##### Physiologie de la germination

# La notion de semence

## Définition

Les agronomes utilisent plus largement le terme de semence.

Une semence recouvre l’ensemble des graines qu’une plante peut produire. Certaines espèces se multiplient parfois plus vite par la multiplication végétative (à partir de bulbes, rhizomes…). Tout autre organe de reproduction est aussi considéré comme une semence. Le terme de semence est donc plus large que le terme de graine.

Semenciers = entreprises spécialisées dans la sélection, la production et la commercialisation des semences.

Agriculteurs multiplicateurs = sous contrat

Semences récoltées, triées, calibrées = semences certifiées 🡪 objectif sanitaire

## Origine et constitution des graines

*Voir poly page 4*

### Structure de l’ovule

### La fécondation

### Evolution de l’ovule fécondé

## Caractères biochimiques des graines

### Analyse élémentaire

La teneur en eau d’une graine est faible. Ce sont des organes fortement déshydratés. Il n’y jamais plus de 15% d’eau. La teneur en eau d’une graine est autour de 8-10% d’eau.

Les graines contiennent de la matière organique présente sous les trois formes : protides, lipides et glucides. Cette matière organique est largement dominante. Les graines sont des organes de réserve. Il y a toujours une des trois formes de matière organique qui est dominante. Cela permet de classer les graines en quatre catégories :

* Les semences particulièrement riches en **glucides**. Ce sont les graines amylacées.
* Les semences riches en **glucides (50%)** mais il y a une richesse en **protéines** significative **(25%)**. Ce sont les graines légumineuses.
* Les semences riches en **lipides** (riches en huiles = tourteaux). Ce sont les graines oléagineuses.
* Les semences ont un **équilibre entre les glucides et les protéines**. Ce sont les graines les plus riches en protéines. Ce sont les graines protéagineuses.

Les teneurs en sels minéraux sont relativement faibles mais il y a des éléments minéraux. Il y en a quelques pourcents. Ils sont indispensables à la vie des graines.

### Les différents types de réserves

#### Les réserves glucidiques

*Voir poly pages 6, 7 et 8*

Les glucides sont essentiellement stockés sous forme d’amidon. L’amidon est un polymère à poids moléculaire élevé qui a pour monomère de base le **glucose**.

Il y aussi des réserves d’inuline qui est un autre sucre. Cette réserve est peu fréquente mais quand la plante stocke les glucides sous cette forme, elle stocke toutes les réserves sous cette forme et il n’y a plus beaucoup d’amidon. Son monomère de base est le **fructose** (environ 20). Il y a toujours un **saccharose** à l’une des extrémités de l’inuline.

Il y a aussi des hémicelluloses qui ont aussi un poids moléculaire important. Il y a plusieurs types d’hémicelluloses dans lesquels on trouve **plusieurs types de glucides**.

Il y aussi des glucides combinés à d’autres molécules. Ce sont les hétérosides. Ils sont de deux types :

* Les hétérosides **soufrés**, appelés les glucosinolates. Ils sont accumulés en particulier chez les Brassicacées.
* Les hétérosides **avec des radicaux nitriles** (toxiques), appelés les composés cyanogénétiques. ils sont accumulés en particulier chez les Légumineuses et les Rosacées.

#### Les réserves lipidiques

*Voir poly page 9*

On trouve essentiellement des triglycérides. Ils proviennent de l’estérification du **glycérol**. Les acides estérifiés sont des **acides gras** par le glycérol. Les acides gras qui interviennent dans la constitution des réserves lipidiques sont :

* **Acide gras saturé** : acide palmitique
* **Acides gras insaturés** : acides monoéthyléniques et diéthyléniques

Dans les lipides complexes, on retrouve des triglycérides formés de glycérol, d’acides gras combinés avec un composé azoté et un Pi. Lorsque le composé est de la choline on obtient une **lécithine**.

#### Les réserves protidiques

*Voir poly page 10*

CHEZ LES DICOTYLEDONES

Il n’y a qu’un type de protéines de réserves. Elles appartiennent à la famille des globulines qui sont des dérivés d’arginine. Ce sont les protéines que l’on va trouver dans les arachides.

CHEZ LES MONOCOTYLEDONES

Il y a assez peu de globulines de réserve. On retrouve parfois une autre protéine de réserve qui est assez rare (famille des albumines). Le gluten fait partie de la famille des albumines. Les protéines de réserve les plus courantes sont des prolamines qui sont constituées d’acide prolamique. Elles sont présentes chez beaucoup de légumineuses et chez certaines céréales (orge).

## Les conditions de la germination

**Activité métabolique des semences :**

Activité respiratoire du Petit Pois *Pisum sativum*

* Graine : 0,1μL d’oxygène absorbé/g de matière sèche/heure
* Feuille : 800μL d’oxygène absorbé/g de matière sèche/heure

Pour la feuille, l’activité métabolique respiratoire est pratiquement 10 000 fois supérieure à celle de la graine.

Les graines ont une activité métabolique particulièrement faible. On dit qu’elles ont une activité métabolique ralentie. C’est la conséquence de la très faible teneur en eau des graines.

Le fait qu’une graine est une activité métabolique très ralentie veut dire que la totalité des métabolismes est faible, y compris le catabolisme. La graine produit donc **très peu de déchets**. Quand on a des cellules qui produisent très peu de déchets, elles accumulent moins de produits toxiques. Ces cellules vont avoir une **durée de vie plus longue**. Les graines ont une durée de vie très longue, elles sont extrêmement **résistantes** aux facteurs de milieu, notamment environnementaux. On distingue trois types de graines :

* Celles ayant une **durée de vie particulièrement longue**. On parle de graines macrobiontiques ou macrobiotiques. Elles sont capables de vivre **au-delà de 15ans**. Ce sont souvent des espèces sauvages et des adventices (Légumineuses).
* Celles ayant une **durée de vie intermédiaire**. On parle de graines mésobiontiques ou mésobiotiques. Elles sont capables de vivre **entre 3 et 15ans**. C’est le cas de la plupart des céréales cultivées, de la carotte cultivée, la tomate, la laitue…
* Celles ayant une **durée de vie courte**. On parle de graines microbiontiques ou microbiotiques. Elles sont capables de vivre **moins de 3 ans**. Elles ont une teneur en eau relativement plus élevée que la moyenne des autres graines ou ce sont des graines riches en réserves lipidiques car ce sont les réserves qui se conservent le moins bien et pouvant être oxydées et cela conduit à des phénomènes de **rancissement**. C’est le cas des semences oléagineuses, des graines produites par les arbres, quelques plantes herbacées…

*Voir poly page 11*

La notion de durée de vie est liée à la teneur en eau. Quand on augmente le pourcentage d’eau d’une graine de 2-3%, on diminue sa durée de vie de moitié. Le facteur température est lui aussi déterminant dans la durée de vie des graines. Quand on augmente la température de 5°C, on diminue sa durée de vie de moitié. Cela a des conséquences sur les conditions de stockage des graines. Les graines doivent être conservées dans un endroit sec et frais. Quand on veut qu’une graine soit conservée pendant une durée illimitée, on la conserve par **lyophilisation** où on sublime l’eau après un passage à l’azote et on fait en sorte que l’eau soit complètement éliminée de la graine. La teneur en eau est alors proche de 0. Cela est pratiqué pour des graines d’espèces en voie de disparition quand celles-là ne résistent pas à la **cryogénisation**.

# Les conditions de la germination

**Conditions nécessaires à la germination :**

* La graine doit être vivante
* La graine doit être mûre
* La graine doit être apte à germer
* Les conditions extérieures doivent être favorables, la graine doit être débarrassée des processus de dormance
* La graine doit avoir des réserves

## Les facteurs externes indispensables à la germination

### L’eau

C’est le premier facteur indispensable à la germination puisqu’il faut que les cellules se gorgent à nouveau d’eau et retrouve une certaine turgescence.

Les besoins en eau sont importants, mais cela dépend de l’espèce et de type de semence considérée.

Ex : un grain de blé il faut lui fournir l’équivalent de la moitié de son poids en eau, le haricot a besoin de beaucoup plus d’eau il faut deux à quatre fois le poids de la graine en eau.

L’eau va pénétrer dans la semence dans un temps relativement court.

**Courbe d’imbibition page 12 :** la graine absorbe des quantités d’eau importante au tout début de sa germination et assez rapidement on obtient un plateau, la graine est saturée en eau. La suite de la courbe en pointillé montre que quand la radicule sort de la graine elle va à son tour absorbée de l’eau. A partir du moment où la radicule sort de sa graine la germination est terminée, on passe en phase de croissance.

**Les mécanismes :** une graine est constituée par des téguments internes et externes, ils sont complètement déshydratés et plus ou moins lignifiés. L’eau va rentrer par des **mécanismes de capillarité**, pour pouvoir réhydrater ce qui se trouve au-delà des téguments, les réserves et l’embryon, ce sont des tissus gorgés d’éléments glucidiques, minéraux, de protéines, de lipides, donc ce sont des tissus qui se comportent comme un milieu hypertonique. L’eau va pénétrer par ses tissus par des **mécanismes d’osmose.**

**Le rôle de la réhydratation :**

* une certaine **turgescence**
* les **téguments vont ramollir**
* l’eau va véhiculer **l’oxygène**.

Il ne faut pas un excès d’eau car plus il y a d’eau plus il est difficile à l’oxygène de se solubiliser donc l’embryon risque d’en manquer et la graine ne pourra pas achever sa germination.

L’apport d’eau est essentiellement un apport d’eau sous forme liquide sous nos climats.

### L’oxygène

Le mécanisme respiratoire est un des premiers à se remettre en route.

La semence utilise exclusivement l’oxygène dissous dans l’eau.

Lorsque les téguments sont minces tout se passe bien ce sont celles qui sont le mieux approvisionnés en oxygène et vont germer le plus rapidement mais elles sont peu protéger, mais plus ils sont épais plus il va falloir une certaine quantité d’eau qui pénètre et plus ça fera une couche d’eau autour des réserves importante, la graine aura plus du mal à germer.

### La température

Quand la température augmente elle favorise l’activité métabolique.

Mais si la température augmente trop l’oxygène aura du mal à se solubiliser dans l’eau.

Les semences ont besoins d’une certaine température pour pouvoir germer et cette température optimale correspond à une fourchette de température relativement étroite. Ces fourchettes varient selon les espèces considérées.

La température optimale permet 90% de germination, alors que les températures minimales et maximales permettent entre 1 à 10% de germination.

Les composés phénoliques jouent un rôle de défense immunitaire pour la plante et empêchent la putréfaction des graines, les attaques parasitaires, les herbivores de consommer les graines (goût amer). Lorsqu’on leur apporte de l’oxygène ils s’oxydent en quinones, l’oxygène qui transite sert donc aussi à l’oxydation de ces composés phénoliques. Quand la température augmente cela favorise la transformation en quinone.

**Page 14**

## Les facteurs internes indispensables à la germination

Seuls 20 à 35% des graines sont capables de germer, il y a un autre frein à la germination lié à la graine elle-même.

### Quiescence

C’est une vie ralentie de la graine, elle a une activité métabolique réduit.

La quiescence se manifeste principalement lorsque la graine attend les bonnes conditions pour germer.

### Dormance

C’est une graine qui ne germe pas alors que les conditions sont satisfaisantes. C’est une vie ralentie imposée par la graine elle-même qui n’est pas prête à germer.

Généralement c’est une forme de vie ralentie plus profonde et plus difficile à enlever. Certaines graines ne germeront jamais.

Elle peut être liée à deux cas de figures :

* Une inhibition tégumentaire
* Une dormance embryonnaire

## Les inhibitions tégumentaires

### Résistance mécanique

Il arrive que la protection est tellement efficace que la plantule n’arrive pas à percer ces téguments y compris lorsque les téguments ont été ramollis par le passage de l’eau.

### Imperméabilité à l’eau

Les téguments lignifiés sont plus ou moins poreux permettant à l’eau de rentrer par capillarité. Sauf qu’il arrive que l’eau ne puisse pas pénétrer parce que les téguments ont une structure particulière, surtout chez les Légumineuses (=Fabacées).

### Imperméabilité à l’oxygène

Dans un premier temps, les téguments épais constituent une couche d’eau stagnante autour des réserves et de l’embryon, ce qui peut conduire un cas d’imperméabilité à l’oxygène.

Et dans certains cas, comme le pommier, les pépins de pomme sont relativement cireux parce que par-dessus les téguments il y a une couche de lipide.

Cela peut être aussi lié à la structure des téguments.

### Les inhibiteurs chimiques de la germination

Les composés chimiques susceptibles d’être présents dans les enveloppes des graines se rencontrent dans les graines situés à l’intérieur d’un fruit charnu pour éviter qu’elles germent à l’intérieur du fruit. Il arrive qu’il soit suffisamment efficace pour continuer à empêcher la germination de la graine même lorsqu’elle est libérée

### Traitements facilitant la germination

**● Elimination de la dureté**

Traitements naturels :

* putréfaction
* altération gel- dégel
* digestion par les sucs digestifs

Traitements artificiels :

Traitements physiques

Traitements chimiques

Choc thermique

● **Amélioration de l’oxygénation**

Traitements naturels :

Scarification

Lessivage

Oxydation

Traitements artificiels :

Traitements physiques

Traitements chimiques (*lixiviation, traitements oxydants*)

Choc thermique

● **Post maturation au sec**

## Les dormances embryonnaires

### Dormance primaire et dormance secondaire

La dormance primaire est présente à l’origine sur la graine au moment où la plante mère libère les graines (75% des graines sont en dormance).

Il arrive que les conditions de milieu défavorable s’éternisent la graine peut entrer en dormance alors qu’à l’origine elle ne l’était pas, on parle de dormance secondaire.

### Le cas des embryons incomplets

Cela est lié au fait que l’embryon n’est pas totalement formé.

C’est un cas particulier de dormance.

Embryons incomplets = mal formé. Souvent fécondés en culture in vitro.

### Les dormances psychrolabiles

Ce sont des dormances qui disparaissent, qui sont levées, avec les températures froides. Ces dormances peuvent être levées naturellement par le froid hivernal ou par des traitements artificiels (traitement de stratification). Les graines doivent être dans des conditions d’humidité forte permettant de se réhydrater.

On obtient un meilleur taux de germination quand on baisse la température et quand on allonge la durée du traitement.

Quand une graine est entière (2 cotylédons), elle a du mal à germer pour une température donnée. La germination augmente quand la durée du traitement augmente et que le nombre de cotylédons diminue.

C’est donc une dormance liée à un problème de maturité physiologique qui affecte les cotylédons. Les températures printanières permettent le développement de la plantule par la suite. La dormance affecte principalement la radicule.

La dormance peut aussi affecter la gemmule, on parle de dormance epicotylaire : il faut un séjour tiède et humide suivit d’un traitement de stratification (froid) puis un autre séjour tiède et humide (2 printemps et 1 hiver). Certaines espèces ont une dormance qui affecte la gemmule et la radicule : dormance double (ex : muguet). Il faut 2 hivers et 2 printemps pour que la graine donne un nouvel individu. Délai de levée de dormance et de maturation physiologique des graines est très long.

Les mécanismes de dormance restent peu connus. Il se passe 2 choses pendant la levée de dormance : la graine accumule progressivement de l’ATP (phosphorylation) pendant la mise au froid, c’est une réaction métabolique lente (car froide température) même si la teneur en phosphate diminue pendant la période de conservation au froid. On peut remplacer complètement la dormance par le froid par un apport d’acide gibbérellique (hormone) à une température normale. La graine accumule de l’ATP et synthétise de l’acide gibbérellique, ce qui permet la sortie complète de la dormance. Ceci développe une balance hormonale car pendant la dormance l’acide abscissique domine.

Dormances sont sous un contrôle énergétique et hormonal. Dormance lié à une immaturité physiologique.

### Les dormances photolabiles

Elles disparaissent sous l’effet de la lumière.

#### Sensibilité à la lumière

Toutes les graines n’ont pas la même photosensibilité face à la lumière.

* Graines photosensibles positives : 70 % des cas de dormance, ce sont des graines en dormance photolabiles, besoin de lumière pour sortir de la dormance et germer.
* Graines photosensibles négatives : (25%) graines qui n’ont pas besoin de lumière donc pas affecté de ce phénomène de dormance, elles ont besoin d’être à l’obscurité pour germer, au stade plantule, cette graine à besoin de lumière.
* Graines photosensibles indifférentes: (5%) ce sont la plupart des espèces cultivées, la température n’influe pas sur la germination.

#### Etude expérimentale

Observations

Problème de dormance découvert et compris à partir d’observations sur la graine de laitue (photosensible positive). On a observé que la graine de laitue peut germer qu’en présence de lumière. On a voulu étudier sur quelles radiations monochromatiques sont plus efficace pour lever la dormance des graines. On a cherché sur chaque radiation (du bleu au rouge) en combien de temps on obtient le seuil de 50 % de germination. C’est avec les radiations rouge qu’on met le moins de temps possible à faire germer les graines de laitue donc levée de dormance. C’est une radiation rouge centrée sur 660 nm (rouge clair). Mais il y a une autre longueur d’onde dans le rouge qui inhibe la germination (maintient dormance) sur 730nm (rouge sombre). C’est toujours la dernière longueur d’onde que la graine a reçue qui provoque une réaction (germination), ou pas. Le rouge clair et le rouge sombre ont des effets qui s’annulent 🡪 photoréversibilité.

Hypothèses

Il y a des photorécepteurs (P660) sensibles au rouge clair dans la graine et des photorécepteurs (P730) sensible au rouge lointain. Ces deux photorécepteurs sont dépendants l’un de l’autre, ils sont issus d’un même pigment, ils peuvent donc se changer en l’un et l’autre. 🡪 Hypothèse d’interconversion.

Expérience de spectrophotométrie in vivo

On a fait des études sur des échantillons vivants. Au moment de leur formation les graines contiennent P 660 c’est la forme d’origine du pigment. Quand on sort les graines du fruit et qu’on les expose à du rouge clair, on observe que l’absorption est centrée sur 730 nm, donc la graine absorbe avec le P 730. Quand on expose alternativement la graine à du rouge clair et du rouge sombre, on trouve 2 maximums d’absorptions, avec un pic plus grand centré sur 660nm donc présence de la forme P660. On a donc pu montrer qu’en fonction de la longueur d’onde on passe d’une forme pigmentaire à une autre.

Equilibre phytochromique

C’est la réaction d’interconversion. On passe d’un P 660 à un P 730 avec une longueur d’onde de 660 et on passe d’un P 730 à un P 660 avec une longueur d’onde de 730. Les 2 isomères se transforment en l’un ou l’autre en fonction du rouge perçu.

Forme native, forme active

Forme prise directement à la sortie du fruit = forme native à P660. Forme active = forme P730. Après captation du rouge clair, on se retrouve avec du P730 ce qui fait disparaître la dormance.

Structure du phytochrome

Un chromophore et une protéine. Le chromophore constitue la partie pigmentaire. Structure linéaire qui ressemble à la chlorophylle. 4 noyaux pyrrols. Elle présente de nombreuses doubles liaisons : P660 et P730 différent par la conformation de certaines doubles liaisons.

Efficience quantique

L’embryon a besoin du P660 pour lever la dormance et donc synthétise du P730 : c’est la forme active nécessaire pour lever la dormance. Quand on éclaire en rouge sombre, on inhibe la levée de dormance : la dormance persiste. Pour transformer le P660 en 730, il faut uniquement 1 photon, alors qu’il en faut 3 pour la réaction inverse. Elle se fait donc préférentiellement du P660 vers le P730 : c’est ce qu’on appelle l’efficience quantique.

#### Mode d’action du phytochrome

Métabolisme du phytochrome

La réaction est favorisée par la lumière/ pour obtenir la forme P730 il faut un seul photon alors que dans l’autre sens il en faut trois 🡺 le jour

En fin de journée c’est la forme P660 qui domine. P730 est la forme la plus instable, en absence de lumière il redevient P660 spontanément. Il existe des dégradations enzymatiques qui vont conduire à divers composés appelés P’. Il y a donc deux mécanismes possibles.

La forme de stockage correspond à la forme native (celle qui est synthétisée à l’origine).

Mécanisme d’action

Le phytochrome est impliqué dans les mécanismes de dormance. Il est aussi impliqué dans les mécanismes de floraison. Il est également impliqué dans les mécanismes de croissance, dans certains cas.

Lorsqu’une plante est placée à l’obscurité ou quand elle n’est pas suffisamment éclairée, elle jaunit et se dépigmente car la chlorophylle n’est plus correctement synthétisée. De plus, la plante grandi beaucoup car elle va essayer de trouver une source lumineuse (lumière solaire). La croissance est plus importante que dans les conditions normales. Ce cas particulier est lié à l’absence de phytochrome. La synthèse du phytochrome n’est pas bien effectuée. Cela conduit à une croissance plus importante chez les plantes privées de lumières (plantes étiolées) que chez les plantes convenablement éclairée. Le phytochrome est impliqué dans des actions différentes et peu avoir des effets différents. Dans le cas de la germination le phytochrome a un effet positif car il va lever une dormance. Dans le cas de la croissance, il la ralentie. Dans le cas des mécanismes de croissance il a une action positive en évitant à la plante d’avoir une taille anormale. Cette action est inhibitrice de la croissance. Ce sont des mécanismes complexes à propos desquelles on ne maitrise pas toutes les connaissances sur les modes d’action. Cependant, quand le phytochrome est présent il a pour site d’accumulation les membranes biologiques. Sous la forme P73à, le phytochrome va modifier la perméabilité de la membrane. Il peut laisser passer certains métabolites dans la graine qui permettent la levée de dormance (gibbérellines) ou rendre les membranes biologiques plus ou moins perméables aux métabolites pour modérer la croissance.

Le P730 modifie aussi la perméabilité au niveau de l’enveloppe nucléaire, cela permet ou non le passage de l’ARNm. Il va donc avoir une intervention sur l’expression de certains gènes, de certains systèmes enzymatiques et donc contrôler l’expression de certaines voies métaboliques.

Chez certaines plantes, le phytochrome contrôle l’expression de certains gènes.

# Les aspects biochimiques de la germination

## Suivi respiratoire

La germination se termine quand la plantule sort de la graine. Avant cela, la graine doit sortir de sa dormance et de son état de vie ralenti. Il faut donc qu’elle retrouve une certaine turgescence cellulaire, qu’il y ait une certaine température métabolique et des réserves.

Un des premiers métabolismes à se remettre en route est l’activité mitochondrial (respiration par le biais des oxydations cellulaires effectuées par le biais des mitochondries).

*Voir poly*

Il y a généralement toujours ce type de cinétique qui ressemble à une courbe de Gauss. Il y a 4 étapes principales :

* Quand la graine est réimbibée, l’activité respiratoire redémarre doucement. Pour que les mitochondries puissent reprendre cette activité, elles ont à leur disposition des glucides sous forme d’amidon dans les réserves de la graine. Cependant elles n’ont pas la possibilité de l’oxyder. Elles peuvent directement utiliser les sucres simples. Le réveil métabolique se fait à partir de glucose, de saccharose… Les glucides simples sont en quantité restreinte dans la graine. Cette phase est donc relativement lente. Les sucres simples solubles disponibles dans la graine sont épuisés au bout de 2 jours environ.
* Il y a une augmentation de l’activité respiratoire. C’est la phase d’amplification. L’activité respiratoire est plus intense. Les réserves à disposition sont souvent l’amidon mais il n’est pas utilisable en l’état. Il doit être séquencé en molécules de taille inférieure. L’amidon doit être dégradé. On parle de mobilisation des réserves en amidon. L’amidon est rendu plus mobile, il est solubilisé. La phase d’amplification est importante.
* Il y a une phase de déclin. Au bout d’un certain temps (6ème jour après la reprise de l’activité métabolique), les réserves en amidon sont épuisées.
* Il y a un palier. Le déclin s’est stabilisé. Dans une graine il y a toujours les trois types de réserves organiques même si les glucides sont majoritaires. Les lipides sont stockés sous forme d’acides gras. Les mitochondries sont obligées de les réduire en molécules plus petites et de mobiliser les réserves lipidiques. Elles doivent aussi mobiliser les réserves protéiques. Cela est encore plus long pour les cellules végétales. Les réserves lipidiques et protéiques sont alors accessibles pour les mitochondries. Le déclin respiratoire est alors stabiliser.
* L’activité de germination est terminée. La jeune racine sort. Les toutes premières feuilles sortent aussi. La respiration n’est plus mitochondriale. On a une jeune plantule qui est relativement autonome pour la photosynthèse. Les processus de germination sont terminés, on rentre dans les processus de croissance. En termes de dépendance énergétique, cela correspond à deux états bien différents. La plantule est autotrophe alors que la semence est hétérotrophe.

## La mobilisation des réserves

**Mobilisation des réserves glucidiques : le cas de l’amidon**

Actions des hydrolases

* Trois types d’hydrolases, dans un ordre précis
  + α-amylases (coupent les amidons un peu n’importe où)
  + β-amylases (coupent les glucoses deux par deux = unités assez petites)
  + α-1,6 glucosidase (sur une molécule d’amidon il y a une chaine linéaire et beaucoup de glucoses qui constituent des ramifications qu’il faut couper)
* Elles coupent les liaisons α-1,4 et α-1,6 par fixation d’une molécule d’eau.

Amidon 🡪 α-amylases 🡪 dextrines (oligosides plus ou moins solubles) 🡪 β-amylases 🡪 maltose (= deux glucoses, accessible aux mitochondries) 🡪 maltase 🡪 glucose

Action des phosphorylases

* Attaquent l’amidon par l’une de ses extrémités
* Libèrent les molécules de glucose une par une
* Par fixation d’une molécule d’acide phosphorique H3PO4 sur les liaisons α-1,4
* Les molécules de glucose libérées sont phosphorylés (Glu 1 P)

Dans les graines, lorsqu’elles ont été formées sur la plante mère, l’équipement enzymatique est constitué par les phosphorylases. Les autres enzymes apparaissent quand la germination est avancée. Il faut que le métabolisme de la graine reprenne pour la synthèse d’hydrolases. Les phosphorylases servent au démarrage de la reprise de l’activité respiratoire puis sont suivies des hydrolases.

Cela permet la reprise de l’activité métabolique de manière intense.

**Mobilisation des réserves : les lipides**

*Voir poly p19*

Les principales réserves lipidiques sont stockées sous formes de phospholipides. Ils sont sous la forme glycérol et acides gras. Le glycérol est utilisable par les mitochondries mais il faut réduire les acides gras en sous-unités solubles pour les mitochondries. La transformation des acides gras chez les végétaux est une variante du cycle de Krebs. C’est ce que l’on appelle le cycle glyoxilique. Les acides gras vont être transformés en glucides par l’intermédiaire de l’acétylCoA. On obtient en particulier du glucose. La mobilisation des réserves lipidiques conduit à l’accumulation de glucides dans la graine. On parle d’interconversion lipides-glucides. Seuls les végétaux sont capables de faire cela.

*Voir poly*

La graine de ricin accumule essentiellement des réserves lipidiques. Quand on regarde comment évolue-le contenu de ses réserves, on suit l’évolution du poids sec, de la quantité de lipides et de sucres. Ce suivi a été effectué au niveau des tissus de réserve et dans l’embryon. Au niveau du poids sec, au cours de la germination, celui de l’albumen diminue et celui de l’embryon augmente. Les réserves profitent à l’embryon pour devenir une plantule. La quantité de lipides au niveau de l’albumen est importante au début. En fin de germination on arrive pratiquement à 0. Les réserves sont utilisées au cours de la germination. Les lipides diminuent dans le tissu de réserve mais l’embryon n’accumule pas de lipides car sa teneur en lipides reste constante. Il ne gagne pas beaucoup en lipides. Il faut regarder en parallèle l’évolution des sucres. Il y en a assez peu dans le tissu de réserves au départ. Au cours de la germination la teneur en glucides dans l’albumen augmente puis diminue. Quand la teneur en sucres diminue, elle a augmenté dans l’albumen. Quand cette teneur en sucre diminue dans l’albumen, les sucres passent dans l’embryon. Il y a donc une illustration de l’interconversion lipides-glucides. Quand les lipides sont convertis en glucides dans l’albumen ils peuvent être utilisés par l’embryon.

En début de germination ce sont les phosphorylases les plus actices. Elles sont ensuite remplacées par les α-amylases dont la synthèse est faite ultérieurement.

Mobilisation des réserves : les protéines

Les protéines accumulées dans les graines sont dégradées en acides aminés. Les protéines ne peuvent pas être utilisées directement. Elles doivent être dégradées pour être utilisées par les mitochondries.

Mobilisation des réserves : les phytases

La germination se termine par l’apparition de la plantule. Cela nécessite des réserves d’ATP. Dans la graine les réserves en phosphore (pour que la graine synthétise de l’ATP) sont présentes sous la forme d’une molécule dont le nom est complexe (mésoinositolhaxaphosphorique ou phitine = monomère de base pour origine un alcool lui-même provenant du glucose, c’est le mésoinositol. Les radicaux hydroxyles sont estérifiés par l’acide hexaphosphorique). C’est à partir de cette molécule que la graine va pouvoir synthétiser de l’ATP. Elle va devoir mobiliser ses réserves. La phytine va être dégradé par les enzymes appelées les phytases qui proviennent de l’acide haxaphosphorique. Cela permettra de phosphoryler l’ATP et d’avoir de l’énergie.

## Contrôle hormonal des hydrolases

Il y a deux compartiments : l’embryon d’un côté et les réserves de l’autre. Les réserves sont mobilisées pour que l’embryon puisse devenir une plantule. La mobilisation des réserves est un processus métabolique sous contrôle enzymatique et hormonal.

Si on sépare le tissu de réserves de l’embryon, le tissu de réserves n’évolue pas. pour que la transformation se fasse, il faut qu’il y ait un signal déclenchant la mobilisation. Ce signal est hormonal. Ce sont des gibbérellines. Elles sont synthétisées par l’embryon au moment du réveil métabolique, quand les cellules embryonnaires ce sont réhydratées. L’embryon synthétise des hormones au niveau du cotylédon. Elles migrent ensuite jusqu’à l’albumen, au niveau de sa périphérie. A la périphérie, il y a des grains d’aleurone qui stockent des protéines. Dans l’albumen, à la périphérie, il y a des réserves protéiques. A partir des grains d’aleurone, les gibbérellines déclenchent la synthèse des enzymes de dégradation car l’embryon a envoyé un message pour prévenir que l’activité métabolique est normale et réveillé.

Quand les cellules embryonnaires sont redevenues turgescentes, l’embryon synthétise des gibbérellines migrent jusqu’à l’albumen. Dans l’albumen elles déclenchent la synthèse des équipements enzymatiques. La mobilisation des réserves commence véritablement. Tout cela est sous le contrôle hormonal des gibbérellines.

*Voir poly*

# Conclusion

La germination se solde par l’apparition de la plantule. A partir du moment où la plantule est visible on entame des processus de croissance. La germination en tant que tel correspond essentiellement à la mobilisation des réserves et à la levée de dormance. La germination est un ensemble de processus métaboliques et physiologiques qui vont conduire à une activité métabolique intense car il y a beaucoup de systèmes enzymatiques qui interviennent et qui modifient les réserves. Il n’y a aucune manifestation morphologique. Ce sont des processus métabolique qui conduisent à l’accumulation de réserves pour la graine puisse se transformer en plantule.