

II. La reproduction sexuée chez les Angiospermes : formation d'individus génétiquement différents

II.A – La fleur, une structure spécialisée.

La reproduction sexuée nécessite la production et la rencontre de gamètes mâles et femelles. Chez les plantes, ces cellules sexuelles sont produites par des organes contenus dans les fleurs.

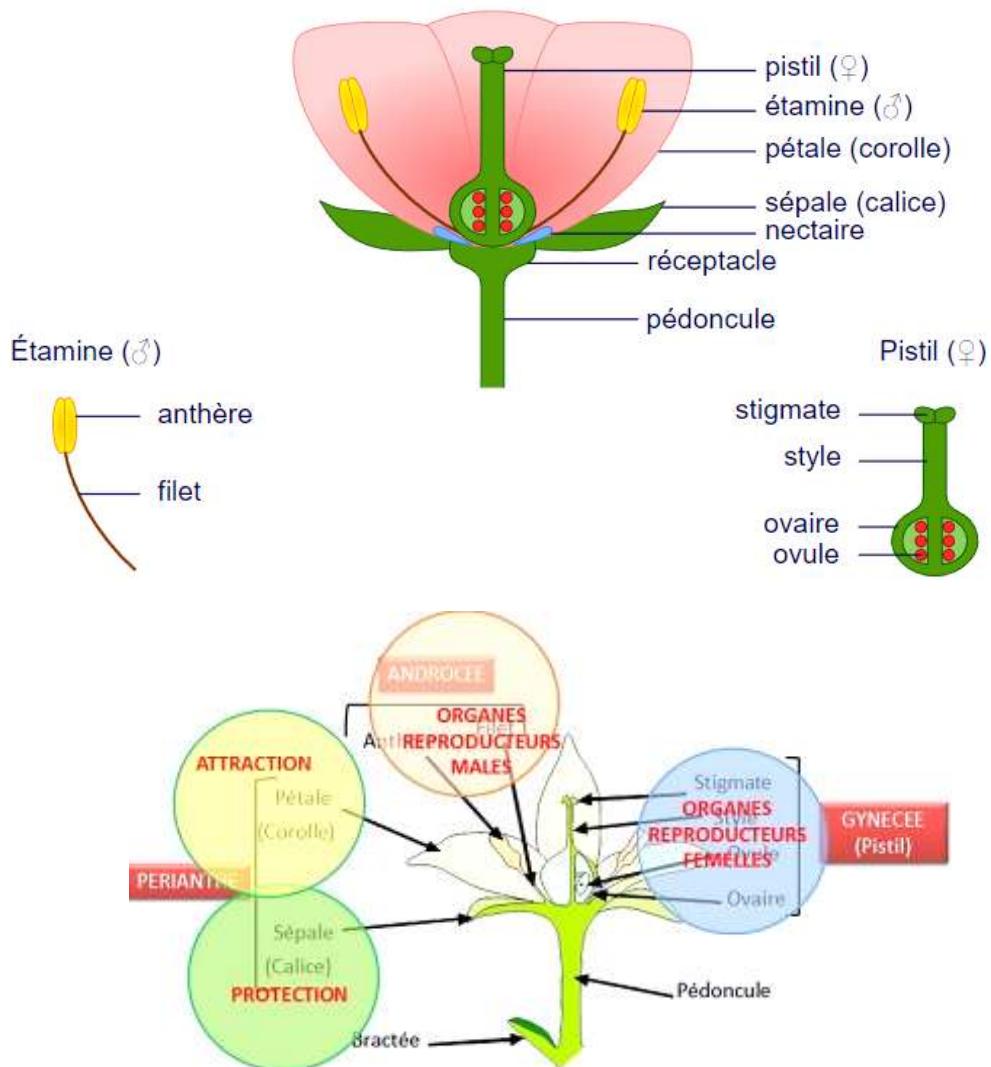
Problème : comment l'organisation de la fleur assure la reproduction sexuée ?

Fiche rappel cycle 4 – Les éléments anatomiques de la fleur

TP 1 – La fleur, produit de l'évolution

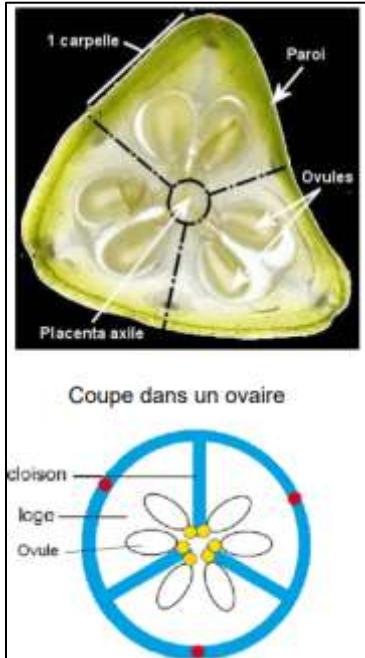
D'une grande variété de formes, de dimensions ou de couleurs, **les fleurs renferment les organes reproducteurs mâles et/ou femelles**. Elles comportent classiquement, de l'extérieur vers l'intérieur, des pièces florales organisées en cercles concentriques :

- Les **sépales** ; ils protègent les organes reproducteurs tant qu'ils sont immatures.
- Les **pétales**, de forme et de couleur très variées. Lorsqu'ils sont larges et vivement colorés, ils attirent les insectes pollinisateurs.
- Les **étamines (androcéé)**, pièces florales mâles formées d'une partie filamenteuse, le filet, supportant une partie renflée, l'anthere, contenant les grains de pollen (qui contiennent les gamètes mâles).
- Le **pistil (gynécée)**, pièce florale femelle constituée d'un ou plusieurs carpelles. Chaque carpelle comporte un stigmate, sur lequel peut se déposer le pollen, ainsi qu'une pièce intermédiaire, le style, et un ovaire creux renfermant les ovules, contenant les gamètes femelles.



De nombreuses fleurs sont **dites hermaphrodites**. Elles contiennent à la fois un appareil reproducteur mâle constitué par les étamines et un appareil reproducteur femelle, le pistil, constitué d'un ou plusieurs carpelles.

Il existe aussi des fleurs **unisexuées**, soit mâles, avec uniquement des étamines, soit femelles, avec des pistils (ex. : fleurs de Silène ci-dessous).



La reproduction sexuée nécessite l'apport de pollen sur le pistil : c'est ce que l'on nomme la **pollinisation**. Les étapes suivantes sont la **fécondation**, la formation des **semences (graines et fruits)** et leur **dissémination** dans le milieu.

Bilan II.A – La fleur, une structure spécialisée.

Chez les Angiospermes, la fleur est organisée en enveloppes concentriques avec des pièces stériles (**sépales et pétales**) et des pièces fertiles. Les pièces fertiles peuvent être

- présentes ensemble dans une fleur hermaphrodite (avec étamines et pistil) ou
- séparées dans des fleurs unisexuées : soit mâles (avec seulement des étamines), soit femelles (avec seulement un pistil).

Les grains de pollen, contenant les gamètes mâles, se forment par méiose dans les anthères, situées à l'extrémité des étamines.

Les ovules se forment par méiose dans les ovaires, à la base du pistil.

Pistil : pièce florale constituant l'organe reproducteur femelle.

Etamine : pièce florale constituant l'organe reproducteur mâle.

II.B – Le transport du pollen, étape nécessaire à la fécondation croisée.

Les Angiospermes pratiquent très peu l'autofécondation. La fécondation croisée est le mode de reproduction privilégié.

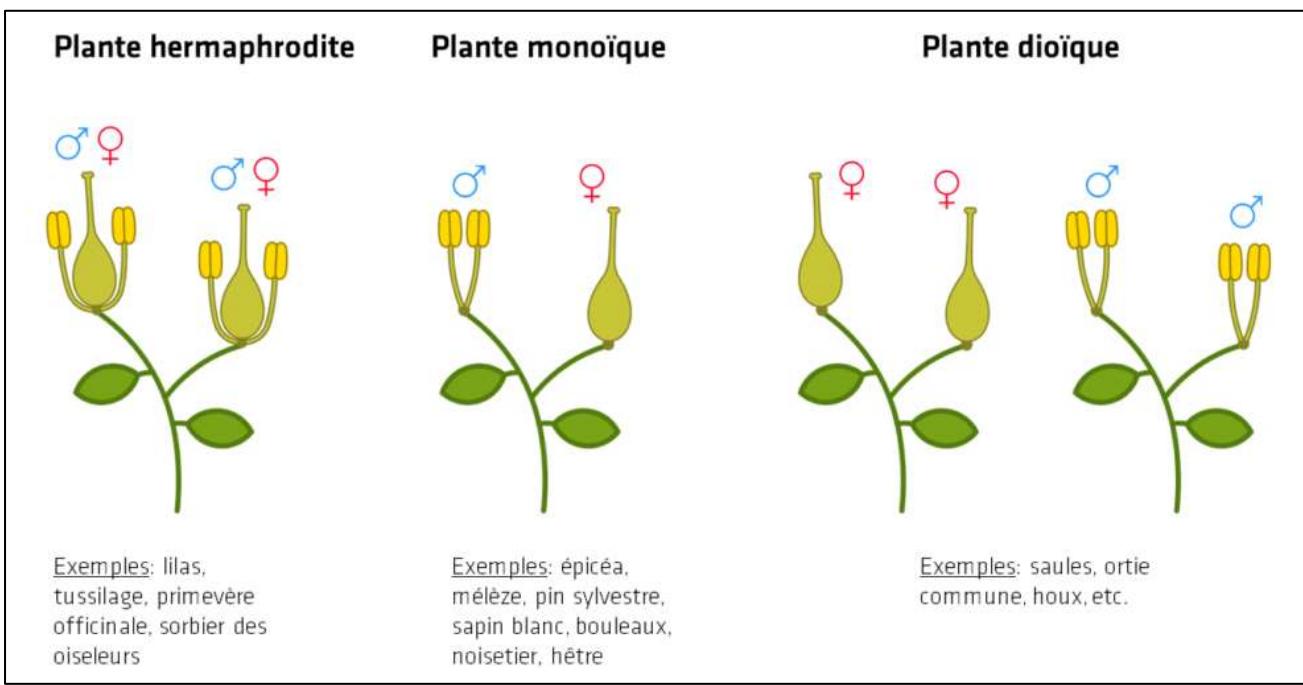
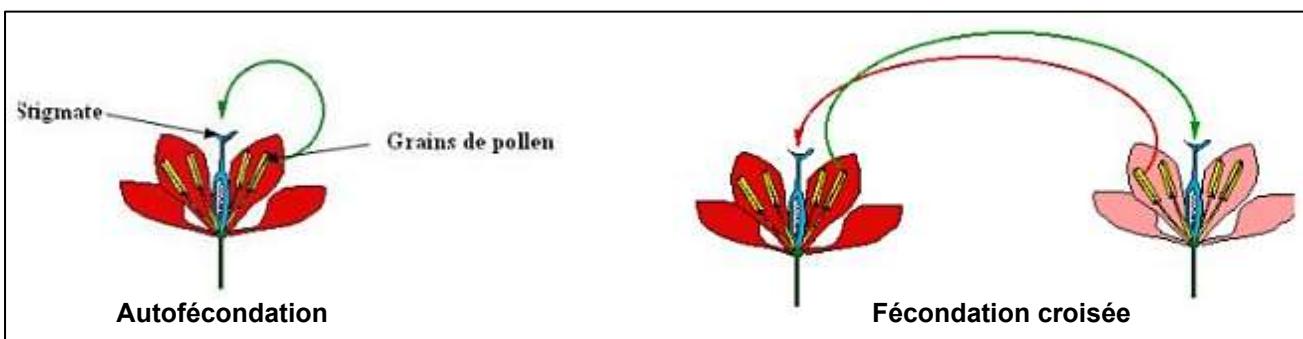
Problème : pourquoi la fécondation croisée est dans certains cas nécessaire et comment des plantes, organismes fixés, peuvent-elles se reproduire ainsi ?

Activité 2 – La fécondation croisée

Activité 3 – Transport du pollen et coévolution

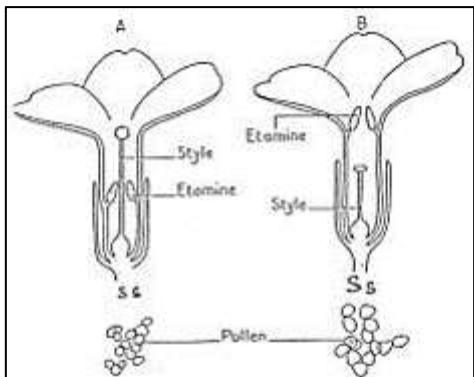
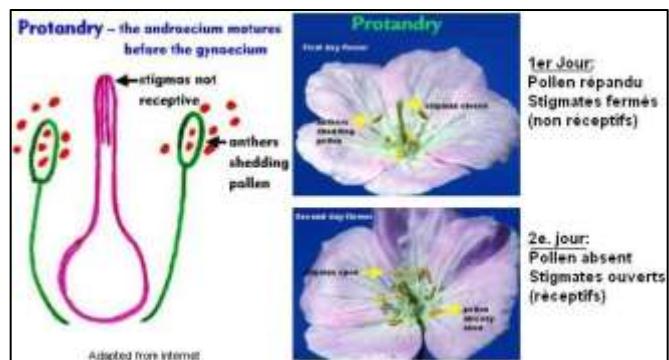
Les différentes modalités de fécondation

Quand la fleur est **hermaphrodite** ou quand la plante possède **des fleurs mâles et des fleurs femelles (plante monoïque)**, l'**autofécondation** est parfois possible. Cependant, la plupart des angiospermes ont recours à une **fécondation croisée** qui présente l'avantage de produire une **descendance génétiquement plus diversifiée**.



La fécondation croisée est favorisée par diverses adaptations

- Fleurs mâles et femelles sur des plantes différentes (espèces dioïque).
- Décalage temporel dans la maturation des gamètes mâles et femelles (confer ci-contre).
- Mécanismes d'auto incompatibilité ; exemple ci-dessous : fleurs de primevère.



Les primevères possèdent deux types de fleurs et deux types de grains de pollens :

- Fleur A : pistil avec style long et une grosse extrémité stigmatique, étamines situées en bas et produisant de petits grains de pollen sphérique.
 - Fleur B : pistil avec style court et extrémité stigmatique courte, étamines situées en haut et produisant de gros grains de pollen sphérique
- Ainsi, le pistil d'une fleur est adapté à recevoir le pollen d'une autre fleur.

Transport du pollen et coévolution

La fécondation croisée impose le transport du pollen.

- Certaines espèces sont pollinisées grâce au vent (anémogamie). Leurs fleurs présentent de nombreuses adaptations à ce mode de transport aléatoire :
 - Elles sont généralement discrètes, sans nectar ni odeur.
 - Elles présentent des étamines et des pistils longs, bien exposés au vent.
 - Elles produisent en abondance du pollen de petite taille, sans ornementation, avec parfois des structures portantes (ballonnets).



8 La pollinisation par le vent. Le pollen de nombreuses espèces est transporté par le vent. C'est le cas par exemple des céréales et du noisetier. Chez ce dernier, les fleurs mâles sont regroupées en chatons qui émettent, début mars, un pollen très abondant et fin (diamètre 20-25 µm). La fleur femelle, elle, se limite à des stigmates roses émergeant d'un bourgeon. Les feuilles apparaissent début avril le plus souvent.

- D'autres espèces sont pollinisées par des animaux (**zoogamie**) qui assurent un transport du pollen plus ciblé. Leurs fleurs présentent également de nombreuses adaptations à ce mode de transport :
- Elles sont généralement de grande taille et colorées.
- Elles possèdent souvent des étamines courtes et des stigmates massifs.
- Elles produisent de gros grains de pollen, souvent ornementés afin qu'ils se « collent » aux pollinisateur (exemple : grains de pollen de rose trémière ci-contre).



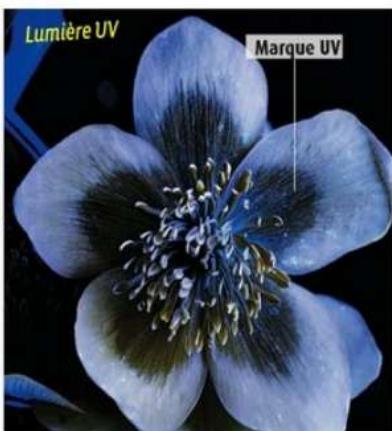
Grains de pollen de rose trémière (vus au MEB). L'enveloppe externe des grains de pollen des plantes entomogames est souvent richement ornementée. Le pollen est une source de protéines pour les abeilles, il entre dans la composition de la nourriture distribuée à la ruche.

Ainsi, au cours du temps, des relations étroites se sont construites entre les plantes et les animaux qui les pollinisent ou ceux qui dispersent leurs semences.

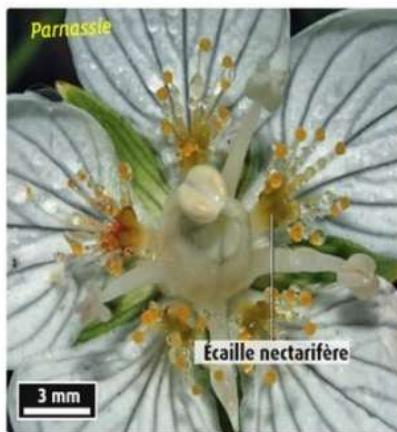
Les plantes ont développé des caractères attirant les animaux. Il peut s'agir :

- de signaux visuels (couleurs, formes) ;
- de signaux chimiques (odeurs, phéromones attractives) ;
- de signaux trophiques (nectar sucré, pollen).

Exemples :



1 Une fleur de caltha des marais observée en lumière visible et en lumière ultraviolette (UV). Certains insectes, comme les abeilles, perçoivent des radiations de l'ultraviolet proche, invisibles pour l'œil humain. De nombreuses fleurs de plantes entomogames présentent des sortes de « marques » visibles uniquement sous UV.



2 Fleur de parnassie des marais et fleur d'hélénore. De nombreuses plantes entomogames produisent du nectar. Ce dernier est localisé par exemple dans des écailles nectarifères ou dans des pièces florales spécialisées : les nectaires. Lorsqu'ils butinent, abeilles et autres insectes pollinisateur recherchent le nectar, qui constitue leur principale source de nourriture.

Parallèlement, les animaux pollinisateurs (surtout les insectes) ont développé des organes adaptés à la récolte du nectar et au transport du pollen

On parle donc de **coévolution** : les adaptations des deux espèces partenaires (plante et pollinisateur) s'influencent mutuellement. Chaque innovation chez l'une des deux espèces contribue à la sélection d'un nouveau caractère symétrique chez l'autre espèce.

Exemples :



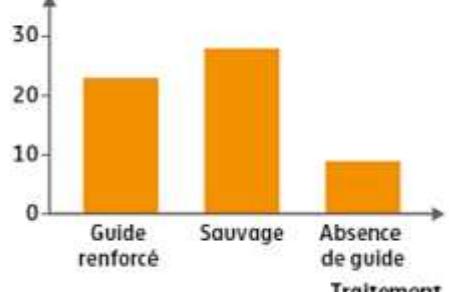
▲ Fleurs de populage vues en lumière naturelle (en haut) et en lumière U.V. (en bas). Des glandes à nectar sont présentes à la base des pétales.



▲ L'abeille européenne.

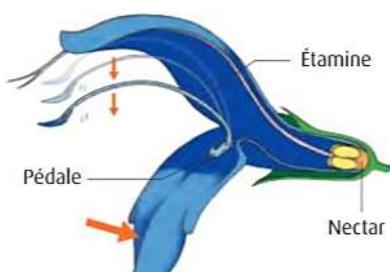


Nombre de visites



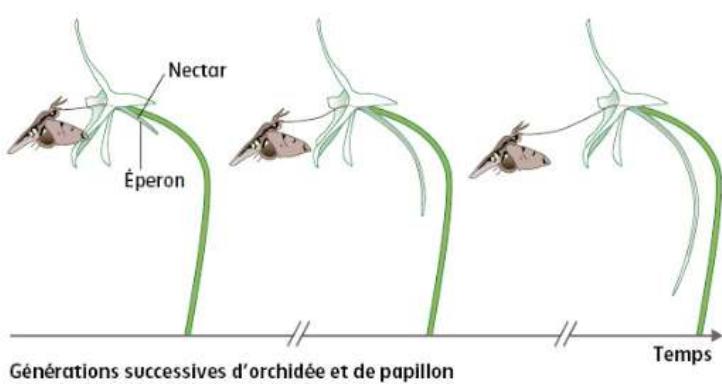
▲ Résultats d'une expérience sur les guides à insectes.

Dans l'expérience, les guides à insectes (régions des pétales qui réfléchissent les U.V.) de la fleur étudiée ont été modifiés et les visites des insectes ont été dénombrées.



5 Abeille sur une fleur de sauge et vue en coupe de la fleur. La fleur attire les polliniseurs par son odeur et ses couleurs. Elle possède une petite structure, surnommée « pédale », qui provoque le basculement des étamines. Le nectar, souvent disposé en fond de corolle, impose aux insectes d'avoir la taille requise pour y accéder, souvent en se couvrant de pollen. Le pollen de la sauge mesure 30 à 40 µm de diamètre et ne peut pas être emporté par le vent.

Orchidée comète de Madagascar et papillon sphinx



5 Coévolution entre l'orchidée Comète et le papillon sphinx de Madagascar.

La longueur de l'éperon à nectar de l'orchidée et celle de la trompe du papillon sphinx sont des caractères avantageux qui sont corrélés.

Baobab *Adansonia digitata* et chauve-souris
Eidolon helvum



Bilan II.B – Le transport du pollen, étape nécessaire à la fécondation croisée.

Bien que la plupart des fleurs soient hermaphrodites, l'autofécondation est souvent impossible et les plantes, du fait de leur immobilité, doivent recourir au transport de leur pollen afin de réaliser une fécondation croisée. La fécondation croisée favorise la diversité génétique.

Cette pollinisation peut être assurée par le vent (anémogamie/phylie) ou les animaux (zoogamie/phylie). Ces derniers sont attirés par divers signaux. La collaboration plante – pollinisateur qui se construit grâce aux influences réciproques entre les deux partenaires est le résultat d'une coévolution.

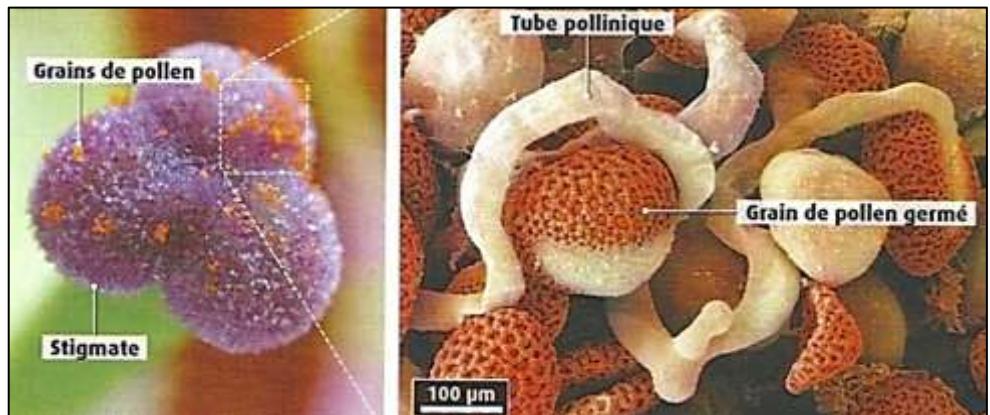
Coévolution : transformations qui se produisent au cours de l'évolution entre deux espèces à la suite de leurs influences réciproques.

Pollinisation : transport des grains de pollen depuis les étamines vers un pistil apte à être fécondé.

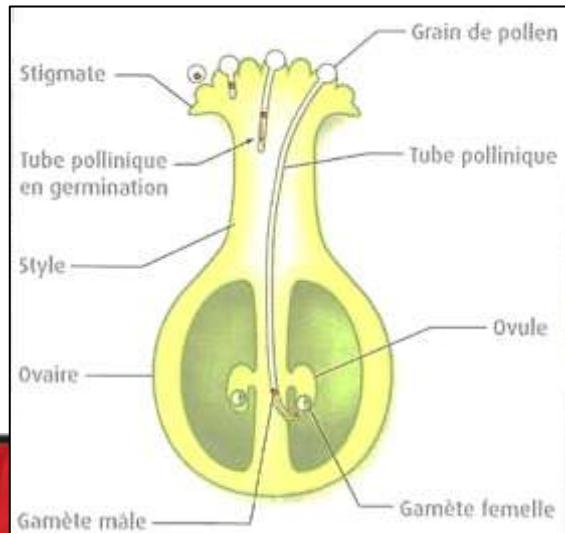
II. C – De la formation à la dissémination des semences.

1. La formation des graines et des fruits.

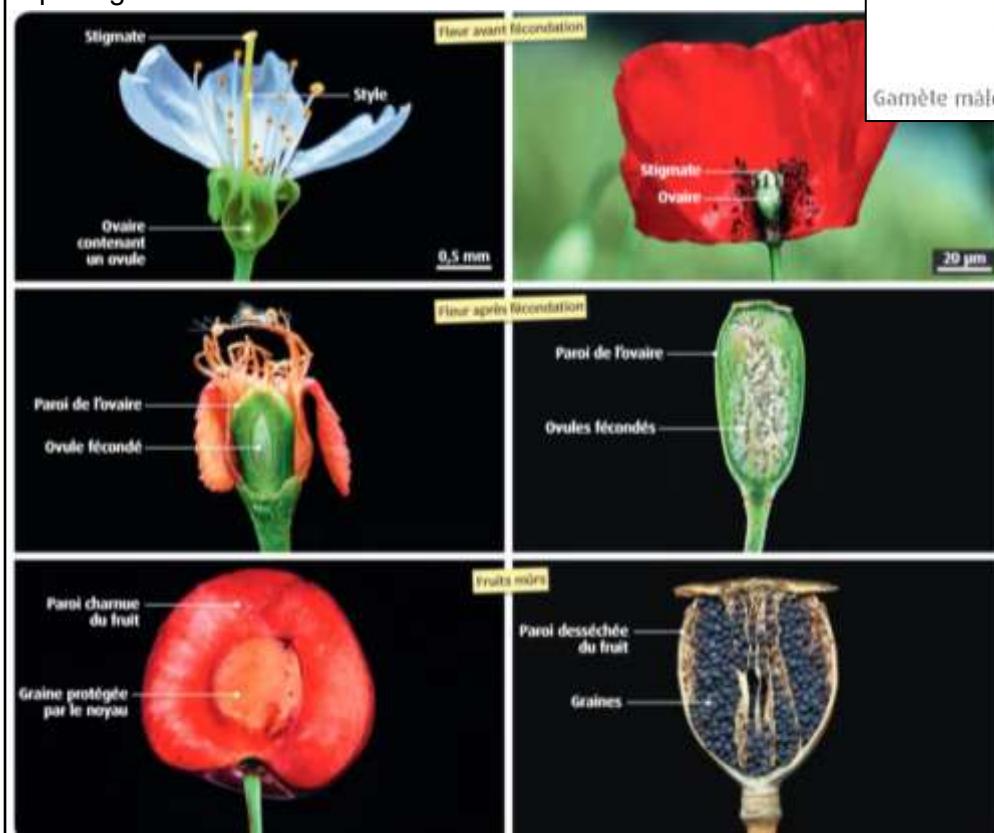
Une fois arrivé sur le stigmate du pistil, le grain de pollen germe ; il forme un tube pollinique qui pénètre dans le pistil. Les grains de pollen contiennent les gamètes mâles qui descendent dans les tubes polliniques.



Le tube pollinique s'allonge dans le pistil jusqu'à un ovule. Un gamète mâle va pouvoir féconder le gamète femelle (oosphère) contenu dans l'ovule :



Après fécondation les ovules se transforment en graines ; les pétales et les étamines fanent, et, le plus souvent, c'est l'ovaire qui engendre le fruit.



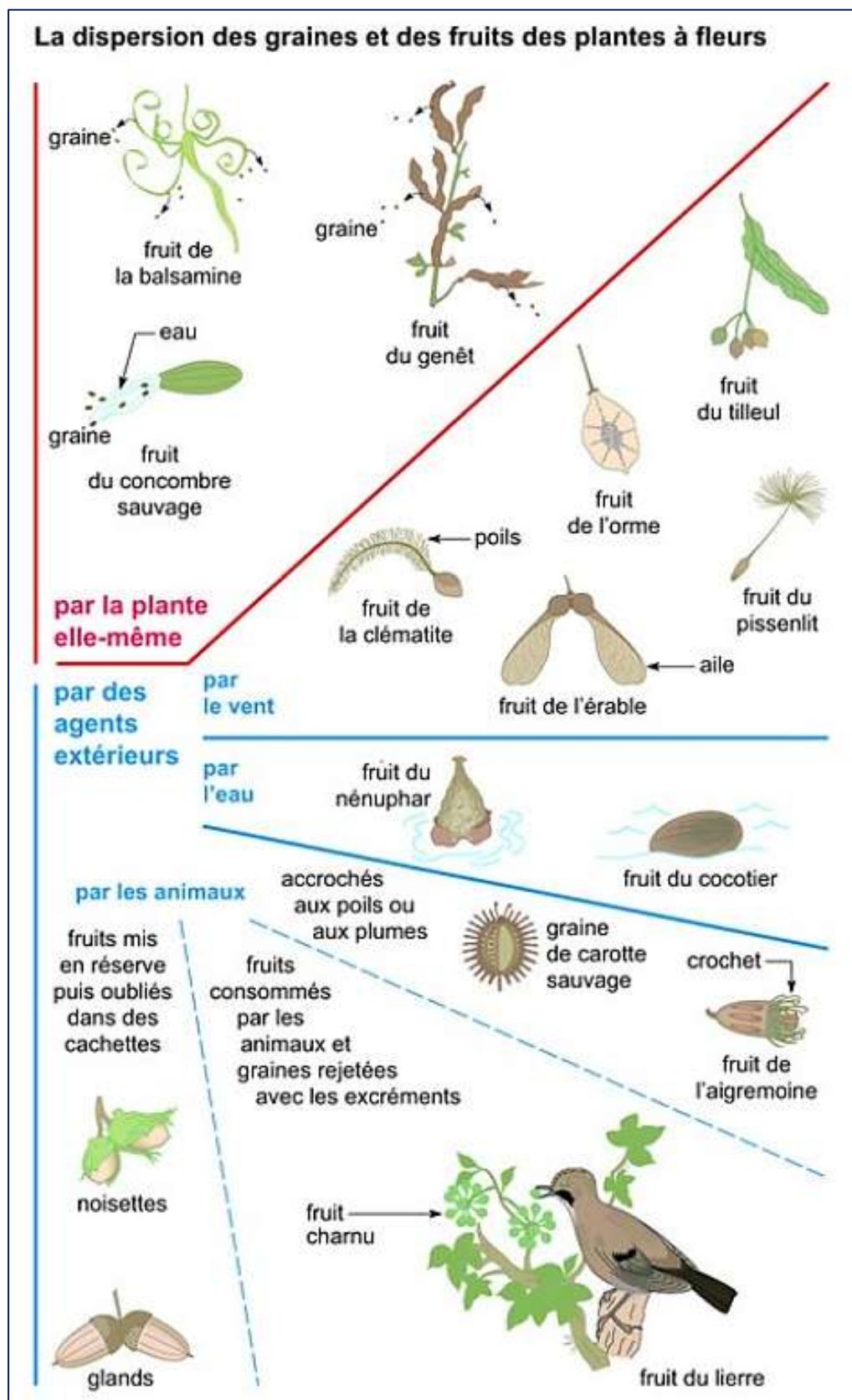
2. La dispersion des graines.

Après la fécondation, la fleur se modifie, l'ovaire se transforme en fruit et les ovules en graines, tandis que le reste de la fleur se fane. Afin d'optimiser les ressources du milieu et de permettre l'extension géographique des populations, les végétaux ont mis en place des dispositifs adaptatifs, produits de l'évolution (et souvent d'une coévolution) permettant la dispersion des graines ou des fruits qui les contiennent.

Problème : quels sont ces mécanismes adaptatifs ?

Activité 4

Afin de disperser leurs graines pour coloniser de nouveaux milieux, les plantes utilisent des **stratégies variées** :



- Certaines plantes comme la balsamine (ci-dessous) ont des fruits « explosifs » qui projettent les graines ([lien vidéo](#)).



- Beaucoup de plantes ont des semences légères et qui présentent des adaptations au transport par le vent ou par l'eau.



- De nombreuses plantes ont des fruits charnus, colorés, riches en sucre qui attirent les animaux. Ceux-ci relâchent les graines dans leurs excréments après digestion ou les oublient dans leurs cachettes comme l'écureuil pour les noisettes. le passage des graines dans le tube digestif des animaux conduit bien souvent à augmenter le pouvoir germinatif des graines.



Doc 3 : Les fruits du sorbier des oiseleurs, d'une belle couleur rouge, attirent de nombreux oiseaux (ici une grive). Les graines ne sont pas digérées, elles sont rejetées avec les fientes (excréments) de l'oiseau, parfois à des dizaines de kilomètres.

- D'autres plantes ont des semences qui s'accrochent aux poils ou aux plumes des animaux qui les disséminent.



Doc 4 : La dispersion des graines de la bardane. Les fruits de la petite bardane font de l'animal-stop, ici sur un cheval : ils sont munis de petits crochets qui leur permettent de s'accrocher dans les poils des animaux. Les graines qu'ils contiennent sont ainsi dispersées.

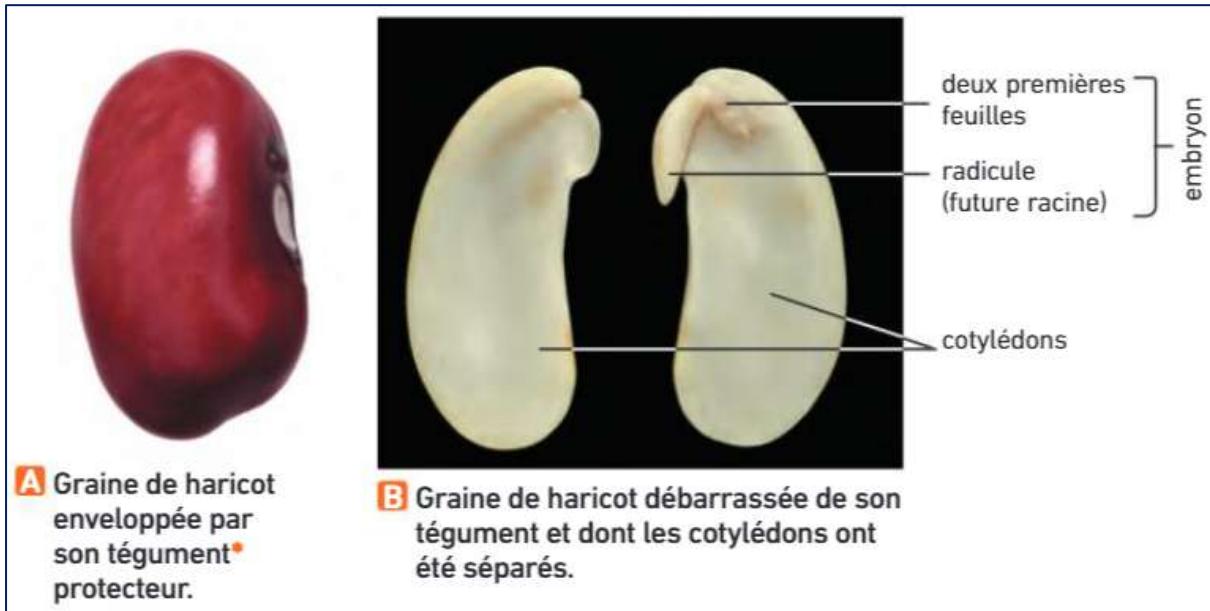
La dissémination des semences par un animal repose sur une interaction plante-animal à bénéfices réciproques : on parle de mutualisme. Cette collaboration entre la plante et son animal disséminateur peut aussi aboutir à une coévolution.

II. D – La germination des graines.

La formation des futurs embryons a lieu dans les carpelles des fleurs à la belle saison, mais ils devront survivre à l'hiver pour trouver de meilleures conditions au moment de germer.

Problème : quels structures et mécanismes permettent à l'embryon d'être protégé, puis nourri quand les conditions deviennent favorables à la germination ?

La graine : un embryon et des réserves

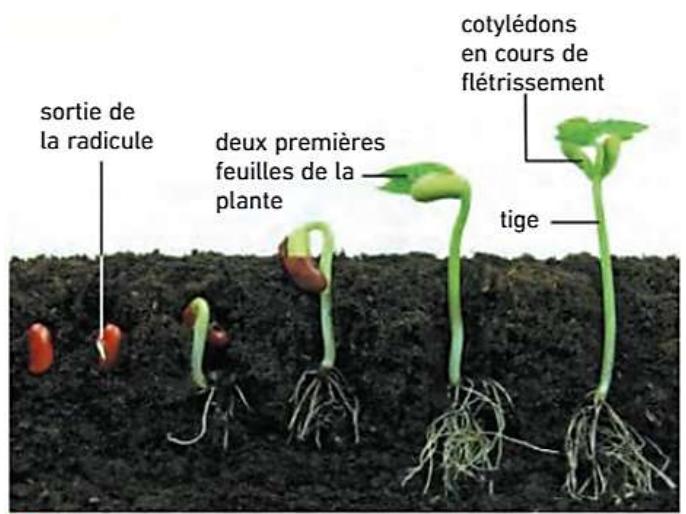


Chaque graine contient un **embryon** de très petite taille. Les premières phases de sa croissance lors de la germination dépendent entièrement des réserves de matières organiques (issues de la photosynthèse) préalablement stockées dans la graine, par exemple dans les **cotylédons**. Ces réserves sont de nature variable d'une espèce à l'autre.

La germination, une mobilisation des réserves de la graine

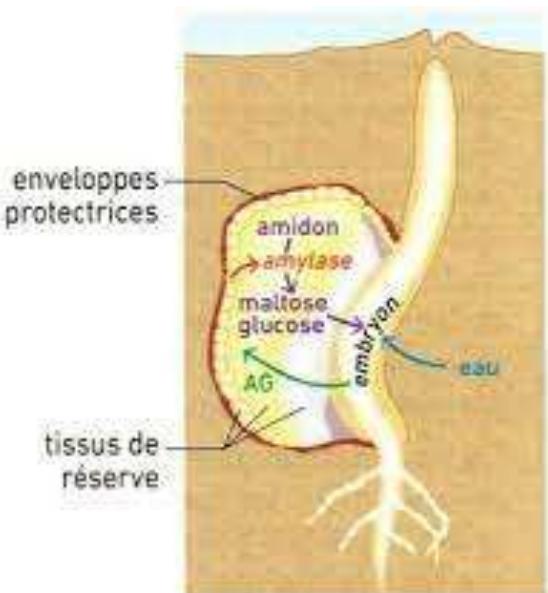
Les graines arrivées à maturité se déshydratent et entrent en vie ralenti. Elles peuvent pour la plupart attendre des années que toutes les conditions soient remplies pour la reprise de leur métabolisme. Certaines espèces ont besoin que leurs graines aient subi des conditions particulières, parfois extrêmes (exposition au froid ou à la chaleur, altération du tégument par les enzymes des animaux frugivores ou granivores...). Alors, si l'humidité et la température sont suffisantes, la graine peut germer : elle se réhydrate et reprend son activité métabolique en puisant dans ses réserves de matières organiques. L'embryon se développe : la radicule rompt le tégument et s'enfonce rapidement dans le sol. Une tige se dresse et expose rapidement les premières feuilles à la lumière solaire : une plantule est formée.

(lien vidéo : [la germination](#))



A Les différents stades de la germination d'une graine de haricot.

Des expériences permettent de mettre en évidence la mobilisation des réserves de la graine au cours de la germination (activité 5).



Mobilisation des réserves
dans un grain de maïs.
(AG : acide gibberellique)

Bilan II-D – La germination des graines

Structure

Toutes les graines possèdent un tégument protecteur et un embryon de plante, ou plantule, avec un cotylédon (par exemple, une graine de blé) ou deux (par exemple, une graine de haricot). Les cotylédons sont des feuilles embryonnaires primitives, peu différenciées.

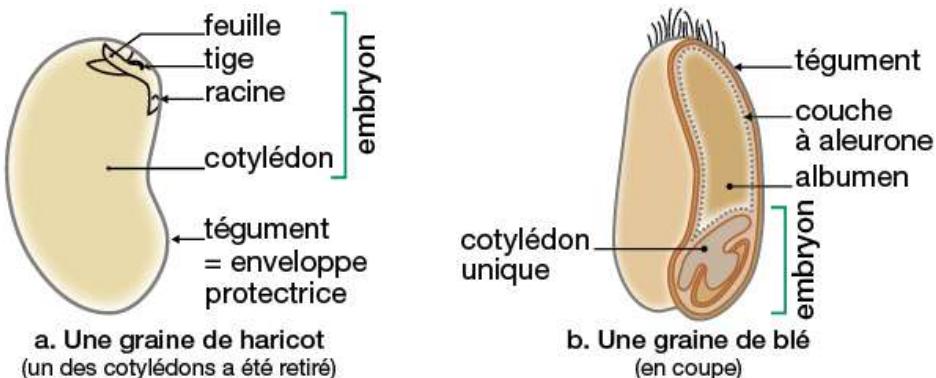


Figure 1. Schémas de coupes de graines

Réserves

Les graines contiennent des matières organiques de réserve :

- Dans les cotylédons (légumineuses),
- Dans l'albumen pour les céréales.

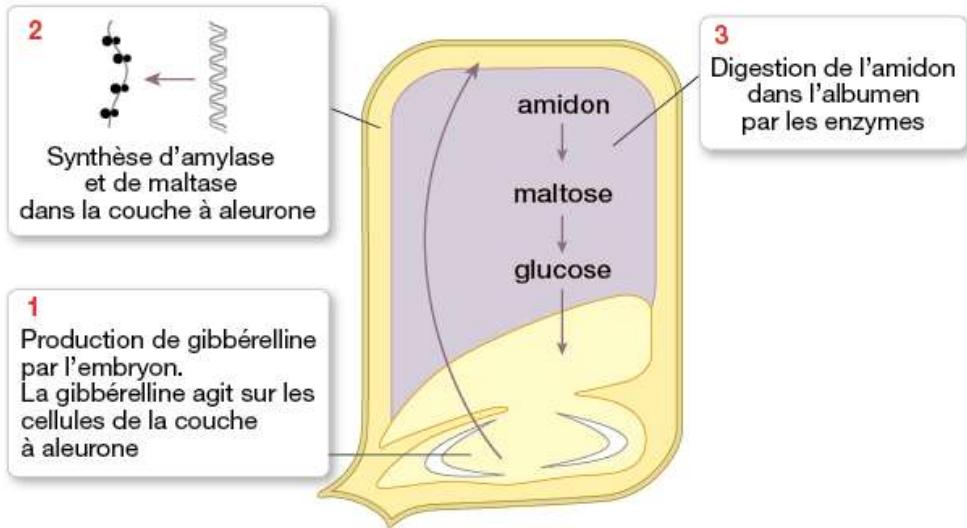
Les réserves sont principalement glucidiques, sous forme d'amidon. Dans les céréales, la périphérie de l'albumen forme la couche à aleurone, riche en protéines et enzymes nécessaires à la mobilisation des réserves.

Utilisation des réserves et germination

Au cours de la germination, après réhydratation de la graine, la plantule démarre son développement. Elle n'est pas chlorophyllienne et est donc hétérotrophe : pour que le système racinaire et la tige croissent, des matières organiques sont nécessaires. Elles proviennent des réserves d'amidon de l'albumen ou des cotylédons.

L'amidon est donc hydrolysé en sucres, maltose puis glucose, glucides solubles qui peuvent diffuser jusqu'à la plantule et servir à sa nutrition.

L'hydrolyse de l'amidon en glucose est catalysée par des enzymes, amylase et maltase, apparues au cours de la germination. Dans le cas des graines de céréales, amylase et maltase sont produites par la couche à aleurone de l'albumen. Les protéines des grains d'aleurone sont hydrolysées, ce qui libère des acides aminés nécessaires à la synthèse de ces enzymes. Ainsi, l'albumen fournit à la fois les réserves et les enzymes induisant leur hydrolyse, permettant l'apport à la plantule des nutriments organiques nécessaires à sa croissance.



Chez les céréales, l'embryon sécrète la gibbérelline, une hormone qui stimule l'expression des gènes codant pour l'amylase et la maltase dans l'aleurone.

La mobilisation des réserves se termine lorsque la plantule devient autotrophe, grâce à ses premières feuilles.

Graine : structure de dissémination, issue d'un ovule, contenant l'embryon, des réserves et un tégument protecteur.

Cotylédon : feuille embryonnaire contenant des réserves nutritives nécessaires au début du développement de la plantule, lors de la germination.

Tégument (botanique) : enveloppe protectrice qui recouvre une graine.