

Physiologie du Développement des Angiospermes

Croissance – Développement – Régulation

Développement Reproducteur

1. La Floraison.

a. Introduction



On passe d'un état végétatif (racines, tiges et feuilles) à un état reproductif (organes résultants de la fécondation des fleurs) qui conduit à l'apparition d'inflorescences et de fleurs.

La floraison constitue un changement fondamental dans le programme de développement de la plante.

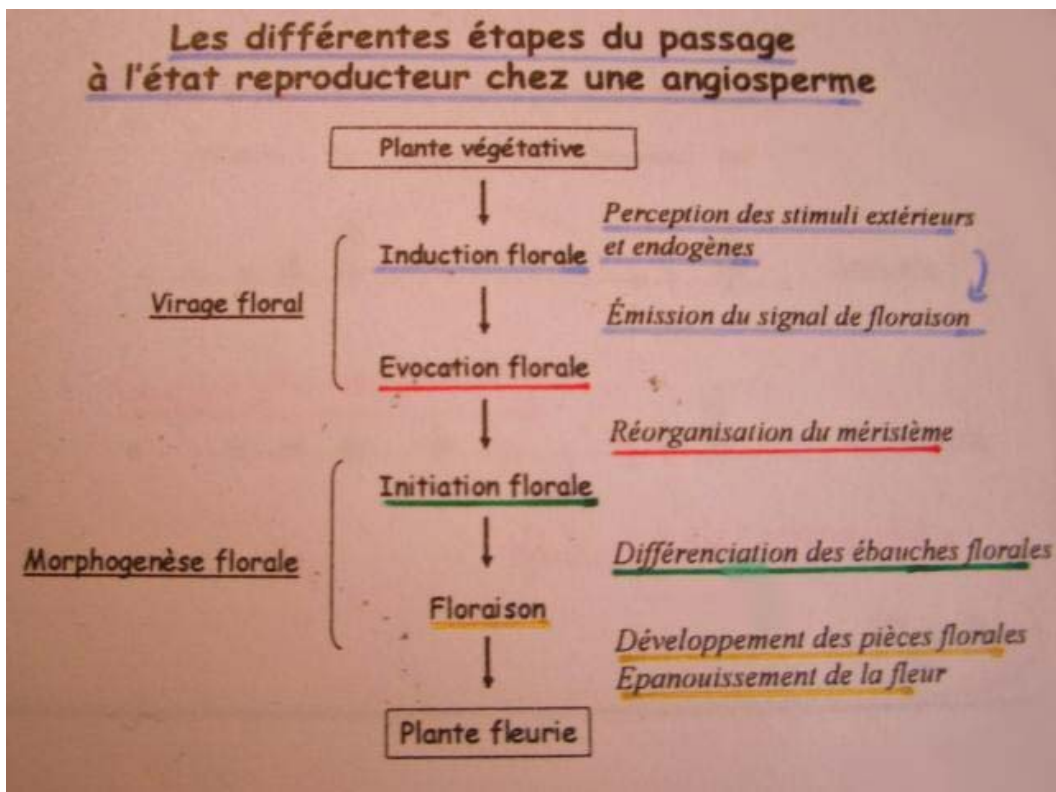
Des mécanismes sont responsables du contrôle de la floraison :

- Afin que les plantes soient émises au bon moment.
- Ces mécanismes dépendent des conditions environnementales et de l'état de la plante (maturité, stade de développement)
- Ils sont communs à tous les individus d'une espèce.

Dans une même espèce, toutes les plantes fleurissent au même moment. On parle de reproduction allogame et, la fécondation croisée est nécessaire (une fleur de deux plantes)

Les mécanismes font intervenir des programmes génétiques, de la physio et de l'organogenèse (nouvelles structures).

b. Les étapes de la floraison



a. L'induction florale

Etape initiale

La décision de fleurir est prise par certains organes tels que les feuilles. Il y a émission d'un signal vers le méristème.

C'est une étape plus ou moins longue : 1 jour à plusieurs mois.

L'induction florale est sous le contrôle de plusieurs facteurs : on parle de contrôle multifactoriel.

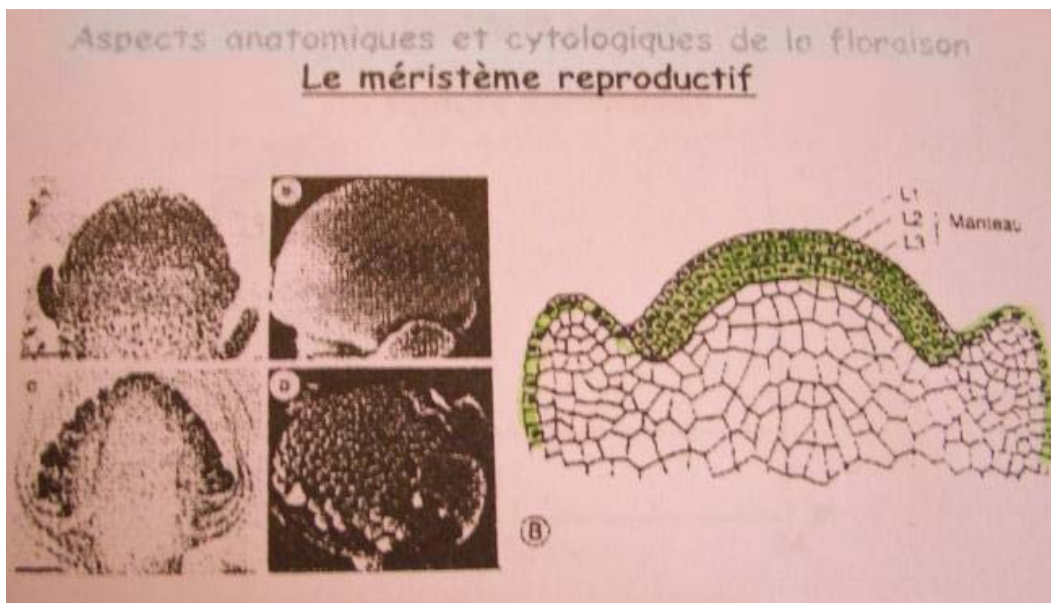
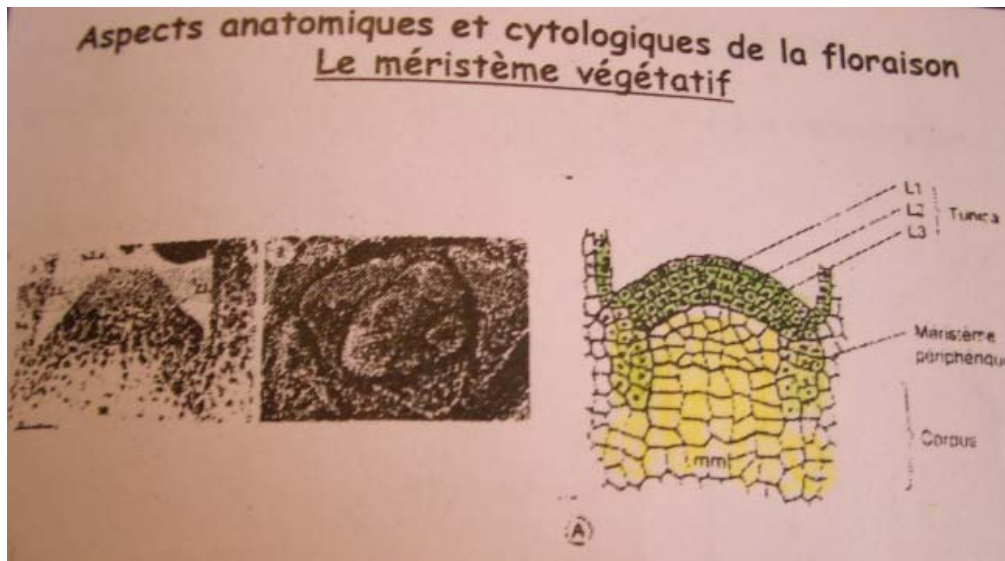
- Stimuli externe : dépend de la localisation géographique (saisons, climat : température et lumière).
- Stimuli interne (endogène) : capacité de la plante à fleurir (âge, taille de l'appareil végétatif...). Il faut que la plante ait atteint un stade de développement suffisant (par exemple le chêne ne fleurit qu'après 40ans)

Si les stimuli ne sont pas suffisants, la floraison s'arrête. C'est l'effet dose.

L'induction florale émet un signal de floraison, le florigène, qu'on peut assimiler à une hormone.

b. L'évocation florale

Induction de changements visibles dans la plante : mise en route du processus.
Réorganisation du MAC : il devient reproducteur



La taille du méristème augmente, il s'agrandit et s'arrondit. La zone apicale devient active, elle contient trois couches qui donnent les différents organes de la fleur et, le méristème médullaire devient inactif.

- L'architecture de l'apex se réorganise, de même que sa composition cellulaire.
- L'afflux de substrats (saccharose) et accélération du métabolisme énergétique pour la formation des nouveaux organes.
- Augmentation de l'activité mitotique dans les trois assises cellulaires du manteau/tunica
- Induction des gènes à l'origine de l'induction florale (organisation génétique du MAC différente)

Morphogenèse florale

Emergence et épanouissement de la fleur. Cette phase est contrôlée par un programme génétique indépendant de l'environnement. La morphogenèse florale se fait en deux étapes : l'initiation florale et la floraison (floraison des bâtons floraux)

c. Initiation florale

L'initiation florale débute après la réorganisation du méristème végétatif en méristème pré floral ou inflorescentiel.

Le méristème inflorescentiel produit :

- Les différentes pièces florales (dans un bouton floral). Dans le cas d'une fleur unique, un méristème correspond à une fleur.
- Des inflorescences qui portent les méristèmes floraux terminaux (boutons floraux : méristèmes reproducteurs protégés).

d. La floraison

La floraison consiste en la formation de la fleur et l'épanouissement des pièces florales :

- Les étamines (organes femelles), les carpelles (organes mâles), les gamètes, la coloration et l'ouverture des pétales (cf. : morphogenèse florale).

c. Physiologie de l'induction florale

La floraison dépend de deux paramètres et pourra intervenir quelques semaines après la germination ou quelques années...

L'âge ou la taille de la plante peuvent être importants et, la floraison est régulée de façon autonome (indépendante de l'environnement). C'est le premier contrôle interne.

La floraison est reliée aux conditions environnementales surtout le déroulement des saisons et, la température, la lumière et le stress favorisent ou défavorisent la floraison.

Les deux facteurs les plus importants sont :

- Le traitement au froid : la vernalisation
- L'exposition à la lumière : le photopériodisme.

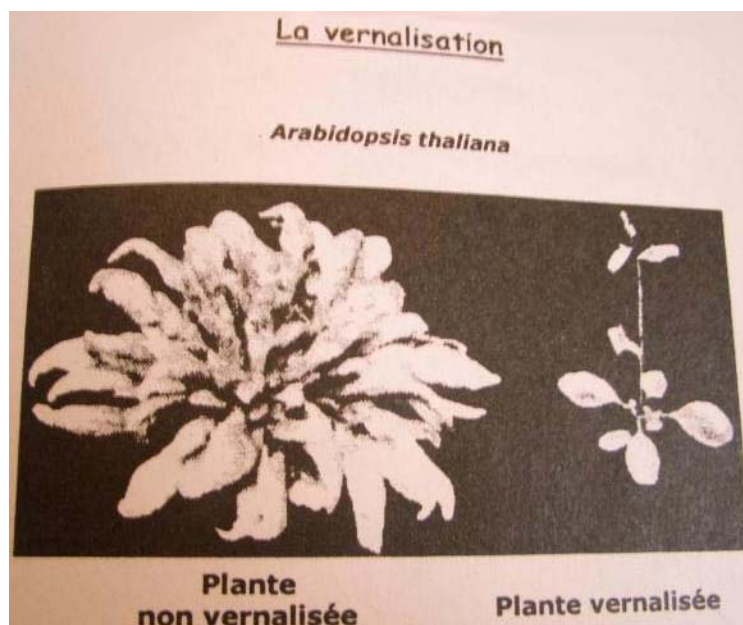
Ces deux facteurs constituent le deuxième niveau de régulation.

a. La vernalisation

Les variations saisonnières et quotidiennes de température jouent sur la floraison, au moins en influençant la croissance végétative. Elles influencent directement le MAC et ont un contrôle indirect sur la croissance.

Les basses températures hivernales ont un effet inducteur spécifique sur la floraison.

Certaines plantes ne fleuriront qu'après une exposition au froid même si leur MAC est très développé.



La vernalisation est un traitement réfrigérant artificiel qui induit une acquisition de l'aptitude à la floraison.

Attention → La vernalisation n'est pas la levée de la dormance et correspond à une aptitude à fleurir différente de la floraison. Certaines plantes ne nécessitent pas de vernalisation pour fleurir.

La vernalisation

Il existe 3 catégories de plantes à besoin de vernalisation :

<u>Les annuelles d'hiver</u>	<u>Les bisannuelles</u>	<u>Les pérennes</u>
semis à l'automne	semis au printemps	plante vivace
passage de l'hiver en graines imbibées ou jeunes plantules	passage de l'hiver après 1 an sous forme de rosette	passage de l'hiver sous forme végétative (rosette, tige, bulbe, ...)
floraison rapide au printemps	au 2ème printemps	au printemps
<u>floraison très tardive sans vernalisation</u>	<u>pas de floraison sans vernalisation</u>	<u>pas de floraison sans vernalisation</u>
	Phase juvénile/maturité de vernalisation	

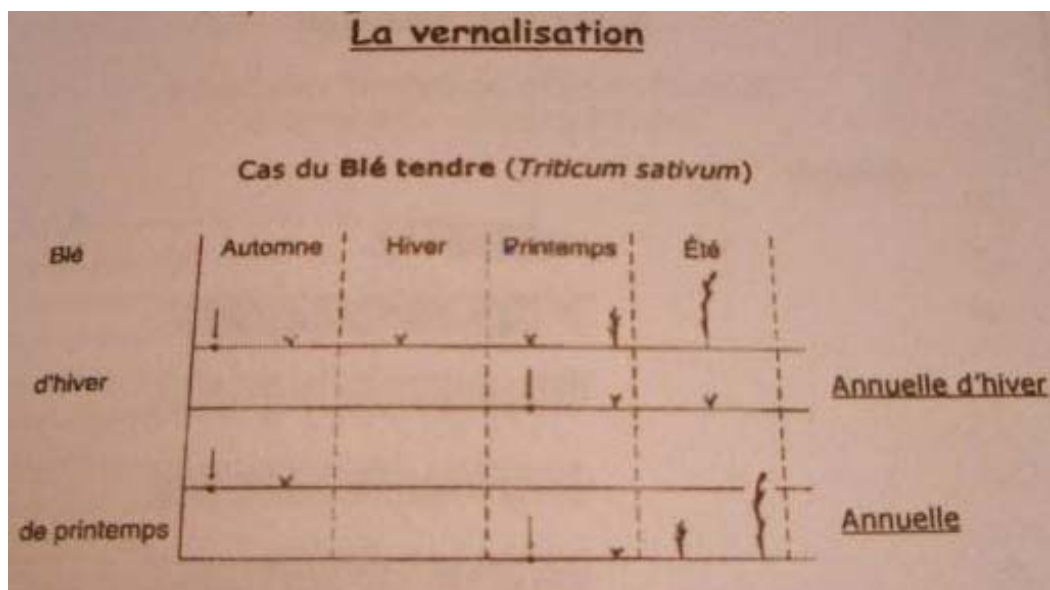
Catégories de plantes à besoin de vernalisation.

Pour les bisannuelles et les pérennes, il existe deux phases :

- Une phase juvénile où la vernalisation est impossible
- Une phase de maturité de vernalisation où la plante fleurira après la vernalisation.

Les annuelles d'été et de printemps ou les vivaces qui forment les ébauches florales avant l'hiver n'ont pas besoin de vernalisation.

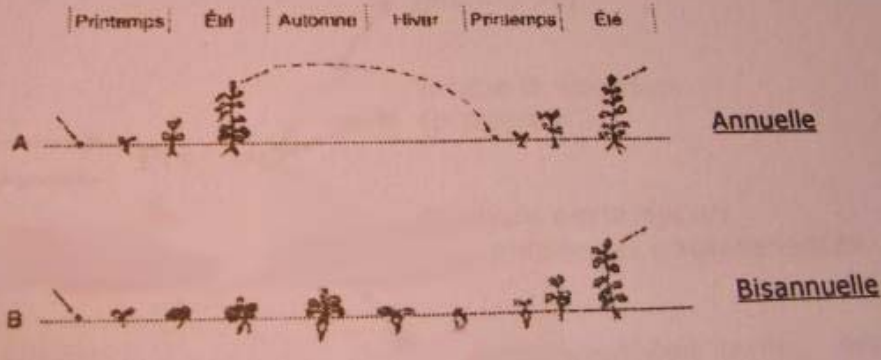
La vernalisation est importante en agriculture. Elle détermine la zone géographique des semis.



Cas du blé : la maturité de vernalisation est précoce chez le blé.

La vernalisation

Cas de la Jusquiame noire (*Hyoscyamus niger*)



Cas de la jusquiame noire.

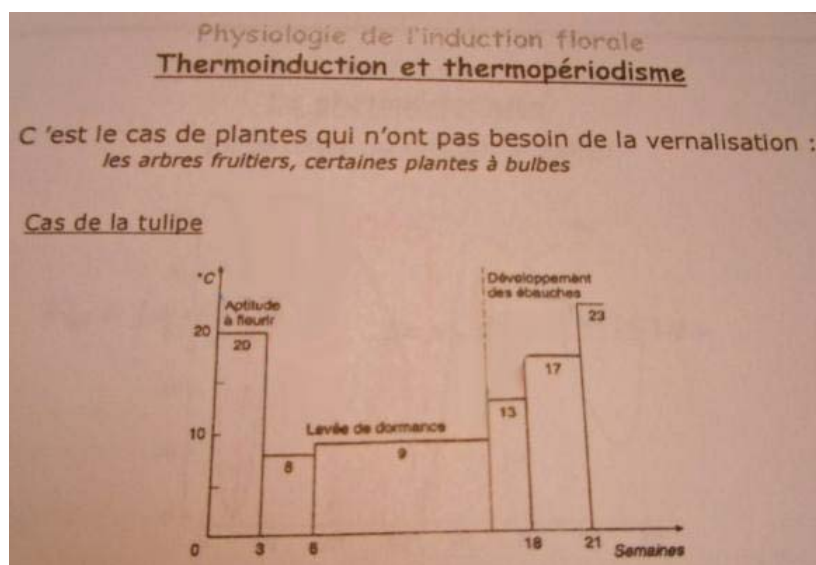
Propriété de la vernalisation

- Le moment de l'application dépend des plantes :
 - Stade graine imbibée
 - Plantes de plusieurs années
- Traitement minimum variable : notion dose
 - Dépend de la durée (un jour à plusieurs mois)
 - Dépend de la température (1°C à 15°C)
- Transformation progressive et réversible
- La vernalisation doit être complète pour assurer son rôle
- La dé vernalisation est possible :
 - Une température élevée chaude bloque la floraison ou un traitement spécifique.

La plupart des espèces qui n'exigent pas de réfrigération hivernale ont une aptitude à fleurir qui ne nécessite aucune exigence thermique particulière. Elles ont les mêmes exigences que celles nécessaires à la croissance végétative. Excepté certaines plantes à bulbe et certains arbres dont la floraison est précoce.

Thermo induction et thermopériodisme :

Cas des plantes qui n'ont pas besoin de la vernalisation mais dont la floraison dépend de la température.



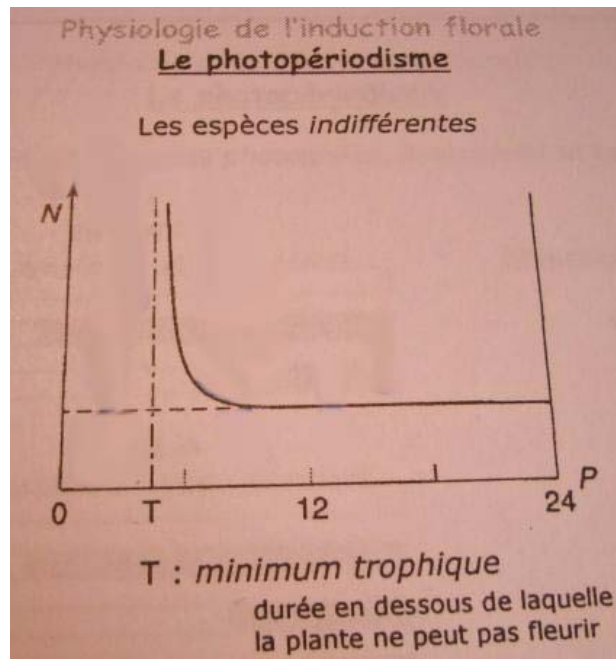
b. Le photopériodisme.

C'est l'influence de la durée relative des jours sur les réactions physiologiques telle que l'induction florale. Il intervient quand la plante est à maturité florale. Dans le cas des plantes à besoin de vernalisation, il intervient après la vernalisation.

Une période éclairée correspond à une photopériode ou héméropériode et, une période sombre ou obscure correspond à une scotopériode ou nyctipériode.

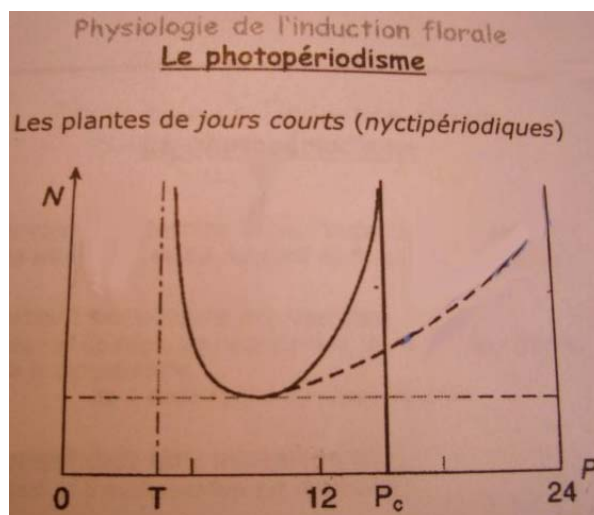
On définit plusieurs catégories de plantes sensibles au photopériodisme :

- Espèces indifférentes
- Plantes de jours courts
- Plantes de jours longs



Cas d'espèces indifférentes.

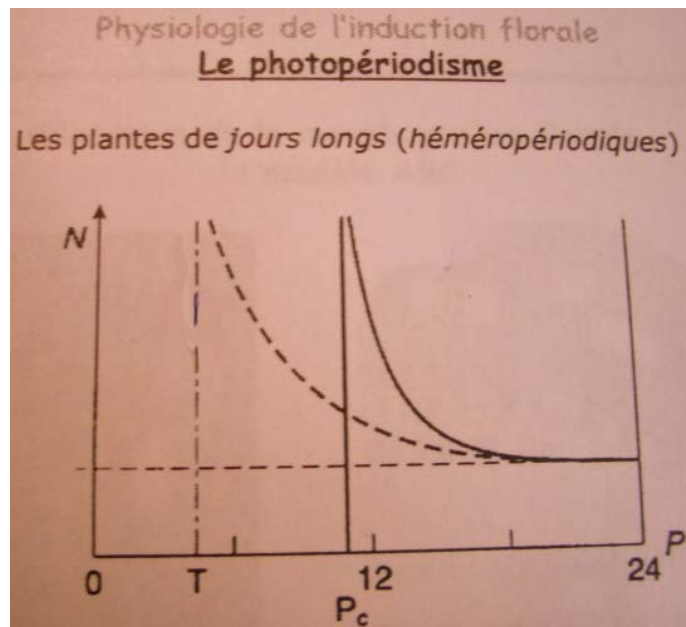
Le minimum trophique T est la valeur en dessous de laquelle il n'y a pas de floraison donc plus la photopériode est importante et plus la floraison sera importante (la floraison aura de toute façon lieu quelque soit la photopériode).



Cas d'espèces de jours courts.

La PC est la photopériode critique au-delà de laquelle les plantes ne sont pas capables de fleurir.

Il existe des plantes de jours courts absolus et préférentiels.



Cas d'espèces de jours longs.

Il existe des plantes de jours longs préférentiels et stricts.

La notion de jours courts et jours longs ne concerne pas la durée absolue du jour mais une valeur par rapport à une limite supérieure ou inférieure : la Photopériode Critique. Chaque plante possède sa propre Photopériode Critique

EXEMPLE :

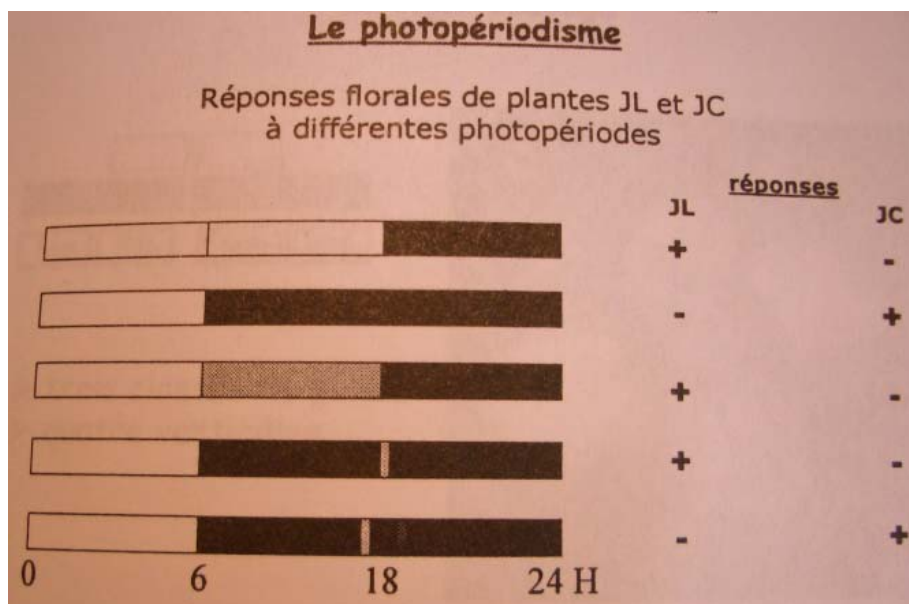
Jusquiamme noire : jours longs avec 11,5h de photopériode → floraison car sa PC > 10h

Xanthium : jours courts avec 14,5h de photopériode → floraison car sa PC < 15h

Jours longs : printemps

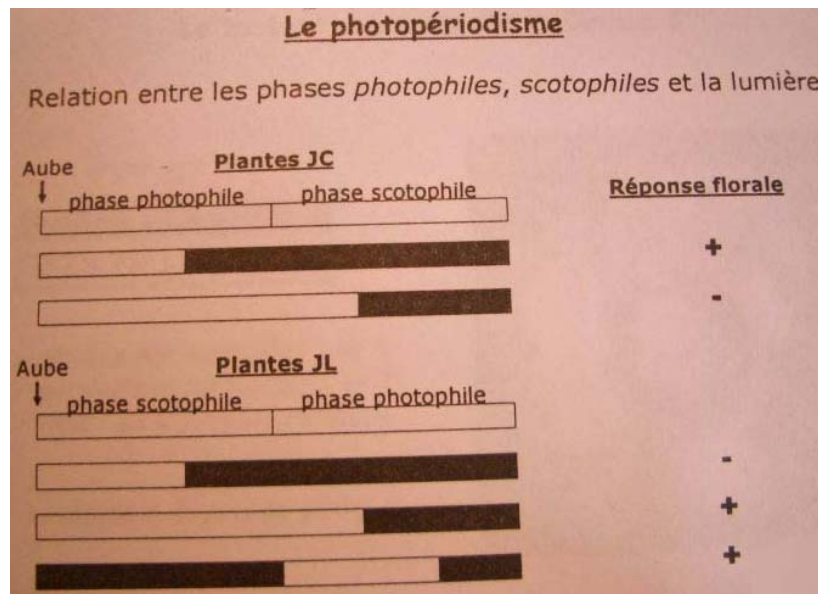
Jours courts : automne

Le mécanisme du photopériodisme est lié à la perception.



On définit alors une phase photophile sensible à la lumière qui active la floraison et une phase scotophile sensible à l'obscurité qui inhibe la floraison.

La différence majeure entre les plantes de jours courts et de jours longs réside dans la position de ces phases dans le rythme.



Le photopériodisme intervient en dernier dans l'induction florale. Le traitement nécessaire est variable et doit être ininterrompu. Il est perçu par les feuilles adultes et doit être synchrone avec le rythme circadien.

c. Les facteurs internes.

La maturité de floraison

La phase juvénile doit être dépassée car la plante doit :

- Être assez grande pour supporter la floraison et la fructification
- Avoir une surface foliaire suffisante pour l'activité photosynthétique
- Avoir une compétence du méristème à percevoir les signaux de floraison (florigène)

Facteurs trophiques

- Eléments minéraux
- L'eau
- Carbone – Azote

d. Le contrôle hormonal.

Les Gibbérellines

Elles peuvent remplacer de façon artificielle la vernalisation chez les bisannuelles à jours longs. Si on les vaporise sur les feuilles on induit la floraison mais elles peuvent aussi être ralentisseurs ou inhibiteurs.

Les cytokinines

Elles sont activatrices.

- Indispensables à la floraison in vitro
- Elles n'agissent pas seules
- A fortes doses elles sont inhibitrices.

L'auxine

C'est une phytohormone inhibitrice antagoniste des cytokinines.

L'éthylène – l'acide abscissique

Pas vraiment d'effet.

e. Le florigène

La perception de la photopériode est foliaire et la floraison est méristématique. La greffe d'une partie d'une plante induite fait fleurir un porte-greffe non induit.

On peut donc parler d'un signal de floraison migrant dans la plante et activant le méristème végétatif à reproducteur.

d. Morphogenèse florale

On identifie des gènes clés.

a. Contrôle génétique de la floraison

Les gènes de l'induction florale permettent la perception des conditions physiologiques et environnementales ainsi que l'induction de la floraison.

Les gènes d'identité du méristème floral permettent la perception du signal de floraison et le changement d'identité du méristème végétatif en méristème floral.

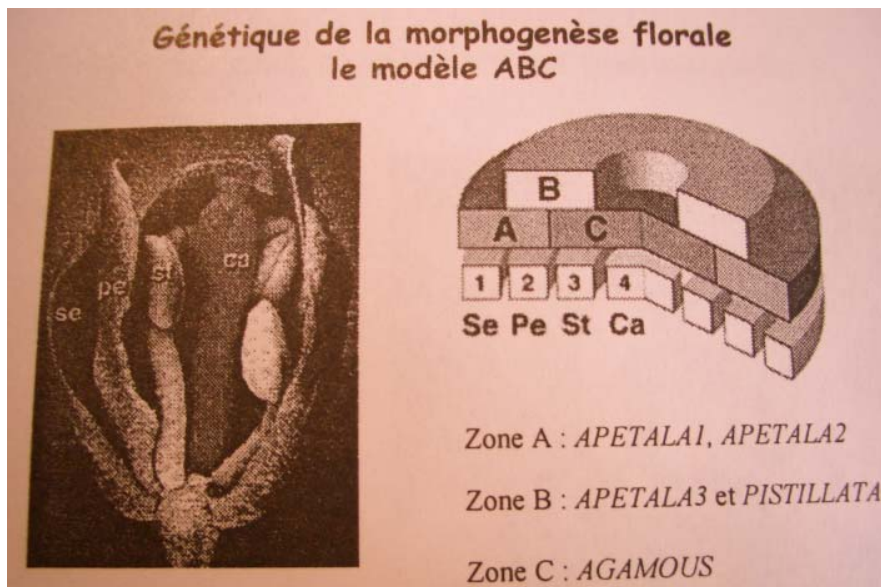
Les gènes d'identité des organes floraux permettent la formation de la fleur et la spécification des organes floraux à partir d'ébauches florales.

b. Formation de la fleur, le modèle ABC

Une fleur est constituée de 4 verticilles (cercles concentriques) :

- Se : sépale
- Pe : pétale
- St : étamines
- Ca : carpelles

Les verticilles sont déterminés par des gènes d'identité du méristème floral. Le type d'organe issu de chaque verticille est déterminé par les gènes d'identité des organes floraux.



Gène A : V1 et V2, Gène B : V2 et V3, Gène C : V3 et V4.

La fleur sauvage

> trois classes de gènes
 > quatre verticilles

Une fleur sauvage exprime les trois gènes

Les mutants *apetala3* et *pistillata*
Classe B

> des sépales
 > des carpelles

Mutation du gène B : expression A et C

Le mutant *apetala2* de la Classe A

> carpelles sur verticilles 1 et 4
 > étamines sur verticilles 2 et 3
 => classe C exprimée partout

Mutation du gène A : expression B et C

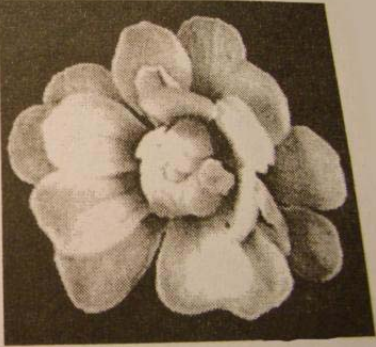
Le mutant *agamous* de la Classe C

B

Sép. Pét. Pét. Sép.

- > sépales sur verticilles 1 et 4
- > pétales sur verticilles 2 et 3
- > fleurs en « poupées russes »

⇒ classe A exprimée partout



Mutation du gène C : expression A et B

Le triple mutant *apetala2, apetala3, pistillata*
Classes B et C

Sép. Sép. Sép. Sép.

- > sépales uniquement

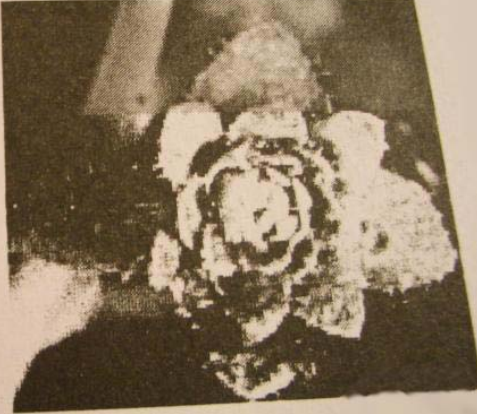
⇒ classe A exprimée partout



Mutation des gènes C et B : expression du gène A

Et si les trois classes sont non fonctionnelles ?

⇒ des feuilles !!



Mutation des gènes A, B, C : on n'a que des feuilles.

2. La Fécondation

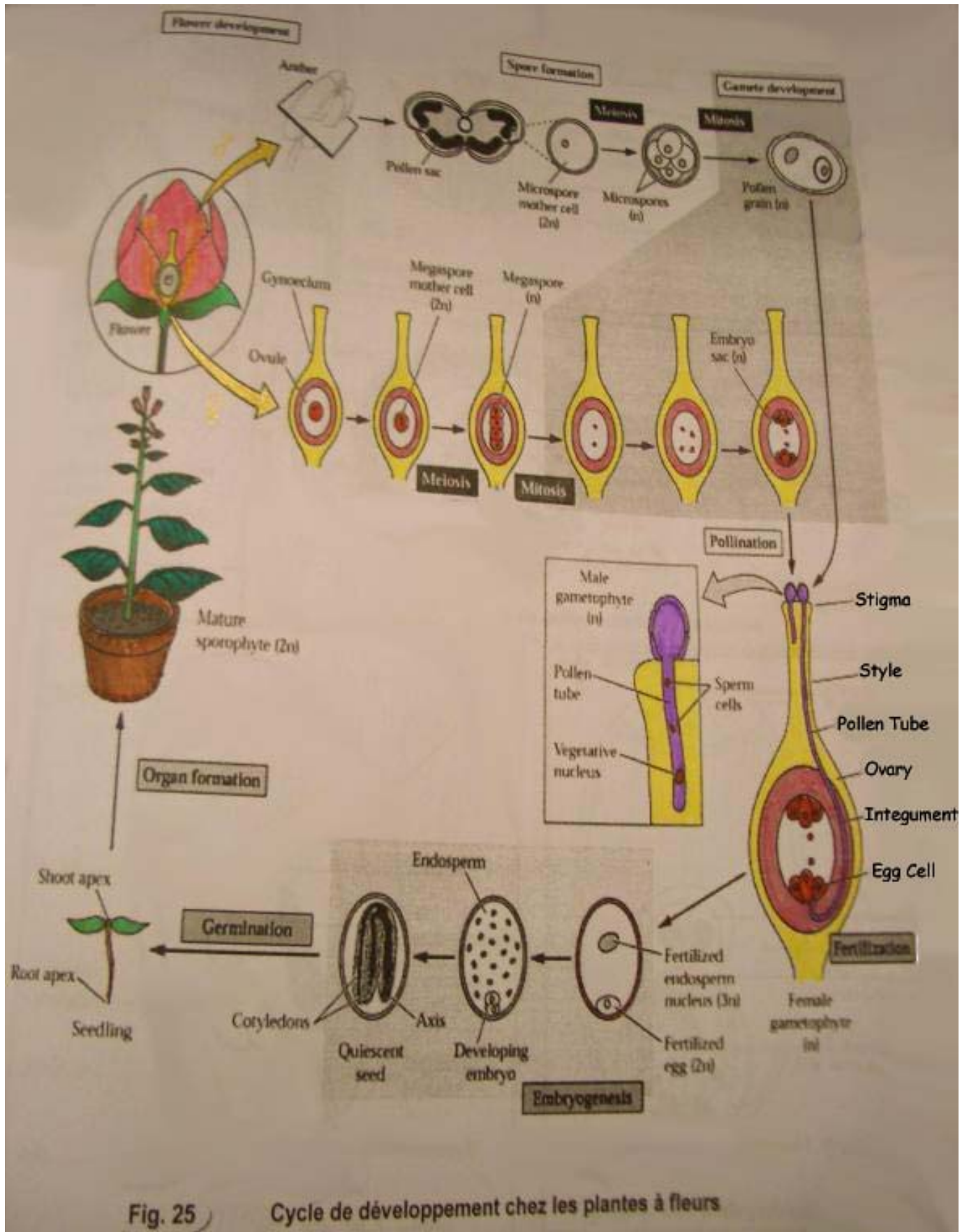


Fig. 25 Cycle de développement chez les plantes à fleurs

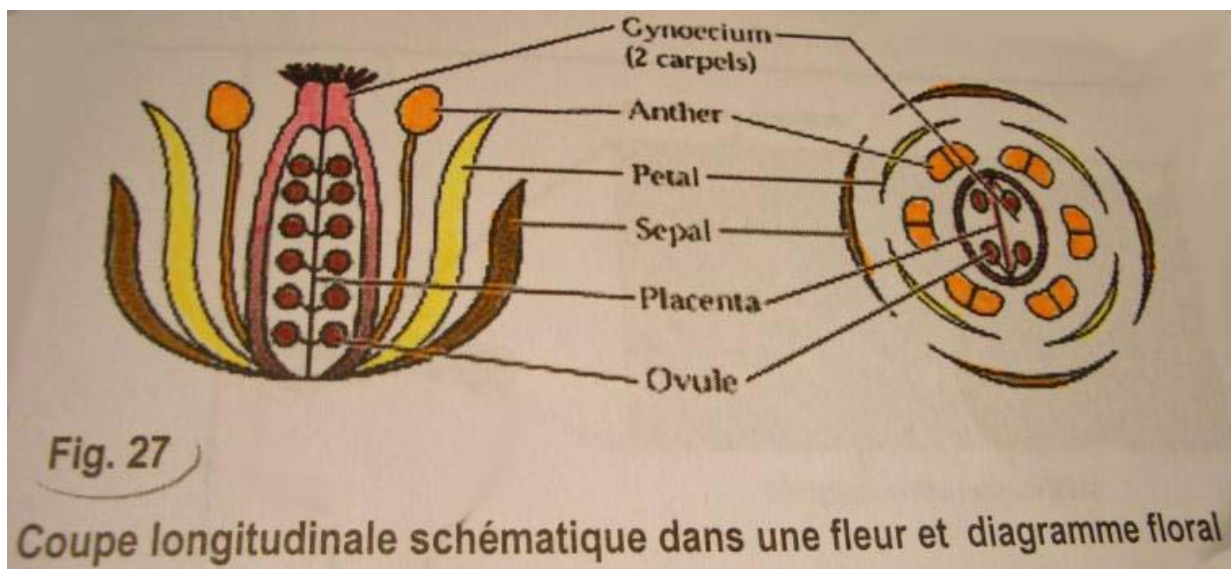
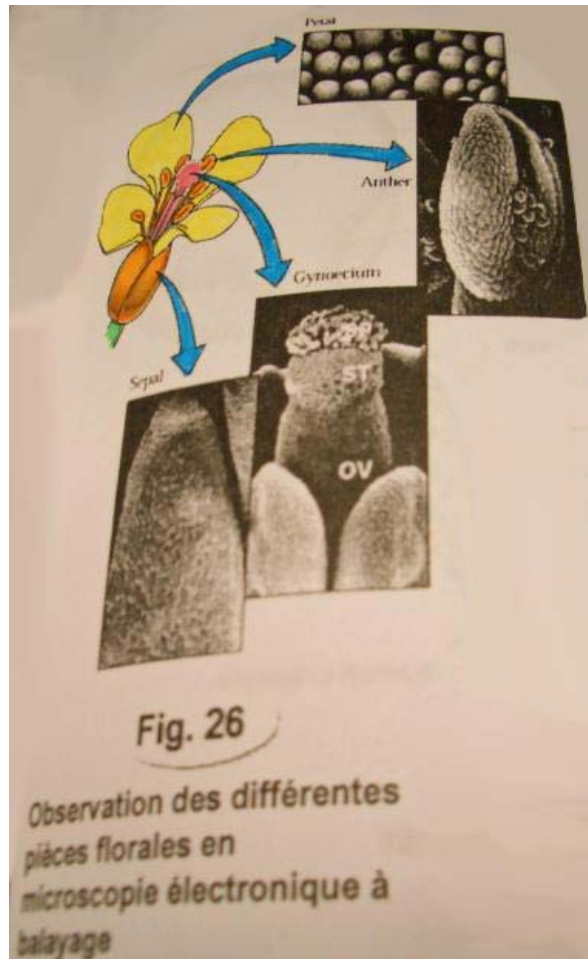
Cycle de reproduction des angiospermes. On a une alternance entre une phase haploïde et une phase diploïde.

a. Gamétophytes et gamètes

Une fleur provient de la reproduction dont l'étape initiale est la gamétogenèse. La production des gamétophytes se fait dans le sac embryonnaire pour les gamètes femelles et dans le grain de pollen pour les gamètes mâles.

On a production de deux gamètes mâles et deux gamètes femelles et une cellule centrale et une oosphère.

a. Développement du gamétophyte mâle et de la microsporogénèse.



Structure de l'étamine

Les étamines portent l'anthère où l'on trouve des sacs polliniques.

Le gamétophyte mâle se forme dans l'anthère par deux phases :

- Microsporogénèse : cycle méiotique et formation des microspores.
- Palynogénèse : transformation de la microspore en grain de pollen.

La microsporogénèse

Etape pré méiotique : activité des microsporocytes très intense. Cette période est très sensible aux stress et la formation du pollen peut être altérée.

Après la méiose on obtient une tétrade de cellules haploïdes séparées par une paroi de callose (β 1-3 glucose).

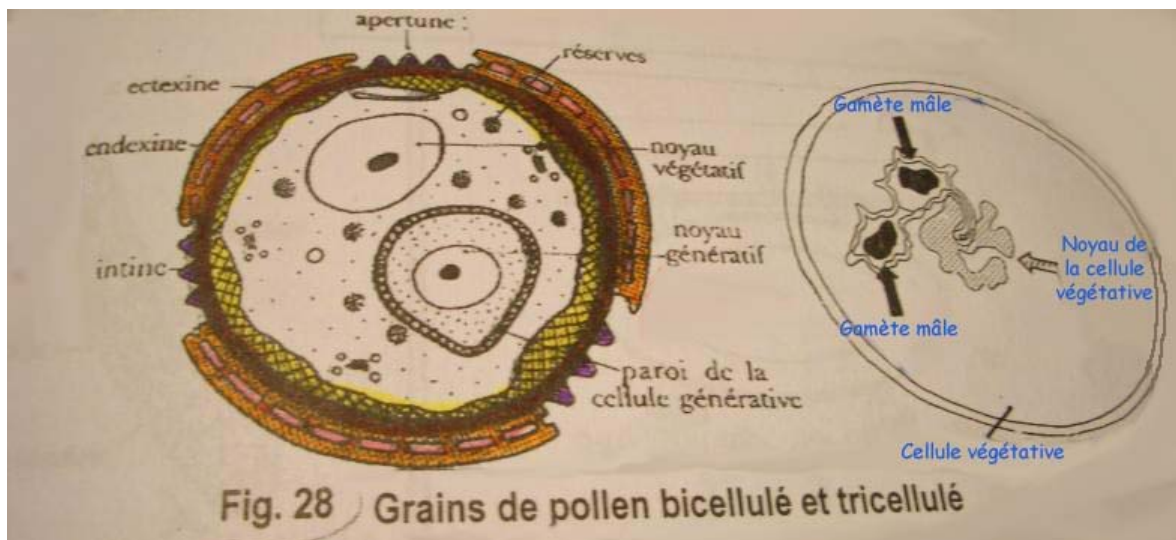
Les cellules de la tétrade sont ensuite libérées sous la forme de microspores libres sous action de la callase, enzyme produite par les cellules tapétales (tapis de l'anthère).

La palynogénèse

Après cette libération, les microspores subissent une division mitotique asymétrique donnant lieu à une grande cellule, la cellule végétative et, une petite cellule, la cellule générative ou reproductrice, incluse dans la première (responsable de la génération des gamètes mâles).

Dans la plupart des angiospermes, les grains de pollen sont libérés de l'anthère sous forme bicellulée et, la deuxième division mitotique se produit lors de la croissance du tube pollinique.

La cellule végétative est riche en tissus de réserves car elle doit permettre la croissance du tube pollinique.

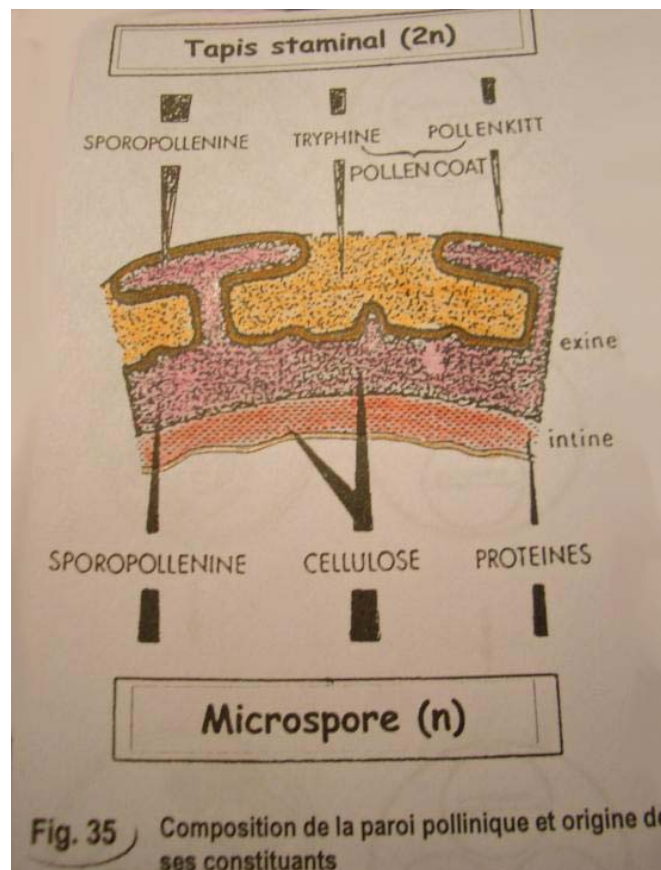
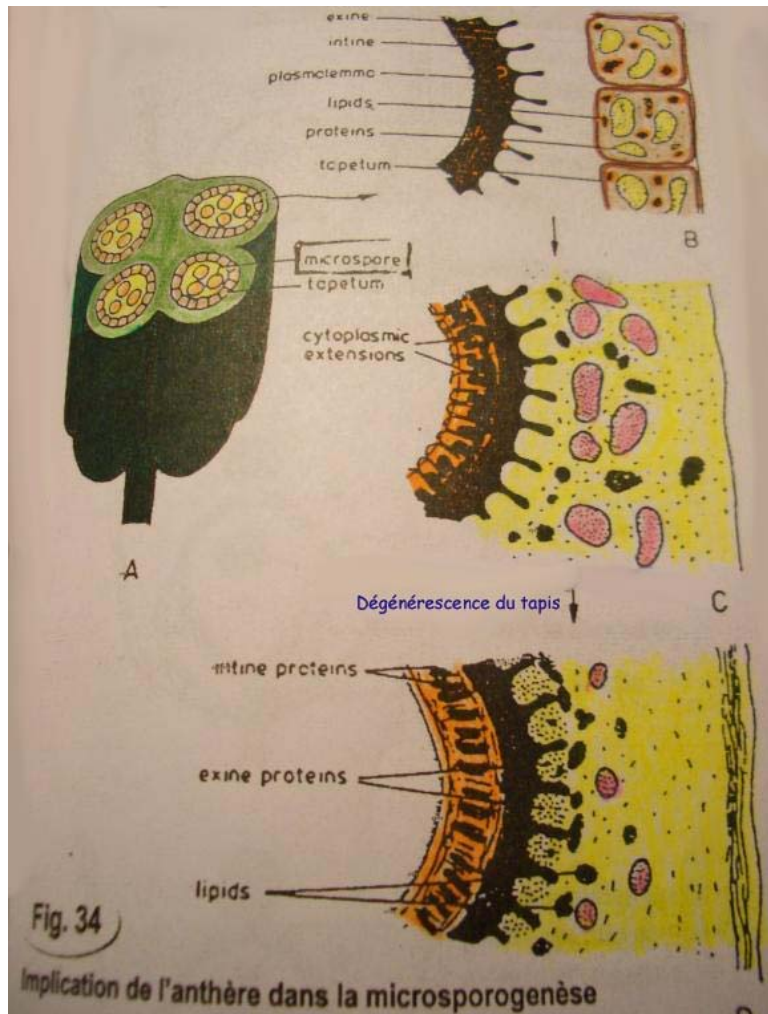


L'aperture permet la sortie du tube pollinique

Formation des grains de pollen

Le tapis de l'anthère constitue le tissu nutritif, produit la callase et, les cellules du tapis produisent de nombreux composés déposés sur la paroi du grain de pollen.

Constituants du manteau pollinique



Ce sont des composés d'origine sporophytique ($2n$) qui se trouvent piégés dans les cryptes de la paroi pollinique.

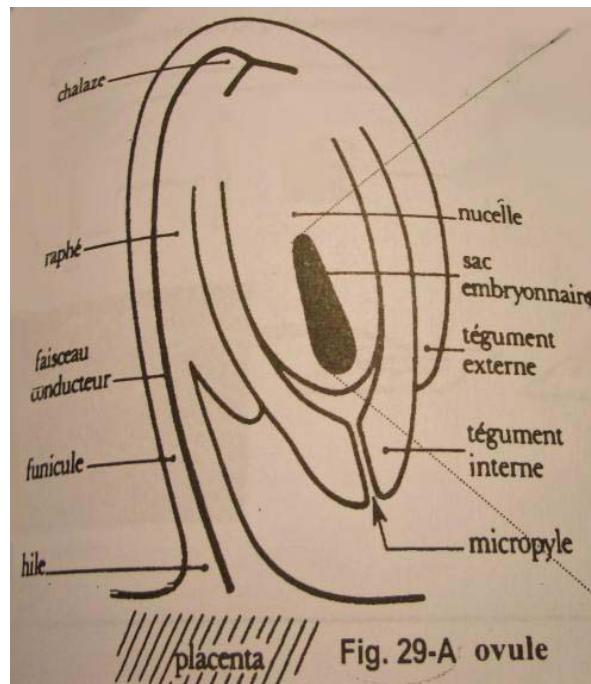
La pollinisation consiste en la libération des grains de pollen de l'anthere par déshydratation.

b. Développement du gamétophyte femelle : mégasporogénèse.

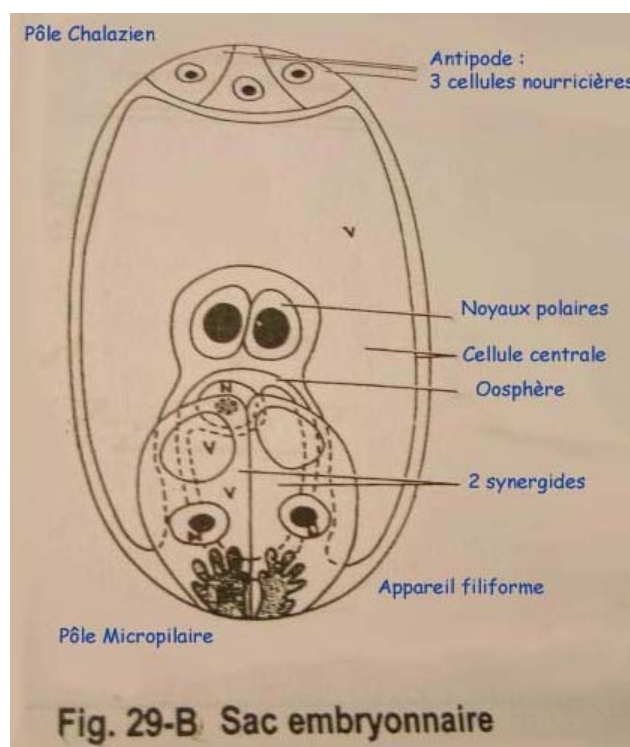
Organe reproducteur femelle

Le pistil contient un ou plusieurs carpelles, l'ovaire contient un ou plusieurs ovules. Le développement se fait dans l'ovule.

Structure d'un ovule d'angiosperme



L'ovule est rattaché au placenta par un court filament, le funicule, et limité par des téguments protégeant le nucelle. Un pore, le micropyle, sert à la pénétration du tube pollinique.



b. Phase progamique (pollinisation)

Stade initial de la reproduction sexuée des plantes supérieures.

Après l'anthèse (ouverture de la fleur) et la déhiscence de l'anthère (libération du pollen), le transport du pollen vers les stigmates est assuré par différents agents.

Transport du pollen

- Le vent : cas des espèces anémophiles (20%)
Ce sont des espèces anémogames : fleurs discrètes, pollen de petite taille, abondant, stigmates à grande surface et inflorescences offrant une prise au vent (ex : le maïs)
- Les insectes : espèces entomophiles (80%)
Ce sont des espèces entomogames : fleurs voyantes souvent zygomorphes avec nectaires, pollen à gros grain.
- Pesanteur, eau, animaux : baobab/chauve-souris, vanille/homme, colibri...

Les deux grands modes de pollinisation

- Autopollinisation : autogamie – pollinisation directe
- Allopollinisation : hétérogamie – pollinisation croisée

L'autopollinisation concerne un pistil et un pollen d'une même plante. Chez les espèces bisexuées, monoïques tel que le maïs. Il n'y a pas de brassage génétique et cette pollinisation engendre de nombreux obstacles à l'autogamie :

- Morphologie particulière de fleurs bisexuées (orchidée)
- Décalage dans le temps de la maturité des étamines et du stigmate : protandrie (tournesol), protogynie (noisetier).
- Rejet du pollen par le pistil : auto incompatibilité.

L'allopollinisation concerne la germination du pollen sur le pistil d'une fleur d'un autre pied de la même espèce. L'allopollinisation est la seule pollinisation possible chez les espèces dioïques et la plus fréquente chez les espèces monoïques et bisexuées en raison des obstacles précédents. Génétiquement c'est très avantageux et permet ainsi la diversité des angiospermes.

70% des plantes sont hermaphrodites et font les deux pollinisations.

25% des plantes sont unisexuées, monoïques et font les deux pollinisations

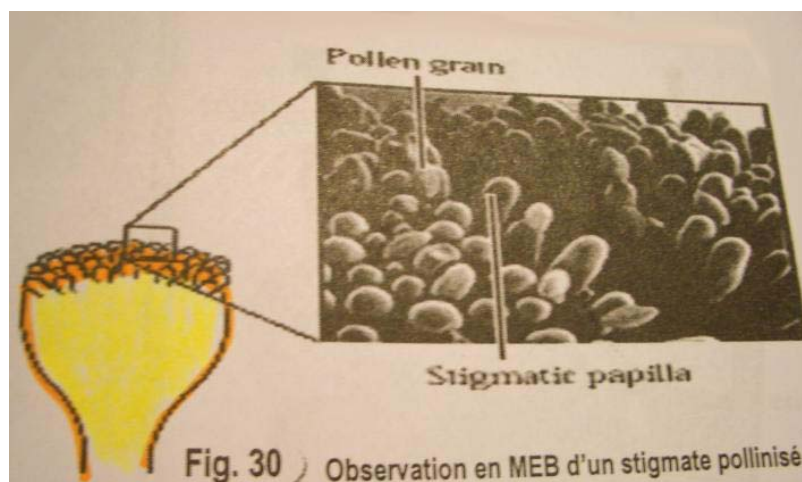
5% des plantes sont unisexuées, dioïques et font de l'allopollinisation.

a. Hydratation et germination du grain de pollen

Le pollen germe s'il est viable (peu d'eau), s'il est compatible avec le stigmate (même espèce) et si le stigmate lui est réceptif (protogénie).

La siphonogamie ou germination du grain de pollen sur le stigmate

Le stigmate contient des papilles pour piéger le pollen



Celui-ci va germer après s'être rapidement hydraté au contact des composés stigmatiques.

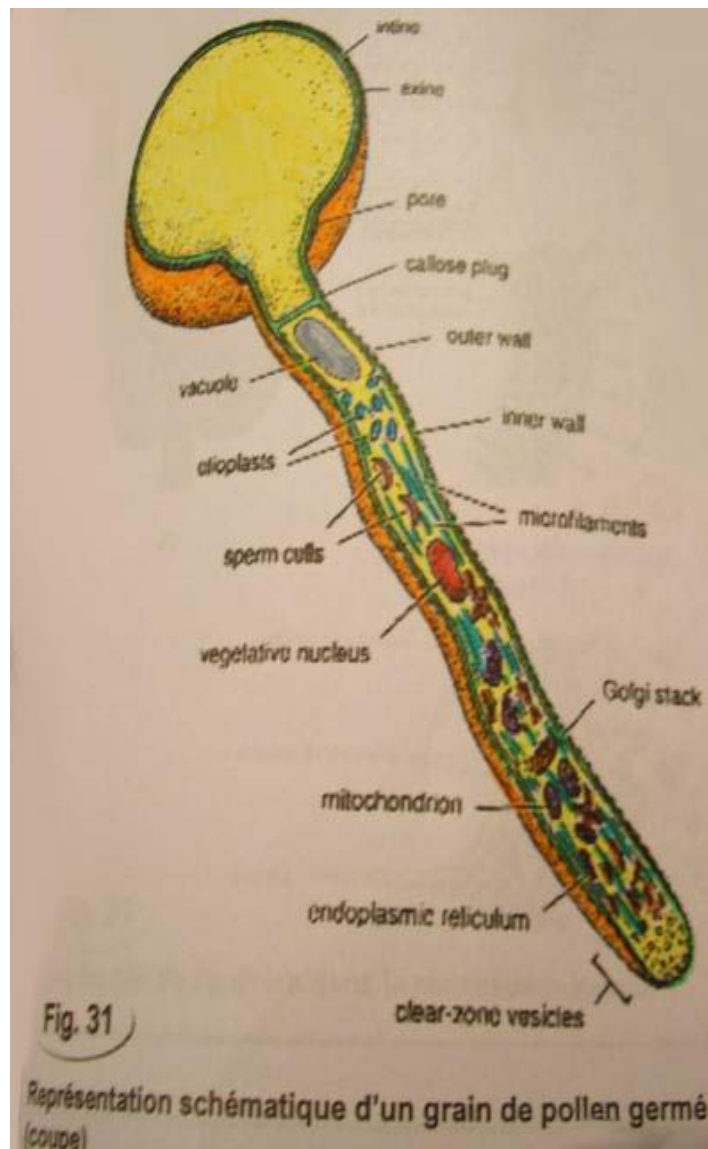
On a deux types de stigmates :

- Stigmate sec : la surface des papilles est limitée par une fine pellicule composée de protéines, de glycoprotéines, de lipides tel que chez les céréales et les brassicaceae (chou...)
- Stigmate humide : couvert d'exudats lipophiles et polysaccharidiques abondants permettant une plus grande adhésion du pollen.

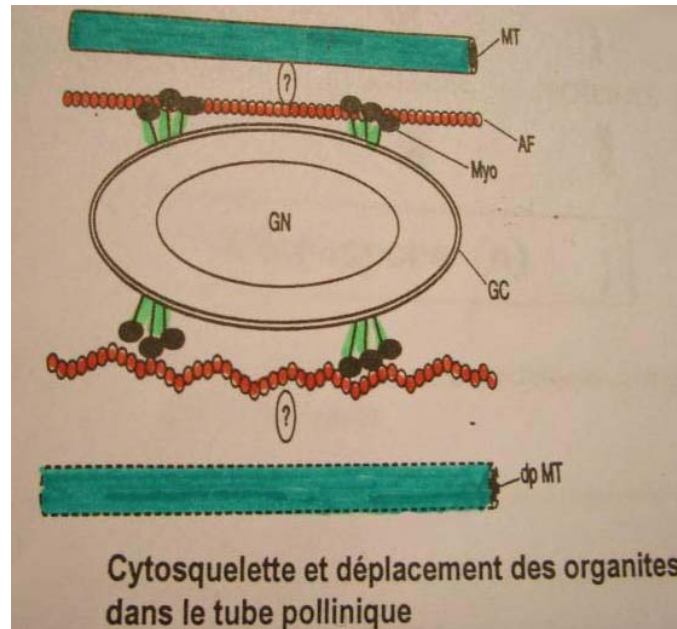
La réhydratation est un phénomène actif contrôlé par une étape de reconnaissance du grain de pollen. C'est un contrôle actif des flux d'eau par des aquaporines. A l'issue de cette réhydratation on a l'émission d'un tube pollinique au niveau de l'aperture (pore germinatif) ou non.

Normalement on a un tube par grain qui pénètre le stigmate puis le style et croît jusqu'à l'ovule où la double fécondation a lieu mais, il y a plusieurs tubes polliniques par pistil.

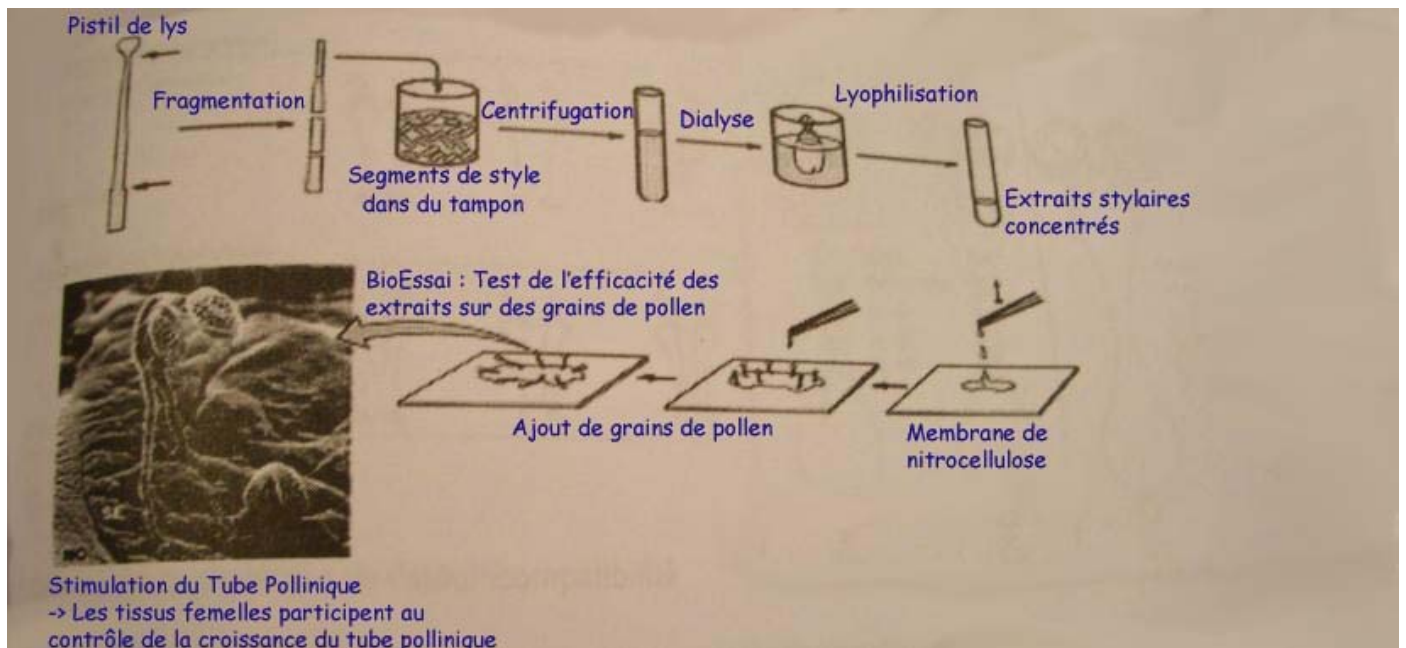
Dès que le tube pollinique commence à croître on a formation de bouchons de callose pour maintenir la turgescence lors de cette croissance qui a lieu par l'apex. Il existe aussi un trafic intracellulaire qui permet l'apport de nouveaux matériels à l'extrémité du tube pollinique par « courants cytoplasmiques » d'où l'importance du cytosquelette (microtubules, micro filaments, filaments intermédiaires).



Le cytosquelette permet le déplacement des gamètes mâles (ou de la cellule générative) grâce aux différentes protéines qui se fixent à la surface des gamètes (actine/myosine)



Comment s'opère la croissance du tube pollinique vers l'ovule ?



Des expériences montrent la nécessité des tissus femelles et l'existence de composés chimioattracteurs guidant le tube pollinique vers le micropyle : le GABA.

b. L'auto incompatibilité

Il existe des phénomènes de reconnaissance au niveau moléculaire qui assurent une sélection des grains de pollen notamment dans le cas d'autopollinisation ou de pollinisations interspécifiques. Ces phénomènes conduisent parfois au rejet du pollen à deux niveaux :

- Non hydratation du grain (précoce)
- Arrêt de la germination du tube pollinique (tardif)

Lors de la fécondation il peut y avoir compatibilité et fécondation ou incompatibilité et rejet.

On distingue :

- Auto incompatibilité quand les gamètes sont issues du même génotype
- Incompatibilité interspécifique ou inter générique selon que les gamètes sont respectivement d'espèces ou de genres différents.

On peut alors avoir une barrière morphologique ou génétique :

- Origine sporophytique si et seulement si elle est liée à une interaction de produits (glycoprotéines) codés par le complexe génétique S du stigmate et les composés du manteau pollinique issus du tapis (chou...).
- Origine gamétophytique si elle est liée à une interaction entre les produits S du génome haploïde du pollen et du génome stigmatique (tabac, pétunia).

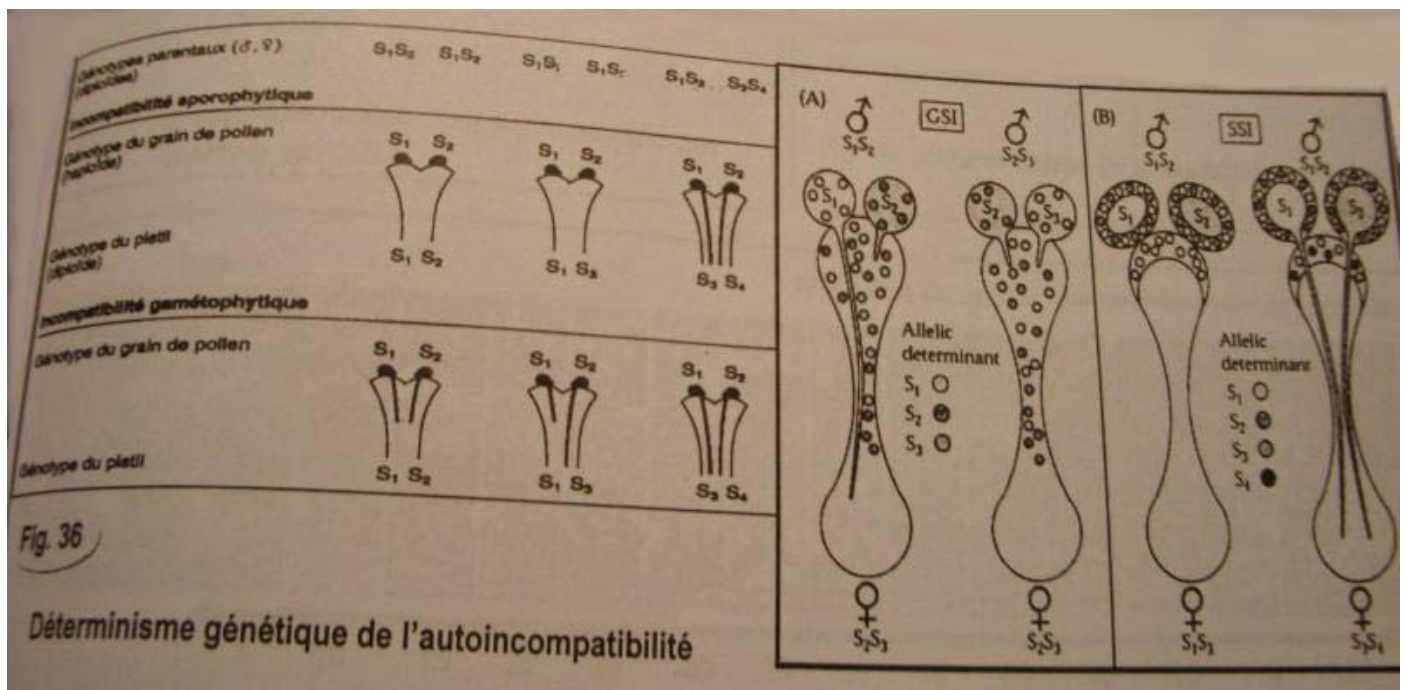
Le rejet du pollen s'effectue précocement au contact du stigmate pour les auto incompatibilités sporophytiques et plus tardivement dans le style au niveau de l'ovule pour les auto incompatibilités gamétophytiques.

L'auto incompatibilité est contrôlée par un locus génétique avec des allèles multiples : le locus S qui inclut un ou plusieurs gènes exprimés dans les tissus reproducteurs mâles et femelles.

Les différences dans les protéines codées par ces gènes semblent être à la base de :

- La reconnaissance de l'autopollen (le soi) : incompatible
- La reconnaissance du non soi : compatible

Dans le cas de plantes présentant un allèle identique, la pollinisation échoue et la fécondation n'a pas lieu.



L'incompatibilité gamétophytique chez les solanacées → RNAses présentes dans les tissus femelles. Elles sont nécessaires.

Hypothèse : dégradation des protéines du tube pollinique

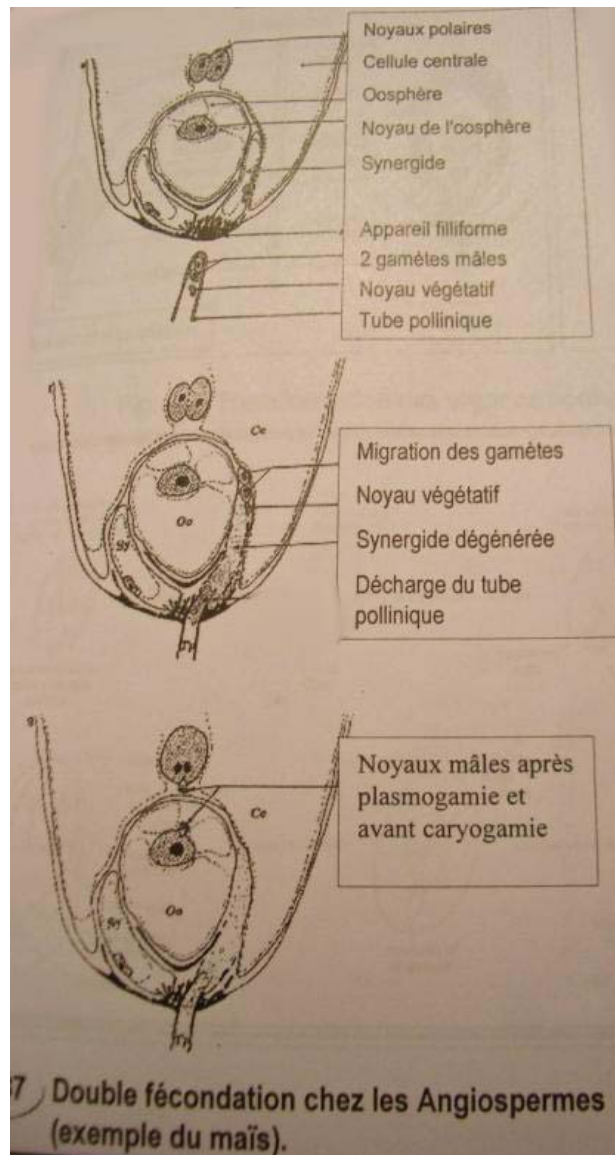
Coté femelle :

- Récepteur SRK qui va coder pour une glycoprotéine
 - Protéine SLG qui va coder pour une kinase
- Interaction, reconnaissance du ligand

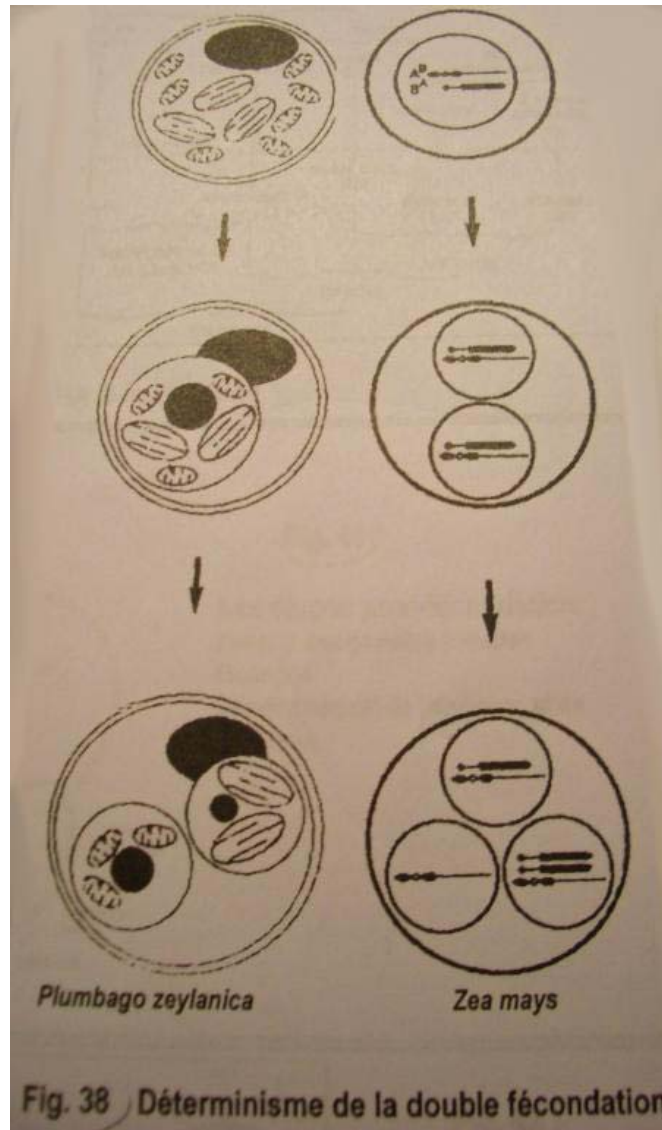
c. Phase syngamique

On a une double fécondation qui correspond au développement de la cellule centrale et de l'albumen

a. La double fécondation

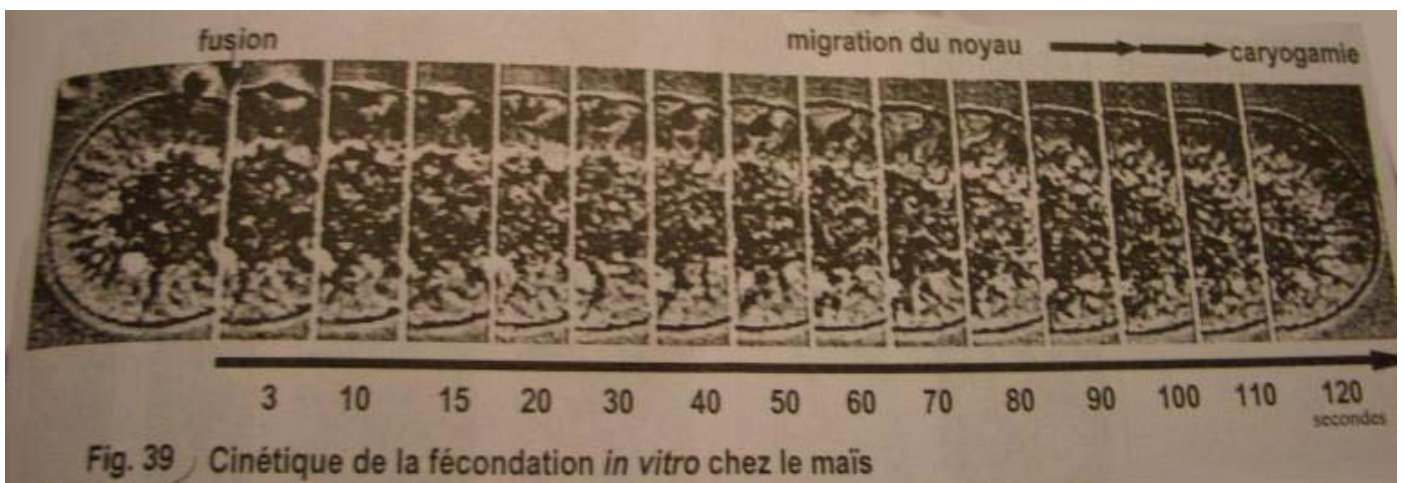


Elle a lieu dans le sac embryonnaire : le contenu du tube pollinique se décharge dans le sac embryonnaire. L'un des gamètes mâles s'unit avec l'oosphère et donne le zygote principal (à 2N). L'autre gamète mâle s'associe aux noyaux polaires et va former un zygote accessoire (à 3N).



b. Fécondation in vitro

Il faut une isolation des deux gamètes puis on éclate le grain de pollen et on fait une dissection des tissus femelles. On fait des croisements interspécifiques.



3. Développement de la Graine

Introduction

La graine est issue de la maturation de l'ovule après la double fécondation. Une graine mature possède des tissus protecteurs appelés téguments, des structures de réserve et un embryon.

Le développement de la graine débute à la fécondation de l'ovule et se termine par sa libération par la plante mère ou sa récolte par l'homme. On distingue trois phases :

- L'embryogenèse
- L'accumulation des réserves
- La maturation de la graine puis déshydratation

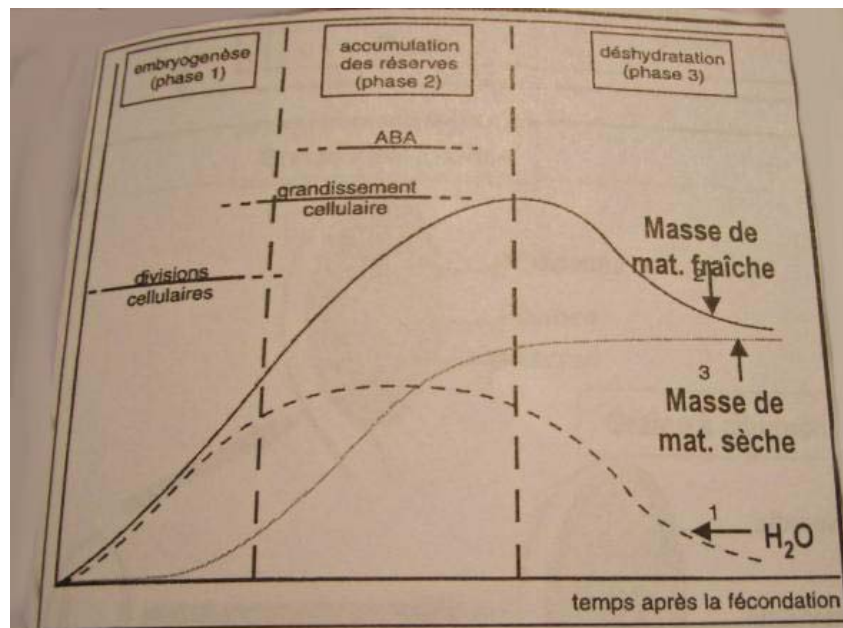


Fig. 44 Evolution de la masse d'eau (1) et des matières fraîches (2) et sèches (3) d'une semence au cours des phases de son développement

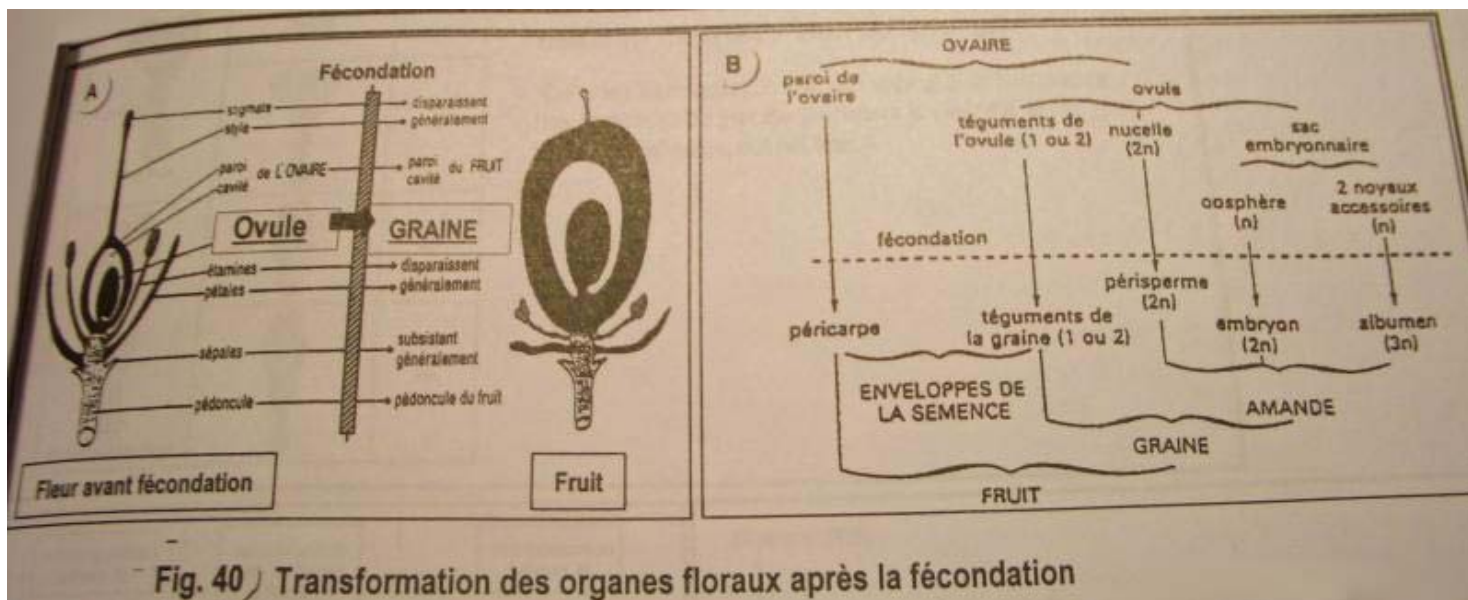


Fig. 40 Transformation des organes floraux après la fécondation

Evolution des structures :

L'ovaire donnera le fruit, l'ovule donnera la graine, alors que les autres parties dégèneront. Chez la fraise c'est différent.

a. Développement de l'embryon, du suspenseur, de l'albumen.

a. Les étapes post-fécondation.

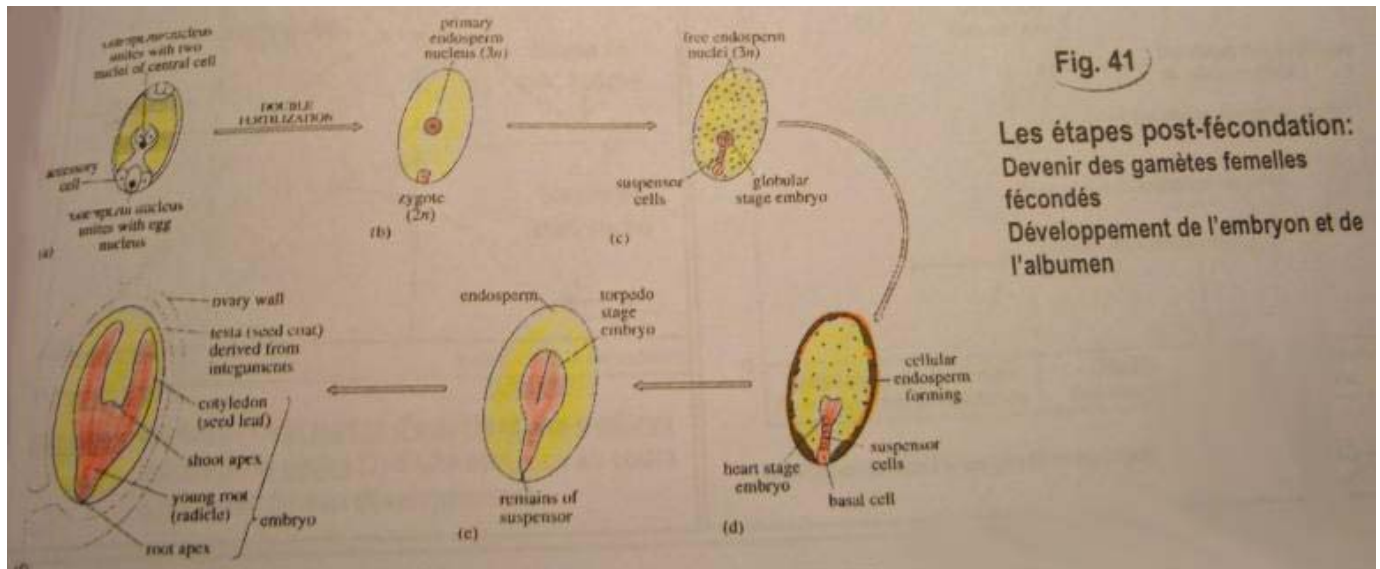


Fig. 41
Les étapes post-fécondation:
Devenir des gamètes femelles fécondés
Développement de l'embryon et de l'albumen

Le zygote vrai est l'oosphère fécondée et le zygote accessoire est la cellule centrale fécondée.

b. Le développement de l'embryon

Il est plus tardif que celui de l'albumen. En effet il commence quand l'albumen a envahi la quasi-totalité du volume de l'ovule. Le suspenseur et l'embryon vrai se mettent en place.

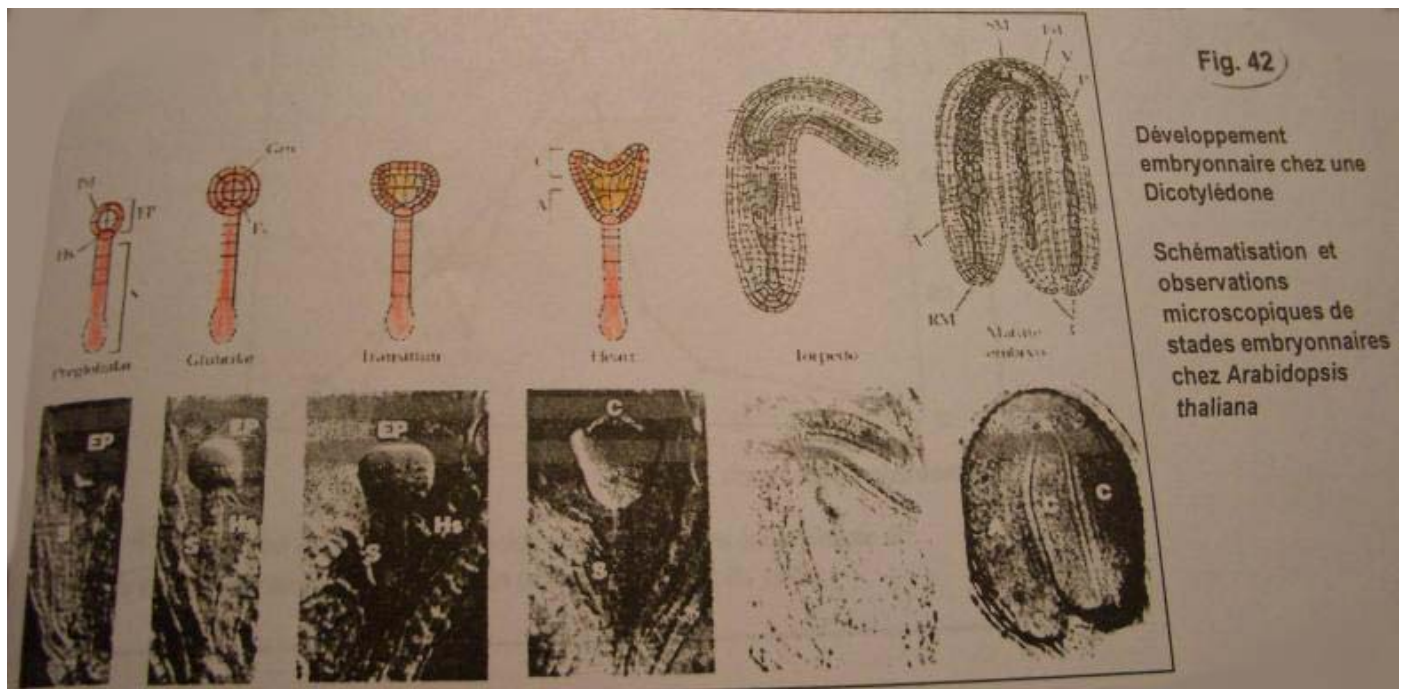


Fig. 42
Développement embryonnaire chez une Dicotylédone
Schématisation et observations microscopiques de stades embryonnaires chez Arabidopsis thaliana

Après la fécondation le zygote principal s'allonge et on a la première division asymétrique. On obtient une cellule apicale à l'origine de l'embryon vrai et, une cellule basale à l'origine du suspenseur.

La cellule apicale se divise trois fois et la cellule basale donne le suspenseur par divisions transversales.

On voit apparaître plusieurs domaines :

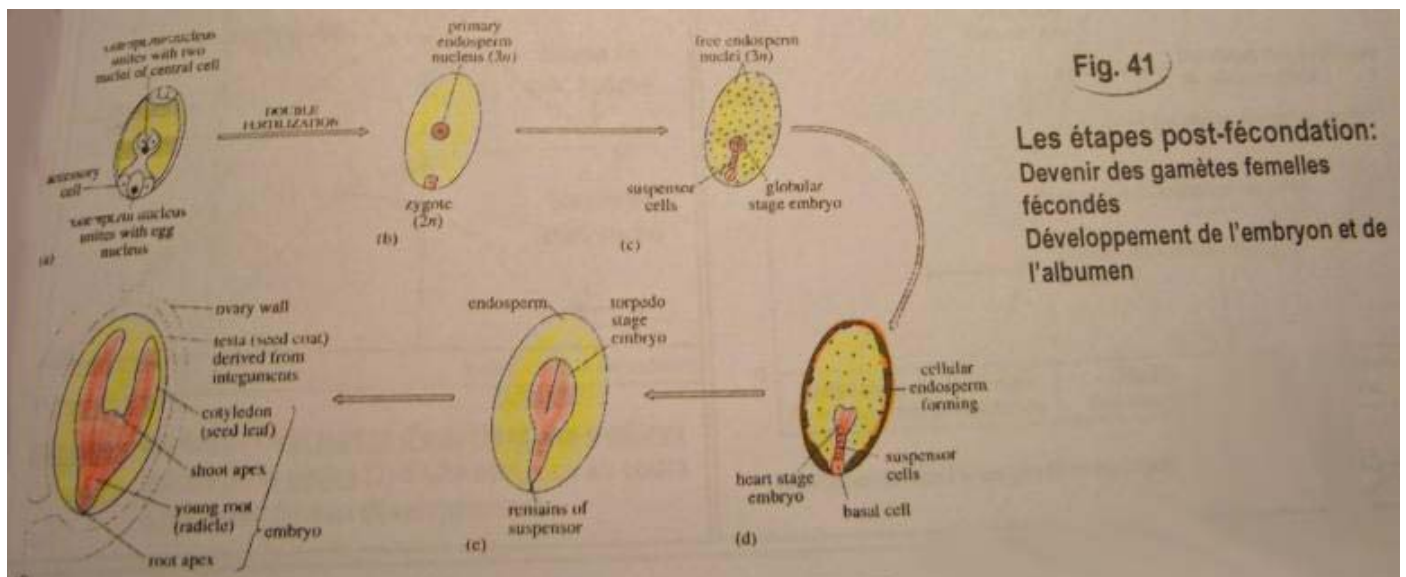
- Le MAC et le cotylédon côté apical
- L'hypocotyle et la radicule côté central

Les divisions parallèles à la surface forment le protoderme qui sera le futur tissu épidermique et les cotylédons apparaissent au stade cordiforme (« cœur »).

Le long de l'axe longitudinal le plan d'organisation est uniforme :

- MAC
- Cotylédon
- Hypocotyle (tigelle)
- Radicule + MAR

Aux stades plus tardifs les cellules du suspenseur dégénèrent et l'embryon grossit au détriment de l'albumen.



Contrôle de l'embryogenèse

La mise en place de l'axe proviendrait de la distribution asymétrique des organites dans l'oosphère et, la division asymétrique permet l'obtention de deux cellules filles au contenu cytoplasmique différent.

Contrôle génétique dans la formation des trois domaines :

- MAC + cotylédon
- Hypocotyle
- Radicule + MAR

La croissance de l'embryon est régulée par le suspenseur.

c. Rôle du suspenseur







Embryo region cultured		Developed plantlets (%)
 Heart stage		42
		88
 Early cotyledon stage		100
		100

Fig. 43

Role of the suspensor in dicot embryogenesis.

Culturing bean embryos with and without their suspensors has demonstrated that the suspensor is essential at the heart-shaped stage, but not later.

d. Le développement de l'albumen

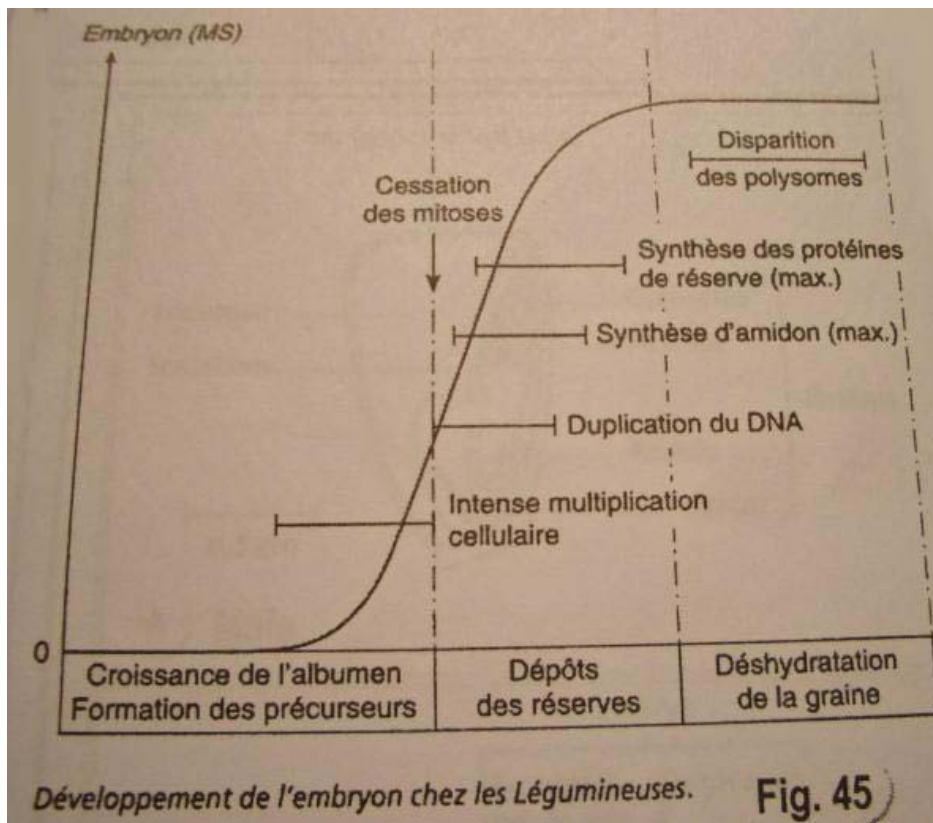
L'albumen assure la nutrition de l'embryon au cours de l'embryogenèse tardive et de la germination.

Le noyau zygote accessoire va se diviser de nombreuses fois sans division cytoplasmique. C'est le développement syncitial.

A partir d'un certain nombre de noyaux on a une cellularisation de l'extérieur vers l'intérieur au stade « cœur ».

b. Accumulation des réserves

On a trois phases dans le développement.



Il existe deux synthèses importantes :

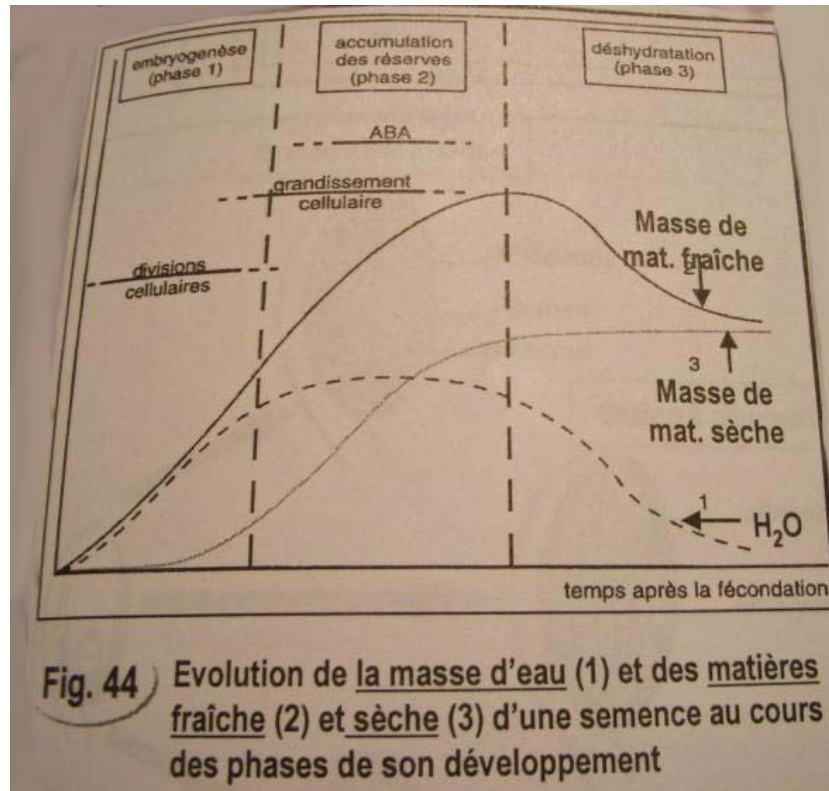
- Amidon
- Protéines

Les différents types de réserves :

- Glucides : amidon dans les amyloplastes → céréales
- Lipides : gouttelettes cytoplasmiques de triglycérides → graines oléagineuses
- Protéines : corps protéiques insolubles → cotylédons, albumen

Les réserves sont en proportions variables dans une plante.

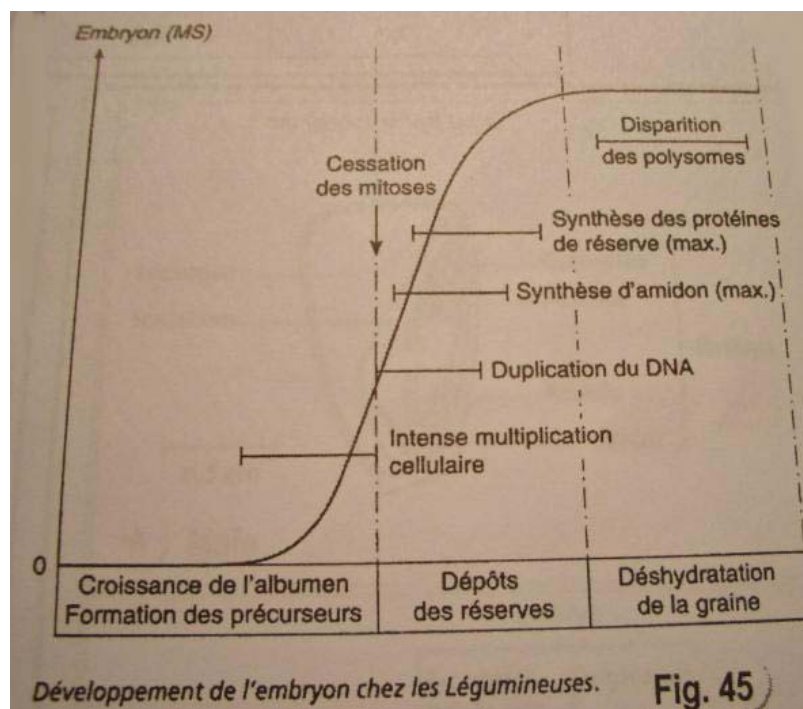
c. Maturation de la graine, déshydratation et sensibilité à l'ABA.



L'ABA déclenche une forte déshydratation.

On distingue trois phases dans le développement :

- Très forte déshydratation
- Arrêt des synthèses protéiques
- Baisse de l'activité métabolique



La graine s'adapte à des conditions défavorables.