

Chap 5. Développement de la plante

Partie I. La germination des graines



a. Définition de la germination

La germination est une phase physiologique pendant laquelle la graine passe de l'état de vie ralentie à l'état de vie active (Caboche et al.1998).

C'est l'ensemble des évènements qui mènent la graine sèche à germer : cela commence par l'étape cruciale d'absorption de l'eau par la graine (Othman 2005), se termine par l'allongement de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule à travers les structures qui entourent l'embryon (Shereena and Nabeesa 2006).

b. Déroulement de la germination. (voir Figure.1)

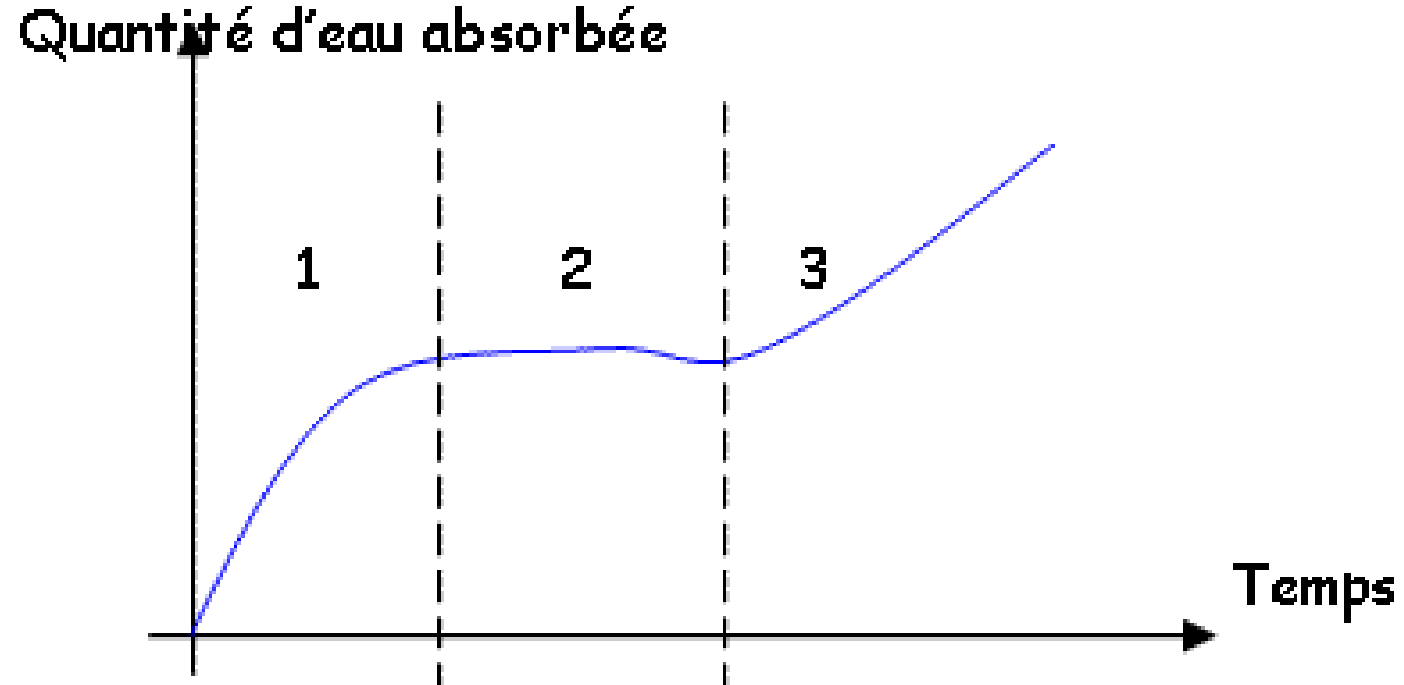
- *Phase I (Phase d'imbibition)*. Elle correspond à une forte hydratation des tissus par absorption d'eau aboutissant au gonflement de la graine. Cette phase est assez brève et dure de 6 à 12 heures selon les semences. Dans la phase 1, l'eau va vers l'embryon et il y a une reprise des activités métaboliques (nécessité de l'énergie). Dans ce cas, la respiration est très active.

- *Phase II (Phase de germination sensu-stricto)*. Cette phase est caractérisée par une stabilisation de l'hydratation et de l'activité respiratoire à un niveau élevé. Cette phase est relativement brève (12 à 48 heures).

La graine peut être réversiblement déshydratée et réhydratée sans dommage apparent pour sa viabilité. Elle s'achève avec *l'émergence de la racine* hors des téguments.

- *Phase III* : caractérisée par une reprise de l'absorption de l'eau et une élévation de la consommation d'oxygène, elle correspond en fait à un processus de croissance affectant la racine puis la tigelle (marquée par un changement profond d'état physiologique).

Au niveau de cette dernière phase III, l'activité métabolique de la jeune plantule qui se développe à partir de l'embryon, a tendance à s'exalter, et celle du tissu de réserve (albumen, cotylédons) a tendance à se décroître suite à l'épuisement des réserves. Il y a synthèses d'hormones comme les gibberellines.



1 : La phase d'imbibition.

2 : La phase de germination sensu stricto.

3 : La phase de croissance.

Figure n°1. Courbe théorique d'imbibition des semences

c. Différences entre germination sensu-stricto et croissance

- Sensibilité à l'oxygène. En 1975, Rollin, en travaillant sur les akènes de *Bidens radiata*, obtint que les fortes pressions partielles d'O₂ inhibent la germination sensu-stricto, mais non pas la croissance.
- Sensibilité à la température. Chez le pommier, des graines débarrassées de leurs téguments ont montré un bon pourcentage de germination (T. 5°C et 20°C), mais des difficultés de germination sont observés entre (25°C et 30°C).

- Sensibilité aux inhibiteurs de la respiration :

Pendant la phase de germination Sensu stricto, le **cycle des pentose-phosphates** prédomine sur le cycle de Krebs alors que c'est l'inverse qui se produit pendant la croissance.

Ainsi, les inhibiteurs de la glycolyse, du cycle de Krebs ou de la chaîne des oxydations respiratoires stimulent la germination Sensu stricto, mais ils inhibent la respiration.

d. Conditions de réalisation de la germination

- Conditions internes

La maturité: Différenciation morphologique de toutes les parties de la semence (téguments, péricarpe et amande (tissus de réserve + embryon)).

Remarque. Une graine mature ne signifie pas forcément qu'elle a le pouvoir de germer, car **la graine peut être dormante**.

La longévité: change considérablement selon les espèces. Une longévité a un grand intérêt biologique en particulier dans les régions ou zones arides où les conditions favorables à la germination (Humidité) ne se rencontrent pas chaque année.

La conservation du pouvoir germinatif dépend de cette longévité qui définit trois types de semences :

1. Graines microbiontiques.

Longévité de quelques jours (ex. le saule)



2. Graines macrobiontiques

Longévité d'une centaines d'années ou plus (certaines légumineuses)

3. Graines mésobiontiques

Longévité comprise entre 1 et 10 ans (en général)

- Conditions externes

L'eau. Indispensable pour la germination de la graine. Exemple. Pour germer, le **blé** nécessite (0.52% d'eau sur un terrain léger contre 19% d'eau sur terreau de jardinier)

L'oxygène. Indispensable à la germination même pour les plantes aquatiques qui disposent de l'oxygène dissout.

La température. La température agit directement sur la vitesse des réactions biochimiques, et joue un grand rôle dans la germination en agissant sur la solubilité de l'O₂ dans l'embryon.

A côté de la température, plusieurs facteurs tels que la variété, l'origine, les conditions de développement des plantes mères, l'état de maturité et l'âge de la semence, sont responsables de la germination.

- La lumière. La nécessité de la lumière dépend de la photosensibilité des espèces : Photosensibilité positive (70% des semences, besoin de lumière) et *Photosensibilité négative* (cas rare comme les liliacées) et *Photosensibilité facultative* (La majorité des plantes cultivées).

Partie II. La croissance de la plantule



A. Définition de la croissance

- La **croissance** végétale, d'une **plante** est l'ensemble des **changements quantitatifs irréversibles** de la **plante** qui se produisent au cours du temps. Chez le végétal, la croissance se manifeste par la **formation de nouveaux tissus** et nouveaux organes (ex. bourgeons, feuilles, rameaux, fleurs).
- La **croissance** implique des **activités morphogénétiques** dans les parties constitutives d'un organisme.

La **croissance** comprend :

La multiplication des **cellules** - L'allongement des **entre-noeuds** et des **racines** - La **ramification** - La multiplication et la croissance des **feuilles**.

B. Mesure de la croissance

- Dimensions géométriques : Longueurs, diamètre et surface. Ces mesures se réalisent par des procédés mécaniques ou photographiques.
- Augmentation de la masse : La masse de matière fraîche et sèche.

Pour une mesure idéale du processus physiologique, l'utilisation de ces 2 derniers critères nécessite la mesure d'un 3^{ème} critère qui est la masse d'azote protéique (NP). Il est à noter que ces mesures requièrent la destruction de l'échantillon.

La **croissance** est un phénomène biologique qui implique :

- Au niveau cellulaire. La **synthèse de nouvelles molécules**
- Au niveau de l'organisme. Des différenciations permettant l'histogenèse et l'organogenèse.

L'intensité de la croissance peut être mesurée par :

- Vitesse de croissance (cm ou mm / h ou j)
- Intensité de la prolifération cellulaire (dénombrement des cellules en division)
- Taux de croissance : est la vitesse de croissance relative et taux d'assimilation nette de la feuille (masse de matière fraîche/unité de surface foliaire) :

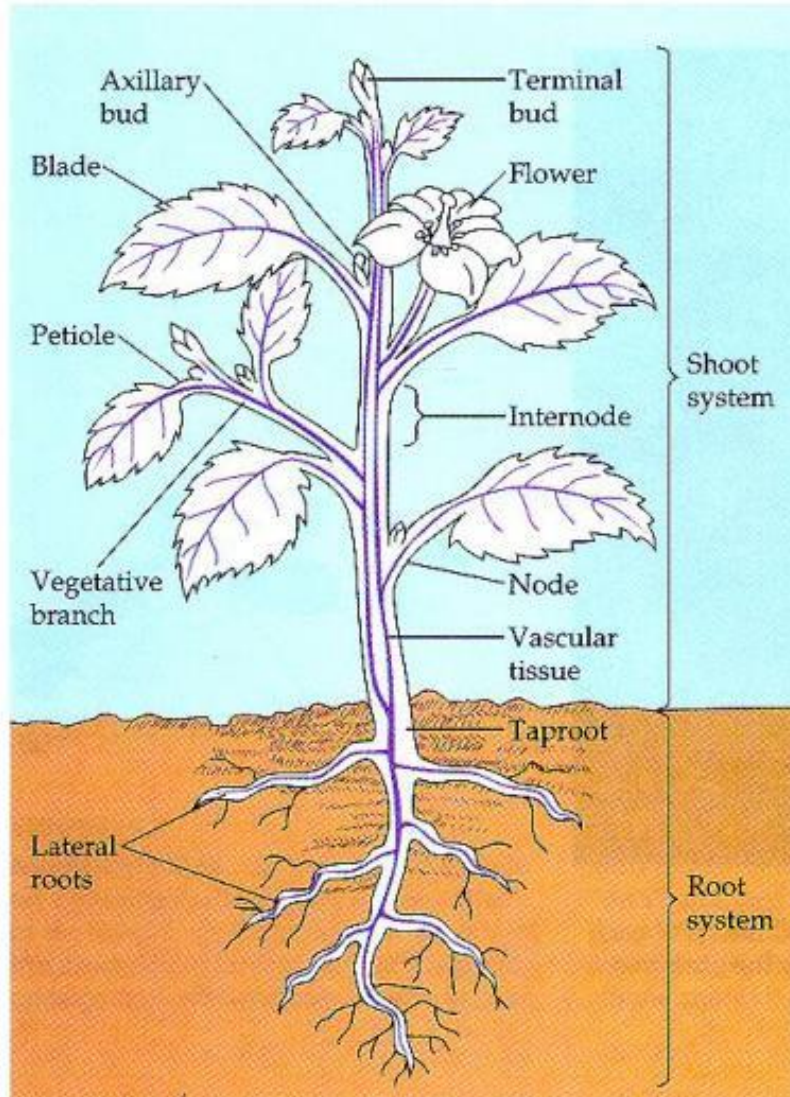
3. Localisations et formes de la croissance

1. Au niveau de la plante et des organes. La croissance d'une plante est indéfinie (présence de méristèmes). La plante est soumise à 2 types de croissance :

Croissance 1^{aire} (méristèmes 1^{aire}): Correspond à l'élongation. Elle a lieu au niveau des méristèmes apicaux (organogènes).

Croissance 2^{aire} (méristèmes 2^{aire}): Correspond à l'augmentation en épaisseur. Elle a lieu au niveau des cambiums ou de zones génératrices (histogènes).

Types de croissance primaire et secondaire



A- Les méristèmes primaires

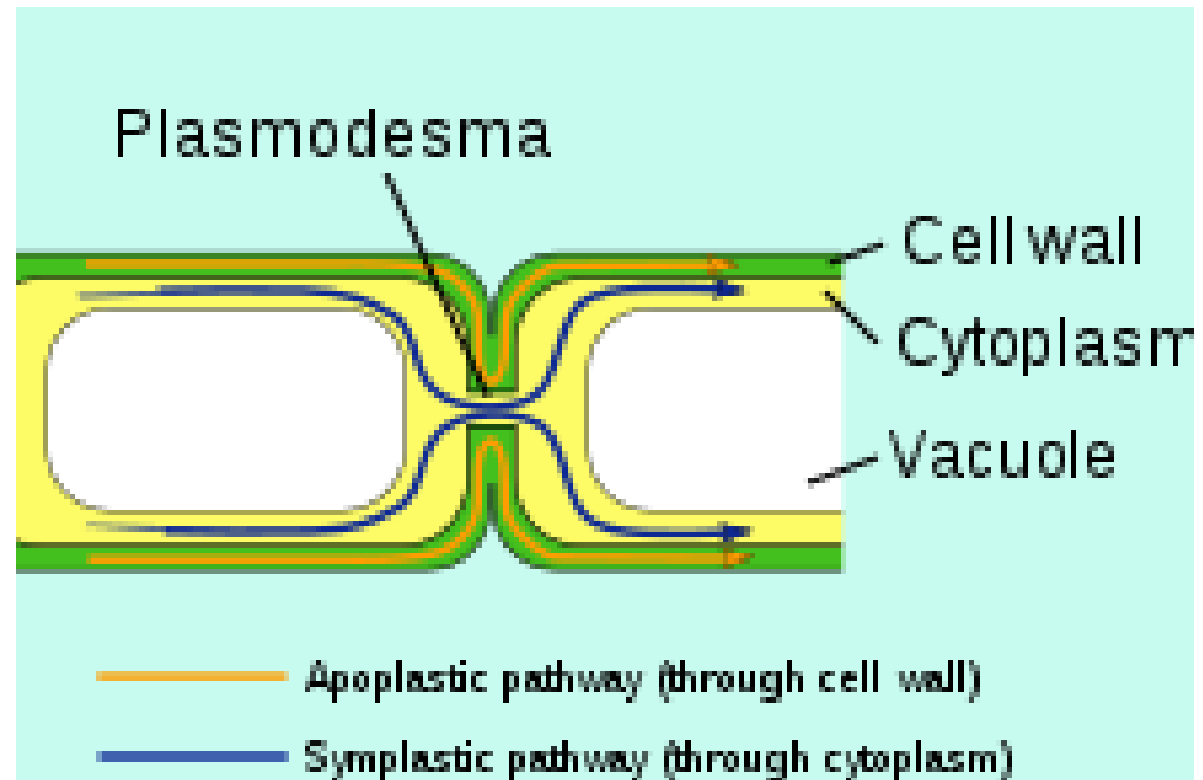
- Les méristèmes apicaux
 - Caulinaires (MAC)
 - Racinaires (MAR)
- Les méristèmes latéraux
 - Axillaires
 - Adventifs

B- Les méristèmes secondaires

- Le Phellogène
- Le Cambium

2. Au niveau cellulaire. L'extension symplastique est effectuée avec interposition constante de cellules isodiamétriques (isotropes) et cylindriques (anisotropes).

L'extension apicale est **intrusive ou extrusive**. L'extension symplastique est constante : Les cellules augmentent comme un ensemble solidaire, en maintenant leurs liaisons et leurs communications.



- **Extension extrusive** : Les cellules épidermiques (rhizoderme) vont donner des poils (ex. Fibres de coton).
- **Extension intrusive** : elle se déroule vers l'intérieur des organes, au niveau de la lamelle moyenne (ex. Fibres de lin).

L'augmentation du nombre d'individus (cellules) entraîne une augmentation des dimensions (surface, masse, ...) d'un composé particulier.

La vitesse de croissance est donnée par la formule : **$V=(dl/dT)$** (l est un paramètre choisi).

La **courbe de croissance** est sigmoïdale, elle représente l'évolution de la plante. Les 4 différentes phases sont (Fig. 2) :

1. Phase de latence,
2. Phase exponentielle (accélérée)
3. Phase linéaire : Cette phase est parfois virtuelle, importante, ponctuelle.
4. Phase de ralentissement : c'est une phase de sénescence.

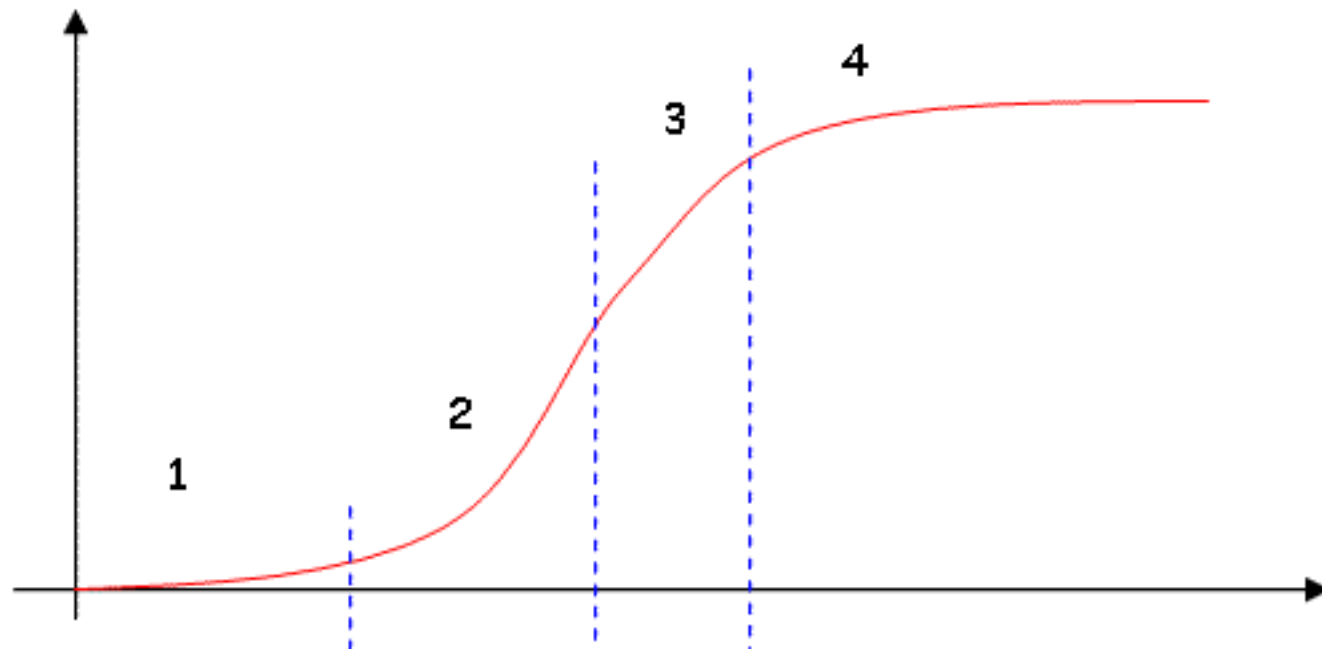


Fig. 2. Courbe de croissance

4. Cinétique de la croissance et variation dans le temps

La **cinétique de la croissance** de la plante varie dans le temps suivant différents facteurs : **Température, Eclairement, Humidité...**

La périodicité de la cinétique dépend des facteurs externes :

Les **facteurs endogènes** (les inhibiteurs de croissance responsables de la dormance de la semence) et la **variation dans l'espace** (due à des facteurs endogènes reliés à l'inhibition par corrélation).

Exemple : une partie d'une plante influence la croissance d'une autre partie de la même plante. Cette domination peut être due à la dominance apicale.

5. Facteurs contrôlant la croissance

a. Facteurs externes

- Température.

Températures basses (-5 à -10°C): **néfastes** (les cristaux de gel déchirent les organes), pour les graines (vie ralentie et moins d'eau) => il y a une tolérance aux T° plus basses).

Températures élevées (5 à 35°C), l'augmentation de la température accélère les réactions chimiques (loi de Vant'Hoff) et la croissance. Les enzymes sont inactivées par coagulation irréversible: la croissance diminue et devient nulle à 45°C.

Optimum thermique (26°C): à cette température les réactions enzymatiques sont à leur activité maximale.

- Eclairage et Etiolement.

Les végétaux qui poussent en plein soleil sont dites **plantes de soleil** (tomate, épinard, tournesol) et celles qui ne tolèrent pas sont appelés **plantes d'ombre** (Sceau de Salomon, hortensias)



Sceau de Salomon



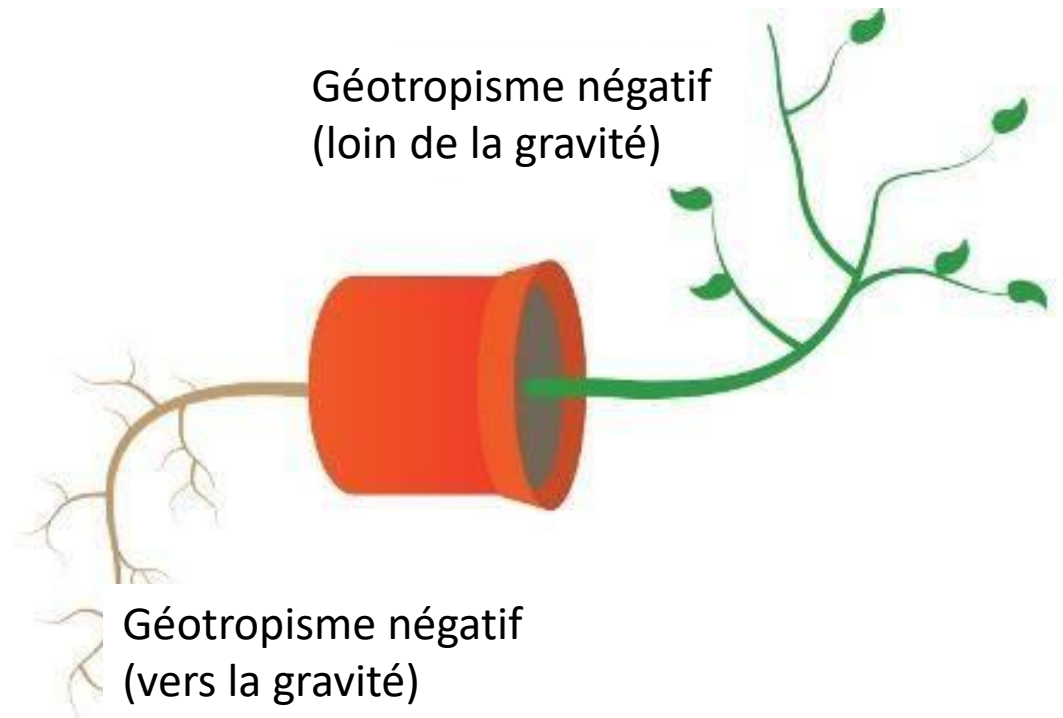
Hortensias

L'**étiollement** définit les symptômes affectant le **végétal non exposé à la lumière** : Absence de la photosynthèse - diminution de poids - allongement spectaculaire des entre-nœuds - Inhibition de la croissance des limbes de feuilles de Dicotylédones et allongement de celles-ci chez les monocotylédones – Chlorose (pas de chlorophylle) - réduction de la rhizogenèse – fleurs non épanouies.

b. Facteurs internes.

- L'**anisotrope** se dit d'un corps dont les propriétés varient suivant la direction. Un **milieu anisotrope** est non homogène vis-à-vis de la lumière, de la gravité, de l'humidité. Les végétaux répondent à ses gradients.

Ex. de gravitropisme = orientation par la gravité.

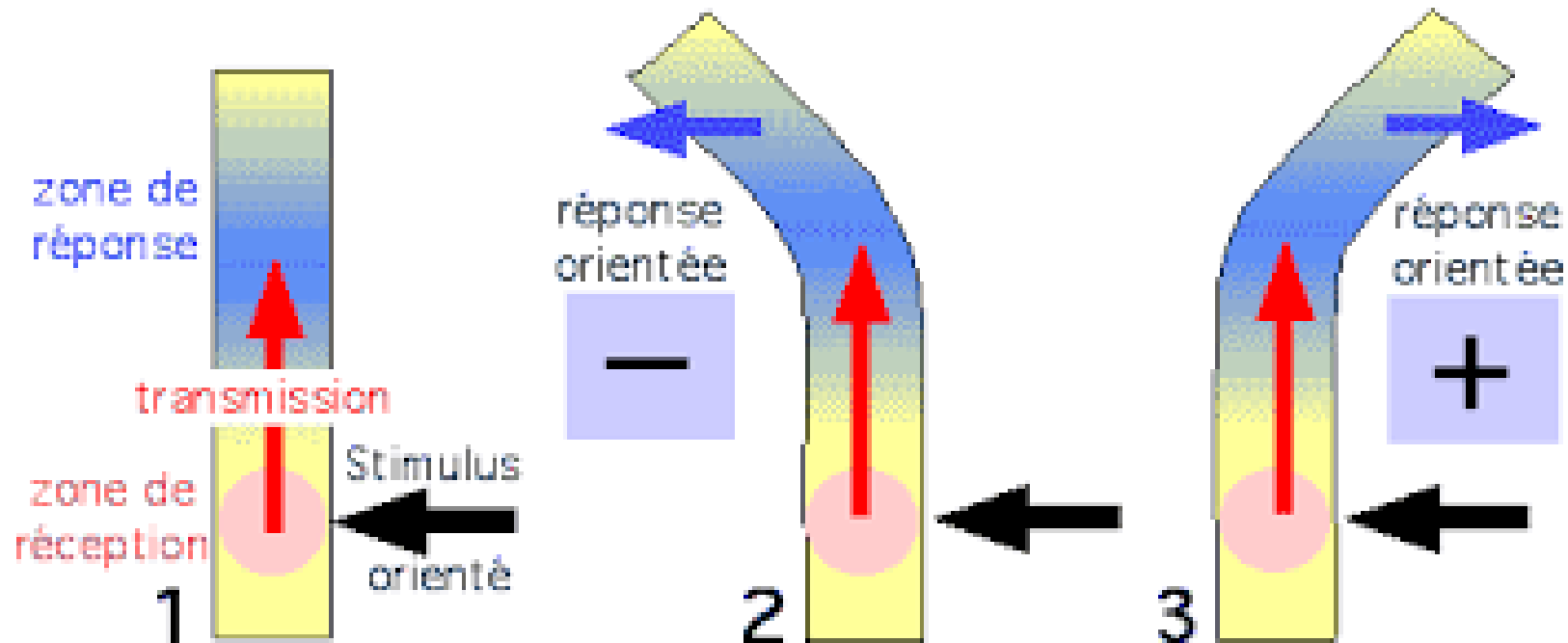


- Le tropisme

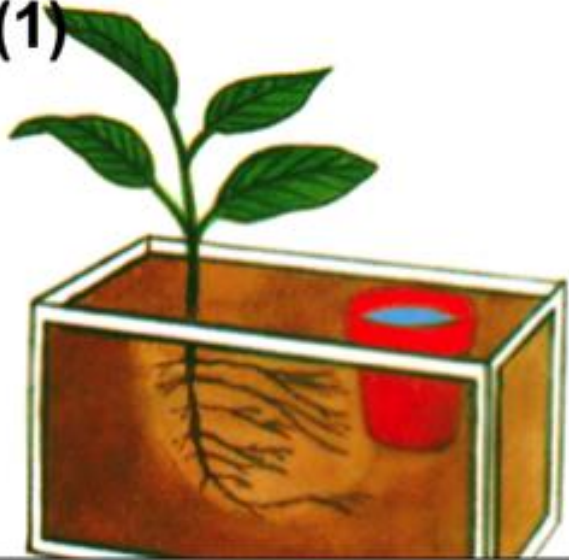
Chez les végétaux, on appelle **tropisme** (du grec *tropein* : tourner) **une modification de la direction de la croissance**:

- C'est une courbure causée par un stimulus extérieur et en rapport avec la direction du stimulus. Par exemple, des pousses qui normalement se développent verticalement s'orientent différemment lorsqu'elles reçoivent la lumière d'un seul côté, et, de ce fait, croissent vers la lumière ; placées horizontalement, elles se tournent de façon à croître dans le sens opposé à la pesanteur.

- Les mouvements dirigés vers le stimulus sont dits **positifs** ; ceux qui sont opposés au stimulus sont dits **négatifs**.
- Les pousses principales ou apicales réagissent à la pesanteur négativement, mais les racines principales y réagissent positivement.



(1)



Hydrotropisme

(2)



Phototropisme

(3)



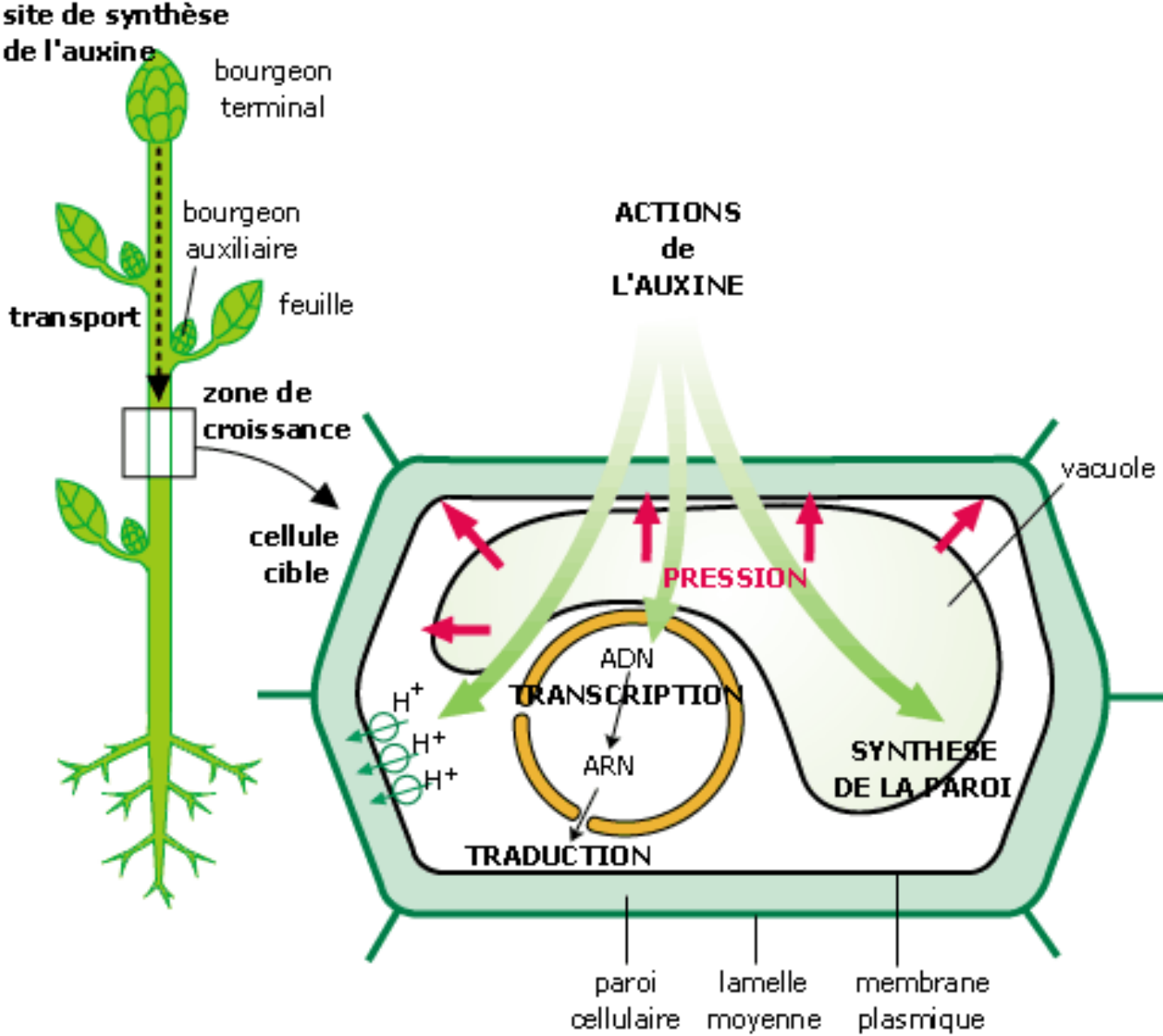
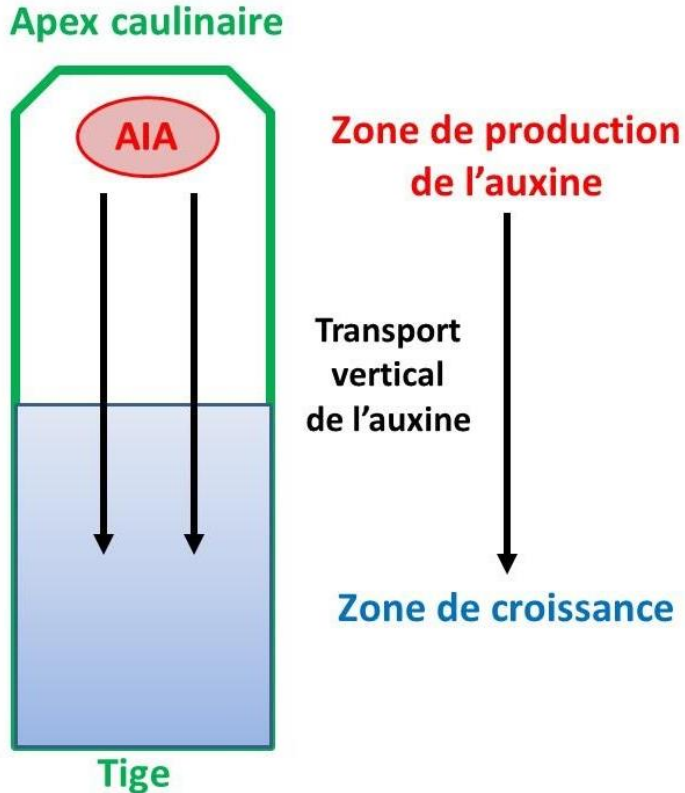
Gravitropisme

1. Phototropisme. La tige n'est pas sensible au sens des rayons lumineux, mais à la différence d'éclairement.

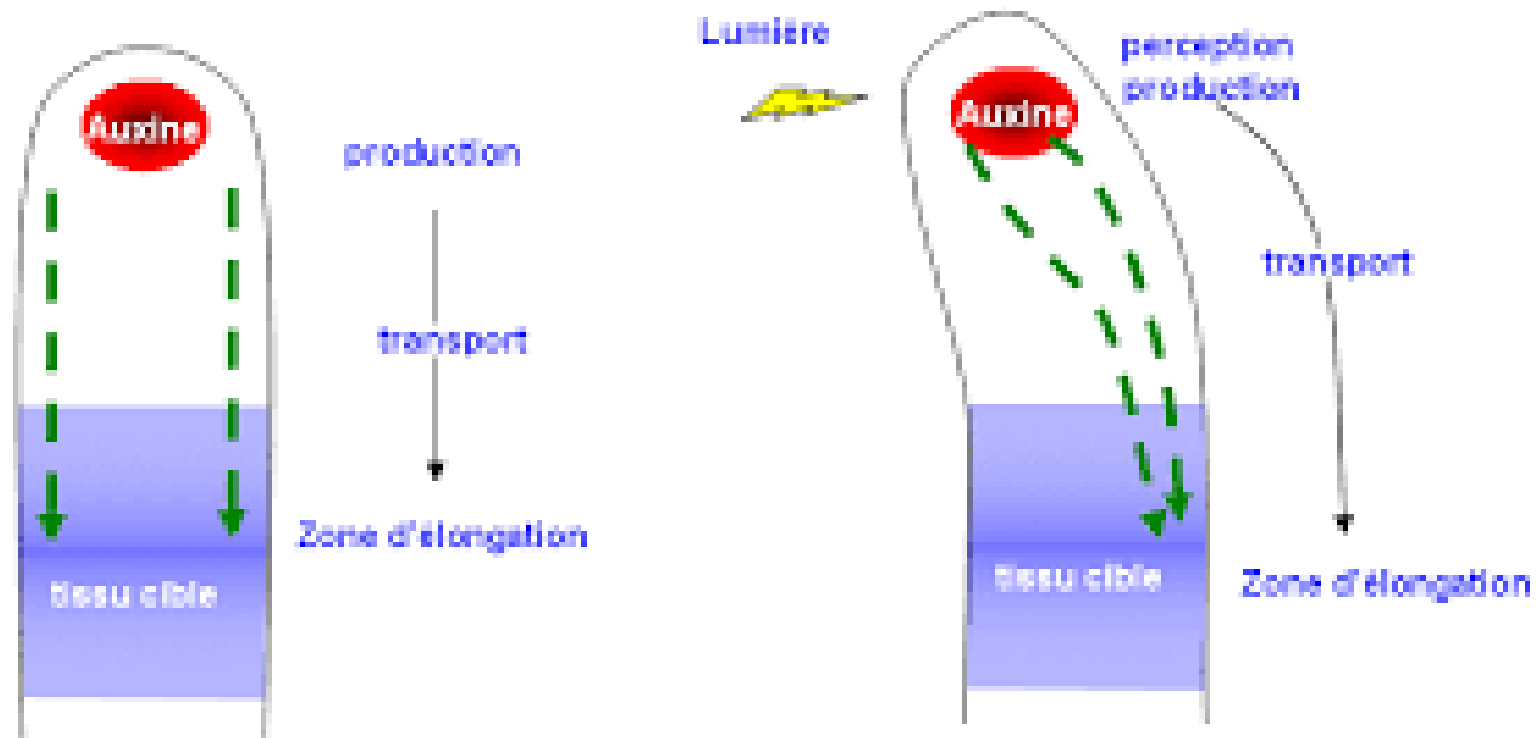
- **stimulus interne** : comme l'**auxine**, qui est une phytohormone de croissance qui se trouve généralement dans les parties apicales des tiges (apex caulinaire). Là, s'effectuent des divisions cellulaires nombreuses et rapides (méristèmes). Cette molécule se trouve aussi dans les feuilles.

•

Effet de l'auxine sur la croissance



Coléoptile phototropisme auxine



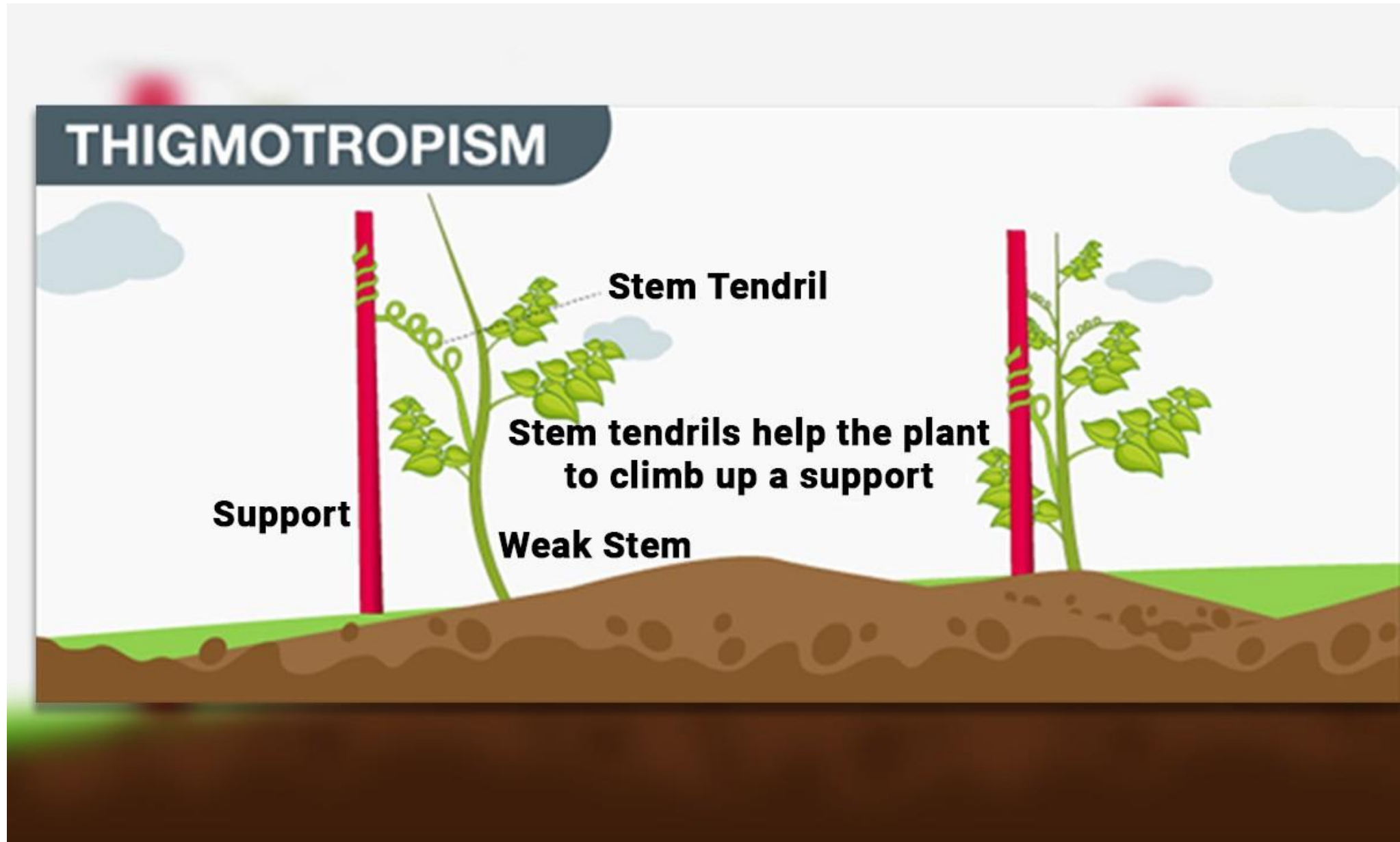
- Les **tiges** ont un **phototropisme positif**,
- Les **racines** ont un **phototropisme négatif**.
- Le **phototropisme** est le résultat d'une **répartition inégale de l'auxine** : la lumière est un facteur qui entre dans la **destruction de l'auxine**, donc les parties de la plante qui sont moins éclairées (ou loin de la lumière) ont très peu d'auxine. Donc la croissance végétale est :
 - Plus importante dans les tiges
 - Moins importante des les racines

2. Géotropisme stimulus = pesanteur

Tiges : géotropisme négatif et **Racines** : géotropisme positif



3. **Thigmotropisme stimulus** : contact avec un support (thigmo = toucher)



4. Corrélation morphogénétique:

Dans une plante, le développement d'un organe ne dépend pas seulement des conditions ambiantes et de ses potentialités propres, mais dépend largement du fonctionnement des autres organes. Cette dépendance entre deux organes différents est une corrélation.

Exemples :

- L'**appareil racinaire** influe sur l'appareil aérien en lui fournissant l'eau et les sels minéraux, mais aussi en synthétisant une substance, la cytokinine qui diffuse vers le lieu d'action ; tout ça en plus de son rôle d'organe de réserve (le seul et l'unique).
- L'**appareil aérien** influe sur le développement du système racinaire qui reçoit les produits de la photosynthèse et des substances oligo-dynamiques nécessaires à son métabolisme telles que les vitamines.
- Il y a **corrélation entre bourgeons**, **sous forme de compétition trophique**, mais il existe une corrélation plus marquée traduite par la dominance apicale par laquelle le bourgeon situé à l'apex d'un rameau inhibe le développement des bourgeons axillaires sous jacents.
- Les **organes végétatifs et les organes reproducteurs sont en corrélation** ; il faut un développement suffisant des premiers pour qu'il y ait mise à fleur. Mais au-delà d'un certain seuil, il y a un certain antagonisme entre les développements végétatif et floral (d'où nécessité des tailles). Ces exemples nous montrent qu'il existe deux types de corrélation qui peuvent être positives ou négatives

III. La floraison

La **floraison** assure la reproduction de l'espèce végétale et la production.

Généralement, les **organes floraux sont responsable de la floraison.**

La **floraison** sous entend souvent l'épanouissement des fleurs. En fait, ce mot recouvre un ensemble de phénomènes très complexes qui constituent la transition entre l'état végétatif et l'état reproductif :




- l'induction florale aboutissant à la transformation du méristème végétatif en méristème floral ; la formation des organes floraux ; l'épanouissement de la fleur.

Développement des organes végétatifs selon le code décimal BBCH Organes de fructification : stades de M. Fleckinger (INRA) vs code décimal BBCH

Selon BBCH : stade 00 : stade de repos des bourgeons végétatifs - stades 01 à 09 : éclatement des bourgeons végétatifs - stades 10 à 19 : sorties des feuilles de rosettes - Stades 31 à 39 : développement des pousses végétatives

		
Stade A (Fleckinger)	Stade B	Stade C-C3
Stade 00 (BBCH)	Stade 51-52	Stade 53-54
Repos hivernal des boutons floraux	Gonflement des boutons floraux – écartement des écailles – aspect velu (bouton blanc)	Seules les feuilles entourant les fleurs sont visibles (pointe verte) – les premières feuilles se séparent (« oreille de souris »)

		
Stade D	Stade E-E2 (bouton rose) - E4 (ballon)	Stade F1
Stade 55-56	stade 57 (bouton rose) – 59 (ballon)	Stade 61
Les boutons floraux sont visibles (bouton vert)	Les pétales sont visibles (bouton rose) – Les pétales forment un gonflement (stade ballon)	Fleurs centrales ouvertes et/ou environ 10% de fleurs ouvertes

		
Stade F2	Stade G	Stades H (fin de chute des pétales) - I (nouaison accomplie - développement du jeune fruit) – J (chute physiologique terminée)
Stade 64	Stades 65 (chute 1ers pétales) – 69 (tous les pétales sont tombés)	Stade 71 : 0-10 mm de diamètre - Stade de 72 : 11-20 mm - Stade 73 : chute physiologique
Toutes les fleurs de 50% des bouquets sont ouvertes ou 50% de fleurs ouvertes	Chute des pétales	Développement des fruits

Développement des fruits selon BBCH (suite) : Stade 74 : jus qu'à 40 mm – stade 75 : 50% de la taille définitive des fruits – stade 77 : 70% de la taille définitive des fruits – stades 81 à 89 : maturation des fruits
Stades 91 à 97 : senescence et chute des feuilles

Feuillaison

Stade 0
Bourgeon
dormant



Stade 7
Début de l'éclatement
des bourgeons



Stade 9
Bout des feuilles
sorties du bourgeon



Stade 11
Environ 10% des
feuilles étalées

Stade 15
Environ 50% des
feuilles étalées



Floraison

Stade 55
Fleurs mâles visibles
non épanouies



Stade 61
Environ 10% des fleurs
mâles libèrent le pollen

Stade 65
Environ 50% des fleurs
mâles libèrent le pollen



Stade 69
Les fleurs mâles
commencent à se faner



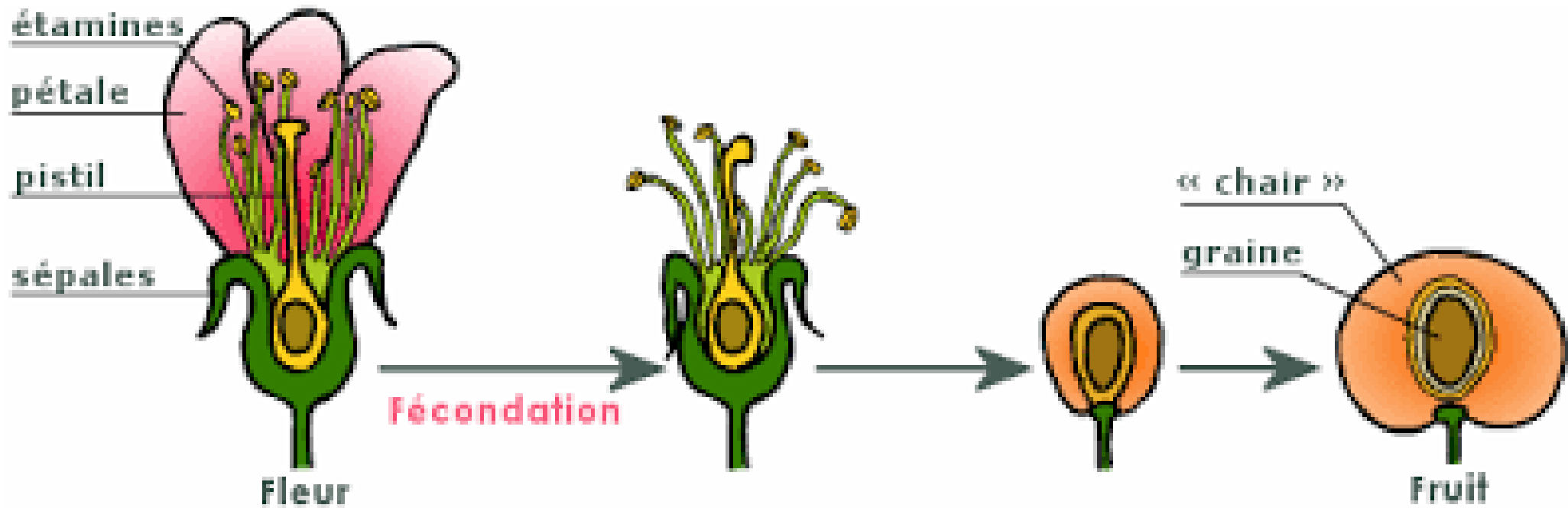
Fleurs femelles



- Des fois, on observe le développement de fleurs sur des plantules dites néoténiques (Chouard) n'ayant encore que leurs deux cotylédons et les ébauches des deux premières feuilles. Prise dans son ensemble, la floraison dépend de l'alimentation en carbone et en azote (facteurs macrotrophiques de Chouard) et de substances hormonales dont la synthèse et l'activité sont contrôlées par les facteurs du milieu (température, durée relative des jours et des nuits).



IV. Formation de fruit (Fructification)



Ex de fructification chez la tomate

