

## PHYSIOLOGIE VEGETALE

### 2<sup>ème</sup> Partie : Développement

En dehors de la multiplication végétative, les étapes de la vie d'une plante à fleur sont la formation de la graine, la germination, le développement de l'appareil végétatif (racines, tiges et feuilles) et la croissance, suivis de la floraison, de la pollinisation et de la fructification.

#### 1. Formation de la graine

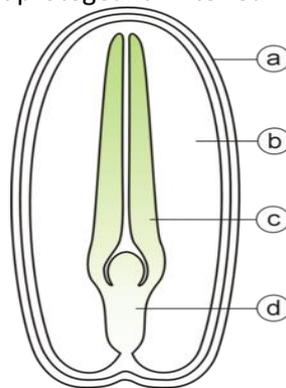
Dans le cycle de vie des « plantes à graines », appelées **spermatophytes**, la graine est la structure qui contient et protège l'embryon végétal. Elle est souvent contenue dans un fruit qui permet sa dispersion.

La graine permet ainsi à la plante d'échapper aux conditions d'un milieu devenu hostile soit en s'éloignant, soit en attendant le retour de circonstances favorables.

Elle a un rôle de protection du nouvel individu grâce à son enveloppe souvent durcie, et de nutrition grâce à des réserves de substances nourricières. Les graines ont en effet la propriété d'accumuler, sous une forme facile à conserver, des réserves destinées au développement futur de l'embryon.

La **graine**, organe végétal donnant naissance à une nouvelle **plante**, est constituée de trois structures :

- l'**embryon**, ébauche de la nouvelle plante ;
- les **tissus nourriciers**, stockant des nutriments pour le développement ultérieur de l'embryon ;
- les **téguments**, enveloppes, entourant et protégeant l'intérieur de la graine (embryon et tissus nourriciers).

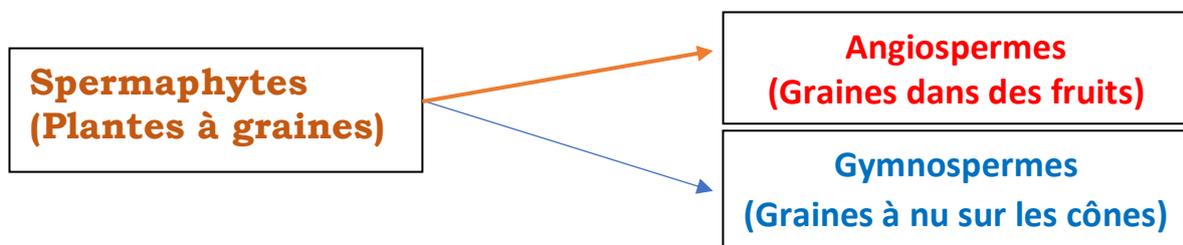


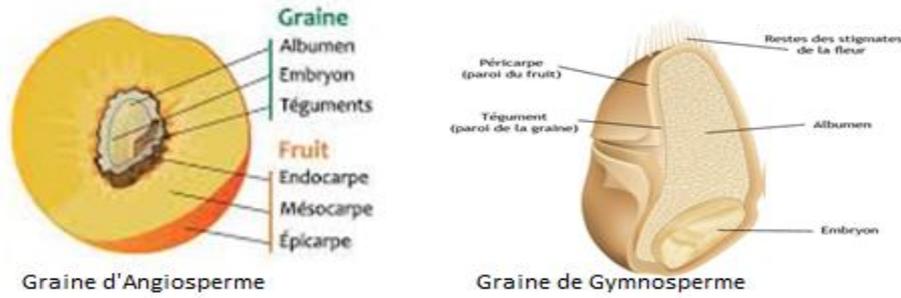
**Fig. 8 :** Structure schématique d'une graine

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

Les plantes à graines se répartissent en deux groupes : les angiospermes, ou plantes à fleur, et les gymnospermes.

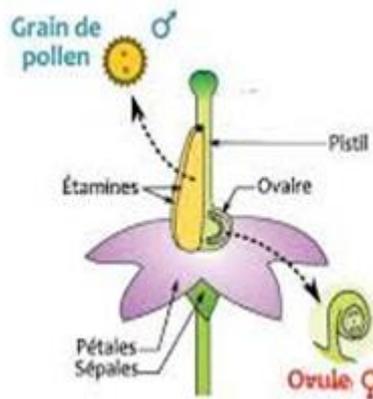
Chez les **angiospermes**, les ovules sont enclos dans un ovaire qui les protège. Chez les **gymnospermes**, les ovules, et les graines qui en résultent, sont à nu. Seules les angiospermes vont produire des fruits, qui sont issus du développement de l'ovaire.





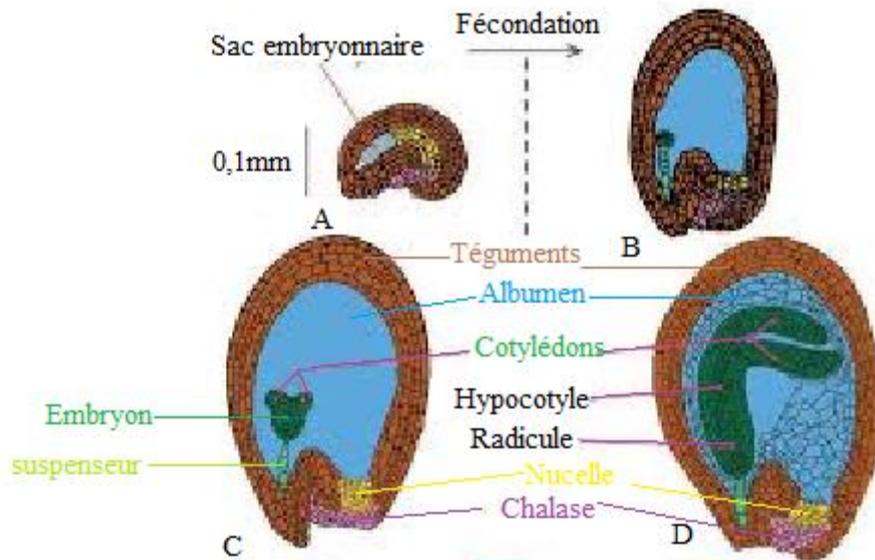
Les graines remplissent plusieurs fonctions pour les plantes qui les produisent. Parmi ces fonctions, la nutrition de l'embryon, la dispersion vers un nouvel emplacement et la dormance dans des conditions défavorables sont essentielles. Les graines sont fondamentalement des moyens de reproduction, et la plupart des graines sont le produit de la reproduction sexuelle qui produit un mélange du matériel génétique et de la variabilité phénotypique sur laquelle agit la sélection naturelle.

La fécondation d'un ovule végétal par un grain de pollen produit une nouvelle graine, initialement immature. Cette petite graine fragile va se développer pour devenir une graine mature, beaucoup plus résistante aux contraintes imposées par son environnement. Elle va aussi tout mettre en œuvre pour que l'embryon qu'elle contient puisse grandir de manière optimale au moment où elle germera.



**Fig. 8 :** Anatomie d'une fleur de solanacée.

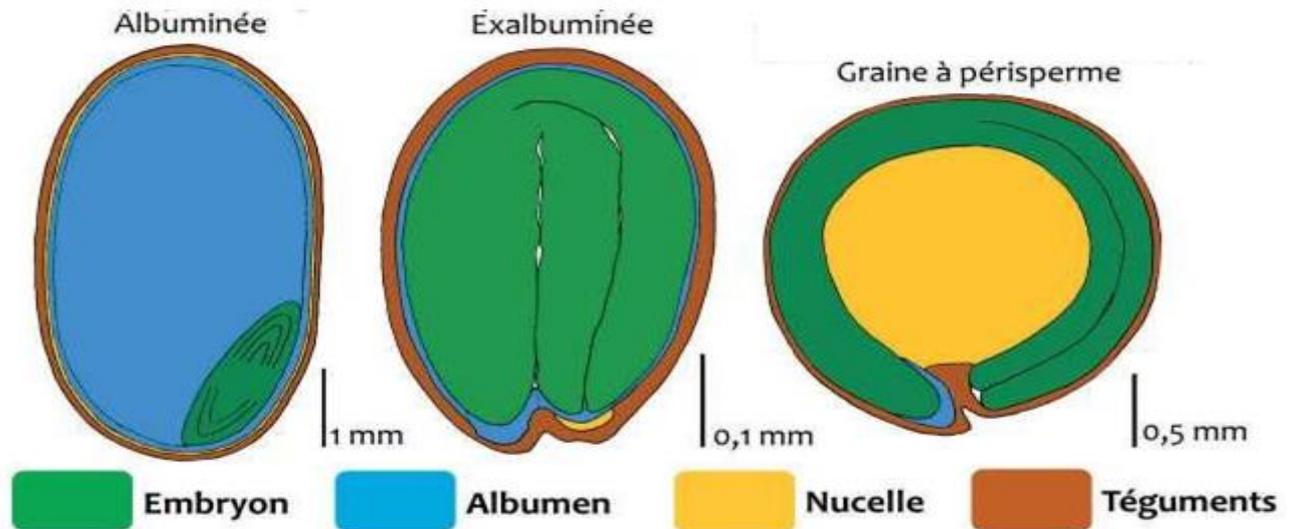
Chez les angiospermes, la fécondation entraîne le développement de l'embryon (le bébé-plante) et de l'albumen. L'albumen est un tissu transitoire qui, lorsqu'il n'est pas digéré par les autres tissus, accumule des réserves nutritives. L'embryon développe un suspenseur, qui lui permet de s'ancrer dans la graine, et se divise en de nombreuses cellules. Il produit peu à peu les ébauches des organes de la future plante adulte (cotylédons, hypocotyle et radicule). Parallèlement, l'albumen se développe et occupe de plus en plus d'espace.



**Fig. 9 :** La fécondation chez les angiospermes

On distingue trois types de graines d'angiospermes en fonction de la structure stockant les réserves. Si les réserves sont accumulées dans :

- l'albumen, la graine est dite albuminée (blé, riz, maïs, café, tomate, ...);
- les cotylédons de l'embryon, elle est dite exalbuminée (pois, haricot, soja, ...);
- le nucelle, un tissu de la plante mère, il s'agit d'une graine à périsperme (poivre, ...).



**Fig. 10 :** Trois types de graines d'angiospermes

Après la fécondation, les téguments se développent, se rigidifient et protègent l'intérieur de la graine mécaniquement et chimiquement, en produisant notamment des flavonoïdes. Ils constituent parfois un espace de transit des nutriments vers l'embryon ou l'albumen.

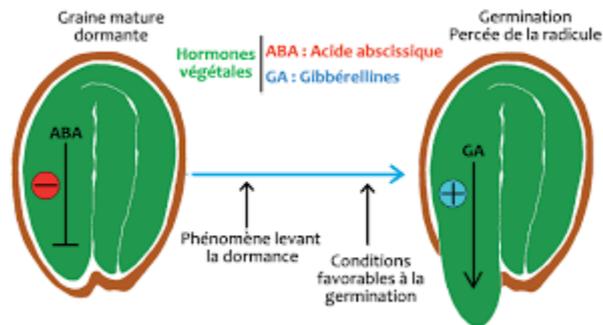
## 2. Germination

Alors que la graine termine son développement et arrive à maturité, elle contient de moins en moins d'eau et d'oxygène. Son métabolisme s'arrête alors presque totalement : la graine entre dans un état dormant. Le développement de l'embryon est suspendu et ne reprendra que lorsque les conditions extérieures seront jugées adéquates par la graine.

Les exigences en humidité, température ou luminosité pour la germination varient selon l'espèce. Pour autant, de bonnes conditions extérieures ne sont souvent pas suffisantes. Il faut d'abord passer une première barrière physiologique : **la dormance**.

**La dormance** est un phénomène très répandu dans la nature mais difficile à définir avec précision. Si, en conditions adéquates de germination, une semence ne germe pas, elle est soit morte soit dormante. La semence est dite dormante si, après un traitement qui lève la dormance, la germination a lieu. Si la germination n'a pas lieu, on dira que la semence est morte. La mort d'une semence résulte du fait que son embryon est détérioré par un choc mécanique, thermique ou autre.

La germination traduit le fait que lorsqu'une semence viable est placée dans des conditions adéquates de lumière, de température, d'oxygène et d'humidité, elle donne lieu à une plantule qui émerge de la surface du sol.



**Fig.11** : La germination d'une graine

Pour la plupart des espèces cultivées et adventices qui se propagent par des graines. 7 à 30 jours après la germination, l'embryon puis la plantule sont entièrement dépendants, sauf pour l'eau, de la réserve d'éléments nutritifs stockés dans la semence (amidon, lipides, protéines et acides aminés, minéraux essentiels, etc.). Bien que toutes les semences contiennent des réserves, il existe une grande diversité d'organes de stockage : cotylédons dans le cas des légumineuses, endosperme dans le cas des céréales.

**Les principales étapes de la germination sont les suivantes :**

- imbibition ;
- gonflement de la semence ;
- accroissement des activités métaboliques ;
- croissance de l'embryon ;
- émergence des plantules.



**Fig.12** : Les étapes successives de germination d'une graine de pois

Il existe une grande variabilité de la **faculté germinative** (pouvoir germinatif) des semences. Le pouvoir germinatif est défini en % par le nombre de graines qui germent après une durée déterminée (En général 7 jours pour beaucoup d'espèces). Les différences de la faculté germinative sont liées aux différences d'énergie germinative, de maturité physiologique et de conditions de récolte et de conservation des semences.

Les processus métaboliques accompagnant la germination sont marqués par une activité enzymatique, respiratoire et hormonale accrue. Cette activité permet l'hydrolyse de l'amidon, des lipides et des protéides en substances directement assimilables par l'embryon, comme les sucres, les acides gras et les acides aminés.

Différents types d'**hormones**, sont fabriquées par l'embryon, qui sont transloquées dans l'endosperme ou dans les cotylédons et qui jouent un rôle déterminant dans l'hydrolyse des réserves. Par exemple le rôle que joue l'acide gibbérellique (GA) dans la stimulation de l'activité CC-amylase est bien connu chez les céréales et les légumineuses. L'activité hormonale peut entraîner la production de substances promotrices ou inhibitrices de la germination.

Les phytohormones ou hormones végétales sont des substances organiques, de poids moléculaire moyen, diffusibles et cristallisables. Produites par certaines cellules, elles sont généralement transportées à quelque distance de leur lieu de formation et règlent un processus physiologique spécifique.

**Les auxines** contrôlent la croissance des plantes, **les gibbérellines** se révèlent être des régulateurs naturels de croissance.

Aux auxines et aux gibbérellines, il faut ajouter actuellement **les cytokinines**, **l'acide abscissique** et une substance dont le mode d'action se rapproche de celui des hormones, **l'éthylène**. Par ailleurs, d'autres substances sont encore hypothétiques, par exemple l'hormone de floraison ou **florigène** et l'hormone de blessure. Et l'on peut encore supposer l'existence de phytohormones de nature inconnue qui expliqueraient certaines réactions.

### 3. Croissance

La **croissance végétale**, d'une plante est l'ensemble des changements quantitatifs irréversibles de la plante qui se produisent au cours du temps.

La croissance est l'augmentation continue de toutes les dimensions de la plante : longueur, largeur, diamètre, surface, volume et masse. Cette augmentation est mesurable dans le temps. La croissance d'une plante entière fait intervenir en fait deux phénomènes concomitants :

- la croissance en dimension de chacun des organes après leur initiation : c'est la croissance au sens strict ;
- la multiplication du nombre de ces organes : c'est la liaison avec le développement.

L'élaboration de la structure d'une plante, représentée par ses parties aérienne et racinaire, dépend du développement successif de ses différents organes et de l'accumulation de la matière sèche dans chacun de ces organes.

On parle de **différenciation** quand la part prise par les modifications qualitatives va prédominer : c'est l'acquisition de propriétés morphologiques et fonctionnelles. Chez les organismes pluricellulaires, la croissance est obtenue non seulement par le grandissement des jeunes cellules, mais aussi par l'augmentation de leur nombre ; ce qui suppose que le développement de l'organisme ou d'un de ses organes, implique trois processus dans l'ordre de leur mise en œuvre : La **mérèse**, l'**auxèse** et la **différenciation**.

- **La mérése** : C'est une prolifération cellulaire qui consiste en une succession de divisions cellulaires intenses ou mitoses, qui s'opèrent dans des régions localisées : les méristèmes.

- **L'auxèse** : C'est une augmentation des dimensions des cellules. Elle peut être

- Isodiamétrique : précise une croissance à diamètres égaux quelque soit la forme (circulaire, carrée ou rectangulaire), exemple du parenchyme de la feuille, de l'écorce ou des organes de réserve.
- Longitudinale (élongation) : cas le plus général.
- Radiale : croissance en épaisseur. Ce phénomène présente chez les végétaux des caractères particuliers du fait de la présence de la paroi pectocellulosique.

- **La différenciation** : C'est le processus qui permet aux cellules d'acquérir des caractères morphologiques particuliers, différents suivant les tissus. Elle porte sur :

- La structure de la paroi (dépôt de cellulose, de lignine et de subérine)
- Sur le pouvoir de synthèse (tissus assimilateurs, sécréteurs et de réserve).
- Sur l'acquisition de potentialités physiologiques nouvelles telles que le virage floral (la mise à fleur). On peut faire assimiler ce phénomène de différenciation à la morphogenèse qui est l'élaboration de nouvelles

structures laquelle s'exprime au niveau des tissus, c'est l'**Histogenèse**, ou au niveau des organes, c'est l'**Organogenèse** qui comprend la **Rhizogenèse** (Racines) et la **Caulogenèse** (Tiges).

#### 4. Floraison

La **floraison** se définit comme un changement d'état de la plante d'un état végétatif à un état reproducteur. L'état végétatif correspond à une vie asexuée où la plante est constituée de racines/tiges/feuilles. L'état reproducteur correspond à une vie sexuée où il y a émission de graines. Il y a ainsi une apparition d'inflorescences et de fleurs. La floraison est un changement fondamental dans le programme de développement de la plante. Des mécanismes sont responsables du contrôle de la floraison afin que les fleurs soient émises au bon moment. Dans une population de plantes de même espèce, toutes fleurissent en même temps. Ce mécanisme est dû à des influences des paramètres environnementaux et à des propriétés génétiques qui favorisent la reproduction allogame (fécondation croisée entre deux individus distincts).

##### a) l'induction florale :

C'est l'étape initiale. La décision de fleurir est prise par certains organes que sont les feuille. L'induction florale va aboutir à l'émission d'un signal transporté par le phloème vers le méristème. Cette étape préparatoire à la floraison est plus ou moins longue. C'est également un changement de mode développement d'une croissance indéterminée à une croissance déterminée (formation fleurs).

Elle a lieu sous un contrôle multifactoriel avec :

- des stimuli internes : capacité de la plante à fleurir !
- des stimuli externes: dépendent de la localisation géographique: caractéristiques saisonnières/climatiques !

Si les stimuli appliqués sont insuffisants, on peut avoir un arrêt de la floraison. Au contraire, si le processus arrive à terme, l'induction florale émet un signal de floraison appelé florigène. !

##### b) l'évocation florale :

Dès cette étape, la mise en route du programme de floraison induit des changements visibles dans la plante. Il y a une réorganisation du MAC d'un état végétatif à un état reproducteur. Le méristème modifie son activité :

- il s'agrandit et s'arrondit ;
- la zone axiale devient active : elle contient 3 couches qui donnent les différents organes de la fleur ;
- le méristème médullaire devient inactif : les cellules du méristème médullaire cessent leur activité de divisions. Cette étape conduit à :
  - une réorganisation de l'architecture de l'apex et de sa composition cellulaire ;
  - l'afflux de substrats (saccharose) et l'accélération du catabolisme énergétique ;
  - l'augmentation de l'activité mitotique dans les 3 assises cellulaires du manteau ;
  - l'induction de l'expression de gènes à l'origine de l'initiation florale.

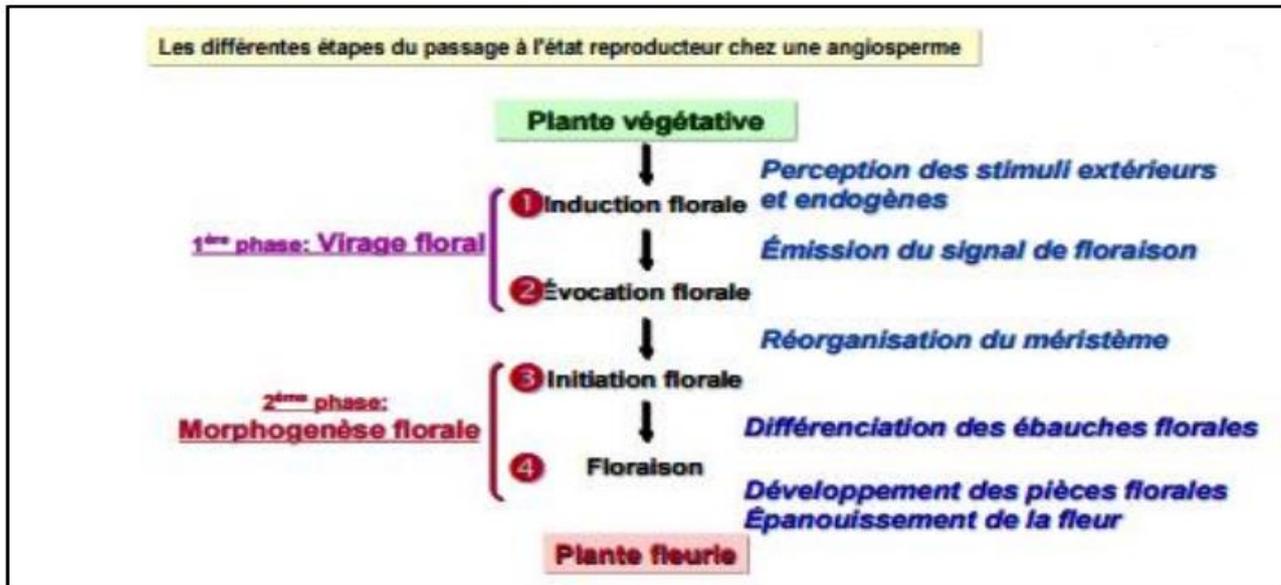
##### c) l'initiation florale :

Elle débute après la réorganisation du méristème végétatif en méristème préfloral ou inflorescentiel. Le diagramme floral grâce aux verticillés permet de déterminer les territoires des différentes structures de la fleur: sépales/pétales/étamines/carpelles.

##### d) la floraison :

Il s'agit de la formation de la fleur et de l'épanouissement des pièces florales : étamines/carpelles/ gamètes/coloration et ouverture des pétales.

La floraison des plantes est fortement reliées aux conditions environnementales et notamment le déroulement des saisons. Les conditions de température, de lumières et de certains stress, favoriseront ou défavoriseront la floraison.



## 5. Fructification

La **fructification** est le phénomène de transformation par **fécondation** des fleurs en fruits. Formation et production des fruits.

La **reproduction** sexuée concerne la majorité des **plantes** notamment à fleurs, et se fait par les graines. A l'origine, deux cellules sexuelles (mâle et femelle) produites par la **plante** "parent" fusionnent : c'est la **fécondation**, qui entraîne la transformation de la fleur en fruit contenant la graine.

### 5.1. Les deux modes de reproduction

A la différence des plantes sans fleurs, comme les algues, les fougères, les mousses et les champignons, qui ne possèdent ni pollen ni ovules ni graines et se reproduisent par des cellules uniques, les spores, dans la nature, de façon générale, les plantes à fleurs se distinguent en fonction de leur mode de reproduction qui est soit asexuée, soit sexuée.

#### 5.1.1. La reproduction asexuée

La reproduction asexuée correspond à une multiplication végétative, c'est-à-dire sans graines, mais permettant de faire naître des sujets exactement identiques génétiquement à la plante initiale.

Le bouturage, par exemple, par lequel on coupe un morceau de tige ou de rhizome, en fait partie, ou le marcottage aérien ou souterrain qui conduit au développement d'un bourgeon sur une portion de tige enracinée tout en étant encore sur la plante de départ. La production de stolons et de bulbes relève aussi de la reproduction asexuée.

#### 5.1.2. La reproduction sexuée

La reproduction sexuée concerne la majorité des plantes notamment à fleurs, et se fait par les graines. A l'origine, deux cellules sexuelles (mâle et femelle) produites par la plante "parent" fusionnent : c'est la fécondation, qui entraîne la transformation de la fleur en fruit contenant la graine. Celle-ci porte donc le patrimoine génétique des deux "parents".

### 5.2. La fécondation est nécessaire pour obtenir un fruit

Pour donner de nouvelles plantes, une plante a besoin de se reproduire, c'est pour cette raison que l'on dit que la **fécondation des plantes à fleurs est « sexuée »**. Dans le cas des fleurs hermaphrodites, la fécondation fait intervenir des organes mâles et femelles.

- **L'étamine**, qui est la partie mâle de la fleur, est autour du carpelle, c'est lui qui **contient le pollen** ;
- **Le pistil**, qui est la partie femelle de la fleur, est au centre et contient l'ensemble des carpelles (stigmate, style et ovaire) **fécondés par le pollen**.

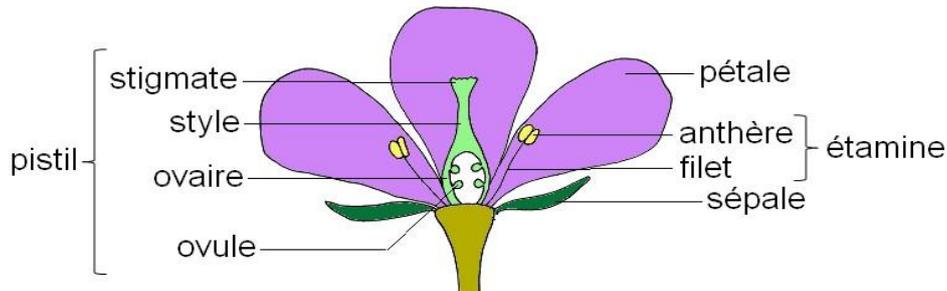


Fig : 13 : Fécondation

Il est nécessaire d'avoir deux fleurs pour qu'il y ait reproduction : la première jouera le rôle de mâle et la deuxième, le rôle de femelle. Notons qu'une même fleur peut jouer les deux rôles.

C'est à ce stade qu'interviennent les insectes butineurs, les « **pollinisateurs** ». Ces derniers, à l'instar des abeilles, vont **transporter le pollen d'une fleur à l'autre, en direction de son pistil** (qui contient les ovules de la fleur). Concrètement, c'est en se nourrissant du nectar des fleurs que les abeilles accrochent du pollen à leurs pattes et à leurs poils. Ainsi, en se déplaçant de fleur en fleur, les abeilles déposent le pollen sur le pistil, il y a donc fécondation. Le vent peut aussi jouer le rôle de pollinisateur et c'est surtout possible pour les plantes qui produisent beaucoup de pollen.

### 5.3. Après fécondation, le pistil se transforme en fruit

Lorsqu'ils sont fécondés par les grains de pollen, **les ovules contenus dans le pistil deviennent des graines** (qui servent à la reproduction de la plante, pour qu'un nouveau cycle commence) et **le pistil se transforme en fruit**. S'il n'y a pas fécondation (fleur ouverte avant maturité, par exemple), la fleur ne se transformera pas en fruit.

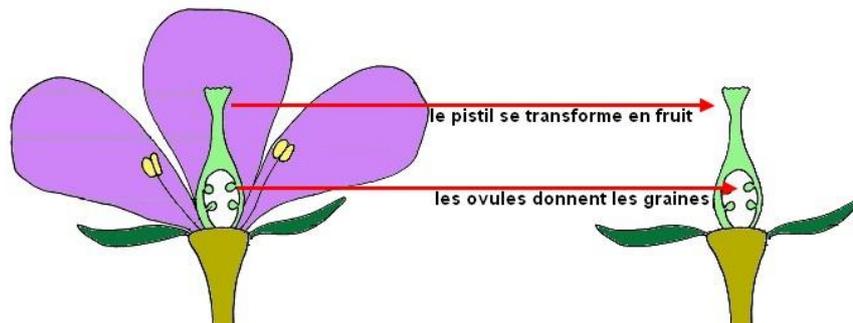


Fig. 14 : La fructification

### 5.4. Toutes les plantes à fleurs ne donnent pas de fruits

Il existe en réalité **3 types de fleurs** : **les fleurs hermaphrodites** (ou bisexuées, comme expliqué précédemment), **les fleurs mâles** (étamines sans ovaires) et **les fleurs femelles** (ovaires sans étamine ou avec étamines atrophiées). Ces différentes fleurs peuvent être sur la même plante (la plante est dite « monoïque ») ou sur des plantes différentes d'une même espèce (la plante est dite « dioïque », elle possède des plantes mâles et des plantes femelles).

Ainsi, les fleurs ne donnent pas de fruits dans les cas suivants :

- Les fleurs mâles d'une plante dioïque (les autres seront hermaphrodites) ;
- Le pollen n'a pas atteint le stigmate des fleurs femelles ;
- Le pollen est incompatible avec l'ovaire (espèces qui s'auto-pollinisent ou qui ont besoin du pollen d'autres plantes de la même espèce mais d'une variété compatible) ;
- Les conditions climatiques sont défavorables ;
- La plante régule le nombre de fruits qu'elle peut porter ;
- Etc.