Document téléchargeable sur le site
https://www.svt-tanguy-jean.com/

Lycée Valentine LABBÉ
41 rue Paul DOUMER – BP 20226
59563 LA MADELEINE CEDEX
CLASSE PRÉPARATOIRE TB
(Technologie & Biologie)

ENSEIGNEMENT DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE (SVT)
°° SCIENCES DE LA VIE °°

Partie 3. Reproduction des individus et pérennité des populations
>> Cours <<

Chapitre 14 : proposition de fiche à compléter

La reproduction des Embryophytes : l'exemple des Angiospermes

Objectifs : extraits du programme

Connaissances clefs à construire	Commentaires, capacités exigibles
3.1 Reproduction des animaux et végétaux	
La reproduction sexuée des organismes s'inscrit dans un cycle de développement	- décrire les cycles de développement d'un Embryophyte et d'un Métazoaire - placer les phases haploïde et diploïde sur ces deux cycles - identifier les étapes de changement de phase (méiose et fécondation) sur ces cycles - positionner les étapes de formation des gamètes (des spores et des gamétophytes), à la fois dans l'organisme et dans le cycle de développement
Reproduction sexuée des Embryophytes Chez les Angiospermes, la pollinisation permet le rapprochement des cellules impliquées dans une double fécondation.	- décrire l'organisation de la fleur des Angiospermes et des gamétophytes en tant que structures reproductrices (un exemple) - identifier différents types de pollinisation et les caractères des fleurs et des grains de pollen associés
Après tri des tubes polliniques, la double fécondation conduit à l'évolution du sac embryonnaire en embryon, de l'ovule en graine et de la fleur en fruit.	- faire le lien entre les systèmes d'auto-incompatibilité et le brassage génétique lié à la reproduction sexuée **Lien** : 3.2 (chapitre 16. Aspects génétiques et chromosomiques de la reproduction) - exposer les modalités de la double fécondation - décrire les devenirs du sac embryonnaire fécondé, de l'ovule et de la fleur, sans connaître les mécanismes de ces évolutions - identifier les caractéristiques des fruits en lien avec les modalités de la dissémination - montrer que les modalités de reproduction sexuée des Angiospermes sont liées à leur mode et milieu de vie **Limites** : Les détails moléculaires des systèmes d'autoincompatibilité ne sont pas attendus.
Multiplication végétative naturelle chez les Angiospermes Certains organismes peuvent réaliser une reproduction asexuée.	- décrire quelques exemples de multiplication végétative chez les Angiospermes. - discuter l'intérêt cultural de la multiplication végétative.

Introduction

Embryophytes = Cormophytes = Archégoniates = Plantes terrestres :
Angiospermes :

Comment les Angiospermes parviennent-elles à produire une descendance, tant par reproduction asexuée que par reproduction sexuée ?

I. Les modalités de la reproduction sexuée

A. Une reproduction qui s'inscrit dans un cycle de développement digénétique haplodiplophasique

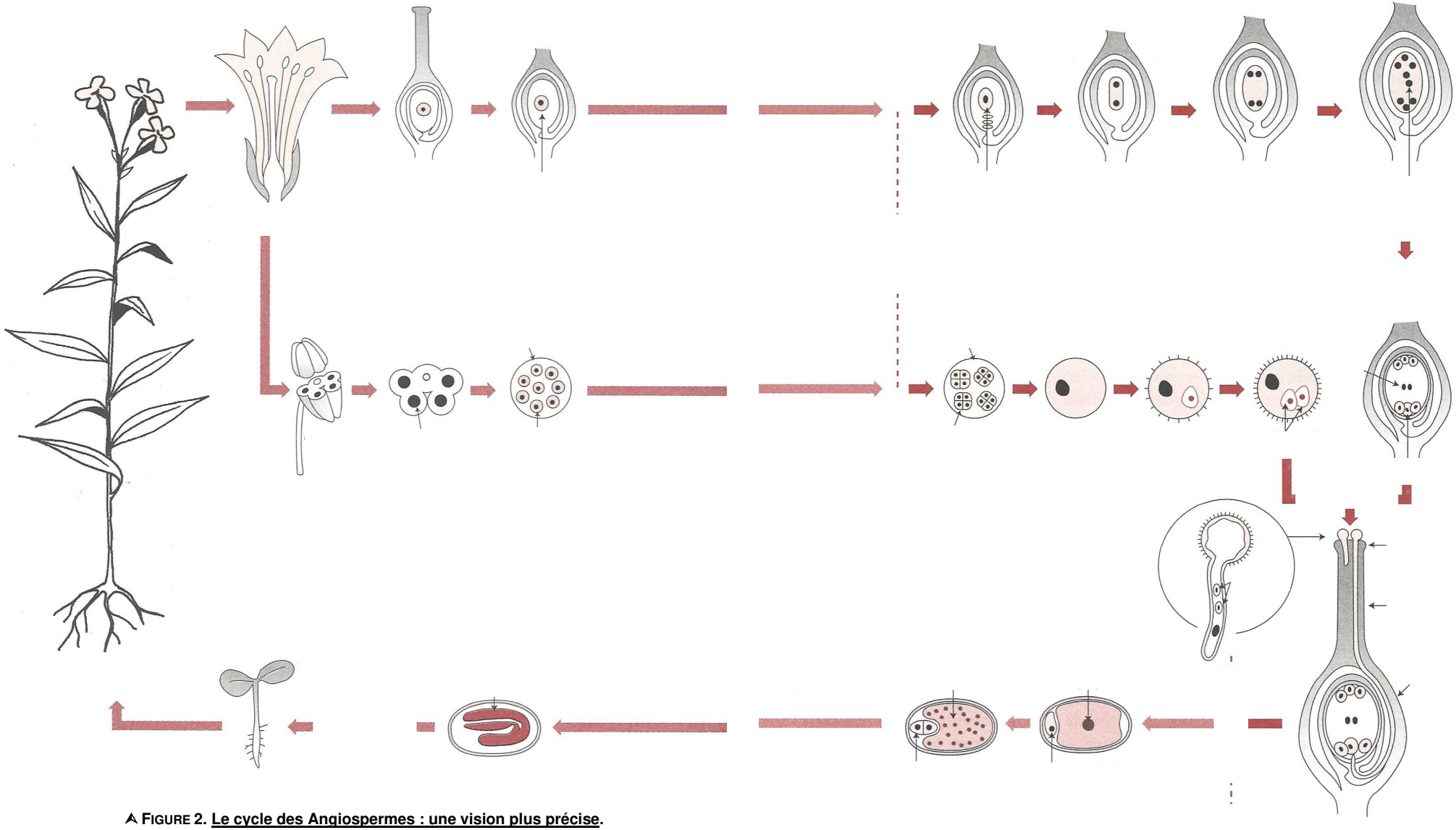


FIGURE 2. **Le cycle des Angiospermes : une vision plus précise.**
D'après KLEIMAN (2001), légèrement modifié.

Capacités exigibles	✓ **Décrire** les cycles de développement d'un[e] Embryophyte ✓ **Placer** les phases haploïde et diploïde sur [ce cycle] ✓ **Identifier** les étapes de changement de phase (méiose et fécondation) sur [ce cycle] ✓ **Positionner** les étapes de formation des gamètes (des spores et des gamétophytes), à la fois dans l'organisme et dans le cycle de développement

Cycle de vie = c. biologique = c. vital = c. de développement = c. de reproduction :

Phase :

>> ***Si la méiose est immédiatement suivie de la fécondation (sans mitoses)*** : **cycle diplophasique** (ou **diplobiontique**, ou **diploïde**). Cas des **Métazoaires**.
>> ***Si la fécondation est immédiatement suivie d'une méiose (le zygote la subit immédiatement)*** : **cycle haplophasique** (ou **haplobiontique**, ou **haploïde**). Cas de nombreux '**champignons**'.
>> **La plupart des cycles végétaux sont haplodiplophasiques** (**haplodiplobiontiques**). Cas de nombreuses 'algues' et des **Embryophytes**, dont les **Angiospermes**.

Génération :

Nombre de générations : 1 → cycle **monogénétique** ; 2 → c. **digénétique** ; 3 → c. **trigénétique**

Nom des **deux générations** chez les Embryophytes (dont **Angiospermes**) :
- ***génération haploïde*** :
- ***génération diploïde*** :

Nom des **gamétophytes** chez les Angiospermes :
- ***génération haploïde mâle des Angiospermes*** :
- ***génération haploïde femelle des Angiospermes*** :

Spore :

Nom des **spores** chez les Angiospermes :
- ***spore mâle des Angiospermes*** :
- ***spore femelle des Angiospermes*** :

Gamète :

Nom des **gamètes** chez les Angiospermes :
- ***gamète(s) mâle(s) des Angiospermes*** : **noyaux spermatiques**
- ***gamète femelle des Angiospermes*** :

FIGURE 3. Le cycle des Angiospermes : principe d'un cycle digénétique haplodiplophasique.
Génération haploïde = **gamétophyte** // ***génération diploïde*** = **sporophyte**

B. La fleur, les « spores » et les gamétophytes des Angiospermes

Capacité exigible	✓ **Décrire** l'organisation de la fleur des Angiospermes et des gamétophytes en tant que structures reproductrices (un exemple)

1. Une fleur typique : la fleur hermaphrodite

a. Une structure mise en place à partir d'un méristème floral

Floraison :

Évocation florale :

Induction florale :

Tous ces **aspects** sont abordés dans le **chapitre 12** (Les Angiospermes et le passage de la mauvaise saison).

b. Une structure s'organisant autour d'un plan typique comprenant des pièces stériles et des pièces fertiles

Fleurs :

FIGURE 4. Une fleur hermaphrodite syncarpe à carpelles soudés en ovaire unique.
D'après DUCREUX (2002), modifié.

FIGURE 6. Vue externe (à gauche) et en coupe transversale au niveau de l'anthère (à droite) d'une étamine. D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

FIGURE 7. Coupe transversale d'un ovaire de fleur syncarpe à 3 carpelles (Lis).
D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

- **Fleurs apocarpes** (= **cœnocarpes**) (= ***constituées de carpelles libres***) (figure 5)
- **Fleurs syncarpes** (***constituées de carpelles soudés ou d'un carpelle unique***.

2. Les variations de morphologie des fleurs

- **Fleurs actinomorphes** → ***symétrie axiale***
- **Fleurs zygomorphes** → ***symétrie bilatérale***
- Placentation
- ***Soudure*** (**gamo**-) / ***état libre*** (**dialy**-) des pièces…

3. L'existence de fleurs unisexuées chez les espèces monoïques et dioïques

FIGURE 8. Hermaphrodisme, monoécie, dioécie. D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

4. Des fleurs souvent groupées en inflorescences

Grappe **Cyme**

FIGURE 10 B et C. Types d'inflorescences. D'après MEYER *et al.* (2008).

Inflorescences :
- Grappes : Généralement : fleurs les plus anciennes en périphérie
- Cymes : Généralement : fleurs les plus anciennes au centre

5. La fleur, organe sporophytique où se forment les gamétophytes

a. Quelques rappels sur le cycle digénétique des Angiospermes et la notion de gamétophyte

b. La formation des « spores » des Angiospermes : notions de macro- et microsporogenèse

Spore (ici méiospore) : ***Formation*** : **sporogenèse**

Mâle : **microspore**
Femelle : **mégaspore = macrospore**

c. Les processus assurant la formation du grain de pollen, gamétophyte mâle

α. Un processus qui se déroule dans les étamines et accompagne leur maturation

Paroi de **l'anthère** :
-

-

-

-

Au **centre** de l'anthère :
tissu sporogène =

→ **cellules-mères de spores**

Maturation de **l'étamine** :
-

-

-

-

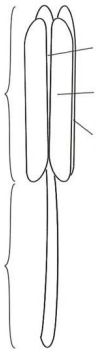


FIGURE 11. Une étamine jeune et mature (comparaison de demi-anthères).
D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

β. D'une cellule-mère de spore à quatre grains de pollen

FIGURE 13. Étapes de la formation d'un grain de pollen : une vision simplifiée.
D'après KLEIMAN (2001).

Deux cas de figures :

- Soit ***la structure obtenue EST le grain de pollen*** (c'est un **pollen bicellulé**). Dans ce cas, ***la seconde division de mitose (toujours à l'état haploïde) qui affecte le noyau végétatif et produit les deux noyaux spermatiques (= gamètes mâles) n'intervient que lorsque le tube pollinique commence à germer***, donc **après pollinisation**. C'est le cas le plus **fréquent**.
- Soit ***la structure obtenue subit immédiatement une seconde division de mitose (toujours à l'état haploïde) qui affecte le noyau génératif et produit les deux noyaux spermatiques (= gamètes mâles)***, donc ici **avant pollinisation**. C'est alors ce **pollen tricellulé** qui **subira la pollinisation**.

γ. Structure et organisation du grain de pollen

FIGURE 14. Structure du grain de pollen (cas d'un grain de pollen bicellulé).
D'après PEYCRU *et al.* (2010b). *Le manteau n'est pas représenté.*

δ. Quelques précisions sur la paroi du grain de pollen et l'origine de ses constituants

FIGURE 15. Les couches de la paroi du grain de pollen, leurs constituants et leur origine.
D'après KLEIMAN (2001). [*uniquement la partie simplifiée*]

d. Les processus assurant la formation du sac embryonnaire, gamétophyte femelle

α. Un processus qui a lieu dans les ovules

Ovule :
Micropyle :
Placenta : ***Lien ovule-placenta*** : **funicule**

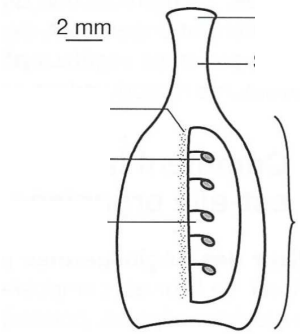


FIGURE 16. Localisation des ovules. D'après DENŒUD *et al.* (2011).

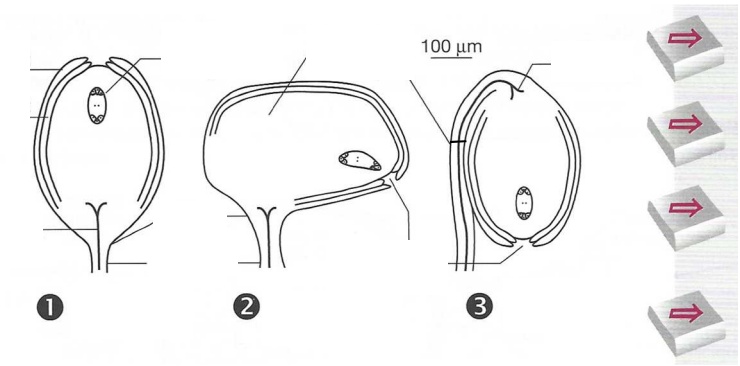


FIGURE 17. Diversité des ovules (et terminologie associée). D'après DENŒUD *et al.* (2011).

D'après MEYER *et al.* (2008)

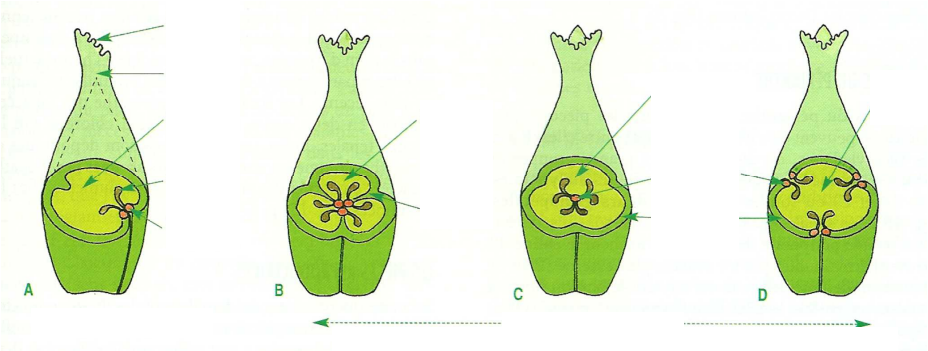


FIGURE 18. Types de placentation. D'après MORÈRE, PUJOL *et al.* (2013).

β. D'une cellule-mère de spore à un sac embryonnaire (un seul !)

FIGURE 20. Étapes de la formation d'un sac embryonnaire : une vision simplifiée.
D'après KLEIMAN (2001).

γ. Structure et organisation du sac embryonnaire

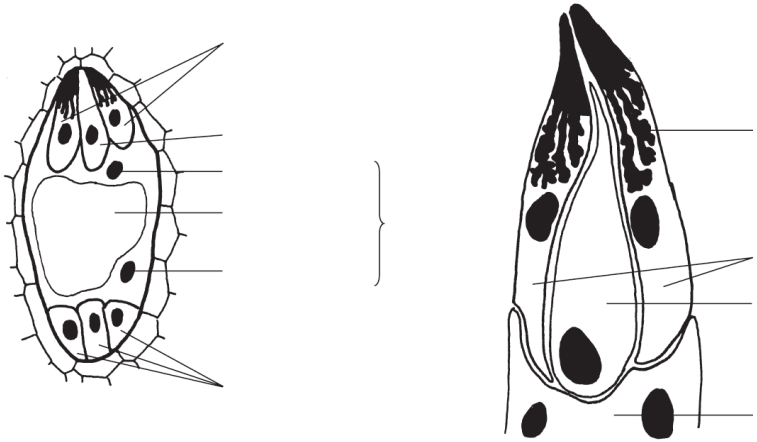


Schéma de sac embryonnaire de type polygonum.
Les 8 noyaux cellulaires haploïdes sont répartis dans 7 cellules ; la cellule centrale renferme 2 noyaux. Le pôle micropylaire comporte 3 cellules : 2 synergides et une oosphère.

FIGURE 21. Sac embryonnaire d'un *Polygonum*. D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

C. La rencontre des gamétophytes et la double fécondation chez les Angiospermes

Capacités exigibles	✓ **Identifier** différents types de pollinisation et les caractères des fleurs et des grains de pollen associés ✓ **Faire le lien** entre les systèmes d'auto-incompatibilité et le brassage génétique lié à la reproduction sexuée ✓ **Exposer** les modalités de la double fécondation

1. La rencontre des gamétophytes par le transport passif des grains de pollen jusqu'au stigmate : la pollinisation

Pollinisation :

a. Un processus qui peut se faire au sein d'un même individu (autogamie = autopollinisation) ou entre fleurs différentes (allogamie = allopollinisation)

Autogamie = autopollinisation :
Allogamie = allopollinisation = pollinisation croisée :

b. Une autogamie plutôt rare quoique pouvant être parfois privilégiée chez certaines espèces (cas des anthères introrses ou de la cléistogamie)

Cléistogamie :
Anthères introrses :

c. Une dispersion du pollen qui suppose des agents extérieurs : diversité des modes de pollinisation (les « -gamies » ou « -philies »)

Chasmogamie : (!) Cas de la plupart des fleurs

(!) **Dispersion** du **pollen** mais pas ~~**dissémination** du pollen~~

> **Dissémination** → ***lorsque la structure déplacée permet de produire un nouvel individu, favorisant ainsi l'occupation du milieu***. >> **semences**.

α. L'anémogamie (= anémophilie) : transport du pollen par le vent

Anémogamie = anémophilie :

Caractères du **pollen** :

Caractères de la **fleur** :

β. L'entomogamie (= entomophilie) : une relation interspécifique mutualiste où le pollen est pris en charge par des Insectes [+ notion de coévolution]

Entomogamie = entomophilie :

Caractères du **pollen** :

Caractères de la **fleur** :
-

-

+ Parfois :
- Corolle tubulaire
- Bascule des étamines
- Pollinies (adhérentes à l'Insecte)
- Odeurs attractives, phéromones, chaleur…
- Pseudocopulation

> Sans être complètement une « ~~**symbiose**~~ » au sens où nous l'avons défini en début d'année (puisque la **relation plante-pollinisateur** est **brève** = **transitoire** et **non durable**), la pollinisation entomophile est un bien un **mutualisme** : c'est une ***relation interspécifique à bénéfices réciproques***. En effet, **l'Insecte assure la pollinisation** de la fleur et permet donc sa **reproduction sexuée** alors que la **plante** assure la **nutrition de l'Insecte**.
>
> **80 % des Angiospermes** seraient **entomophiles**
> et **dépendraient** donc des **Insectes** dans leur **survie** !

> **Beaucoup d'Angiospermes** et **d'Insectes** ont **co-évolué** (encadré A) ; on constate ainsi que la **radiation évolutive** (= ***augmentation brutale du nombre d'espèces d'un groupe taxonomique au cours des temps géologiques***) des **Angiospermes** coïncide avec celle des **Abeilles** ! Et les **exemples** que nous venons de citer illustrent clairement des **co-adaptations**.
>
> Il existe d'ailleurs de nombreux exemples d'**Angiospermes pollinisées** par **une seule espèce de pollinisateur** (et inversement des **pollinisateurs inféodés** à **une seule espèce d'Angiosperme**).

FIGURE 24. Fleurs de Poacée avec glumelles (gauche) ou simplifiée sans représentation des glumelles (à droite). D'après DUCREUX (2002) et DENŒUD *et al.* (2011).

Encadré A Rappel du rôle des relations interspécifiques dans l'évolution

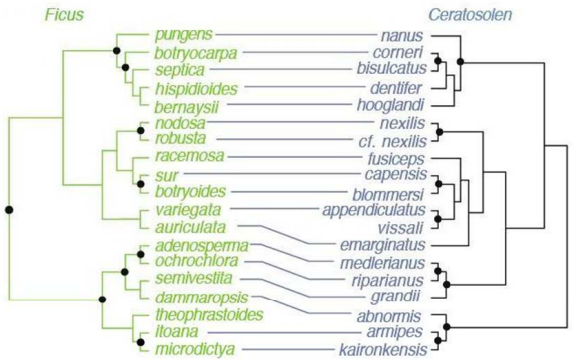
D'après mon cours de Capes

a. Mise en évidence de cospéciations par les phylogénies en miroirs (= cophylogénies)

◆ On appelle **cospéciation** la ***spéciation parallèle et simultanée de taxons*** dont on peut établir (souvent à l'aide **phylogénies en miroir**) que les spéciations sont bien concomitantes.

◆ *Cela ne signifie pas forcément que les espèces ayant subit une **cospéciation** ont coévolué** : la **coévolution** (= **coadaptation**) désigne, rigoureusement, une ***cospéciation où l'on peut démontrer que les espèces en question ont exercé une pression de sélection mutuelle qui est l'origine de la spéciation***. La coévolution est donc plus **difficile à montrer**.

◆ Les **interactions interspécifiques étroites, durables et spécialisées** que sont les **symbioses** ou des **parasitismes** sont des cas privilégiés d'observation de la **cospéciation** et de la **coévolution**.



Un exemple de cospéciation entre Figuiers (Ficus) et les Hyménoptères les pollinisant (*Ceratosolen*)

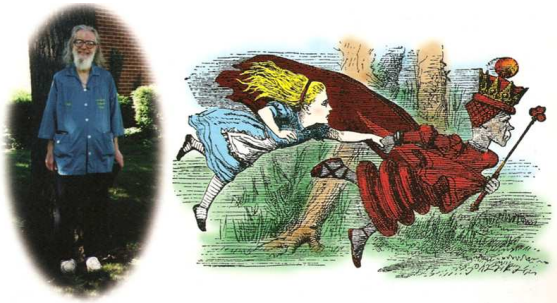
http://cnx.org/content/m34732/latest/ (consulté en septembre 2013)

**** Exemple théorique pour comprendre en quoi une cospéciation n'est pas forcément une coévolution :*** *les Puces qui restent sur un type de Mammifère vont continuer à échanger des gènes avec les Puces qu'elles rencontrent sur ce Mammifère, se séparant ainsi progressivement des autres Puces (se trouvant sur d'autres Mammifères) mais sans que la Puce ne s'adapte particulièrement au Mammifère qui l'héberge. Il peut donc y avoir séparation des populations de Puces en fonction de l'hôte qu'elles occupent (**cospéciation** Puces-Mammifères : les deux vont évoluer parallèlement) mais sans adaptation particulière de la part des Puces ou des hôtes (ce qui serait une **coévolution**).*

b. Course aux armements et théorie de la Reine rouge

◆ Les **interactions** des organismes avec l'**environnement abiotique** ou avec les **congénères de la même espèce** (sélection sexuelle, compétition pour les ressources...) ont longtemps été présentées comme les **principaux moteurs de sélection naturelle** et donc d'évolution. Dans un article de **1973** (pour lequel l'auteur dut créer une nouvelle revue scientifique car aucune autre n'accepta son papier), **Leigh Van Valen** rappelle et montre que ***les relations interspécifiques aussi sont un moteur important de sélection***.

◆ *Van Valen constate que **les taux d'extinction d'espèces** sont constants dans l'évolution, ce qui laisse à penser que **les nouveautés produites par l'évolution ne sont pas tellement plus efficaces dans la survie que les anciens attributs**. L'auteur l'explique par une **course aux armements** (= c'est-à-dire une course aux innovations, une **course aux adaptations) entre les espèces**. Ainsi, si la sélection naturelle favorise les prédateurs les plus rapides, elle favorise aussi les proies les plus rapides, ce qui a pour résultat un **rapport de forces inchangé** entre les espèces. **La course aux armements permet juste de « rester dans la course » et de survivre.** Cela se vérifie particulièrement dans les **interactions durables (symbioses, parasitisme...)** où **la spécificité de l'interaction favorise la coévolution**.*



1. LEIGH VAN VALEN *(à gauche)* **a proposé, dans un article paru en 1973, d'expliquer la complexification du vivant par une « course » entre les êtres vivants, où chaque espèce reste en deçà de son optimum adaptatif en raison des innovations continuelles de ses compétiteurs. Un tel mouvement auto-entretenu ne rend pas les espèces « meilleures », ce qui explique que la probabilité d'extinction ne varie pas en fonction de l'âge de la lignée évolutive. Leigh Van Valen a baptisé son hypothèse du nom de la Reine Rouge, le personnage de Lewis Caroll qui entraîne Alice, passée** ***De l'autre côté du miroir***, **dans une course immobile ; Alice s'étonne : « Dans notre pays, si l'on courait très vite pendant longtemps, comme nous venons de le faire, on arrivait généralement quelque part, ailleurs. » « Un pays bien lent ! », répond la Reine. « Tandis qu'ici, il faut courir de toute la vitesse de ses jambes pour simplement rester là où l'on est. Si l'on veut aller quelque part, ailleurs, il faut courir au moins deux fois plus vite que ça ! »**

L. Van Valen (1935-2010) et la Reine rouge

D'après Combes *in* Le Guyader (1998)

◆ De tempérament joueur, Van Valen baptise son hypothèse « **la Reine rouge** », en référence au **personnage de Lewis Caroll dans *De l'Autre côté du Miroir*** (suite d'*Alice au Pays des Merveilles*). Dans un chapitre du livre, **Alice et la Reine rouge se retrouvent à courir rapidement mais sans avancer** (car le monde tourne autour d'elles), simplement **pour rester à la même place**, un peu comme *les organismes vivants qui s'adaptent en permanence de manière à rester dans la course et à survivre face aux espèces avec lesquelles ils interagissent.*

γ. L'existence d'autres modalités (hydrogamie, autres zoogamies…) [*pour information*]

- On peut citer **d'autres agents** pouvant assurer la **pollinisation** :
  - ***L'eau*** (**hydrogamie = hydrophilie**), notamment chez diverses plantes aquatiques.
  - ***D'autres animaux*** (autre **zoogamies** = « zoophilies » – *second terme à éviter !*) : Oiseaux (ornithogamie, comme les Colibris tropicaux), Araignées (arachnogamie)…

δ. Bilan : comparaison anémogamie / entomogamie

Tableau I. Anémophilie vs. entomophilie. D'après Meyer *et al.* (2008)

	Fleur anémophile	Fleur entomophile
Exemples	*Poa* (Poacées)	*Ophrys* (Orchidacées)
Morphologie	Fleur discrète, terne, sans parfum, ni odeur, ni nectar. Étamines exposées au vent, stigmates plumeux	Fleur voyante petite en inflorescence ou grande et isolée, de formes très diverses. Couleurs vives, parfum, odeur, nectar (cf. chapitre 6)
Pollen	Production díune grande quantité de petits grains de pollen lisses dispersés à grande distance	Production plus réduite de gros grains de pollen à exine très ornementée adhérant au pollinisateur. Dispersion à courte distance
Type de végétaux	Anémophilie fréquente chez les plantes monoïques (arbres en particulier) + Poacées hermaphrodites	Entomophilie fréquente chez les plantes dioïques et hermaphrodites

Pas de généralisation abusive !

d. L'existence fréquente de mécanismes limitant l'autogamie et favorisant l'allogamie (et donc l'hétérozygotie)

α. La séparation spatiale des fleurs mâles et femelles sur des individus différents : la dioécie

(**5 % des Angiospermes**)

β. La séparation temporelle des structures mâles et femelles : la dichogamie (protogynie, protandrie)

Dichogamie :

- ***Organes femelles premiers*** :
- ***Organes mâles premiers*** :

γ. Des obstacles morpho-anatomiques à l'autofécondation : les autoincompatibilités hétéromorphes (exemple des fleurs hétérostylées de Primevère)

Autoincompatibilité :
Autoincompatibilité hétéromorphe :

FLEUR LONGISTYLÉE — INSECTE — FLEUR BREVISTYLEE

Dépôt du pollen

Fixation du pollen

Zone de l'insecte impliquée dans le transfert du pollen

photographie des deux morphes de primevères : longistylé à gauche et brévistylé à droite.
représentation schématique d'une coupe longitudinale de fleurs longistylée et brévistylée avec position relative de l'insecte pollinisateur. (Cliché D. Busti, ENS de Lyon)

FIGURE 30. Hétérostylie des Primevères : cliché, schéma précis, schéma simple. D'après SEGARRA *et al.* (2014)

Hétérostylie de la primevère (*Primula sp.*, Primulacées)
A. fleur longistylée à grandes papilles stigmatiques et petit pollen. **B.** fleur brévistylée à petites papilles stigmatiques et grand pollen. Les flèches indiquent la pollinisation croisée.

FIGURE 31. Hétérostylie des Primevères : taille du pollen et des papilles stigmatiques associées. D'après MEYER *et al.* (2011).

δ. Des obstacles moléculaires à l'autofécondation : les autoincompatibilités homomorphes (reposant sur un complexe S pluri-allélique)

Autoincompatibilité homomorphe :

Gène S (principe)

i. Les autoincompatibilités sporophytiques (AIS) (exemple du Chou)

Autoincompatibilité sporophytique : (!) Les **2 allèles S** de la **plante productrice de pollen** doivent être **différents** des deux **2 allèles S de la plante réceptrice** pour qu'il y ait germination et croissance du tube pollinique.

ii. Les autoincompatibilités gamétophytiques (AIG) (exemple du Tabac)

Autoincompatibilité gamétophytique : (!) Le seul **allèle S** porté par **le grain de pollen** doit être **différent** des deux **2 allèles S de la plante réceptrice** pour qu'il y ait germination et croissance du tube pollinique.

Auto-incompatibilité pollinique	
de type sporophytique (AIS)	de type gamétophytique (AIG)

Les allèles S1, S2, S3 et S4 pris pour exemple sont considérés codominants.

FIGURE 32. Autoincompatibilités sporophytique et gamétophytique.
D'après CHASSANY *et al.* (2012), précisé.
Attention, couleurs à modifier (diploïde → rouge, haploïde → vert).

ε. Des obstacles mécaniques à l'autofécondation : l'hercogamie (exemple chez les Orchidacées)

Hercogamie :

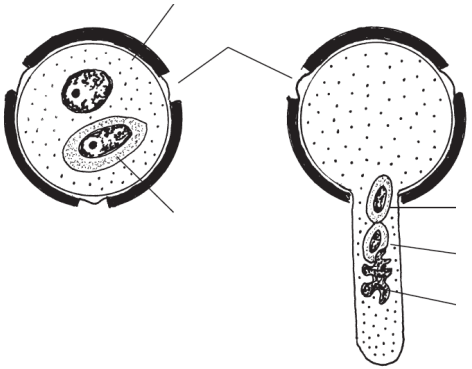
2. La germination du tube pollinique, sa croissance et la double fécondation : la siphonogamie

Siphonogamie :

Ce processus s'oppose à la **zoïdogamie** fréquente de **nombreux autres groupes végétaux** où ***un gamète mâle flagellé féconde le gamète femelle***.

a. La réhydratation et la germination du pollen, suite à son dépôt sur le stigmate

- Les processus que nous allons voir à présent font suite au **dépôt du pollen** sur le **stigmate** d'une **fleur compatible**.
- Les **papilles stigmatiques** sécrètent un **mucus adhésif glycoprotéique (mucilagineux)** qui retient les **grains de pollen** et qui est très **riche en eau**. À son contact, le **grain de pollen se réhydrate**, ce qui **augmente la turgescence** de la **cellule végétative** et tend à produire des **excroissances** au niveau des **apertures**, zones de moindre résistance. **Une seule excroissance perdure** (suivant des mécanismes pas forcément bien compris) et est à l'origine du **tube pollinique** (figure 34).

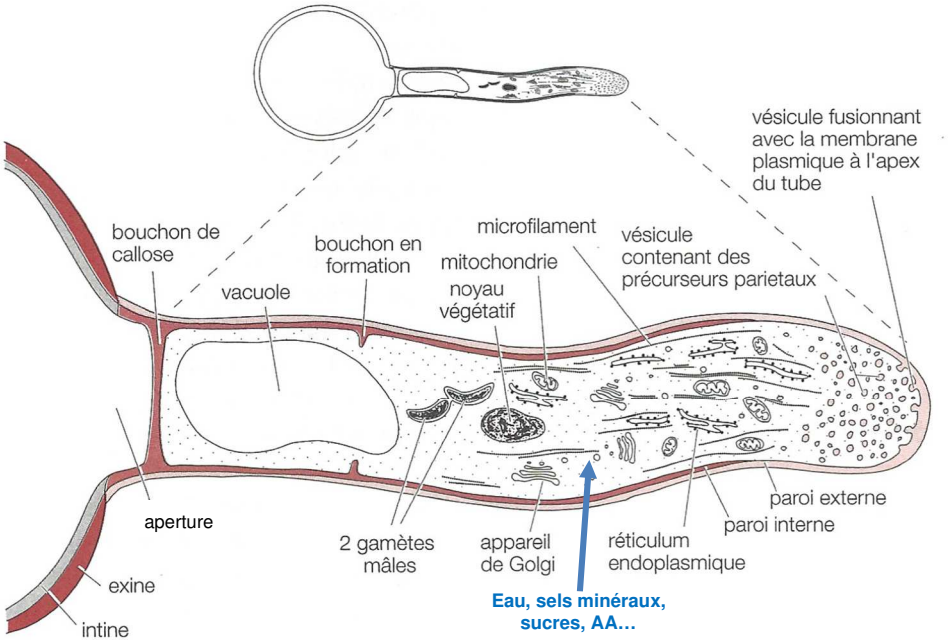


Dès le début de l'allongement du tube pollinique, la cellule générative se divise (mitose gamétogène) et forme les deux gamètes mâles. Ceux-ci restent solidaires du noyau de la cellule végétative. Périodiquement, la mise en place de bouchons de callose isole l'extrémité vivante en croissance des parties plus anciennes destinées à mourir. Les membranes cellulaires adossées aux parois cellulaires ne sont pas représentées.

FIGURE 34. Le grain de pollen et sa germination. D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

b. La croissance du tube pollinique, un processus complexe permis par une turgescence, guidé par des interactions moléculaires et s'accompagnant d'une synthèse de composés pariétaux

Rapidement, souvent peu de temps après la **germination** du **tube pollinique**, la **cellule générative** des **pollens bicellulés** subit une **mitose** à l'origine des **deux gamètes mâles**.
*Bien entendu, **cette mitose n'existe pas dans les pollens tricellulés** puisqu'elle est **déjà intervenue en amont**, dès la **formation** du grain de pollen dans les **anthères**.*



Représentation schématique d'un tube pollinique en croissance (organites non à l'échelle).— À l'apex du tube, la paroi est constituée d'une seule couche, la paroi externe, perméable. En arrière, elle est doublée d'une seconde paroi, formée plus tard, la paroi interne. (Modifié d'après Mascarenhas, *The Plant Cell*, 5, 1993, pp. 1303–1314 et d'après Bedinger et coll., *Trends in Cell Biology*, 4, 1994, pp. 132–138.)

FIGURE 35. Mécanismes de la croissance pollinique. D'après KLEIMAN (2001).

L'**élongation du tube pollinique** (figure 35) suppose :

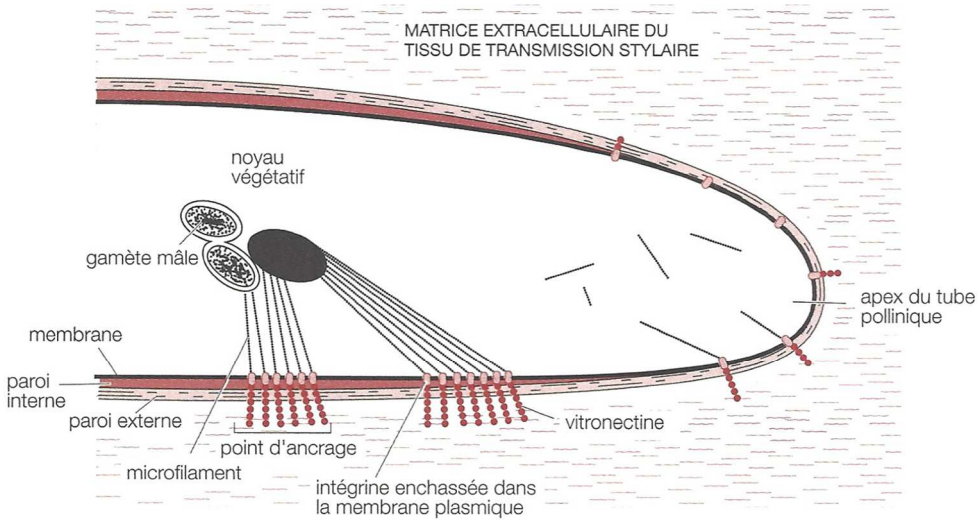
1/

-

-

-

-



Modèle de croissance guidée du tube pollinique dans le tissu de transmission.— À l'apex, le cytosquelette est désorganisé, les intégrines sont peu denses et certaines ne sont pas liées à des vitronectines. Elles peuvent diffuser dans le membrane plasmique. En arrière de l'apex, le cytosquelette est très organisé, les intégrines sont regroupées et fortement liées au cytosquelette et aux vitronectines. Les intégrines sont peu mobiles dans la membrane plasmique. (Modifié d'après Lord et Sanders, *Developmental Biology*, 153, 1992, pp. 16–28.)

FIGURE 36. Quelques molécules impliquées dans la croissance pollinique [*pour information*]. D'après KLEIMAN (2001).
*On peut noter que les **gamètes mâles** sont **associés** au **noyau végétatif**, lui-même **tracté** par le **cytosquelette**.*

2/

-

-

-

3/

4/

Tissu de transmission = tissu de conduction :

Vitesse de croissance du tube :

Haute **consommation d'énergie** :

c. La double fécondation, un processus à l'origine d'un embryon principal et d'un embryon accessoire (que l'on peut considérer comme vivipares)

FIGURE 37. Trajet complet du tube pollinique. D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

FIGURE 38. La double fécondation. D'après PEYCRU *et al.* (2010b), modifié.

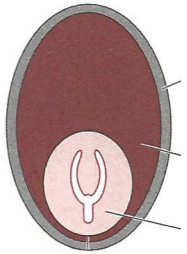
Zygote principal (2*n*) :
Zygote accessoire (3*n*) :
Viviparité :

D. La formation des semences (graines et fruits) et leur dissémination chez les Angiospermes

Capacités exigibles	✓ **Décrire** les devenirs du sac embryonnaire fécondé, de l'ovule et de la fleur, sans connaître les mécanismes de ces évolutions ✓ **Identifier** les caractéristiques des fruits en lien avec les modalités de la dissémination. ✓ **Montrer** que les modalités de reproduction sexuée des Angiospermes sont liées à leur mode et milieu de vie.

1. Des graines dérivant chacune d'un ovule

- Un **ovule fécondé** devient une **graine** :
  - Les ***téguments de l'ovule*** (parfois appelés le **spermoderme**) deviennent le **tégument de la graine**.
  - Le **zygote principal** donne **l'embryon principal** et donc **la plantule**.
  - Le **zygote accessoire** donne l'**albumen**, un ***tissu de réserve triploïde***.



a. b. c.

Différents types de graines.— a. Graine à périsperme (Nymphéacées, Caryophyllacées). **b.** Graine albuminée (Poacées, Renonculacées, Apiacées). **c.** Graine exalbuminée (Fabacées, Brassicacées, Astéracées).

FIGURE 39. Typologie des graines. D'après KLEIMAN (2001).

2. Formation et diversité des fruits

a. Le fruit, structure dérivant de l'ovaire

Ovaires → **Fruits :**

Flétrissement / **chute** des **autres pièces** : **sépales**, **pétales**, **étamines**, **style**, **stigmates** (figure 40).

Ces **pièces flétries**, quand elles perdurent, sont un **indice** clair de **l'origine ovarienne du fruit** (que vous devez signaler à l'oral).

Paroi du fruit = **péricarpe** :

-

-

C'est la **couche qui se développe** et se gorge de **substances nutritives consommées par les Animaux** dans les **fruits charnus**.

-

*(!) Au sein de l'ovaire, le **placenta** et les **funicules** sont **conservés** et **se développent**, permettant la **nutrition** des **graines en formation** (figure 40).*

Fruits complexes = faux-fruits = pseudofruits :
Fruits parthénocarpiques :

FIGURE 40. De la fleur (A) au fruit (B). D'après MEYER *et al.* (2008).

b. La fructification, un processus en trois temps à médiation phytohormonale

Fructification :

On trouvera parfois les termes « **frutaison** » ou « **fruitaison** » mais ils semblent **incorrects linguistiquement**, bien qu'employés notamment dans les **domaines agricoles et techniques**.
En **arboriculture**, on parle de **nouaison** pour désigner ***la conversion de l'ovaire en fruit et le début du développement du fruit***.

α. Un processus en trois temps : mise à fruit, croissance, maturation

- **Mise à fruit :**
- **Croissance :**
- **Maturation (mûrissement) :** > > > [fruits charnus :] > [fruits climactériques :]

Les **fruits non climactériques** ne présentent ***pas cette augmentation brutale et notoire de l'activité métabolique lors de leur maturation***.

β. Un processus (déclenché par la fécondation) à médiation phytohormonale

- **Hormones** en jeu dans la **mise à fruit** puis sa **croissance** :

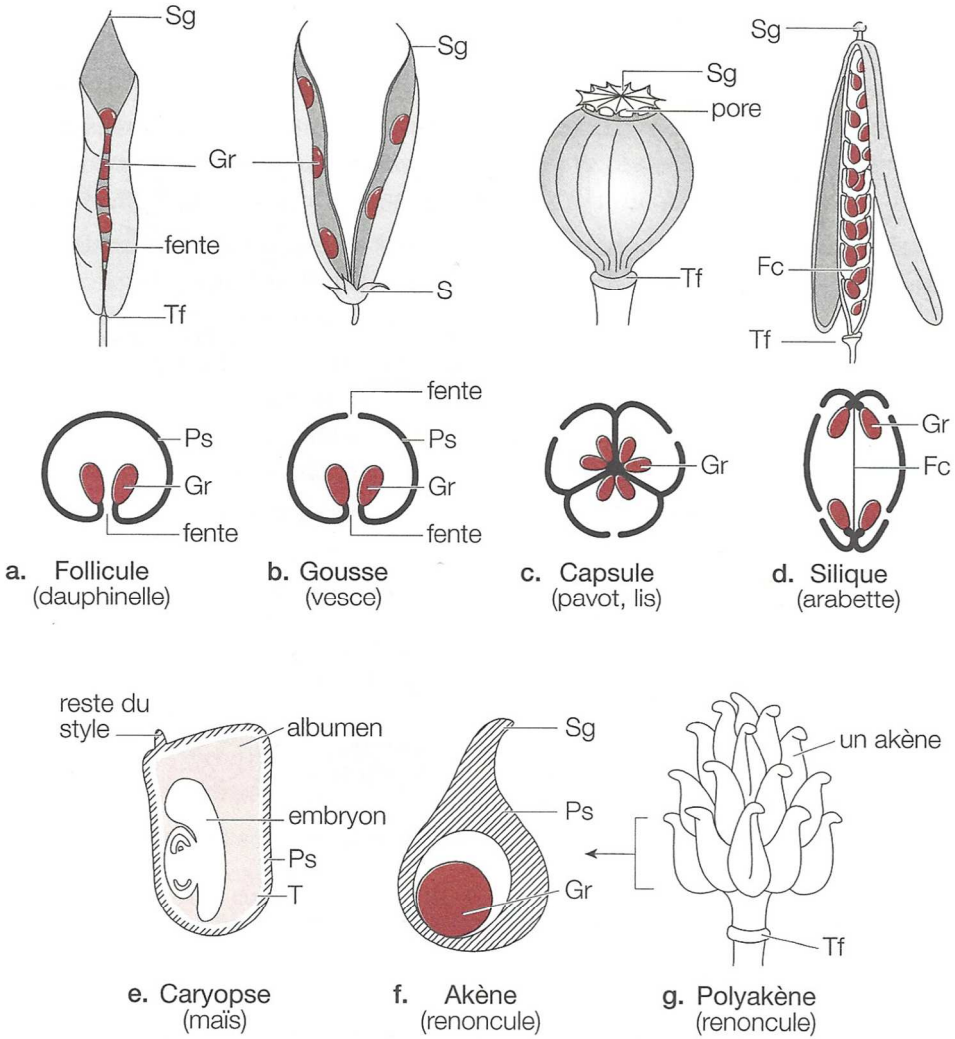
- Cas des **fruits climactériques** (seulement eux !) :

Fruits climactériques :

Cela explique **l'accélération du mûrissement** de certains **fruits placés ensemble**. Notons que les **industriels** utilisent parfois **l'éthylène** pour **accélérer artificiellement** la **maturation** de certains fruits.

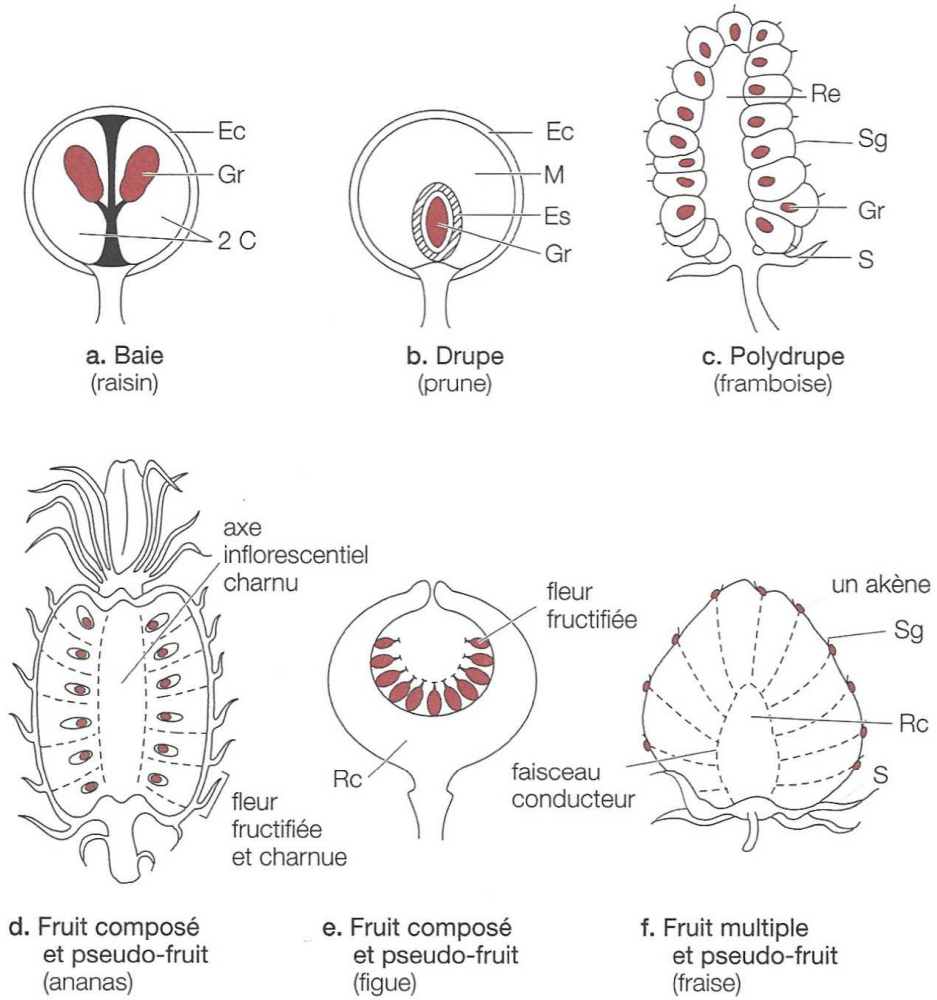
Le commencement de la production d'éthylène marque, chez les fruits climactériques, le début de leur maturation : on appelle « **crise climactérique** » ce moment.

c. Diversité des fruits



Quelques exemples de fruits secs.— **a** à **d.** Fruits secs déhiscents. **e** à **g.** Fruits secs indéhiscents.
Fc, fausse cloison ; *Gr*, graine ; *Ps*, péricarpe sclérifié ; *S*, sépale ; *Sg*, stigmate ; *T*, tégument de la graine soudée au péricarpe ; *Tf*, trace d'insertion du périanthe et des étamines.

FIGURE 42. Quelques exemples de fruits secs (simples ou multiples). D'après KLEIMAN (2001).



Quelques exemples de fruits charnus.— *C*, carpelle ; *Ec*, épicarpe ; *Es*, endocarpe sclérifié ; *Gr*, graine ; *M*, mésocarpe ; *Rc*, réceptacle charnu de l'inflorescence ; *Re*, réceptacle ; *S*, sépale ; *Sg*, stigmate.

FIGURE 43. Quelques exemples de fruits charnus (simples ou multiples), fruits complexes et fruits composés. D'après KLEIMAN (2001).

⮟ **Tableau II. <u>Les principaux types de fruits</u>.** *Original.*

NB : ***un fruit simple qui ne contient qu'une seule graine*** est dit **monosperme** (ou **monospermé**) alors qu'***un fruit simple qui contient plusieurs graines*** est dit **polysperme** (ou **polyspermé**).

3. La dissémination des semences (= diaspores), un processus souvent assuré par des agents extérieurs qui permet la colonisation du milieu

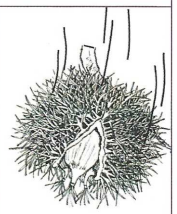
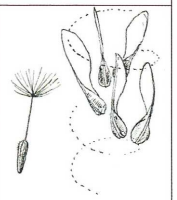
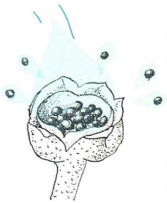
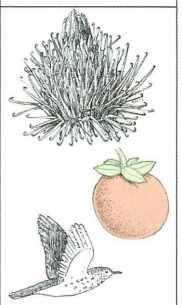
a. Notions de semence (= diaspore) et de dissémination

Semences = diaspores :

Dissémination :

b. Les principales modalités de dissémination (les « -chories ») : anémochore, barochorie, zoochorie, autochorie, hydrochorie

TABLEAU III. Les modalités de dissémination de semences chez les Angiospermes.
D'après MEYER *et al.* (2008)

Autochorie (du grec *auto*, soi) Fruits explosifs (balsamine) Transport à courte distance	
Barochorie (du grec *baros*, poids) Fruits et/ou graines lourds tombant par son propre poids au pied de la plante mère en traversant le feuillage (cupule avec châtaignes) Transport à très courte distance	
Anémochorie (du grec *anemo*, vent) Fruits et/ou graines légers, petits, à aigrettes plumeuses (akène de pissenlit) ou à ailes (samare d'érable) faisant prise au vent Transport à grande distance	
Hydrochorie (du grec *udôr*, eau) Fruits en coupe (*Mitella*) aux graines disséminées par les gouttes d'esau reçues près des torrents Espèces aquatiques aux fruits et/ou graines disséminés par les courants Transport à grande distance dans le cas des courants fluviaux ou marins	
Zoochorie (du grec *zoo*, animal) Fruits et/ou graines munis de crochets (bardane) ou d'aiguillons s'accrochant au pelage, au plumage ou aux vêtements (épizoochorie) D'autres fruits et/ou graines ingérés par l'animal (endozoochorie) Transport à grande distance par les animaux migrateurs	

-chories :
Anémochorie :
Barochorie :
Zoochorie :
Autochorie :
Hydrochorie :

E. Bilan de la reproduction sexuée des Angiospermes

Bilan (adapté du programme)	✓ La **reproduction sexuée** des organismes s'inscrit dans un **cycle** de **développement**. ✓ Chez les **Angiospermes**, la **pollinisation** permet le **rapprochement** des **cellules** impliquées dans une **double fécondation**. ✓ Après **tri** des **tubes polliniques**, la **double fécondation** conduit à l'évolution du **sac embryonnaire** en **embryon**, de **l'ovule** en **graine** et de la **fleur** en **fruit**.

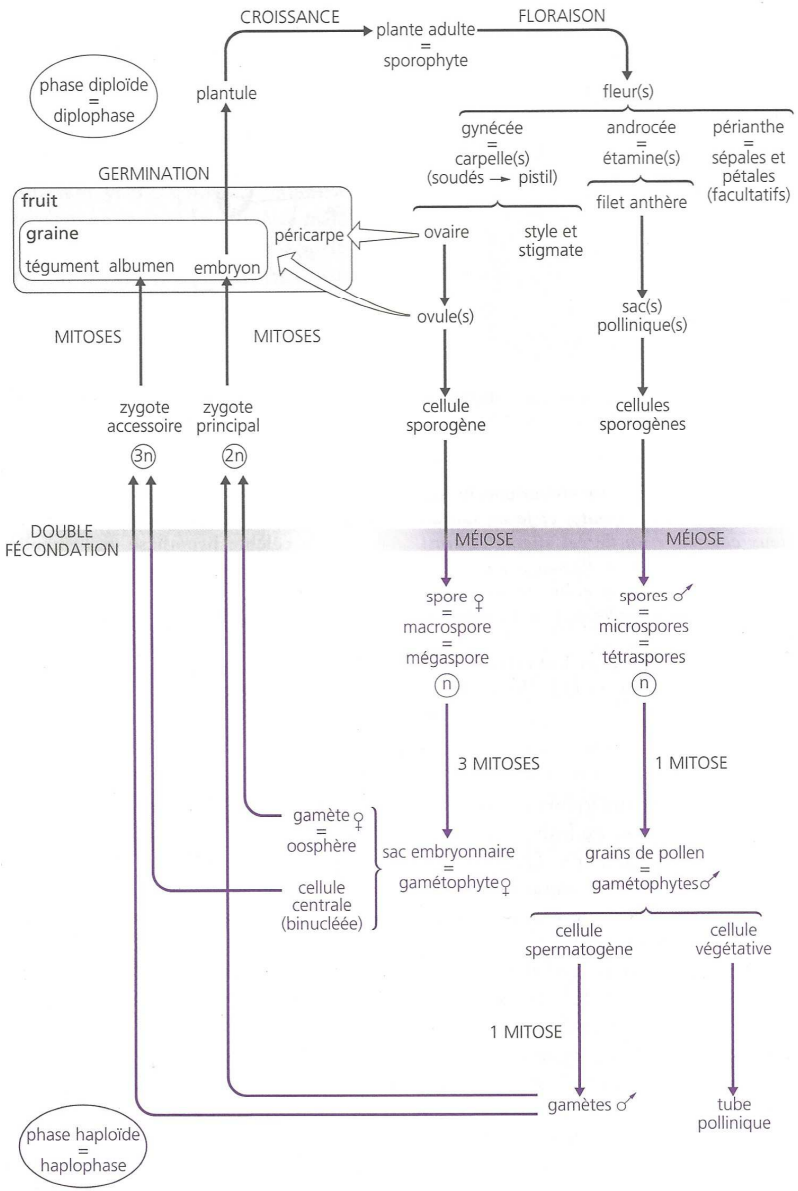


FIGURE 53. Vue d'ensemble du cycle des Angiospermes. D'après DUCREUX (2002).

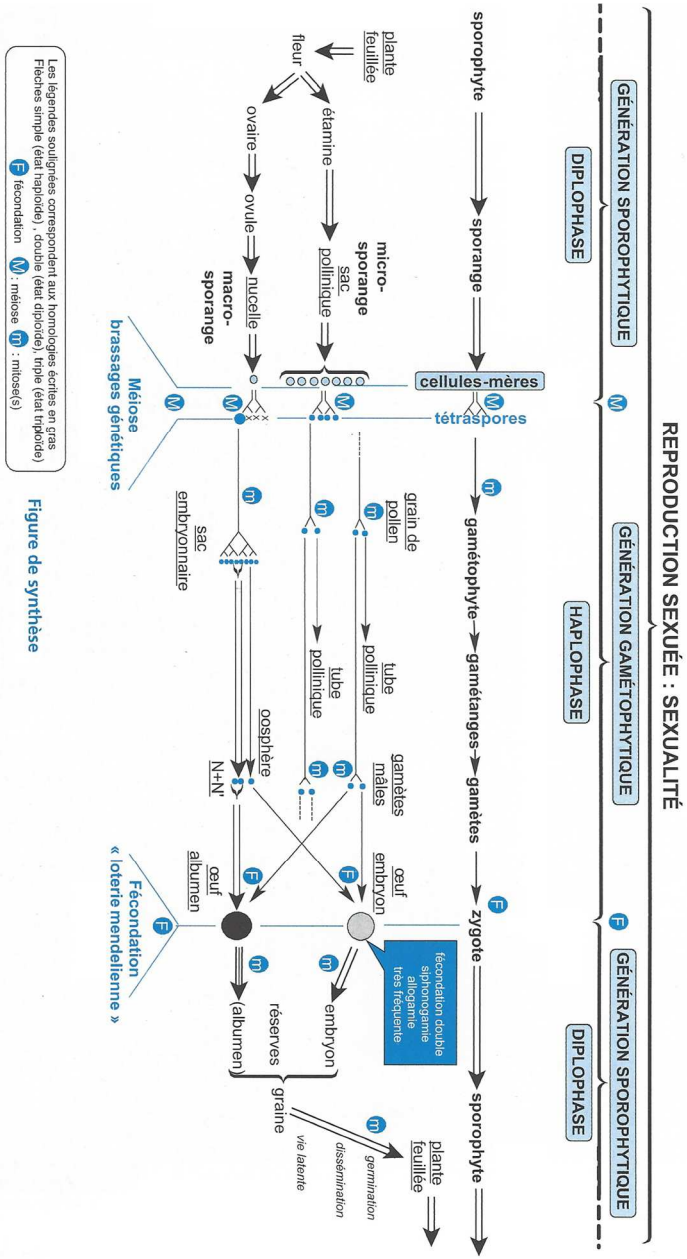


FIGURE 54. Une autre vue d'ensemble du cycle des Angiospermes.
D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

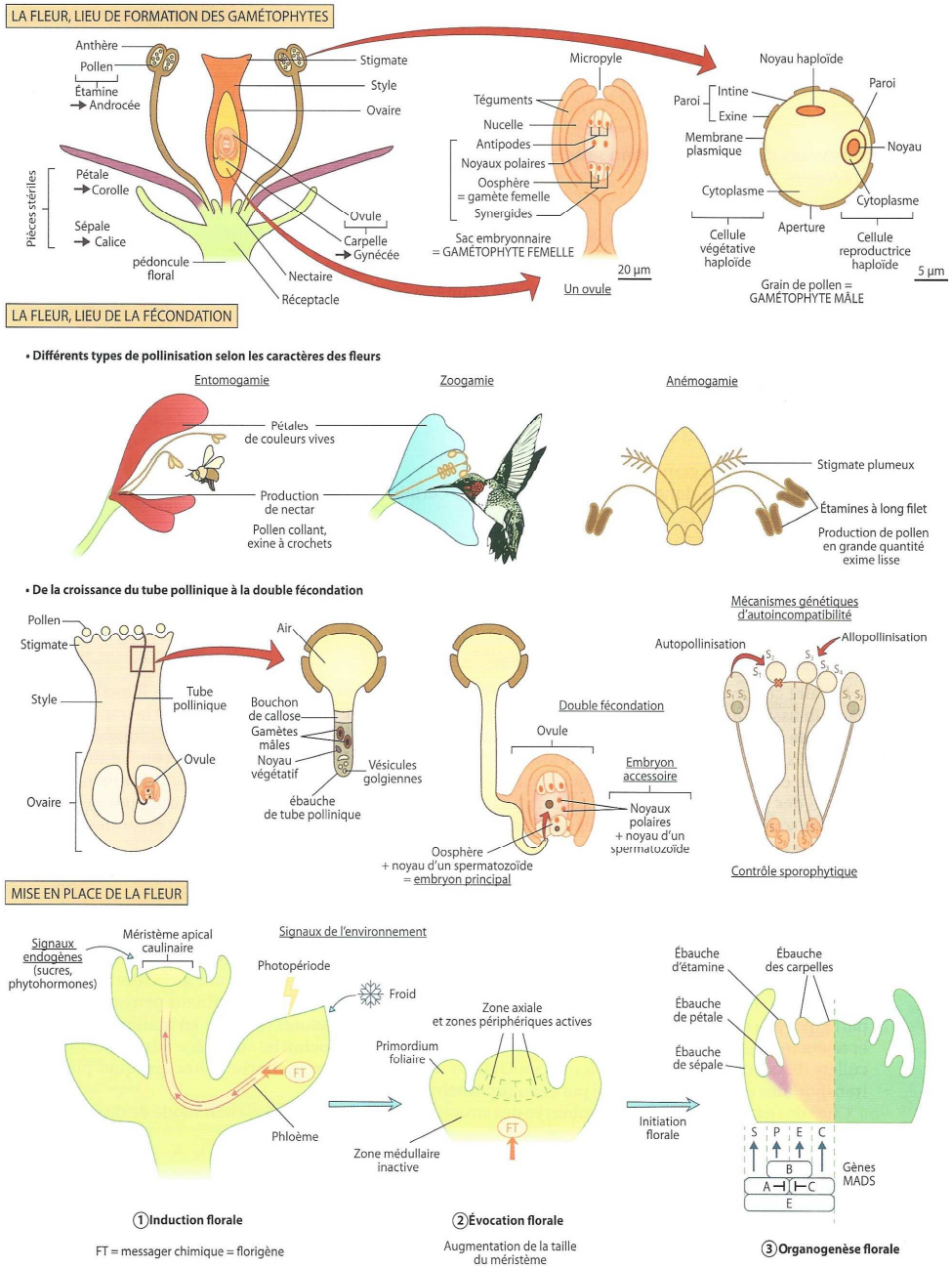


FIGURE 55. La fleur des Angiospermes : vue d'ensemble. D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017).

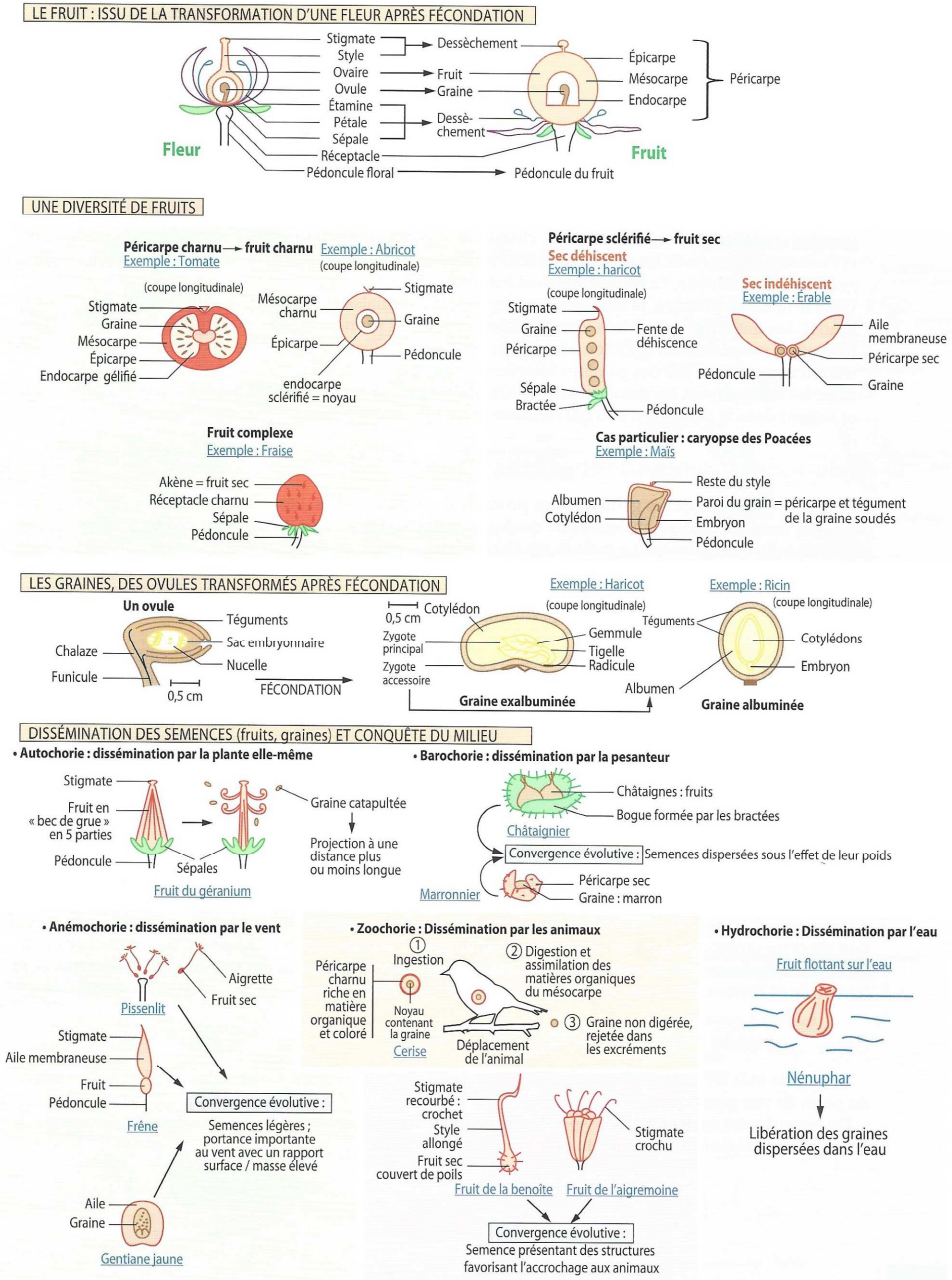


FIGURE 56. Graines et fruits : vue d'ensemble. D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017).

II. La multiplication végétative naturelle

Capacités exigibles	✓ **Décrire** quelques exemples de multiplication végétative chez les Angiospermes. ✓ **Discuter** l'intérêt cultural de la multiplication végétative.

A. Caractéristiques générales de la reproduction asexuée

1. Notion de reproduction asexuée : une reproduction à partir d'un individu parental unique sans fécondation

Reproduction asexuée :

2. Un panorama préliminaire de la diversité des modalités de reproduction asexuée

TABLEAU IV. Diversité des modalités de la reproduction asexuée chez les Angiospermes.
D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

Structure impliquées		Exemples	Autres exemples

Reproduction végétative au sens strict :

- **Organes non spécialisés**
- OU **Organes spécialisés**

Agamospermie :

(!) embryon adventif

On évitera absolument le terme « apomixie » dont **le sens peut varier grandement selon les auteurs** : synonyme de reproduction végétative au sens large, d'agamospermie, de cas particuliers d'agamospermie…

3. Une reproduction asexuée qui s'appuie sur la physiologie du développement de la plante

a. La formation de tissus par multiplication des cellules (mérèse) suivie d'une possible différenciation

Clones :

b. La néoformation possible de méristèmes à partir de cellules modérément différenciées (dédifférenciation)

Dédifférenciation :

→ **Néoformation** de **méristèmes**

c. L'utilisation possible de réserves

FIGURE 57. Principe de la dédifférenciation. D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

Les conditions de la régénération et de la néoformation

Les recherches en physiologie végétale (développement, phytohormones, multiplication végétative *in vitro*) ont permis de préciser les conditions de la régénération des parties manquantes et de la néoformation d'une plante complète. L'apport de phytohormones (activateurs de croissance) au milieu de culture est prépondérant, principalement auxines (AIA) et cytokinines (CK), ici représentées par des triangles figurant les gradients de leurs concentrations. La reprise de l'activité mitotique permet la formation d'un cal ; c'est la **callogenèse** et elle requiert un rapport AIA/CK ≈ 1. La **rhizogenèse** (induction de la formation de racines) exige un rapport AIA/CK > 1 alors que la **caulogenèse** (induction de la formation de méristème terminal caulinaire) exige un rapport AIA/CK < 1. Dans la réalité, les choses ne sont pas toujours aussi simples car il faut compter avec les auxines et cytokinines endogènes qui peuvent se révéler à des taux déjà suffisants pour l'un ou l'autre des différents phénomènes ; il faut donc adapter les conditions de culture (apports de phytohormones au milieu de culture) pour presque chaque espèce.

FIGURE 58. Contrôle hormonal de la différenciation tissulaire [*pour information*]. D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

4. Un avantage sélectif dans certaines conditions environnementales

a. Une reproduction plus rapide et à plus faible coût énergétique que la reproduction sexuée

b. Une clonalité qui assure l'occupation de l'espace par un même génotype (isogénie des clones), ce qui autorise toutefois une variation phénotypique

On retrouve par exemple souvent une **reproduction asexuée** chez les **plantes adventices (« mauvaises herbes »)** qui sont les ***plantes (souvent indésirables pour l'homme) qui colonisent les champs et les jardins***.

Multiplication végétative	Reproduction sexuée
• Rapide • Faible demande en énergie	• Plus lente • Grande demande en énergie pour produire les gamètes (méiose) et sexualiser les individus
• Conservation de tous les gènes parentaux	• Conservation de la moitié des gènes parentaux
• Variation phénotypique des individus • Polyploïdie très fréquente	• Variation génotypique **ET** phénotypique des individus
• Grande potentialité de colonisation d'un habitat aux facteurs abiotiques et biotiques homogènes • Aptitude des espèces polyploïdes à coloniser des habitats extrêmes à faible interaction biotique • Vaste aire de répartition	• Grande potentialité adaptative dans un habitat aux facteurs abiotiques et biotiques hétérogènes • Réponse efficace à des pressions de sélection biotique (avantage à court terme). Résistance aux agents pathogènes, aux herbivores.... • Capacité de coévolution avec des organismes mutualistes ou pathogènes • Aire de répartition plus réduite

FIGURE 59. Reproduction asexuée vs. asexuée : avantages et inconvénients. D'après MEYER *et al.* (2008).

c. Une faible adaptabilité face aux environnements très hétérogènes et un risque d'affaiblissement génétique

B. Diversité des modalités de reproduction asexuée

Voir TP 2.7. (Organes de mise en réserve chez les Angiospermes)

1. La multiplication végétative à partir d'organes non spécialisés

a. Le marcottage naturel : un enracinement avant fragmentation (exemple du Sceau de Salomon)

Marcottage :

→ **Marcotte :**

Ex.

b. Le bouturage naturel : un enracinement après fragmentation (exemple du Figuier de Barbarie)

Bouturage :

→ **bouture :**

Ex.

2. La multiplication végétative à partir d'organes spécialisés

a. Les stolons (stolonisation) : des tiges rampantes plagiotropes à bourgeon apical à l'origine de nouveaux individus (exemple du Fraisier)

Stolons :

Ex.

b. Les drageons : des racines plagiotropes à l'origine de nouveaux individus par néoformation de bourgeons (exemple du Framboisier)

Drageons :

Ex.

c. Une multiplication végétative par le biais d'organes (souvent) tubérisés spécialisés de l'appareil caulinaire

Organes tubérisés = tubercules :

α. Les tubercules caulinaires : rôle du bourgeon terminal (exemple de la Pomme de terre)

β. Les tubercules racinaires [rare pour la multiplication végétative] (exemple du Dahlia)

γ. Les bulbes à bulbilles (exemple de l'Ail)

*(!) Parmi les **bulbes** (= **organes tubérisés où les structures tubérisées sont de nature foliaire**), certains n'interviennent pas dans la **reproduction asexuée** mais permettent simplement un **cycle de vie sur deux ans** (exemple : Jacinthe, Oignon).*

⇒ Ce sont les **bulbes à bulbilles** qui interviennent dans la **reproduction asexuée**

Bulbilles :

Ex.

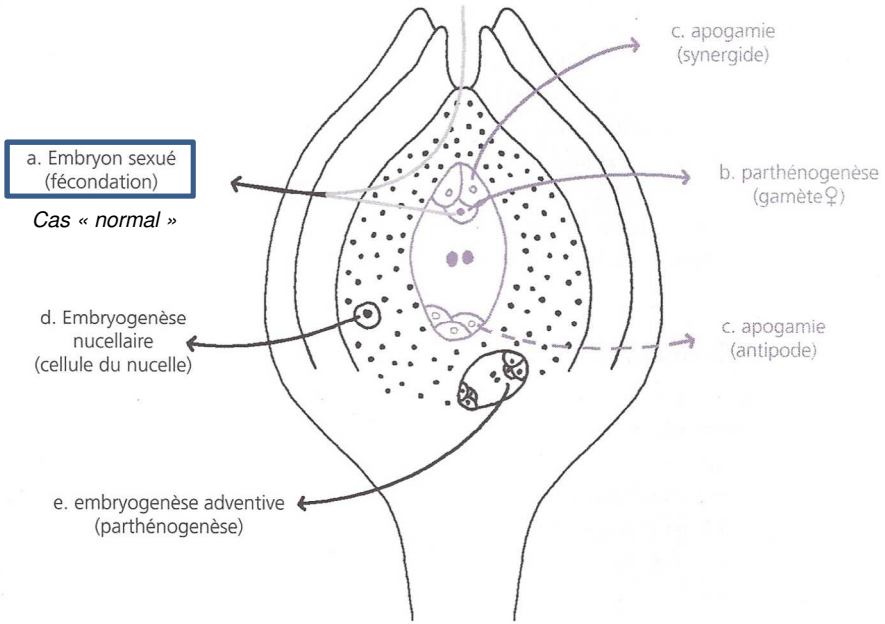
δ. Les bulbilles aériens préformés ou néoformés : les bulbilles foliaires (exemple de la Ficaire ou du *Bryophyllum*) et floraux (exemple de l'Ail sauvage : apoflorie)

3. L'agamospermie : une reproduction asexuée par des graines contenant des embryons adventifs non issus d'une fécondation

Agamospermie :

→ **embryon adventif :**

On notera que, lorsqu'il y a **agamospermie** à partir de **cellules du sac embryonnaire** – qui est un **gamétophyte** dont les cellules sont **haploïdes** et proviennent d'une **spore** issue d'une **méiose** –, ce sont des **cellules ayant subi un brassage génétique** qui sont mobilisées : on peut donc **discuter le caractère complètement « asexué »** de cette **reproduction**…



a. Cas normal, embryon résultant de la fécondation. **b.** Parthénogenèse. Formation d'un embryon haploïde par développement direct du gamète femelle. La parthénogenèse peut être déclenchée par des croisements interspécifiques. C'est, avec l'embryogenèse (**encadré 4.3**), un autre moyen de diminuer le niveau de ploïdie. Par exemple, le croisement [*Solanum tuberosum* (2n = 4x)] x [*Solanum phureja* (2n = 2x)] déclenche la parthénogenèse chez la pomme de terre cultivée, qui est ramenée au niveau diploïde. **c.** Formation d'un embryon haploïde à partir d'autres cellules du gamétophyte femelle (synergides ou antipodes). Phénomène d'apogamie identifié chez certaines orchidées. **d.** Formation d'un embryon diploïde à partir d'une cellule du nucelle. Fréquent et facile à observer chez les *Citrus*. **e.** Embryogenèse adventive avec formation d'un sac embryonnaire par une cellule du nucelle et développement parthénogénétique. Fréquent chez les *Hieracium* (astéracées).
(N. B. : Embryogenèse sexuée et apomictique peuvent intervenir simultanément. On peut donc trouver dans la même graine des embryons dont le nombre de chromosomes et/ou la constitution génétique sont différents.)

FIGURE 68. Agamospermie *[pour information ?]*. D'après DUCREUX (2002).

C. Une reproduction asexuée parfois détournée par l'homme : la multiplication végétative artificielle

Intérêt :

Inconvénient :

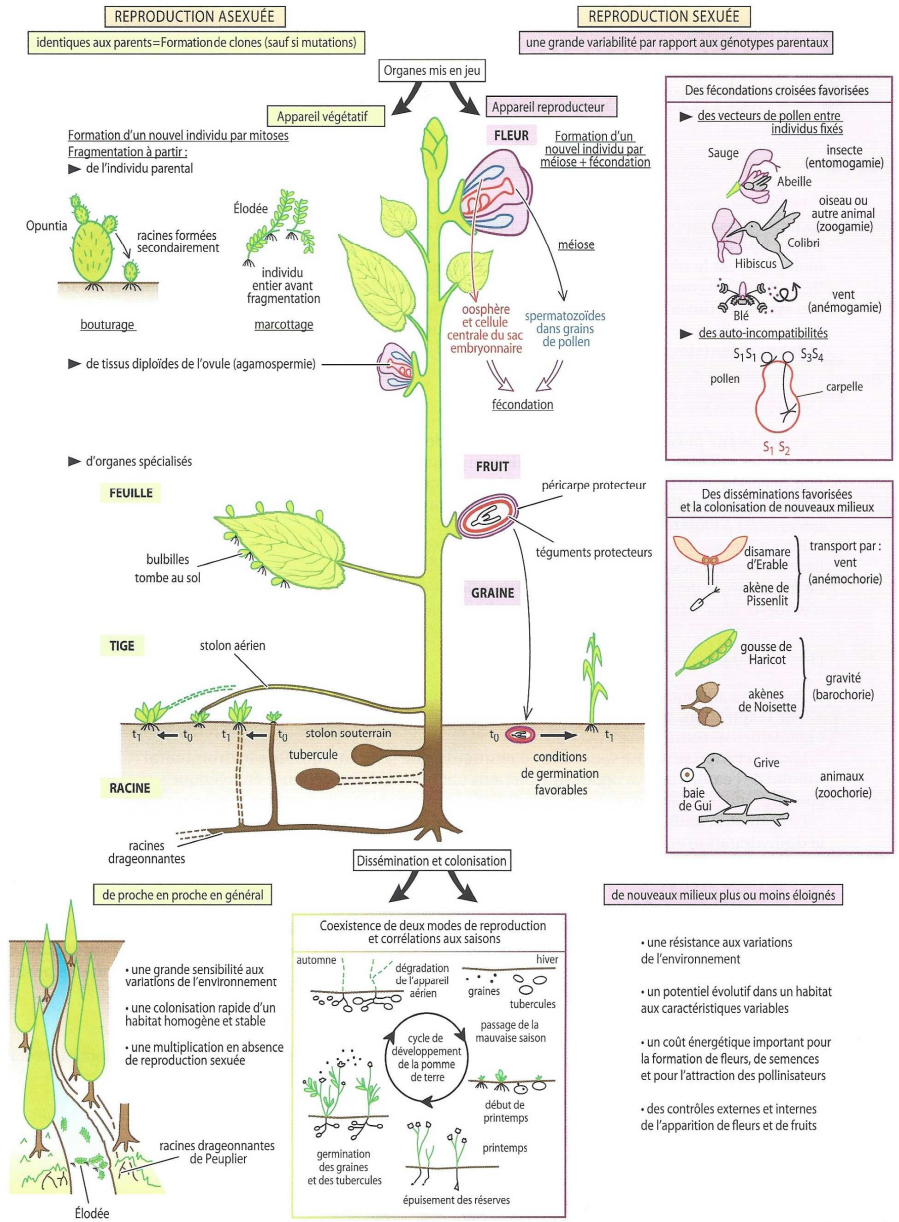
D. Bilan

FIGURE 69. La reproduction végétative : une vue d'ensemble.
D'après PEYCRU *et al.* (2013).

Bilan (adapté du programme)	✓Certains **organismes** peuvent réaliser une **reproduction asexuée**.

Bilan général sur la reproduction des Angiospermes

D'après SAINTPIERRE *et al. (2017)*



Pour faire une fiche de révision : quelques pistes

→ Il est conseillé de maîtriser les **grandes lignes du plan**

*Le **plan** ne doit pas être perçu comme un carcan figé, ou comme un modèle de plan de dissertation à ré-utiliser en devoir, mais bien comme un **outil d'apprentissage et de structuration** des **concepts importants**. Vous pouvez en **recopier les grandes lignes** ou **annexer le plan du polycopié** directement.*

→ Il est conseillé de réaliser un **lexique des principales définitions**.

→ Il est conseillé de reproduire les **schémas (et tableaux) majeurs** :

Liste indicative.

- *Reproduction sexuée*

° **Cycle de vie des Angiospermes** avec la **localisation temporelle et spatiale** des principaux **événements** et le **vocabulaire technique associé**
° Schéma d'une **fleur typique**
° Schéma simple d'un **carpelle**, d'une **étamine**
° **Hermaphrodisme**, **monoécie**, **dioécie**
° **Anthère jeune** vs. **déhiscente**
° **Formation** du **grain de pollen** (version simplifiée)
° **Grain de pollen**
° **Origine** des **composés** de la **paroi pollinique**
° **Formation** du **sac embryonnaire**
° **Sac embryonnaire**
° **Fleur** de **Poacée**
[° **Exemples spécifiques d'entomogamie** à savoir schématiser ?]
° **Autoincompatibilité hétéromorphe** chez la **Primevère**
° **Autoincompatibilités polliniques** : **sporophytique** + **gamétophytique**
° **Germination** et **croissance** du **tube pollinique** [croiser les schémas]
° **Double fécondation**
° **Types de graines**

Revoir le chapitre 6 et tous les schémas/notions qui y sont !

° **De la fleur au fruit**
[° **Types de fruits** : à maîtriser sous forme de clef, tableau…]
[° Savoir illustrer, notamment à l'oral, des **chories**]

- *Reproduction asexuée*

° **Tableau** des modalités de **reproduction asexuée** [+ définitions]
° **Avantages** et **inconvénients** de la **reproduction asexuée**
° **Diversité des modalités** en schéma
} *= Refaire la **figure bilan***

→ Vous devez en outre **savoir** / **pouvoir** :
° **Reconnaître** et **exploiter** n'importe quelle **structure reproductive** vue dans ce cours sur un **cliché** ou un **échantillon réel** de TP.
° **Reconnaître** et **exploiter** les **fruits**, expliquer leur **formation**
° **Reconnaître** et **exploiter** des **lames histologiques** d'**ovaire**, d'**anthère**… et y **trouver** (quand c'est possible) les **gamétophytes** ou les **cellules** qui en sont à l'origine.

Références

ALBERTS, B., A. JOHNSON, J. LEWIS, M. RAFF, K. ROBERTS & P. WALTER (2004). *Biologie moléculaire de la cellule. Quatrième édition.* Traduction de la quatrième édition américaine (2002) par F. LE SUEUR-ALMOSNI. Flammarion, Paris. Première édition américaine 1983 (1986 1e édition française).
BERTHET, J. (2006). *Dictionnaire de Biologie.* De Boeck Université, Bruxelles (Belgique).
BOUTIN, V., J.-F. FOGELGESANG, J.-F. BEAUX & F. RIBOLA (2010). *Atlas de Biologie végétale BCPST 1re et 2e années.* Dunod, Paris.
BOUTIN, V., L. GERAY, Y. KRAUSS & C. VILBERT (2015). *Atlas de biologie BCPST 1re et 2e années.* Dunod, Paris.
BREUIL, M. (2007). *Biologie 1re année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
BREUIL, M. (2009). *Biologie 2e année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
CAMEFORT, H. (1977). *Morphologie des végétaux vasculaires. Cytologie. Anatomie. Adaptations.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1962).
CAMEFORT, H. & H. BOUÉ (1980). *Reproduction et biologie des végétaux supérieurs. Brophytes. Ptéridophytes. Spermaphytes.* Doin, Paris.
CAMPBELL, N. A. & J. B. REECE (2004). *Biologie.* De Boeck Université, Bruxelles, 2e édition (1e édition 1995).
[CAMPBELL, N. A.], J. B. REECE, L. A. URY, M. L. CAIN, S. A. WASSERAMN, P. V. MINORSKY, R. B. JACKSON (2012). *Campbell Biologie.* Adaptation française J. FAUCHER & R. LACHAÎNE. Pearson, Paris (4e edition).
CHASSANY, V., M. POTAGE & M. RICOU (2012). *Mini manuel de Biologie végétale.* Dunod, Paris.
CLESSE, B. (2006). *Glossaire botanique illustré.* Entente nationale pour la Protection de la Nature, Bruxelles (B).
DENŒUD, J., T. FERROIR, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2011). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2013). *Biologie-Géologie BCPST-véto 1e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2014). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
DUCREUX, G. (2002). *Introduction à la botanique.* Belin, Paris.
GALIANA, D., C. LE ROUX & I. MONCHÂTRE (coord. T.-M. BOTREAU) (2015). *Biologie-Écologie Module M72. Bac technologique STAV. La gestion du vivant et des ressources.* Éducagri, Dijon.
GUIGNARD, J.-L. & F. DUPONT (2004). *Botanique. Systématique moléculaire.* Masson, Issy-les-Moulineaux (92), 13e édition (1e édition 1974).
GODINOT, C., H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2010). *Biologie-Géologie 1re année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
KLEIMAN, C. (2001). *La reproduction des Angiospermes.* Belin, Paris.
LABERCHE, J.-C. (2004). *Biologie végétale.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 1999).
LAFON, C. (2003). *La biologie autrement. 100 questions de synthèse.* Ellipses, Paris.
LIZEAUX, C., D. BAUDE (dir.), A. ANDRÉ, C. BRUNET, J.-Y. DUPONT, B. FORESTIER, E. FRANÇOIS, Y. JUSSERAND, G. LÉVÊQUE, P. PILLOT, S. RABOUIN & A. VAREILLE (2012). *Sciences de la Vie et de la Terre Terminale S. Enseignement spécifique.* Bordas, Paris.
MEYER, S., C. REEB & R. BOSDEVEIX (2008). *Botanique. Biologie et physiologie végétales.* Maloine, Paris, 2e édition (1e édition 2004).
MORÈRE, J.-L., R. PUJOL (coord.), J.-C. CALLEN, L. CHESNOY, J.-P. DUPONT, A.-M. GIBERT-TANGAPREGASSOM, G. RICOU, N. TOUZET (dir.) et colloborateurs (2003). *Dictionnaire raisonné de Biologie.* Frison-Roche, Paris.
PEYCRU, P. (dir.), J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, B. AUGÈRE, J.-C. BAEHR, C. PERRIER, J.-M. DUPIN & C. VAN DER REST (2010*a*). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 2e édition (2009), réimpression corrigée (2010) (1e édition 2006).
PEYCRU, P. (dir.), J.-C. BAEHR, F. CARIOU, D. GRANDPERRIN, C. PERRIER, J.-F. FOGELGESANG & J.-M. DUPIN (2010*b*). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2007).
PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER J.-F. FOGELGESANG, & C. VAN DER REST (2013). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2006).
PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, F. CARIOU, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, S. MAURY, É. QUÉINNEC, E. SALGUEIRO & C. VAN DER REST (2014). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2007).
RAVEN, P. H., G. B. JOHNSON, J. B. LOSOS, S. S. SINGER (2007*a*). *Biologie.* De Boeck, Bruxelles.
RAVEN, P. H., R. F. EVERT & S. E. EICHHORN (2007*b*). *Biologie végétale.* De Boeck, Bruxelles. Traduction de la 7e édition américaine par J. Bouharmont, révision C. Evrard.
RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2012). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2010).
RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2015). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2010).

ROBERT, D. & J.-C. ROLAND (1998*a*). *Biologie végétale. Caractéristiques et stratégie évolutive des plantes. **1**. Organisation cellulaire.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1989).
ROBERT, D., C. DUMAS & C. BAJON (1998*b*). *Biologie végétale. Caractéristiques et stratégie évolutive des plantes. **3**. La reproduction.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1994).
ROBERT, D. & A.-M. CATESSON (2000). *Biologie végétale. Caractéristiques et stratégie évolutive des plantes. **2**. Organisation végétative.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1990).
SAINTPIERRE, F., C. BORDI (dir.), M. ALGRAIN, Y. KRAUSS, I. MOLLIÈRE & H. CLAUCE (2017). *Mémento Biologie BCPST 1re et 2e années.* Vuibert, Paris.
SEGARRA, J. (dir.), É. CHAUVET, C. COLSON-PROCH, M. HUILLE, M. LABROUSSE, F. LOUET, F. METZ & E. PIÈTRE (2014). *Biologie BCPST 1re année.* Ellipses, Paris.
SEGARRA, J., E. PIÈTRE (dir.), G. BAILLY, O. CHASSAING, D. FAVRE, T. JEAN, F. METZ & C. MEUNIER (2015). *Biologie BCPST 2e année.* Ellipses, Paris.
VINCENT, P. (1964). *Sciences naturelles. Classe de 2eM'.* Vuibert, Paris.
VINCENT, P. (1962). *Sciences naturelles. Classe de 1reM'.* Vuibert, Paris.
VINCENT, P. (1968). *Sciences naturelles. Classe de 1eD.* Vuibert, Paris.

Plan du chapitre

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 1

I. Les modalités de la reproduction sexuée 2
A. Une reproduction qui s'inscrit dans un cycle de développement digénétique haplodiplophasique 2
B. La fleur, les « spores » et les gamétophytes des Angiospermes 4
1. Une fleur typique : la fleur hermaphrodite 4
a. Une structure mise en place à partir d'un méristème floral 4
b. Une structure s'organisant autour d'un plan typique comprenant des pièces stériles et des pièces fertiles 4
2. Les variations de morphologie des fleurs 6
3. L'existence de fleurs unisexuées chez les espèces monoïques et dioïques 6
4. Des fleurs souvent groupées en inflorescences 6
5. La fleur, organe sporophytique où se forment les gamétophytes 7
a. Quelques rappels sur le cycle digénétique des Angiospermes et la notion de gamétophyte 7
b. La formation des « spores » des Angiospermes : notions de macro- et microsporogenèse 7
c. Les processus assurant la formation du grain de pollen, gamétophyte mâle 7
α. Un processus qui se déroule dans les étamines et accompagne leur maturation 7
β. D'une cellule-mère de spore à quatre grains de pollen 8
γ. Structure et organisation du grain de pollen 9
δ. Quelques précisions sur la paroi du grain de pollen et l'origine de ses constituants 9
d. Les processus assurant la formation du sac embryonnaire, gamétophyte femelle 10
α. Un processus qui a lieu dans les ovules 10
β. D'une cellule-mère de spore à un sac embryonnaire (un seul !) 10
γ. Structure et organisation du sac embryonnaire 11
C. La rencontre des gamétophytes et la double fécondation chez les Angiospermes 12
1. La rencontre des gamétophytes par le transport passif des grains de pollen jusqu'au stigmate : la pollinisation 12
a. Un processus qui peut se faire au sein d'un même individu (autogamie = autopollinisation) ou entre fleurs différentes (allogamie = allopollinisation) 12
b. Une autogamie plutôt rare quoique pouvant être parfois privilégiée chez certaines espèces (cas des anthères introrses ou de la cléistogamie) 12
c. Une dispersion du pollen qui suppose des agents extérieurs : diversité des modes de pollinisation (les « -gamies » ou « -philies ») 13
α. L'anémogamie (= anémophilie) : transport du pollen par le vent 13
β. L'entomogamie (= entomophilie) : une relation interspécifique mutualiste où le pollen est pris en charge par des Insectes [+ notion de coévolution] 13
γ. L'existence d'autres modalités (hydrogamie, autres zoogamies…) [*pour information*] 15
δ. Bilan : comparaison anémogamie / entomogamie 15
d. L'existence fréquente de mécanismes limitant l'autogamie et favorisant l'allogamie (et donc l'hétérozygotie) 15
α. La séparation spatiale des fleurs mâles et femelles sur des individus différents : la dioécie 15
β. La séparation temporelle des structures mâles et femelles : la dichogamie (protogynie, protandrie) 15
γ. Des obstacles morpho-anatomiques à l'autofécondation : les autoincompatibilités hétéromorphes (exemple des fleurs hétérostylées de Primevère) 15
δ. Des obstacles moléculaires à l'autofécondation : les autoincompatibilités homomorphes (reposant sur un complexe S pluri-allélique) 16
i. Les autoincompatibilités sporophytiques (AIS) (exemple du Chou) 17

ii. Les autoincompatibilités gamétophytiques (AIG) (exemple du Tabac) 18
ε. Des obstacles mécaniques à l'autofécondation : l'hercogamie (exemple chez les Orchidacées) 18
2. La germination du tube pollinique, sa croissance et la double fécondation : la siphonogamie 18
a. La réhydratation et la germination du pollen, suite à son dépôt sur le stigmate 18
b. La croissance du tube pollinique, un processus complexe permis par une turgescence, guidé par des interactions moléculaires et s'accompagnant d'une synthèse de composés pariétaux 18
c. La double fécondation, un processus à l'origine d'un embryon principal et d'un embryon accessoire (que l'on peut considérer comme vivipares) 20
D. La formation des semences (graines et fruits) et leur dissémination chez les Angiospermes 21
1. Des graines dérivant chacune d'un ovule 21
2. Formation et diversité des fruits 21
a. Le fruit, structure dérivant de l'ovaire 21
b. La fructification, un processus en trois temps à médiation phytohormonale 22
α. Un processus en trois temps : mise à fruit, croissance, maturation 22
β. Un processus (déclenché par la fécondation) à médiation phytohormonale 22
c. Diversité des fruits 22
3. La dissémination des semences (= diaspores), un processus souvent assuré par des agents extérieurs qui permet la colonisation du milieu 25
a. Notions de semence (= diaspore) et de dissémination 25
b. Les principales modalités de dissémination (les « -chories ») : anémochore, barochorie, zoochorie, autochorie, hydrochorie 25
E. Bilan de la reproduction sexuée des Angiospermes 26

II. La multiplication végétative naturelle 29
A. Caractéristiques générales de la reproduction asexuée 29
1. Notion de reproduction asexuée : une reproduction à partir d'un individu parental unique sans fécondation 29
2. Un panorama préliminaire de la diversité des modalités de reproduction asexuée 29
3. Une reproduction asexuée qui s'appuie sur la physiologie du développement de la plante 30
a. La formation de tissus par multiplication des cellules (mérèse) suivie d'une possible différenciation 30
b. La néoformation possible de méristèmes à partir de cellules modérément différenciées (dédifférenciation) 30
c. L'utilisation possible de réserves 30
4. Un avantage sélectif dans certaines conditions environnementales 31
a. Une reproduction plus rapide et à plus faible coût énergétique que la reproduction sexuée 31
b. Une clonalité qui assure l'occupation de l'espace par un même génotype (isogénie des clones), ce qui autorise toutefois une variation phénotypique 31
c. Une faible adaptabilité face aux environnements très hétérogènes et un risque d'affaiblissement génétique 31
B. Diversité des modalités de reproduction asexuée 32
1. La multiplication végétative à partir d'organes non spécialisés 32
a. Le marcottage naturel : un enracinement avant fragmentation (exemple du Sceau de Salomon) 32
b. Le bouturage naturel : un enracinement après fragmentation (exemple du Figuier de Barbarie) 32
2. La multiplication végétative à partir d'organes spécialisés 33
a. Les stolons (stolonisation) : des tiges rampantes plagiotropes à bourgeon apical à l'origine de nouveaux individus (exemple du Fraisier) 33
b. Les drageons : des racines plagiotropes à l'origine de nouveaux individus par néoformation de bourgeons (exemple du Framboisier) 33
c. Une multiplication végétative par le biais d'organes (souvent) tubérisés spécialisés de l'appareil caulinaire 34
α. Les tubercules caulinaires : rôle du bourgeon terminal (exemple de la Pomme de terre) 34
β. Les tubercules racinaires [rare pour la multiplication végétative] (exemple du Dahlia) 34
γ. Les bulbes à bulbilles (exemple de l'Ail) 34
δ. Les bulbilles aériens préformés ou néoformés : les bulbilles foliaires (exemple de la Ficaire ou du *Bryophyllum*) et floraux (exemple de l'Ail sauvage : apoflorie) 34
3. L'agamospermie : une reproduction asexuée par des graines contenant des embryons adventifs non issus d'une fécondation 35
C. Une reproduction asexuée parfois détournée par l'homme : la multiplication végétative artificielle 35
D. Bilan 37

Bilan général sur la reproduction des Angiospermes 37
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 38
Références 38
Plan du chapitre 39
Plan simplifié du chapitre 41
Plan très simplifié du chapitre 41

Plan simplifié du chapitre

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 1

I. Les modalités de la reproduction sexuée 2
A. Une reproduction qui s'inscrit dans un cycle de développement digénétique haplodiplophasique 2
B. La fleur, les « spores » et les gamétophytes des Angiospermes 4
1. Une fleur typique : la fleur hermaphrodite 4
2. Les variations de morphologie des fleurs 6
3. L'existence de fleurs unisexuées chez les espèces monoïques et dioïques 6
4. Des fleurs souvent groupées en inflorescences (rappels) 6
5. La fleur, organe sporophytique où se forment les gamétophytes 7
C. La rencontre des gamétophytes et la double fécondation chez les Angiospermes 12
1. La rencontre des gamétophytes par le transport passif des grains de pollen jusqu'au stigmate : la pollinisation 12
2. La germination du tube pollinique, sa croissance et la double fécondation : la siphonogamie 18
D. La formation des semences (graines et fruits) et leur dissémination chez les Angiospermes 21
1. Des graines dérivant chacune d'un ovule 21
2. Formation et diversité des fruits 21
3. La dissémination des semences (= diaspores), un processus souvent assuré par des agents extérieurs qui permet la colonisation du milieu 25
E. Bilan de la reproduction sexuée des Angiospermes 26

II. La multiplication végétative naturelle 29
A. Caractéristiques générales de la reproduction asexuée 29
1. Notion de reproduction asexuée : une reproduction à partir d'un individu parental unique sans fécondation 29
2. Un panorama préliminaire de la diversité des modalités de reproduction asexuée 29
3. Une reproduction asexuée qui s'appuie sur la physiologie du développement de la plante 30
4. Un avantage sélectif dans certaines conditions environnementales 31
B. Diversité des modalités de reproduction asexuée 32
1. La multiplication végétative à partir d'organes non spécialisés 32
2. La multiplication végétative à partir d'organes spécialisés 33
3. L'agamospermie : une reproduction asexuée par des graines contenant des embryons adventifs non issus d'une fécondation 35
C. Une reproduction asexuée parfois détournée par l'homme : la multiplication végétative artificielle 35
D. Bilan 37

Bilan général sur la reproduction des Angiospermes 37
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 38
Références 38
Plan du chapitre 39
Plan simplifié du chapitre 41
Plan très simplifié du chapitre 41

Plan très simplifié du chapitre

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 1

I. Les modalités de la reproduction sexuée 2
A. Une reproduction qui s'inscrit dans un cycle de développement digénétique haplodiplophasique 2
B. La fleur, les « spores » et les gamétophytes des Angiospermes 4
C. La rencontre des gamétophytes et la double fécondation chez les Angiospermes 12
D. La formation des semences (graines et fruits) et leur dissémination chez les Angiospermes 21
E. Bilan de la reproduction sexuée des Angiospermes 26

II. La multiplication végétative naturelle 29
A. Caractéristiques générales de la reproduction asexuée 29
B. Diversité des modalités de reproduction asexuée 32
C. Une reproduction asexuée parfois détournée par l'homme : la multiplication végétative artificielle 35
D. Bilan 37

Bilan général sur la reproduction des Angiospermes 37
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 38
Références 38
Plan du chapitre 39
Plan simplifié du chapitre 41
Plan très simplifié du chapitre 41

© Tanguy JEAN. Les textes et les figures originales sont la propriété de l'auteur. Les figures extraites d'autres sources restent évidemment la propriété des auteurs ou éditeurs originaux.

Document produit en avril 2016 (ATS Bio) • Dernière actualisation : juin 2020. Contact : Tanguy.Jean4@gmail.com
Adresse de téléchargement : https://www.svt-tanguy-jean.com/

Ces données sont placées sous licence *Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation commerciale 4.0 CC BY NC* qui autorise la reproduction et la diffusion du document, à condition d'en citer explicitement la source et de ne pas en faire d'utilisation commerciale.