



La reproduction chez les angiospermes

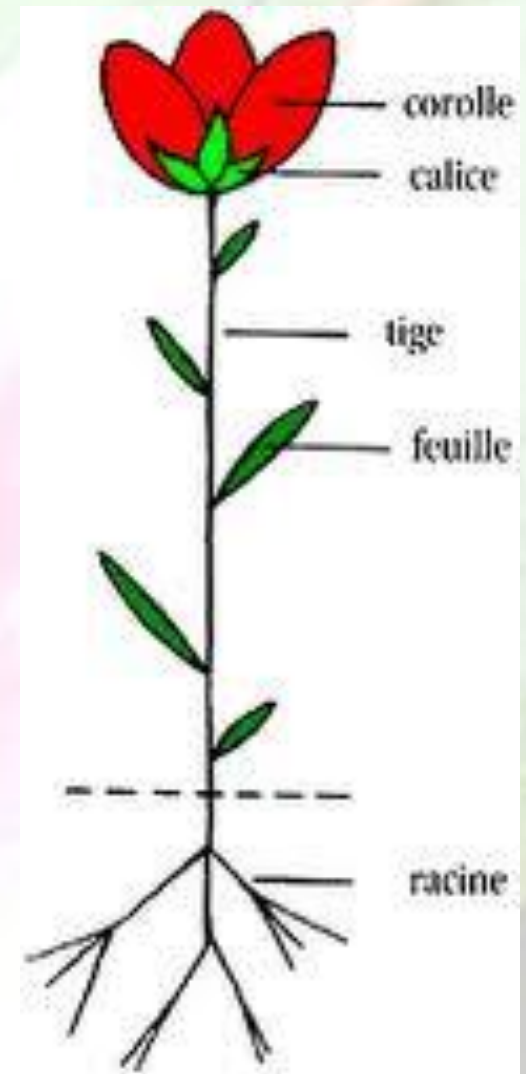
Présenté par Mme Boudjemline

Nous traitons dans cette partie la reproduction sexuée chez les **Phanérogames** (fleurs apparentes).

Le passage de **l'état végétatif** à **l'état de reproduction sexuée** dépend de nombreux facteurs:

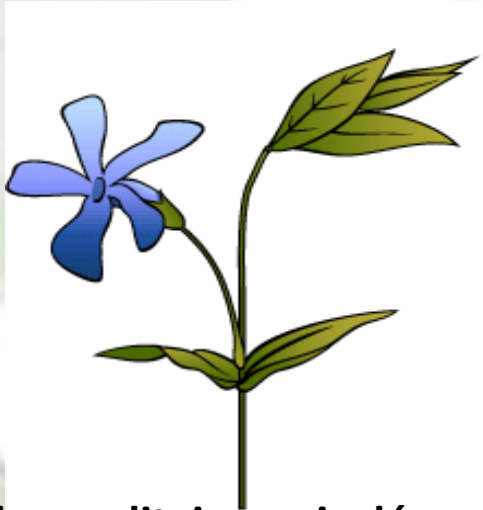
➤ **exogènes** le rythme d'éclairement (photopériode) et le rythme des températures (thermopériode)

➤ **endogènes** (la concentration de certaines hormones).

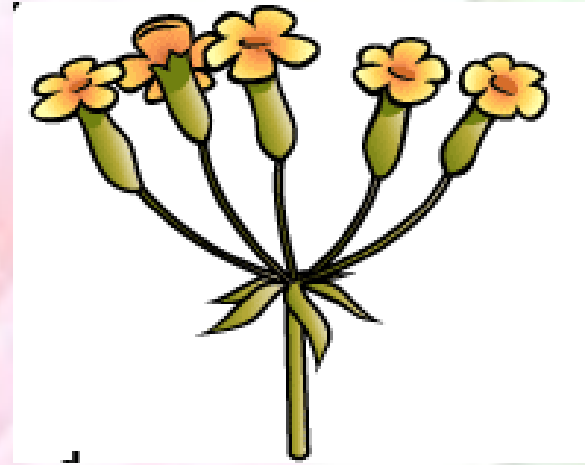


Chez les Angiospermes, la fleur peut être:

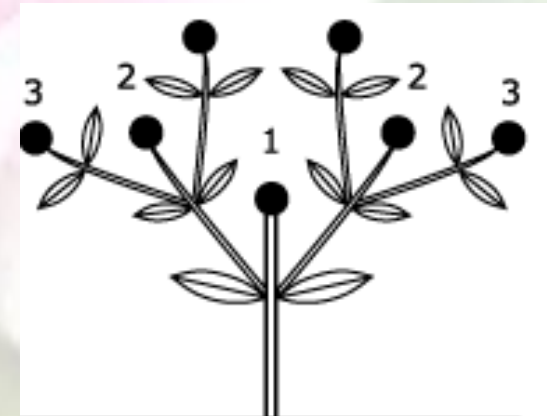
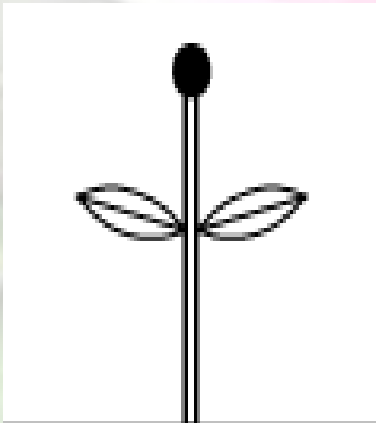
1. unique (**fleur solitaire ou isolée**)
2. groupées en plusieurs fleurs **inflorescences**.



fleur solitaire ou isolée



inflorescences



Répartition des sexes

La répartition des sexes au niveau des individus et des fleurs permet de déterminer 2 catégories différentes :

1- Les plantes monoïques (la monoécie)

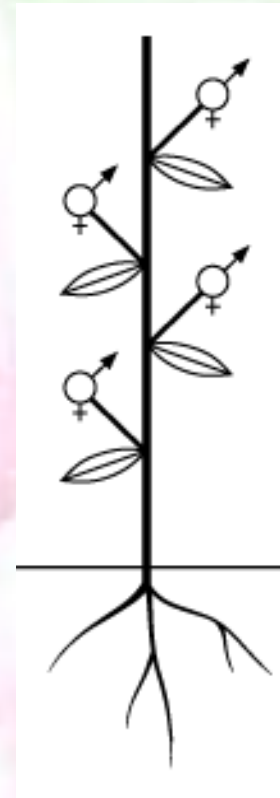
les fleurs mâles et femelles sont présentes sur **une même plante**.

➤ Fleurs monoïques hermaphrodites

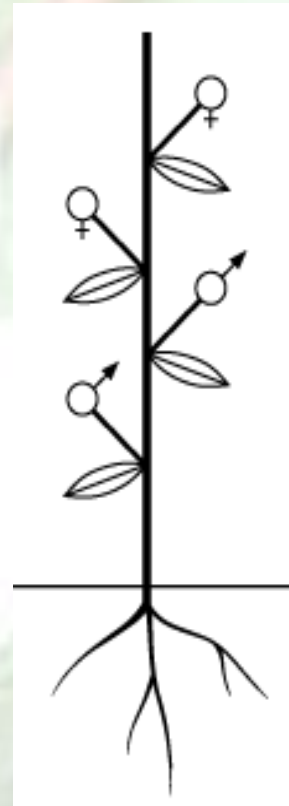
La fleur est munie **à la fois d'un androcée** et **d'un gynécée** ,(Angiospermes).

➤ Fleurs monoïques unisexuées

La fleur est **soit mâle, soit femelle**, mais portée par la même plante, (Gymnospermes).



Fleurs monoïques
hermaphrodites



Fleurs monoïques
unisexualées

Répartition des sexes

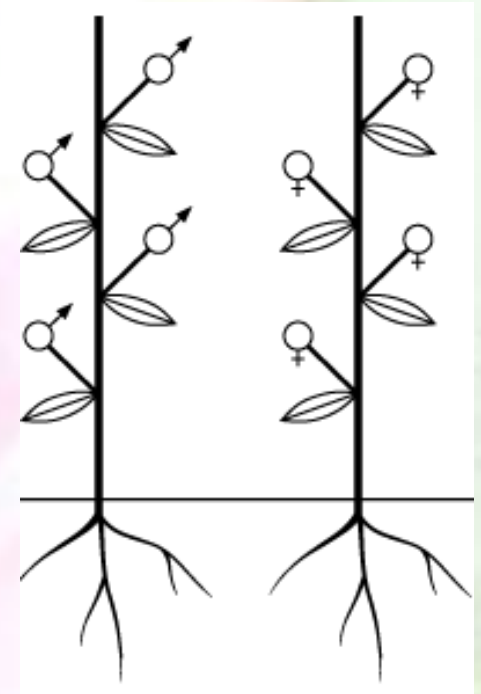
2- Les plantes dioïques (la dioécie)

Les fleurs mâles et femelles sont portées par des **plantes séparées**

càd

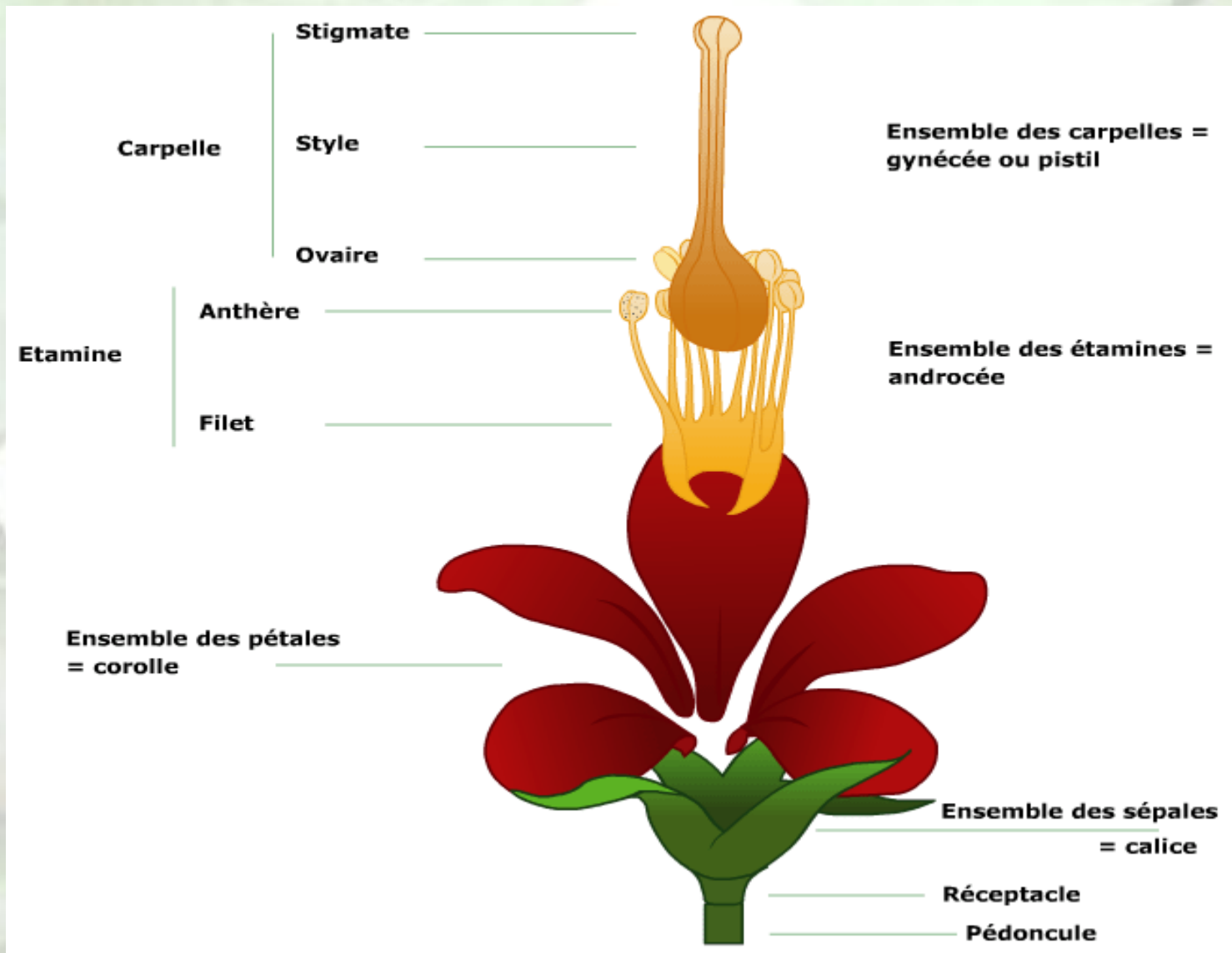
Il existe des **plantes mâles** portant uniquement des fleurs mâles et des **plantes femelles** portant uniquement des fleurs femelles.

Exemple: **le palmier dattier**



Les plantes dioïques

Rappel

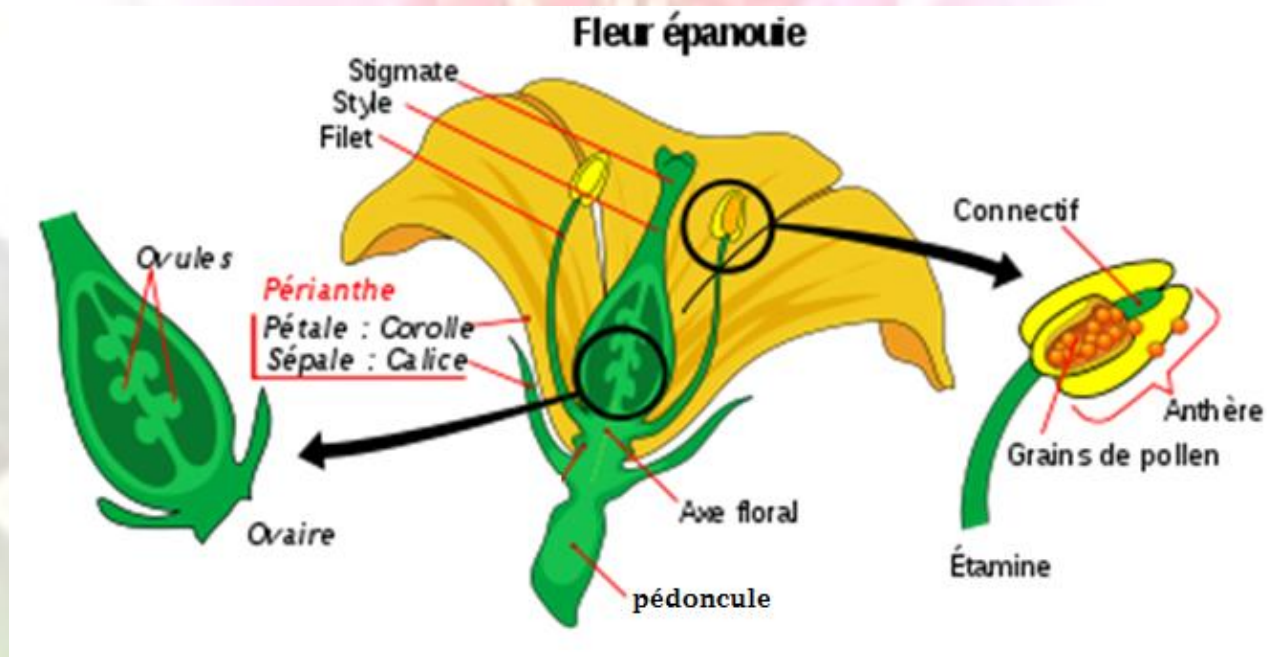




Plusieurs **caractéristiques** distinguent les **Angiospermes** des Gymnospermes.

- La fleur des angiospermes est souvent **colorée** et attractive pour les pollinisateurs,
- Les **ovules** sont **enveloppées dans l'ovaire** formant un organe clos, le gynécée bien adapté à la fécondation,
- La **fécondation est double**.

➤ Les organes reproducteurs **mâle** et **femelle** sont **séparés**. Ils constituent les pièces florales **fertiles** car ils sont directement impliqués dans **la reproduction sexuée**.



La gamétogenèse

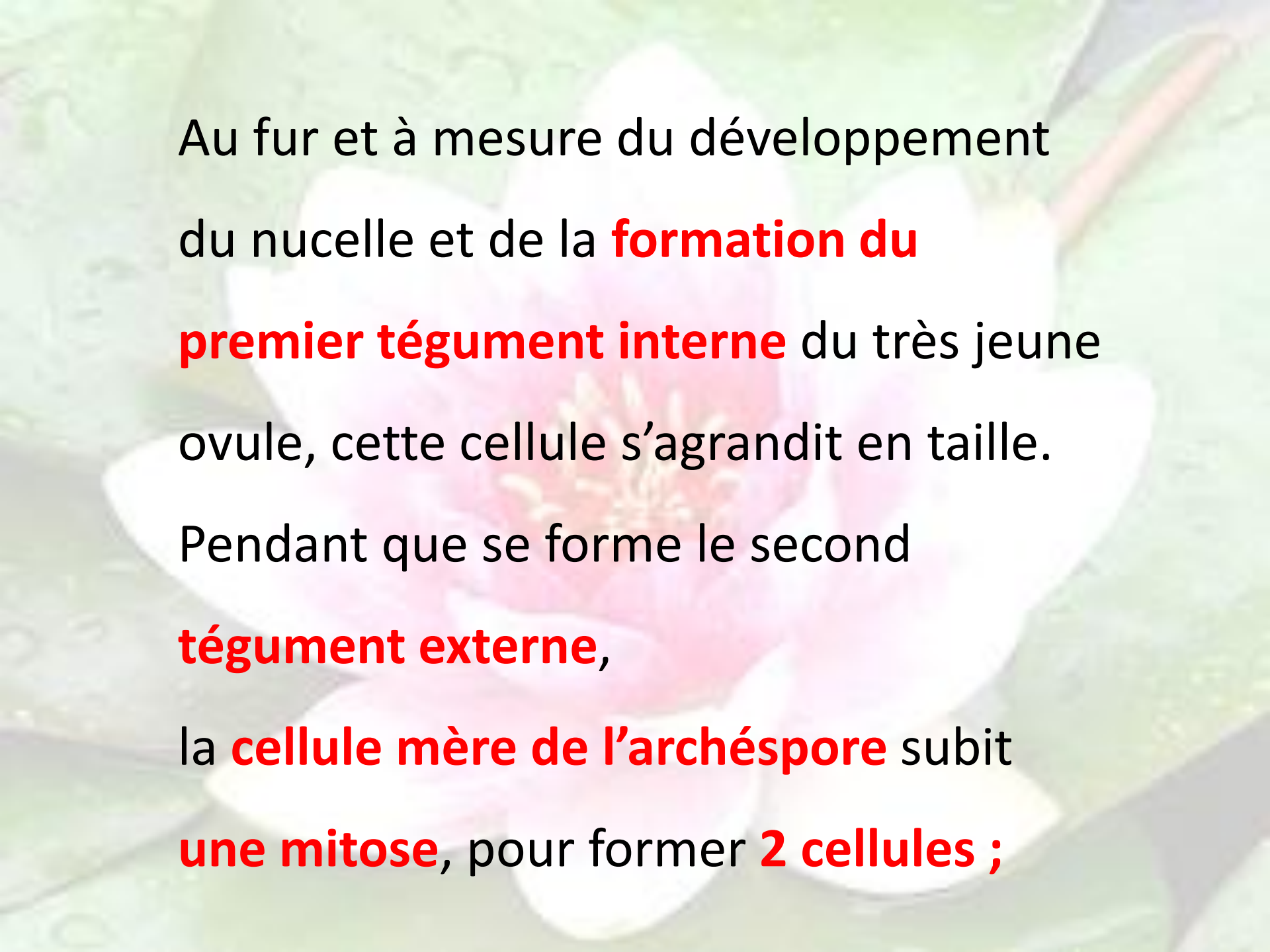
Processus de formation de gamètes par méiose

1- Gamétogenèse femelle

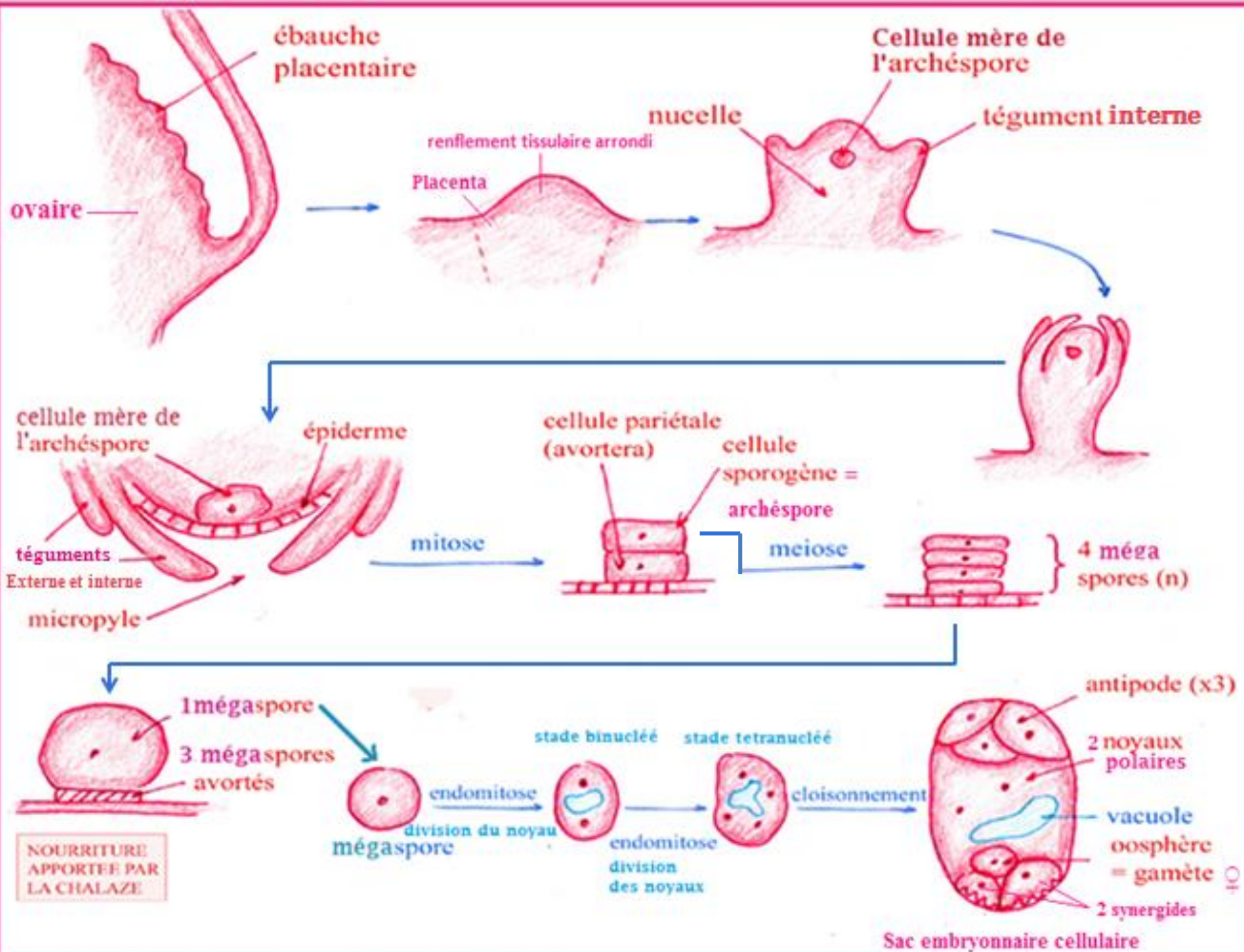
Formation de l'ovule mûr

Le début de formation d'un ovule est marqué par l'**apparition** sur le placenta d'un **renflement tissulaire arrondi** qui évolue pour constituer **le nucelle**.

Parallèlement au centre du très jeune nucelle se différencie une **cellule particulière** qui correspond à **la cellule mère de l'archéspore**.



Au fur et à mesure du développement
du nucelle et de la **formation du**
premier tégument interne du très jeune
ovule, cette cellule s'agrandit en taille.
Pendant que se forme le second
tégument externe,
la **cellule mère de l'archéspore** subit
une mitose, pour former **2 cellules ;**





une cellule pariétale qui subira plusieurs **mitoses** successives pour donner plusieurs couches de cellules qui seront évacuées vers le nucelle, qui augmentera de volume.

-une cellule sporogène, cellule mère des mégaspores appelée aussi **archéspore**, qui subit **une méiose** (division réductionnelle) et **4 mégaspores haploïdes** seront formées.

- 3 des 4 mégaspores dégénèrent et **disparaissent**.

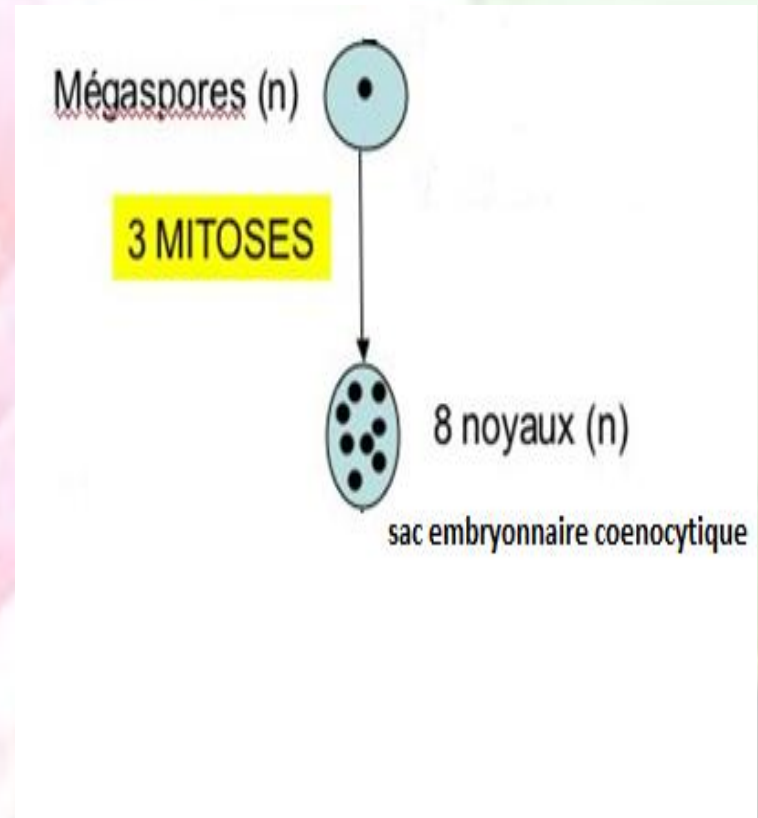


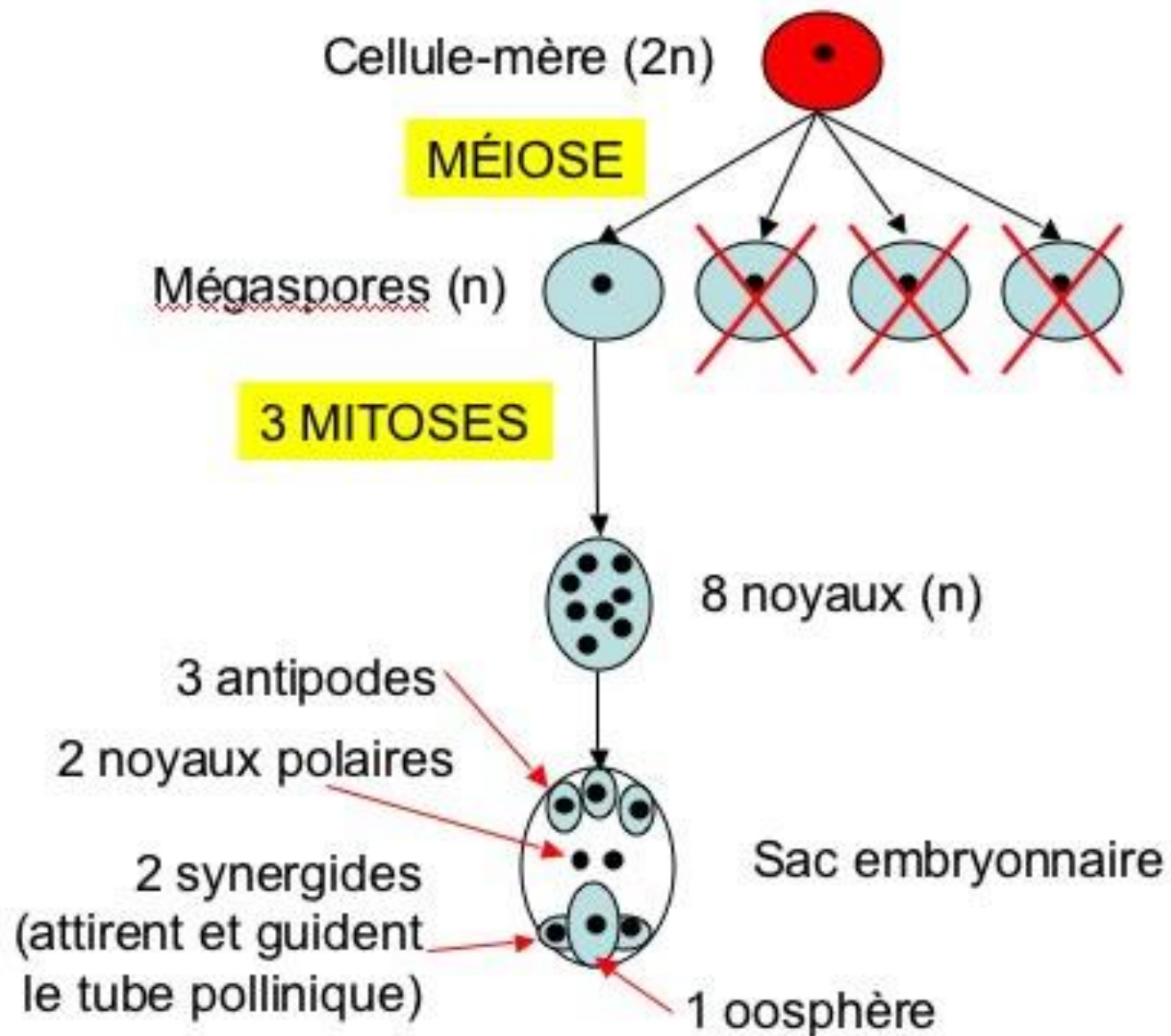
Il ne reste alors **qu'une seule mégaspore**,
qui augmente de volume et sera à l'origine
du sac embryonnaire .

Formation du sac embryonnaire coenocytique

La mégaspore grossit et constitue un jeune sac embryonnaire.

Par trois divisions successives, **le noyau du jeune sac embryonnaire donne 8 noyaux haploïdes** libres, contenus dans la grosse mégaspore qui s'est alors transformée en **sac embryonnaire coenocytique**.



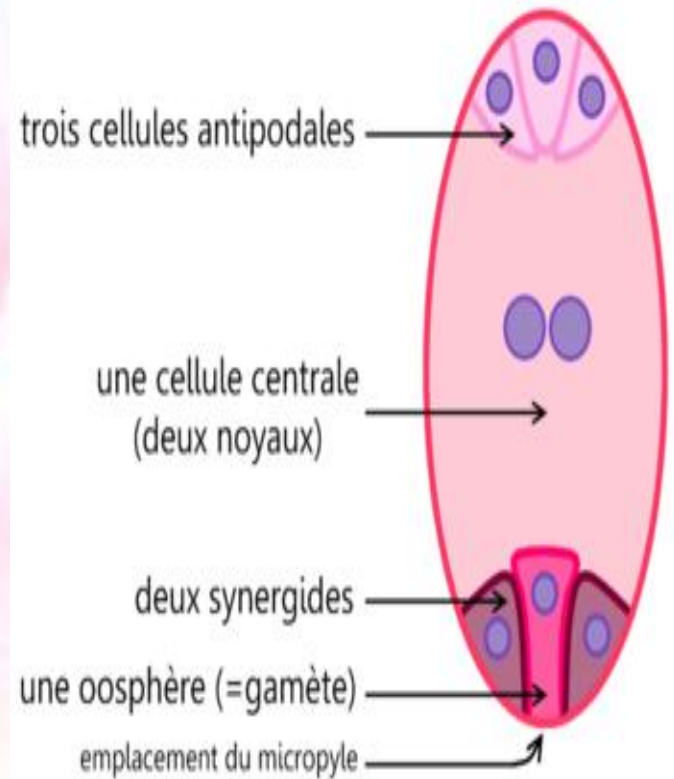


Formation du sac embryonnaire cellulaire

Les **8 noyaux haploïdes** formés dans le **sac embryonnaire coenocytique** sont répartis en 2 lots égaux à chaque pôle.

De chacun des 2 lots un noyau se déplace vers le centre du sac embryonnaire, pour devenir les **2 noyaux polaires**.

Les **6 noyaux** restant aux 2 pôles (3 à chaque pôle) sont alors **entourés par des membranes plasmiques** et des parois fines pecto-cellulosiques, **le sac embryonnaire** est devenu alors **cellulaire**.



Organisation de l'ovule mur

L'ovule mûr des Angiospermes, est constitué :

- De **2 téguments** (constitués de cellules à $2n$):
 - le **tégument externe** (**secondine**) et
 - le **tégument interne** (**primine**).
- Du **micropyle** : ouverture au sommet de l'ovule formée par le rapprochement du tégument interne.
- Du **nucelle** (à cellules diploïdes) : dans lequel se trouve le sac embryonnaire.

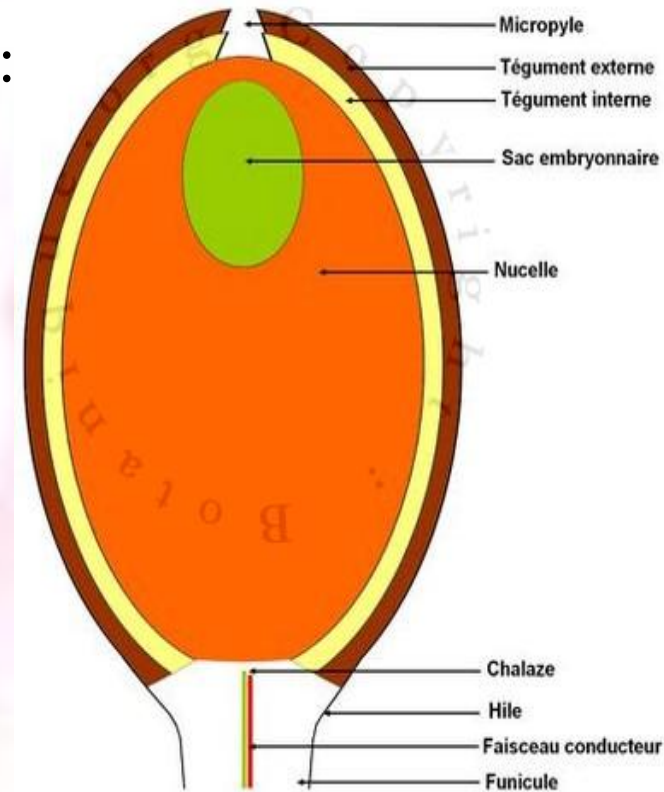


Schéma d'un ovule d'Angiosperme

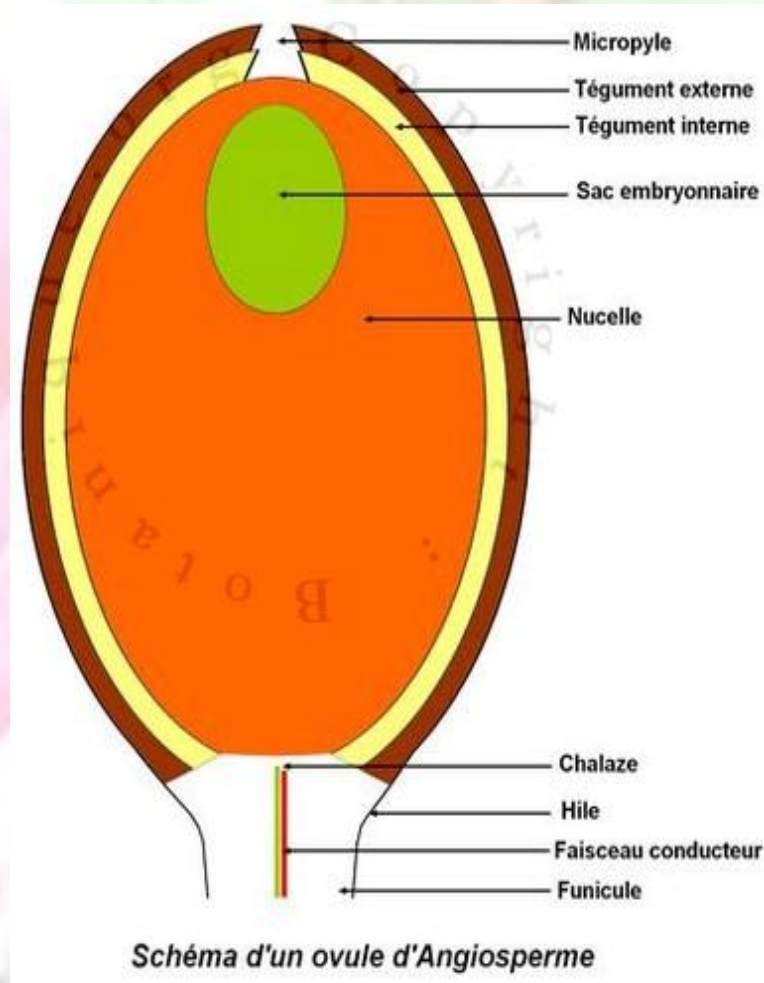
Organisation de l'ovule mur (suite)

-Du **sac embryonnaire mûr** (à 8 cellules haploïdes).

-Du **funicule** (à cellules diploïdes) : base étroite de **l'ovule** par lequel celui-ci est **relié au placenta**.

-Du **hile** : endroit précis où **l'ovule est relié au funicule**.

-Et enfin de **la chalaze** : qui correspond au niveau précis où **divergent les faisceaux cribro-vasculaires** qui irriguent l'ovule.



Organisation du sac embryonnaire mûr

Dans l'ovule mûr le sac embryonnaire mûr haploïde est constitué :

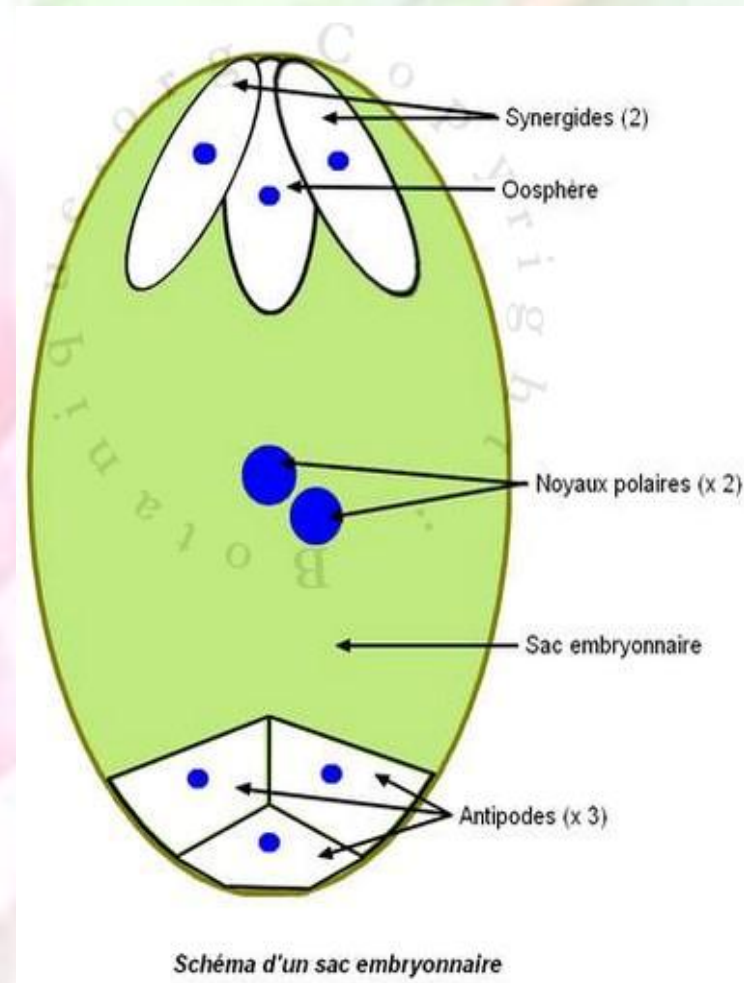
➤ D'un **complexe gamétique** au pôle micropylaire du sac, formé de **3 cellules** :

✓ **L'oosphère centrale**

✓ Et de **2 synergides** de part et d'autre de l'oosphère.

➤ De **2 noyaux polaires**, situés au centre du sac

➤ De **3 cellules** occupant le pôle basal du sac, appelées les **antipodes**.

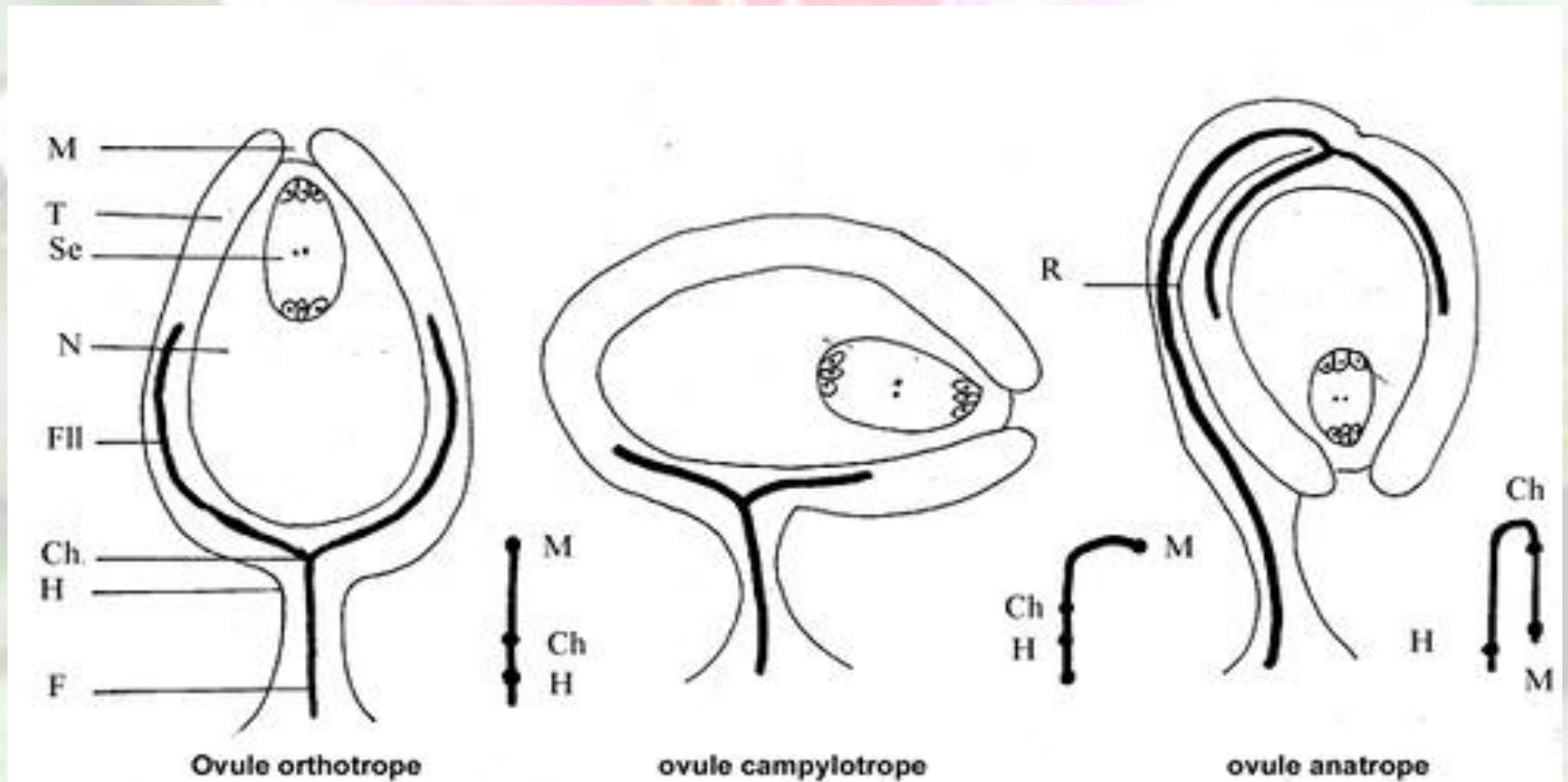


Les différents types d'ovules

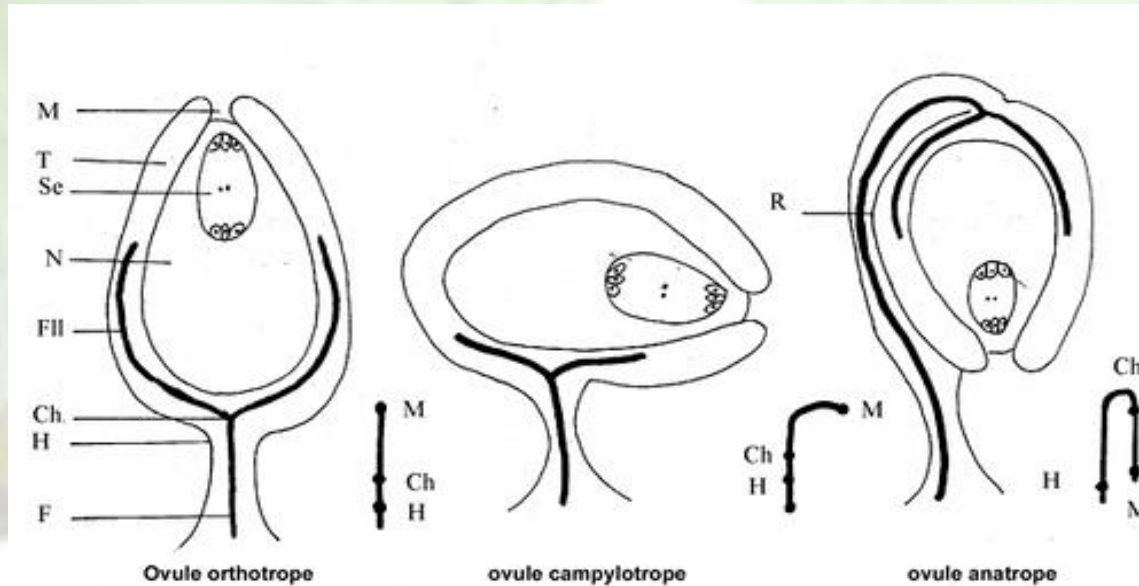
la position de l'ovule par rapport au placenta est variable.

Les différents **types d'ovules** sont **définis** en tenant compte des **positions** relatives de **trois points** de la **morphologie ovulaire** :

-le hile, la chalaze, le micropyle. Il existe trois types d'ovules :



Les différents types d'ovules



-**ovule droit** ou **orthotrope** ; hile, chalaze et micropyle sont **alignés selon l'axe** de l'ovule

-**ovule courbé** ou **campylotrope** : **l'ovule est courbé**, le micropyle est de côté.

-**ovule renversé** ou **anatrophe** : le funicule est soudé au corps ovulaire. Le point de suture s'appelle raphé. **Le hile est proche du micropyle**. C'est le type le plus répandu.

Les différents types d'ovules

Un autre schéma en 3D montrant les différents types d'ovules



**Ovule droit
Orthotrope**

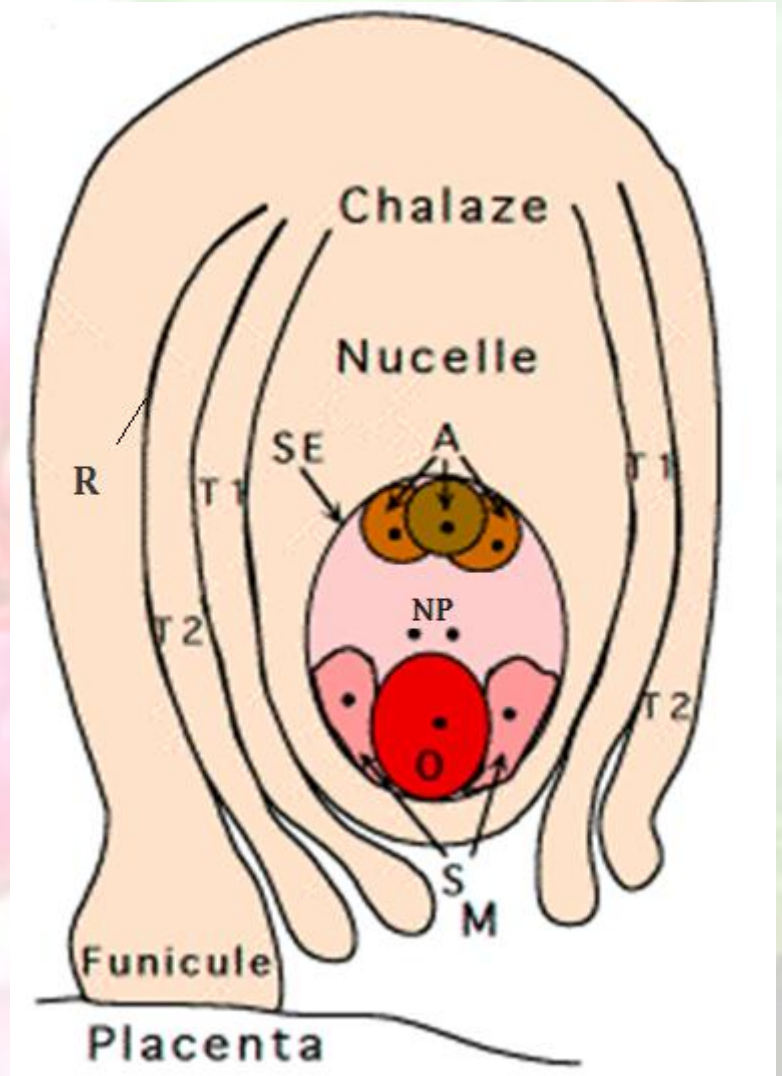
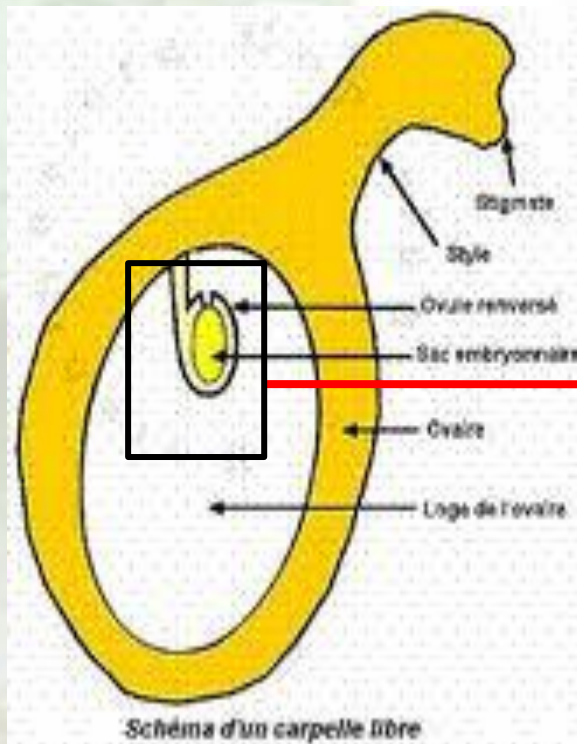


**Ovule courbé
campylotrope**



**Ovule renversé
anatrophe**

Exemple: ovule renversé ou anatrophe



SE: sac embryonnaire; **T1:** tégument interne; **T2:** tégument externe; **M:** micropyle;

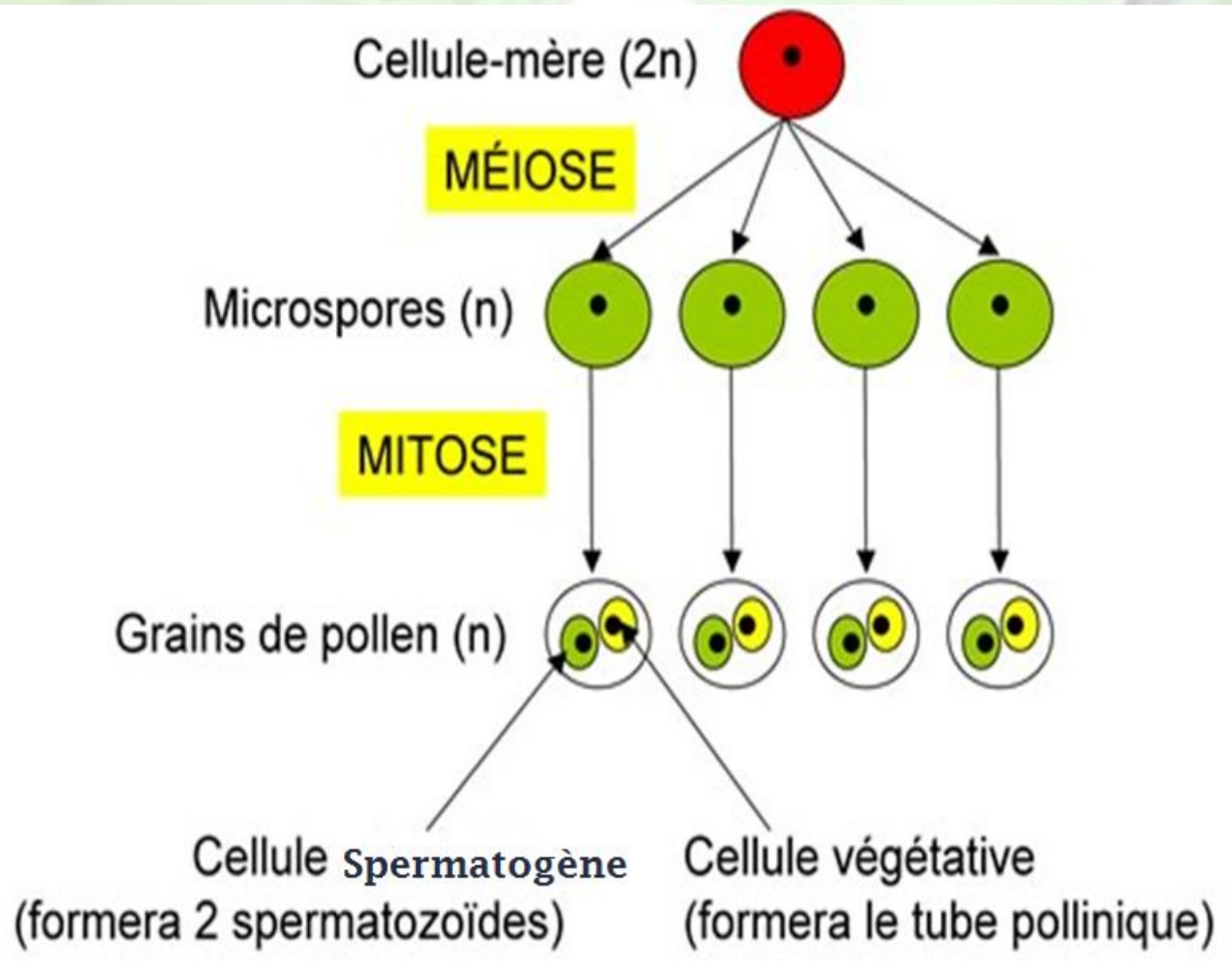
A: antipodes; **O:** oosphère; **S:** synergides; **NP:** noyaux polaires; **R:** raphé.

Gamétogenèse mâle

La gamétogenèse male s'effectue dans l'étamine au niveau de la jeune anthère après sa formation.

Formation du grain de pollen mûr

Dans la **jeune anthère** au niveau des 4 sacs polliniques chacune des nombreuses **cellules mères de microspores** subissent **une méiose** qui aboutit à la formation de **4 microspores**. Après avoir subi des mitoses et plusieurs transformations au cours de leur différenciation, les très nombreuses **microspores deviennent alors des grains de pollen mûrs**.



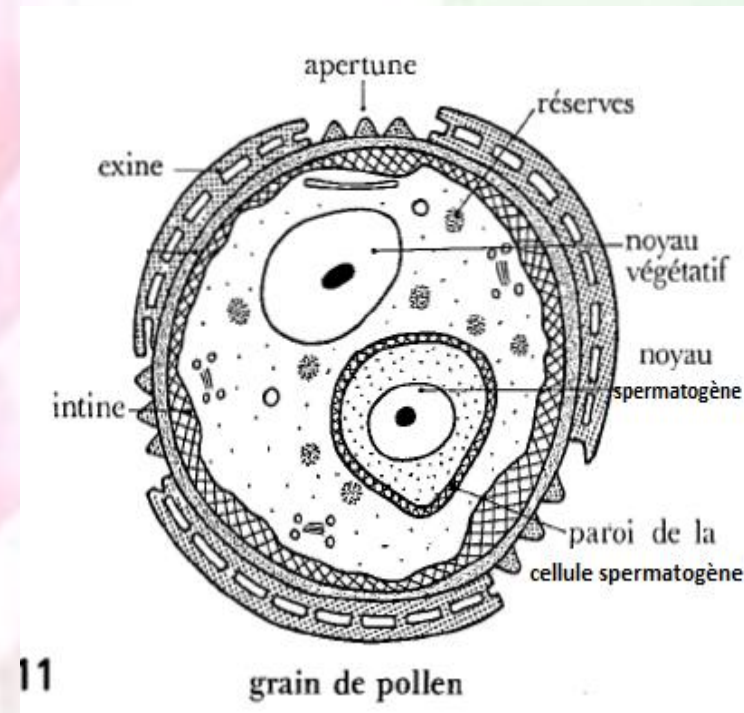
Organisation du grain de pollen mûr

Un grain de pollen mûr est constitué :

➤ **D'une grande cellule avec un noyau central : la cellule végétative** à rôle nourricier et qui intervient surtout dans la germination et l'allongement du tube pollinique sur le stigmate du gynécée.

➤ **D'une seconde cellule située à l'intérieur de la cellule végétative**, entourée par une membrane plasmique et par sa propre paroi pecto-cellulosique et contenant un noyau spermatogène :

la cellule spermatogène, qui donnera les 2 gamètes mâles (2 spermatozoïdes).

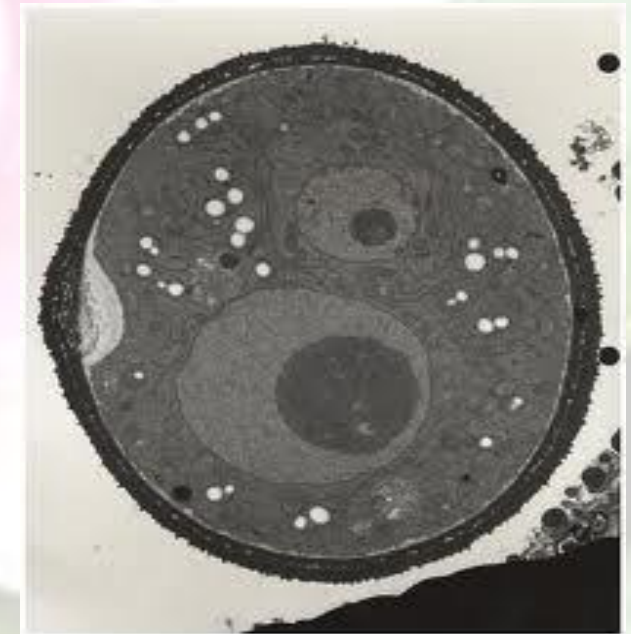
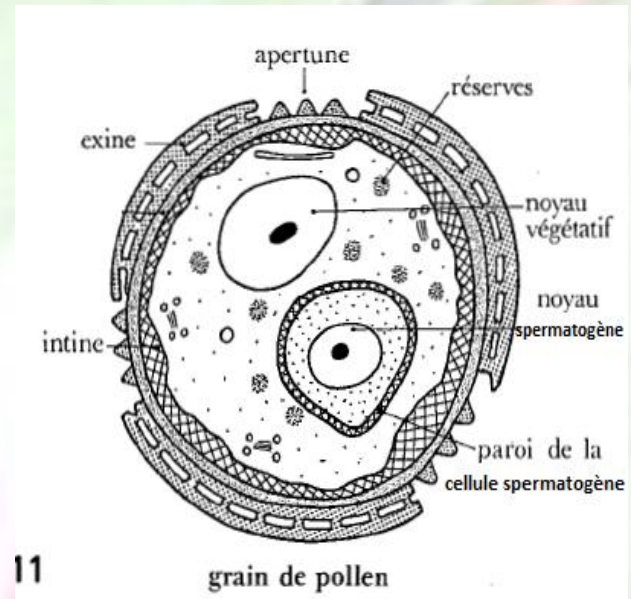


La cellule végétative est entourée par 2 parois :

➤ Une **paroi interne** de nature pecto-cellulosique appelée **intine** qui constituera plus tard la paroi du tube pollinique lors de sa germination.

➤ Une **paroi externe** épaisse appelée **exine**, constituée d'une matière imperméable et indécomposable, pouvant être **lisse** ou **ornementée**.

Elle est pourvue d'une aperture (angiospermes Monocotylédones) ou de plusieurs apertures (Angiospermes Dicotylédones), par ou émergera le tube pollinique.



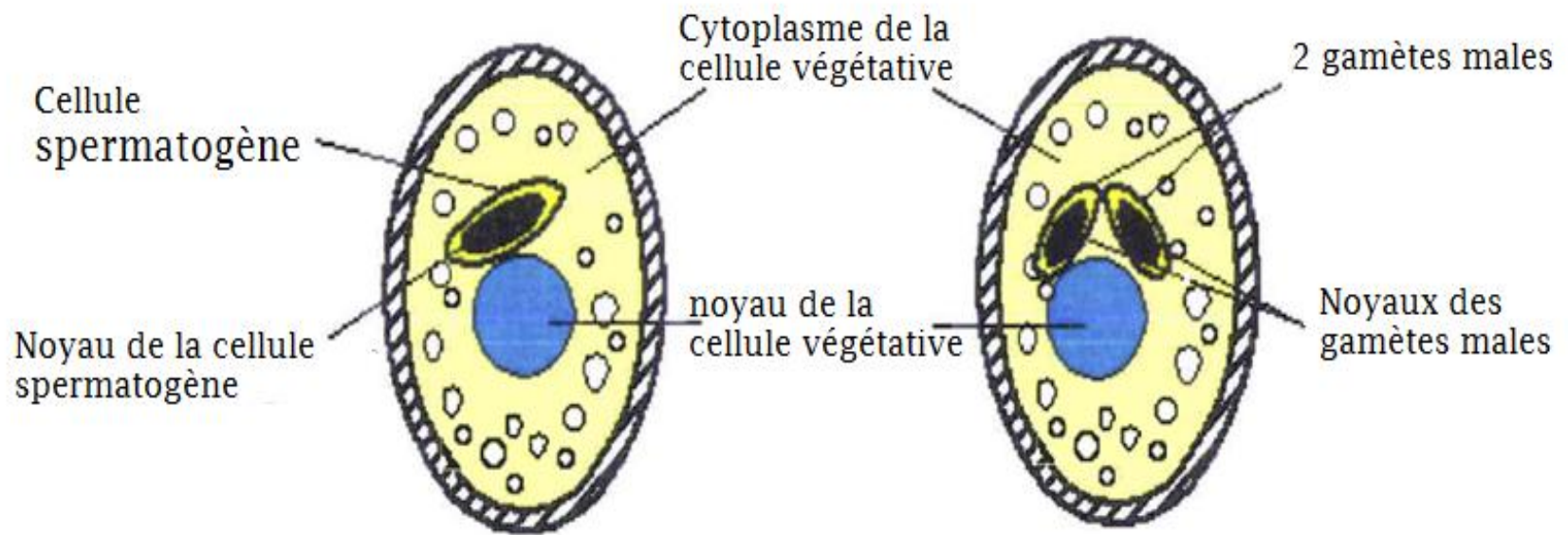
il existe 2 catégories de grains de pollen :

✓ **le grain de pollen bicellulaire**

la cellule spermatogène subit une mitose pour **former les 2 gamètes mâles** après le transport du grain de pollen sur le stigmate. (70% des Angiospermes).

✓ **Le grain de pollen tricellulaire**

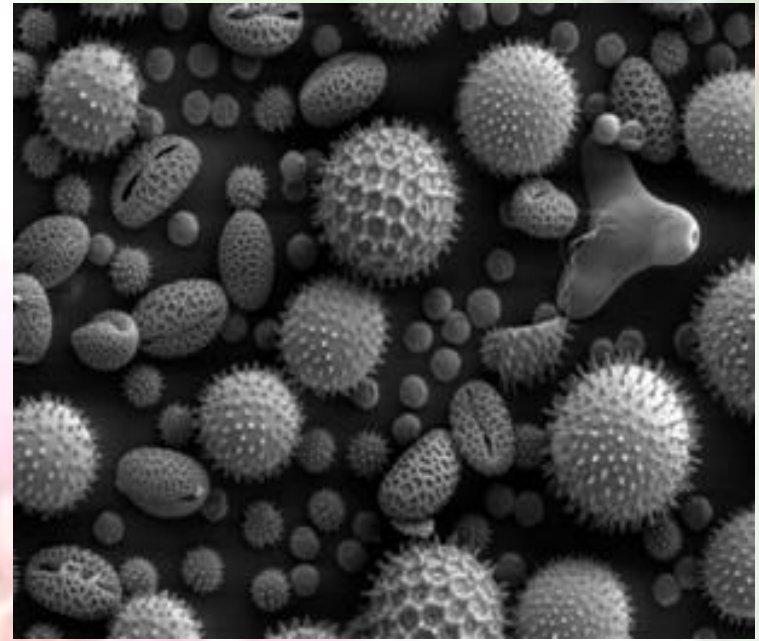
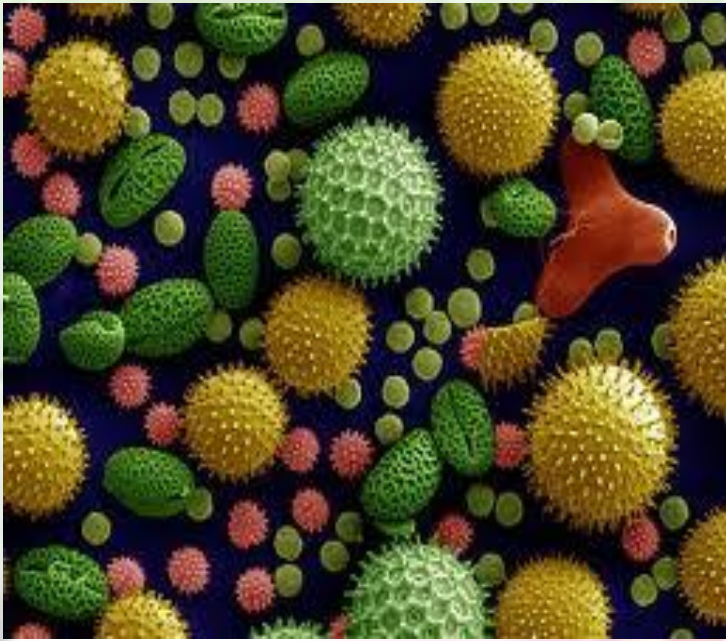
la cellule spermatogène subit une mitose avant la fin de sa maturité et qui **forme** donc les **2 gamètes mâles** avant sa **libération de l'anthère mûre**. (30% des Angiospermes).



Grain de pollen bicellulaire

Grain de pollen tricellulaire

Développement d'une microspore en grain de pollen

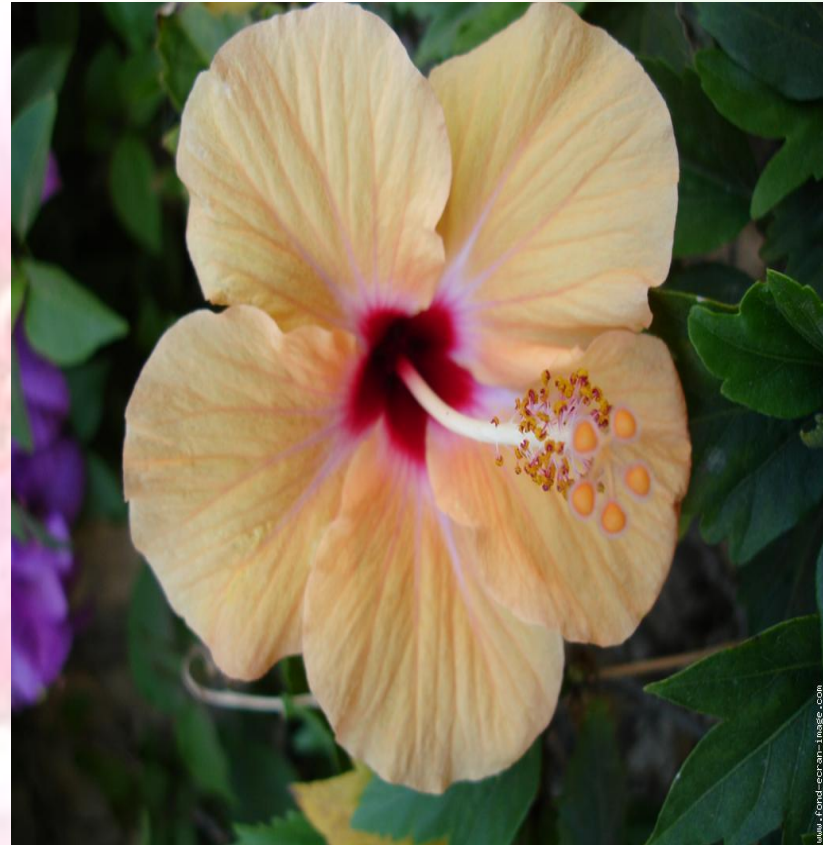


Pollen de plusieurs plantes : [tournesol](#) (*Helianthus annuus*), [volubilis](#) (*Ipomoea purpurea*), *Sidalcea malviflora*, *Lilium auratum*, onagre (*Oenothera fruticosa*) et [ricin commun](#) (*Ricinus communis*) (fausses couleurs).



Pollinisation

La pollinisation est le **transport**
du pollen de l'appareil
reproducteur mâle ou **androcée**
après la déhiscence de l'anthere
vers l'appareil reproducteur
femelle ou **gynécée** précisément
sur le stigmate.

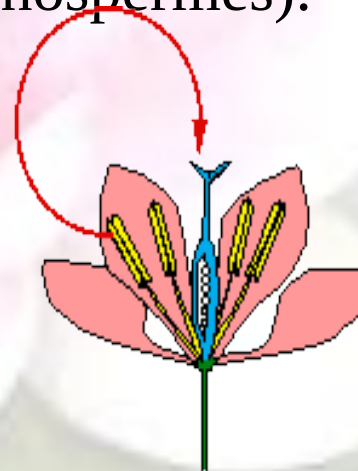
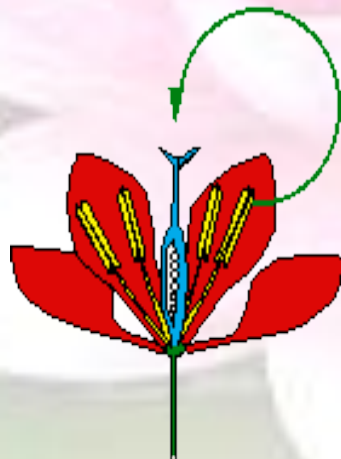


Modes de Pollinisation

Il existe 2 modes de pollinisation :

Pollinisation directe ou autopolinisation ou autogamie

Dans ce cas, **le stigmate** d'une fleur **est pollinisée** par le **pollen de la même fleur** lorsque celle-ci est **hermaphrodite** ou par une fleur portée par la même plante lorsque les fleurs sont unisexuées et l'espèce monoïque (gymnospermes).

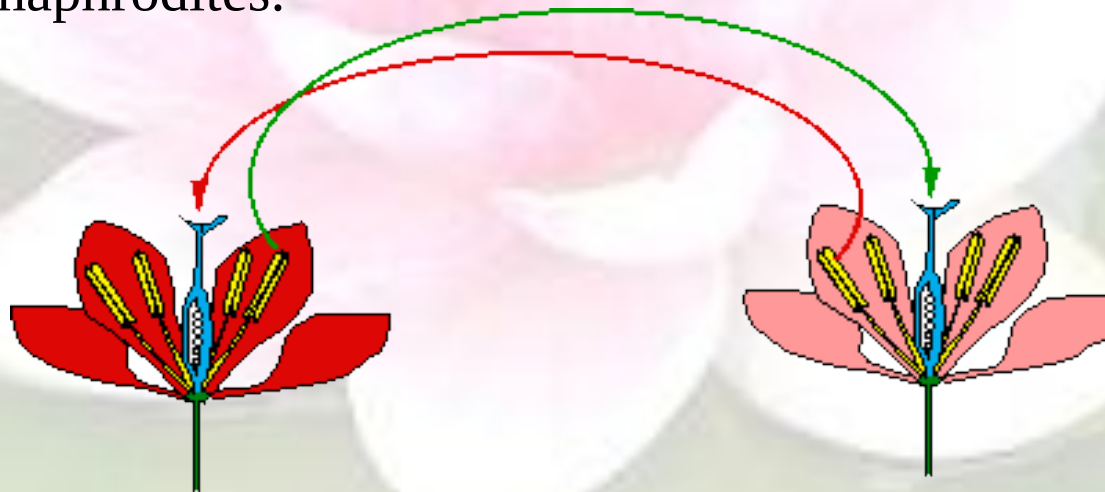


Modes de Pollinisation

Pollinisation croisée ou allopollinisation ou allogamie

Dans ce cas **le pollen d'une fleur** donnée **est transporté sur le stigmate d'une autre fleur**, **les 2 fleurs** étant **séparées** dans l'espace, autrement dit **non portées par la même plante**.

La pollinisation croisée se fait chez toutes les espèces dioïques mais concerne aussi un grand nombre d'espèces monoïques à fleurs hermaphrodites.



Les agents pollinisateurs

Les grains de pollen sont inertes et leur **transport jusqu'à un stigmate** est assuré par des **agents pollinisateurs** externes.

➤ Plantes anémophiles

et on parle d'**anémogamie**.

20% des Angiospermes sont pollinisées **par le vent** et leurs grains de pollen sont adaptés à celà.



➤ **Plantes entomophiles**

et on parle d'**entomogamie**

Presque toutes les espèces
d'Angiospermes restantes sont
pollinisées par des animaux dont
par exemples les oiseaux, mais
surtout des insectes.

➤ **Plantes hydrophiles** Une infime partie
est pollinisée par l'eau.

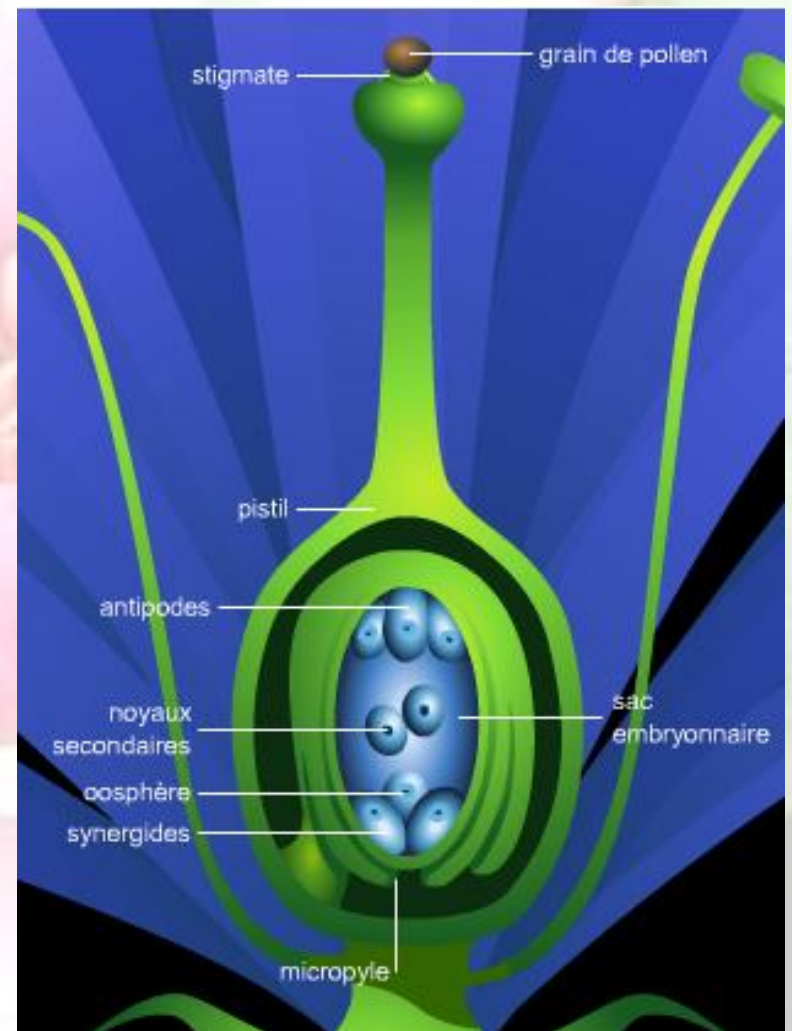
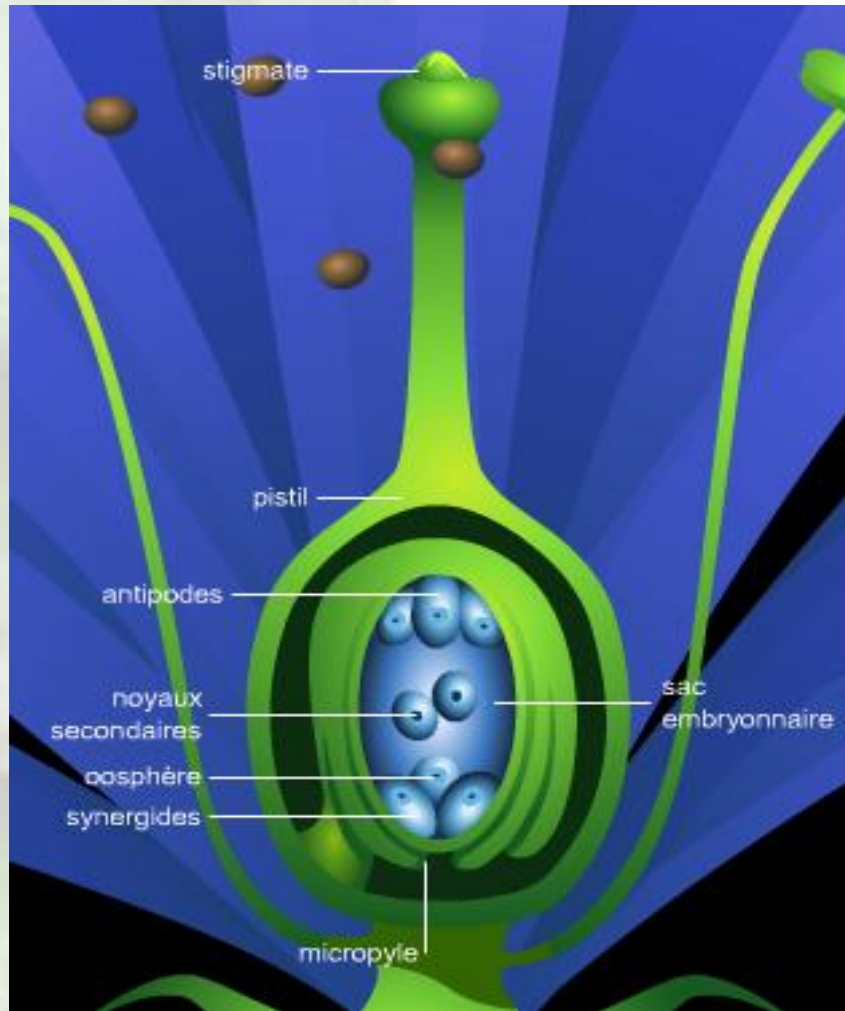


Germination du grain de pollen bicellulaire

La fin de la gamétogenèse mâle qui a lieu après la pollinisation, **le grain de pollen déshydraté** qui arrive au niveau du **stigmate**, est d'abord reconnu, puis accepté.



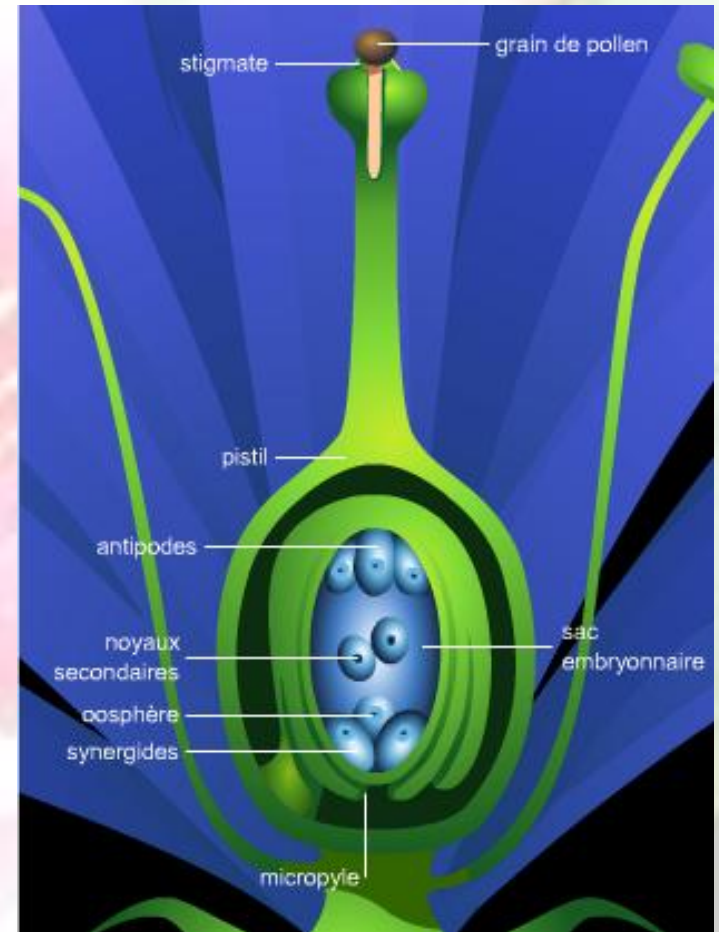
Germination du grain de pollen bicellulaire



Germination du grain de pollen bicellulaire

Une différence de potentiel osmotique entre le grain de pollen et les tissus récepteurs du pistil entraîne un mouvement d'eau vers le pollen.

Le grain de pollen est alors **hydraté**, sa **taille augmente**.



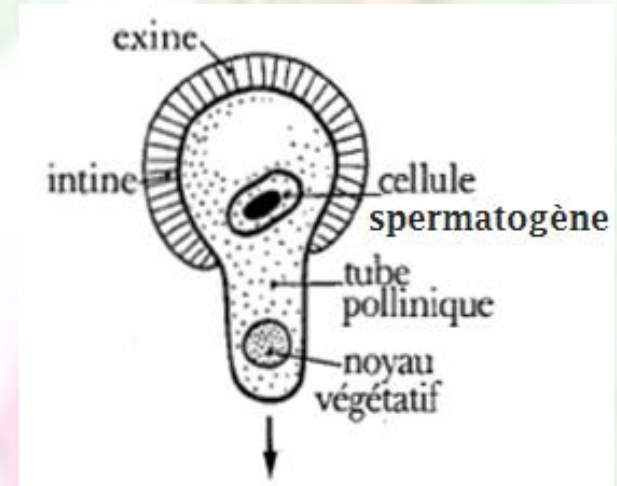
Germination du grain de pollen bicellulaire

Sous l'effet de la turgescence, l'**intine** fait saillie au niveau d'une ouverture et s'allonge en un tube pollinique : C'est **la germination**.

Le noyau végétatif est le premier à suivre le mouvement du cytoplasme, entraîné dans le tube pollinique.

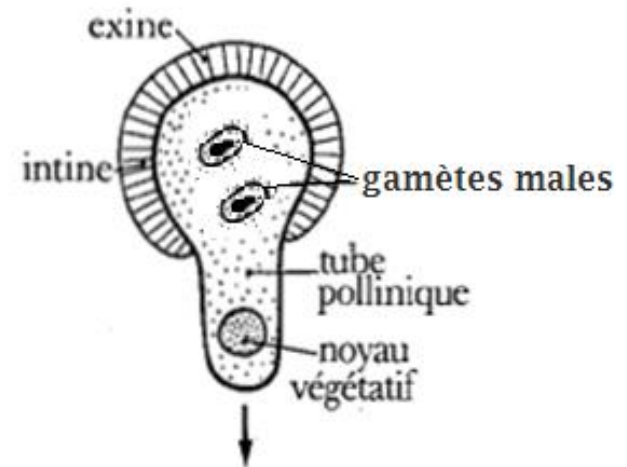
La cellule spermatogène suit après au fur et à mesure de l'allongement du tube pollinique.

Au cours de son déplacement elle subit une mitose et produit **2 gamètes mâles** ou **spermatozoïdes**, à ce stade la gamétogenèse mâle est terminée.



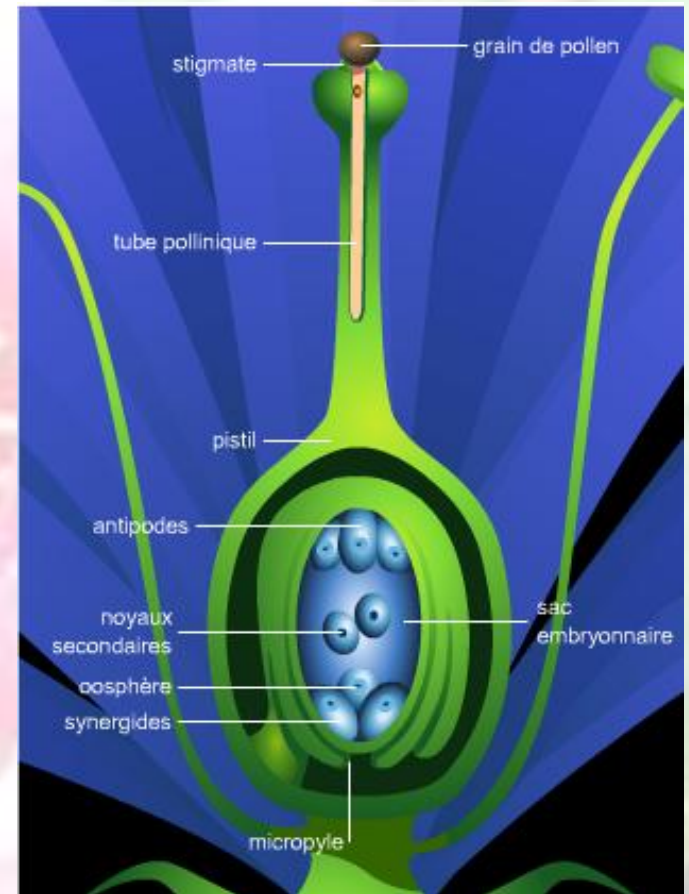
Germination du grain de pollen tricellulaire

Pour **les grains de pollen tricellulaire**, **les 2 gamètes mâles** formés avant la pollinisation dans l'anthere **vont migrer en même temps que le noyau végétatif**, dans le tube pollinique au début de sa germination sur le stigmate.



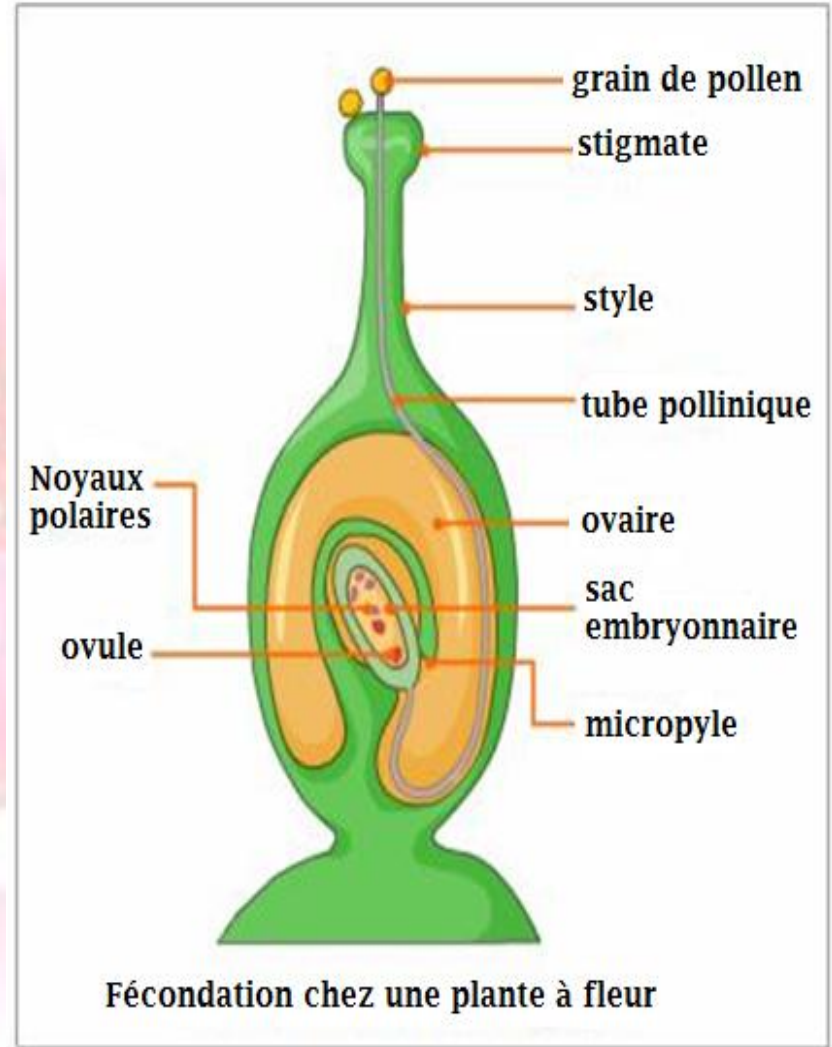
La double fécondation

Le tube pollinique
continue son allongement
dans le style.



La double fécondation

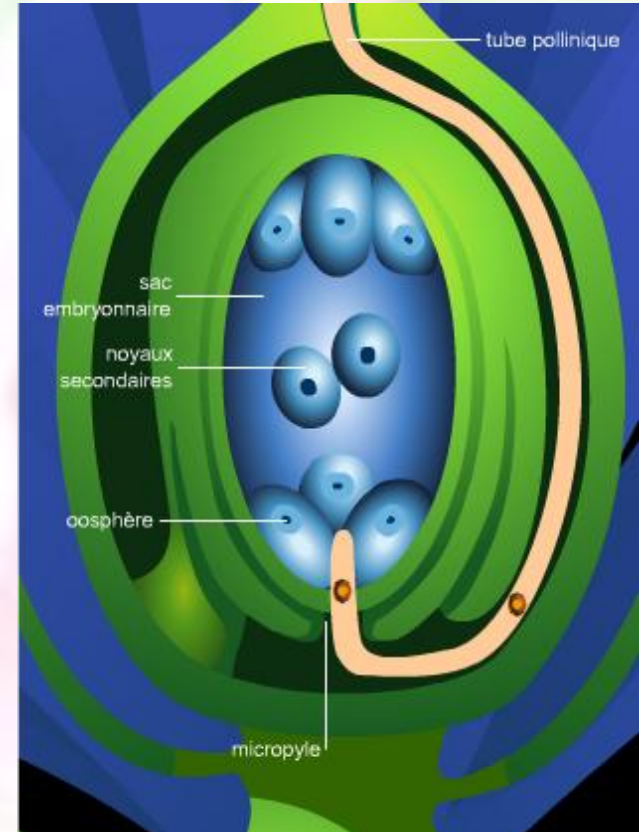
Il traverse le nucelle, **pénètre dans l'ovule par le micropyle** et arrive au niveau de la partie supérieure du **sac embryonnaire**, c'est-à-dire du côté du complexe gamétique (**oosphère+ synergides**).



La double fécondation

Il pénètre dans le sac embryonnaire en **écartant les synergides** pour se rapprocher **de l'oosphère**.

C'est à ce moment là que se **lyse l'extrémité du tube** pour **libérer les 2 spermatozoïdes**, dont l'un se dirige **vers l'oosphère** et l'autre vers **les noyaux polaires**.



La double fécondation

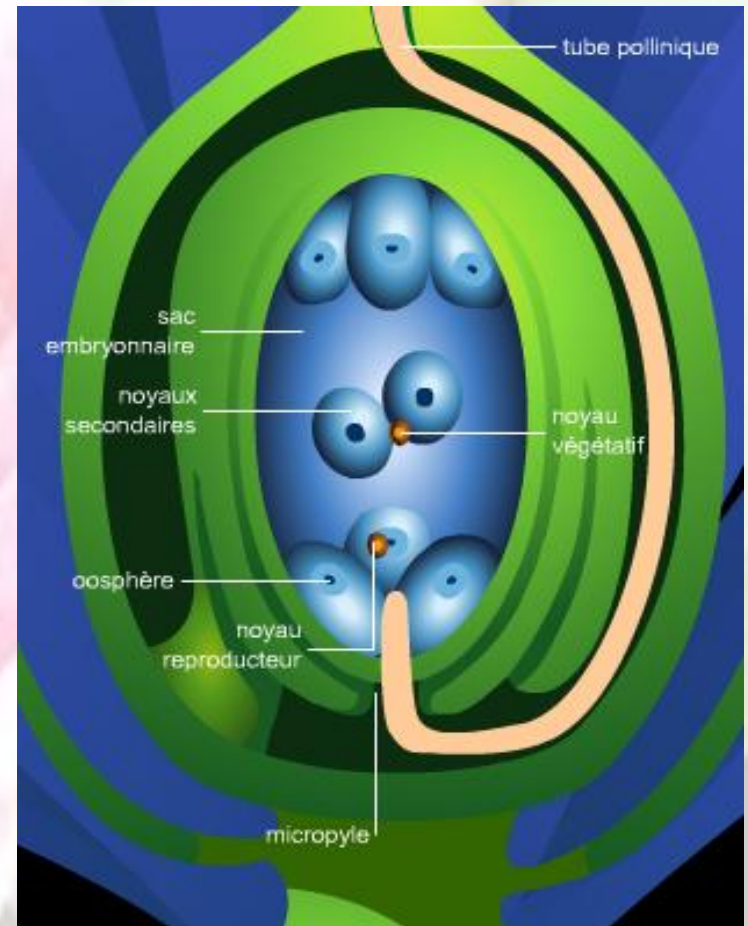
Il se forme alors.

➤ Un zygote principal ($2n$)

par la fusion du noyau de l'oosphère avec le noyau spermatique

➤ Un zygote accessoire triploïde ($3n$)

par fusion du deuxième noyau spermatique avec les 2 noyaux polaires qui ont fusionnés auparavant entre-eux



La double fécondation

Conclusion :

il se forme donc **2 zygotes**:

- un **zygote principal** et
- un **zygote accessoire**,

pour cette raison on dit que les **Angiospermes** font une **double fécondation**.

Embryogenèse

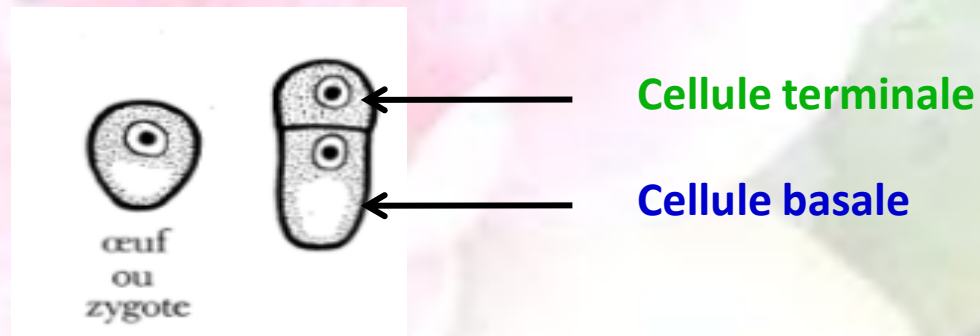
L'embryogenèse signifie la formation de l'embryon.

➤ Les 2 zygotes (**zygote principal** et **zygote accessoire**) qui résultent de la double fécondation ont des destinées différentes.

Devenir du zygote principale diploïde (2n)

Quelques jours après la fécondation, le zygote principal subit une première mitose et donne 2 cellules superposées:

- **Une cellule basale** proche du micropyle.
- **Une cellule apicale** ou terminale du côté de la chalaze.

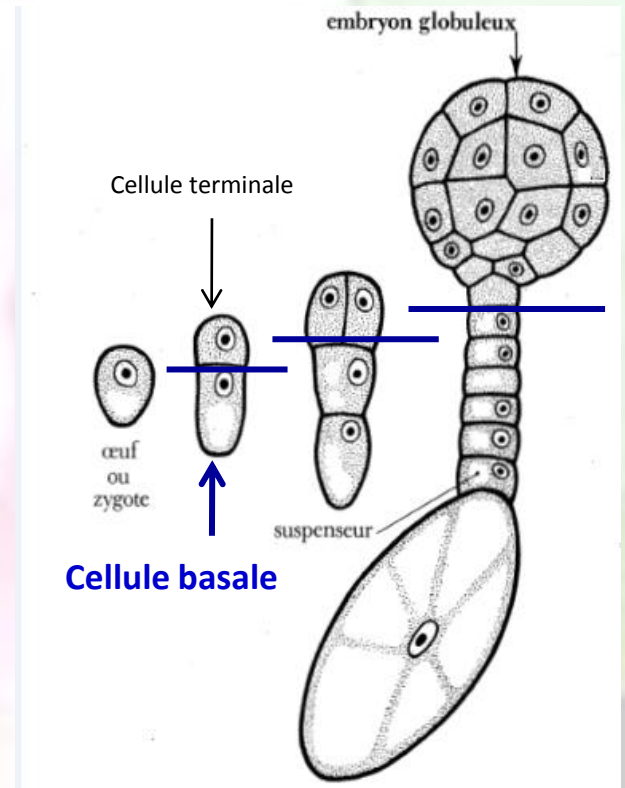


Devenir du zygote principale diploïde (2n)

Devenir de la cellule basale

Elle subit **plusieurs divisions transversales** pour former un **filament pluricellulaire unisériel** appelé **suspenseur**, qui permet non seulement **l'accrochage de l'embryon** dans l'ovule mais aussi sa **nutrition**.

Il disparaît à la maturité de l'embryon.

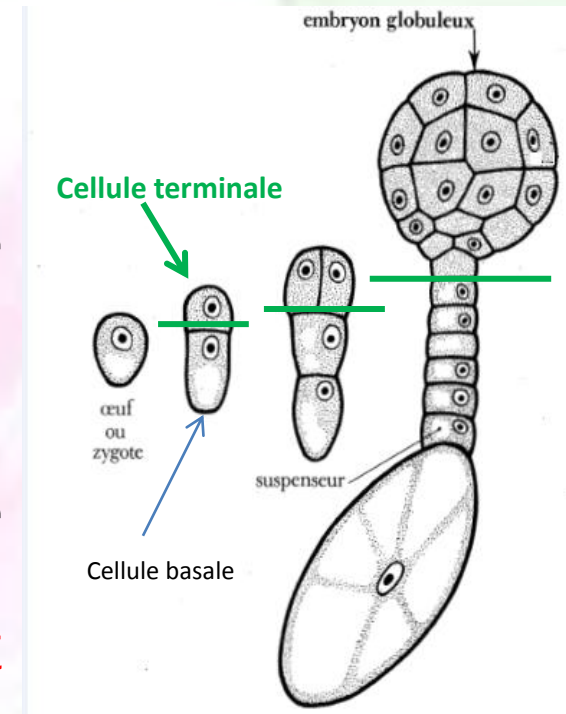


Devenir du zygote principale diploïde (2n)

Devenir de la cellule apicale ou terminale

Après plusieurs **mitoses** effectuées dans **plusieurs plans**, elle forme le **pro-embryon globuleux** qui a une symétrie axiale.

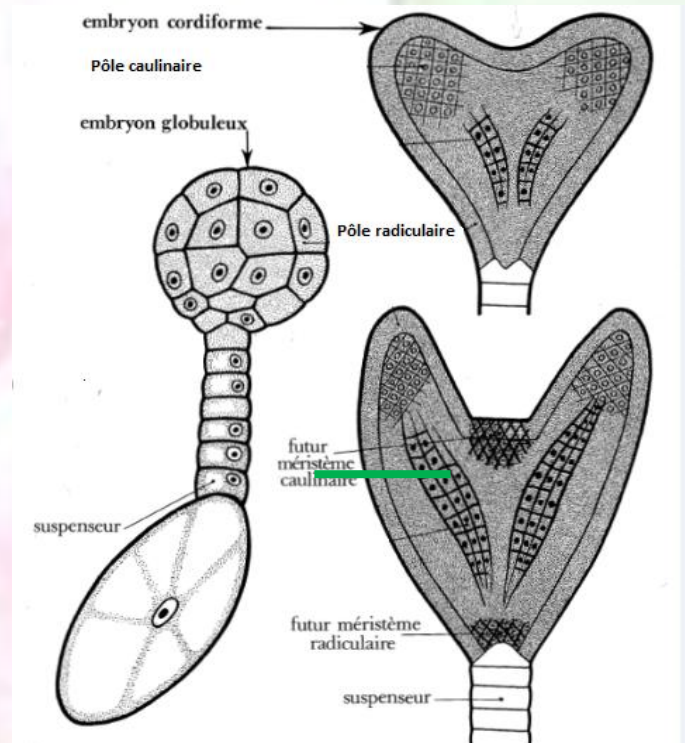
A partir de ce stade la formation de **l'embryon se continue différemment** chez les Angiospermes **Dicotylédones** et les Angiospermes **Monocotylédones**.



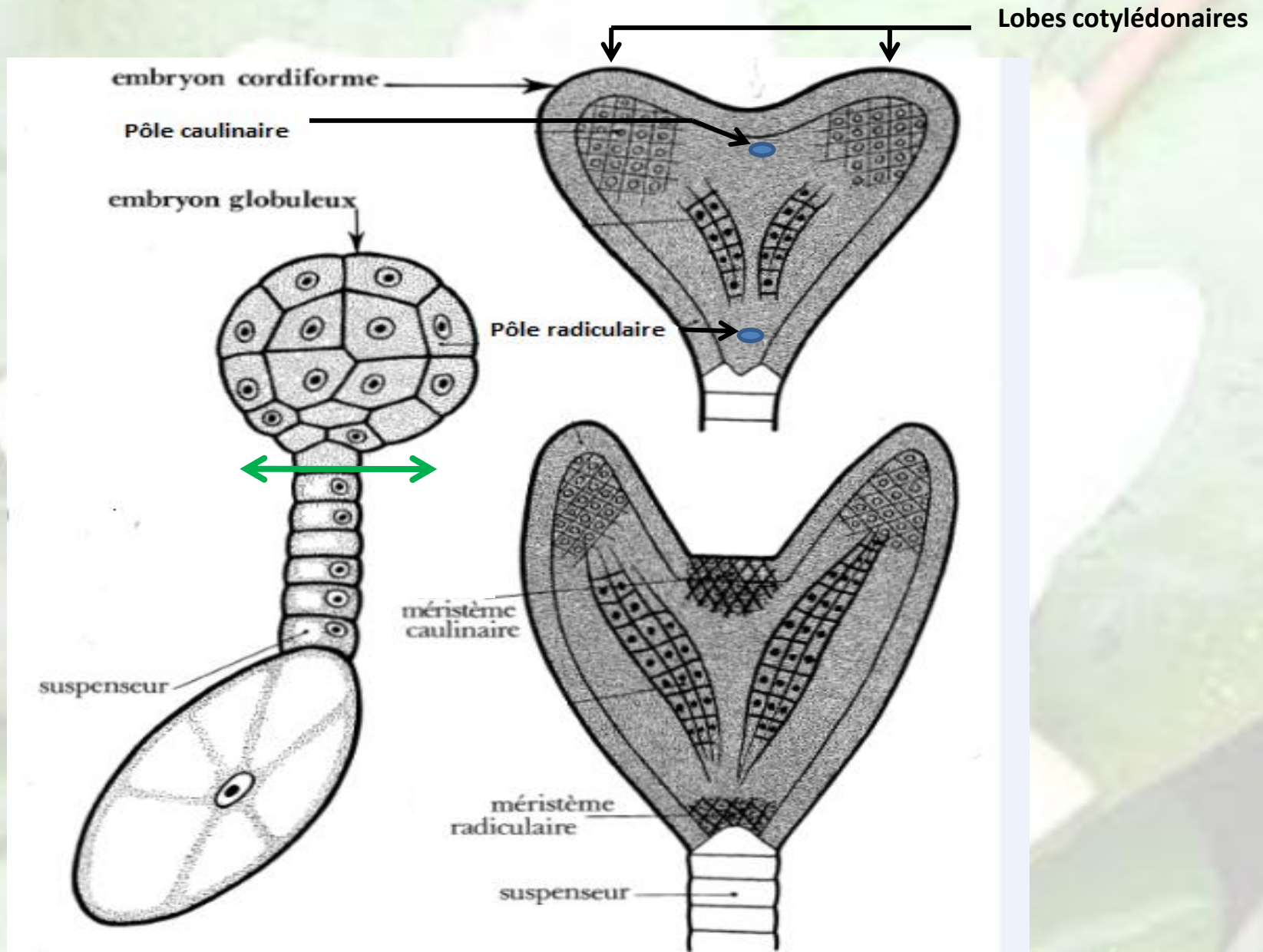
Formation de l'embryon des Angiospermes Dicotylédones

Le **pro-embryon globuleux** subit de nombreuses **mitoses** tout en **changeant de symétrie**, elle devient **bilatérale** par **soulèvement de 2 lobes**, appelés **lobes cotylédonaire**s, qui se développent en 2 cotylédons plus tard.

A ce stade **l'embryon** des Angiospermes Dicotylédones est **cordiforme (en forme de cœur)**.

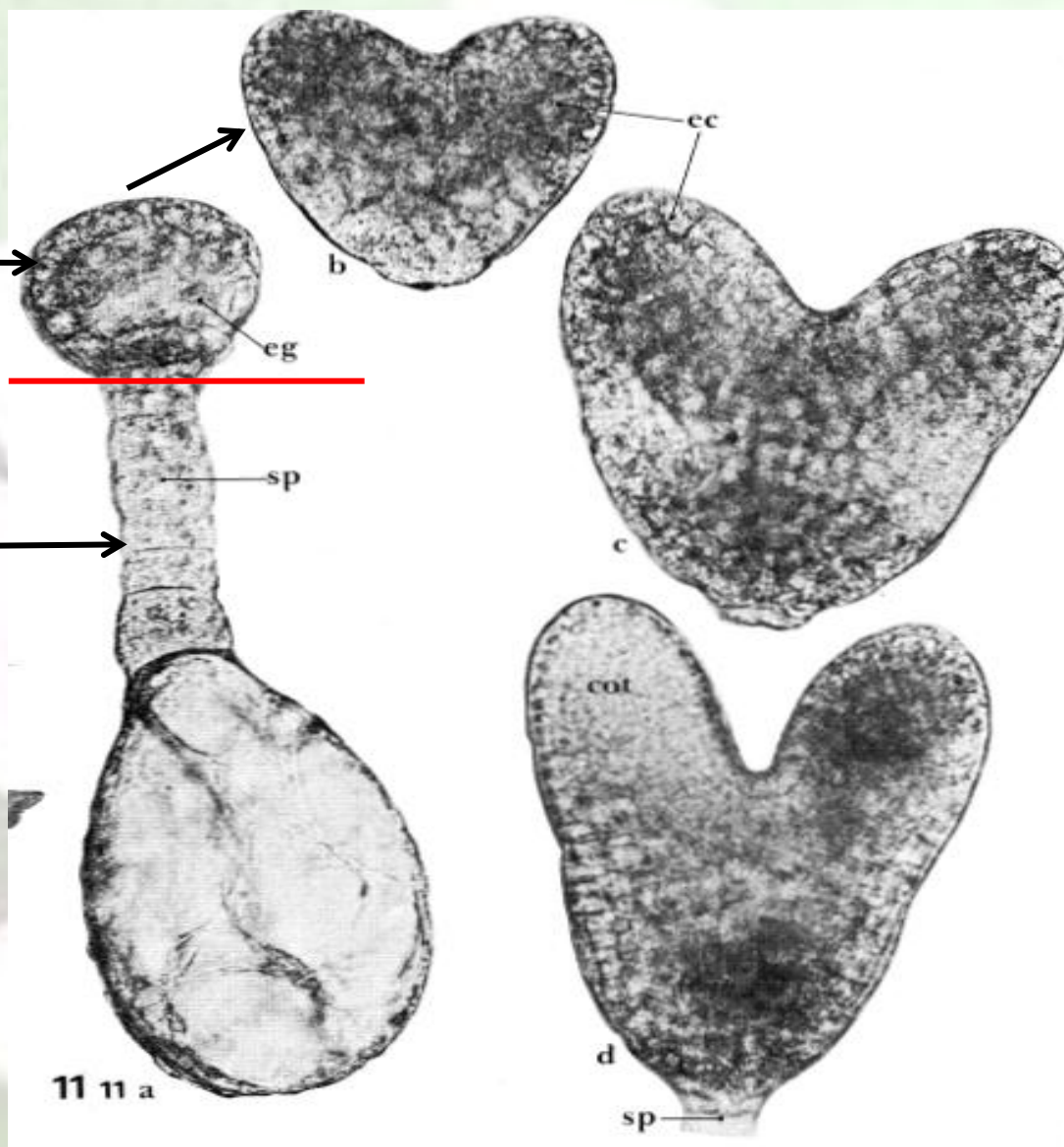


Formation de l'embryon des Angiospermes Dicotylédones



Embryon globuleux

Suspenseur





Entre les 2 lobes, se constituent **2 méristèmes** :

✓ **Un méristème caulinaire** au pôle caulinaire

✓ **Un méristème radiculaire** au pôle radiculaire

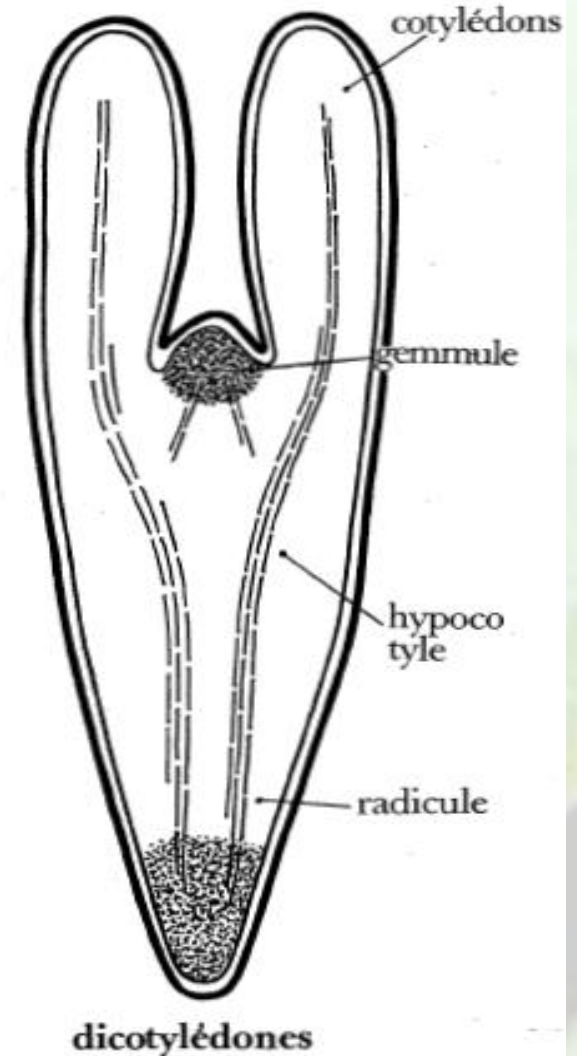
Les mitoses et **la différenciation** des différentes parties **se poursuivent** pour constituer **l'embryon définitive** ou **très jeunes plantule** constituée à ce stade de:

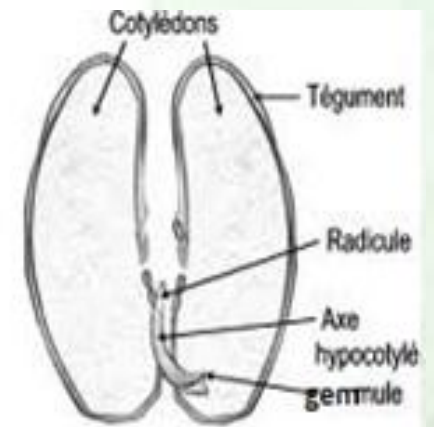
-**2 cotylédons**,

-**la gemmule** située entre les cotylédons (constituée du méristème caulinaire, qui va permettre la formation de la tige feuillée après germination de la graine).

-**la Radicule** constituée du méristème radiculaire,

- Et l'**hypocotyle** , situé entre la gemmule et la radicule, constituant la tigelle de la très jeune plantule.



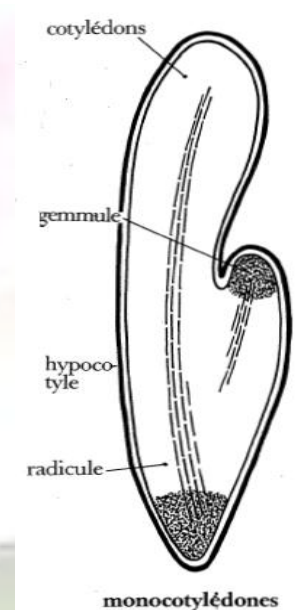
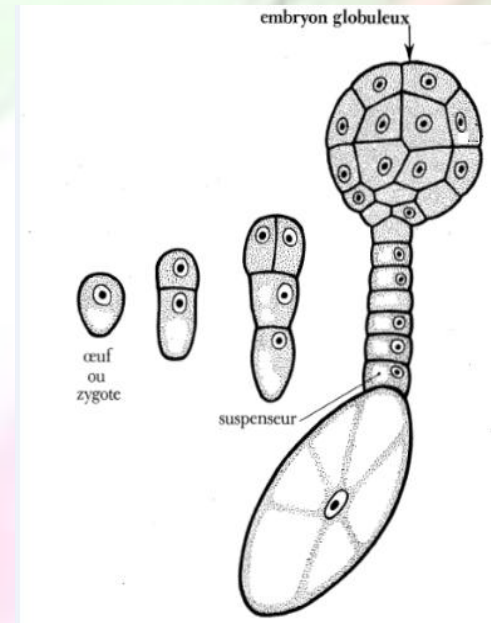


Haricot sec ouvert entre les cotylédons et montrant la jeune plantule

Formation de l'embryon des Angiospermes monocotylédones

Chez les Monocotylédones jusqu'au stade globulaire, les étapes sont identiques à celles des Angiospermes dicotylédones,

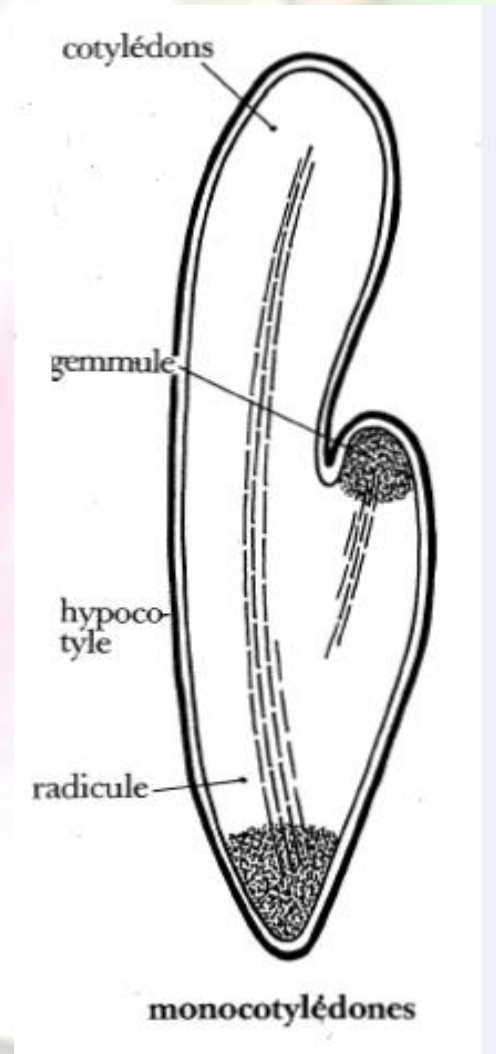
A partir de ce stade de l'embryogenèse , il y a **soulèvement d'un seul lobe cotylédonaire**, qui se développe en **un seul cotylédon** (**l'embryon ne passe pas du tout par le stade cordiforme**).



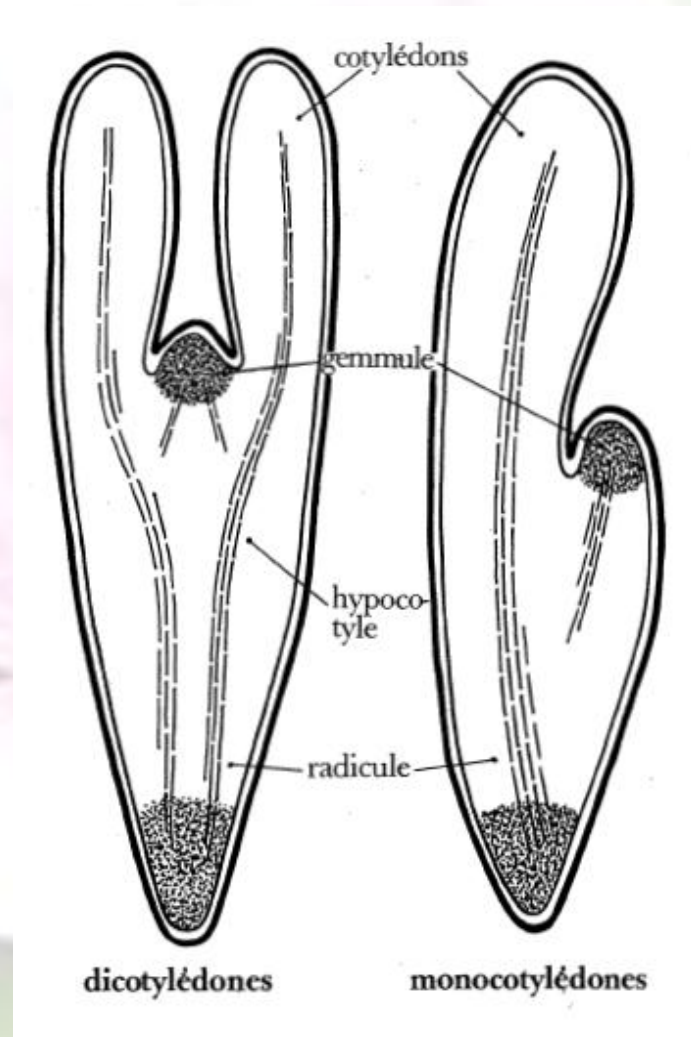
Formation de l'embryon des Angiospermes monocotylédones

L'embryon définitive ou très jeune plantule est donc constituée :

- d'un **seul cotylédon**,
- d'une **gemmule**,
- d'une **radicule**,
- Et l'**hypocotyle**, situé entre la gemmule et la radicule.



Comparaison des embryons des Angiospermes monocotylédones et dicotylédones

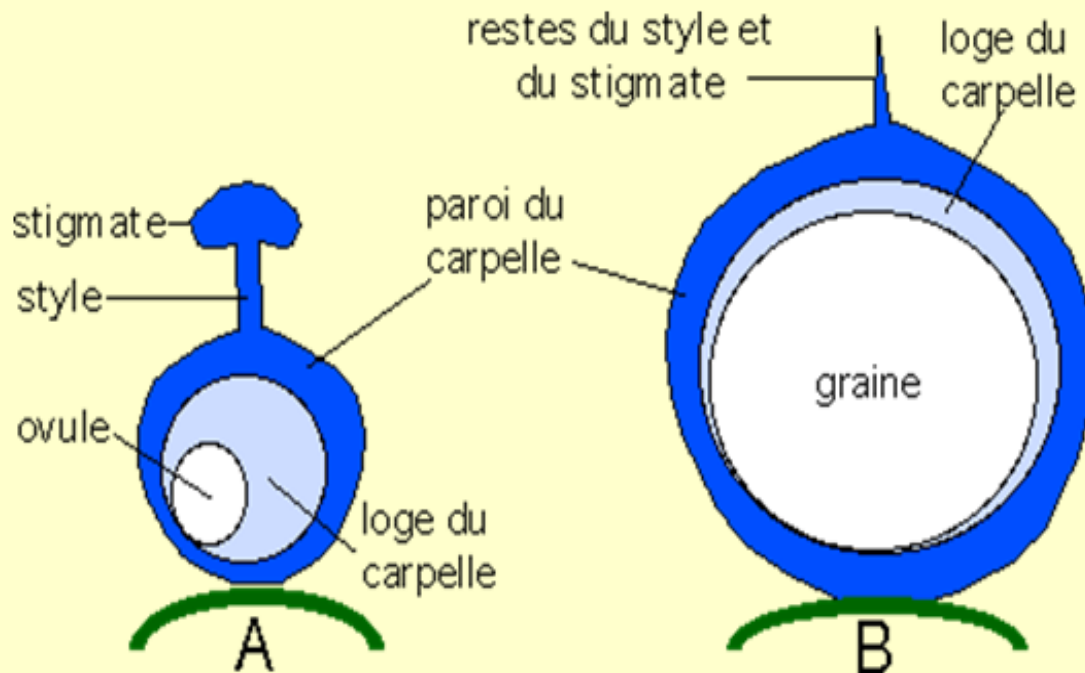


Devenir du zygote accessoire triploïde ($3n$)

le zygote accessoire est formé après le zygote principal, il subit beaucoup plus rapidement de très **nombreuses mitoses** pour former très vite **un tissu nourricier**, appelé **albumen** dont le rôle est d'**assurer la nutrition** pour le développement de l'embryon.

Formation de la graine

Pendant le développement de l'embryon et de l'albumen, **l'ovule se développe** considérablement en **augmentant de volume**.



Ovaire uniloculaire contenant un ovule.

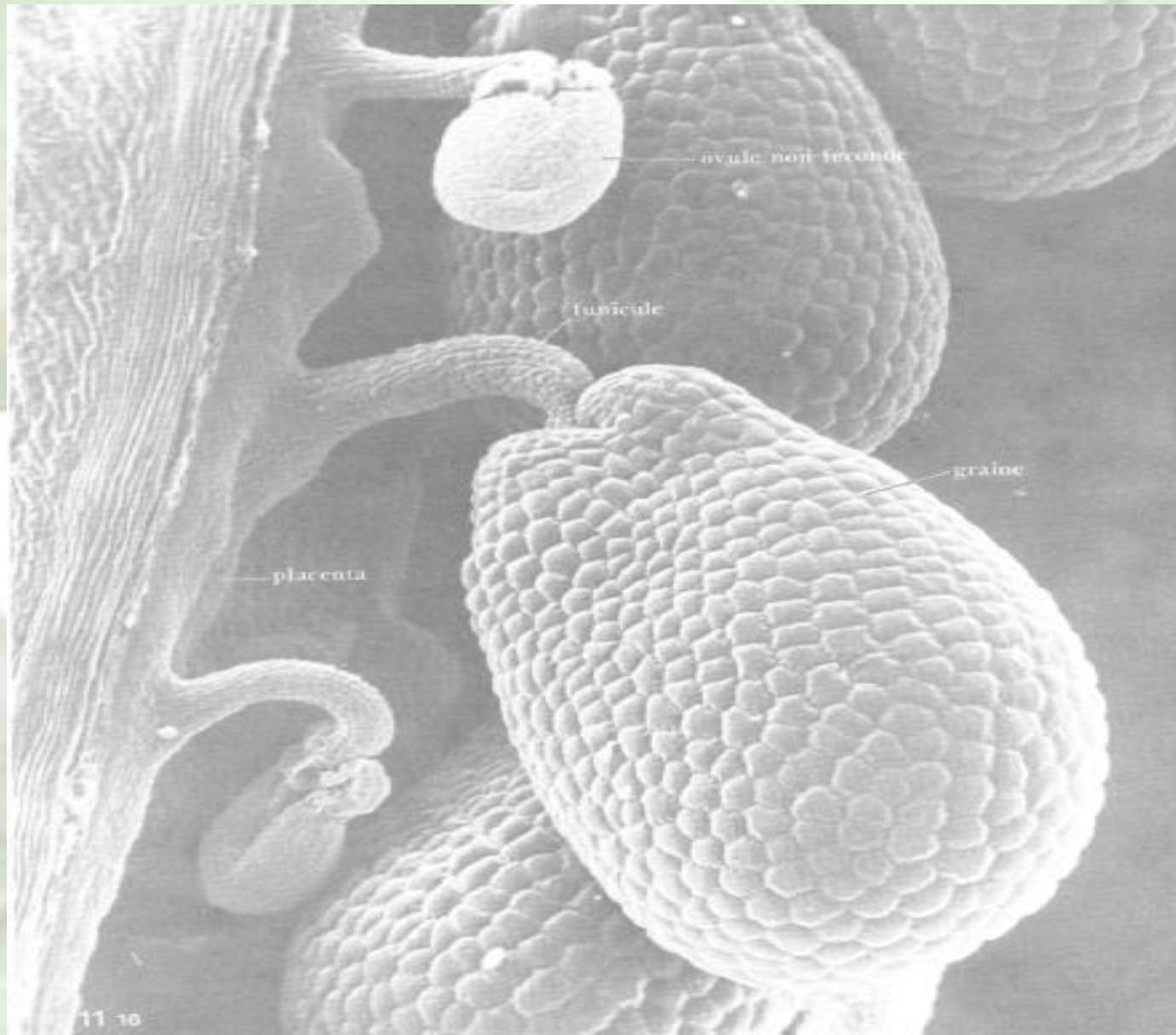
Akène, fruit sec uniloculaire contenant une graine.

Formation de la graine

Les **téguments** et le **nucelle** subissent des **transformations** suivantes:



Formation de la graine

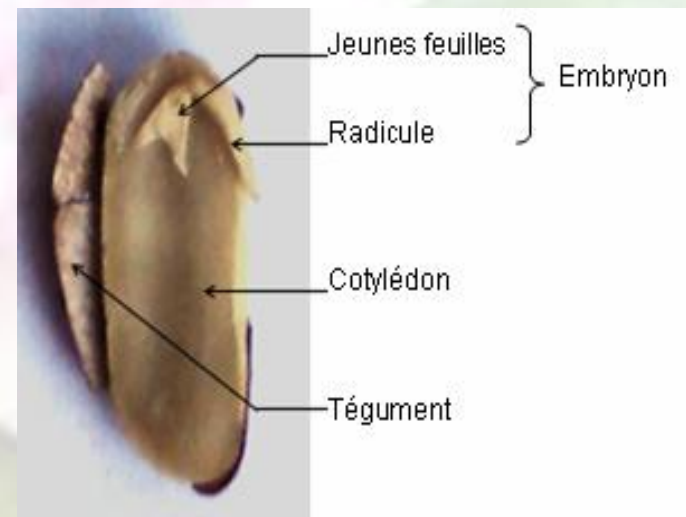


Formation de la graine

Les téguments

les parois des cellules qui constituent les 2 téguments s'**épaississent** et se **lignifient** plus ou moins selon les espèces.

Ils deviennent **téguments** de **la graine** qui **assurent la protection**.



Formation de la graine

La **transformation du nucelle** varie
aussi selon les espèces pour constituer
donc **différents types de graines** :

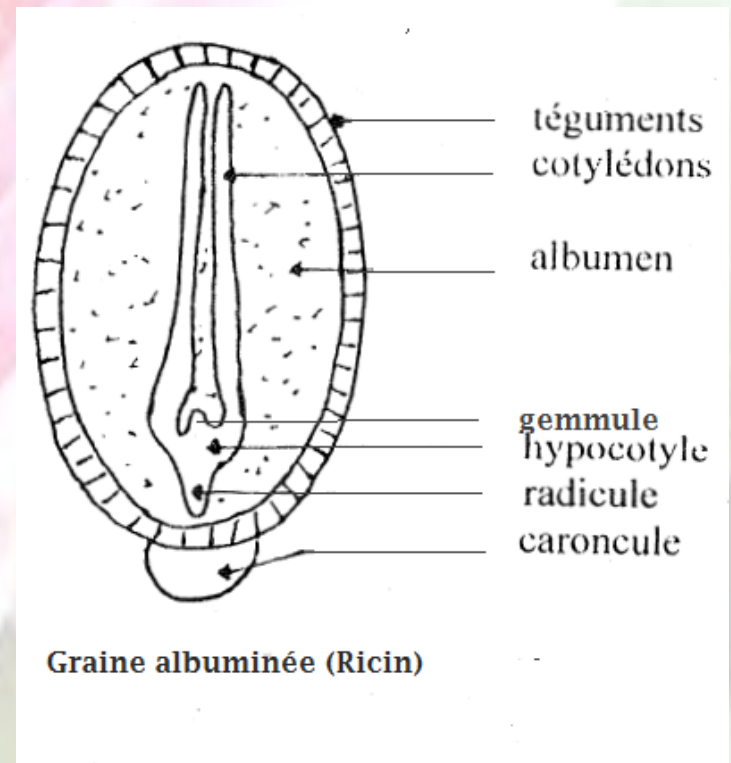
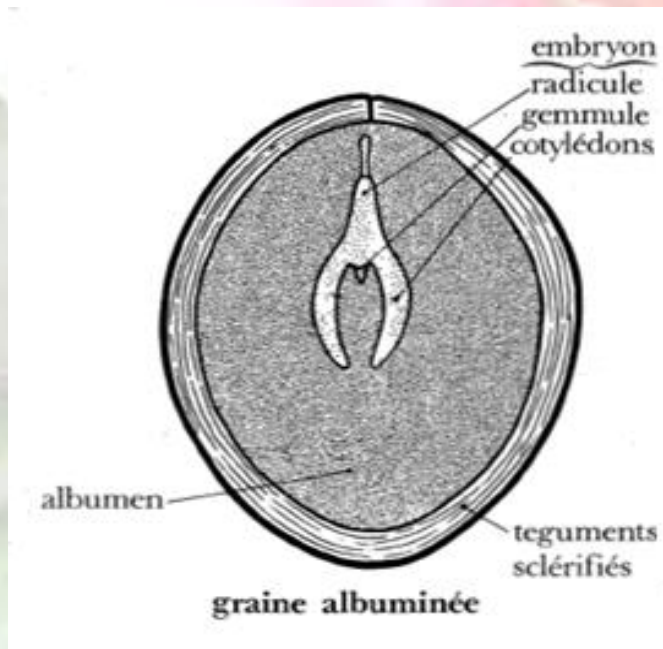


Graines albuminées

Le nucelle est détruit progressivement jusqu'à **disparaître complètement**, **digéré par l'albumen**, qui se développe en devenant volumineux.

L'albumen devient alors un tissu nourricier.

Ex **Graines de Ricin** ou de **dattes** .





Caroncules de graines de ricin



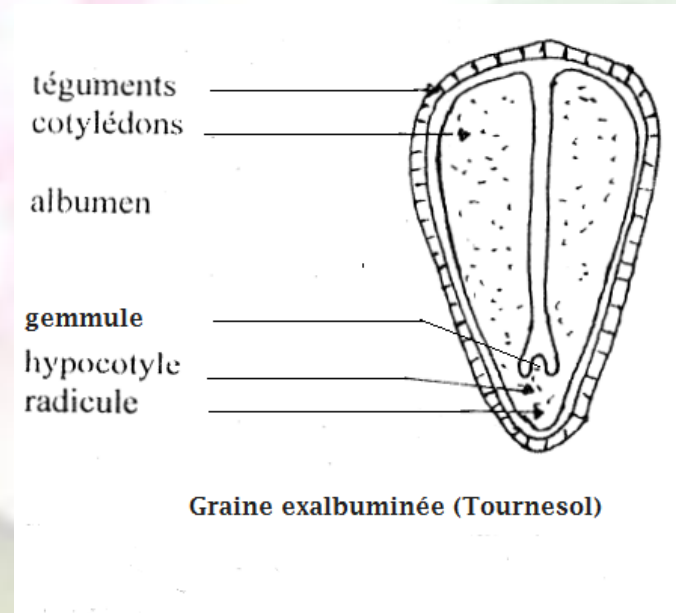
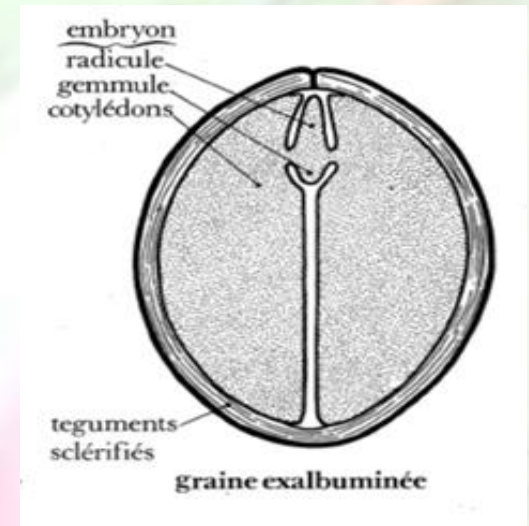
La germination débute par la sortie de la racine au niveau de la caroncule

Graines exalbuminées

le nucelle disparaît **complètement digéré**
par l'albumen, qui est **lui-même**
complètement **digéré par l'embryon** au
cours de son développement.

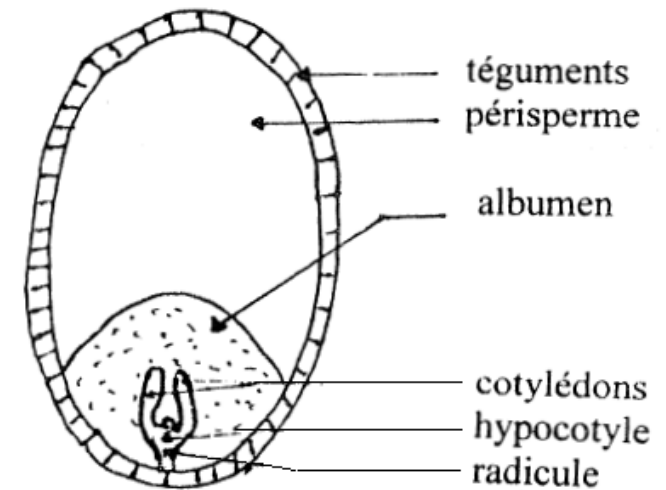
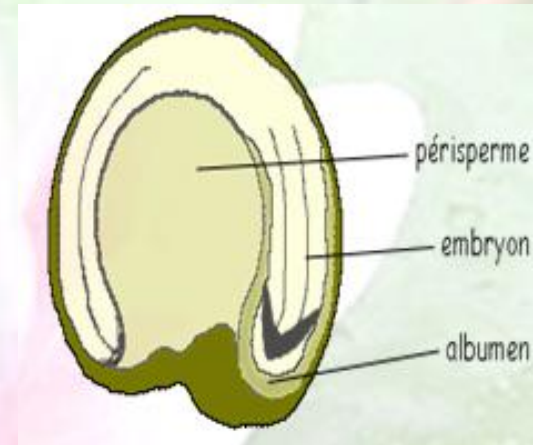
Ce dernier met alors en **réserve** les
substances nutritives au niveau de ses
cotylédons qui deviennent très
volumineux, occupant la totalité de la
graine.

Ex: **Graines d'haricot, pois, tournesol** etc...



Graines a périspermes

Le nucelle persiste et se transforme en s'enrichissant de réserves, il devient un tissu nourricier appelé **périsperme**, qui remplace en grande partie l'**albumen** qui est **réduit** car **digéré par l'embryon** au cours de son développement. Ex **Graines de poivre, betterave...**

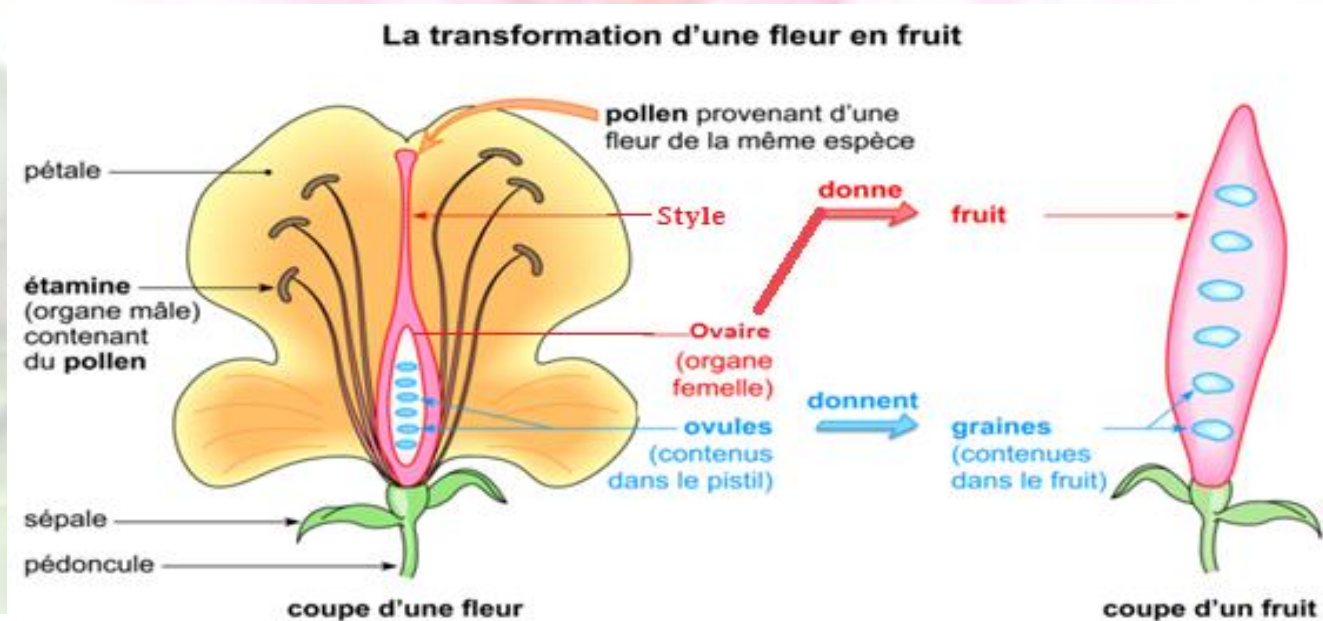


Graine à périsperme (poivre noir)

Formation des fruits

La fécondation a pour conséquence la **transformation des ovules en graines** et **l'ovaire en fruit** sous l'action de différents types d'hormones (**Auxine**).

Ainsi les différents tissus constituant l'ovaire **épiderme externe**, **parenchyme chlorophyllien** et **épiderme interne**, se transforment pour devenir le fruit constitué du **péricarpe**, comprenant donc 3 parties :

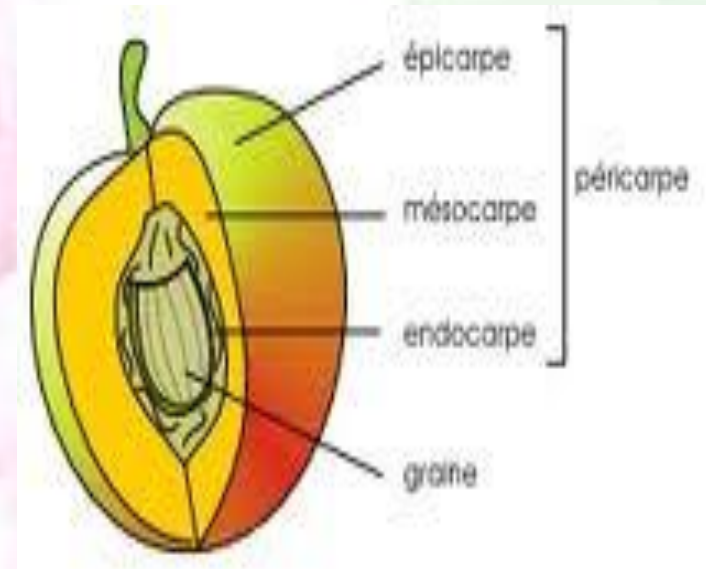


Formation des fruits

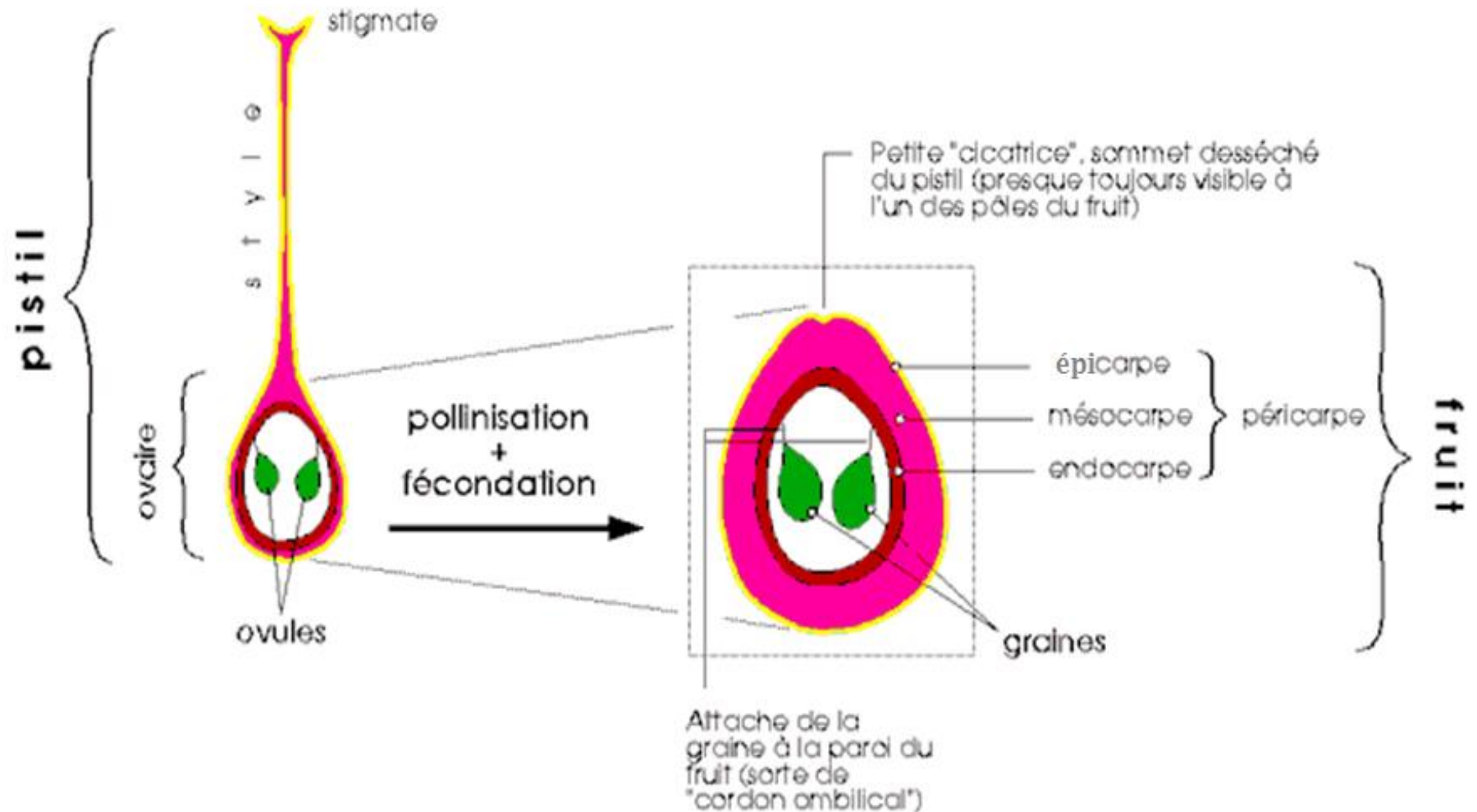
➤ **L'épicarpe** : la partie la plus externe du fruit provenant de la transformation de **l'épiderme externe**.

➤ **Le mésocarpe** : la partie centrale provenant de la transformation du **parenchyme chlorophyllien** (la chair).

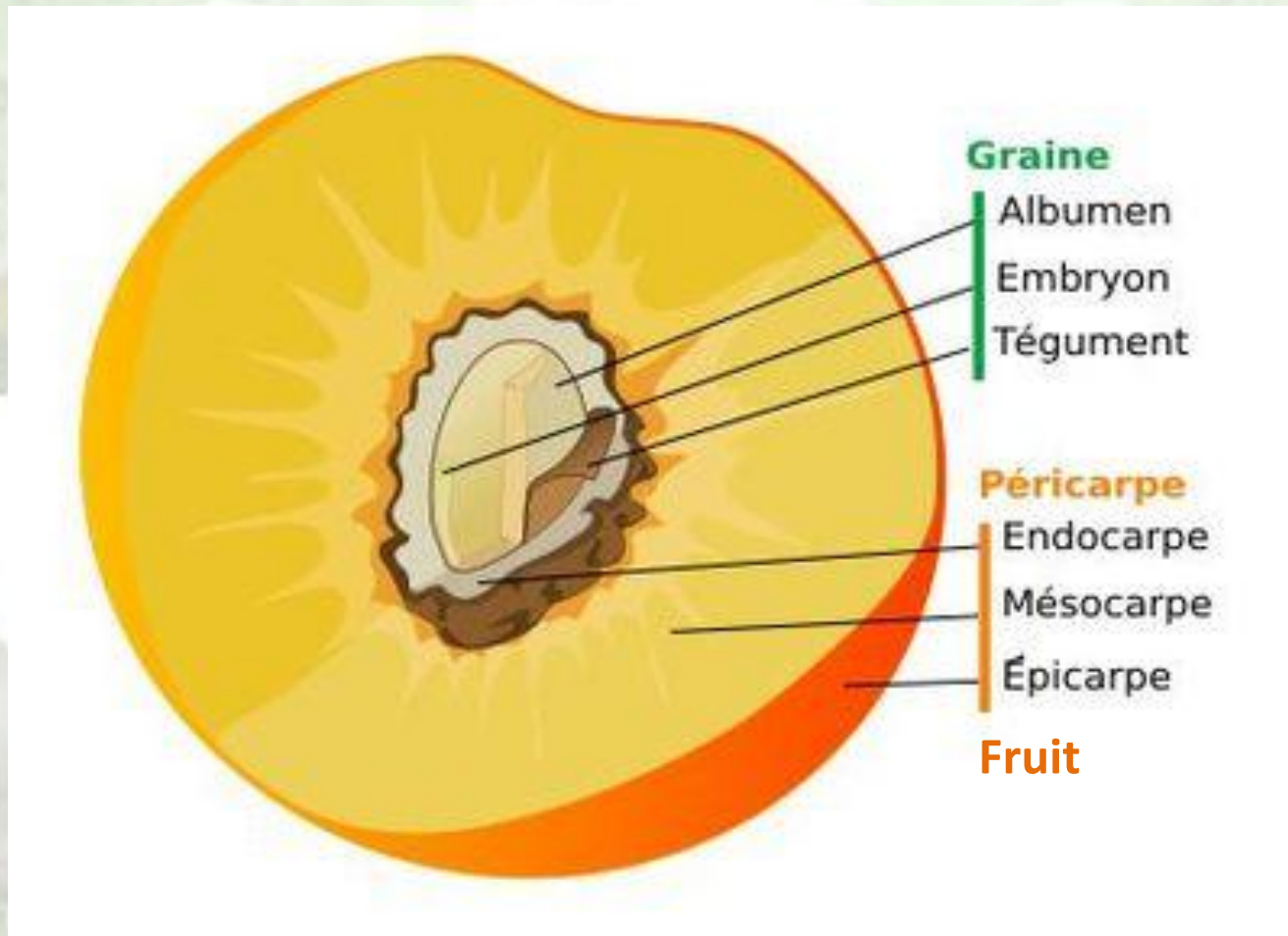
➤ **Et l'endocarpe** : la partie la plus interne provenant de la transformation de **l'épiderme interne** (la couche interne qui entoure les graines).



Formation des fruits



Formation des fruits



Le fruit entoure la graine



Prochain cours

**La reproduction chez les
gymnospermes**