

Pro. BOUDOUR Leila

Responsable de la matière
Biosystématique conventionnelle
L3 BPV

Troisième partie

Les Angiospermes

Les Angiospermes

A. Généralités

- ▶ ovule(s) dans **cavité close** : **Ovaire** (formé de 1 ou plusieurs carpelles)
- ▶ graine(s) dans **fruit**
- ▶ **vraie fleur**
- ▶ **double fécondation effective**
- ▶ bois **hétéroxylé** (vaisseaux parfaits + parenchyme ligneux)
- ▶ "apparition" à la **fin du Jurassique** (plus anciens fossiles : grains de pollen,.

les Angiospermes comprennent 200 000 à 280 000 espèces. Elles se distinguent des Gymnospermes par essentiellement les trois caractères suivants :

- Les organes reproducteurs sont groupés en fleurs bisexuées (chez 90 % des Angiospermes, les fleurs sont hermaphrodites).
- Les carpelles forment un ovaire entourant complètement l'ovule (d'où le nom Angiosperme, qui provient du mot grec « aggeion » signifiant « petite urne ») et forment un fruit après la fécondation.
- Le gamétophyte femelle, situé dans l'ovule et appelé sac embryonnaire, est le siège d'une double fécondation, l'une à l'origine de l'embryon, l'autre formant l'albumen, tissu de réserve des graines.

- ▶ appareil végétatif très variable :
 - + de moins de 1mm : Wolffia (*Wolffia arrhiza*)
 - + à de 100m (eucalyptus)
- ▶ **métabolisme secondaire** très important et très diversifié :
très nombreuses molécules à propriétés thérapeutiques
- ▶ colonisation de tous les milieux :
aérien, climat froid, équatorial, désertique.... eaux douces ou marine.

B. Morphologie florale

Les structures reproductrices des angiospermes sont les **fleurs**.

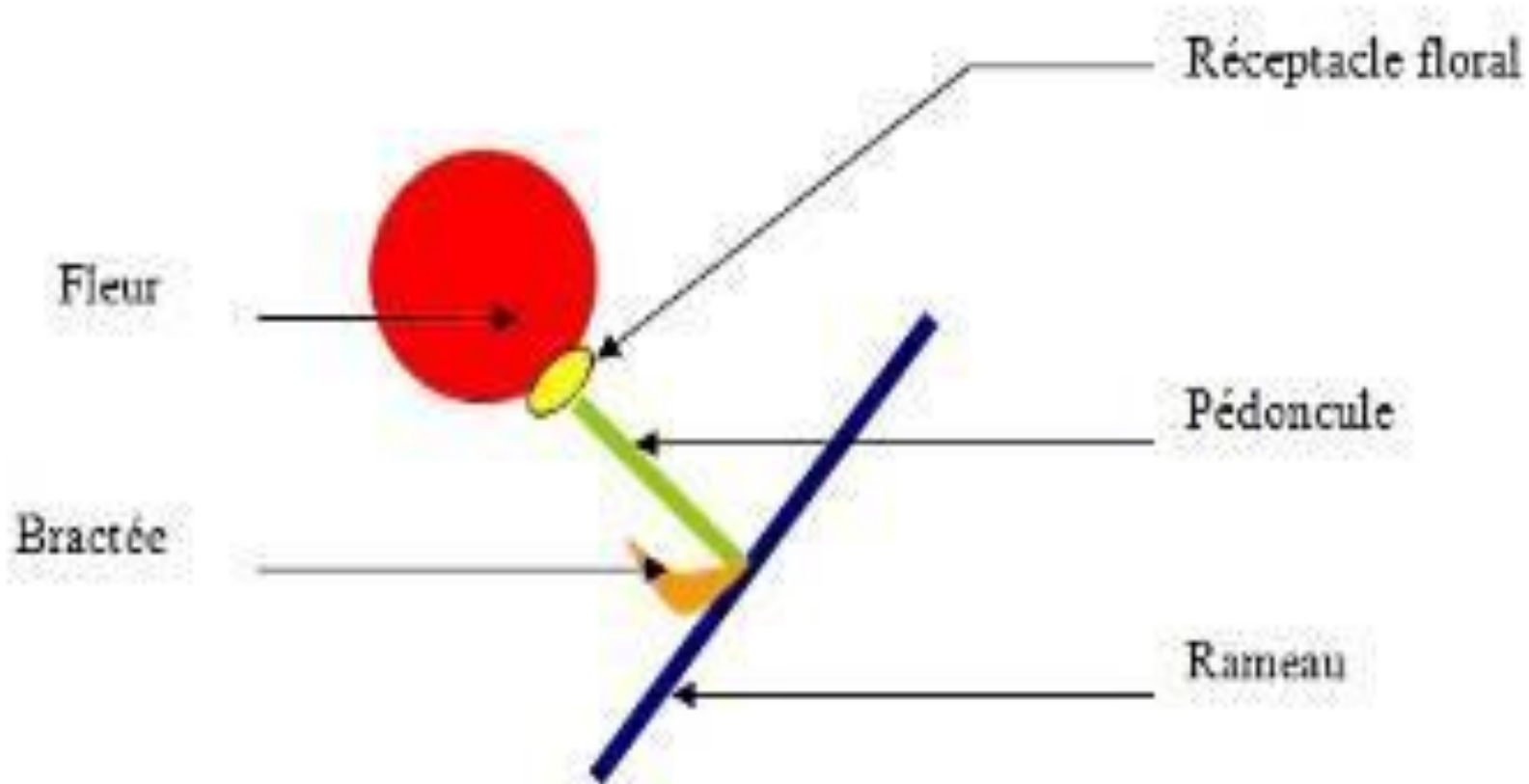
Une fleur est un axe très modifié portant des appendices spécialisés (feuille modifiées). La tige modifiée (axe floral) est appelée **réceptacle**, tandis que l'axe qui porte la fleur est le **pédicelle (pédoncule)**. Les fleurs apparaissent généralement à l'aisselle d'une feuille plus ou moins modifiée, une **bractée**; des structures foliacées plus petites, **les bractéoles**, se développent souvent le long du pédicelle.

Les fleurs sont constituées au maximum de trois parties principales : le **périanthe** (structures externes protectrices sans ou colorées), l' **androcée** (structures qui produisent le pollen) et le **gynécée** (structures qui donnent les ovules). Les fleurs sont **complètes** si elles possèdent ces trois parties. Si une des parties est absente, la fleur est **incomplète**.

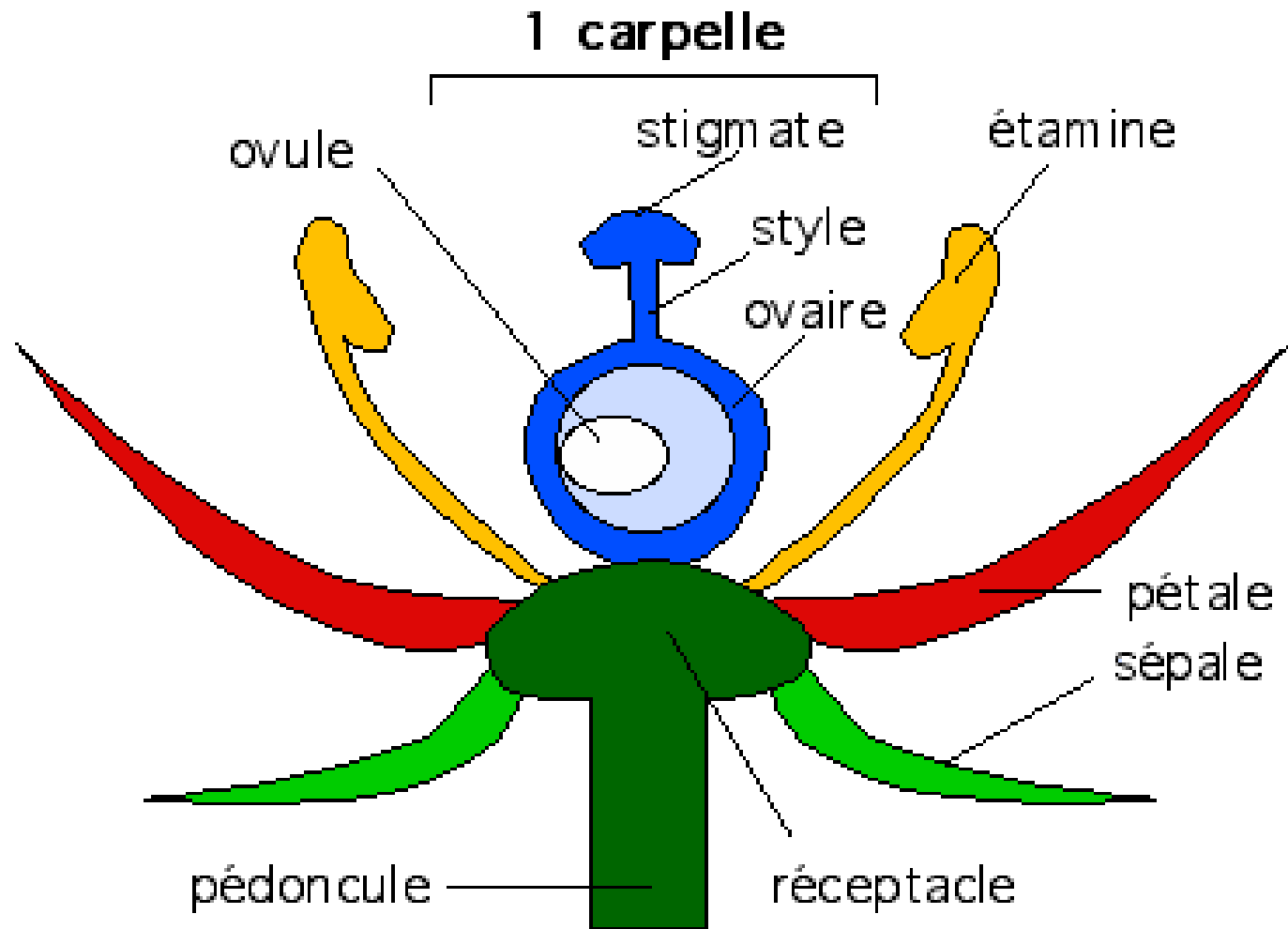
Si l'une ou l'autre de ces structures est absente, la fleur est **unisexuée**; elle est **staminée** (mâle) ou **pistillée** (femelle).

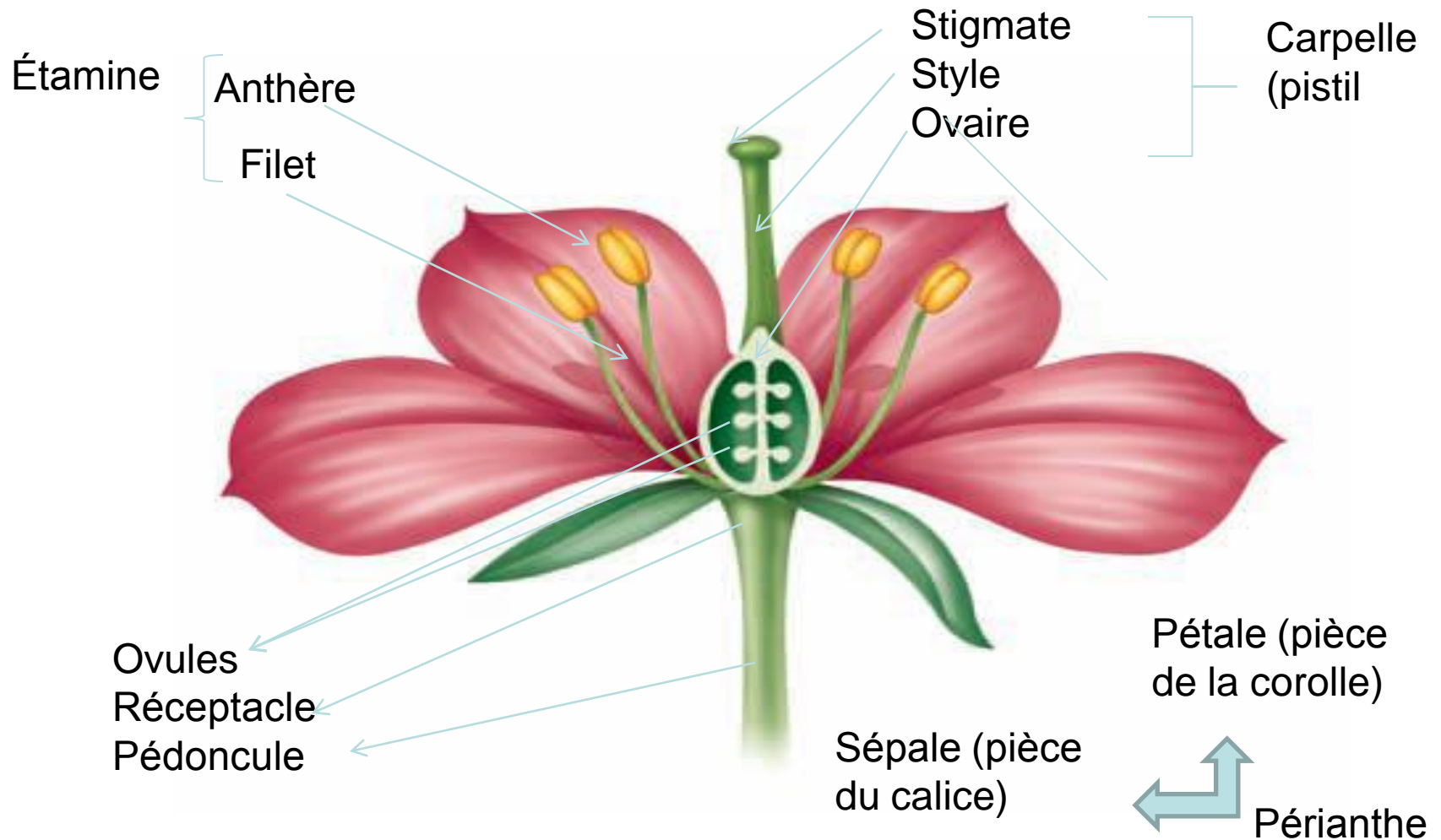
Les pièces du périanthe sont parfois indifférenciées et le périanthe est simplement formé de **tépales**. Le périanthe peut d'autre part être différencié en un **calice** et une **corolle** et composé, dans ce cas, d'un verticille (ou de plusieurs verticilles).

Une fleur est issue du développement d'un bourgeon floral terminal ou latéral. Elle est portée par une tige (le pédoncule) insérée à l'aisselle d'une feuille (la bractée), et l'ensemble est relié à un rameau. La fleur elle-même est située sur l'extrémité renflée du pédoncule, le **réceptacle floral**.



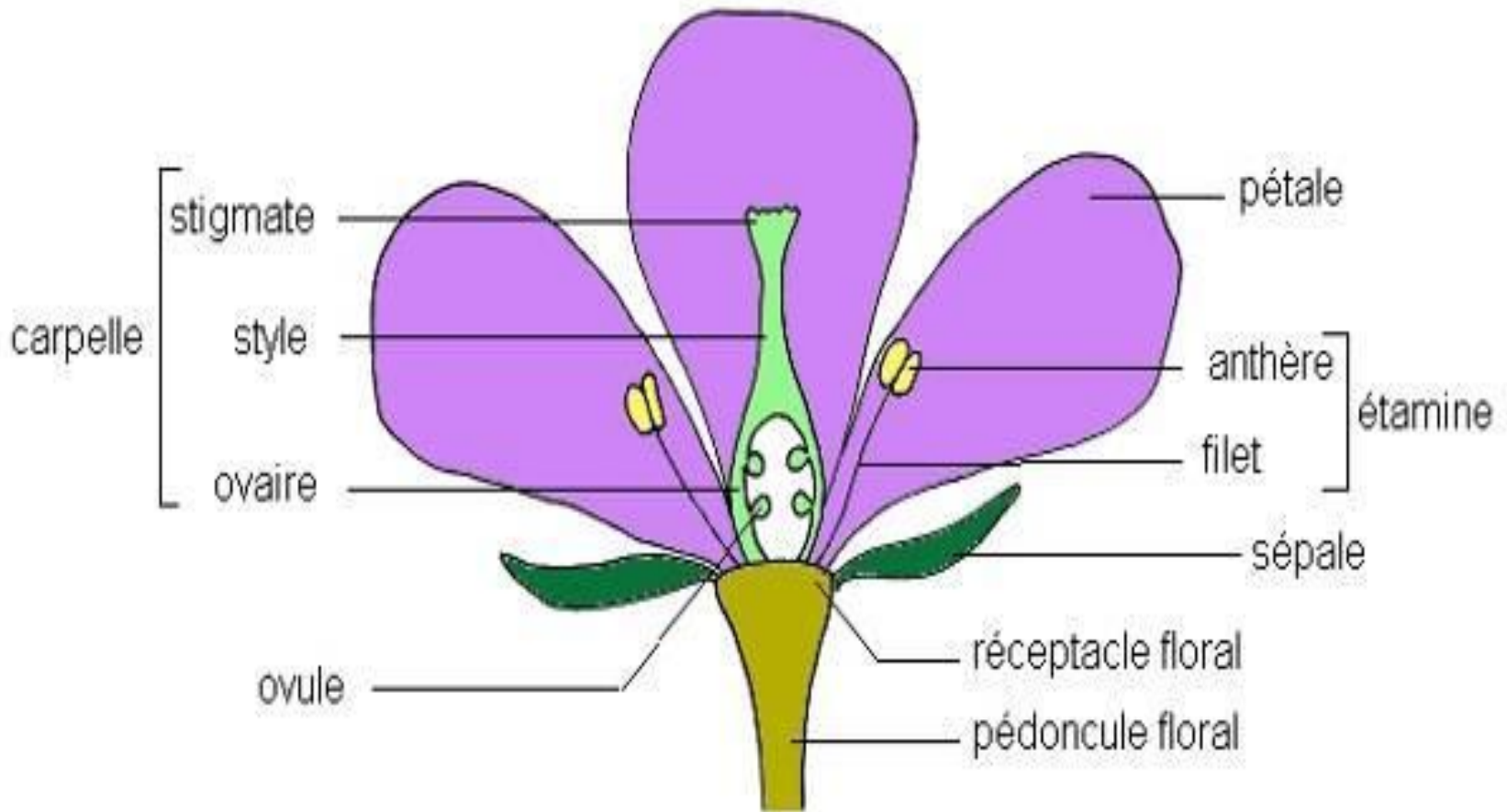
a) différentes pièces florales



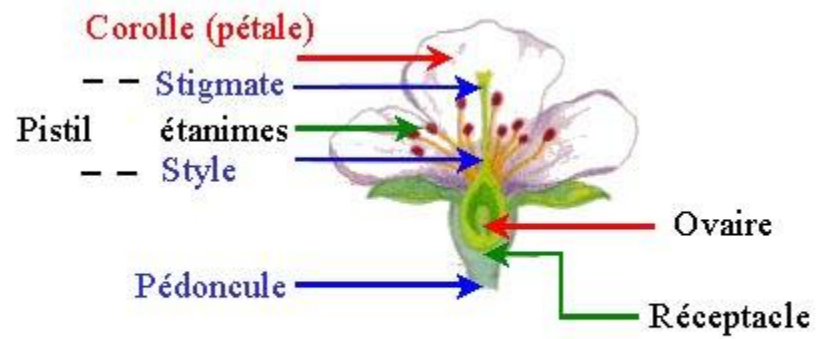


Structure générale d'une fleur

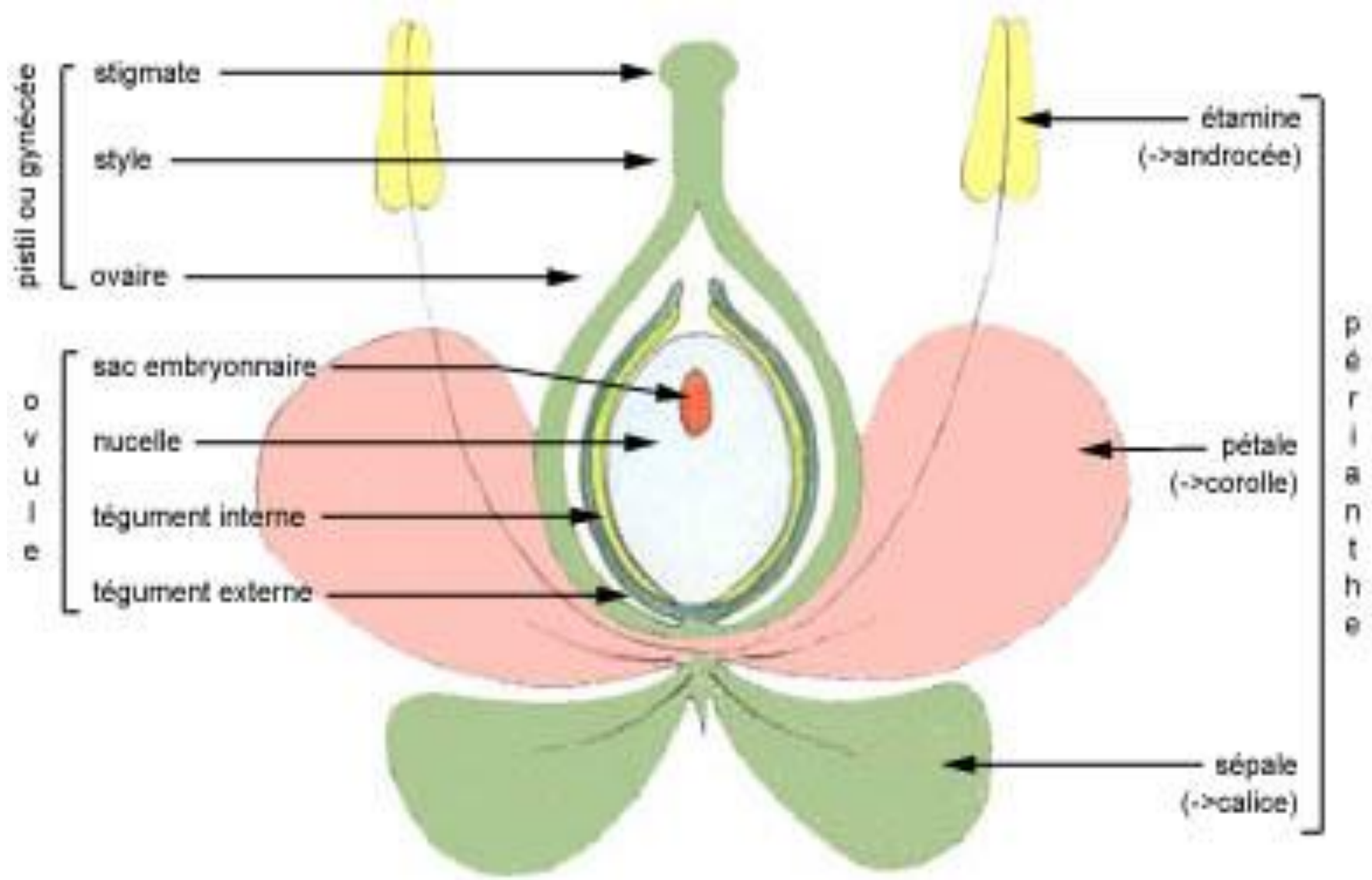
Les caractères morphologiques, le nombre et les relations entre les pièces florales peuvent varier d'une espèce à l'autre. Cependant, leur ordre d'**insertion** au niveau du réceptacle floral est constant.



Coupe schématique d'une fleur



FLEUR HERMAPHRODITE

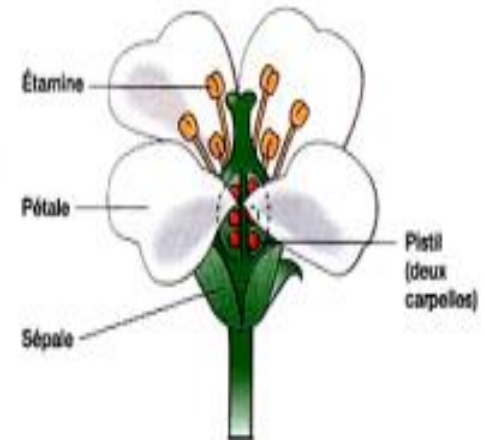
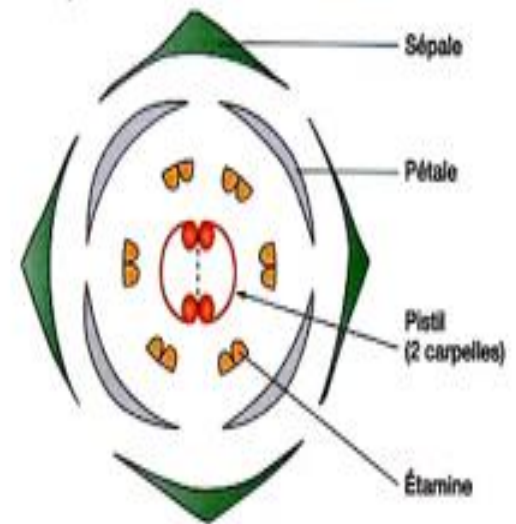


Organisation de la fleur d'*Arabidopsis thaliana* (Arabette des dames).

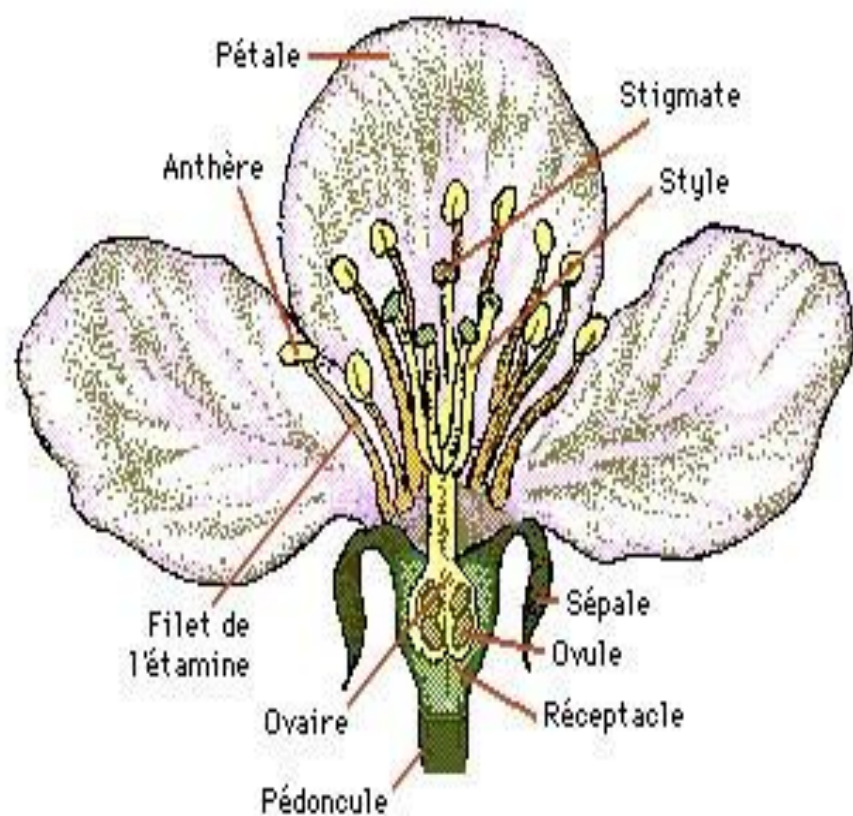
L'organisation de la fleur d'*Arabidopsis thaliana* présente quatre anneaux concentriques ou verticilles, chacun étant caractérisé par un type de pièces florales:

- verticille 1, périphérique: 4 sépales verts;
- verticille 2, plus interne: 4 pétales blancs;
- verticille 3, entouré par le précédent: six étamines, 4 longues et 2 courtes;
- verticille 4, au centre de la fleur: deux carpelles soudés constituant le pistil.

Cette organisation florale présente donc une polarité de la périphérie vers le centre (externe- interne). Les botanistes expliquent la présence des différentes pièces florales par les domaines d'expression de trois gènes homéotiques : A, B et C.



Structure de la fleur



Légende

Une fleur est formée de quatre sortes d'éléments. Les sépales (le calice) forment une enveloppe, souvent verte, autour du bourgeon, avant son éclosion. Les pétales (la corolle) sont souvent colorés et odoriférants, ce qui attire les insectes butineurs. Calice et corolle constituent le périanthe, enveloppe florale qui protège les éléments sexuels de la fleur. Ceux-ci sont les étamines (organes mâles), groupées en un ou deux rangs circulaires, et le pistil (organe femelle), composé de carpelles. Les carpelles comportent chacun stigmate, style et ovaire. Après la fécondation, les carpelles hypertrophiés forment le fruit.

b) origine des pièces florales

Les pièces florales seraient des feuilles modifiées adaptées à la reproduction (théorie de la "métamorphose", Goethe 1790)





St Bernard's Lily (*Anthericum liliago*)



Bermsida Buttercup (*Oxalis pes-caprae*)



Oleander (*Nerium oleander*)



Lantana (*Lantana camara*)



Scarlet Pimpernel (*Anagallis arvensis*)



Verbascum (*Verbascum thurberianum*)



Common Mallow (*Malva sylvestris*)



Spanish Oyster (*Scolymus hispanicum*)



Stork's bill (*Erodium cicutarium*)



Bindweed (*Convolvulus arvensis*)



Blue Gem (*Hebes x franciscana*)



Calla Lily (*Zantedeschia aethiopica*)

c- Le rôle des pièces florales

▶ **sépales** (calice), le plus souvent verts : rôle protecteur

▶ **pétales** (corolle) : rôle au niveau de la pollinisation

+ fleurs pollinisées par le vent : pas de pétales, pas de nectar

+ fleurs pollinisées par des insectes : présence de pigments colorés (anthocyanes, caroténoïdes...) ou non colorés (flavones, flavonols...) : souvent le nectar

▶ **appareil reproducteur :**

étamines (androcée) et **carpelle(s)** (gynécée ou pistil)

+ les 2 sexes sur la même fleur : fleur hermaphrodite

+ des fleurs mâles et des fleurs femelles sur le même pied : plante monoïque

+ les fleurs mâles et les fleurs femelles sur des pieds différents : plante dioïque

A- L'androcée comprend l'ensemble **des étamines** de la fleur. Les étamines sont généralement différenciées en une **anthère** et un **filet** . Les anthères contiennent généralement quatre sacs polliniques (ou microsporangies) qui confluent souvent deux à deux. Les sacs polliniques sont unis entre eux et au filet par un **connectif**.

La méiose se déroule à l'intérieur des sacs polliniques la cellule- mère $2n$ (méiose= microspores n) pour aboutir à la production des grains de pollen (gamétophytes mâles ou microgamétophytes). Différents mécanismes participent à l'ouverture des anthères et le pollen est généralement libéré par des fentes longitudinales, mais il peut également exister des fentes transversales.

On dit d'une anthère est **introrse** si elle s'ouvre vers l'intérieur de la fleur et **extrorse** si le pollen est disséminé vers l'extérieur



Androcée

étamines



anthère
formée de
2 loges

connectif

filet

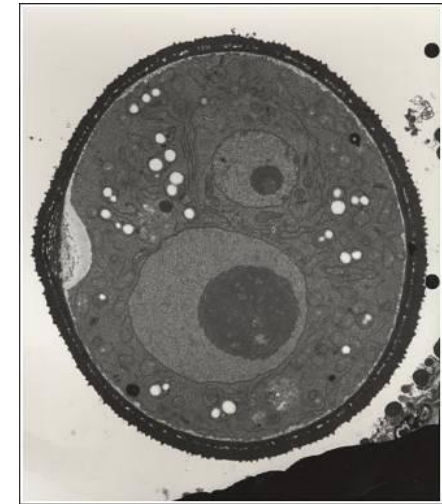
Formation du pollen

Dans les étamines, au niveau des anthères,
la Réduction Chromatique (méiose) de cellules
mères diploïdes donne des microspores
(haploïdes)

évoluant en grains de pollen

grains de pollen = gamétophytes mâles réduits à 2 cellules :

1 ou 2 cellules végétatives
+ 1 cellule reproductrice
qui formera 2 gamètes mâles.

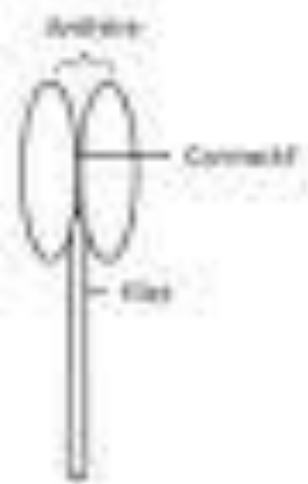


**La paroi externe du grain de pollen,
très résistante, s'appelle l'EXINE**



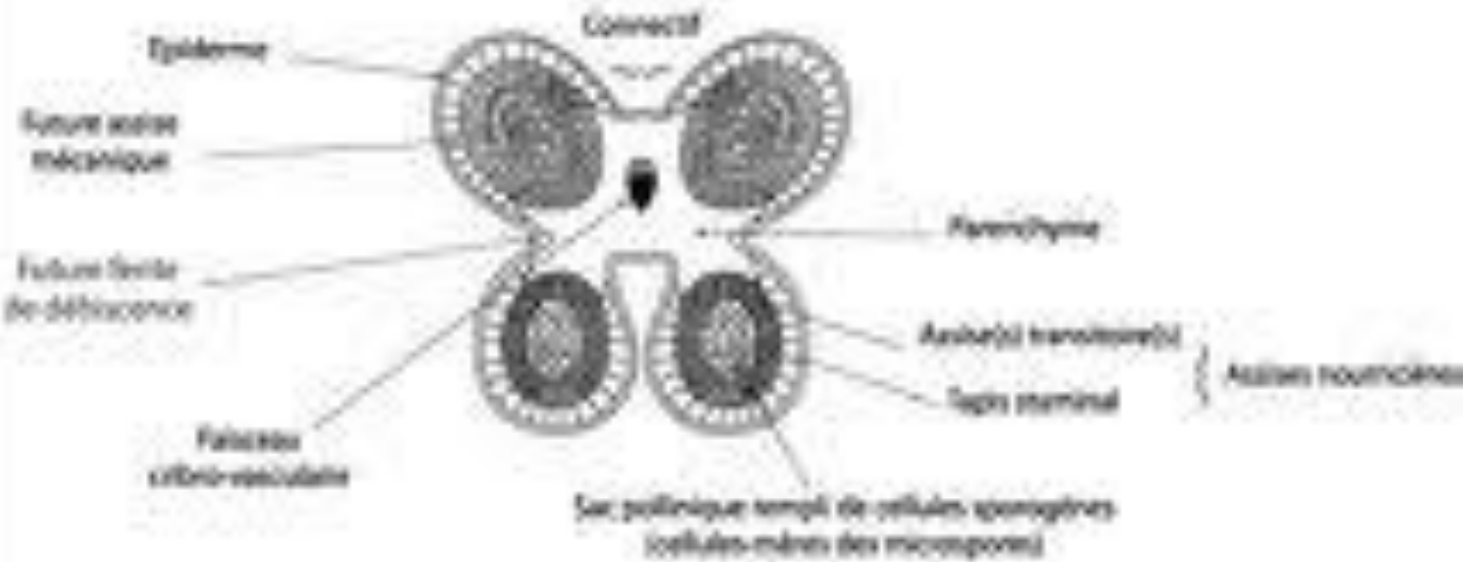
Anthères d'une *Amaryllis* *stamens*

Vue latérale

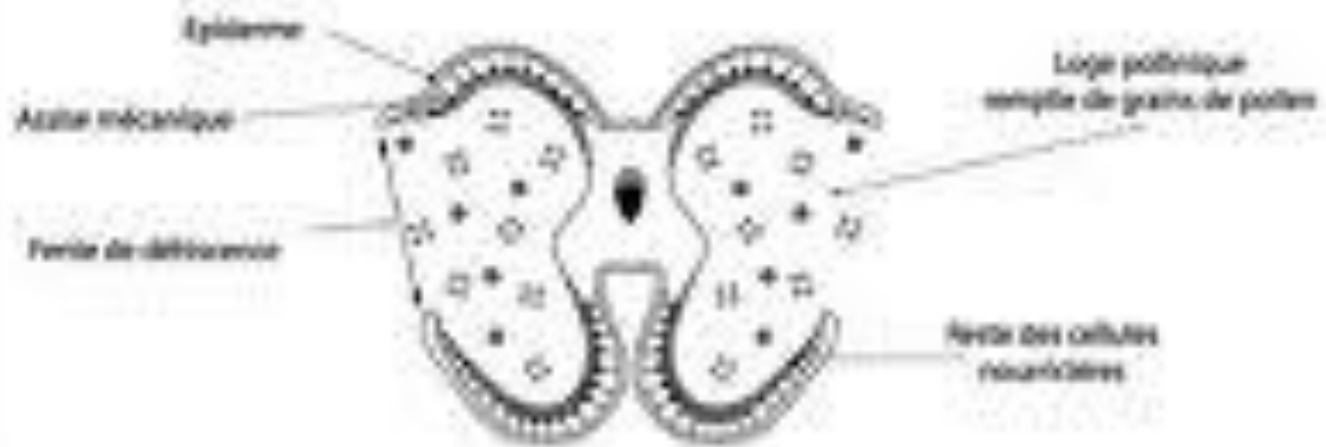


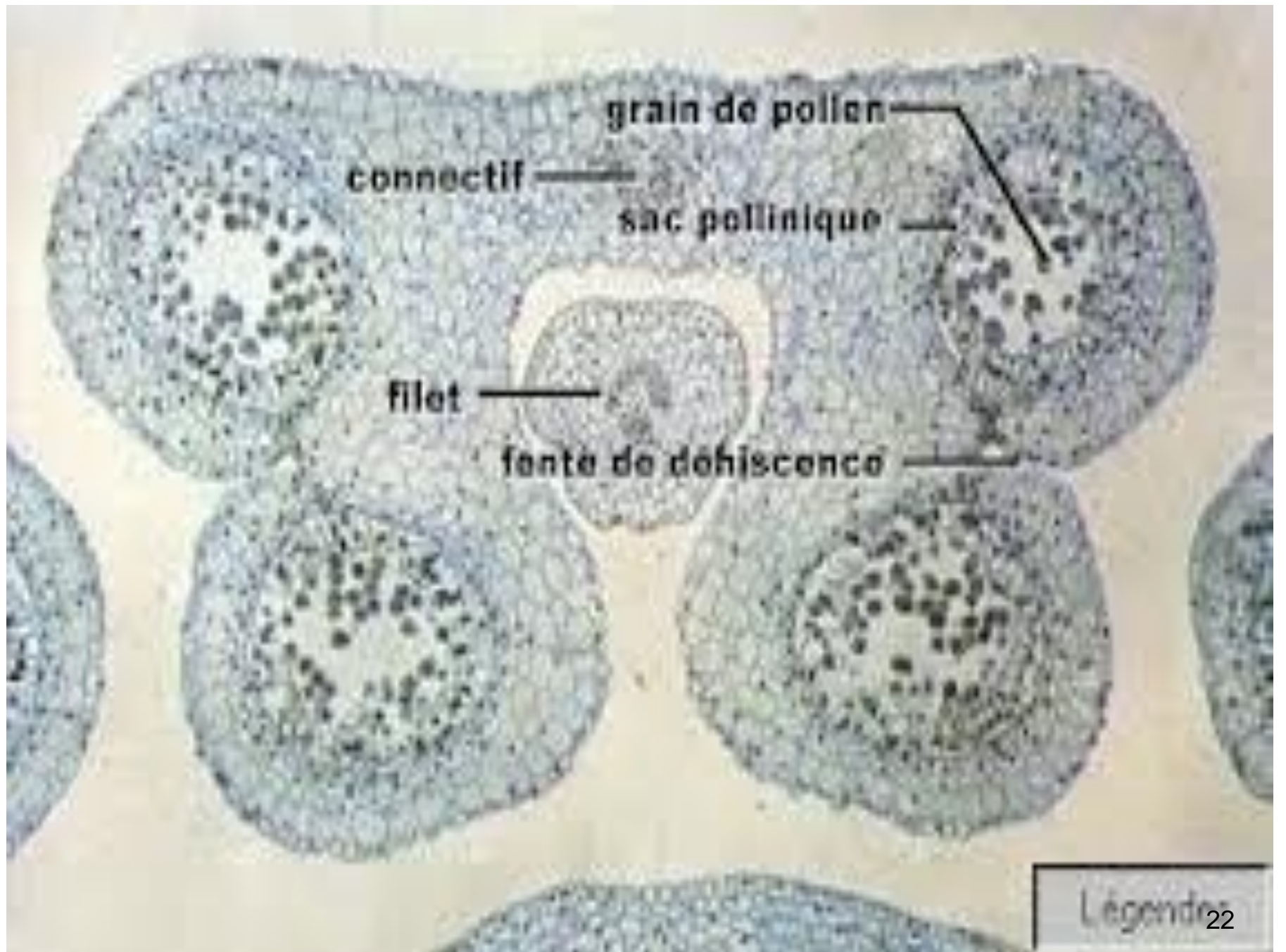
Coupe transversale

Anthere jeune



Anthere mûre

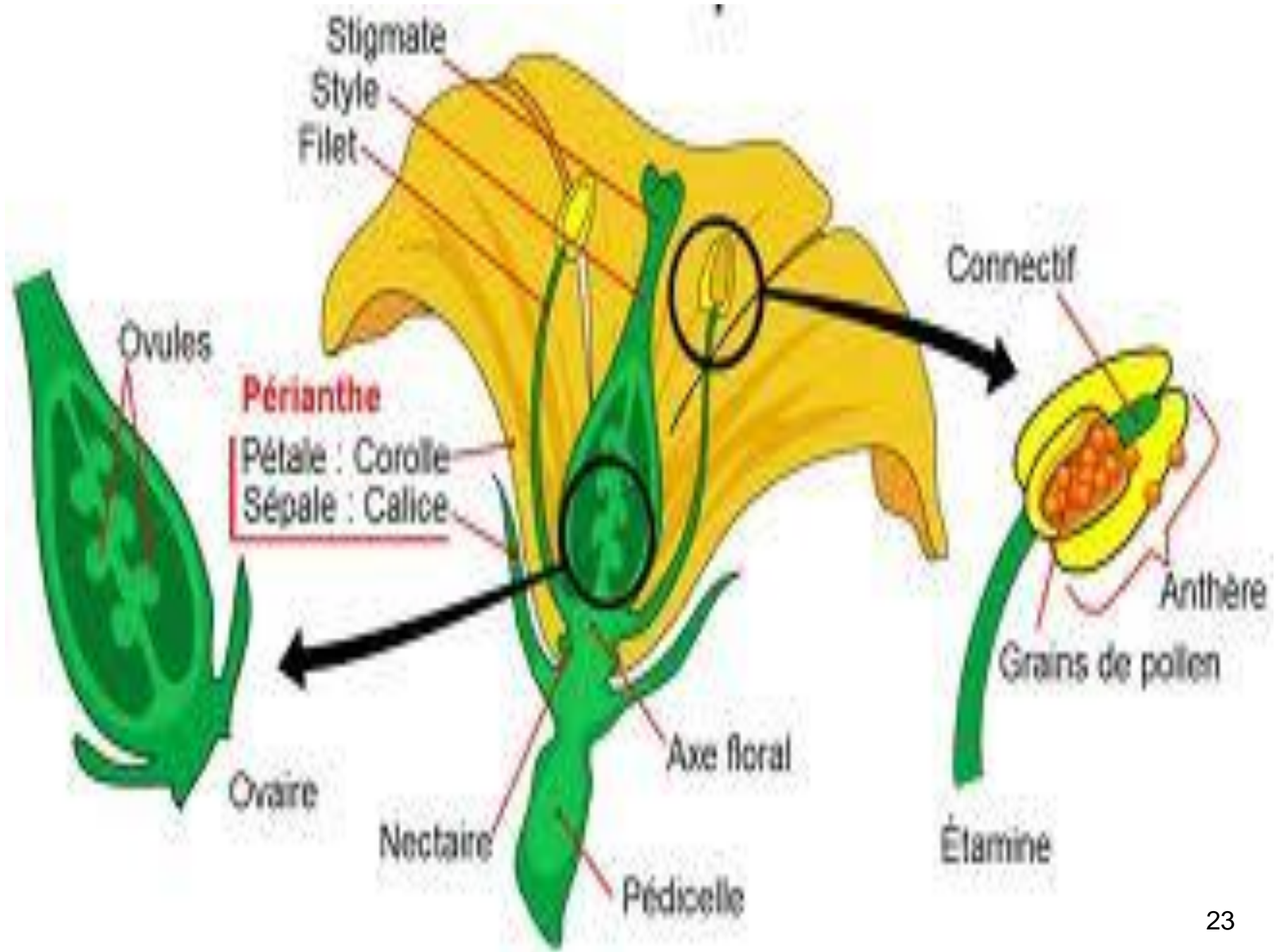




grain de pollen
connectif
sac pollinique

filet
fente de dehiscence

Légendes
22



B- **Le gynécée** comprend tout les **carpelles** de la fleur. Les carpelles typiques sont composés d'un stigmate (qui sert à collecter le pollen transporté par le vent, l'eau ou divers animaux, et facilite sa germination), d'un **style** (région généralement plus mince, spécialisée pour la croissance des tubes polliniques) et d'un **ovaire** (portion basale entourant et protégeant les **ovules**).

La surface stigmatique peut être diversement papilleuse, elle peut être humide ou sèche.

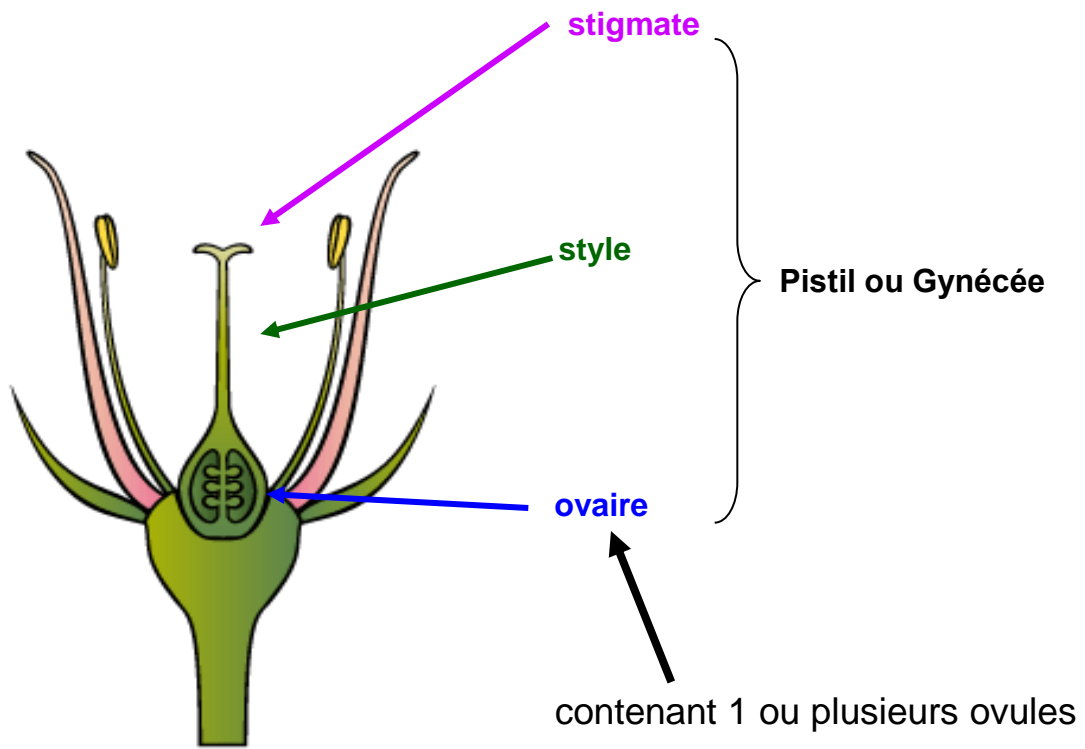
Chaque ovule contient le mégagamétophyte (gamétophyte femelle ou sac embryonnaire), qui produit une oosphère et possède généralement deux assises protectrices appelées **téguments**.

L'ovule est fixé à la paroi de l'ovaire par un pédicelle, le **funicule** . Le Gynécée est souvent appelé la « partie femelle ».

Quand l'ovule se développe en graine, l'ovule qui l'entoure se développe en fruit.

Gynécée ou Pistil

de 1 à n carpelles (libres ou soudés)



fleur complète





Certaines fleurs sont hermaphrodites, lorsqu'elles contiennent à la fois des étamines et des carpelles. Mais il existe aussi des fleurs unisexuées, soit mâles, avec uniquement des étamines (**fleurs staminées**), soit femelles, avec seulement un gynécée (**fleurs pistillées**).

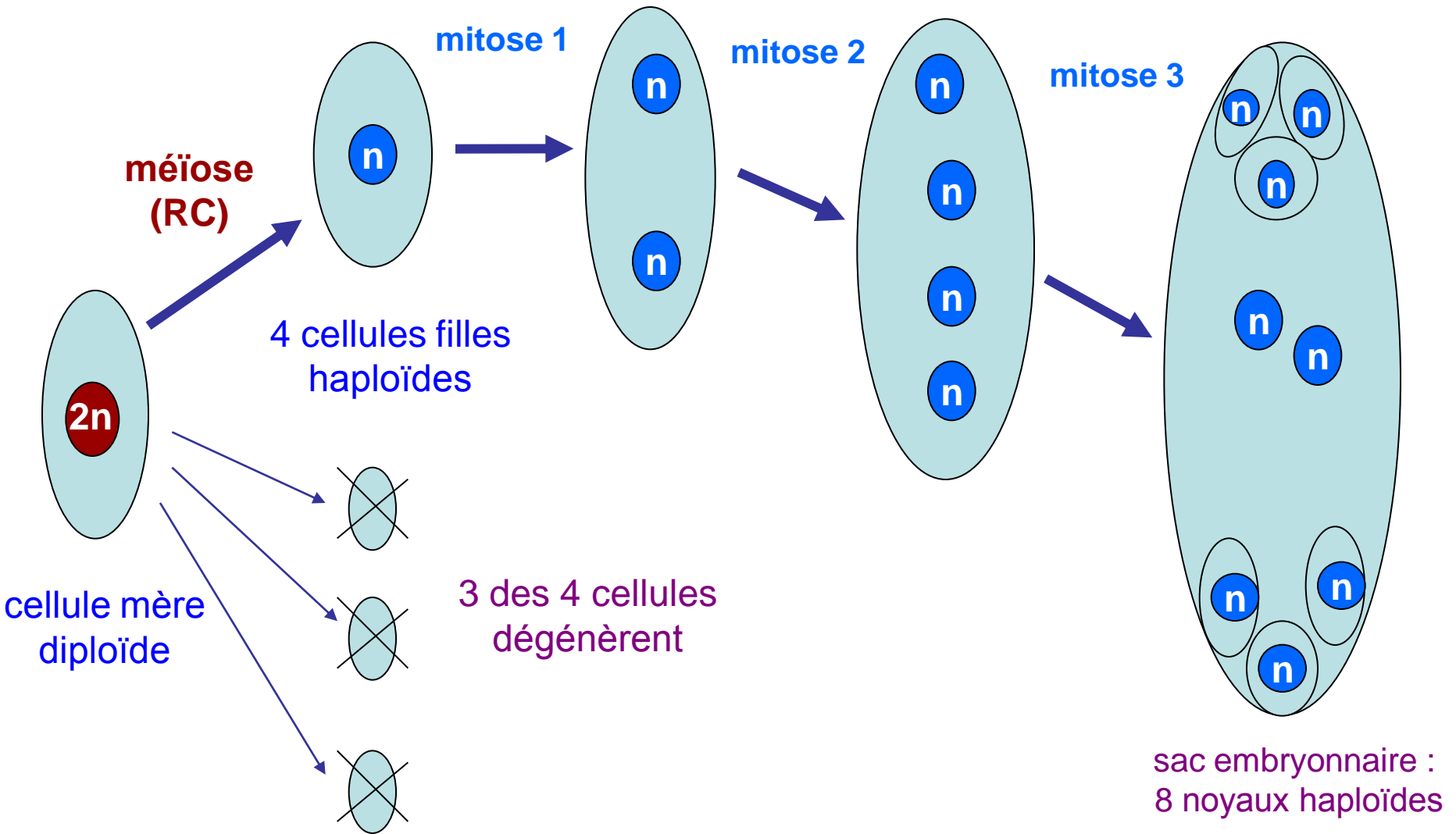


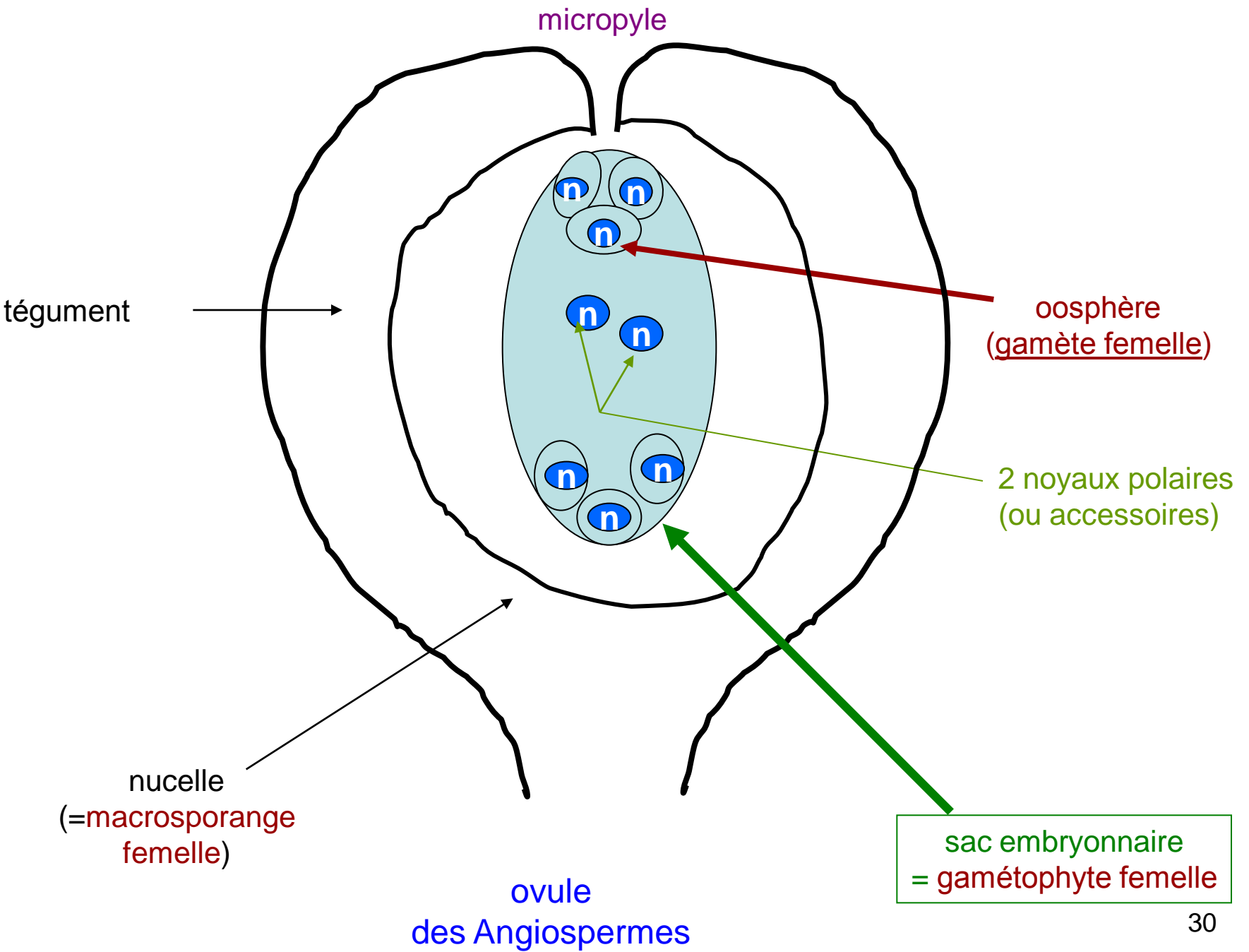
une fleur **mâle** de courgette



Une fleur **femelle** de courgette

Formation du sac embryonnaire





On peut synthétiser la diversité des caractères floraux dans les formules et des diagrammes floraux .

1- Formule florale

Etablir une formule florale.

La formule florale est une sorte de sténographie permettant de décrire la symétrie, le nombre de pièces florales constitutives de chaque verticille, les soudures, l'insertion et la position de l'ovaire.

La formule consiste en cinq symboles: (ex: suivant)

Les lettres donnent la nature des pièces florales :

-S pour sépales, P pour pétales, E pour étamines , C pour carpelle, et T pour tépales.

-Les chiffres présentent le nombre de pièces florales. Au-delà de 12, on note « n pour carpelle », et infini pour les étamines (∞).

-un (O ou *) qu'il s'agit d'une fleur actinomorphe. (**symétrie radiaire**).

-Un X placé devant la formule florale indique qu'il s'agit d'une fleur zygomorphe, (**symétrie bilatérale**)

-un (\$) qu'il s'agit d'une fleur **asymétrie**

- Lorsque le C est souligné, il s'agit d'un **ovaire supère**, lorsque le trait est placé au dessus du C, c'est un **ovaire infère**.

Exemple des Renonculacées :

O : 5 S , 5 P , infini ou nE , n C

O : fleur actinomorphe

5 S : 5 sépales libres

5 P : 5 pétales libres

n E : n étamines libres. Nombreuses infini

n C : n carpelles libres, ovaire supère.

- On peut signaler l'existence de étamines stériles (**staminodes**) ou de carpelles stériles (**carpellodes** ou **pistillodes**) en plaçant un point à côté du nombre de ces structures stériles. Une fleur à gynécée syncarpe composée de cinq **carpelles fertiles** et de cinq autres **stériles** serait donc représentée par la formule suivante: **5+5.**

- Si, dans un taxon, le nombre de pièces florales est variable, on donne les nombres minimum et maximum séparés par un tiret (-);

la formule : ***, 4 – 5, 4 – 5, 8 – 10, (3)**

- Si une pièce florale particulière est absente, on l'indique en plaçant un zéro (0) à l'endroit correspondant dans la formule florale;

la formule: ***, 3, 3, 0 , (2)**

-Le type de fruit est souvent indiqué à la fin de la formule florale:

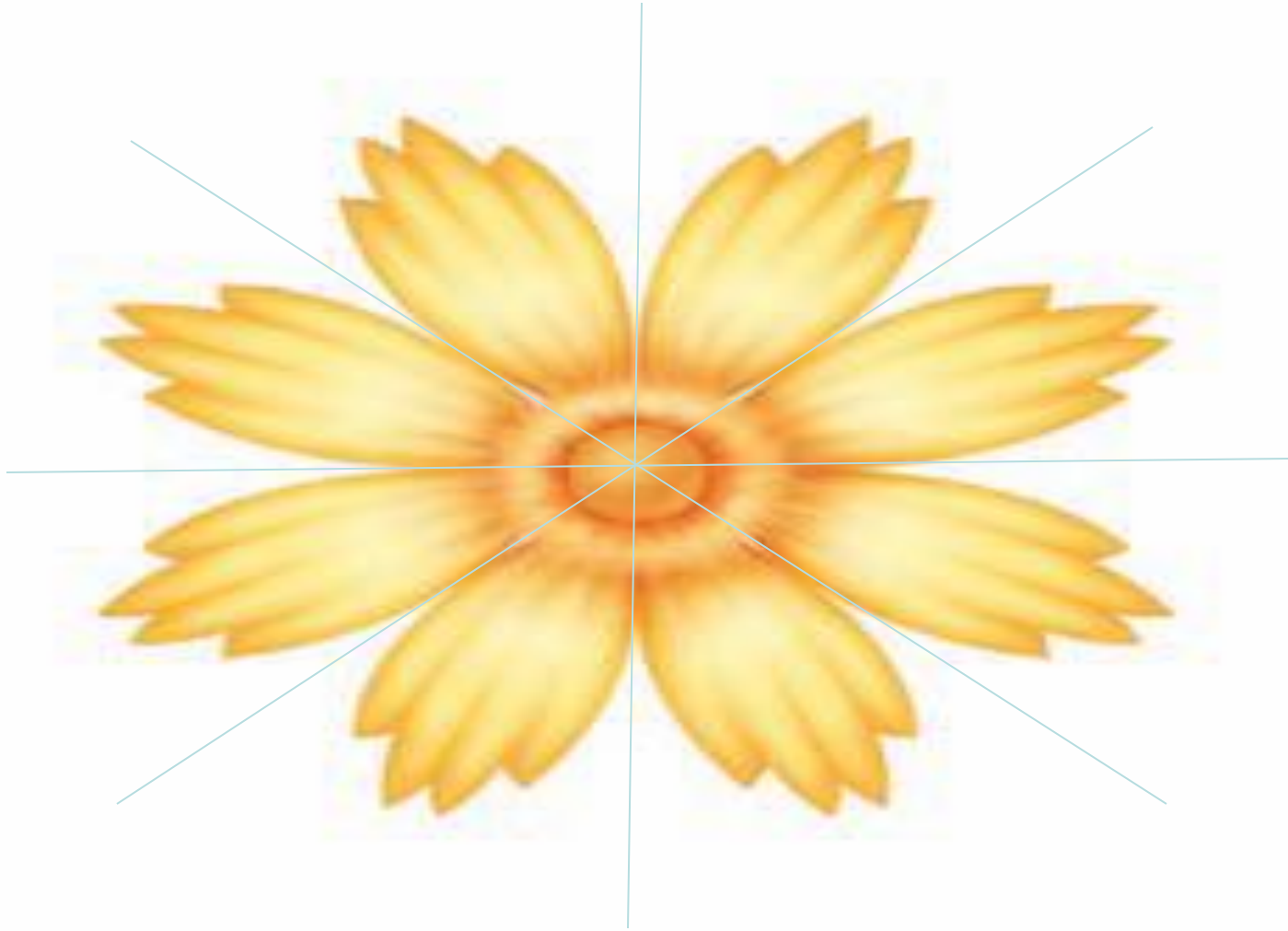
***, 5, 5 , 10, (3) , capsule**

a) Symétrie florale: les pièces de certaines fleurs sont disposées de telle sorte que deux ou plusieurs plans passant par le centre de la fleur donnent des moitiés symétriques.

Ces fleurs ont une symétrie **radiaire**; on dit aussi qu'elles sont **actinomorphes** ou **régulières**.

Dans d'autres fleurs, la disposition des pièces ne permet leur séparation en deux parties symétriques que par un seul plan. Ces fleurs ont une symétrie **bilatérale**, on dit également qu'elles sont **zygomorphes** ou **irrégulières**.

Quelques fleurs ne possèdent aucun plan de symétrie (elles sont **asymétriques**). Pour déterminer la symétrie d'une fleur, on tient compte de la position des structures les plus visibles que sont le périanthe et/ou l'androcée.



(a) Fleur régulière
ou **actinomorphe**
(symétrie **radiale**)



(b) Fleur irrégulière
ou **zygomorphe**
(symétrie **bilatérale**)

fleurs actinomorpes



Primevère



Pomme de terre

fleurs zygomorphes



Violette



Orchidée

b) Soudure des pièces florales

Les pièces florales peuvent être soudées de différentes manières:

- les pièces florales semblables, on dit qu'elles sont **soudées**.

- Les pièces florales ne sont pas soudées, sont **libres**.

-Si les pièces soudées sont différentes (ex: les étamines soudées aux pétales), on dit qu'elles sont **adnées**.

Certaines de ces termes sont cités ci-dessous.

apocarpe: carpelles libres

diadelphes: étamines soudées en deux groupes par leurs filets

dialypétale: pétales.

dialysépale: sépales libres

dialytépale: tépales libres

épipétale: étamines adnées à la corolle

monadelphes: étamines soudées en un seul groupe par leurs filets

sympétale ou **gamopétale**: pétales soudés

Synanthère: anthères soudées

Syncarpe: carpelles soudés

Synsépale ou **gamosépale**: sépales soudés

Syntépale ou **gamotépale** : tépales soudés



5 sépales soudés



5 pétales soudés



5 étamines épipétales



2 carpelles fermés à placentation axile, avec un ovaire supère.

- Lorsque les pièces sont soudées, on les note entre parenthèses :

Exemple : La tulipe, actinomorphe, présente 6 tépales, 6 étamines et 3 carpelles soudés avec un ovaire supère. Sa formule florale est donc O : 6T, 6 E, (3C)

- S'il y a 2 ou plusieurs verticilles (ou groupes) d'une pièce florale, on peut l'indiquer avec un « + ».

Exemple des Brassicacées :

O : 4 S, 4 P, 2E+4E, (2C)

-

O : fleur actinomorphe

4S : 4 sépales libres

4P : 4 pétales libres

2E + 4 E : 6 étamines libres, inégales puisque

(2C) : 2 carpelles soudés. Ovaire supère.



Remarque : chez les monocotylédones, le nombre de pièces florales est souvent un multiple de 3. Chez les dicotylédones, c'est un multiple de 2, 4 ou 5.

c) La position de l'ovaire est variable dans la fleur

La position de l'ovaire par rapport aux autres pièces florales (**voir figure 1,2 et 3**) permet de classer les différents types de fleurs.

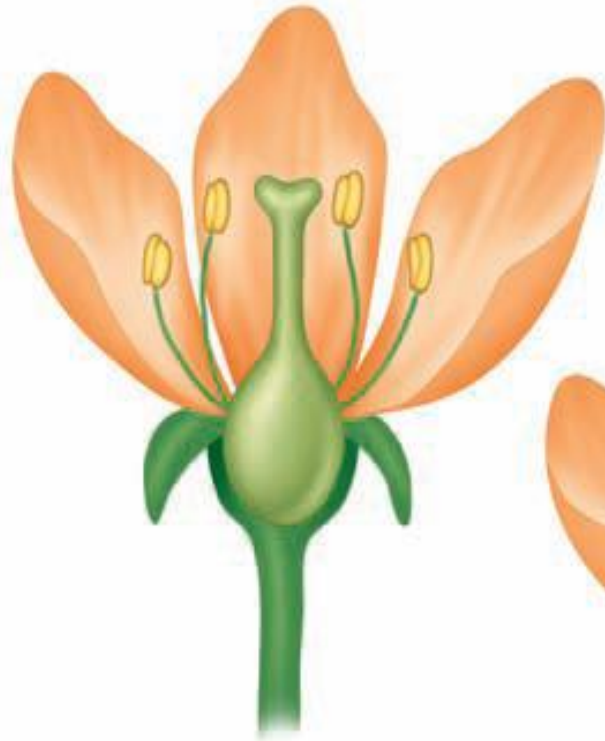
➡ Lorsque les pièces florales sont fixées sur le réceptacle, au-dessous de l'ovaire, la fleur est dite hypogyne (du grec *hypo*, *au-dessous*) avec un **ovaire supère**.

➡ **Chez les fleurs épigynes** (du grec *epi*, *au-dessus*) à **ovaire infère**, l'ovaire prolonge directement le pédicelle et apparaît au-dessous des sépales, pétales et étamines.

➡ Dans le cas d'une fleur périgyne (du grec *peri*, *autour*) les *sépales, pétales et étamines* sont situés à mi-hauteur de l'ovaire qui est dit **semi-infère**.



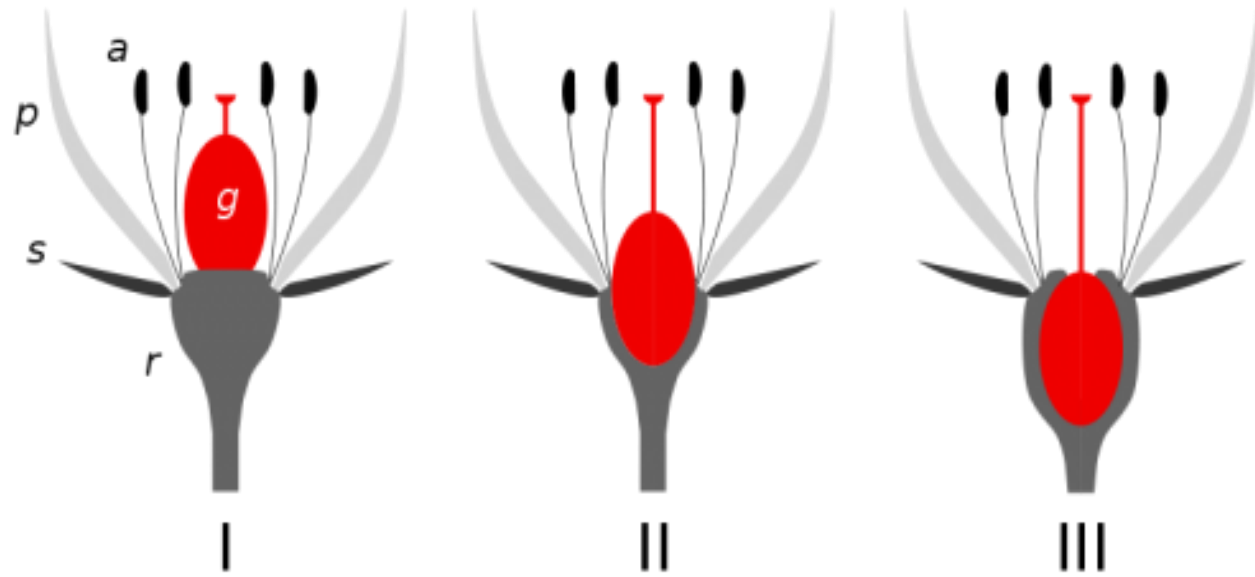
1 – ovaire supère
Fleur hypogyne

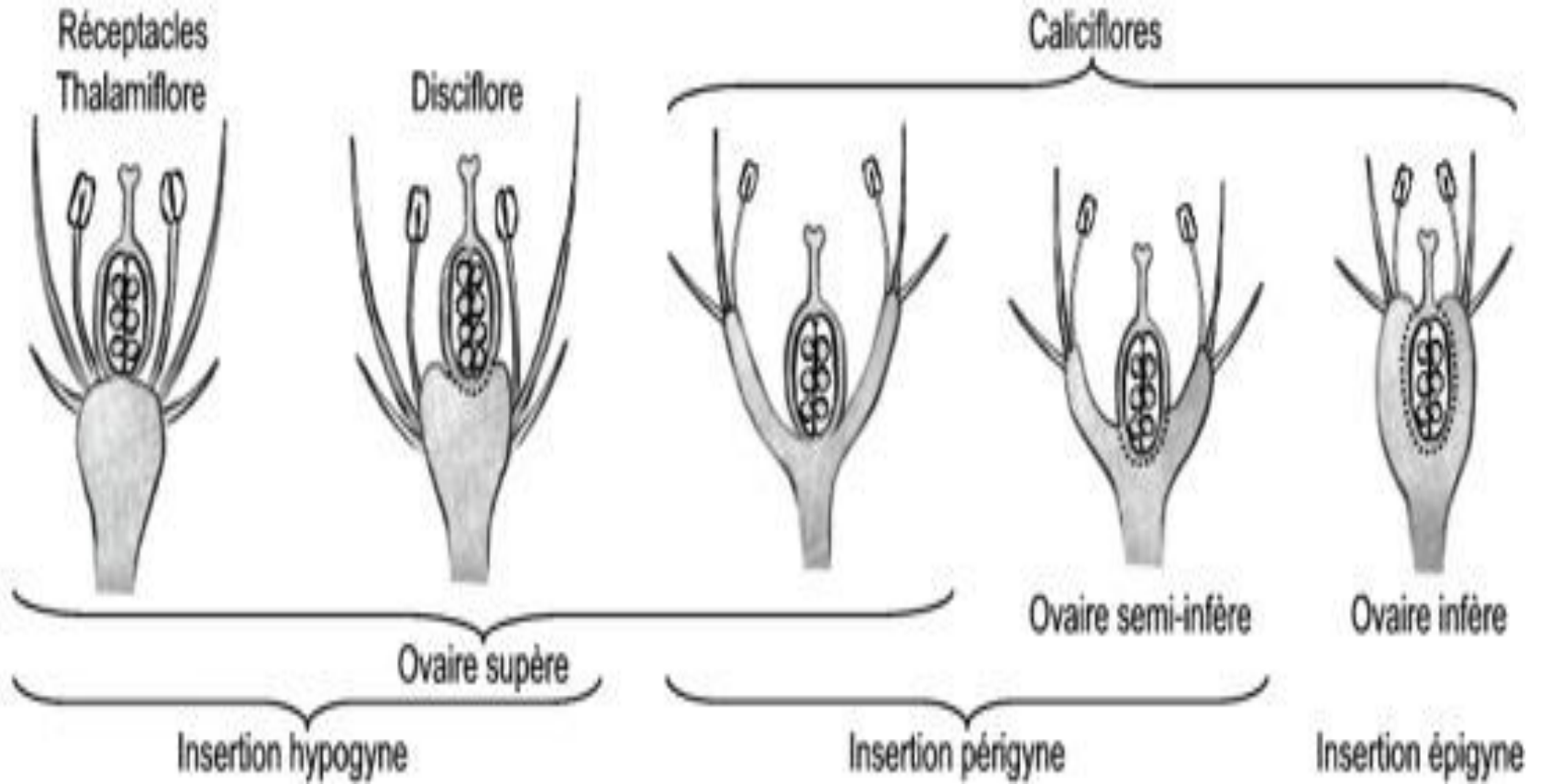


2- ovaire semi- infère
Fleur épigyne



3- ovaire infère
Fleur périgyne







(a) Fleur hypogyne



(b) Fleur périgyne



(c) Fleur épigyne

2- Construire un diagramme floral.

Le diagramme floral est un schéma des différentes pièces florales de la fleur, théoriquement coupée transversalement et passant par tous les verticilles, la bractée et le rameau principal (axe de l'inflorescence).

Certaines conventions sont à respecter lors de la réalisation d'un diagramme floral :

- * **La bractée** florale est placée en bas, du côté antérieur, alors que l'axe de l'inflorescence est représenté en haut, du côté postérieur.

Les différents verticilles sont représentés par des cercles.

- * **Les sépales** sont représentés par des arcs blancs

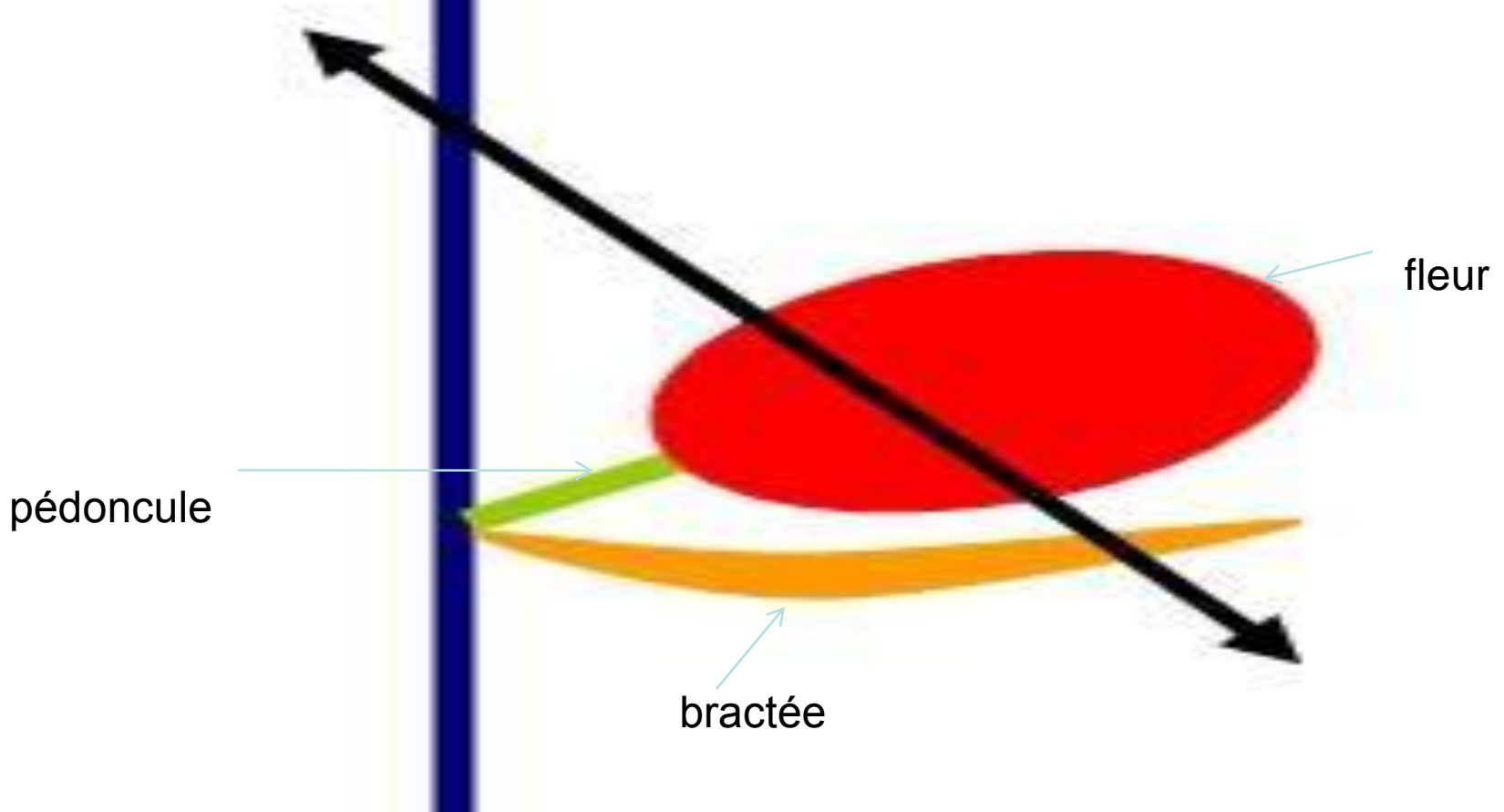
- * **Les pétales** sont représentés par des arcs noirs

- * **Etamines** : elles sont représentées au niveau des anthères, par un « B ». Le B est tourné vers l'extérieur si la déhiscence est extrorse, tourné vers l'intérieur si elle est introrse.

- * **Pistil** : on le représente par une coupe transversale au niveau de l'ovaire.

L'appartenance à un même verticille peut être matérialisée par des pointillés. Lorsque des pièces sont soudées, on les relie par un trait plein.

Axe d'inflorescence



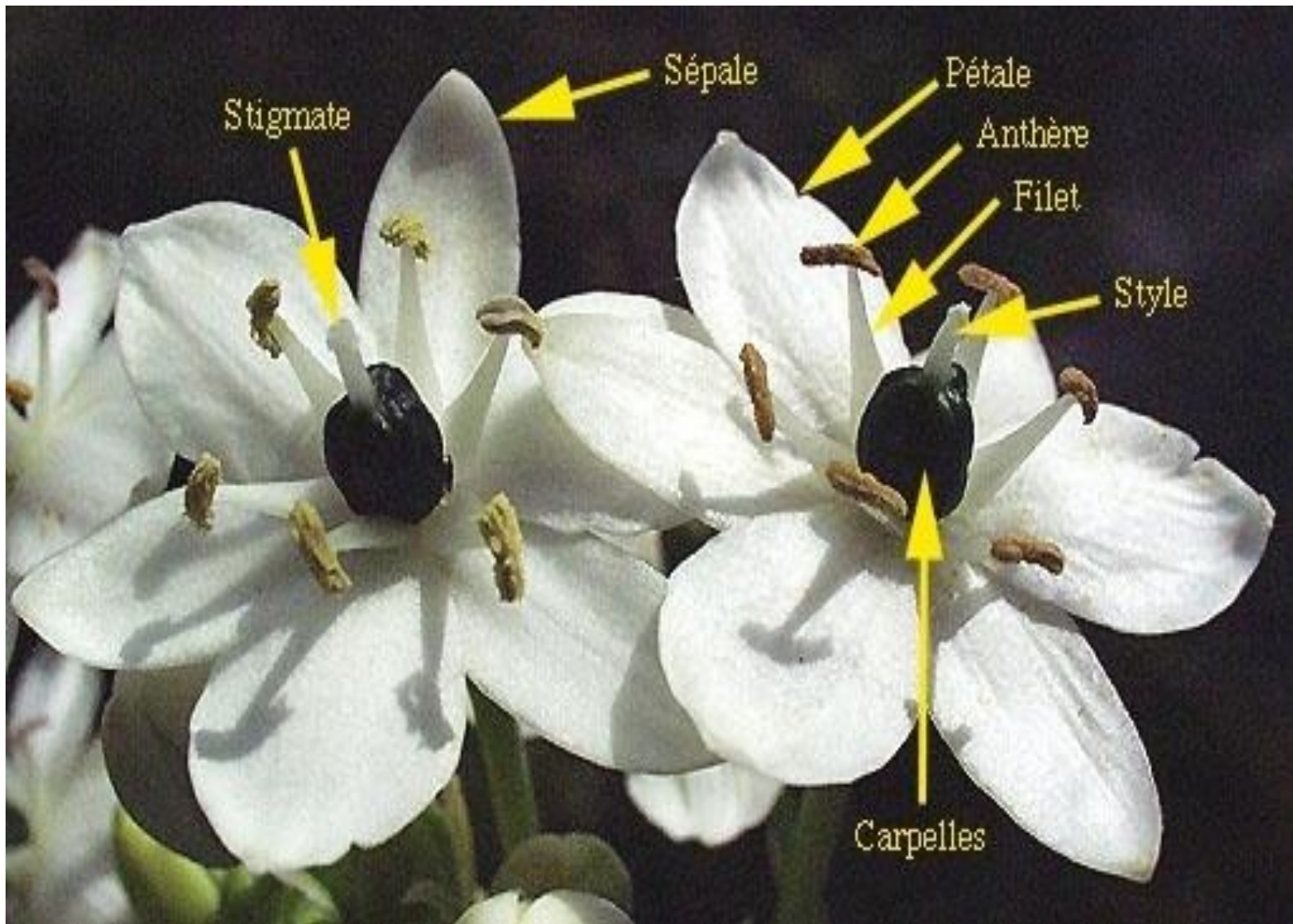
une coupe transversale ou longitudinale au niveau de la fleur



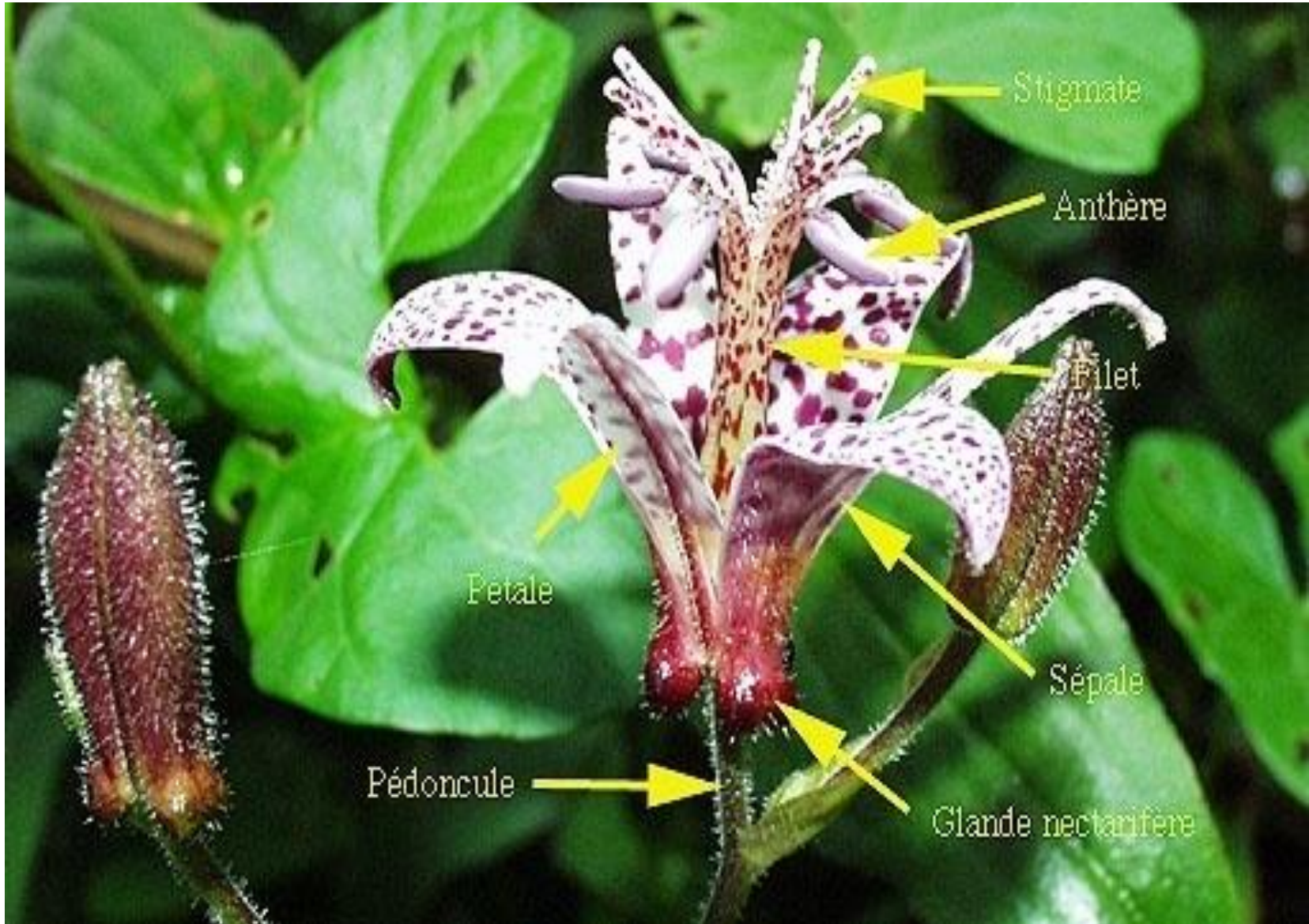
Coupe transversale au niveau de l'ovaire



Structure florale de *Hibiscus syriacus* 'Woodbridge', Malvaceae (



Structure florale de *Ornithogalum arabicum*, Liliaceae



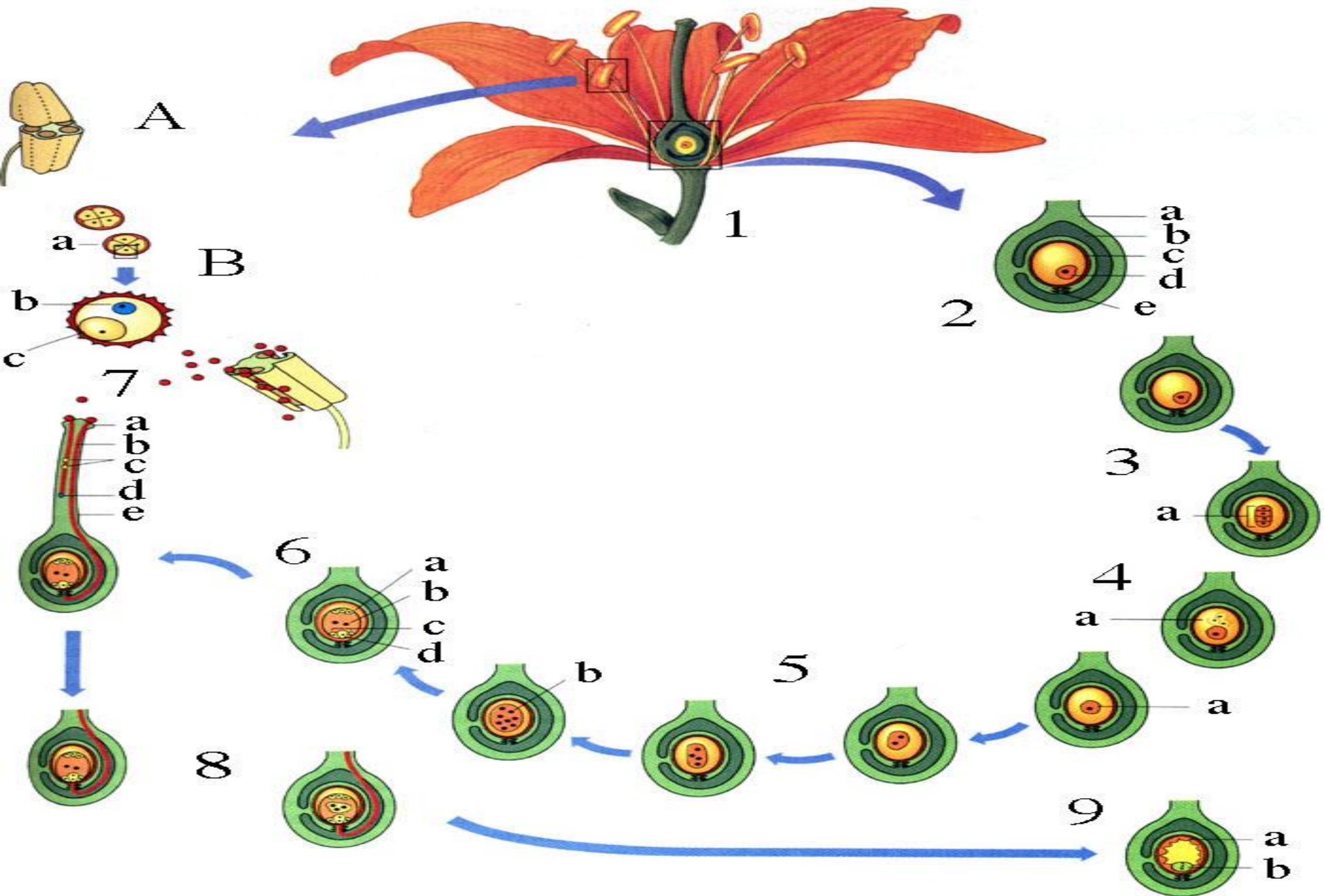
Structure florale de *Tricyrtis formosana*, Liliaceae



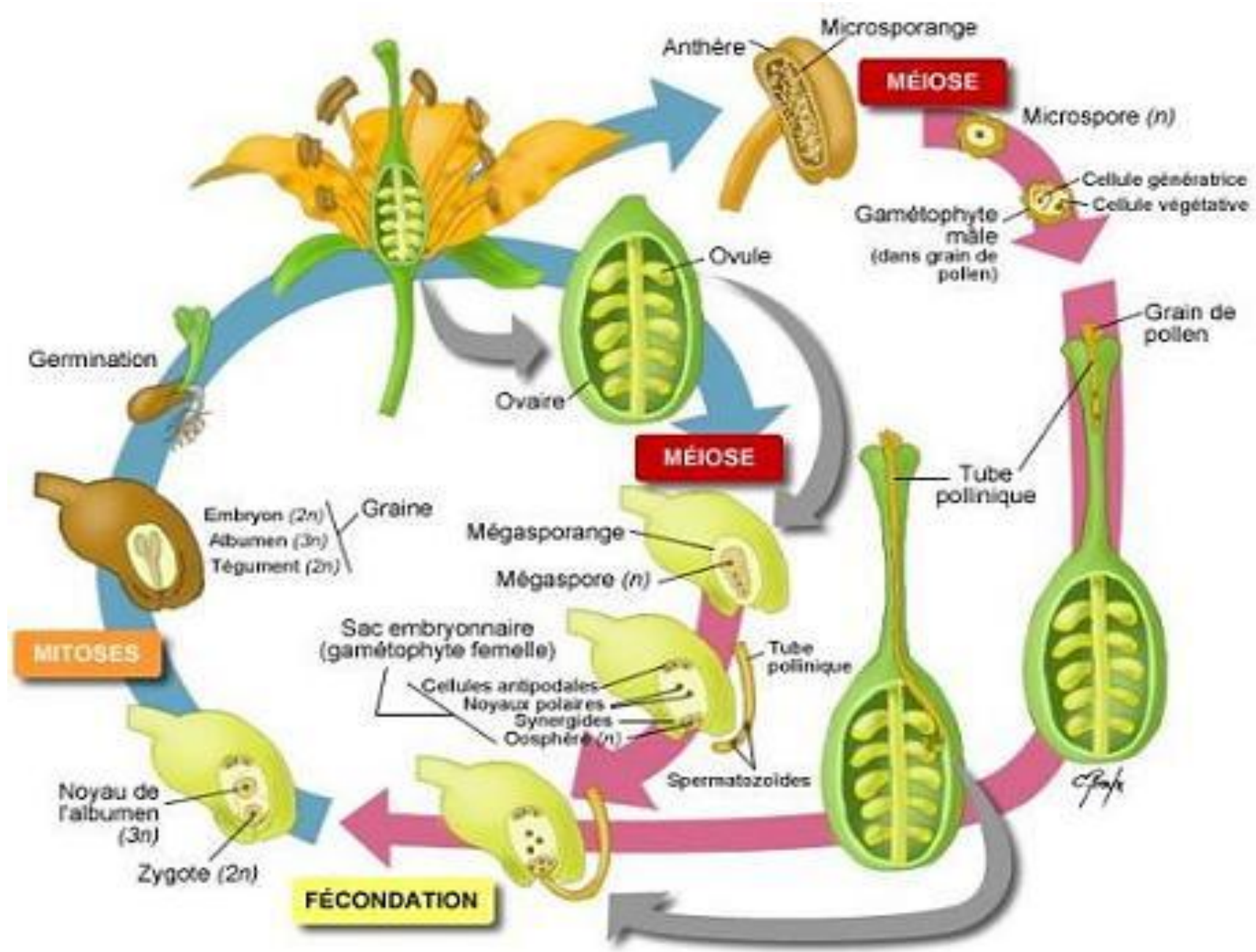
Nymphaeaceae, exemple de fleur actinomorphe, c'est-à-dire à symétrie radiale



Lamiaceae, Lamiales, exemple de fleurs zygomorphes, c'est-à-dire à symétrie bilatérale



Cycle de vie d'une plante à fleurs: exemple du lis (genre *Lilium*) (d'après Levine, 53 J.S. & K.R. Miller, 1994)



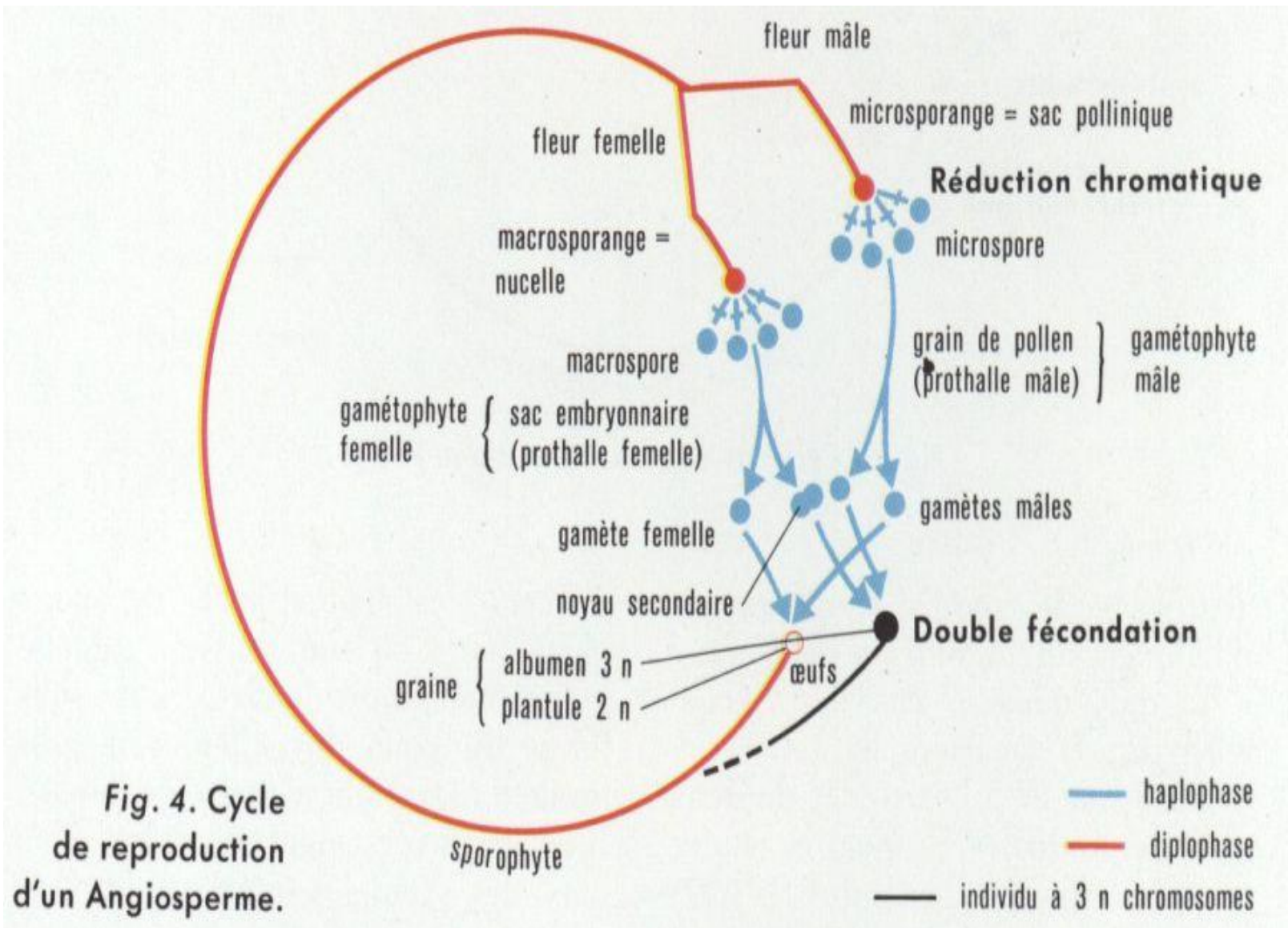


Fig. 4. Cycle de reproduction d'un Angiosperme.

d) Carpelles libres ou soudés, différents types de placentation..

Le nombre de carpelles est variable d'une espèce à l'autre. Il peut aller du carpelle unique (ex : Urticacées) à très nombreux (ex : Renonculacées).

De même, la forme et la taille des carpelles présentent aussi des variations selon les espèces, voire au sein des fleurs d'une même espèce, comme chez les Composées par exemple.

-Les carpelles peuvent rester indépendants, donnant chacun un ovaire simple, **uniloculaire**.

-Les carpelles peuvent aussi se souder entre eux et former un ovaire unique (**ovaire syncarpé**). Cette soudure peut se faire à partir de carpelles déjà refermés sur eux-mêmes ou à partir de carpelles restés ouverts.

-Ainsi, une coupe de l'ovaire peut présenter un ovaire pluriloculaire ou uniloculaire et différents types de placentation selon le lieu d'insertion des ovules : placenta **axile**, placenta pariétal ou placenta **central**.

Les schémas ci-dessous représentent ces différents types de placentations à partir de coupes transversales d'un ovaire composé de 3 carpelles :

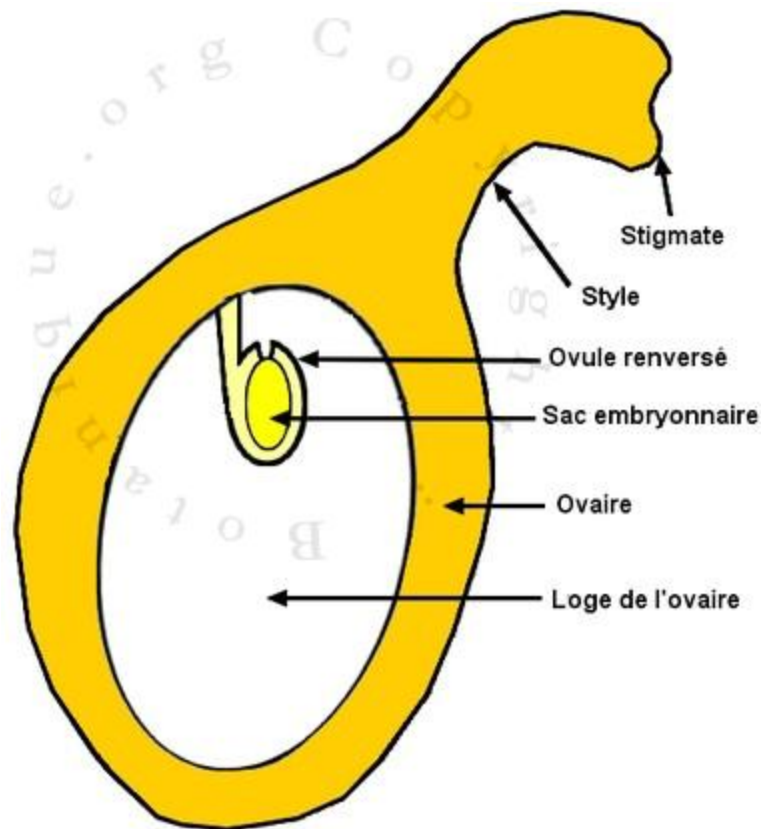
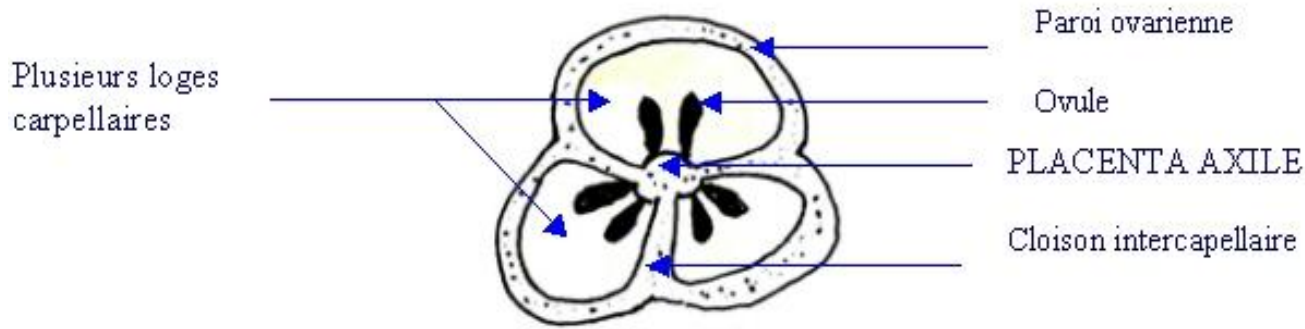
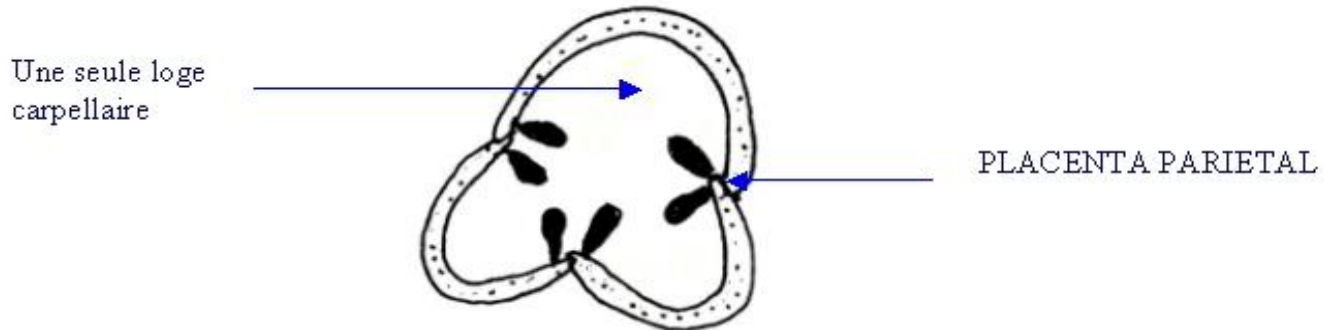


Schéma d'un carpelle libre

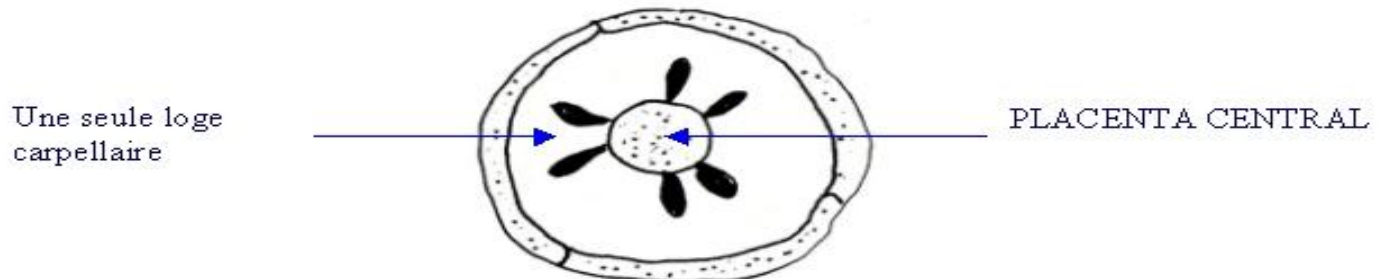
1er cas : La placentation est **axile** : Les ovules sont insérés sur un axe central, et on peut observer des cloisons intercapellaires.

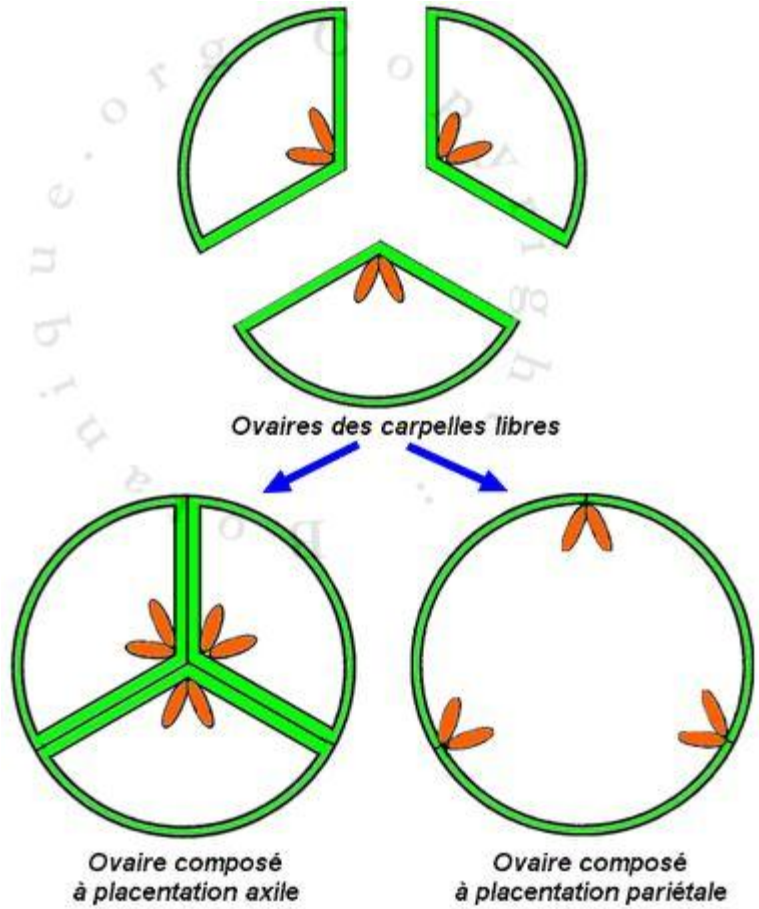


2ème cas : La placentation est **pariétale** : Les ovules sont insérés sur la paroi des carpelles.



3ème cas : La placentation est **centrale** : Les ovules sont insérés sur un axe central, et les cloisons intercarpellaires ayant disparu, on n'observe qu'une seule loge carpellaire.



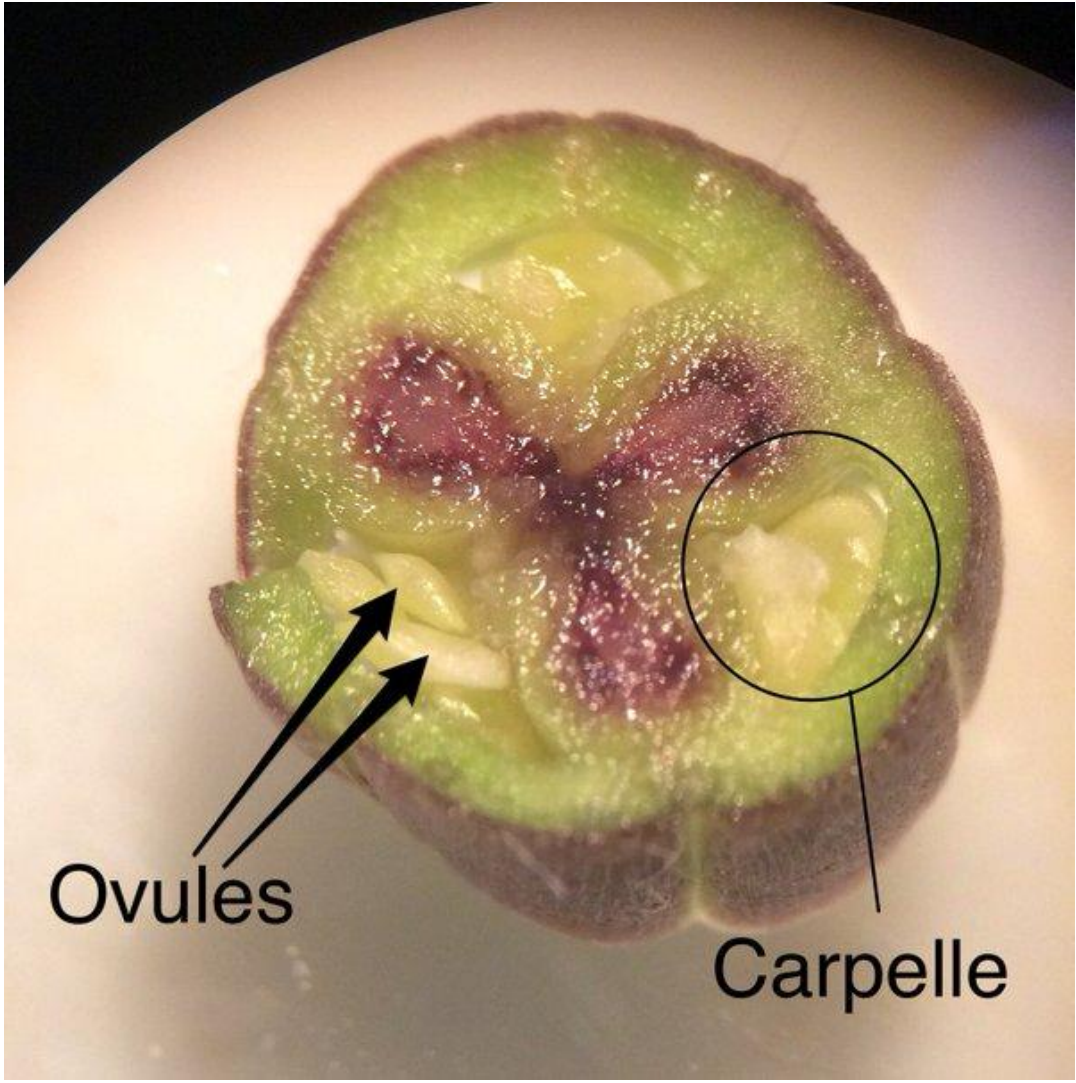




Placentation axile



Placentation pariétale



Ovules

Carpelle



sépale

pétale

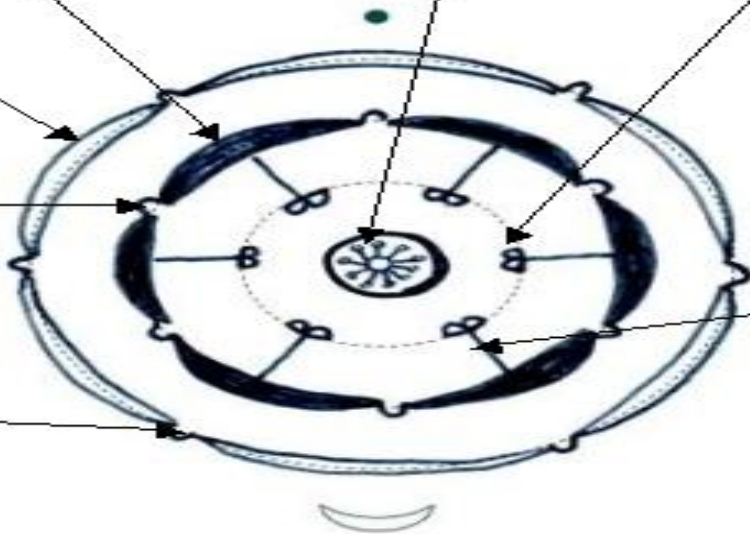
pistil

étamine

pétales soudés

Etamine soudée au pétale

sépales soudés



Formule florale → $O : 6 S, (6 P, 6 E), 6 \underline{C}$

formule florale

résume le nombre et la disposition des pièces florales

aubriette



Tulipe

1) ex Brassicacées (ex-Crucifères) :
4 sépales, 4 pétales, 6 étamines en 2 verticilles, 2 carpelles

O: 4S,4P, 2E+4E, (2C)

2) Liliacées *Tulipa sp* (Tulipe)

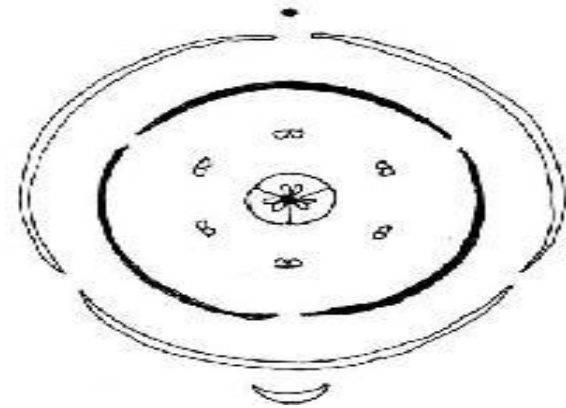
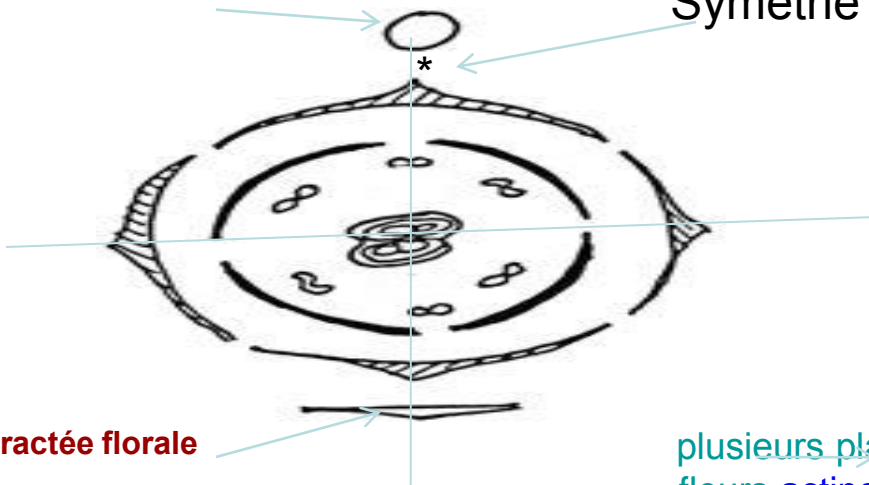
O, 6T, 6E, (3C)

diagramme floral

représentation théorique et schématique des différentes pièces d'une fleur

axe inflorescence

Symétrie radiaire



plusieurs plan de symétrie :
fleurs actinomorphes

F: solanacées ex: la fleur de pomme de terre (*Solanum tuberosum*)





5 sépales soudés



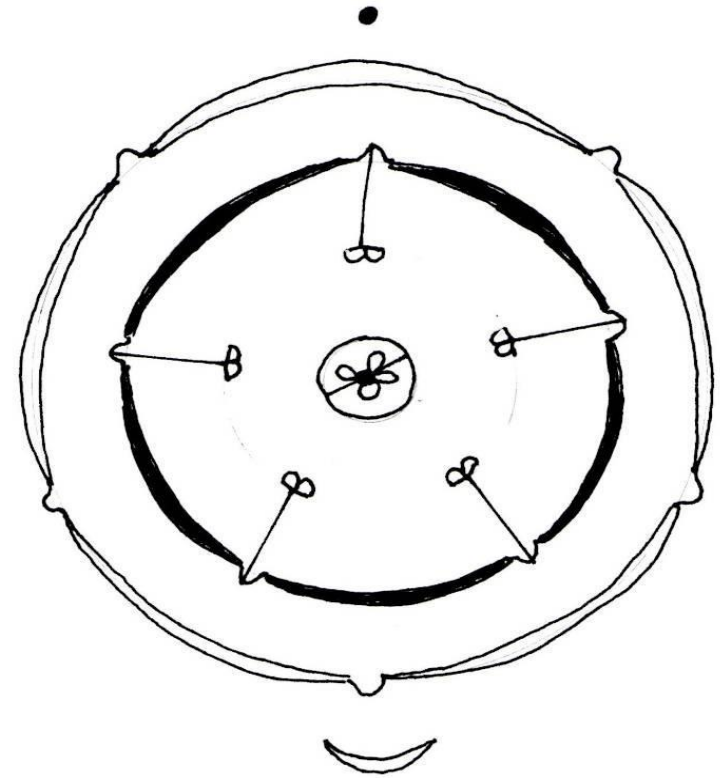
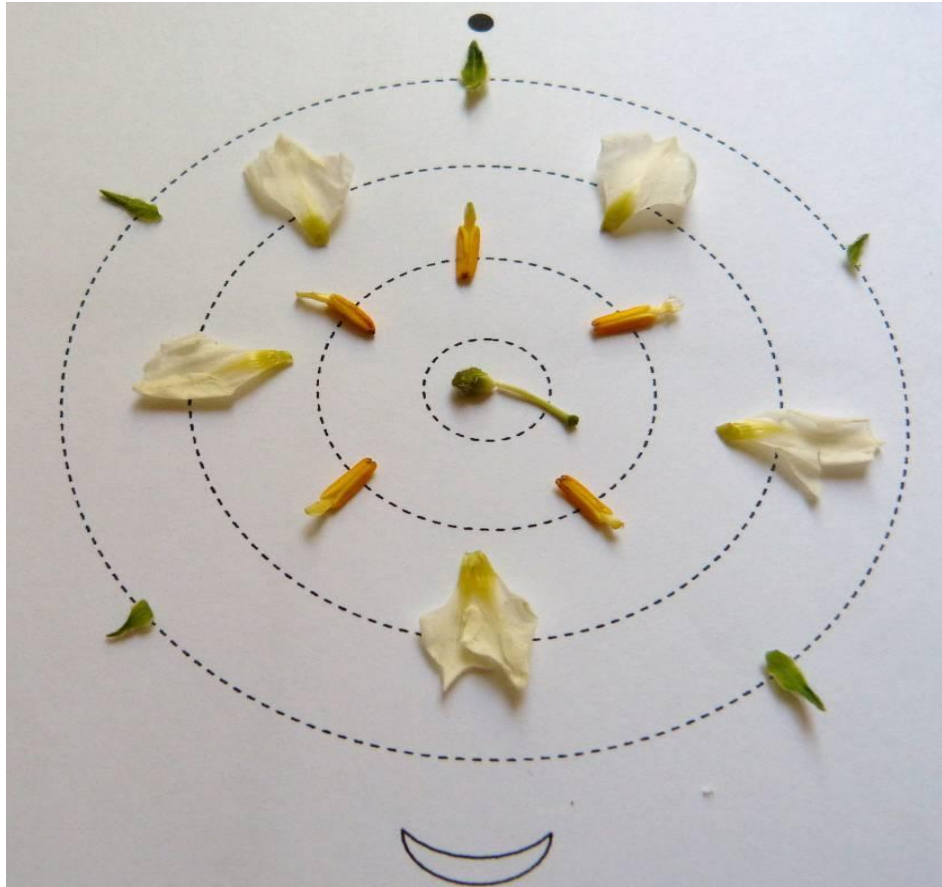
5 pétales soudés



5 étamines épipétales

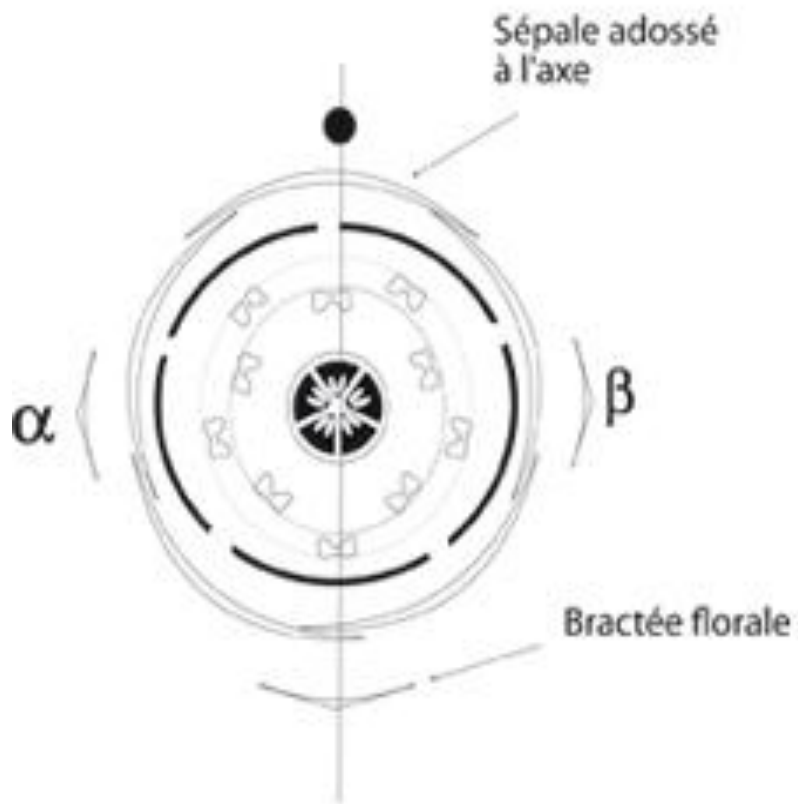


2 carpelles fermés à placentation axiale
avec un ovaire supère.

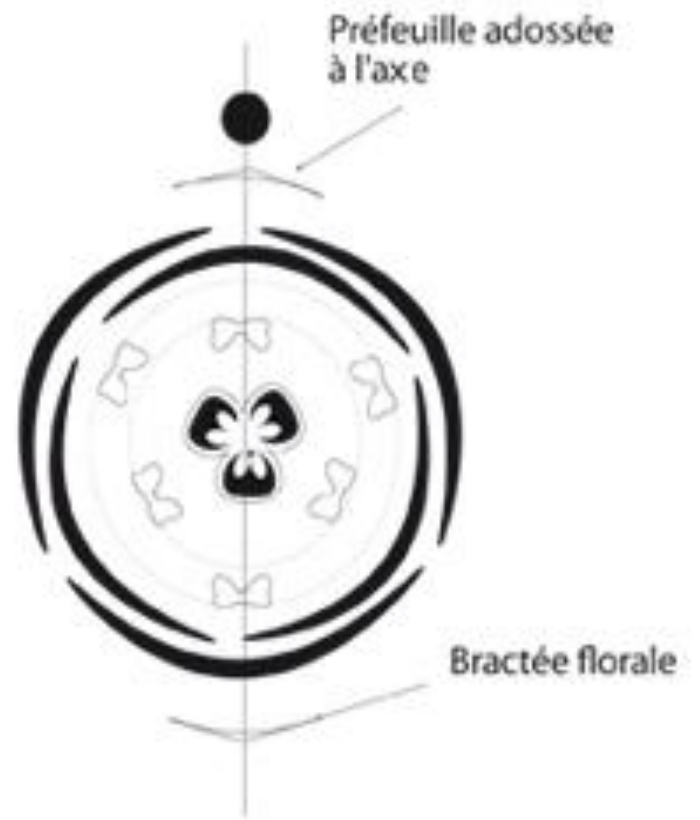


Formule florale ---- > O : (5S), ((5P),5 E), (2C)

Diagramme floral



Dicotylédones



Monocotylédones

Reproduction

a) pollinisation

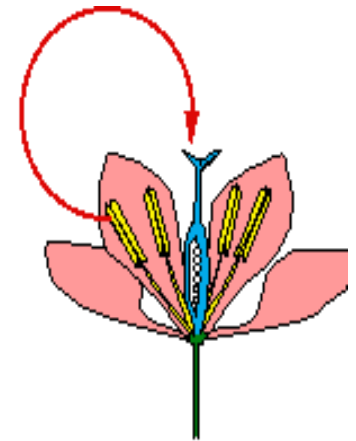
= transport du pollen des anthères sur le stigmate

La pollinisation précède la fécondation. Les **grains de pollen**, connus sous le nom de **pollen**, représentent les gamétophytes mâles. Le transport du pollen de la partie mâle vers la partie femelle de la fleur correspond au phénomène de **pollinisation**.

Les angiospermes, qui portent les gamétophytes mâles et femelles dans une même fleur, pratiquent l'**autopollinisation** ou

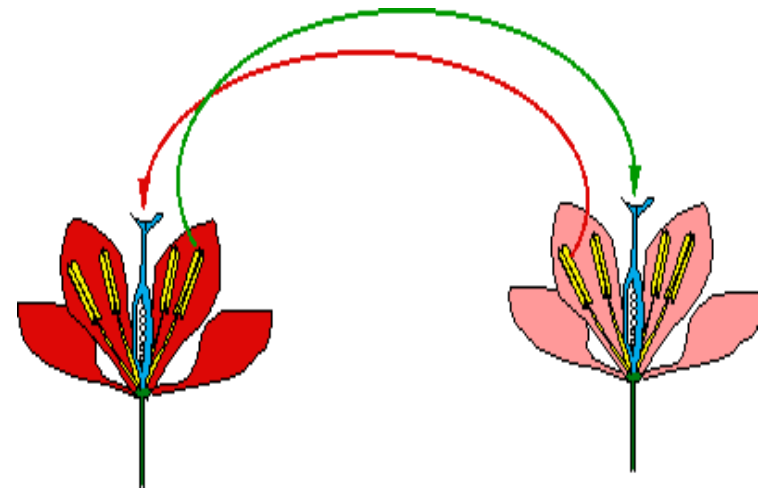
* pollinisation directe ou autogamie

dépôt du pollen des étamines sur le stigmate de la **même fleur** :
même patrimoine génétique,
pas de brassage génétique



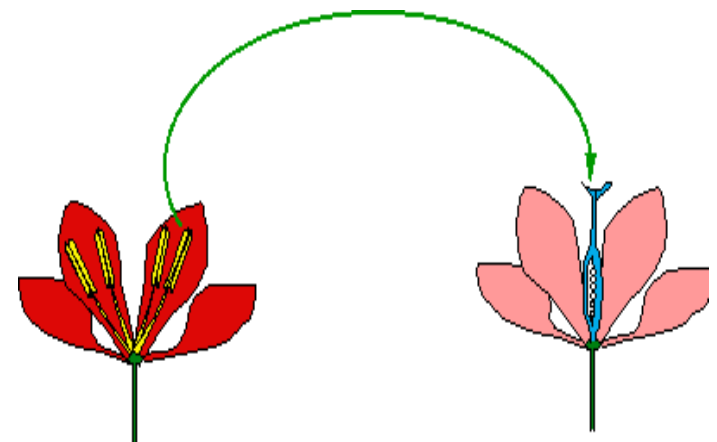
* pollinisation croisée ou allogamie

dépôt du pollen d'une fleur sur le stigmate d'une fleur de la même espèce, mais située sur un **autre plant** : patrimoines génétiques différents, **brassage génétique**.



les espèces dioïques, on ne rencontre que la **pollinisation croisée** entre deux plantes séparées. La marijuana (*Cannabis sativa*) et le saule (*Salix*) sont des exemples de plantes **dioïques**.

obligatoire quand l'espèce est **dioïque**



pied mâle

pied femelle 69

Types des Pollinisateurs

Les pollinisateurs sont attirés par les couleurs des fleurs, par le nectar et par d'autres facteurs attractifs ; ils transportent involontairement le pollen produit par une fleur vers une autre fleur.

Les plantes sont pollinisées par les oiseaux, d'autres animaux, par le vent ou par l'eau. Les fleurs des plantes se sont adaptées à différents pollinisateurs.

*** Les oiseaux**

Certains oiseaux, en particulier les colibris (oiseaux-mouches), pollinisent les plantes. Les fleurs qui attirent les oiseaux sont généralement de couleur vive (rouge, orangé ou jaune), mais elles sont souvent inodores, puisque l'odorat des oiseaux est peu développé. Ces fleurs sont souvent longues et tubulaires. Elles produisent beaucoup de nectar et sont suffisamment robustes pour que les oiseaux puissent s'y percher.

*** Autres animaux (par les insectes : entomogamie (ou entomophilie)**

Les abeilles partagent le travail de la pollinisation. De nombreux animaux qui pollinisent les plantes, comme les chauves-souris, sont des animaux nocturnes, ce qui signifie qu'ils sont actifs la nuit. C'est pourquoi les fleurs qui doivent les attirer ont souvent un parfum prononcé, mais des couleurs peu voyantes.





La pollinisation chez les plantes à fleurs (Angiospermes) -

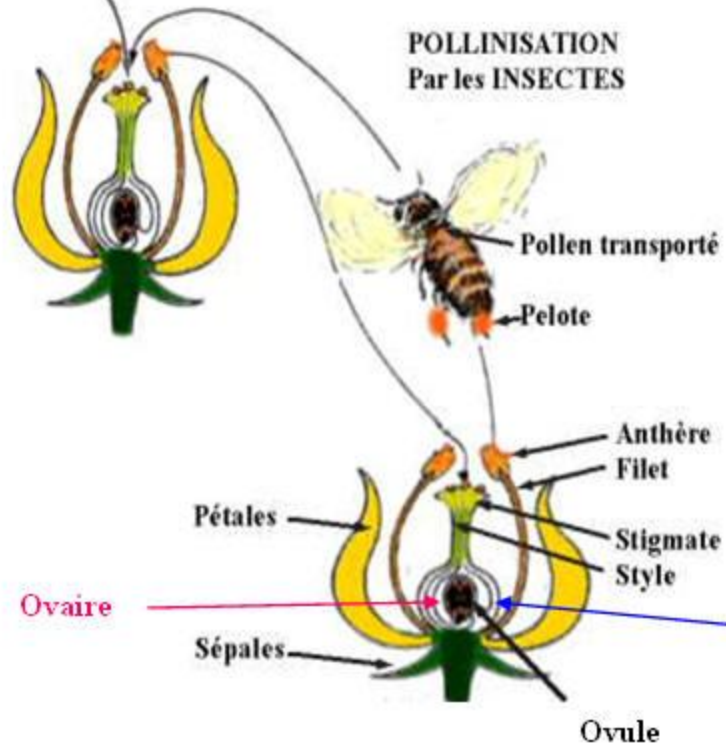


Interactions Angiospermes / Apoides pollinisateurs
et coévolution



POLLINISATION
Par le VENT

POLLINISATION
Par les INSECTES



* **Le vent** : anémogamie (ou anémophilie)

Le vent pollinise de nombreuses plantes. En général, leurs fleurs sont peu colorées, inodores et ne produisent pas de nectar. Les étamines et les pistils de ces plantes sont souvent longs, et leur pollen est généralement plus léger que celui des autres plantes puisque le vent porte le pollen d'une plante à l'autre. Ex: F: fagaceae
Chênes (*Quercus*,), hêtre (*Fagus*,), châtaigniers (*Castanea*). Le maïs (*Zea mays*,
Poaceae) les unisexuées (staminées).

*

L'eau : hydrogamie

Un petit nombre de plantes, particulièrement celles qui poussent dans les rivières et les ruisseaux, sont pollinisées par l'eau.

L'Homme: cas du palmier

L'homme s'est intéressé à la pollinisation au moins depuis 1500 av J. –C,
(*Phoenix dactyliforia*, Arecaceae)



Pollinisation par le vent.



Le maïs



Le blé n'a ni fleurs aux couleurs vives ni nectar sucré pour attirer les abeilles. Il doit donc compter sur le vent pour être pollinisé.

* la pollinisation directe est gênée de différentes façons

+ **maturation** des 2 types d'organes reproducteurs d'une fleur **décalée dans le temps** (ex : maïs)

* organes mâles mûrs les premiers :

fleur **protandre** ou **protérandre**

* organes femelles mûrs les premiers :

fleur **protogyne** ou **protérogyne**

+ **disposition** des étamines et des stigmates d'une même fleur gênant ou empêchant l'autopollinisation.

+ **incompatibilité** entre pollen et stigmate d'une même fleur

(pollinisation croisée obligatoire) (ils ont les mêmes allèles s

=aucune pollinisation ni fécondation= 0 zygotes).

+ le plus souvent, **combinaison** de plusieurs facteurs....

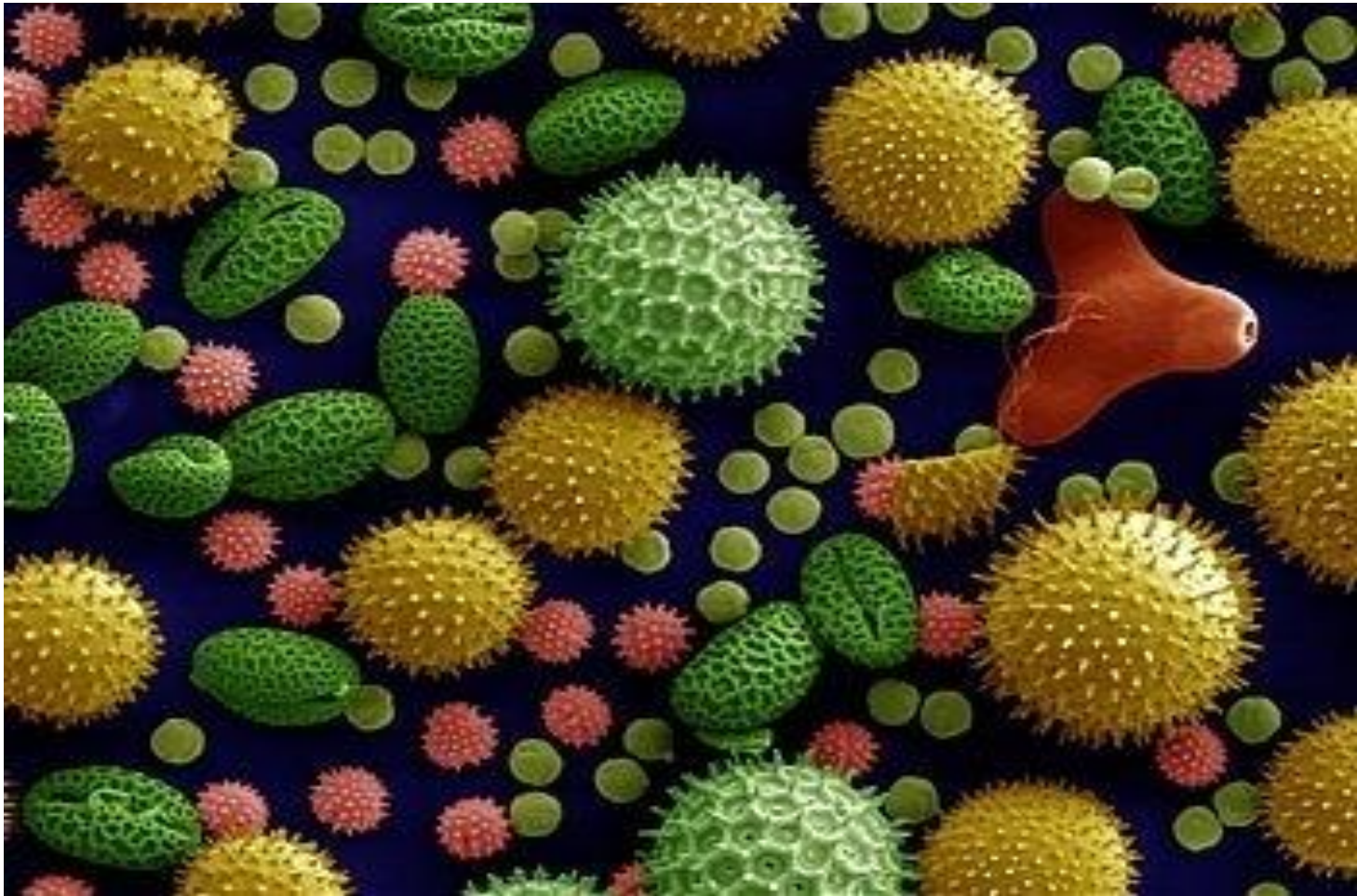
Pollen

Le **pollen** (du grec πάλη (*palè*) : farine ou poussière) constitue, chez les végétaux supérieurs, l'élément fécondant mâle de la fleur : ce sont de minuscules grains de forme plus ou moins ovoïde de quelques dizaines de micromètres de diamètre, initialement contenus dans l'anthère à l'extrémité des étamines.

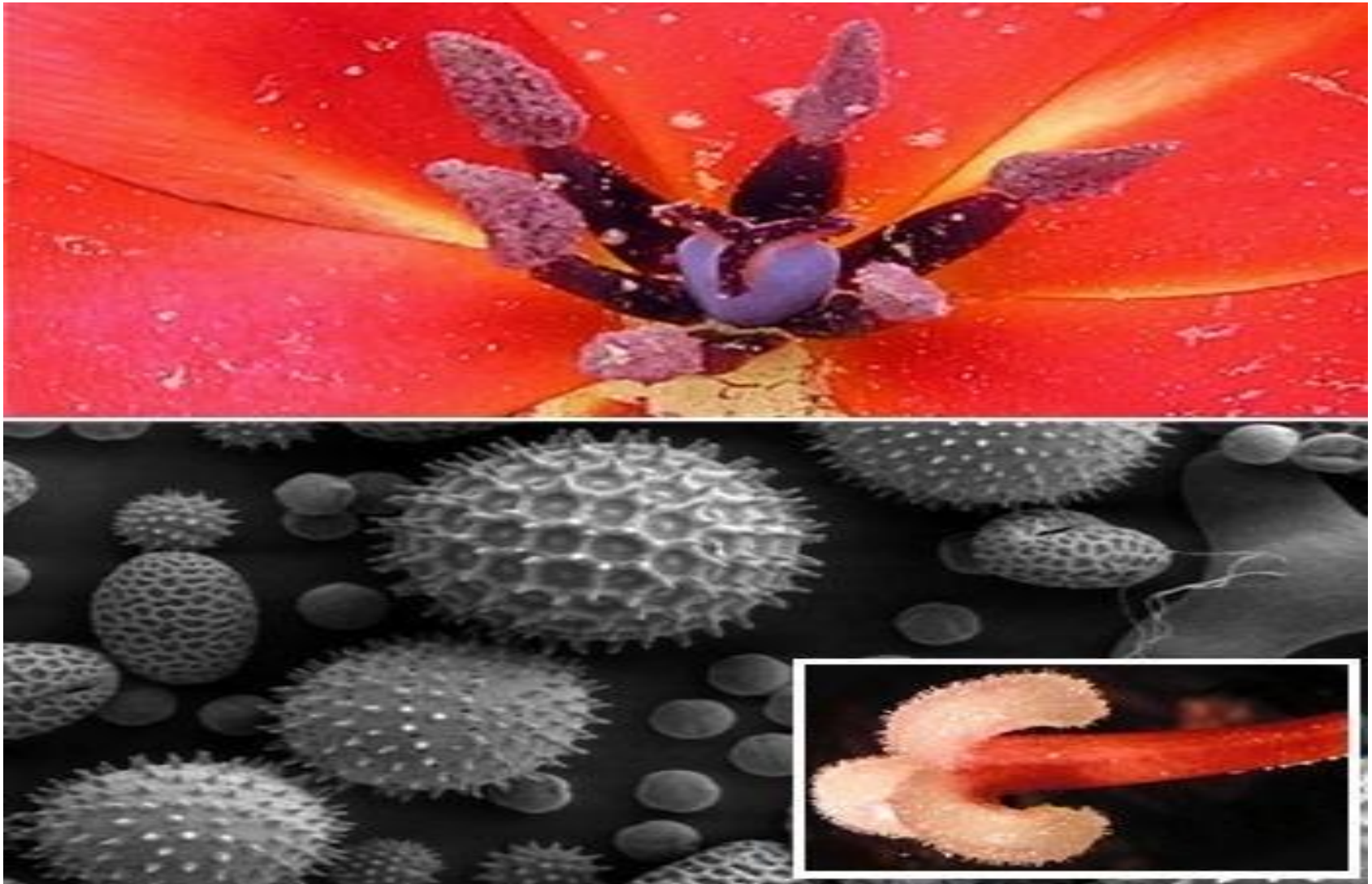
Le grain de pollen n'est pas un gamète mais un gamétophyte à part entière, c'est-à-dire un producteur de gamète. On ne peut pas faire d'analogie entre le grain de pollen et l'ovule car l'ovule n'est pas un gamétophyte à proprement parler, mais un macrosporange qui renferme un gamétophyte.



Anthère d'Arabette des dames (*Arabidopsis thaliana*) avec ses grains de pollen révélés par la micrographie par fluorescence.



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



Un pistil vu de haut, des grains de pollen au microscope et un pistil vu de profil.

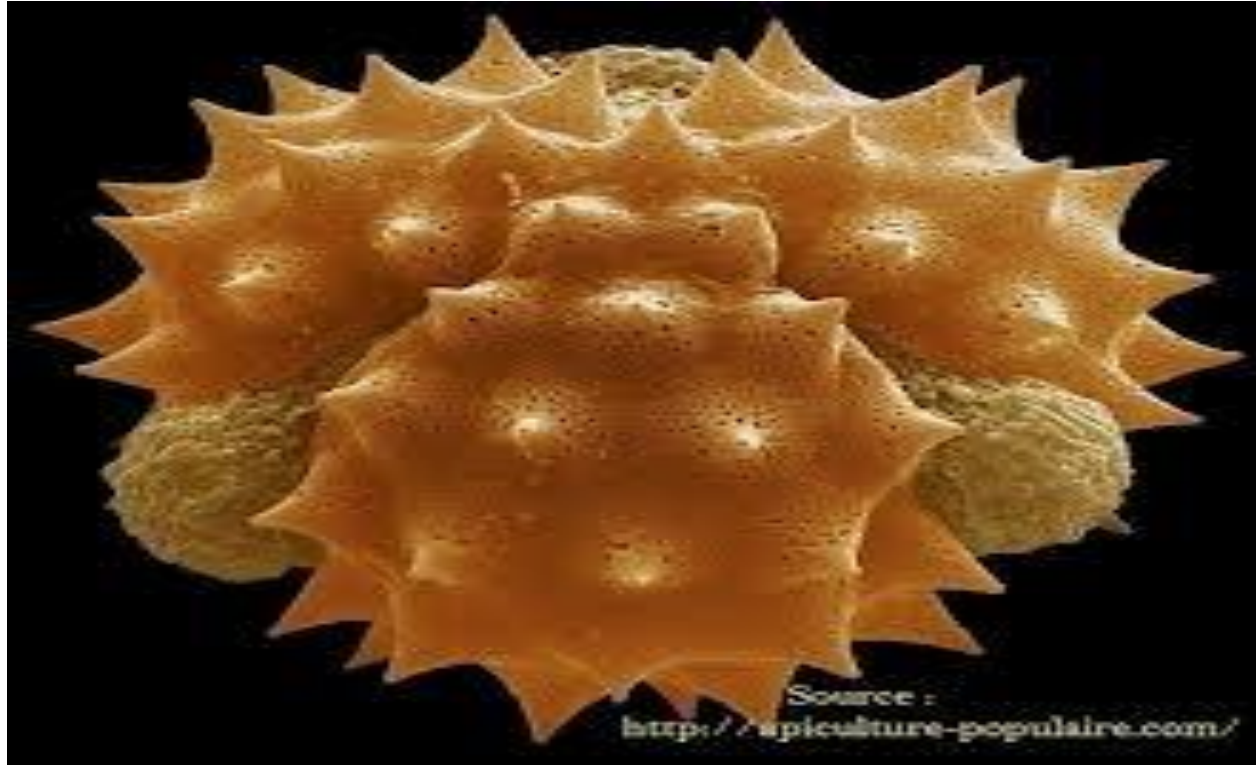
Germer avant de féconder

Généré par les **anthères**, extrémités des étamines, le grain de pollen n'est pas un gamète mais un gamétophyte, un producteur de gamète. Il renferme deux cellules.

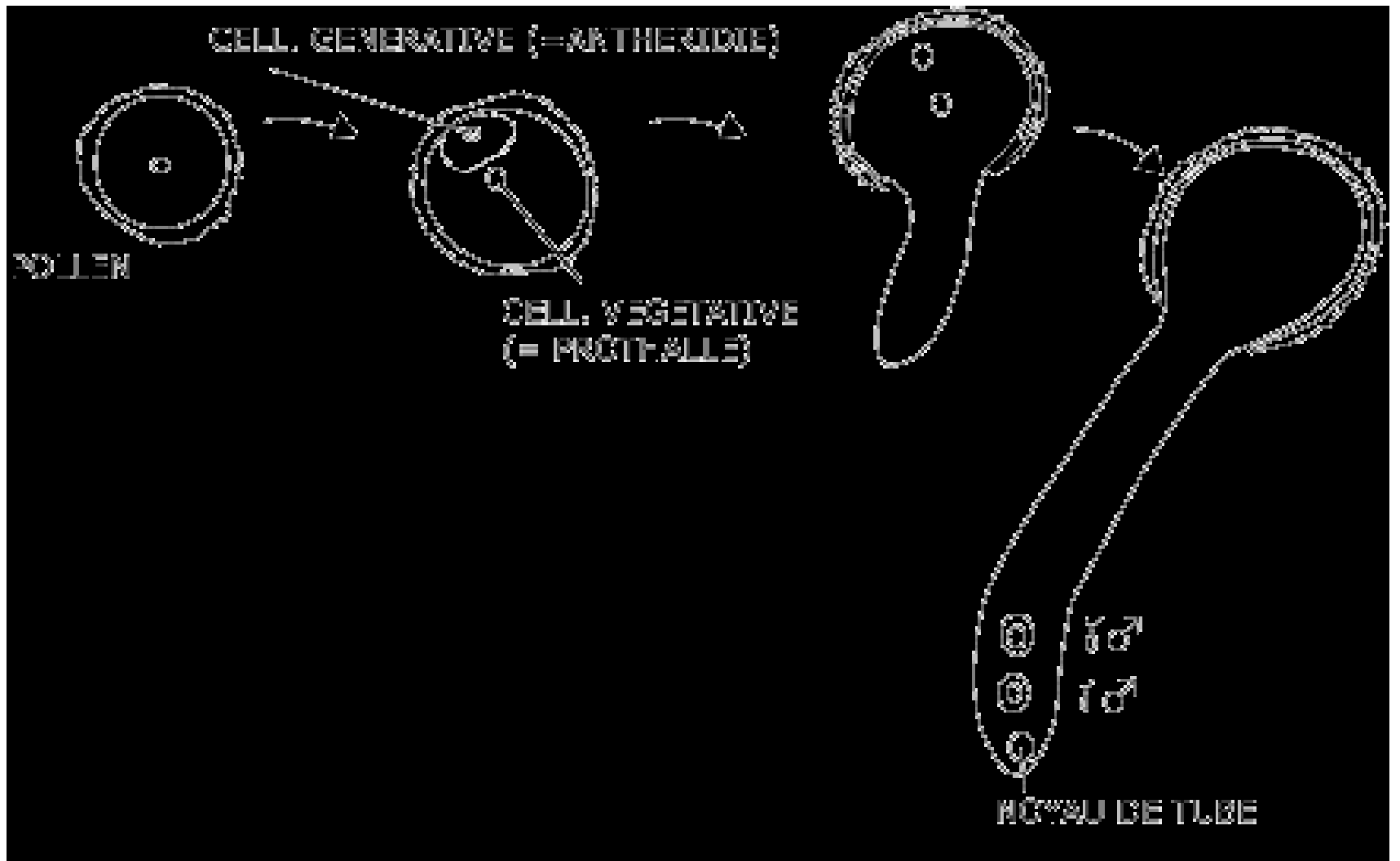
Il ne suffit pas que du pollen tombe sur le bon pistil pour qu'une graine se forme. Il faut d'abord que le pollen germe : l'une des cellule forme un **tube pollinique** qui achemine l'autre cellule vers l'ovule. Là, elle se transformera en gamète mâle.

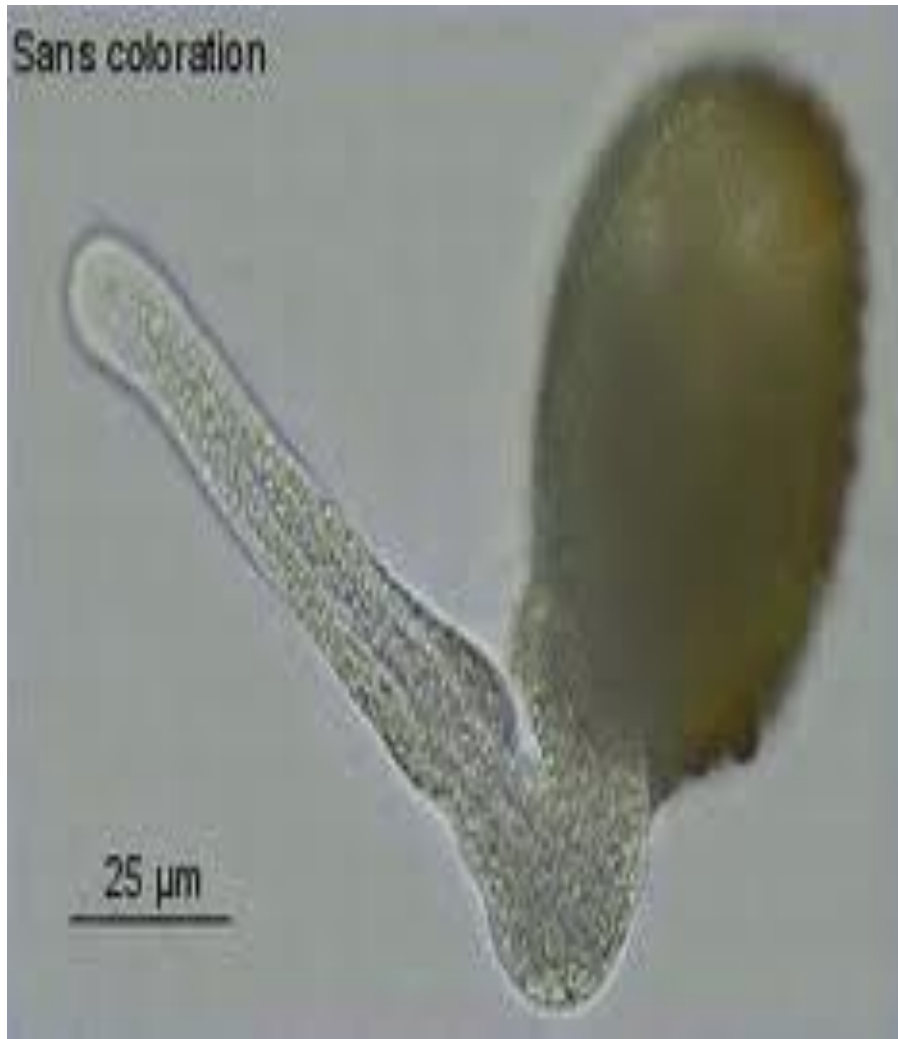
germination du grain de pollen

d'un **tube pollinique** traversant l'**exine** au niveau d'une **aperture** ou **pore germinatif** (amincissement de l'exine)



le grain de pollen va développer un **tube pollinique**

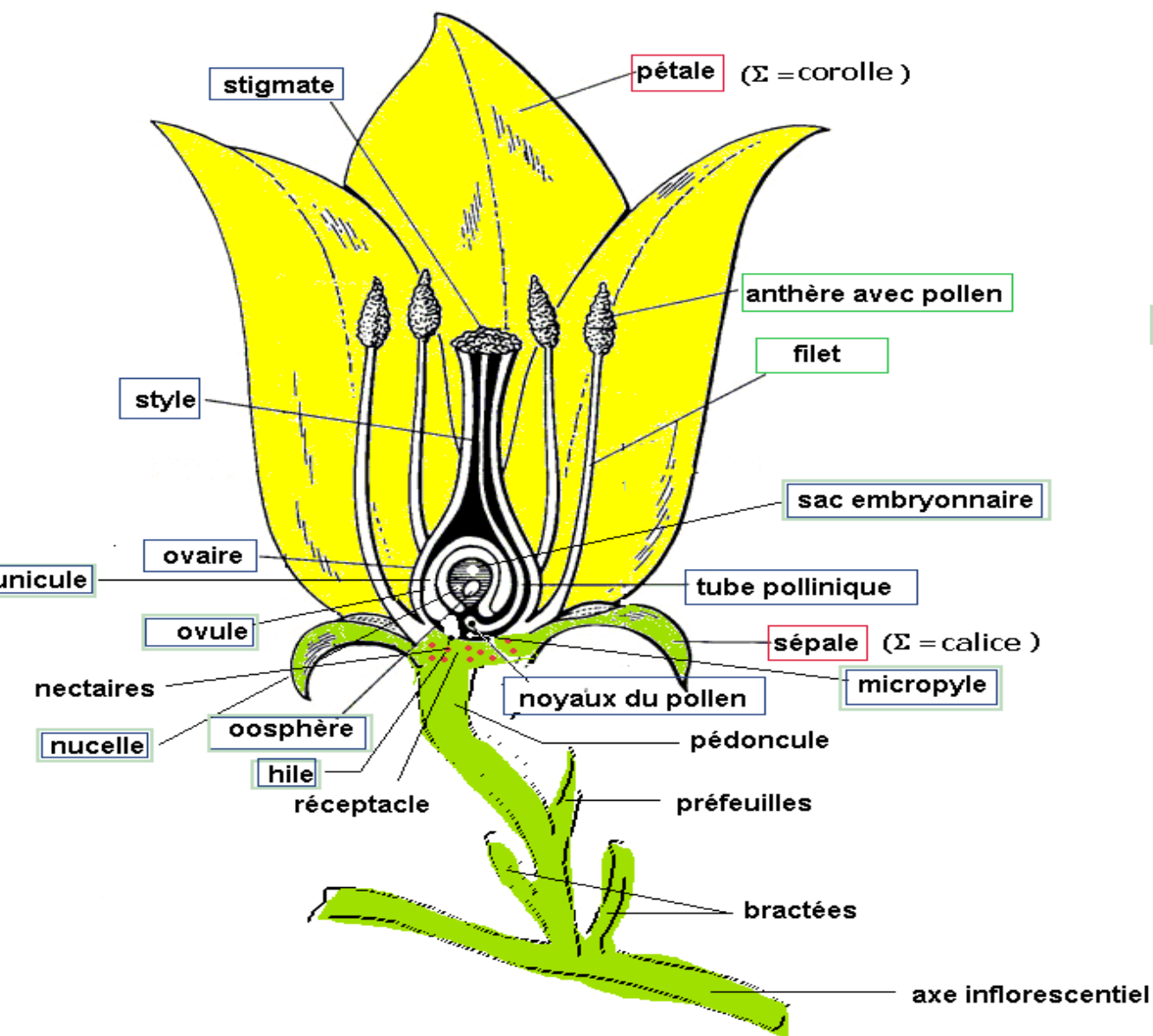




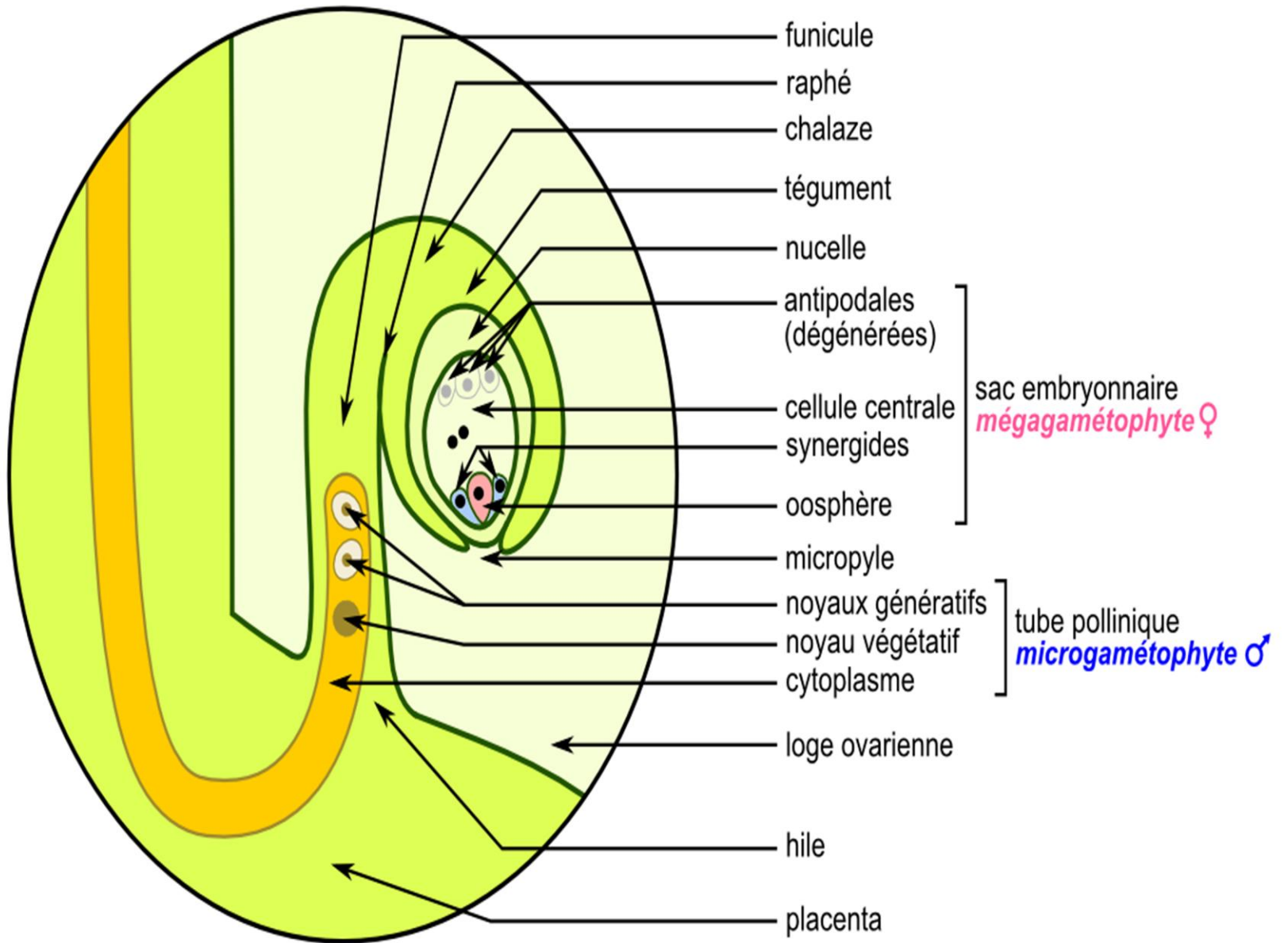
Expérience de **germination** de grains de pollen

Il faut garder en mémoire que la pollinisation n'est pas une garantie de fécondation. Pour que la fécondation ait lieu, un spermatozoïde produit par un grain de pollen doit s'unir à une oosphère. Chaque oosphère est contenue à l'intérieur d'une structure appelée **ovule** (du latin *ovulum*, *petit* oeuf). La fécondation ne suit pas immédiatement la pollinisation et peut même ne pas avoir lieu avant plusieurs mois. Après la fécondation, l'ovule se développe en graine.

SCHEMA TYPE D'UNE FLEUR ANGIOSPERME



- périanthe** (partie stérile de la fleur)
- étamine ou androcée**
- pistil, ou gynécée (carpelles)**
- ovule**



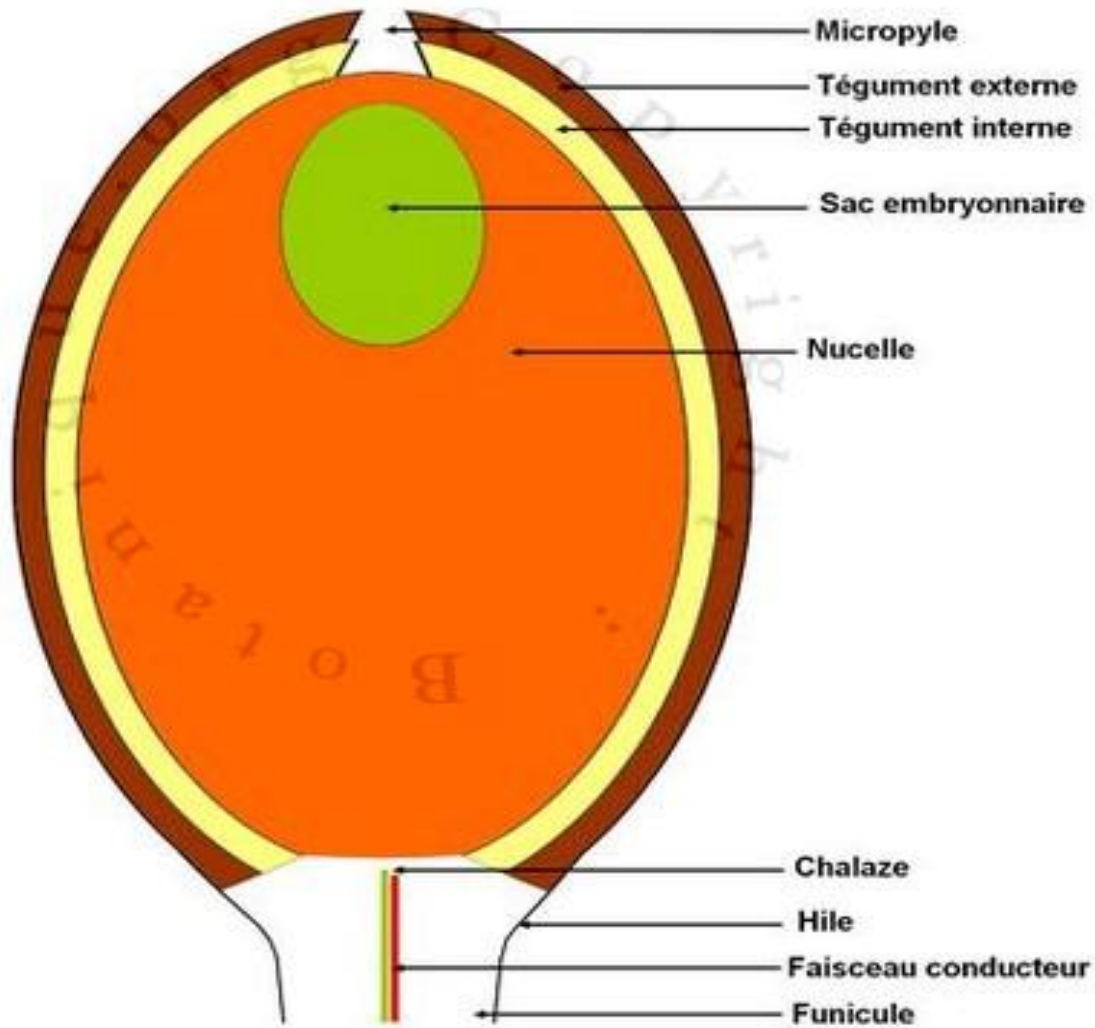


Schéma d'un ovule d'Angiosperme

Insertion de l'ovule dans l'ovaire

_ Différents types d'ovules d'Angiospermes

Chez, les Angiospermes, selon la position du sac embryonnaire par rapport au micropyle, au chalaze et au funicule, on distingue plusieurs types d'ovules.

- Les ovules orthotropes ont le micropyle, le sac embryonnaire, le chalaze et le funicule alignés. C'est le type le plus simple, présent chez les genres Piper ou Polygonum par exemple.
- Les ovules campylotropes ont un sac embryonnaire perpendiculaire à l'axe chalaze/funicule ; la position du micropyle est souvent antiparallèle à ce dernier. Ce type est présent chez les familles Fabaceae et Brassicaceae.
- Les ovules anatropes présentent un axe micropyle/sac embryonnaire antiparallèle à l'axe funicule/chalaze, qui est très étiré. De ce fait, le micropyle se trouve très proche du sommet du funicule. Ce type est très courant ; il est présent chez plus de 80 % des espèces d'Angiospermes.



Ovule Orthotrope

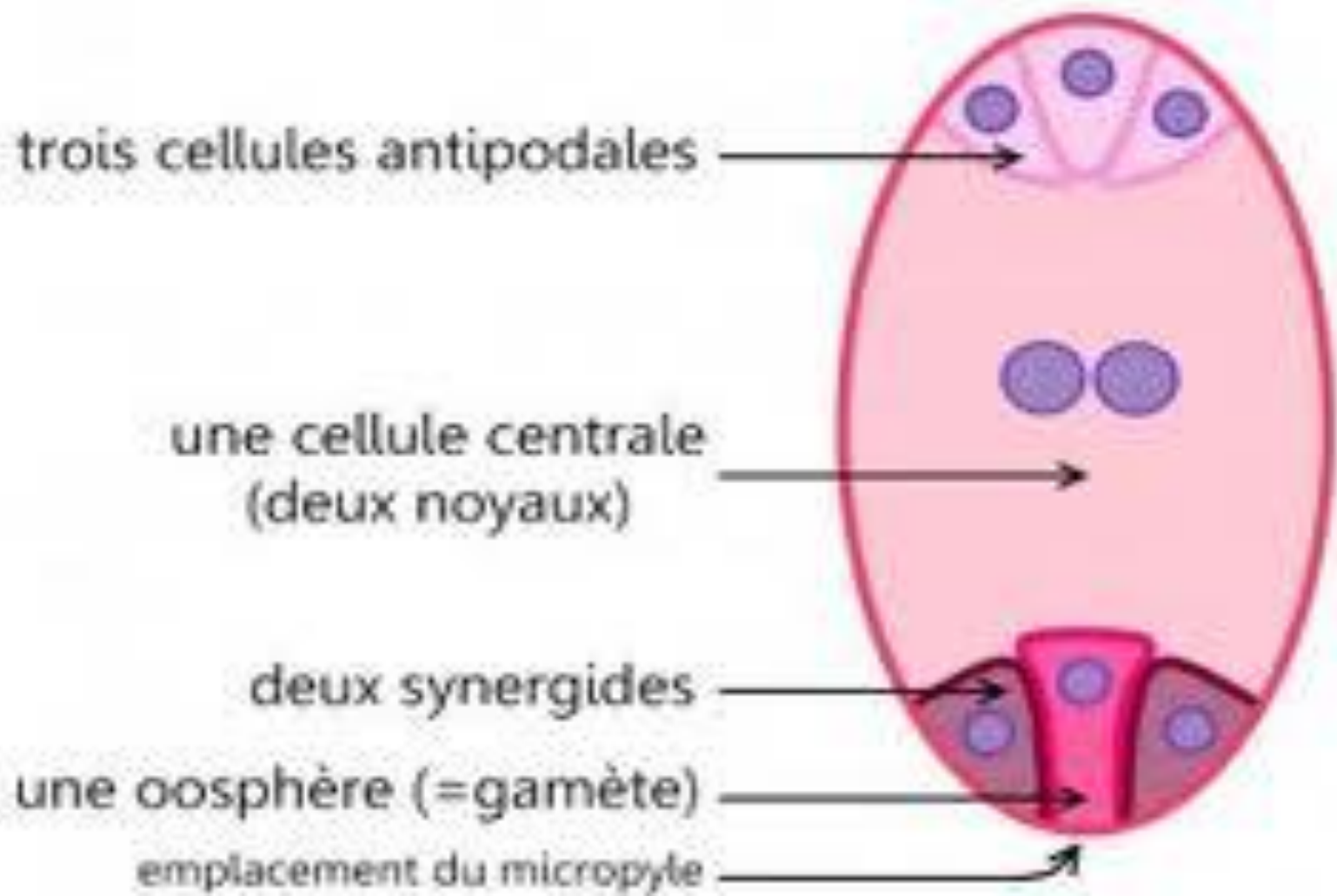


Ovule Anatrope



Ovule Campylotrope

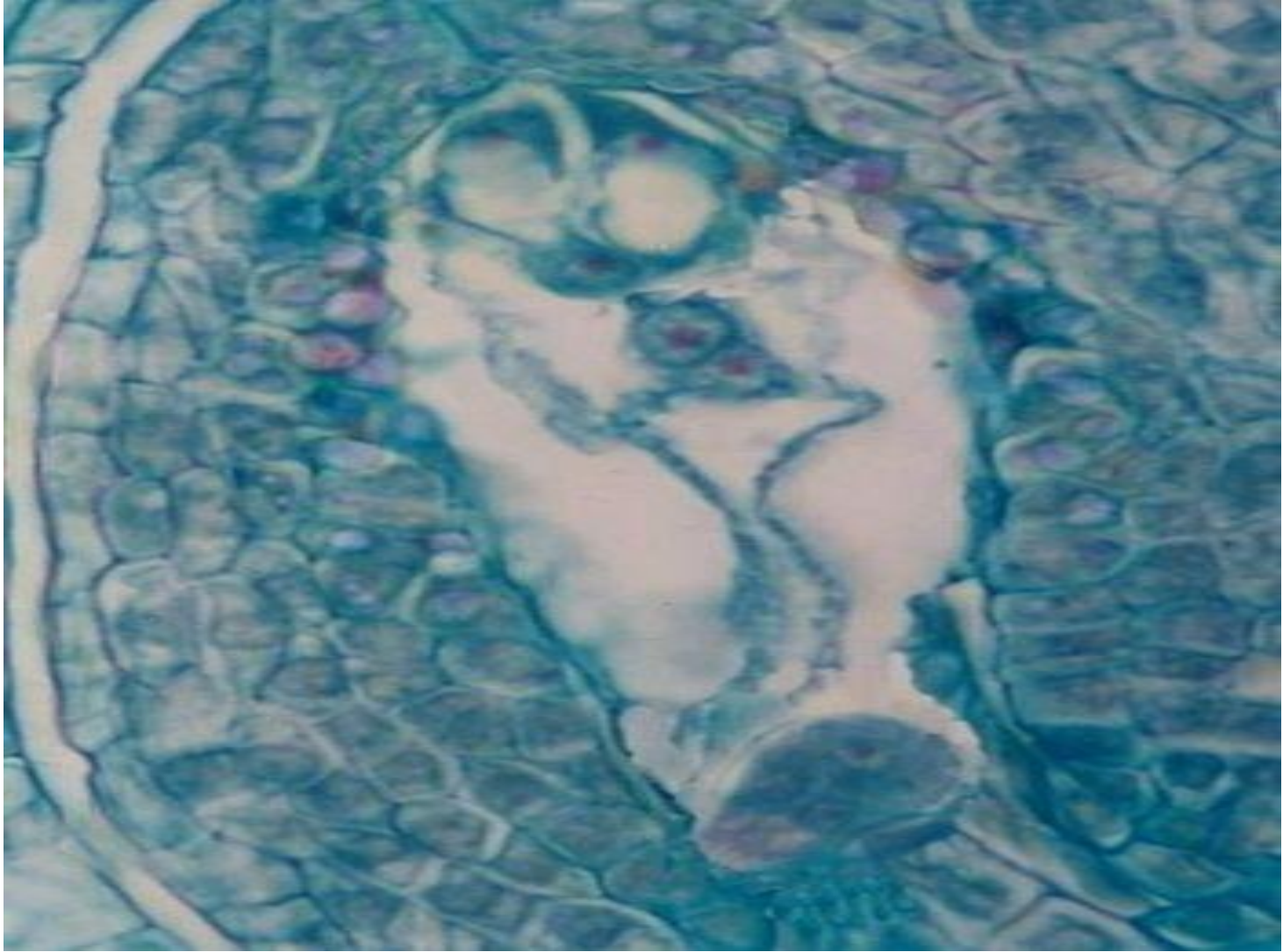
les types d'ovules des phanérogames



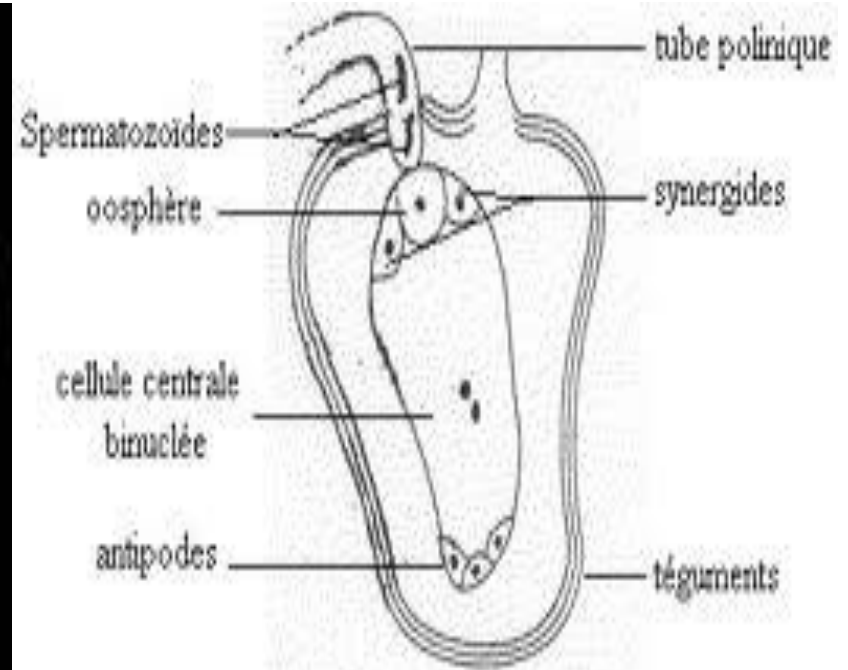
Le sac embryonnaire



Le sac embryonnaire



Micro-photographie d'un sac embryonnaire (gamétophyte femelle) chez les Angiospermes

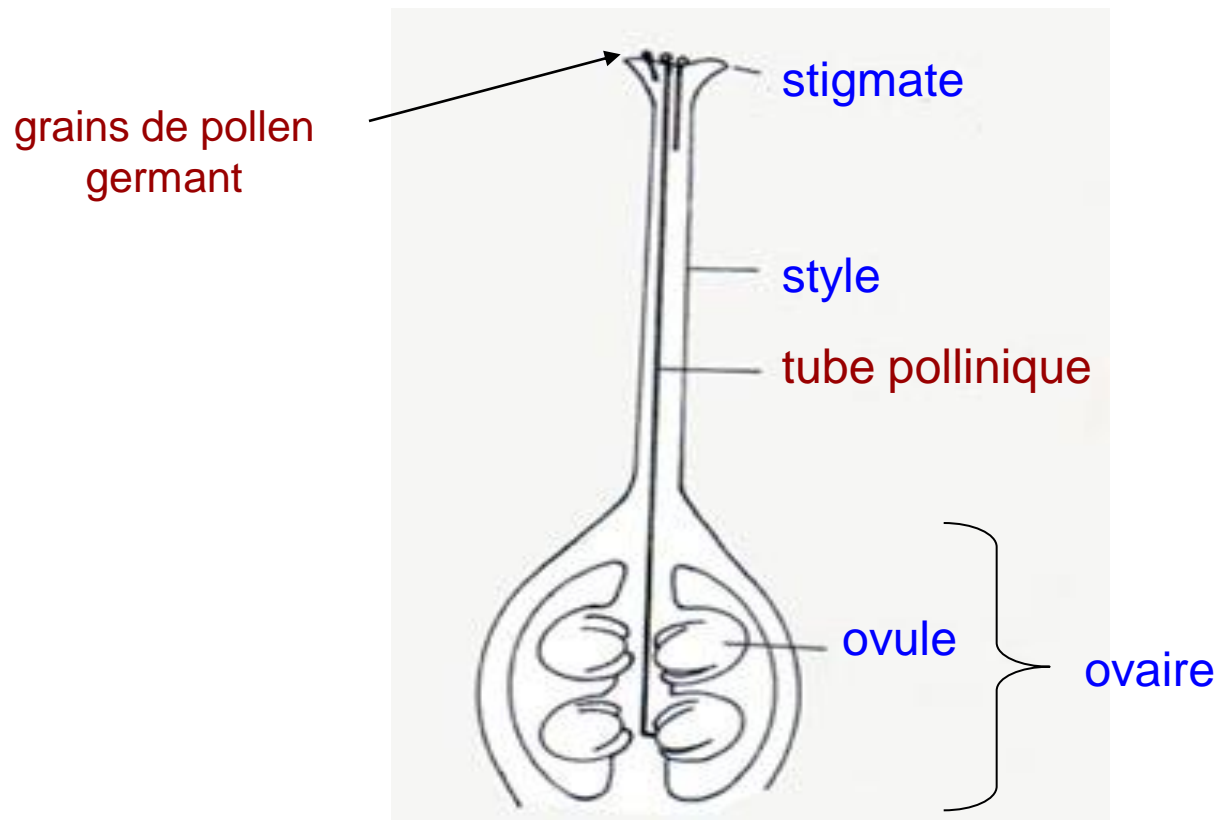


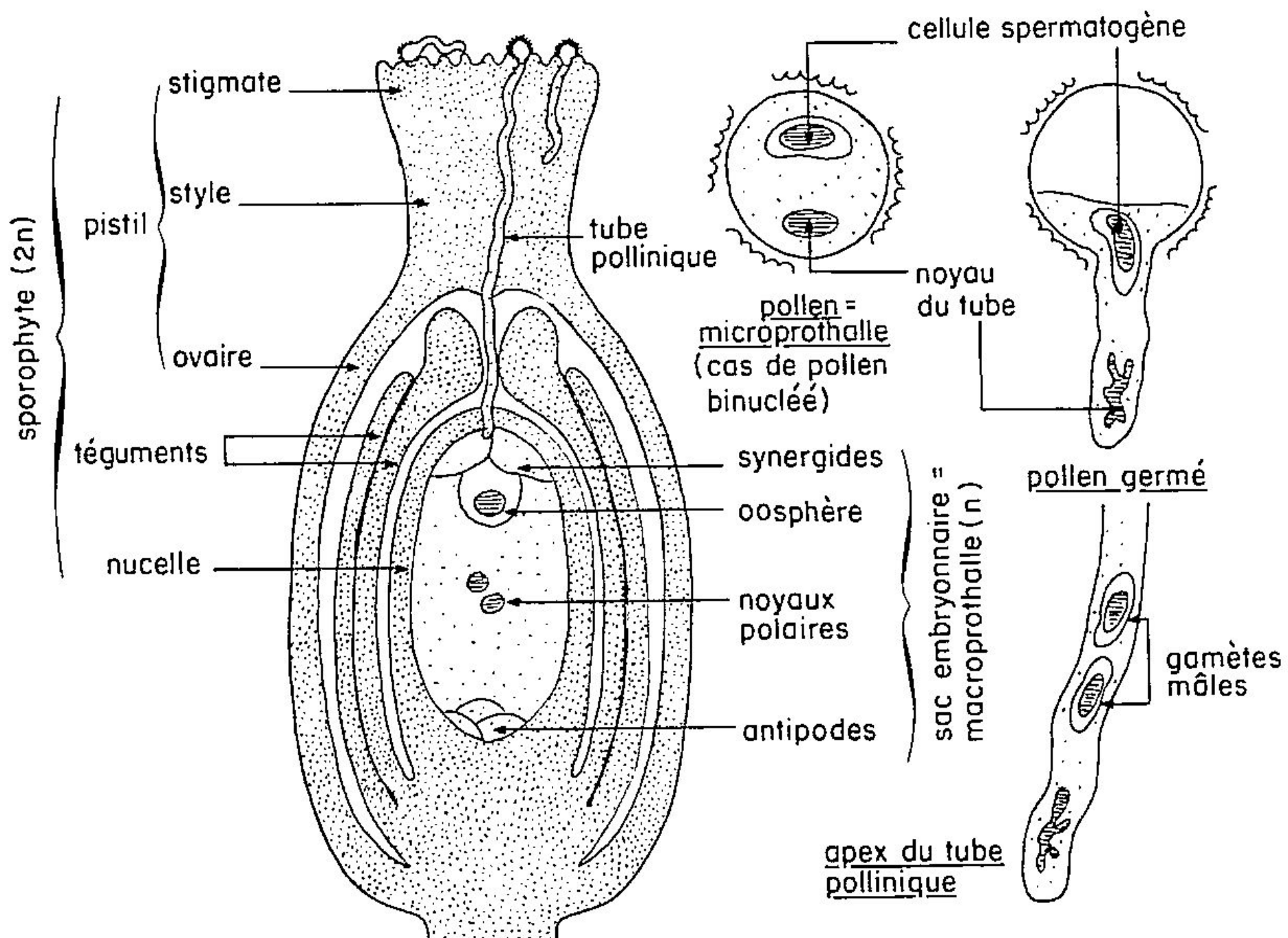
Document 3

germination du grain de pollen,
formation du **tube pollinique**

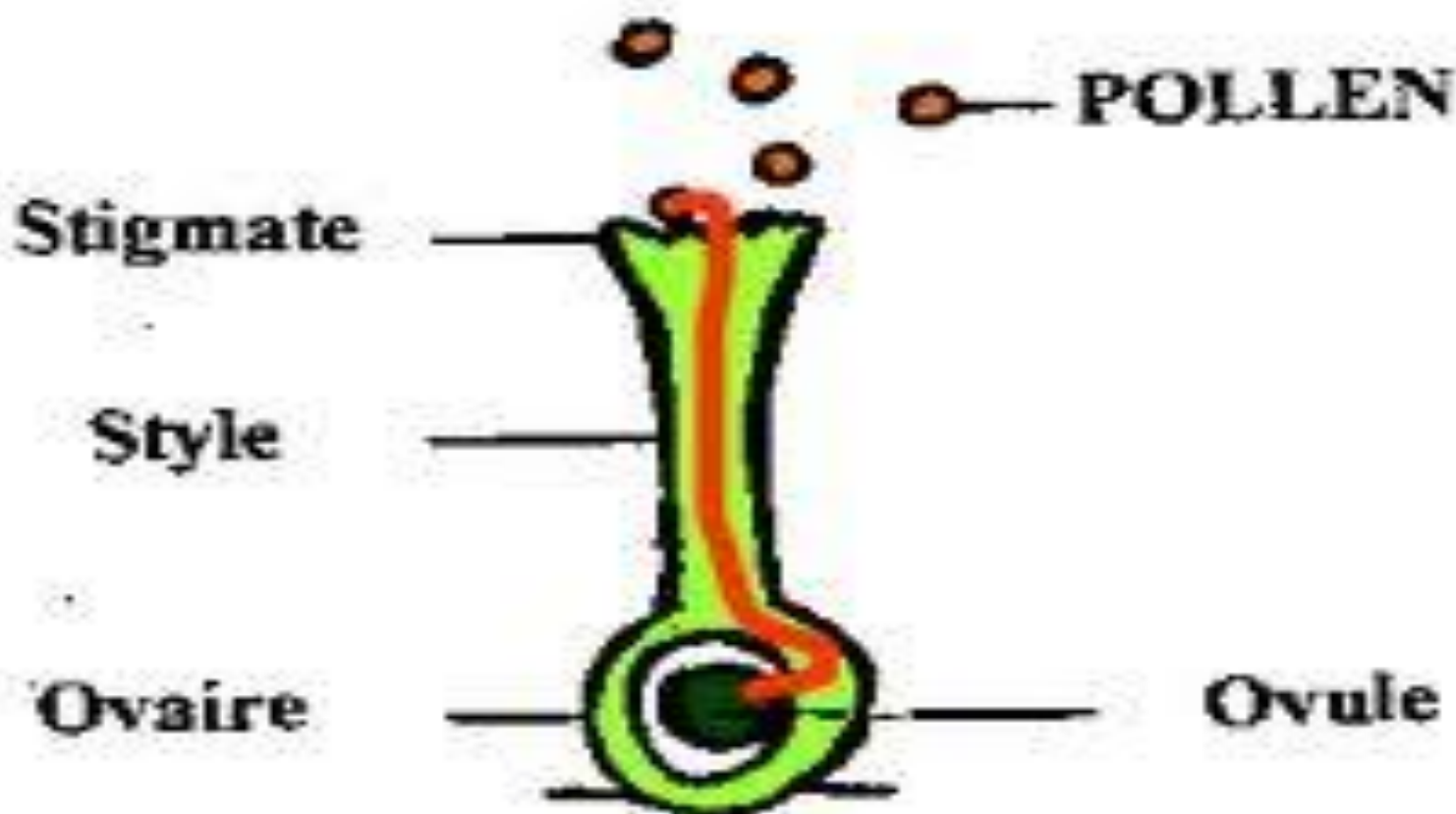
b) Fécondation

Enfin, la **fécondation est double** : les gamètes mâles acheminés par le grain de pollen fusionnent leurs noyaux avec ceux de deux cellules différentes. Une première fusion entre gamète mâle et l'ovule donne l'**embryon**, une autre entre le second gamète mâle et les noyaux centraux de l'ovule conduit à une cellule qui possède des chromosomes en 3 exemplaires (triploïdes) qui formera l'**albumen** de la graine, des réserves pour sa future germination.



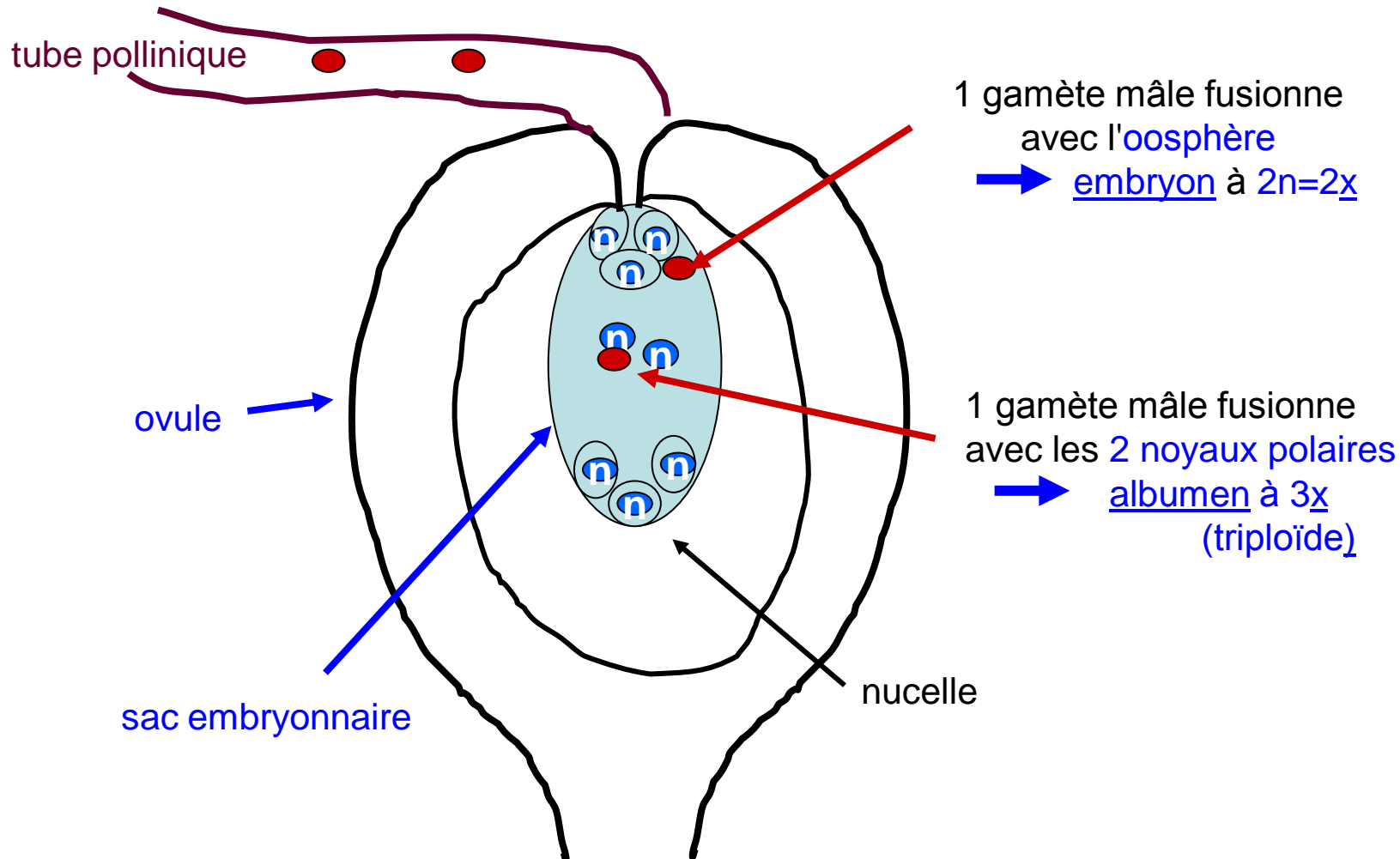


Fécondation chez une Angiosperme



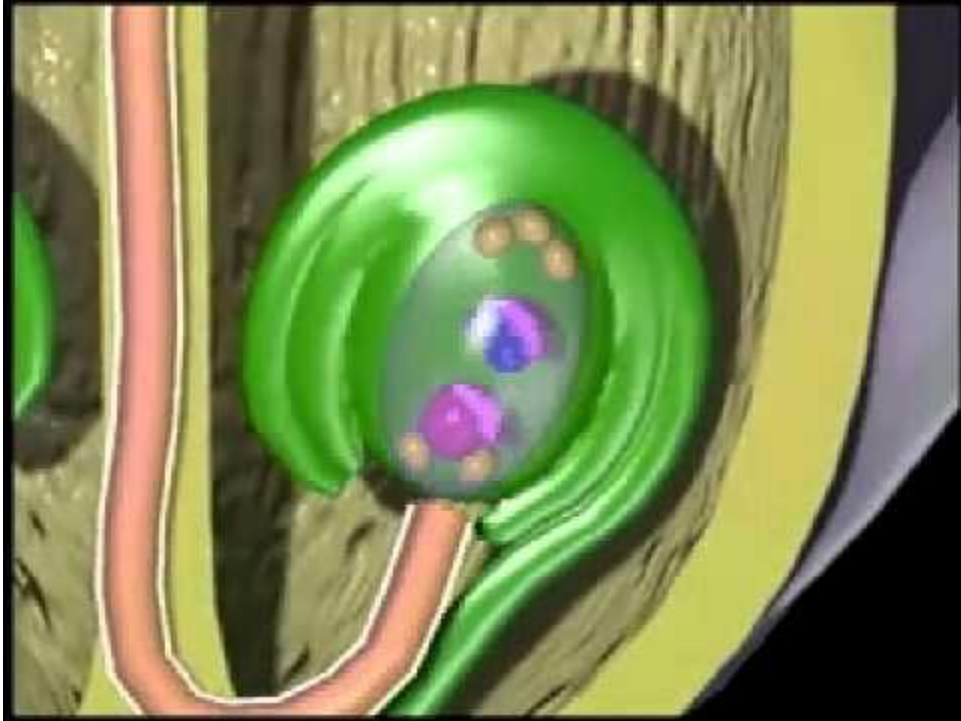
Germination du grain
de pollen et fécondation

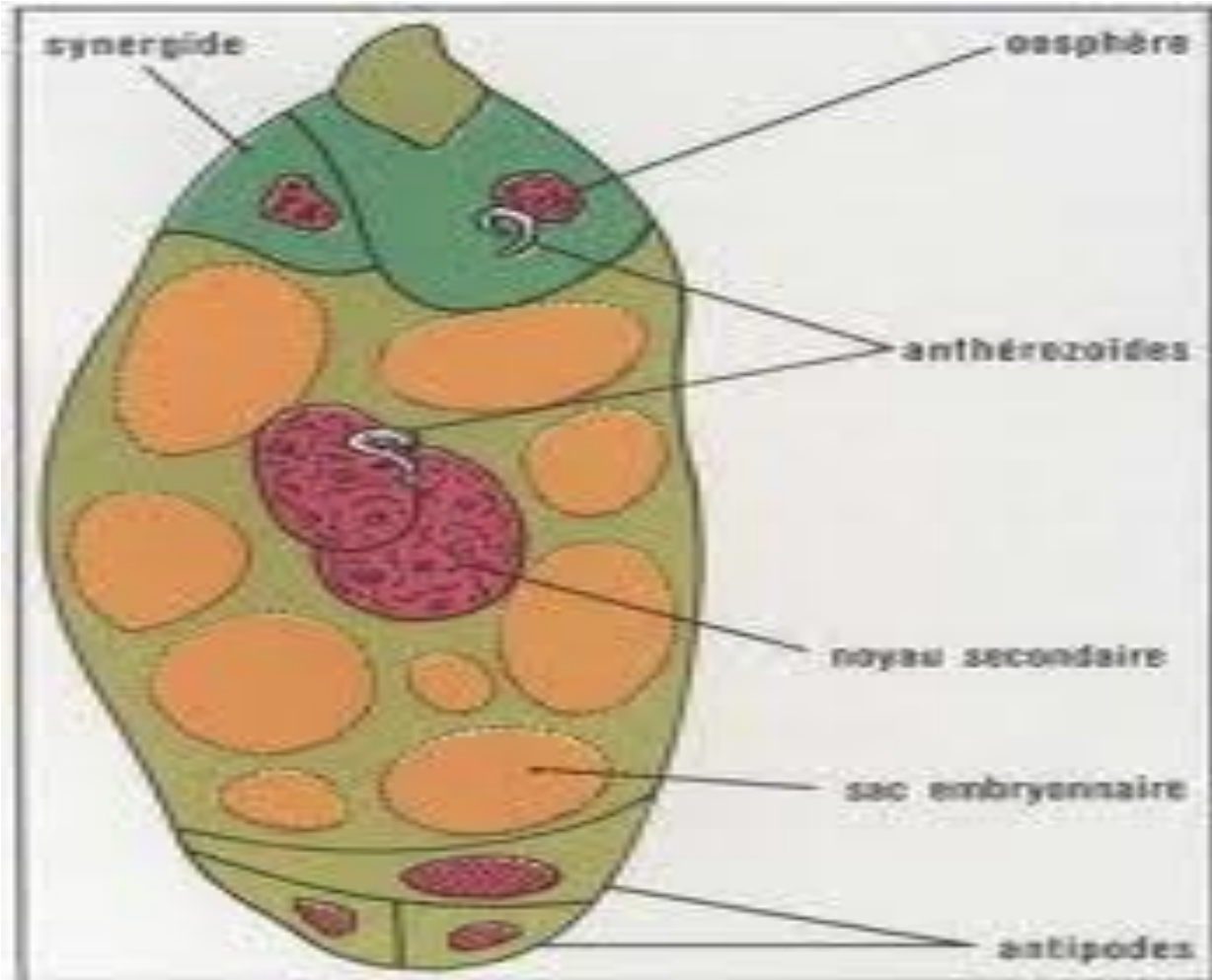
* dans le tube pollinique, le noyau reproducteur se divise en **2 gamètes** qui sont **déversés** dans le sac embryonnaire



cette **double fécondation vraie**, donnant un **embryon** et un **tissu de réserve**, est caractéristique des Angiospermes

la fécondation déclenche la formation de **l'embryon** et la formation de réserves



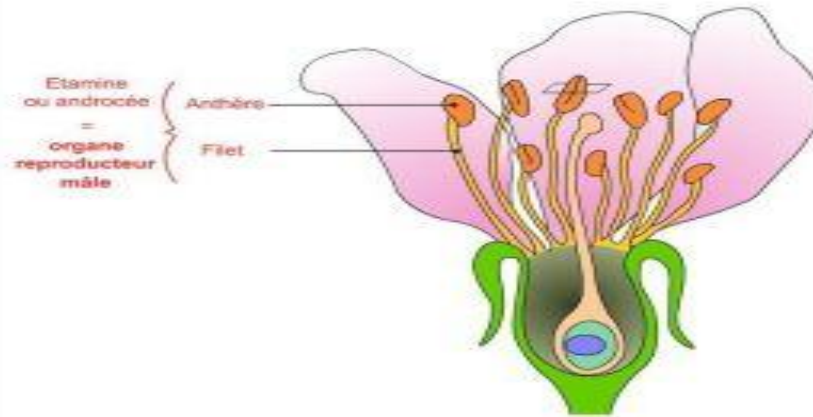


**Double fécondation
du sac embryonnaire.**

La double fécondation



Légendes



Coupe longitudinale d'une fleur de cerisier épanouie

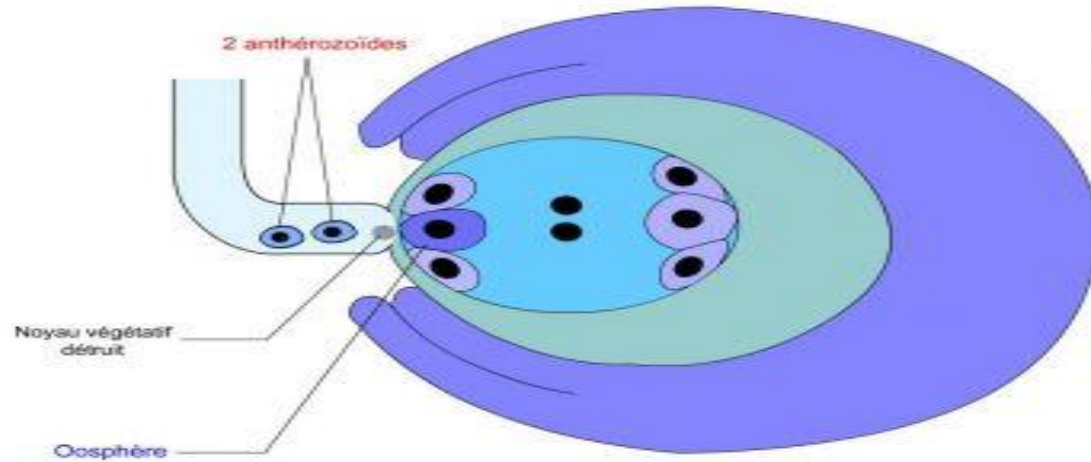
Bf



La double fécondation



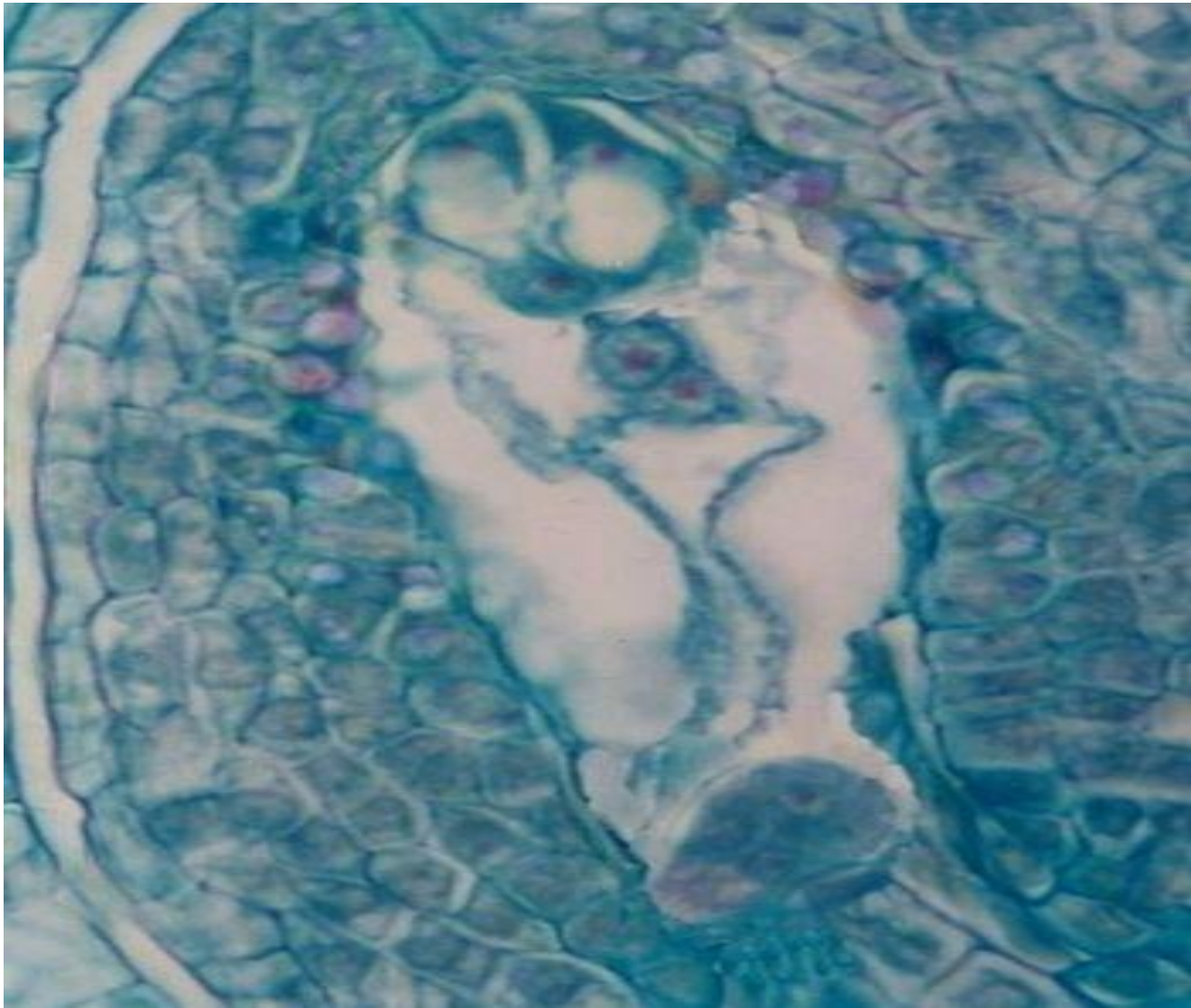
Légendes



Bf

La double fécondation







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 Eudicotylédones).

Il existe des dispositions variables de l'embryon dans les graines : il peut être droit, courbe, spiralé ou replié sur lui-même de diverses façons ; la disposition de l'embryon est caractéristique d'une espèce. Chez les graines de dicotylédones, l'embryon est entouré par une quantité variable de tissu nourricier, l'albumen, qui à son tour est entouré par les téguments.

Quant à lui, peut être minuscule et constitué de quelques cellules seulement, ou déjà avec une gemmule développée en tigelle, radicule et cotylédons.

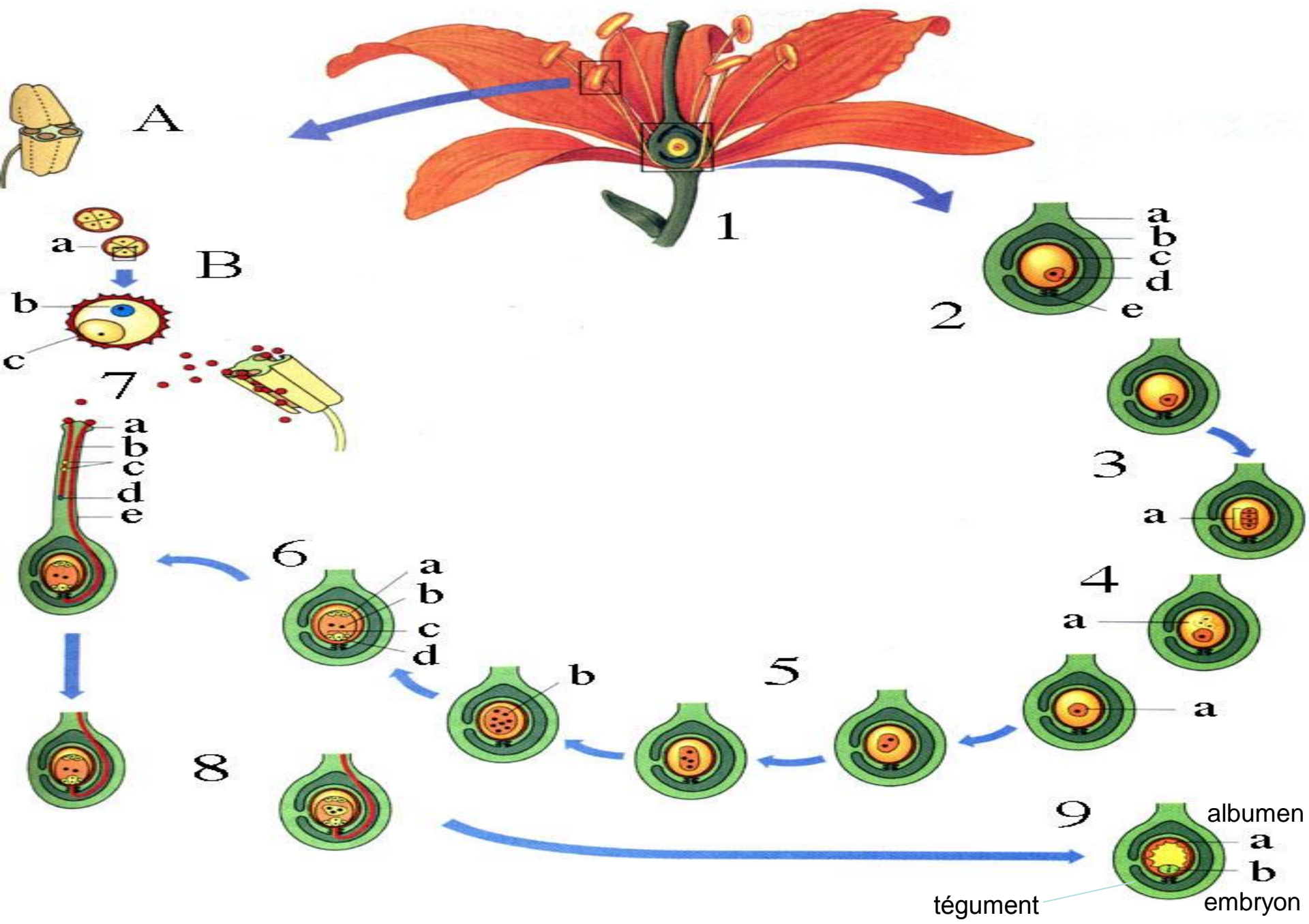
Ovaire



Ovules

Embryon
Albumen
(tissu nourricier)
Tégument

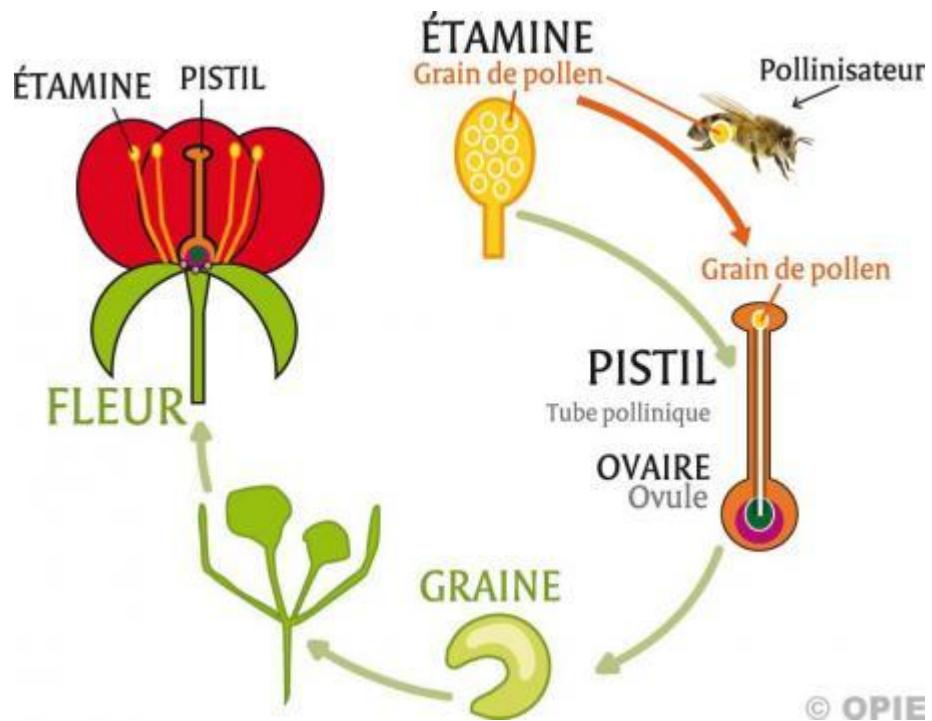
Graine
(ovule fécondé)



L'ovule chez les plantes à fleurs.

Chaque carpelle d'une fleur contient un ou plusieurs ovules à l'intérieur de l'ovaire situé à la base du carpelle.

Les tissus protecteurs constituent une des caractéristiques principales de la structure graine. L'embryon est tout d'abord entouré par un tissu de réserves nutritives plus ou moins important selon les espèces. Chez les angiospermes, les réserves sont stockées dans l'albumen, tissu triploïde (possédant $3n$ chromosomes) provenant de la fusion des deux noyaux polaires du sac embryonnaire et de l'un des deux spermatozoïdes du grain de pollen.



Reproduction sexuée des plantes à fleurs

ETAMINE

pollen



+

PISTIL

ovule



=

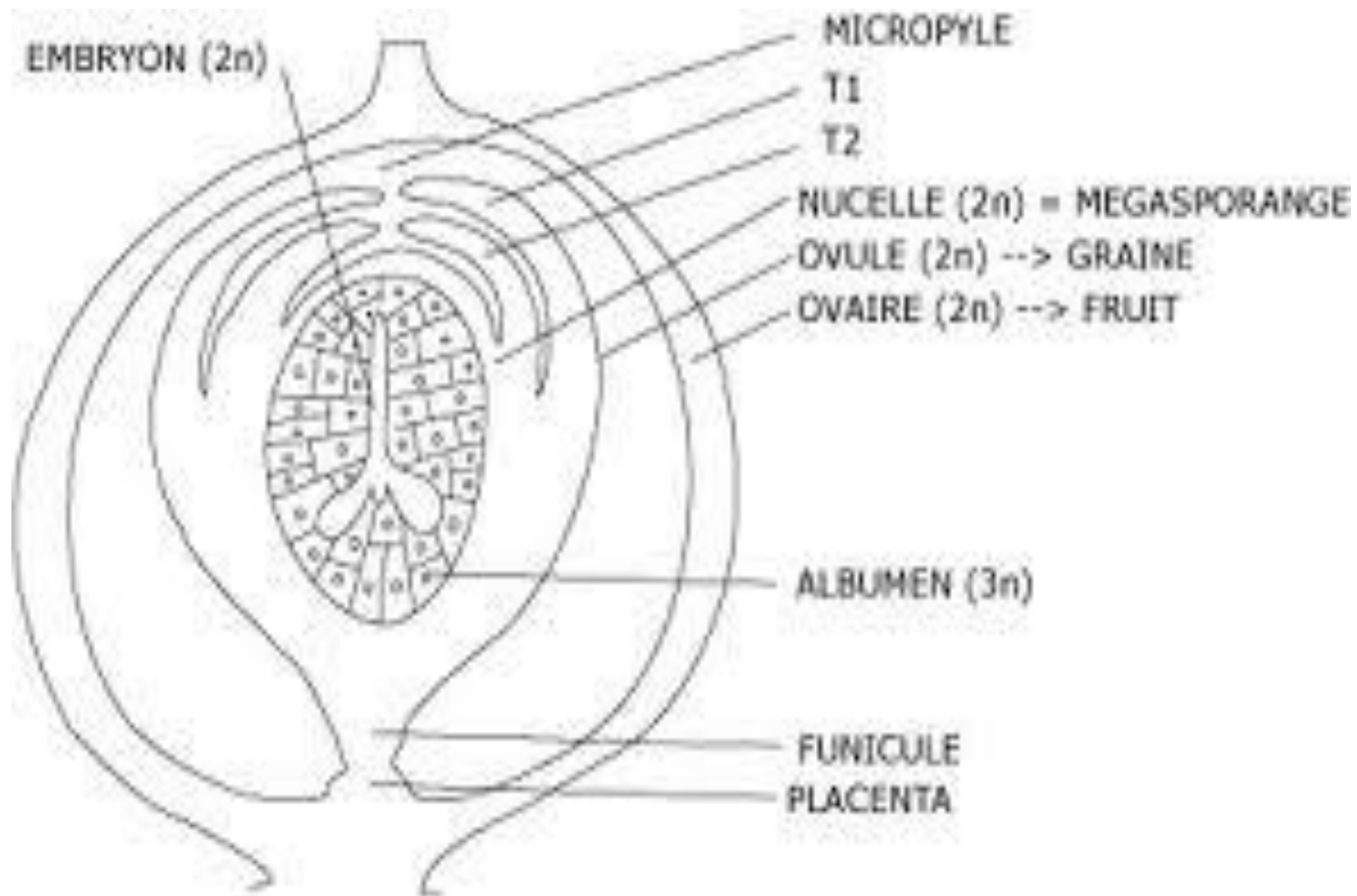
FRUIT

graine

C- La graine

L'ovule se forme à l'intérieur de l'ovaire et se développe en graine après la fécondation. Chaque ovule fécondé donnera une graine.

La graine est formée de l'extérieur vers l'intérieur par une enveloppe protectrice nommée tégument, entourant un tissu de réserves nutritives albumen et l'embryon.

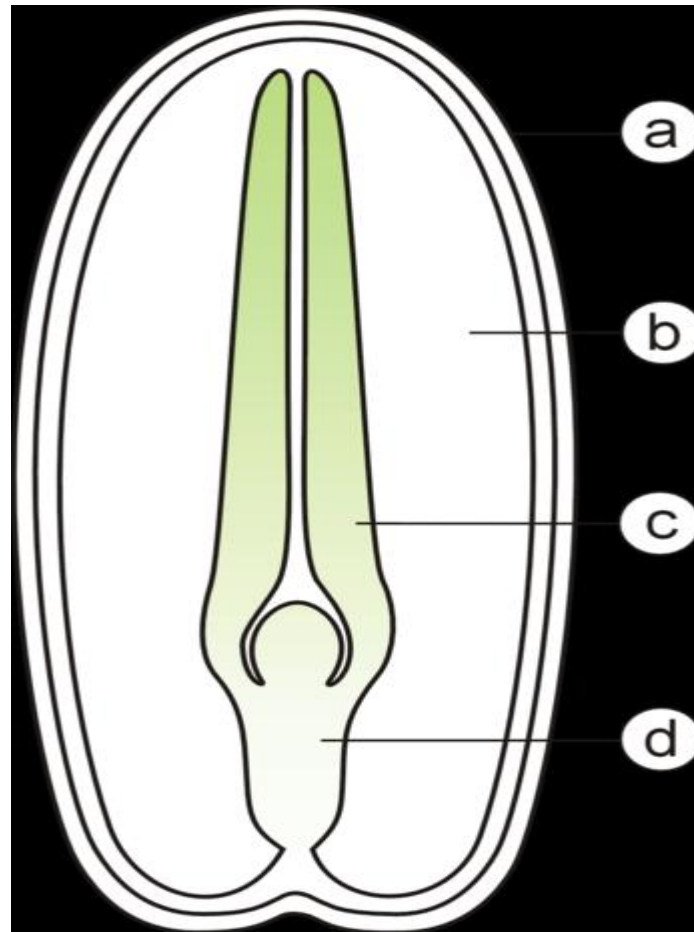


La **graine**. L'albumen

Les graines des dicotylédones et des monocotylédones ne diffèrent pas seulement par le fait qu'elles contiennent un embryon avec deux cotylédons, ou un seul, mais également parce que leur structure est différente.

Les graines des dicotylédones renferment un embryon avec des cotylédons charnus, saillants, qui contiennent de l'amidon, des protéines et des lipides, utilisés comme source d'énergie et pour la fabrication des molécules carbonées mobilisées au moment de la germination.

Les cotylédons se situent au-dessus de la tigelle, tige courte à la base de laquelle se trouve la *radicule*.



Structure schématique d'une graine d'Angiosperme Dicotylédone.

a : tégument ; b : albumen ; c : cotylédon ; d : embryon

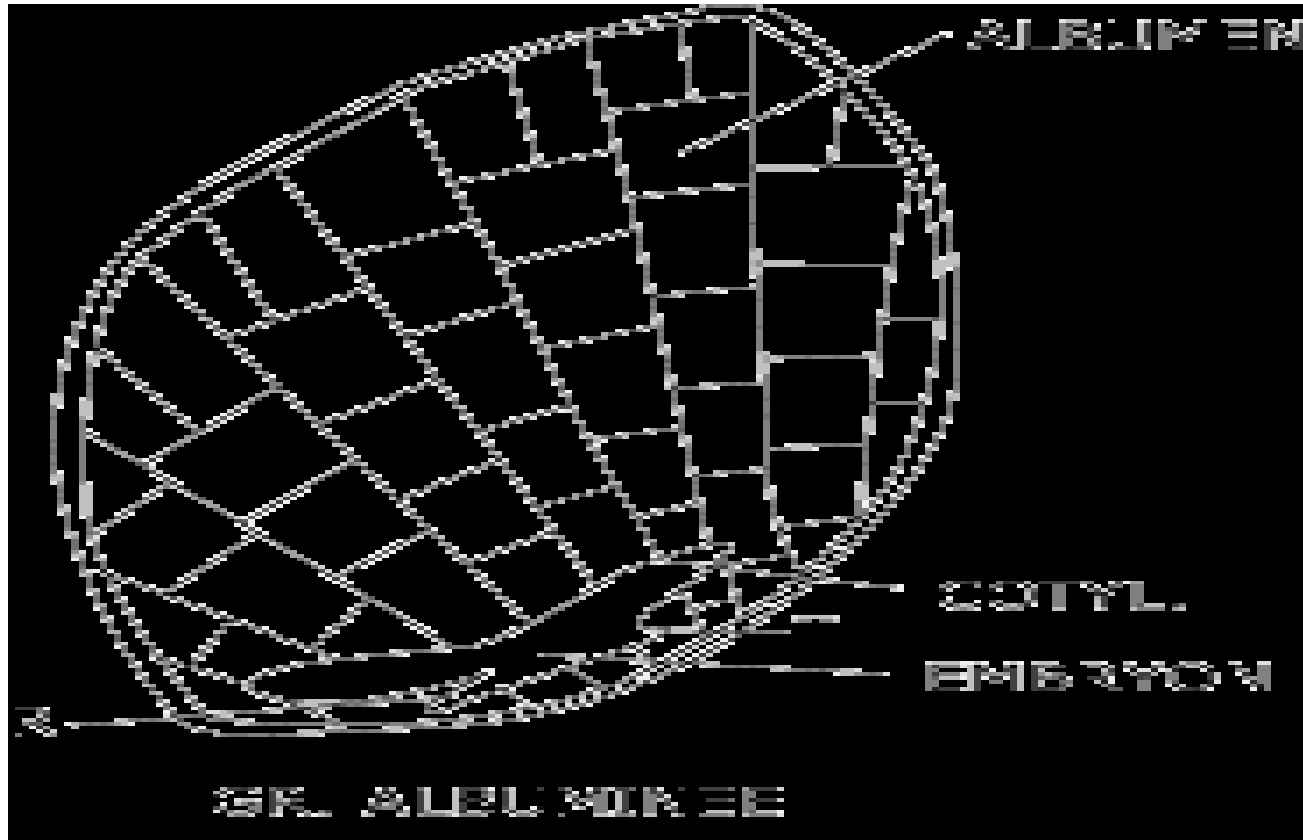


Une capsule de [coquelicot](#) avec ses graines

Les différents types de graines.

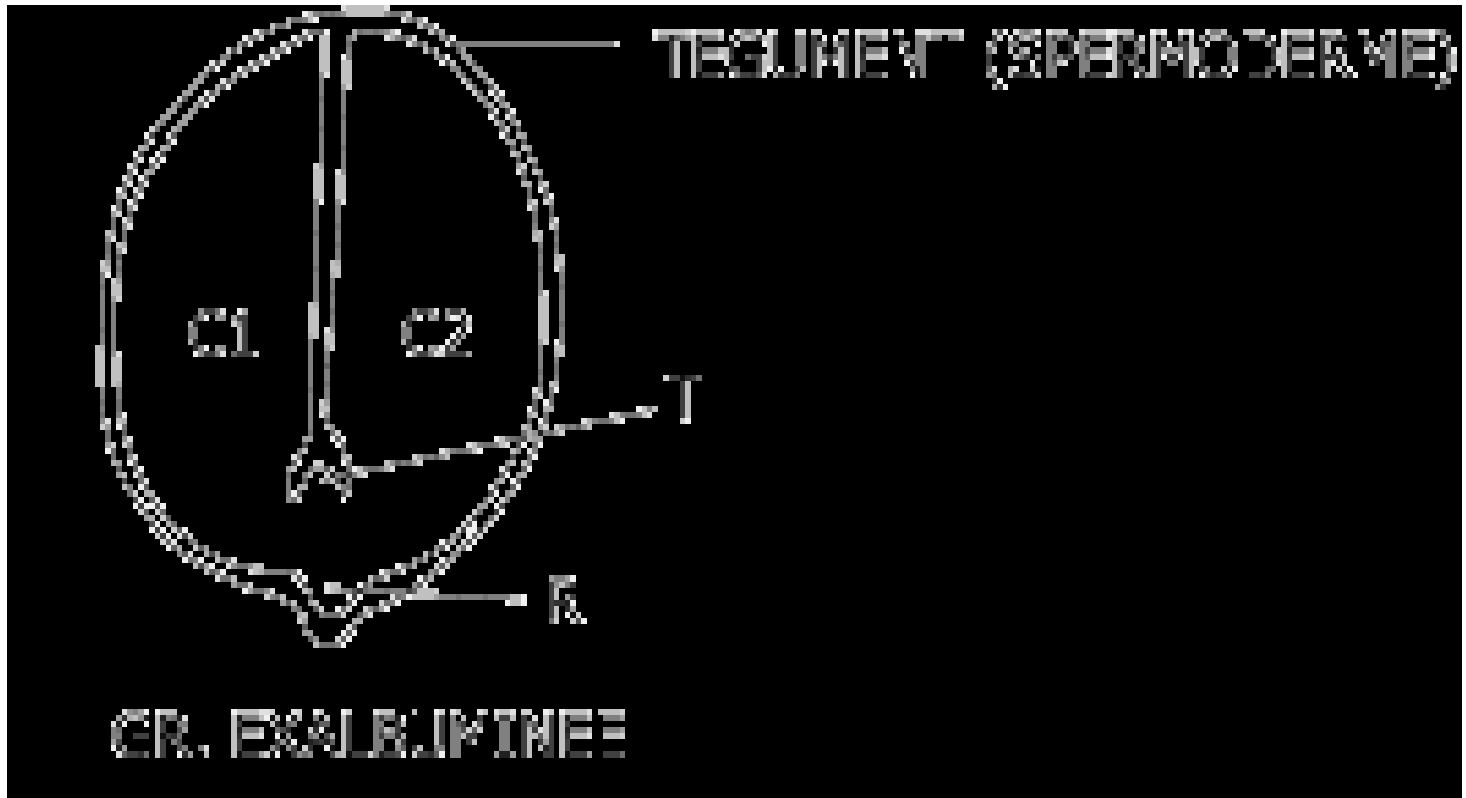
- le **périsperme**, tissu diploïde (possédant $2n$ chromosomes) provenant du nucelle entourant le sac embryonnaire. Les graines à **périsperme** sont peu courantes (les graines des Chénopodiacées par exemple), Betterave, laitue.
- L'albumen peut être plus ou moins développé dans la graine. Il peut contenir toutes les réserves nutritives, qui seront utilisées par l'embryon lors de la germination. Les graines de ce type sont dites « **albuminées** ». Le blé, maïs.
- les graines dites « **exalbuminées** », les réserves sont stockées directement dans les cotylédons, l'albumen étant alors très réduit. Soja, haricot, tournesol, pois. Orchidées, crucifères.

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



Graine albuminée

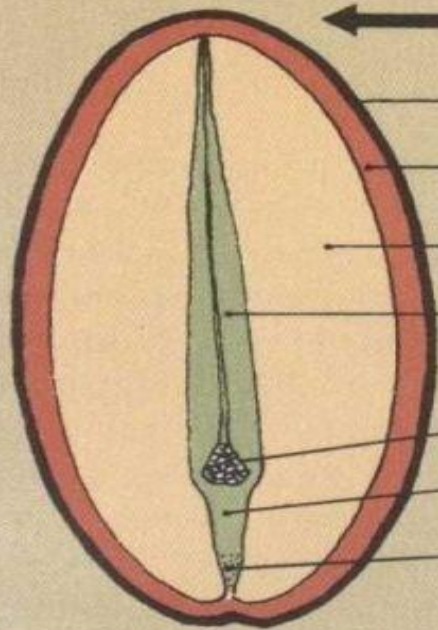
* Il peut aussi être entièrement consommé par l'embryon au cours du développement de celui-ci, comme tout ce qui reste du nucelle lui-même, voire encore le tégument interne. Les matières de réserve sont alors stockées dans les cotylédons (C). On parle alors de graines **exalbuminées** (ex. : légumineuses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



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**).

← Graine d'une dicotylédone avec albumen



tégument externe

tégument interne

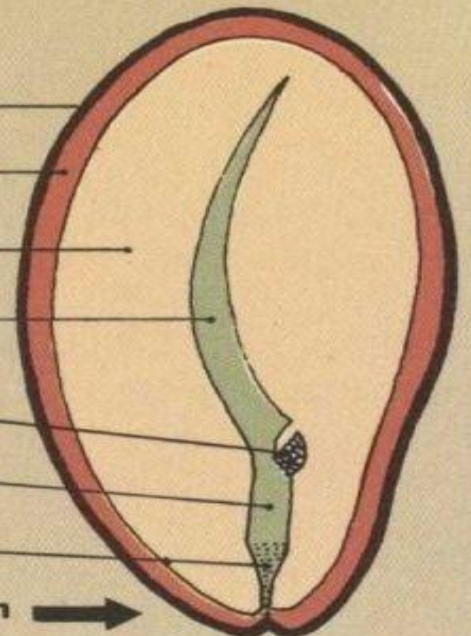
albumen

cotylédons

gemmule

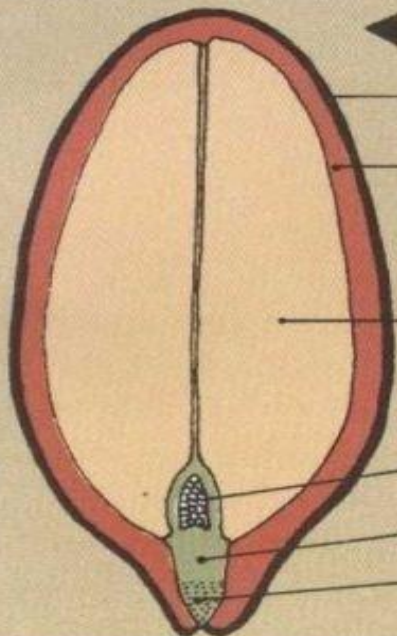
tigelle

radicule



Graine d'une monocotylédone avec albumen →

← Graine d'une dicotylédone sans albumen



tégument externe

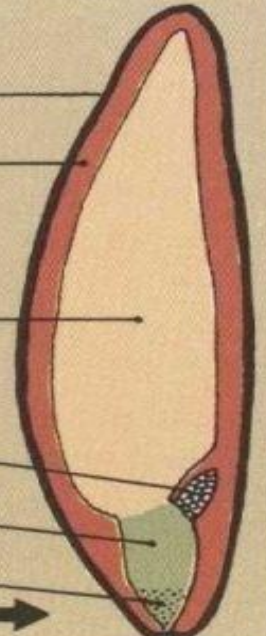
tégument interne

cotylédons

gemmule

tigelle

radicule



Graine d'une monocotylédone sans albumen →

Les graines protègent les embryons, ce qui facilite leur survie en conditions défavorables.. Elle constitue une structure de protection qui permet à la plante de résister à des périodes plus ou moins longues de conditions défavorables saisonnières (températures extrêmes, sécheresse) pendant lesquelles la plante serait incapable de pousser, ni même parfois de vivre. Les graines peuvent ne jamais se développer si les conditions climatiques défavorables se prolongent.

+ taille et poids des graines extrêmement variables :

- * de quelques microgrammes chez certaines orchidées
(500 000 graines par gramme !)
- * à 20 ou 30 g chez le palmier (Arécacées)

1- Dormance et longévité des graines

Chez de nombreuses plantes, la germination des graines n'est pas immédiate, et nécessite le passage par une période de repos pendant laquelle la germination est inhibée par divers mécanismes. Cette inhibition ou dormance peut être liée à :

- la présence d'inhibiteurs ;
- la présence de protéines photosensibles ou chromoprotéines ;
- l'imperméabilité des enveloppes à l'eau ou à l'oxygène ;
- la résistance mécanique des enveloppes.

La longévité des graines, ou pouvoir germinatif, est généralement comprise, selon les espèces, entre deux et dix ans (céréales, épinard, courge). Cette longévité peut atteindre une centaine d'années (cassia, fistula), graines dites **macrobiontiques**.

Certaines graines ont une très courte longévité, de quelques jours (peuplier) à quelques années (parfois quelques siècles ?), à quelques semaines (caféier), elles sont dites **microbiontiques**.

Le cas extrême est celui des graines qui germent dans le fruit accroché à la plante-mère (*Rhizophora*, palétuvier) : graines **vivipares**.

2-Dissémination des graines.

- par la plante elle-même :

le fruit du concombre d'âne, (*Ecballium elaterium*, Cucurbitacées) turgescence à maturité, projette ses graines dans une pulpe liquide lorsque le pédoncule se détache ;

le fruit mûr des balsamines des bois (*Impatiens noli-tangere*, Balsaminacées), éclate en enroulant ses valves sur elles-mêmes.

- par le vent (anémochorie)

par la légèreté des semences

grâce à la présence de poils

par la présence d'ailes membraneuses

- par l'eau (hydrochorie)

eaux de ruissellement

plantes aquatiques

courants marins, cas du cocotier

- par les animaux (zoochorie)

après ingestion

transport externe, grâce à la présence de crochets ou d'aiguillons

par les fourmis (plantes myrmécophiles)

3-Germination

La germination est le phénomène par lequel l'embryon contenu dans la graine sort de sa période de vie ralentie et se développe grâce aux réserves de la graine.

- * Transformations morphologiques

- germination épigée
- germination hypogée

- * Facteurs de régulation

- eau
- température
- lumière (notamment les radiations rouges captées par le phytochrome)
- oxygène

- * Phénomènes métaboliques

- respiration
- mobilisation des réserves

* Dans les graines des Graminées, l'embryon sécrète des hormones végétales de la famille des gibbérellines qui induisent dans un tissu particulier, la couche à aleurone, la synthèse d'alpha-amylase qui mobilise les réserves contenues dans l'albumen au profit de l'embryon.

On considère que la germination commence lorsque la graine est mise en contact avec de l'eau jusqu'à ce qu'elle coule.

- * Beaucoup de graines germent en étant conservées dans le noir à une température se situant autour de 20 °C. Après une période ne dépassant généralement pas les 72 heures, les graines ont germé. Certaines graines nécessitent des protocoles plus complexes. Elle se termine lorsque la radicule a percé la cuticule.
- * On peut provoquer une dégradation de la cuticule des graines dures en faisant chauffer de l'eau jusqu'à apparition des premières bulles (80° C) puis en versant l'eau chaude sur les graines placées dans un autre récipient (afin de ne pas trop chauffer les graines par le contact avec le fond de la casserole chaude), laisser tremper 6 à 12 heures avant de semer dans un substrat léger (sable + terre + terreau). Les premières graines lèvent généralement quelques jours après le semis.
- * Le « pouvoir germinatif » varie beaucoup selon l'espèce (en particulier selon leur caractère) et les conditions du milieu ; il persiste de quelques jours à plusieurs siècles.

Condition

La germination ne se produit que si des conditions extérieures (humidité, température, oxygène, luminosité ou durée du jour, etc.) sont conjointement présentes et favorables; de même que les facteurs internes (maturité, viabilité, dormance, effet de la lumière).

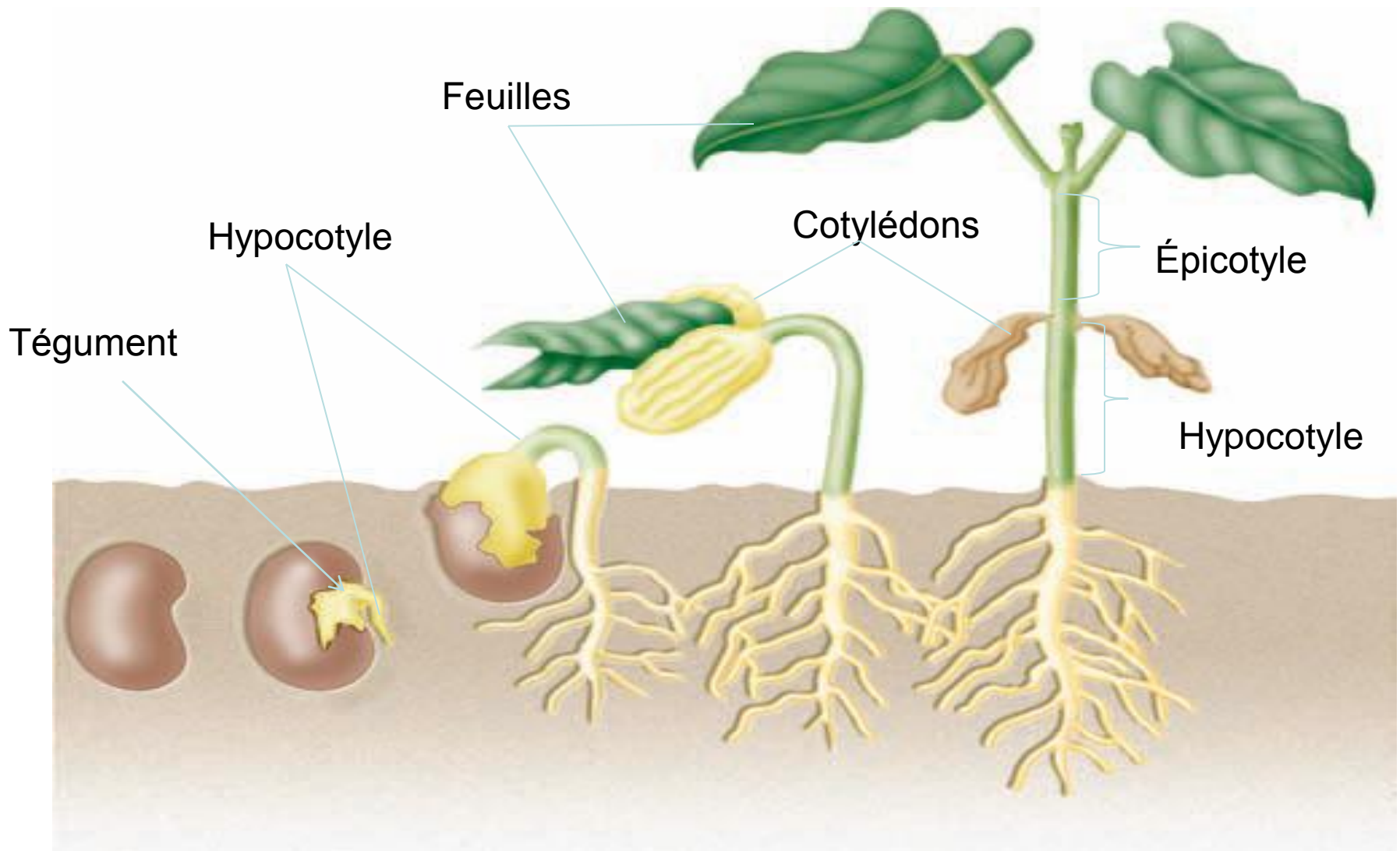
Certaines graines ne peuvent germer (ou ont une germination fortement facilitée) qu'après avoir subi :

- un froid intense qui lève les dormances, c'est la vernalisation (aussi appelée « stratification »);
- un passage dans le tube digestif d'un animal, voire d'un animal spécifique (herbivore, vers de terre...);
- une dégradation de leur cuticule externe par un acide (graines de milieux acides, ou germant dans certaines fourmilières);
- un passage dans les flames (plante pyrophytes);

* À la fin de la germination, les cotylédons, ayant rempli leur rôle, se flétrissent et laissent la place aux vraies feuilles qui prennent leur relais pour alimenter la plante grâce à la photosynthèse.

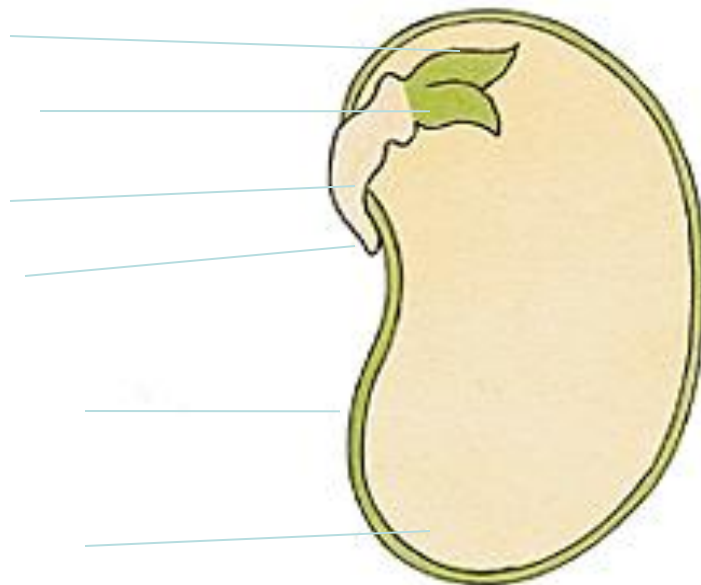
Types de germination

- **La germination épigée** : comme chez le haricot par exemple. La graine est soulevée hors du sol par accroissement rapide de la tigelle qui donne l'axe hypocotyle qui soulève les deux cotylédons hors du sol. La gemmule se développe (après la radicule) et donne une tige feuillée au-dessus des deux cotylédons. Le premier entre-nœud donne l'épicotyle. Les premières feuilles, au-dessus des cotylédons sont les **feuilles primordiales** (elles sont plus simples que les futures feuilles).
- * **La germination hypogée**: comme chez le maïs. La graine reste dans le sol, la tigelle ne se développe pas et les cotylédons restent dans le sol.

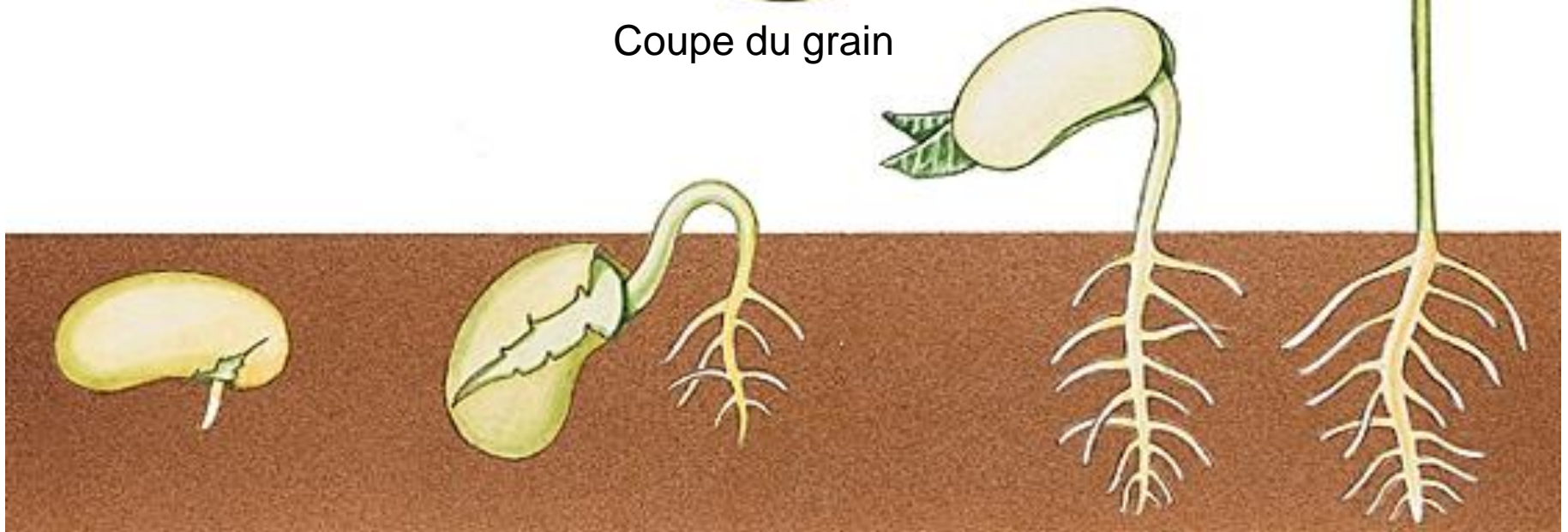


Germination épigée : les cotylédons sont soulevés et portés à une certaine hauteur au-dessus du sol. Exemple : le haricot.

Premières feuilles
gemmule
tigelle
radicule
tégument
cotylédon



Coupe du grain

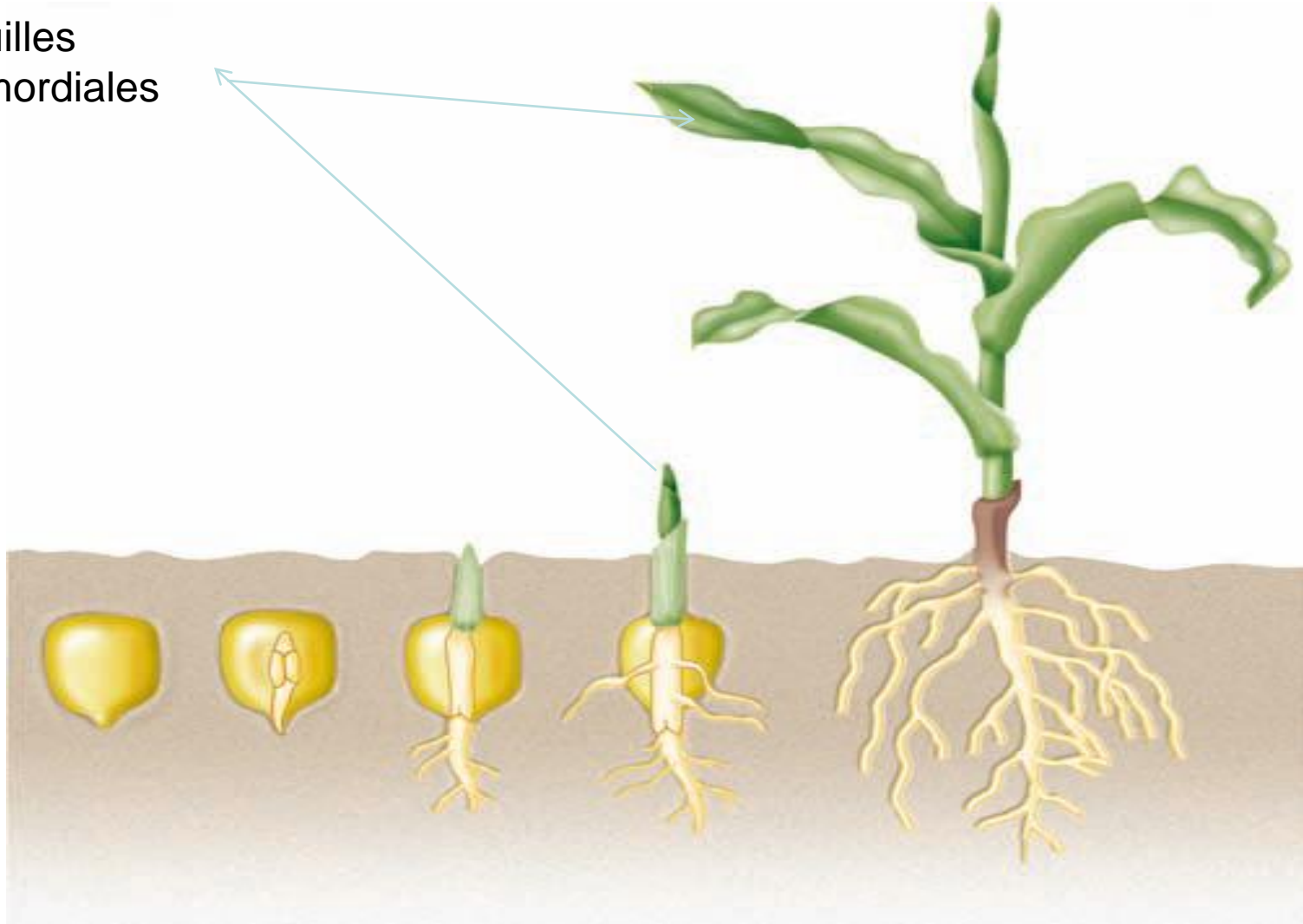


Coupe de la graine et phases de germination épigée du haricot (les cotylédons sont soulevés au-dessus du sol).



Le caryopse de maïs (Monocotylédones)

Feuilles
primordiales



Germination hypogée : le ou les cotylédons ne sont pas soulevés hors de terre.
Exemple : le maïs.

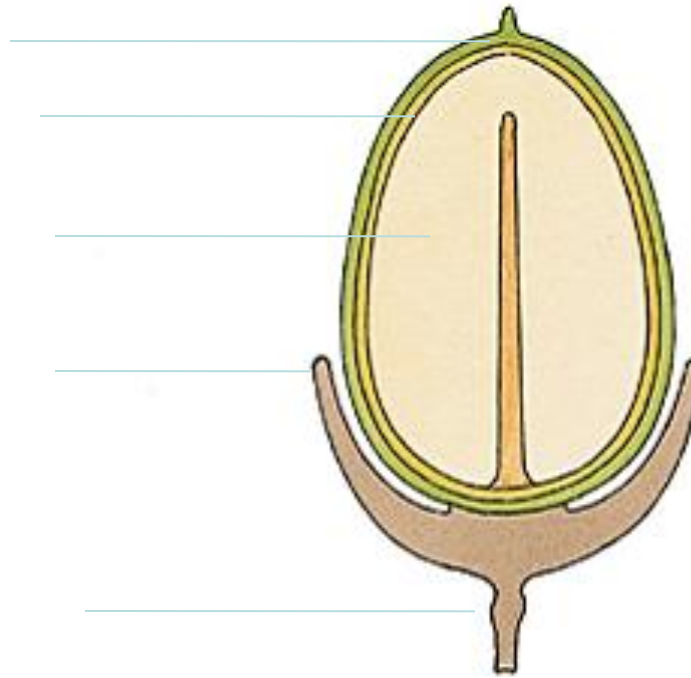
Enveloppe du fruit

tégument

cotylédon

cupule

pédoncule



Coupe du gland



Coupe de la graine ,**germination hypogée** du chêne (cotylédons restent sous terre)