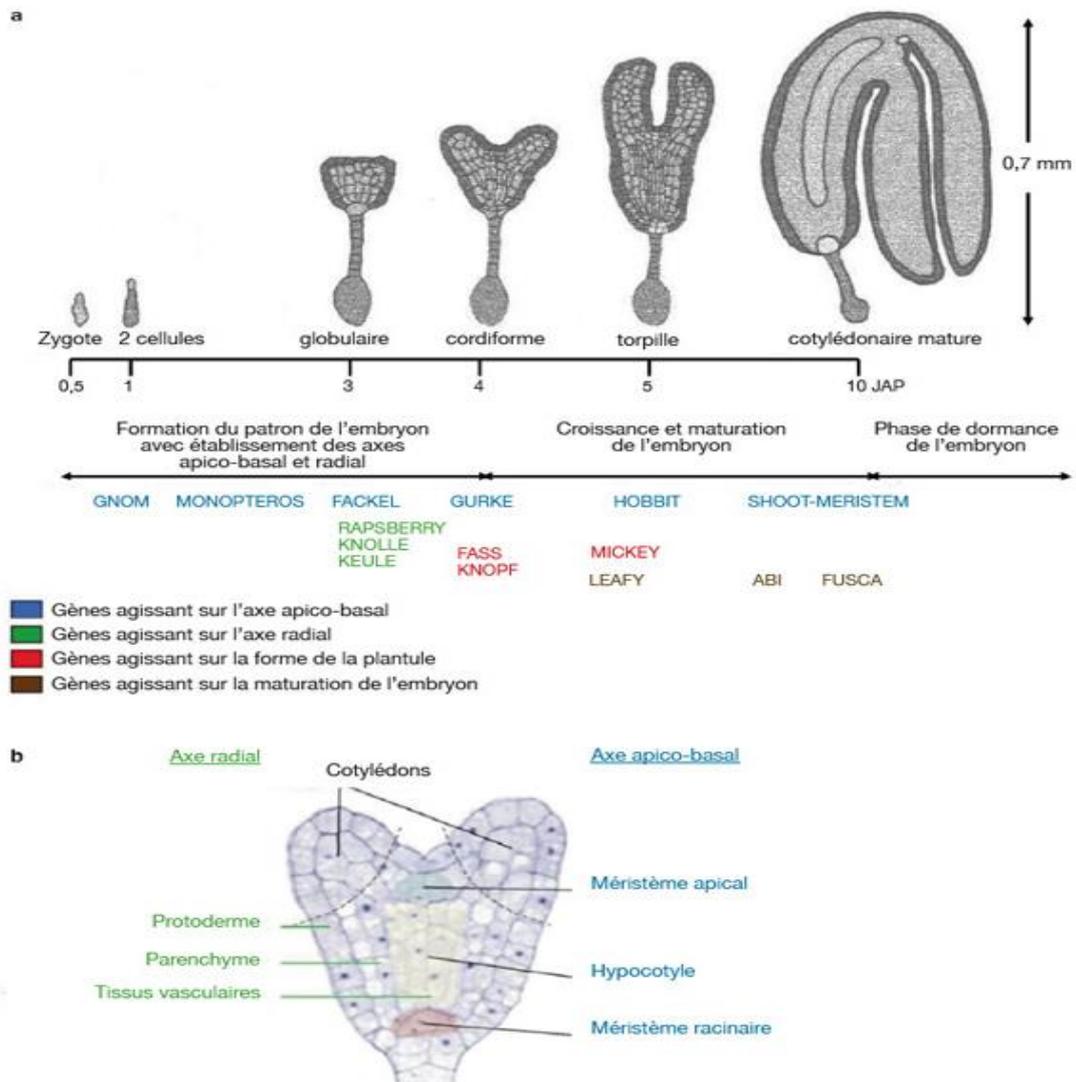
Ces cellules méristématiques se divise en deux groupes:

Le premier se place entre les cotylédons (MAC)

Le deuxième se place en haut du suspenseur (MAR)

Le troisième stade est le stade Torpedo ou torpille.

L'embryon se replie sur lui-même et les cotylédons sont bien développés. Cette étape correspond à une étape de croissance et de maturation pendant laquelle l'embryon emmagasine des réserves pour assurer la germination après la dormance. La dernière étape correspond à la dormance qui est un état de repos végétatif permettant aux graines d'attendre les bonnes conditions climatiques pour germer. Chaque phase de développement nécessite l'expression de différents groupes de gènes. La **figure 12a** représente les différentes phases de l'embryogenèse chez *A. thaliana* ainsi que les principaux gènes impliqués.



12 : l'embryogenèse chez *Arabidopsis thaliana* L. Heynh adapté de Ducreux (2002), Vernoud et al. (2005), Raven et al.

(2007) — *Arabidopsis thaliana* L. Heynh. embryogenesis adapted from Ducreux (2002), Vernoud et al. (2005), Raven et al. (2007).

a : Représentation schématique des principales phases du développement de l'embryon et les principaux gènes impliqués du stade zygote au stade cotylédonnaire mature à 10 jours après pollinisation (JAP) — Schematic drawing of key developmental stages of the embryo from zygote stage to the late cotyledonary stage at 10 days after pollination (DAP) ; **b** : Embryon au stade cordiforme (patron de l'embryon) avec présentation des différentes parties des axes apico-basal et radial — Heart shape embryo (embryo body) with components of apical-basal and radial axis.

L'embryogenèse est donc une étape de morphogenèse qui aboutit à la formation de deux axes (figure 12b), un axe radial qui traduit la mise en place des différents tissus (l'épiderme, le parenchyme, le cortex, l'endoderme, le péricycle et les tissus vasculaires) et un axe apico-basal correspondant à la mise en place des différents organes [le méristème apical, le(s) cotylédon(s), l'hypocotyle situé sous les cotylédons, la radicule et le méristème racinaire].

