



Center régional des métiers d'éducation et  
de formation - Rabat



# La croissance et développement



**Réalisées par les professeures stagiaires :**

- Zaina AMRHAR
- Habiba AROHAL
- Soumia ELBASRAOUI
- Ijjo EL AMRANI

• Encadré par le professeur : GUIDERA Younesse

Année scolaire : 2014

## Sommaire

### INTRODUCTION

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| I. La croissance.....                                  | 5  |
| I.1 Définition.....                                    | 5  |
| I.2 les étapes de la croissance.....                   | 5  |
| I.2.1 La mérése ou la division cellulaire.....         | 9  |
| I.2.2 l'auxèse ou l'élongation cellulaire.....         | 9  |
| a- rôle de la paroi.....                               | 9  |
| b- allongement des cellules végétales.....             | 9  |
| c- rôle de la vacuole .....                            | 9  |
| I.3 Les formes de la croissance.....                   | 9  |
| I.3.1 La croissance primaire.....                      | 9  |
| I.3.1.1 organisation fonctionnelle des méristèmes..... | 9  |
| a- Définition du méristème.....                        | 10 |
| b- Les méristèmes primaires.....                       | 10 |
| b- 1. Le méristème apical caulinaire.....              | 11 |
| b- 2. Organisation du méristème apical caulinaire..... | 13 |
| b-3. Organisation du méristème apical racinaire.....   | 14 |
| I.3.1.2 La croissance en longueur de la tige.....      | 15 |
| I.3.1.3 La croissance en longueur de la racine.....    | 15 |
| I.3.2 La croissance secondaire.....                    | 16 |
| I.3.2.1 les méristèmes secondaire.....                 | 17 |
| a-Cambium libéro-ligneux.....                          | 17 |
| b-Cambium subéro-phelodermique.....                    | 17 |
| I.3.2.1 La croissance en épaisseur de la tige.....     | 17 |
| I.3.2.2 La croissance en épaisseur de la racine.....   | 18 |
| I.4 Les facteurs de croissance.....                    | 18 |
| I .4.1. Les facteurs externes .....                    | 19 |
| a- la lumière.....                                     | 19 |
| b- la température.....                                 | 19 |
| I .4.2 .Les facteurs hormonaux.....                    | 20 |
| a-L'auxine.....                                        | 20 |

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| a.1. Nature chimique de l'auxine.....                | 20. |
| a.2. Biosynthèse et transport de l'auxine .....      | 20  |
| a .3. Le rôle de l'auxine .....                      | 21  |
| b- Les gibbérelline.....                             | 25  |
| b.1. Nature chimique des gibbérellines.....          | 26  |
| b.2. Biosynthèse et transport des gibbérellines..... | 26  |
| b.3. Le rôle des gibbérellines.....                  | 28  |
| c- Les Cytokinines .....                             | 28  |
| c .1-Nature chimique des Cytokinines.....            | 30  |
| c.2- Biosynthèse et transport des Cytokinines.....   | 30  |
| c.3- Le rôle des Cytokinines.....                    | 30  |

## **II. La floraison**

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.1. Etapes de floraison.....                                                     | 32 |
| II.2. Facteurs trophiques.....                                                     | 33 |
| II.3. L'action de la lumière et photopériodisme.....                               | 33 |
| II.3.1. Mise en évidence du photopériodisme.....                                   | 33 |
| II.3.2. Quantité de lumière nécessaire à une réponse photopériodique.....          | 36 |
| II.3.3. Transmission de la stimulation photopériodique.....                        | 37 |
| II.3.4. Le comportement des plantes de jours longs et des plantes de nuits longues |    |
| II.4. L'action de la température et vernalisation.....                             | 38 |
| II.4.1. La vernalisation.....                                                      | 39 |
| II.4.2. Transmission du stimulus de vernalisation.....                             | 39 |
| II.5. Auxine et initiation florale.....                                            | 40 |
| III. La fructification (développement des fruits).....                             | 41 |
| IV. Graine et germination.....                                                     | 41 |
| IV-1. La graine des Angiospermes.....                                              | 42 |

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| IV-1.1. Embryogenèse précoce.....                       | 41 |
| a. Le développement de l'embryon .....                  | 41 |
| b. Développement de l'albumen .....                     | 41 |
| IV.1.2. Embryogenèse tardive.....                       | 42 |
| a. Différenciation des téguments séminaux.....          | 42 |
| b. Accumulation des réserves.....                       | 42 |
| IV.1.3-Les principaux types de graines.....             | 42 |
| a-Graine à périsperme.....                              | 42 |
| b- Graine albuminée.....                                | 42 |
| c-Graine exalbuminée.....                               | 42 |
| IV.2. La vie ralentie.....                              | 44 |
| IV.2.1 - Longévité des semences.....                    | 45 |
| IV.3- Le phénomène de la germination.....               | 45 |
| IV.3.1- Définition de la germination.....               | 45 |
| IV.3.2- Diverses phases de la germination.....          | 45 |
| a. Imbibition.....                                      | 45 |
| b. Activité respiratoire.....                           | 45 |
| IV.4. Facteurs généraux de la germination.....          | 46 |
| IV.4.1- Principaux facteurs extérieurs.....             | 46 |
| a. L'eau.....                                           | 46 |
| b. L'oxygène.....                                       | 46 |
| c. La température.....                                  | 46 |
| d. La lumière.....                                      | 46 |
| IV.5. Les inhibiteurs de germination.....               | 50 |
| IV.6. Inaptitudes à la germination : les dormances..... | 50 |
| IV.6.1- Dormances embryonnaires.....                    | 51 |
| a. Manifestations de la dormance embryonnaire.....      | 52 |
| b. Installation de la dormance embryonnaire.....        | 53 |

## CONCLUSION

## Introduction

La vie du végétal supérieur commence dès la formation de la graine, avec l'organisation de l'embryon, mais le nouvel individu ne devient indépendant qu'à partir du moment où la graine, mûre, se sépare de la plante sur laquelle elle s'est formée.

La graine peut rester plus ou moins longtemps à l'état de vie latente, puis elle germe ; cette reprise d'activité manifeste, pour s'accomplir, des exigences particulières ; elle est caractérisée au point de vue physiologique, par le passage du nouvel individu de l'état hétérotrophe à l'état autotrophe et, au point de vue morphologique, par la différenciation des divers organes de la plante.

A partir de ce moment , au cours de sa vie, la plante augmentera constamment de volume plus au moins rapidement ; en même temps de nouveaux organes se formeront semblable à ceux qui existaient déjà (nouvelles feuilles ,nouvelles tiges , nouvelles racines)ou différent (organes floraux) nous serons donc conduit à distinguer dans ce présent travail deux notions différentes la notion de la croissance et la notion de développement .La **croissance** est l'augmentation irréversible du volume d'un organisme ; elle s'accompagne en général de l'augmentation du poids de la matière sèche et de la quantité de la matière vivante de la plante . Au contraire le changement de forme , le degré de différenciation l'état de complexité plus ou moins grande de l'organisme végétal constituent le processus de **développement** .il est difficile de définir une limite précise entre la croissance et le développement car les deux processus se déroulent simultanément dans un organisme donné.

Nous abordons notre sujet par le premier chapitre qui décrit la croissance de la plante ses étapes ses formes et également les différents facteurs qui influencent cette croissance a savoir les facteurs internes (les hormones de croissance) et les facteurs externes (température ,la lumière...) . Le deuxième chapitre concerne le stade de la germination de la graine ainsi que les conditions nécessaire à cette germination. Et le dernier chapitre traite la floraison et la fructification.

## I. La croissance

### I.1 Définition

La croissance est l'augmentation continue de toutes les dimensions de la plante: longueur largeur diamètre surface volume et masse Cette augmentation est mesurable dans le temps. La croissance d'une plante entière (ou d'un couvert végétal) fait intervenir en fait deux phénomènes concomitants

### I.2 les étapes de la croissance

Le processus de la croissance chez les végétaux se déroule dans trois étapes :

#### I.2.1 La mérése ou la division cellulaire

La mérése consiste en division cellulaire ou **mitose** qui s'opèrent dans des régions localisées dans la plantes appelés **les méristème**. La mitose végétale se déroule dans quatre étapes :

##### ☐ Interphase :

Le noyau limité par la membrane contient de la chromatine constituée d'ADN décondensée et des nucléoles. L'entrée en mitose d'une cellule végétale se caractérise par la redistribution des microtubules qui va permettre la formation d'un nouvel ensemble microtubulaire qu'on appelle l'anneau pré-prophasique. Cet anneau va se positionner autour du noyau, dans le plan équatorial de la cellule qui indique le futur plan de séparation des cellules filles.

### **Prophase :**

le nucléole disparaît et la chromatine se condense et se duplique en deux chromatides. Les chromosomes sont désormais visibles scindés en deux chromatides sœurs unies au niveau du centromère. Les microtubules formant le fuseau chromatique commencent à se mettre en place. La disparition de l'enveloppe nucléaire marque la fin de cette phase. On note l'absence de centriole chez les cellules végétales, la disposition des chromosomes se fait à l'aide du fuseau de microtubules.

### **Métaphase :**

Les microtubules kinétochoriens et polaires forment un fuseau chromatique. Les chromosomes se rassemblent pour constituer progressivement la plaque métaphasique au centre. La séparation des deux chromatides sœurs marque la fin de la métaphase.

### **Anaphase :**

les deux chromatides sœurs se séparent au niveau du centromère pour migrer vers les deux pôles de la cellule par raccourcissement des microtubules kinétochoriens.

### **Télophase :**

les deux lots de chromosomes fils ont atteint chacun un pôle de la cellule. Ils se tassent les uns contre les autres. Les microtubules kinétochoriens disparaissent sauf dans la région centrale où ils forment le phragmoplaste de la cellule au niveau du plan du cloisonnement cellulaire. L'enveloppe nucléaire se reforme autour des deux noyaux fils, les chromosomes se décondensent. La cytokinèse (bipartition cellulaire) des végétaux est très particulière car elle ne peut pas se faire par constriction centripète comme chez les cellules animales à cause de la rigidité de la paroi pecto-cellulosique. Guidées par le phragmoplaste et grâce à leur contenu essentiellement pectique, des vésicules golgiennes forment par coalescence une paroi cellulaire centrale. La nouvelle membrane plasmique est alors élaborée par la fusion des membranes de ces vésicules. La paroi cellulaire grandit de façon centrifuge et se raccorde à la paroi préexistante de la cellule mère pour constituer la nouvelle paroi séparant les deux cellules filles.

## Cycle cellulaire

Le cycle cellulaire correspond à l'intervalle de temps qui sépare deux divisions cellulaires. La mitose n'est que la partie cytologiquement observable de ce cycle. Il se déroule chez tous les eucaryotes en quatre phases successives, G<sub>1</sub>, S, G<sub>2</sub> et M qui se succèdent selon un ordre chronologique (G pour gap, S pour synthèse et M pour mitose).

❓ **Phase G<sub>1</sub>(de gap) :** au cours de cette phase, la cellule atteint son état adulte où les noyaux possèdent deux compléments (2C) de ADN correspondant au nombre Diploïde (2n) de chromosomes.

❓ **Phase S (synthèse) :** au cours de laquelle s'effectue la réplication de l'ADN la cellule possède alors quatre compléments (4C) d'ADN.

❓ **Phase G<sub>2</sub> :** phase de vérification du bon déroulement de la réplication. Les protéines nécessaires à la mitose sont synthétisées.

❓ **Phase M :** c'est la division cellulaire produisant deux cellules filles où est réparti le contenu en ADN dupliqué en deux lots.

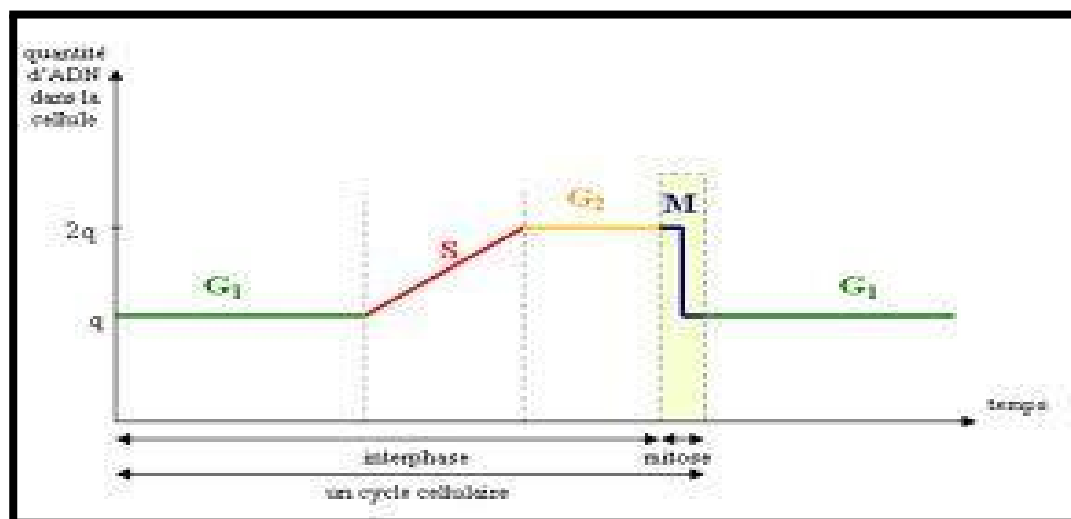


Figure 1 : le cycle cellulaire

### 1.2.2 l'auxèse ou l'élongation cellulaire

Une auxèse consiste en une élongation des cellules végétales, un des processus cellulaires permettant la croissance des végétaux. L'auxèse qualifie l'augmentation des dimensions des cellules et influence la polarité de croissance. est parfois isodiamétrique (parenchyme de

la feuille, de l'écorce ou des organes de réserves) mais plus généralement longitudinale (élongation) ou radiale (croissance en épaisseur).

Les mécanismes de l'élongation cellulaire vont mettre en jeu essentiellement deux constituants de la cellule végétale la paroi cellulaire et la vacuole **Le rôle de la paroi cellulaire**

Tout d'abord, les jeunes cellules végétales possèdent la particularité d'être entourées par une **paroi** qui comporte plusieurs parties mises successivement en place :

- **lamelle moyenne** :c'est la partie la plus externe de la paroi elle s'édifie Suite à la mitose et sépare les deux cellule filles C'est elle qui se forme la première et elle assure l'adhésion entre les cellules de chaque côté de la lamelle moyenne, chaque cellule fille en croissance va élaborer sa propre paroi. Il se forme d'abord :
- **la paroi primaire** qui est extensible possède une épaisseur de 1 à 3 micromètre .Elle est composée la cellulose polymère de glucose formant des microfibrilles,et des polysaccharides comme l'hémicellulose, des composés pectiques, et des protéines comme l'extensine. Les molécules de cellulose forment un réseau de microfibrilles enrobées dans une pâte faite principalement d'hémicelluloses liées à la protéine. Cette pâte relativement molle rend la paroi primaire extensive.
- **La Paroi secondaire**, elle apparaît lors de la différenciation de la cellule. Elle est constituée de cellulose et d'hémicellulose et est enrichie en composés phénoliques :lignine (pour renforcer la rigidité), cutine et subérine (pour l'imperméabiliser). Cette différenciation s'observe pour les cellules conductrices de sève du xylème (le bois) et pour différents tissus de soutien (sclérenchyme) ou de protection (liège).

Toutes cellules possèdent une la melle moyenne et une paroi primaire et cet ensemble relativement souple est extensible. En revanche seules les cellules adultes ont une paroi secondaire inextensible, ce qui rend leur croissance impossible.

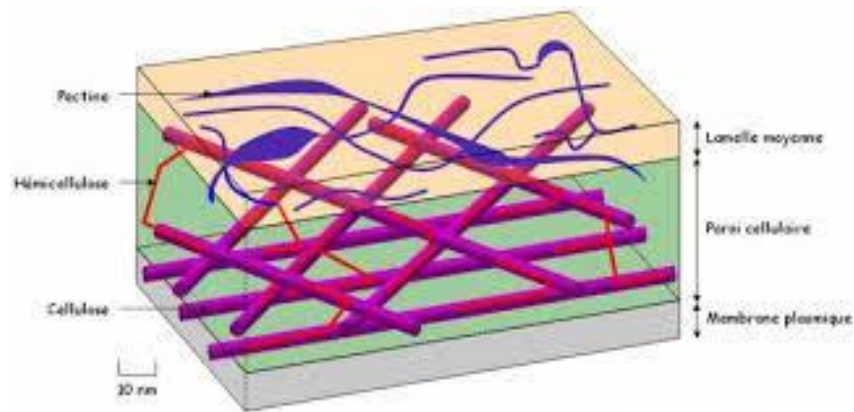


lamelle moyenne

Paroi primaire

Couches de la paroi secondaire

### La paroi cellulaire observée au microscope électronique.



### La représentation schématique de la paroi primaire

#### **a) L'allongement des cellules**

- **Les processus d'allongement**

Le processus d'allongement nécessite l'intervention de deux processus : un relâchement de la pâte qui unit les microfibrilles de cellulose et l'ajout de nouvelles microfibrilles de cellulose (et autres composés) à la paroi primaire. Ainsi la surface pariétale s'accroît et la cellule grandit.

#### **b) Le rôle de la vacuole**

Dans une cellule qui grandit, de l'espace nouveau est créé. Cet espace est en grande partie occupé par ses vacuoles, cavités ménagées dans le cytoplasme. Les vacuoles contiennent un liquide riche en eau dans lequel de nombreuses substances sont dissoutes (ions minéraux : potassium, magnésium, acides aminés, saccharose...). Ces substances dissoutes créent un appel d'eau de l'extérieur de la cellule vers l'intérieur. Il en résulte une pression : la pression de turgescence ou osmotique qui s'exerce sur toute la surface de la paroi par l'intermédiaire du cytoplasme. Cette pression de turgescence produit la force nécessaire au gonflement de la cellule et est le moteur de l'extension cellulaire. L'état physiologique normal

d'une cellule végétale en croissance ou non est l'état turgescent. Quand la cellule perd de l'eau, la vacuole diminue de volume et la cellule devient plasmolysée. Une plasmolyse prolongée provoque la mort de la cellule. D'autre part, la paroi permet à la cellule de ne pas éclater sous l'effet de cette pression. La preuve est fournie par une suspension de protoplastes. Les protoplastes sont des cellules végétales privées de leur paroi (attaque enzymatique). Dans un milieu où l'eau pénètre dans les protoplastes, ces derniers éclatent.

### **I.3 Les formes de la croissance**

Une plante est soumise à deux formes de croissance :

#### **I.3.1 la croissance primaire**

C'est l'élongation. Elle a lieu au niveau des méristèmes apicaux (organogènes). Ce type de développement est remarquable chez tous les végétaux : c'est le port herbacé des plantes.

##### **I.3.1.1. Organisation fonctionnelle des méristèmes**

###### **a. Définition des méristèmes**

Les méristèmes sont les tissus de la plante formés par **un ensemble de cellules embryonnaires indifférenciées**, qui se multiplient activement et rapidement durant la saison végétative. Ils sont à l'origine de tous les autres tissus de la plante. Les méristèmes sont les zones de la plante où s'effectue la croissance végétale soit en longueur ou en épaisseur. On distingue sur le plan fonctionnel les **méristèmes végétatifs**, impliqués dans la genèse des organes dits végétatifs (tige, feuilles, racines) et les **méristèmes reproducteurs**, impliqués dans la genèse de la fleur.

###### **b. Les méristèmes primaires ou apicaux**

Les méristèmes se présentent sous différentes formes, en différents lieux de la plante et ont des fonctions variées

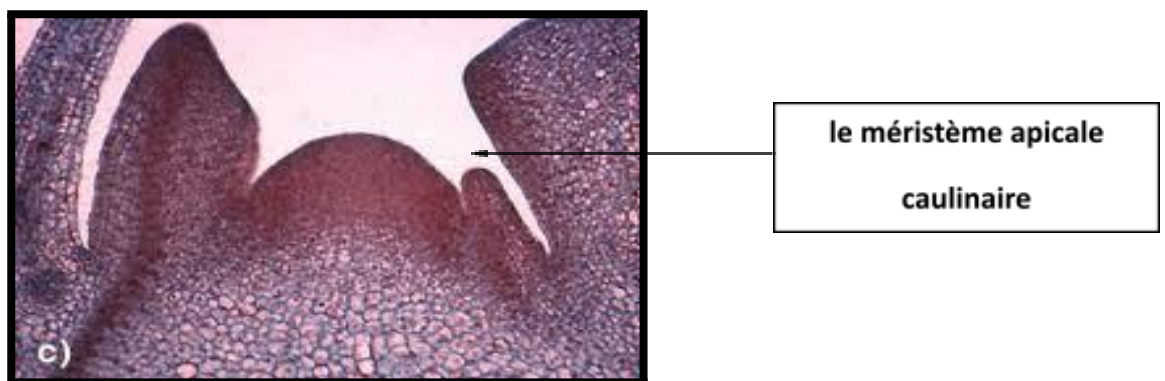
- **Les méristèmes primaires ou apicaux** : apparaissent au cours de l'embryogenèse et s'étendent dans toute la plante. Ce sont des tissus partiellement différenciés qui restent encore méristématiques quelque temps avant d'entamer leur différenciation en cellules spécialisées. Dans les tissus primaires ils assurent la croissance primaire de la plante. Ils sont organogènes puisqu'ils produisent de nouveaux organes (feuilles, fleurs, rameaux, ...) et histogènes puisqu'ils différencient les tissus de la plante.

Les méristèmes apicaux sont situés aux extrémités des tiges et des racines. Ils assurent respectivement la croissance en longueur des parties aériennes et souterraines en générant des méristèmes primaires qui à leur tour produisent la structure primaire de la plante . Les méristèmes apicaux sont très importants pour les végétaux car ils leur confèrent une croissance indéfinie si les plantes se trouvent dans des conditions favorables à leur développement. On en distingue deux types : **le méristème apical racinaire** et **le méristème caulinaire.**( pdf base)

### **b-1. Le méristème apical caulinaire (MAC)**

Le méristème caulinaire est situé dans la partie terminale de la tige. Il présente deux phases de développement bien distinctes. La phase végétative durant laquelle il met en place uniquement des feuilles et la phase reproductrice durant laquelle sont mises en place les fleurs. Dans ce chapitre, on traitera le fonctionnement végétatif.

Le MAC est une masse de cellules actives de point de vue mitotique formant une masse en forme de dôme qui se trouve localisé à l'apex caulinaire de la plante. Le MAC produit les primordiaux foliaires latéralement qui formeront des feuilles. Par son fonctionnement, il est à l'origine de la mise en place des nœuds portant les feuilles axillées par le bourgeon axillaire et des entre-nœuds. Cette production est continue au moins pendant la phase végétative



**Figure4 : le méristème apicale caulinaire**

### **b-2. organisation du méristème apical caulinaire**

#### **❖ Organisation spatiale**

Le MAC peut être décrit selon deux modes d'organisation : une organisation en assises cellulaires et une organisation en zones concentrique

### ❖ Organisation en assises:

L'observation de coupes longitudinales du MAC des Angiospermes, montrent la présence de différentes assises cellulaires superposées organisées en **tunica** et **corpus**. Chez la plupart des dicotylédones comme *Arabidopsis*, la tunica est composée des deux assises supérieures, L1 et L2. Chez les monocotylédones comme le maïs, la tunica est composée de la couche L1 uniquement. En dessous de la tunica, se trouve le corpus dont la première assise est la L3.

L'organisation en assises reflète des patrons de division cellulaire spécifiques au sein du méristème. Les plans de divisions dans ces couches sont définis :

- **Les cellules de L1 et L2** se divisent de façon anticline (perpendiculaire par rapport à la surface du méristème). Ces divisions entraînent la croissance de la surface sans augmenter le nombre des couches.

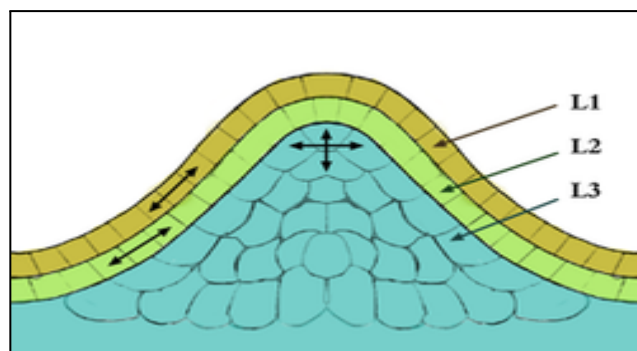
- **Dans la couche L3**, les cellules se divisent dans les deux orientations anticline et péricline

(parallèle par rapport à la surface du méristème) . Il en résulte l'addition de couches

supplémentaires.

Ces trois assises seront à l'origine des tissus de la feuille. L'assise L1 donne naissance aux tissus épidermiques tandis que l'assise L2 donne naissance aux tissus fondamentaux :

parenchymes et la L3 donne naissance aux tissus conducteurs. L'origine de la tige est double car les zones latérales donneront l'épiderme (L1), le parenchyme (L2) et les tissus conducteurs (L3) et la zone médullaire donnera la moelle.

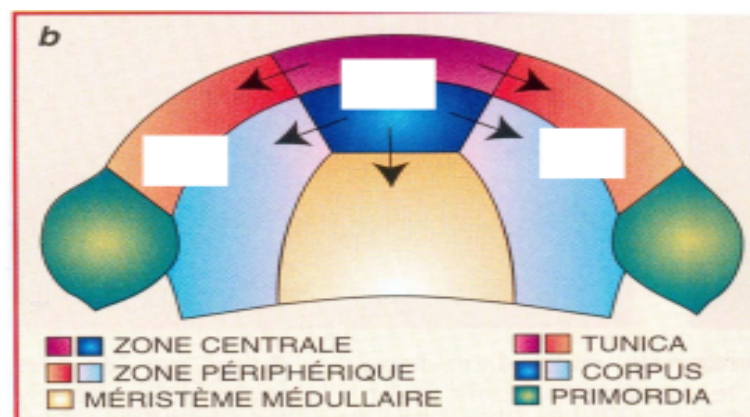


**l'organisation en assises de MAC**

❖ **Organisation radiale en zones :**

Le MAC peut être divisé en 3 zones fonctionnelles distinctes sur la base de critères cytologiques tels que la taille des cellules, la densité cytoplasmique et le taux de prolifération cellulaire:

- **la zone centrale ou axiale (ZA)** située au centre du **MAC** : occupe le sommet du méristème et s'étend en profondeur sur une partie de la tunica et du corpus. Elle est constituée d'une population de cellules souches dont le taux de division est beaucoup plus faible que celui des cellules de la zone périphérique (ZL).
- **la zone latérale ou périphérique (ZL)** qui entoure la zone centrale, est la zone où s'initient les primordia donnant naissance aux organes latéraux. Les cellules sont plus petites, moins vacuolisées et se divisent généralement plus rapidement que celles de la ZA.
- **la zone médullaire (ZM)** située en dessous de la zone central.

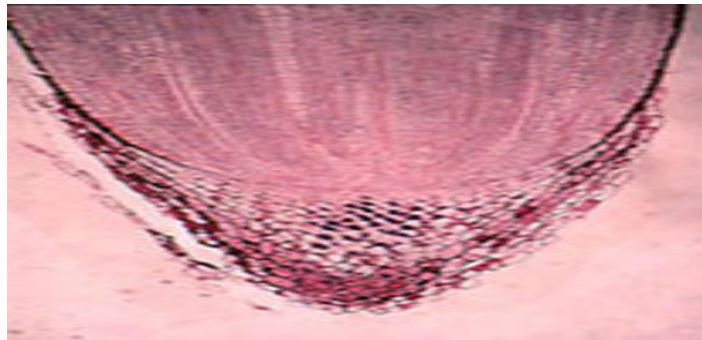


**l'organisation en zones de MAC**

### **b-3.Le méristème apical racinaire (MAR)**

Le méristème apical racinaire est formé durant l'embryogenèse. Il élabore les tissus de la racine et la coiffe, il est uniquement histogène. Il ne produit pas d'organes latéraux et n'est donc pas organogène.

L'apex racinaire est organisé en trois zones : une méristématique, une d'élongation et une de différenciation. La coiffe racinaire protège le méristème apical lors de la progression de la racine dans le sol lors de la croissance primaire en réduisant les frictions avec le sol par sécrétion d'un mucilage.



**Figure6: le méristème racinaire**

**Méristème racinaire**

### **b-4.Organisation spatiale du MAR**

Le méristème racinaire est une structure invariable constituée de cellules initiales

fonctionnelles organisées en files (poly p. 50). Les initiales fonctionnelles sont des cellules souches qui produisent à chaque division deux cellules : une cellule initiale régénérée et

une cellule dérivée qui va se différencier progressivement après déplacement par d'autres tours de divisions (poly p. 50). Deux tissus terminaux sont également produits par les initiales du MAR: la columelle (partie centrale de la coiffe) et les tissus latéraux de la coiffe.

### **I.3.1.2. La croissance en longueur de la tige**

La croissance en longueur de la tige se fait en plusieurs étapes

#### **- croissance embryonnaire**

Elle se déroule à l'apex de la tige dans le bourgeon grâce à des mitose des cellules embryonnaires du **méristème apical**. En fait, elle met en place la tige miniaturisée protégée par les 2 premières feuilles et donc elle met en place le « contenu » du bourgeon.

#### **- croissance intercalaire**

Elle correspond à la transformation de la tige et ses feuilles qui étaient miniaturisées en une tige et des feuilles de taille réelle et ce grâce à un allongement de la zone située entre deux feuilles successives (l'entrenœud ou le méristème intercalaire).

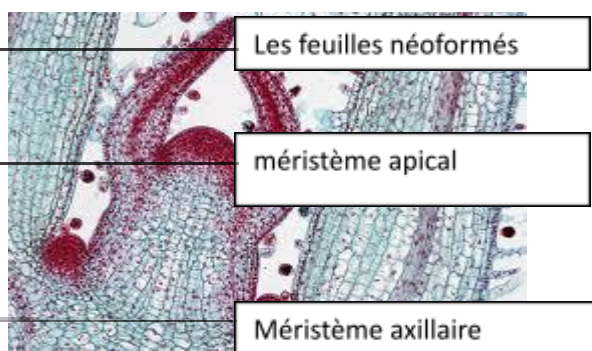
#### **- croissance inter-annuelle**

Elle n'existe que pour les espèces qui vivent plus d'une année (les plantes pérennes) et correspond à la mise en place des éléments itératifs de l'appareil caulinaire.

**Le méristème apical caulinaire** met aussi en place les feuilles ,a l'aisselle de chaque nouvelle feuille formée un petit massif des cellules embryonnaire issue de Le méristème apical persiste formant **un méristème axillaire caulinaire**.

Ce méristème axillaire peut rester inactif pendant une durée variable, mais quand il entrera en activité,il sera à l'origine d'un nouvel axe caulinaire (tige + feuilles) et deviendra donc le

méristème apical caulinaire de cet axe d'ordre 2 (ou ramification de l'axe 1)



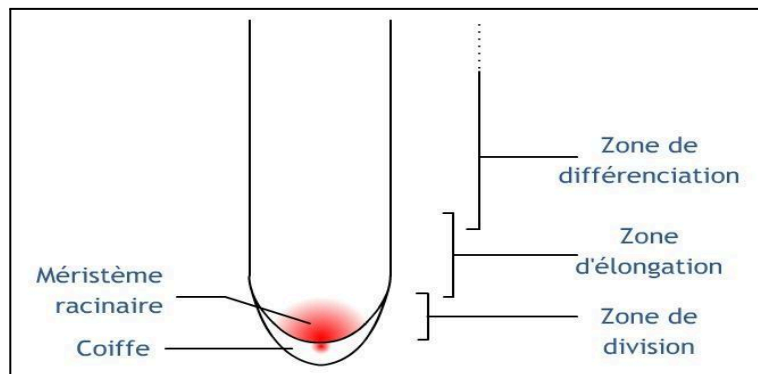
## **coupe longitudinale du coléus**

### **I.3.1.3. La croissance en longueur des racines**

La zone de la croissance de la racine est localisée à quelque mm de son extrémité cette croissance en longueur associe deux phénomènes:

- **les divisions cellulaires** qui produisent de nouvelles cellules , ces divisions sont localisées dans un territoire situé tout à fait à l'extrémité de la racine sous une coiffe protectrice. Ce territoire est le méristème il est caractérisé par des cellules de petite dimension non allongées sans disposition particulière .ces cellules sont encore **indifférenciées** c'est-à-dire sont susceptible de donner n'importe quel type cellulaire du végétal . Le méristème est donc le siège de nombreuses divisions cellulaires ainsi il produit:
  - des cellules qui cesseront de se diviser mais participeront à la structuration de la racine.
  - des cellules qui restent indifférenciées dans le méristème et continuent à se diviser .
- **une élongation** de chacune des cellules produites , cette élongation a lieu dans une zone située dans quelques millimètres qui suivent le méristème c'est la zone **d'élongation cellulaire**. Quand les cellules sont formées, elles grandissent dans cette zone : dans la paroi pecto-cellulosique des cellules qui viennent de se former, l'extensine et l'hélice lâche de cellulose la rendent extensible ; devenant turgescente, la cellule peut s'étirer ; à cause de la plasticité des composés pectiques, la cellule garde la taille qu'elle a atteinte. Cette élongation est facilitée par une hormone végétale **l'auxine**.
- **la différenciation cellulaire** a lieu un peu plus loin de l'extrémité ; les cellules se différencient en cellules de xylème, de phloème, de péricycle, cette différenciation résulte de la position de la cellule, de son environnement, des substances qui circulent entre les cellules grâce aux plasmodesmes.

La formation des poils absorbants a lieu au niveau des cellules de la couche périphérique (le protoderme). On observe une excroissance dans laquelle passent les différents constituants de la cellule : noyau, mitochondries, une grande partie du Reticulum Endoplasmique. La plus grande partie de la cellule est occupée par une vacuole



**les zones de la croissance de la racine**

### **I.3.2 la croissance secondaire**

C'est l'augmentation en épaisseur chez certaines plantes elle résulte de l'activité des méristèmes secondaires ces derniers ne se mettent en place que chez toutes les Gymnospermes et chez certaines Angiospermes Dicotylédones et ils sont absents chez les angiospermes monocotylédones ce qui implique que nous retrouvons rarement des arbres et des arbustes dans ce groupes

#### **I.3.2.1 Les méristèmes secondaires ou latéraux**

les méristèmes secondaires sont localisés dans les parties âgées des tiges et des racines dont ils assurent la croissance en diamètre. Ils sont formés par des cellules nées des méristèmes primaires ces cellules se divisent par des cloisons tangentielle et assurent une croissance nouvelle de l'organe qui sera une croissance transversale, c'est-à-dire une croissance en épaisseur. Les méristèmes secondaires, ou cambiums, sont de deux types On les désigne, selon le devenir des cellules qu'ils créent , par les termes **cambium libéro-ligneux** et **le cambium subéro-phellodermique**.

##### **a-cambium libéro-ligneux:**

c'est méristème secondaire il produit l'essentiel des tissus conducteurs Chez les Gymnospermes et chez les Dicotylédones ligneuses son fonctionnement se poursuit, pour les plantes arborescentes (monocotylédones exceptées), durant toute la vie du végétal.

Deux types morphologiques de cellules cambiales sont reconnaissables. Les unes, très allongées en section longitudinale, sont étroites et aplaties en section transversale. Leurs faces terminales sont très inclinées : elles sont nommées **initiales fusiformes ou initiales longues**. Les autres sont plus petites, arrondies ou légèrement rectangulaires en section longitudinale tangentielle, et leurs faces terminales sont moins inclinées : ce sont **les initiales radiales ou initiales courtes**.

les initiales courtes proviennent, en fait, dans les premiers entre-nœuds, d'initiales longues qui ont subi des cloisonnements transversaux.

Les initiales fusiformes sont à l'origine de l'ensemble des cellules du **phloème** et du **xylème secondaire** ; les initiales radiales fournissent, au contraire, les systèmes dits « **horizontaux** » du phloème et du xylème secondaires .

#### **b-Le cambium subéro-phellodermique**

se constitue à la périphérie des tiges ou des racines. Il produit, vers l'extérieur, du **suber** ou **liège** et, vers l'intérieur, **le phelloderme** qui est un parenchyme secondaire. L'ensemble formé par le cambium et ses dérivés porte le nom **de périderme**. Le cambium lui-même est aussi nommé **phellogène**. le phellogène naît dans l'épiderme (tubercule de pomme de terre, tige de douce-amère), dans l'assise sous-épidermique (tige de sureau), dans les cellules corticales externes des tiges (peuplier), dans leur zone péricyclique (groseillier), dans le phloème primaire (tige de vigne) ou secondaire (saule blanc).

Les cellules du phellogène sont rectangulaires, sans méats et allongées dans le sens tangentiel. Leurs faces terminales sont moins inclinées que celles du cambium libéro-ligneux



**Figure 10: méristème secondaire**

### **I.3.2.1 La croissance en épaisseur de la tige**

Lorsque la croissance en longueur de la tige s'achève, elle peut être suivie par une croissance en épaisseur. Elle est due au fonctionnement des **méristèmes secondaires**, ou zones génératrices ; la division des cellules des méristèmes secondaires crée des cercles de cellules qui se différencient en tissus secondaires. Il y a deux méristèmes secondaires : le **cambium** qui produit des tissus conducteurs secondaires : le liber, ou phloème secondaire, vers l'extérieur et

le bois, ou xylème secondaire, vers l'intérieur. l'activité du cambium produit une augmentation des dimensions internes de la tige, les tissus périphériques se trouvent alors étirés. L'autre méristème secondaire est le phellogène qui produit le suber, ou liège, vers l'extérieur ; il est formé de cellules mortes et sert à protéger, isoler ; de place en place, des lenticelles permettent les échanges gazeux au travers du périderme et vers l'intérieur le phellogène est un parenchyme secondaire chlorophyllien.

### **I.3.2.2 La croissance en épaisseur de la racine**

Dans les racines se forment deux zones où les cellules vont se diviser (où **méristèmes secondaires**) : le **cambium** d'où vont naître les cellules du bois et du liber, et le **phellogène** d'où va naître le phelloderm et le liège.

Le cambium se forme à partir des cellules du péricycle qui se trouvent à la pointe du xylème, le phellogène à partir des cellules du parenchyme. Dans un cas comme dans l'autre, les cellules initiales perdent leur caractère de cellule spécialisée : le volume du noyau augmente, celui du cytoplasme diminue, les cellules retrouvent leur caractère de cellule embryonnaire. Les cellules des méristèmes secondaires se divisent de façon péricleine ou tangentielle, on

obtient des assises concentriques de cellules qui se différencient en tissus secondaires dont les éléments sont empilés ;

Les ramifications ont une origine endogène : ils se forment d'un massif initial interne lequel se développe en une ébauche qui digère les tissus corticaux et fait saillie à l'extérieur. Le massif initial provient de la dédifférenciation de certaines cellules (cellules du péricycle situées face aux pôles ligneux ou pour les racines âgées, cellules pérícambiales), qui retournent à l'état embryonnaire puis se mettent à se diviser à la manière des cellules du méristème apical.

#### **I.4 Les facteurs de croissance**

La croissance végétale est en outre sous l'influence de plusieurs facteurs trophiques et hormonaux

##### **I .4.1. Les facteurs externes**

Les facteurs de l'environnement peuvent agir selon des effets que nous qualifierons de trophiques en conditionnant l'intensité du métabolisme cellulaire ( $T^\circ$ , lumière, etc...), parfois selon des effets mécaniques (exemple vent).

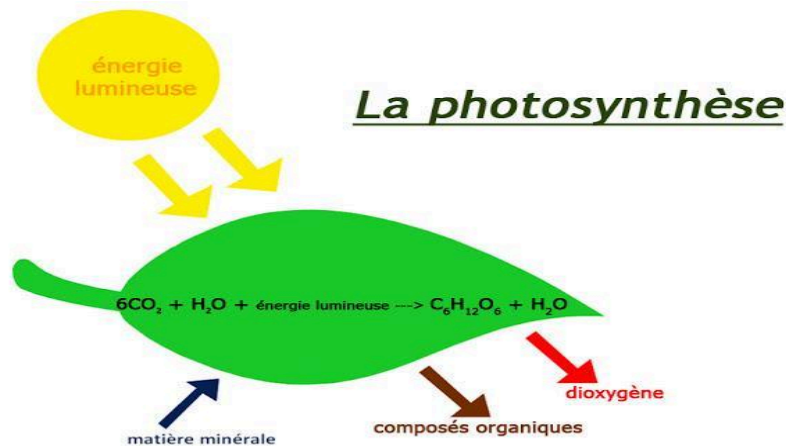
##### **a- la lumière**

-La lumière exerce un effet sur les végétaux : une plante insuffisamment éclairée aura une tige très allongée et le développement des feuilles sera inhibé. Un éclairage inégal du végétal se traduit par une dissymétrie : la plante se courbe vers la lumière (la croissance est plus importante du côté non exposé), et les feuilles sont plus développées du côté exposé.



-La lumière donne une grande influence sur la taille des feuilles, le taux de croissance et la production de chlorophylle.

-Plante a besoin de lumière pour la photosynthèse pour produire sa propre nourriture.



- L'interruption périodique de la lumière (la photopériodisme) permet l'évacuation des produits de la photosynthèse et évite un engorgement des tissus assimilateurs.
- Pour des nombreuses plantes qui ne peuvent fleurir qu'en jours longs, les jours court non seulement empêchent la floraison mais maintiennent les entre-nœuds très court.

#### **b- la température (la Termoperiodisme)**

-Le terme la termopériodisme fut créé par Went(1944) pour désigner la sensibilité des plantes à la thermopériodicité ( journalière ou annuelle) et les réaction qu'elle entraîne.

-L'alternance des températures au cours de l'année est un des facteurs du rythme de croissance. Mais elle intervient aussi indirectement comme une cause déterminante dans les changements d'état qui jalonnent la vie des plantes : entrée ou sortie de la vie latente ; ou acquisition de l'aptitude à fleurir.

- le refroidissement nocturne n'est bénéfique que si l'appareil aérien est refroidi ; il entraîne alors non seulement une amélioration de la croissance du végétaux, mais un développement relativement très important des racine.par contre un refroidissement des racine entraîne une diminution de leur développement et par la même la croissance de l'ensemble de la plante.

#### **I .4.2 .Les facteurs hormonaux**

La véritable mise en évidence d'une hormone végétale remonte à 1926 il s'agit des travaux de WENT sur l'auxine. Jusqu'en 1950 on considéra que l'auxine représentait la seule phytohormone mais après cette date d'autres hormones végétales ont été découvertes, dont l'importance s'est confirmée avec les années. Chronologiquement il s'agit des gibbérellines (1950), des cytokinines (1955), de l'éthylène (1960), de l'acide abcissique (1965) et des brassinostéroïdes (1995).

A l'heure actuelle on connaît donc 6 types d'hormones végétales pour lesquels on peut distinguer:

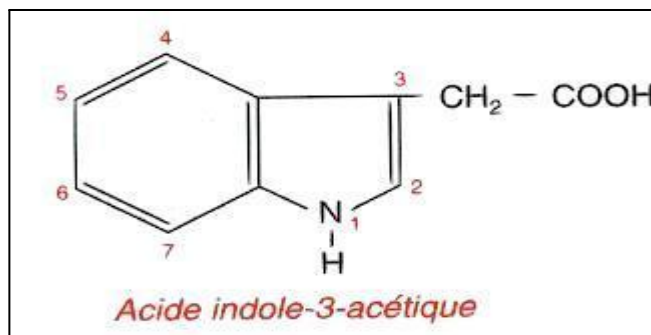
- Des hormones stimulatrices (qui induisent ou stimulent un phénomène physiologique) :
  - Auxines
  - Gibbérellines
  - Cytokinines
  - Brassinostéroïdes
- Des hormones à effets mixtes comme
  - l'éthylène
  - l'acide abcissique

### a-L'auxine

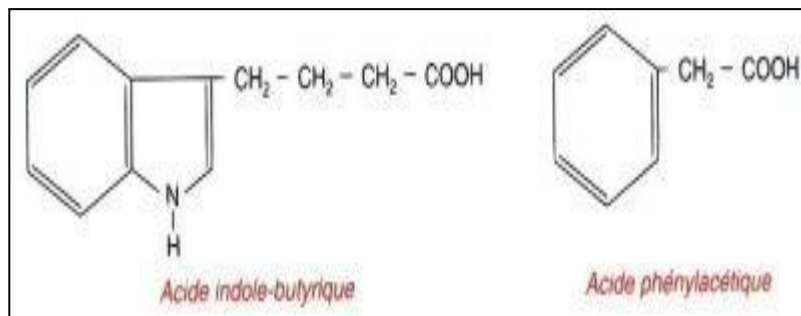
Les auxines sont des hormones végétales, ou phytohormones, présentes dans tout le règne végétal. Elle a été découverte au début du 20<sup>ème</sup> siècle, grâce aux travaux de Darwin sur le phototropisme.

#### a.1. Nature chimique de l'auxine

Au sens strict, l'auxine c'est l'acide indole 3-acétique ou AIA ( $C_{10}H_9NO_2$ ), acide faible qui peut facilement se dissocier, mais il existe d'autres molécules naturelles actives, dont l'acide indole-3-butyrique (AIB) et l'acide 4-chloro-indole-3-acétique (4-Cl-AIA), de structures proches, ou encore l'acide phénylacétique (APA), à faible activité auxinique.



Représentation de l'Acide indole-3-acétique

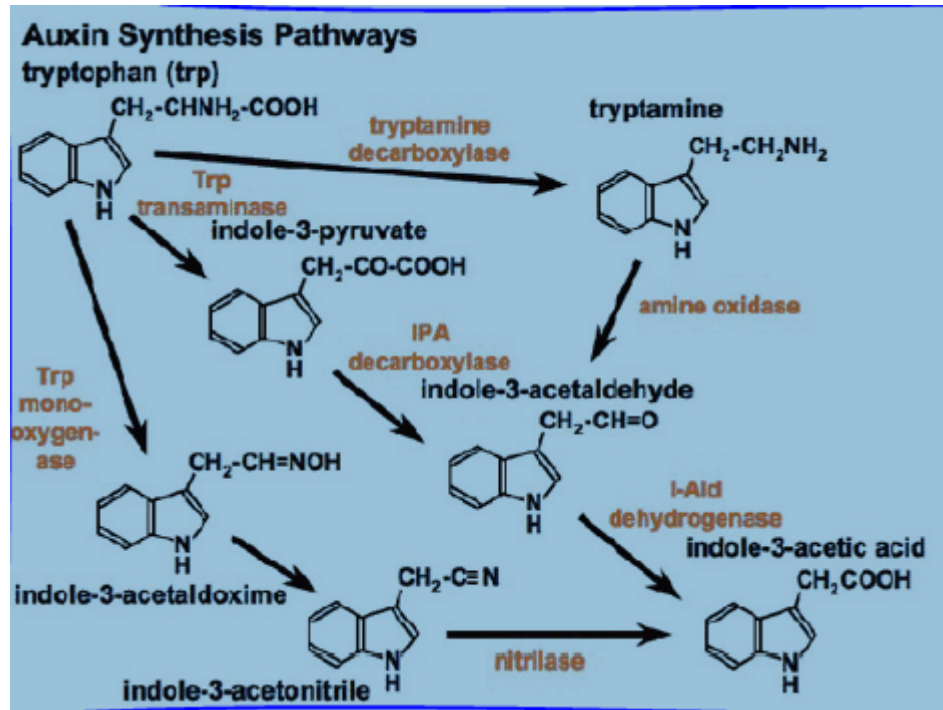


Représentation de deux autres substances  
faisant partie des auxines au sens large

#### a.2. Biosynthèse et transport de l'auxine

L'auxine est synthétisée majoritairement à partir du tryptophane mais aussi à partir de l'acide chorismique à l'extrémité des tiges (dans l'apex), et dans le méristème des bourgeons terminaux et aussi les jeunes feuilles.

L'auxine provient du tryptophane, seule la chaîne latérale est modifiée par décarboxylation, désamination et oxydation.



Cependant cette hormone peut agir sur toutes les parties de la plante et doit donc être transportée des feuilles jusqu'aux racines.

Deux mécanismes de transport de l'auxine ont été mis en évidence : le transport par voie apolaire et le transport par voie polaire.

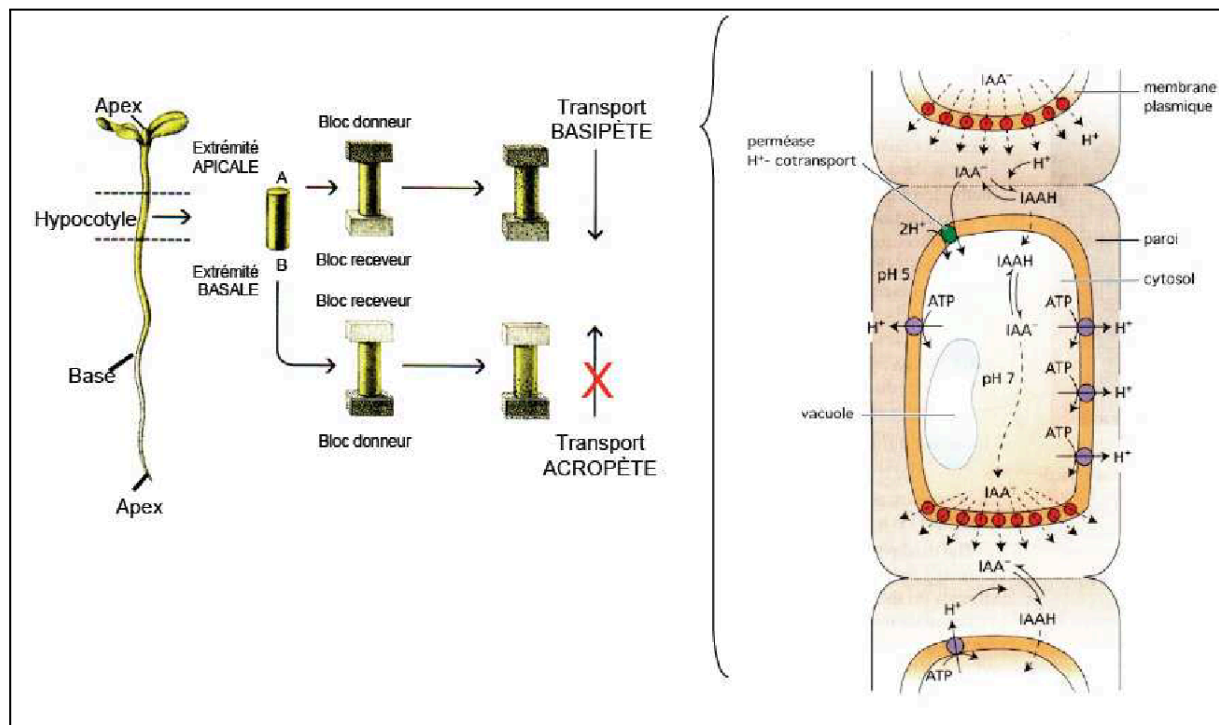
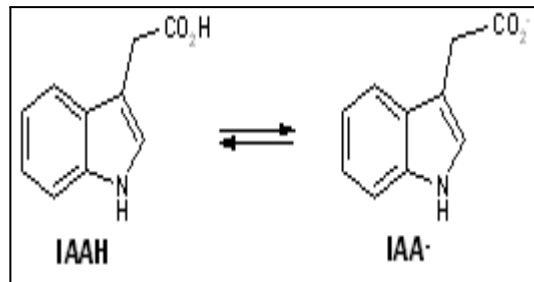
#### - Le transport apolaire

Il existe dans la plante des tissus conducteurs de la sève élaborée : le phloème. C'est par ces tissus que l'auxine va pouvoir se déplacer. En effet, des différences de concentration en auxine dans différentes parties de ces canaux vont entraîner la mise en mouvement de la molécule qui va alors pouvoir être distribuée dans toute la plante.

Le transport polaire permet de faire en sorte que ces déséquilibres de concentration soient permanents.

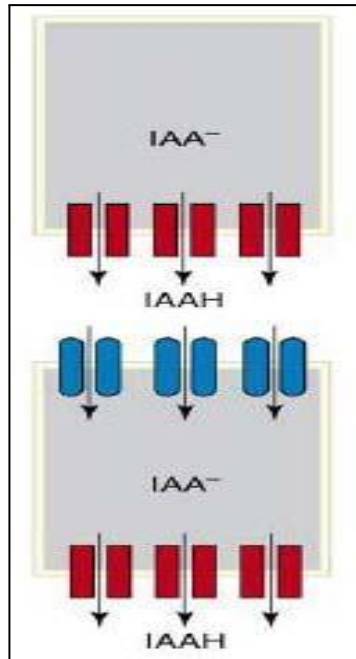
#### - Le transport polaire

L'auxine est un acide faible ( $\text{pK}_a = 4,8$ ) qui va pouvoir exister sous sa forme acide ( $\text{IAAH}$ ) ou basique ( $\text{IAA}^-$ ) en fonction du pH. C'est sur les différences de propriétés des formes acido-basiques qu'est basé le transport polaire.



Dans le cytoplasme de la cellule végétale ( $\text{pH} = 7,2$ ), l'auxine se trouve sous la forme ionique  $\text{IAA}^-$ . Sous cette forme, l'auxine ne peut traverser la paroi cellulaire. La seule possibilité de sortie est d'utiliser des canaux spécifiques (en rouge) situés sur une seule face de la cellule.

Une fois l'auxine dans l'espace intercellulaire ( $\text{pH} = 5,5$ ), elle va se protoner donc exister sous la forme IAAH. Sous cette forme, l'auxine peut entrer dans la cellule suivante soit par diffusion à travers la membrane cellulaire, soit à travers des canaux spécifiques (en bleu). Une fois dans la cellule, elle va se déprotoner et le cycle recommence...



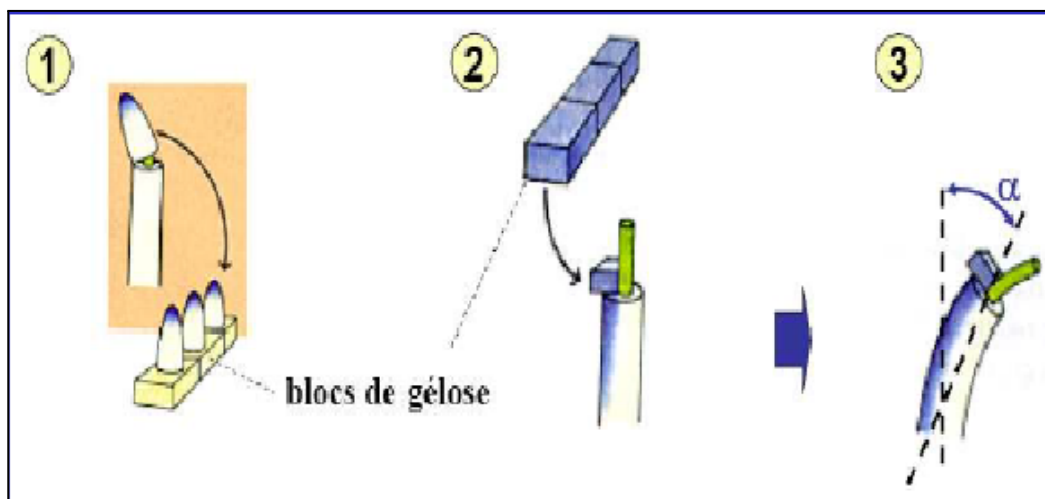
Transport polaire de l'auxine<sup>[7]</sup>.

C'est la disposition des canaux de sortie de l'auxine sur une seule face de la cellule qui rend le transport monodirectionnel.

### a .3. Le rôle de l'auxine

#### - L'élongation cellulaire

L'auxine peut se fixer sur un récepteur cellulaire, l'ABP1 (pour Auxin-Binding Protein 1) ce qui active une enzyme mettant en mouvement une pompe à protons. Cette pompe va expulser les protons de l'intérieur de la cellule vers le milieu extracellulaire. La modification de pH résultante va avoir plusieurs effets : relâchement de la paroi cellulaire par ruptures des liaisons de ses constituants, entrée d'ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$  déstabilisant la paroi, entrée d'ions potassium  $\text{K}^{+}$  provoquant l'entrée d'eau d'où un gonflement de la cellule. L'ensemble de ces processus entraîne l'élongation cellulaire.



- **L'activation des gènes**

L'auxine peut se fixer sur des récepteurs protéiniques, les TIR1 (Transport Inhibitor Response 1) qui vont initier l'expression de certains gènes.

Cependant, ce type de mécanisme n'a été que récemment élucidé et demeure encore mal compris.

- **Le phototropisme**

Lorsque l'on éclaire une seule partie d'une plante, l'auxine migre du côté éclairé vers le côté sombre. L'hormone va alors favoriser la croissance du côté sombre par rapport au côté éclairé qui va alors se tourner vers la lumière. Ce phénomène, rapporté pour la première fois par Darwin[12] (la papa de la théorie de l'évolution) en 1881, n'a été élucidé qu'en 1974.

- **Le contrôle de la dominance apicale**

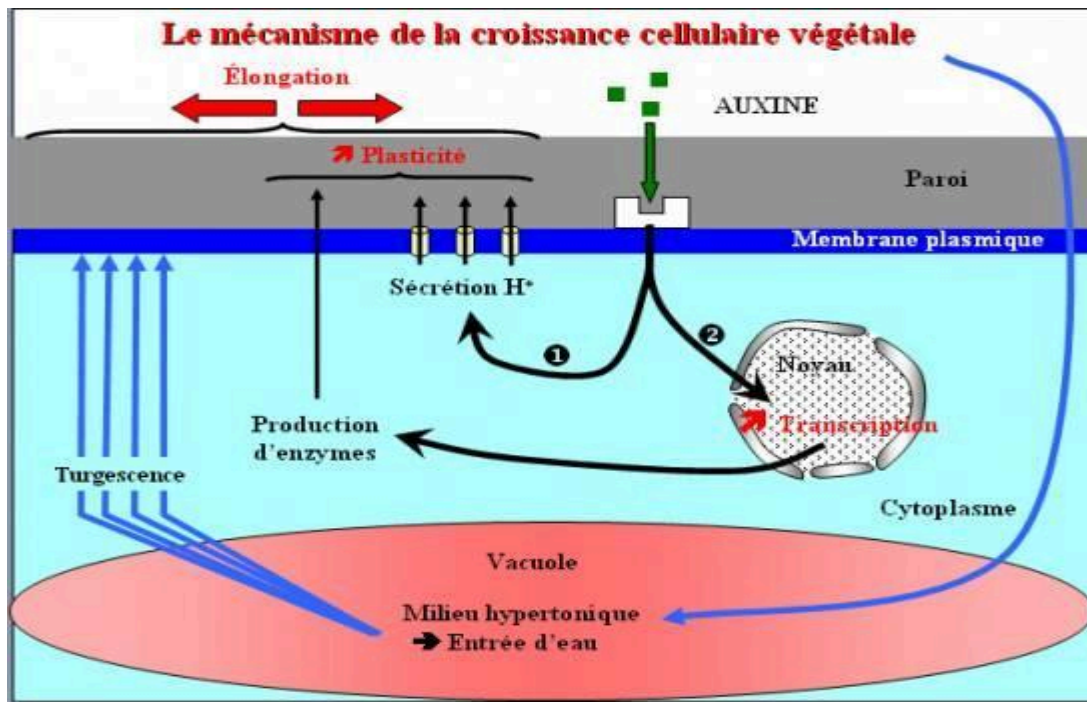
A de faibles concentrations, l'auxine participe à la formation des bourgeons de la plante. Cependant, si celles-ci deviennent trop importantes, la formation des bourgeons est inhibée.

C'est sur ce principe que repose la dominance apicale qui consiste à ne laisser vivre que les bourgeons les plus hauts placés sur la plante.

En effet le bourgeon apical profite de sa position haute pour dominer les bourgeons latéraux en synthétisant de l'auxine qui va inhiber la formation des bourgeons sous-jacents.

- **La formation des racines latérales**

A de fortes concentrations, l'auxine favorise la rhizogénèse, c'est-à-dire la formation des racines latérales.



## b- Les gibbérelline

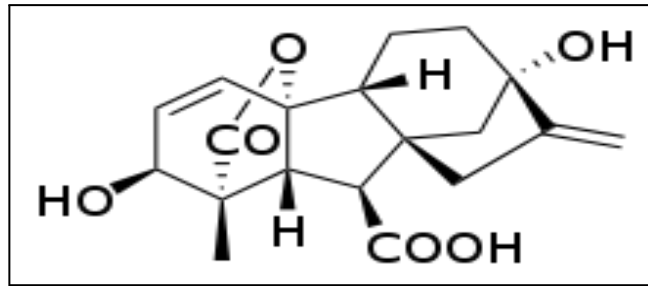
Les gibbérellines sont des substances actives, à effet stimulateur, présentes principalement dans des graines, des tubercules et des racines.

Cette substance a été découverte par des japonais qui étudiaient la longueur de la plante de riz. En 1898, Hotoaro Hori a constaté que les plantes de riz excessivement longues avaient été exposées au champignon *Gibberella Fujikuroi*. L'extrait aqueux du champignon a causé des symptômes similaires aux plantes soumises à des tests, ce qui a mené à l'idée de l'existence d'une substance responsable pour ces effets. Eiichi Kurosawa a réussi à isoler chimiquement l'acide gibbérellique en 1926. Teijiro Yabuta a isolé une forme non cristalline d'acide en 1935, et finalement le composé cristallin a été isolé en 1938 par Yabuta et Sumiki Yusuke.

La première gibbérelline identifiée a été l'acide gibbérellique, ou GA3 (un complexe appelé „gibbérelline A,,). Cette première découverte a été suivie par la découverte d'autres gibbérellines, ainsi qu'à présent, on a identifié au total, dans des plantes et des champignons, environ quinze gibbérellines.

### b.1. Nature chimique des gibbérellines

Nous avons parlé de ces substances au pluriel car la caractérisation de la première gibbérelline GA3 a été suivie de la mise en évidence de nombreuses autres gibbérellines dans les tissus végétaux puisqu'on connaît plus d'une centaine de gibbérellines (130) à l'heure actuelle caractérisées chez les végétaux supérieurs et les champignons (certaines étant présentes dans les deux sources). Les gibbérellines sont des lipéides, c'est -à-dire des substances huileuses, qui chimiquement peuvent être considérées comme des polymères, plus ou moins altérés, de l'isoprène.



**Représentation de l'acide gibbérellique**

Les différentes gibbérellines se différencient par :

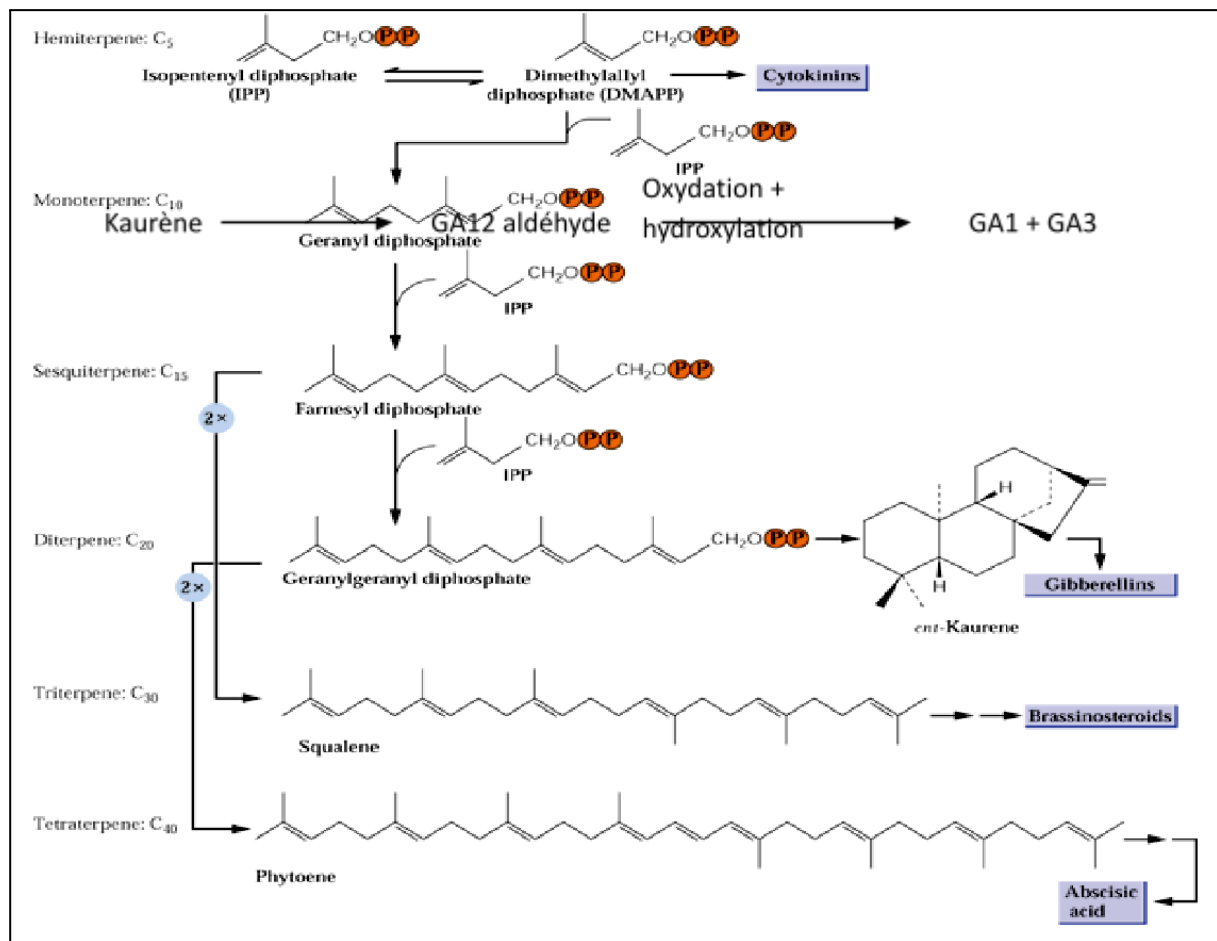
- Le nombre total d'atomes de carbone (gibbérellines en C19, ex : GA3 et en C20, ex : GA18).
- La présence ou non de doubles liaisons
- Le nombre de carboxyles
- Le nombre et la position des substituants (OH ou CH3 en particulier).

## **b.2. Biosynthèse et transport des gibbérellines**

La synthèse des gibbérellines s'effectue dans des régions très diverses de la plante, pourvu qu'il s'agisse de tissus aux divisions actives. Cette synthèse est particulièrement intense dans les parties terminales des pétioles et les jeunes feuilles, mais aussi au niveau des méristèmes, des bourgeons terminaux racinaires et caulinaux.

Les concentrations habituelles sont de 0,1 à 100 ng / g de tissu frais mais de 1 à 10 µg au niveau des graines.

Toutes les gibbérellines ont la même structure : noyau en kaurène et sont classées en deux familles : les C19 et les C20 et, la synthèse des gibbérellines dérive de la voie des terpènes (molécules fabriquées par les plantes). La molécule de base des terpènes c'est l'isopentenylidiphosphate (IPP), molécule à 5C qui s'isomérisent avec elle-même. Ces mono terpènes sont volatiles et provoquent l'odeur des fleurs. Si on a des grosses molécules de terpènes on aura du caoutchouc, du latex.



Les gibbérellines ne présentent pas de transport polarisé à la différence de l'auxine. Appliquées à un niveau quelconque de la plante, elles peuvent avoir des effets régulateurs sur toutes les autres parties. Elles ont été retrouvées dans la sève brute et la sève élaborée et leur vitesse de transport (5 cm/h) analogue à celle des sucres laisse supposer qu'elles sont transportées passivement dans les flux de sève dans le xylème et le phloème.

### b.3. Le rôle des gibbérellines

#### L'élongation cellulaire

Les gibbérellines agissent sur l'élongation cellulaire, mais cette action sur l'auxèse se limite aux cellules des entre-nœuds, elles mêmes souvent produites par l'activité de méristèmes intercalaires.

#### Croissance des fruits

Effet commun avec les auxines, mais les gibbérellines agissent sur des espèces pour lesquelles l'auxine n'a pas d'action (Rosacées, Pêcher, Pommier, Raisins). La parthénocarpie peut être obtenue avec des gibbérellines.

### Levée de dormance

L'application de gibbérellines à des bourgeons dormants permet la levée de dormance et leur débourrement. Même effet sur la levée de dormance des graines.

### Initiation de la floraison

Pour des espèces ayant des exigences photopériodiques ou de vernalisation pour fleurir, la transformation d'un méristème végétatif en méristème floral peut être obtenue dans de nombreux cas par application de gibbérellines. Sans que l'on sache si ces hormones sont directement impliquées dans le processus physiologique normal.

### **c- Les Cytokinines**

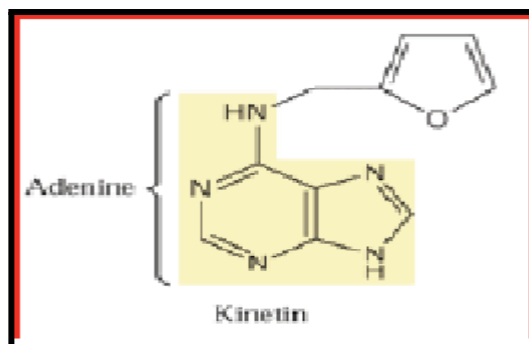
La troisième catégorie d'hormones que nous abordons aujourd'hui les cytokinines présentent comme les précédentes AIA, gibberellines des effets biologiques multiples mais l'effet initialement mis en évidence porte sur la division cellulaire, plus particulièrement sur la cytokinèse d'où le nom de cytokinines.

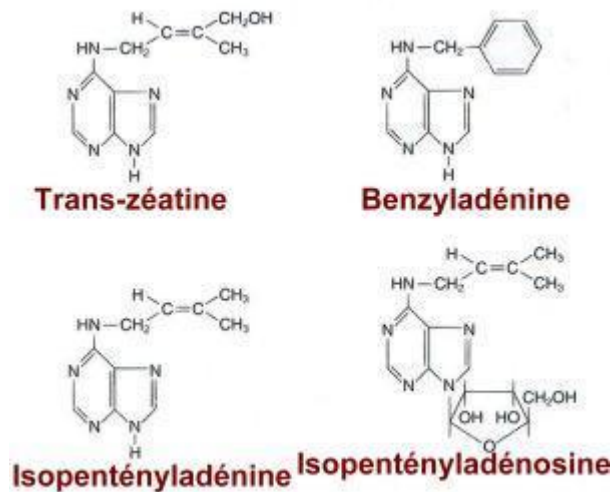
1955 Miller obtient à partir de sperme de Hareng autoclavé (très riche en ac. nucléiques) une substance capable d'induire la division cellulaire des tissus de moelle de tabac à de très faibles concentrations 1 µg/litre.

#### **c.1-Nature chimique des Cytokinines**

Environ 200 cytokinines ont été identifiées et isolées (depuis les années 50). Les plus fréquentes sont la *trans*-zéatine et la N<sup>6</sup>-isopentényladénine. Leur formule est à base d'**adénine substituée** : au lieu du H du groupement amine en position 6 vient se brancher un autre groupement. De plus, beaucoup de cytokinines sont sous forme conjuguée : dans ce cas, il s'agit le plus souvent de glycosides.

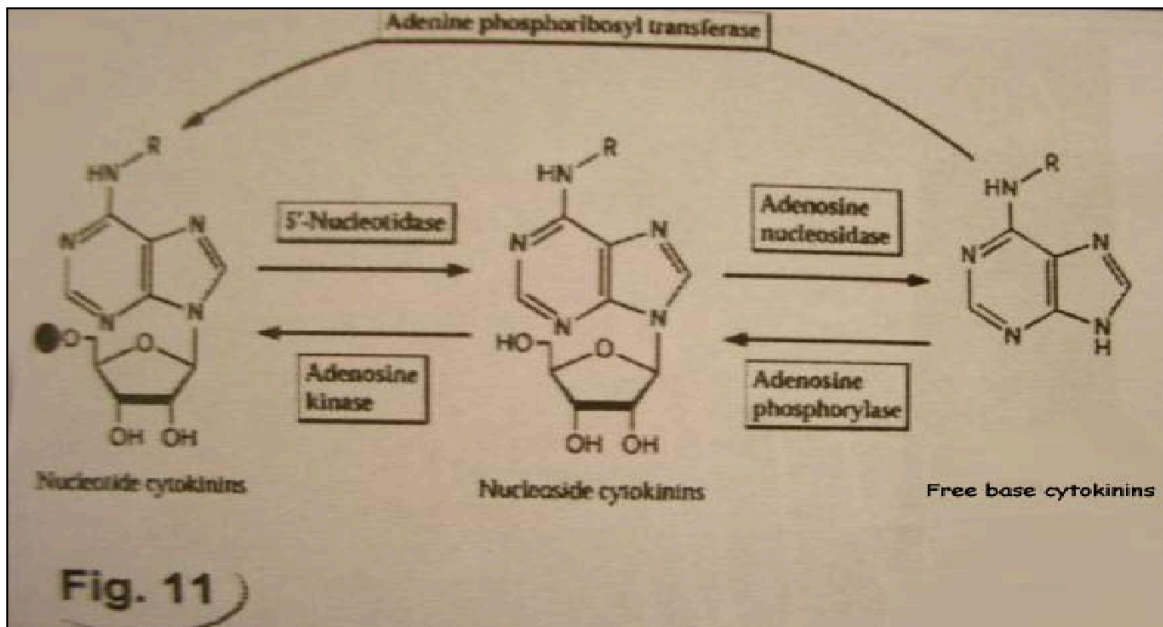
#### **Quelques exemples de cytokinines :**





### c.2- Biosynthèse et transport des Cytokinines

Les cytokinines sont présentes dans presque tous les tissus. Elles sont particulièrement abondantes dans les graines et dans les fruits. Elles sont, pour l'essentiel, synthétisées sur place, ce qui fait qu'elles se trouvent généralement en quantité suffisante sur leur lieu d'utilisation. Cependant, pour les tissus à prolifération intense, un complément peut être nécessaire. Il semble que les tissus proches de l'apex racinaire soient impliqués dans la production des ces cytokinines surnuméraires qui vont alors migrer vers les tissus demandeurs via la sève brute.



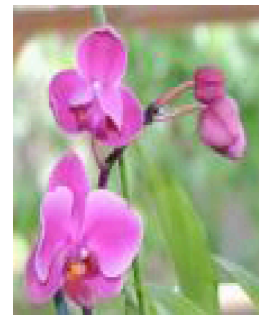
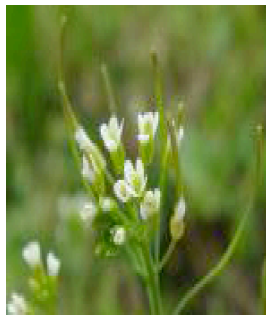
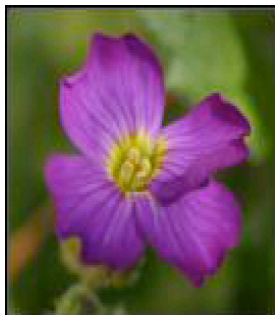
### c.3- Le rôle des Cytokinines

- stimulation de la division cellulaire.
- inhibition de la sénescence.
- favorisation des bourgeons latéraux (dominance apicale).
- stimulation de la morphogenèse (formation des tiges).
- inhibition de la dormance des semences.
- favorisation de la synthèse de protéines, ADN, ARN.
- stimulation de la synthèse d'enzymes.
- favorisation du développement des fleurs.
- favorisation de la croissance de racines

| Nom           | Nature chimique                                                                                                                                                  | Lieux de biosynthèse                                                                                                                                                                                                                                             | Transport                                                                                                                                                                                                                                                                             | Effets - actions                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AUXINES       | Acide B indole acétique(A.I.A)                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Méristèmes primaires</li> <li>- Primordiums foliaires</li> <li>- Jeunes fruits et graines en développement</li> <li>- Grains de pollen</li> <li>- Présent chez les bactéries, champignons et vég. supérieurs</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transport lent (1 cm/h), polaire et unidirectionnel (toujours vers le bas)</li> <li>- Si croissance secondaire par cell. proches du cambium:</li> <li>- Chez les organes âgés : par le phloème (5-25 cm/h); la polarité disparaît</li> </ul> | <p>Stimulent :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les mitoses(différenciation du tissu conducteur, cambium)</li> <li>- Le grandissement des cellules</li> <li>- Le développement des fruits (possibilité d'obtention de fruits parthénocarpiques)</li> <li>- La synthèse d'éthylène</li> <li>- La rhizogénèse : induction des racines adventives sur les boutures, mais inhibition de la croissance des racines.</li> </ul> <p>Inhibent : les bourgeons axillaires (dominance apicale).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- L'A.I.A. est catabolisé par les tissus végétaux et subit une photo oxydation importante.</li> </ul> |
| GIBBERELLINES | <ul style="list-style-type: none"> <li>- groupe des terpènes</li> <li>- + de 80 gibbérellines</li> <li>- GA3 = acide gibbérellique est le mieux connu</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jeunes feuilles</li> <li>- Extrémité des tiges et des racines</li> <li>- Embryons des graines; concentrations + élevées dans les graines immatures</li> </ul>                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Facile et non polarisé</li> <li>- Par différents éléments</li> </ul>                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elongation des cellules → élongation des tiges.</li> <li>- Levée des dormances, des semences et des bourgeons (accélèrent et uniformisent les germinations).</li> <li>- Remplacent l'action du froid et des jours longs chez les plantes bisannuelles.</li> <li>- Développement des fruits parthénocarpiques.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| CYTOKININES   | Proche de l'adénine<br>Molécules naturelles :<br><ul style="list-style-type: none"> <li>- kinétine</li> <li>- zéatine</li> </ul>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Extrémités des racines</li> <li>- Jeunes fruits</li> </ul>                                                                                                                                                              | Par le xylème                                                                                                                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Présentent dans les tissus où les divisions cellulaires sont fréquentes : graines, fruits, feuilles, pointe de racines.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

|                         |                                                                                |                                                                                                                                                                                                                            |                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | -IPA(2 i P ou isopentényl adénine)                                             |                                                                                                                                                                                                                            |                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Favorisent la cicatrization des cellules.</li> <li>- Suppriment la dominance apicale en permettant le développement des bourgeons auxiliaires (ramification).</li> <li>- Retardent la sénescence des feuilles et vieillissement des fruits.</li> <li>- Inhibent la rhizogénèse.</li> <li>- En culture in vitro, rapport Auxines/Cytokinines important</li> </ul>                                               |
| ACIDE ABSCISSIQUE = ABA |                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentrations élevées dans les organes en voie vieillissement</li> <li>- Extrémité des racines</li> <li>- Présence dans les fruits, graines et les bourgeons dormants</li> </ul> | - Agit sur place                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Action opposée à celle de GA3</li> <li>- Teneurs élevées au cours du développement des graines <ul style="list-style-type: none"> <li>● stimulation de production de protéines de réserve.</li> <li>● blocage des germinations prématurées.</li> <li>● Induit la fermeture des stomates → régulation de la transpiration (condition de vie difficile, stress hydrique)</li> </ul> </li> </ul>                  |
| ETHYLENE                | CH <sub>2</sub> = CH <sub>2</sub><br>- Synthèse à partir de la méthionine (AA) | - In situ                                                                                                                                                                                                                  | - Diffusion du gaz dans les tissus | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maturation des fruits (surtout fruits charnus) : changement de couleur, de dureté (digestion enzymatique de la pectine), augmentation des sucres.</li> <li>- Favorise l'abscission (chute des feuilles, fleurs et fruits).</li> <li>- Favorise la tubérisation.</li> <li>- Réduction de la croissance en longueur des cellules.</li> <li>- Croissance rapide des tiges des plantes semi-aquatiques.</li> </ul> |

## II. La floraison

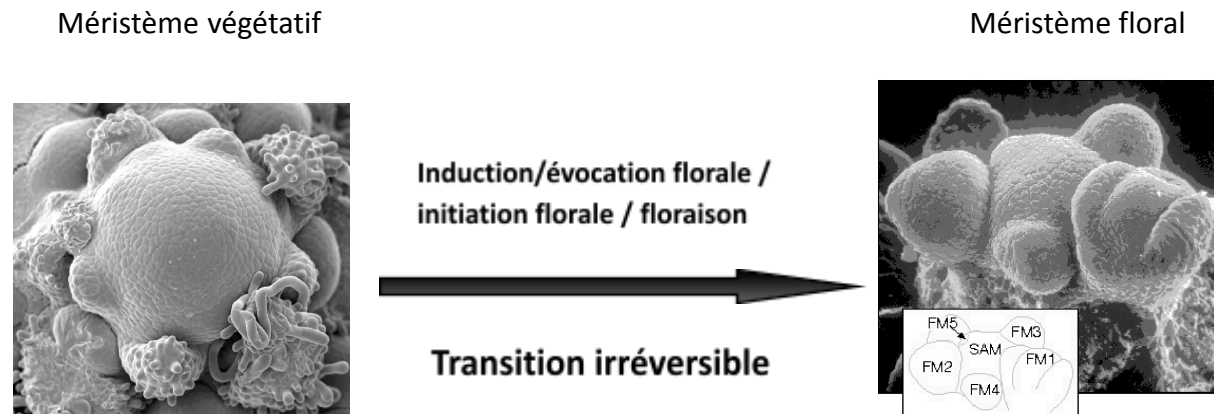


Chez les plantes supérieures la phase de reproduction débute par la floraison ou développement des fleurs qui vont se transformer après fécondation en fruits.

Le bourgeon végétatif devient plus gros, ensuite les ébauches des diverses pièces florales apparaissent. Ce phénomène ne peut se produire que lorsque la plante a atteint un certain âge et une certaine taille ; on appelle avec KLIPS ce stade, *la maturité de floraison*. A ce moment, la plante est encore à l'état végétatif mais elle perd l'inaptitude absolue à fleurir qui la caractérisait auparavant. Lorsque cet état est atteint, on constate que certaines plantes fleurissent sans avoir besoin de stimulation extérieure particulière, il convient toutefois qu'elles aient un niveau de nutrition suffisamment élevé dans lequel les glucides doivent être prédominants ; un excès relatif d'aliments azotés, qui favorise la croissance végétative, retarde souvent et même, parfois, inhibe la formation des fleurs. D'autres plantes ne fleurissent que si certaines conditions externes particulières ont été réalisées, provoquant ce qu'on appelle la mise à fleurs, l'apparition de boutons floraux ; ensuite le développement des ébauches en boutons floraux proprement dits.

Chez une plante donnée, la floraison ne peut avoir lieu que si la plante acquit la capacité à fleurir ou la maturité de floraison. Ce stade physiologique n'est atteint qu'après une certaine période de développement végétatif qui peut être plus ou moins longues selon les espèces ( il faut attendre 7 à 8 ans pour un arbre fruitier, la formation de treize entre-nœuds pour la tomate).

## II.1. Etapes de la floraison :



- ✓ **L'induction florale** est la période où certains organes de la plante, sous l'effet de stimulus extérieurs, envoient au méristème un message, le signal de floraison.
- ✓ **L'évocation florale** est la période où le méristème se réorganise en fonction de ce programme.  
Elle correspond à une réorganisation de l'architecture de l'apex, préparatoire à la différenciation des ébauches florales.
- ✓ **L'initiation florale** est la période où se différencient les ébauches des pièces florales (changements morphologiques, qui peu à peu vont lui donner l'aspect d'un méristème préfloral ou, dans le cas d'une inflorescence, d'un méristème inflorescentiel).
- ✓ **La floraison** se manifeste par le développement des pièces florales (sépal, pétales, étamines et carpelles), la méiose suivie de la formation des gamètes, le débourrement des bourgeons et enfin l'épanouissement de la fleur.

## II.2. Facteurs trophiques :

Un excès d'azote favorise le développement végétatif et inhibe la floraison, alors qu'un excès du sucre (carbone) favorise la floraison. Il faut donc un rapport carbone sur azote C/N élevé pour qu'il y ait floraison (C/N = 15-20). Il existe des exceptions, chez les agrumes qui ont un grand besoin en azote.

## II.3. L'action de la lumière et photopériodisme :

La réponse des plantes à la durée de l'éclairement journalier ou, plus exactement, à la longueur relative du jour et de nuit est appelée photopériodisme. La photopériode joue un rôle important dans le déterminisme de la chute des feuilles et aussi dans le processus de la mise à fleurs.

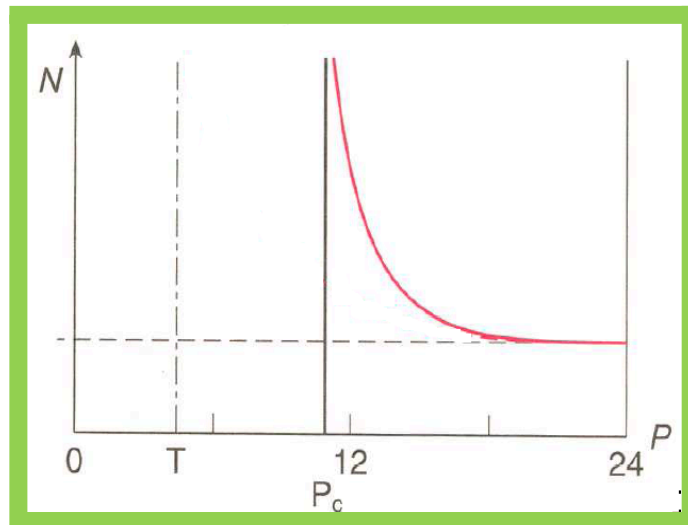
### II.3.1 Mise en évidence du photopériodisme :

L'influence de la photopériode sur le développement des plantes avait été pressentie par RAY, au XVIII<sup>e</sup> siècle, puis par BONNIER ; un élève de ce dernier, TOURNOIS l'étudiait et avait montré en 1912 que l'on peut obtenir des floraisons précoces chez certaines plantes en diminuant la durée d'éclairement mais il fut tué à la guerre et ce sont deux agronomes américains, GARNER et ALLARD, qui énoncèrent pour la première fois les principes du photopériodisme en 1920. Ils avaient observé qu'une variété particulière de Tabac (*Mryland Mammoth*), contrairement à beaucoup d'autres, est incapable de fleurir à Washington pendant l'été ; au contraire, cultivée en serre pendant l'hiver, elle fleurit abondamment. GARNER et ALLARD pensèrent que cette différence de comportement était due à l'intervention de quelque facteur saisonnier et trouvèrent qu'il s'agit de la longueur relative du jour et de la nuit. Par une technique très simple, consistant à cultiver des plantes avec des durées d'éclairement journalier différentes, ils soumièrent au contrôle expérimental l'hypothèse selon laquelle les variations saisonnières de la longueur du jour constituent le facteur qui contrôle la floraison. Les jours longs étaient réalisés en hiver, en serre, à l'aide d'un éclairage électrique d'appoint et les jours courts étaient réalisés en été en recouvrant les plantes pendant une partie de la journée ; GARNER et ALLARD purent ainsi montrer que cette variété de Tabac ne fleurit qu'en jours courts.

Rapidement, les mêmes auteurs définirent trois catégories de plantes selon les conditions qui les font fleurir : plantes de jours longs, plantes de jours courts et plantes indifférentes ; cependant, bien des nuances et même des catégories différentes ont apparues depuis que cette étude s'est amplifiée. Sans trop entrer dans le détail, on peut adopter le classement suivant :

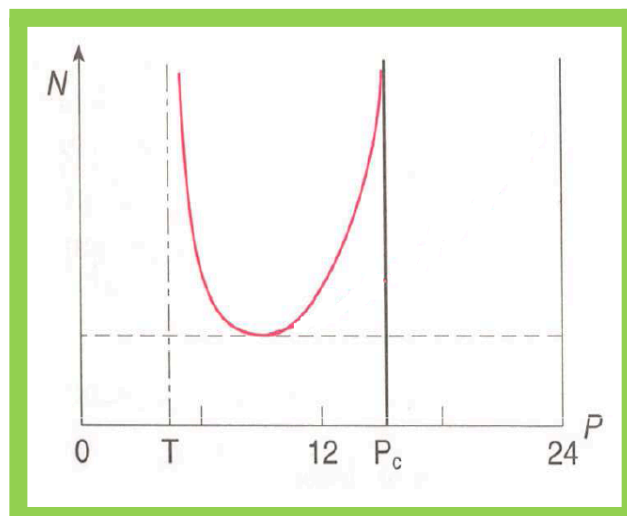
- ✓ **Plantes de jours longs** (plantes héméropériodiques) : le facteur favorable à la mise à fleurs est la longueur de la période d'éclairement journalier (période claire) qui doit être supérieure à une valeur critique (**héméropériode critique**), particulière dans chaque cas. Plus les jours sont longs, plus la mise à fleurs est prompte ; au-dessous d'un minimum critique, ou bien la plante ne fleurit pas (plantes héméropériodiques absolues : *spinacia*

oleracea, *Oenothera biennis*, *Anethum graveolens*, *Anagallis arvensis*, *Bruyères*, etc.) ou bien elle fleurit plus tard et moins abondamment (plantes héméropériodiques préférantes : Blé ou Seigle de printemps, Œillet des fleuristes, *Aster amellus*, *Brunella vulgaris*, etc.).



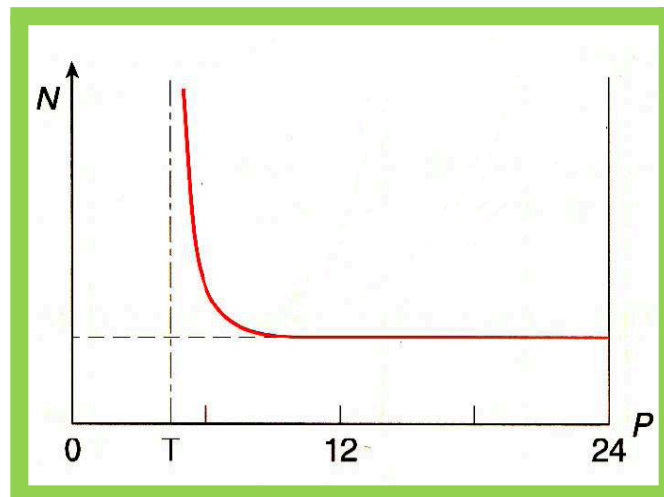
L'action du photopériodisme sur les PJL

- ✓ **Plantes de jours courts** ou, mieux, plantes de nuits longues (plantes nyctopériodiques de CHOUARD) : ici, c'est la longueur de la période d'obscurité qui est essentielle à la mise à fleurs et qui ne doit pas descendre au-dessous d'une certaine valeur critique caractéristique (**nyctipériode critique**). Au-dessous de ce minimum critique, ou bien les plantes ne fleurissent pas (plantes nyctopériodiques absolues : *Tabac Maryland Mammoth*, *Xanthium pensylvanicum* qui a été très utilisé pour ces recherches, *Topinambour*, *Chrysanthème* et beaucoup de plantes automnales) ou bien elles fleurissent plus tardivement (plantes nyctopériodiques préférantes : Soja var. Biloxi, certaines Euphobes, *Chenopodium album*, etc.)



L'action du photopériodisme sur les PJC

- ✓ **Plantes indifférentes ou neutres**, qui ne sont pas sensibles au photopériodisme, c'est-à-dire quelle que soit la durée du jour par rapport à celle de la nuit à condition qu'elle soit supérieure au minimum trophique (durée minimale d'éclairement pour une photosynthèse convenable). c'est le cas du *Cerisier*, d'*Euforbia Peplus*, et de Maïs, il y a d'autres plantes qui élaborent leurs ébauches florales à partir de la graine ou du tubercule, sans avoir besoin de lumière (**plantes aphotiques** : Pois, Arachide, Pomme de terre, Narcisse, Jacinthe).



**L'action du photopériodisme sur les plantes neutres**

- ✓ On pourrait distinguer encore des plantes dites intermédiaires ou à deux périodes critiques, chez lesquelles la formation des ébauches florales est retardée ou empêchée à la fois par les jours trop longs et par les nuits trop longues.

Pour toutes les plantes qui ont été étudiées, qu'elles soient de jours longs ou de nuits longues, on a trouvé que la réponse est positive après une exposition à un nombre relativement faible de cycles journaliers favorables. Parmi les plantes de nuits longues, le Soja, par exemple, n'a besoin que de deux à quatre cycles successifs de jours courts et de nuits longues pour former les primordiums floraux même s'il est remis en jours longs. Le *Xanthium* est encore plus sensible et produira des primordiums floraux en jours longs à conditions d'avoir été soumis seulement à un cycle jour court, nuit longue. Le chrysanthème est plus exigeant et nécessite de 8 à 30 cycles de jours courts pour pouvoir ensuite fleurir en journées longues. De même, certaines plantes de jours longs peuvent être mises à fleur par un traitement d'un petit nombre de cycles de journées longues ou d'une certaine durée d'éclairement continu, suivi d'un retour en jours courts ; ainsi, la Jusquiame forme des fleurs même en jours courts après une exposition de soixante-douze heures à la lumière continue.

Les bourgeons floraux ne se forment généralement pas, on peut le vérifier sur une coupe, durant cette courte exposition à une photopériode favorable ; il y a donc eu seulement induction photopériodique, la réaction de mise à fleurs étant la conséquence d'un effet rémanent du traitement. On appelle cycle photo-inductifs ces cycles photopériodiques favorables. Notons que la dissection est parfois nécessaire pour vérifier l'efficacité de l'induction car il peut arriver que, après retour en photopériodes défavorables, la mise à fleurs déclenchées par l'induction photopériodique ait lieu mais ne puisse se poursuivre jusqu'à l'épanouissement.

### **II.3.2. Quantité de lumière nécessaire à une réponse photopériodique :**

Il est habituel, dans les expériences sur le photopériodisme, de soumettre les plantes chaque jour à huit heures d'éclairement intense (plein soleil ou équivalent), ce qui constitue le « minimum trophique » permettant une photosynthèse suffisante et une croissance normale ; les plantes sont ensuite soumises à un éclairage artificiel d'appoint, dont on peut faire varier à volonté la durée, l'intensité et la qualité, puis elles sont placées à l'obscurité.

On a pu constater, dans ces expériences, que la quantité de lumière nécessaire pour induire la floraison chez les plantes de jours longs ou pour l'inhiber chez les plantes de nuits longues est très faible par rapport aux exigences des mêmes plantes pour leur photosynthèse. Quand une plante de nuits longues, le *Xanthium* par exemple, est placée pendant huit heures à la lumière naturelle puis pendant seize heures à l'obscurité, elle forme des primordiums floraux ; si, au contraire, elle est illuminée à une très faible intensité pendant les huit heures suivantes ou plus, la floraison n'a pas lieu ; l'intensité lumineuse minimum efficace, dans ces conditions, est de 20 à 30 lux, c'est-à-dire à peine plus que la lumière lunaire ! il est nécessaire que la période sombre soit ininterrompue pendant un certain temps critique minimum qui est, ici, de 8 h 30 ; si le *Xanthium* est exposé à 10 heures de lumière naturelle puis à 14 heures d'obscurité complète, il fleurira ; si, au contraire, la période d'obscurité de 14 heures est interrompue en son milieu par un simple éclairage d'une minute, il n'y aura pas de floraison ; le système qui contrôle l'initiation florale est donc très sensible à la moindre modification de la période d'obscurité . Le comportement des plantes de jours longs présente les mêmes particularités : une variété d'Orge, par exemple, plante de jours longs, qui restera végétative avec un régime de 12 heures de lumière et 12 heures d'obscurité, fleurira si la période d'obscurité est interrompue en son milieu par un éclairage très bref. Au contraire, un bref instant d'obscurité au milieu de la période lumineuse n'exercera qu'un effet très faible ou nul.

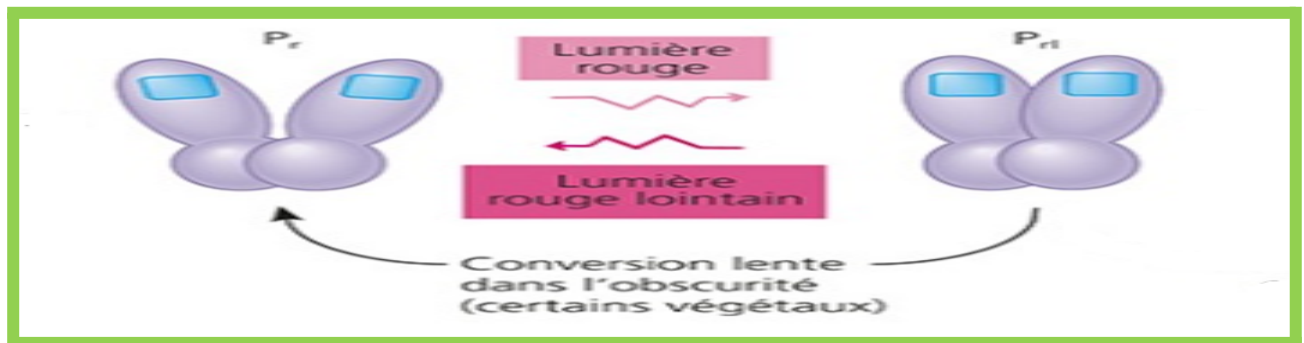
L'interruption de la période d'obscurité comme moyen d'éviter la floraison a trouvé une application dans la culture de la canne à sucre dans certaines régions, en effet, la canne à sucre est une plante de nuits longues typique, en utilisant un éclairage très bref la nuit, pendant la période de l'année où les jours sont courts, on peut empêcher la mise à fleurs.

### II.3.3. Transmission de la stimulation photopériodique :

Le stimulus photopériodique est perçu comme un signal par les feuilles adultes et particulièrement par un pigment photorécepteur qui est le phytochrome. Généralement une seule feuille placée en eupériode suffit pour induire la floraison de la plante entière.

Le phytochrome se présente sous deux formes dans le végétal :

- o P660 capable d'absorber la lumière rouge claire (RC) avec un maximum vers 660 nm.
- o P730 capable d'absorber la lumière rouge sombre (RS) avec un maximum vers 730 nm.



#### Les formes des phytochromes ( P660 ; P730)

Les phytochromes sont présents en faibles quantités dans le végétal. Le jour, ils sont sous forme P730. La nuit, ils sont sous forme P660. La forme active du phytochrome est la forme P730.

Le phytochrome sous forme active induit le changement de concentration d'un effecteur. La nuit la concentration de cet effecteur baisse.

Une plante de jours courts fleurit si la concentration en cet effecteur est plus faible qu'une valeur seuil.

Une plante de jours longs fleurit si la concentration de cet effecteur reste plus forte que la valeur seuil.

Par ailleurs, les rythmes endogènes journaliers de la plante font varier sa sensibilité à l'éclairement. La sensibilité est plus forte lors des changements d'éclairement Lumière/obscurité ou inversement.

### II.3.4. Le comportement des plantes de jours longs et des plantes de nuits longues :

Le comportement photopériodique des plantes de jours longs est caractérisé par la possibilité de fleurir même en lumière continue. Lorsqu'elles ne fleurissent pas, cela est dû à la longueur excessive de la période sombre plutôt qu'au raccourcissement de la durée de l'éclairement ; parmi les espèces de jours longs les plus communes, on trouve des plantes comme le Radis, la Betterave, la Jusquiame, etc. : lorsque ces plantes poussent en jours courts, les entre-nœuds de la tige ne s'allongent pas et les feuilles restent en rosette ; si on les transfère en jours longs, les entre-nœuds s'allongent rapidement et une hampe florale se forme : la réponse de la plante ne comporte donc pas seulement la formation des primordiums floraux mais également l'élongation de l'axe. On a constaté que lorsque la floraison des plantes de jours longs est empêchée par la mise en jours courts, cela est dû à la formation, dans les feuilles, d'un facteur inhibiteur. De même, l'effet inhibiteur des longues nuits est diminué si les feuilles sont refroidies.

Au contraire, chez les plantes de nuits longues, il faut une durée minimum d'obscurité ininterrompue, pendant laquelle les feuilles élaborent des principes nécessaires à la mise à la floraison ; cette élaboration est des principes nécessaires à la mise à fleur ; cette élaboration est empêchée par de faibles apports de lumière ou par l'application d'auxine.

## **II.4. L'action de la température et vernalisation :**

La température agit par le phénomène de la vernalisation : c'est le contrôle de l'aptitude à fleurir par un abaissement temporaire de la température.

### **II.4.1. La vernalisation :**

LYSENKO en 1928, a montré que, chez les céréales, l'action du froid peut s'exercer aussi bien sur la graine ayant subi un commencement de germination que sur la plante en germination avancée ou sur la plante feuillée ; cette découverte a permis de traiter les grains de Céréales d'automne puis de les semer au printemps, à l'état de grains ne présentant pas de germination apparente et de les voir se comporter comme des céréales de printemps. Cette technique a été nommée vernalisation.

De nombreux auteurs se sont efforcés de préciser les effets de la vernalisation par le froid. D'abord, on doit distinguer absolument la vernalisation des traitements thermiques appliqués aux graines ou aux bourgeons pour les faire sortir de la dormance ; la vernalisation a pour but de faire acquiescer à la floraison mais son absence n'empêche nullement une croissance végétative active.

La température optimum est généralement comprise entre 1 et 10 °C ; il semble que la vernalisation ne progresse pas au-dessous de 0°C. La durée optimum du traitement varie, suivant les variétés, de quelques jours à plusieurs semaines ; en général, la rapidité et l'intensité de la floraison augmentent avec la durée du traitement par le froid.

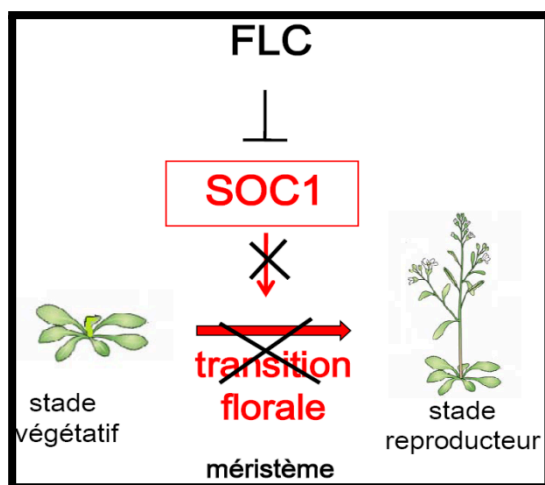
La vernalisation ne se déroule qu'en présence d'oxygène ; l'embryon doit être suffisamment imbibé d'eau pour manifester une respiration appréciable. La vernalisation est cumulative : chaque jour de traitement ou une dessiccation ménagée. Elle se conserve dans les conditions normales mais peut cependant se perdre (dévernalisation) par des traitements à température trop chaude ou, mieux, par des traitements à chaud avec privation d'oxygène (GREGORY et PURVIS) ; rien n'empêche alors de la recommencer ; des travaux plus récents semblent cependant indiquer que, lorsque la vernalisation est complète, la dévernalisation n'est plus possible.

Alors que, dans le cas du photopériodisme, le stimulus était perçu par les feuilles, ici, c'est le bourgeon apical qui perçoit le stimulus du froid ; chez la betterave à sucre bisannuelle, par exemple, le traitement est également efficace, qu'il soit appliqué à la plante entière ou seulement au bourgeon apical ; de même, pour les céréales, un traitement efficace peut être réalisé en refroidissant seulement l'embryon et non le grain entier.

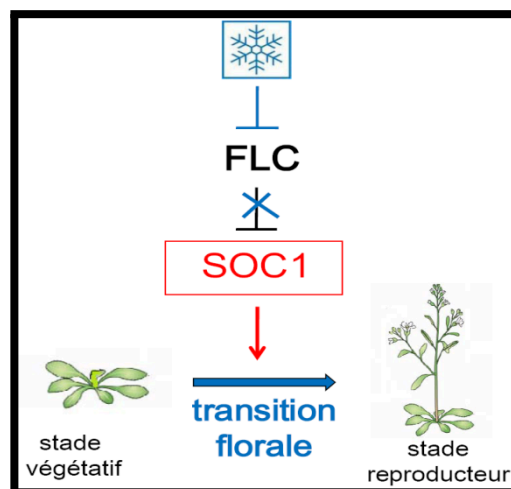
#### II.4.2. Transmission du stimulus de vernalisation

Il est possible d'imaginer des expériences sur la transmission du stimulus de vernalisation parallèles à celles que nous avons décrites à propos du photopériodisme.

La vernalisation produit un stimulus de floraison qui peut être transmis dans les différentes parties de la plante ou même de la plante à plante, exactement comme le stimulus du photopériodisme il semble d'ailleurs de plus en plus que les deux phénomènes doivent être étudiés en même temps et, si nous ne comprenons pas encore le mécanisme biochimique des faits qui ont été mis en évidence, ceux-ci ont dès maintenant une importance pratique considérable.



**Cas 1 : absence du froid**



**cas 2 : présence du froid**

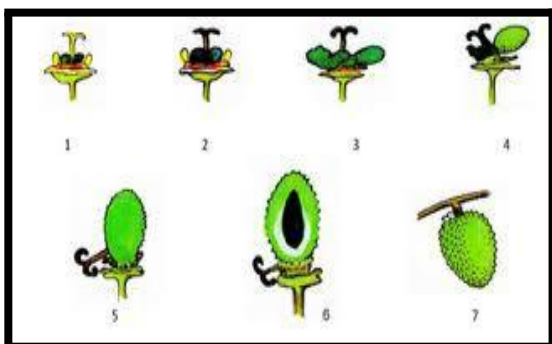
## II.5. Auxine et initiation florale :

La formation des bourgeons floraux (la mise à fleurs) est conditionnée, pour chaque espèce, par un ensemble de facteurs externes (lumière et température...) et de facteurs internes (hormones de croissance); parmi les facteurs internes les plus importants qui ont une influence sur la floraison, on trouve l'auxine.

Dans la grande majorité des espèces qui ont été étudiées, l'application d'auxine sur les feuilles retarde l'apparition des bourgeons floraux, et parfois, si elle est répétée régulièrement, peut inhiber la floraison pendant de longues période.

Une espèce d'Ananas, paraît réagir de manière opposée et l'application de faible concentration de certaines auxines de synthèse provoque l'initiation de la floraison chez les plantes qui, sans traitement, seraient restées à l'état végétatif. Cependant, l'application de forte concentration d'auxine provoque l'inhibition du processus de floraison.

## III. La fructification (développement des fruits) :



Evolution de la fleur de cerisier en fruit

Une fois la réaction photopériodique passée, on observe l'initiation florale des bourgeons et le développement de la fleur. Les primordiums des pièces florales vont se développer et constituent alors un bourgeon floral (ou bouton floral). Ce bourgeon éclot et la fleur s'épanouit. Le pollen, qui est en vie latente, est libéré par des étamines après déhiscence (rupture de la paroi) des anthères.

La majorité des plantes possèdent les deux sexes dans une même fleur (elles sont monoïques), il y a donc un fort risque d'autogamie (fécondation entre gamètes d'un même individu). Pour favoriser le brassage génétique, les plantes monoïques ont déclaré le temps de maturité des étamines et de l'ovaire, par protandrie (les étamines sont matures) ou par protogynie.

La durée de formation du fruit après floraison varie selon les espèces, généralement de l'ordre d'une centaine de jours pour les fruits charnus, elle peut atteindre jusqu'à plus d'un an pour les oranges. C'est la production d'auxines et de gibbérellines par l'ovaire qui permet la formation du fruit. Elle est déclenchée par le stimulus produit par l'arrivée du pollen.

Au moment de la floraison, l'ovaire peut être considéré comme un organe possédant une forte potentialité de croissance mais incapable de synthétiser certains facteurs indispensables à cette croissance. Parmi ces facteurs, le seul qui soit bien connu jusqu'à présent est l'auxine. Celle-ci est fournie à l'ovaire en voie de transformation non d'une manière continue mais par intermittence. La première stimulation se manifeste lors de la pollinisation ; la quantité d'auxine intervenant à ce moment est d'ailleurs très supérieure à celle qu'apporte le tube pollinique et on pense que la pollinisation pourrait provoquer une stimulation de la synthèse endogène d'auxine. Pour certaines espèces, comme la tomate ou le Tabac, l'influence de la pollinisation est suffisante pour conduire le fruit jusqu'à maturité ; pour d'autres, il faut que cet effet soit soutenu par des stimulations secondaires provenant de l'albumen de la graine en voie de développement et on observe au cours du développement du fruit des fluctuations brusques de la teneur en auxine dont la signification est encore mal connue.

A la maturation du fruit les réserves glucidiques se transforment en sucres solubles, la chlorophylle disparaît tandis que d'autres pigments apparaissent (des caroténoïdes et flavonoïdes). Cette étape est sous l'influence génétique, l'éthylène pourrait jouer un rôle dans l'activation de ces gènes.

## **IV. Graine et germination**

### **IV-1. La graine des Angiospermes**

La graine c'est l'organe qui résulte de la fécondation et du développement de l'ovule, et qui est apte, après germination, à reproduire un nouvel individu

La graine est formée de l'extérieur vers l'intérieur par une enveloppe protectrice nommée tégument, entourant un tissu de réserves nutritives, et l'embryon.

#### **IV-1.1. Embryogenèse précoce**

La double fécondation stimule la croissance de l'ovule. Le développement du zygote principal (embryon = plantule) est associé à celui de l'albumen

##### **● Le développement de l'embryon :**

Chez les Angiospermes, la première division du zygote donne un embryon cellulaire Cette division fournit 2 cellules superposées et dès ce stade la polarité de l'embryon est définie : Une cellule basale, une apicale.

- La cellule basale (la plus volumineuse) se trouve du côté micropyle; elle va édifier un suspenseur en forme de pied, de 6 – 10 cellules ainsi que les cellules initiales de l'écorce de la racine et de la coiffe. Le suspenseur fixe l'embryon au micropyle et lui fournit des aliments et des régulateurs de croissance. Par la suite, il dégénère; On ne le retrouve jamais dans une graine mûre.
- Cellule apicale orientée côté chalaze elle va édifier un embryon. Celui-ci est normalement constitué d'un radicule et la tigelle. A l'extrémité de celle-ci, on distingue la gemmule : les ébauches des première feuilles y entourent le point végétatif ou se trouve le méristème caulinaire. La tigelle porte le ou les cotylédons dont la région d'insertion permet de

distinguer l'hypocotyle (partie de la tigelle située au dessous des cotylédons) et l'épicotyle (partie de la tigelle située au dessus des cotylédons).

- **Développement de l'albumen**

Le noyau triploïde central résultant de la fusion triple se divise activement ; les noyaux produits restent tout d'abord libres dans un symplaste. La cellularisation débute ensuite par la périphérie de ce qui fut le sac embryonnaire et progresse vers le centre. Les cellules se chargent de réserves formant un tissu nourricier, l'albumen, autour de l'embryon issu du zygote principal.

#### IV.1.2. Embryogenèse tardive :

- **Différenciation des téguments séminaux**

ils ont pour origine les téguments de l'ovule, leur différenciation s'effectue après la croissance cellulaire. Sclérification des parois des cellules qui se vident de leur contenu. Parallèlement à cette sclérification, disparition des téguments cellulaires au cours de la soudure entre l'ovule et le péricarpe.

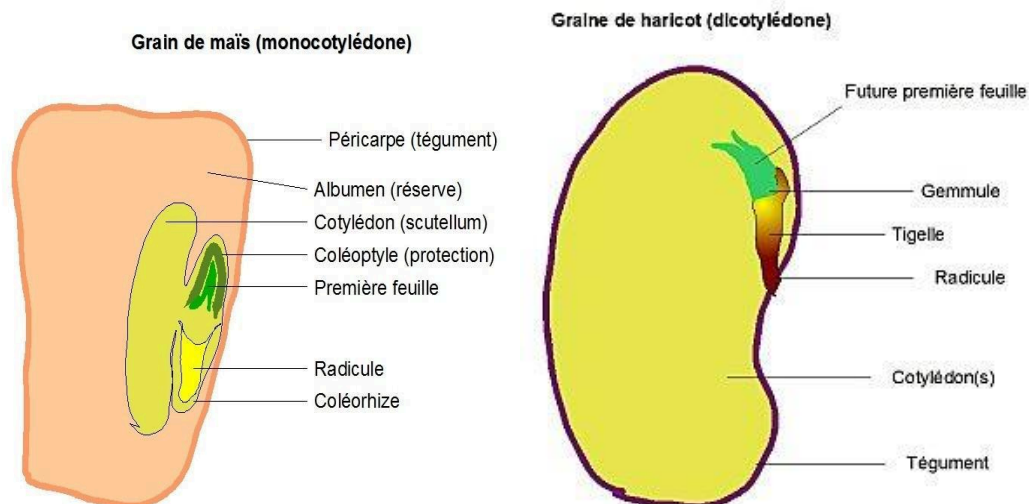
- **Accumulation des réserves**

Pendant la maturation de la graine s'accumulent des substances de réserves. Parfois dans le nucelle (graine à périsperme) ou dans l'albumen (graine albuminée).

Catégories de réserves :

- Graines protéagineuses : protéines dominent (Lupin) 40% en moyenne
- Graines oléagineuses : lipides dominants (noix) 60% (colza, arachide) 45%
- Graines amylasées : glucides dominants (blé, orge, maïs, seigle) 70%

La graine se déshydrate aussi ses réserves afin d'éviter que l'embryon les consomme avant sa germination.

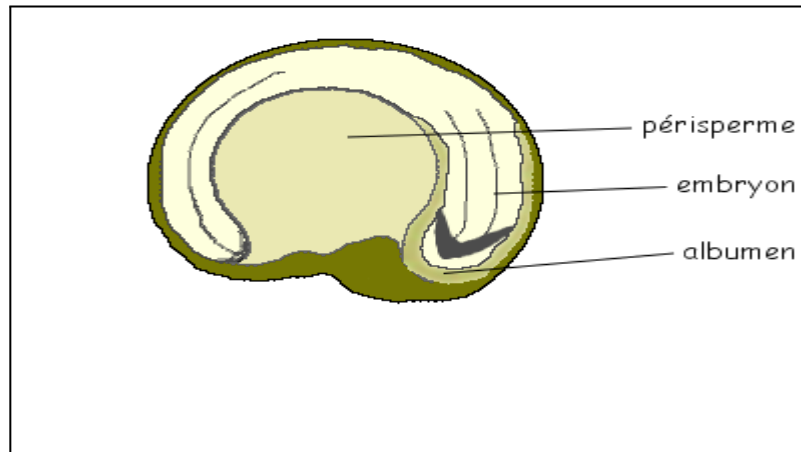


#### IV.1.3-Les principaux types de graines

##### a-Graine à périsperme

Cette graine ne voit ses réserves que peu développées .Ce sont ici les cotylédons qui sont capables d'être fonctionnels dès leurs sorties qui donnent au végétal une autonomie précoce en fournissant la photosynthèse.

Ex : Betterave , laitue .

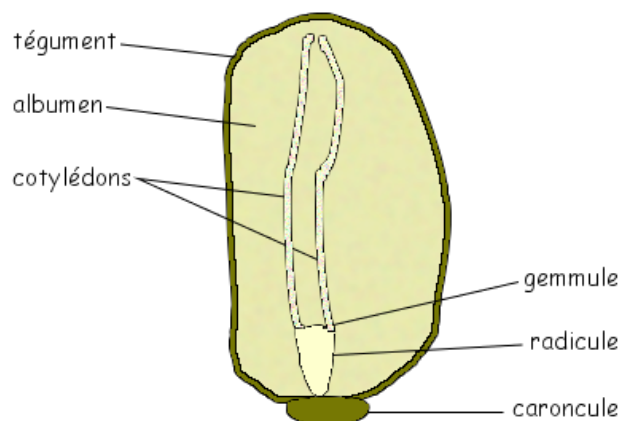


### **b- Graine albuminée**

Les réserves sont accumulées dans l'albumen ce qui permet d'avoir suffisamment de réserve pour une autonomie de la plante jusqu'à l'apparition des premières feuilles où la photosynthèse prendra le relais.

Ces graines étant extrêmement riches en éléments nutritifs.

Ex : Blé, maïs.

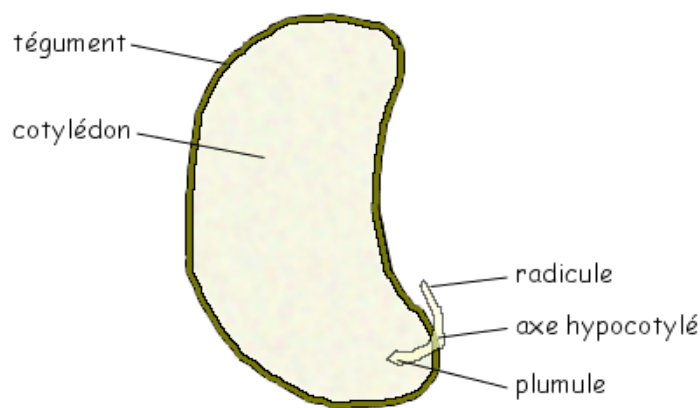


### **c-Graine exalbuminée**

Dépourvue d'albumen, c'est dans les cotylédons qui sont les premières feuilles de la plantule, que se retrouvent stockées les réserves de la graine.

Egalement riche en éléments nutritifs, elle se retrouve aussi convoitée par le règne animal que les graines à albumen.

Ex : Soja, haricot, tournesol.



Ce qu'on appelle « graine » dans le langage courant n'est pas toujours une graine au sens botanique du terme. La véritable graine provient exclusivement de l'évolution de l'ovule après la fécondation .mais d'autres organe, de nature un peu plus complexe, peuvent assurer la même fonction ; ce sont en particulier, les fruits secs indéhiscents dont la graine reste enfermée dans le péricarpe. C'est pourquoi il est préférable de parler de semences pour l'ensemble de ses organes dont la physiologie est identique et qui sont constitués par au moins une graine.

il en existe en fait deux grandes catégories.les unes proviennent de la reproduction sexuée ; on les appelle parfois **des semences sèches** parce qu'elles sont généralement très fortement déshydratées quand elles sont libérées par la plante. Les autres sont des organes de multiplications végétatives souvent plus riches en eau (bulbes, tubercules,...) ; on peut les qualifier de **semences aqueuses**.

Il ne sera question ici que des semences sèches, c'est-à-dire celles qui résultent de la fécondation.

## IV.2. La vie ralentie

La très forte déshydratation des semences entraîne obligatoirement une importante réduction de leur métabolisme. C'est cette activité métabolique, imposée par la déshydratation, qui constitue la vie ralentie. Mais les enveloppes ne jouent, en général, aucun rôle particulier dans ce phénomène. Il suffit de fournir de l'eau à la semence pour que la vie ralentie cesse.une semence imbibée n'est donc plus en vie ralentie, car son métabolisme redevient aussitôt actif.

L'aptitude de Semences à survivre à l'état déshydraté leur permet de résister à des conditions qui entraîneraient la mort des organes en vie active ; elle en fait des organes de résistance. Ainsi, dès 1907, Becquerel montrait que les semences naturellement déshydratées pouvaient être plongées très longtemps dans l'azote liquide (196°C) sans en souffrir. Elles supportent aussi sans dommage des températures d'une centaine de degrés pendant quelques heures ou un séjour très prolongé en anoxie complète. Mais une telle résistance n'est possible que lorsque les

semences déshydratées. Quand elles sont imbibées, elles ne résistent pas mieux que n'importe quel autre organe.

C'est également cette possibilité de survie à l'état déshydraté qui permet aux semences de rester vivantes très longtemps. Mais, en fait, la longévité des semences varie beaucoup d'une espèce à l'autre.

#### **IV.2.1 - Longévité des semences**

Ewart (1908) a classé les semences en trois catégories selon leur durée de vie dans les conditions naturelles (température et atmosphère ambiantes).

Les semences macrobiotiques survivent plus de 15ans.les exemples dont la longévité dépasse 50ou 100 ans ne sont pas rares. On ne connaît même (*chenopodium album*) qui germent après 1700 ans.

Les semences mésobiotiques restent vivantes pendant 3 à 15ans. C'est la grande majorité des espèces.

Les semences microbiotiques ne survivent pas plus de 3 ans. Beaucoup d'entre elles ne supportent pas la dessiccation. Contrairement au cas général, elles sont assez riches en eau ; leur embryon reste actif et meurt par dessèchement. De nombreuses espèces tropicales ou subtropicales ont des semences de ce type. Certaines semences ne survivent même quelques jours (*Oxalis*) ou quelques semaines (peuplier). Les semences à réserves lipidiques meurent également assez rapidement.

### **IV.3- Le phénomène de la germination**

Une semence est destinée à donner naissance à une nouvelle plante. Ce passage de la semence inerte à la jeune plante porte le nom de germination. Mais, les processus physiologiques mis en jeu dans ce phénomène sont très complexes et, depuis quelques années, le concept de germination se précise.

#### **IV.3.1- Définition de la germination**

On considère souvent qu'une semence a germer quand elle a donné une jeune plante autotrophe. Mais il s'agit d'une définition agronomique de la germination qui ne tient pas compte des processus physiologiques mis en jeu.

En 1957, Evenari a proposé une définition beaucoup plus restrictive de ce phénomène la germination est un processus dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et le tout début de la croissance de la radicule.

Divers travaux récents démontrent que le processus de germination comprend en fait plusieurs phases physiologiques successives.

#### **IV.3.2- Diverses phases de la germination**

Ce sont surtout des mesures de l'imbibition et d'activité respiratoire des semences en cours de germination qui ont permis de détecter l'existence de phases successives.

### **c. Imbibition**

Si l'on suit l'évolution de quantité d'eau absorbée par des semences, au cours de leur germination, les courbes obtenues présentent généralement trois phases la première phase correspond à une prise d'eau rapide ; c'est l'imbibition. Pendant la seconde phase qui dure plus ou moins longtemps selon les espèces considérées, les semences ne s'imbibent plus ; c'est la phase de la germination sensu stricto. La croissance est marquée par une nouvelle absorption d'eau due à l'allongement de la radicule.

Tant que la radicule ne s'est pas allongée, la semence peut être déshydratée sans dommage. Mais, si la croissance a commencé, la déshydratation entraîne très généralement la mort de la semence. Le début de la croissance de la radicule marque donc le passage d'un état physiologique réversible à un état irréversible.

### **d. Activité respiratoire**

La mesure de la variation de l'intensité respiratoire des akènes de *Bidens radiata* (Rollin, 1975), au cours de leur germination, met aussi en évidence trois phases successives comparables aux précédentes. Pendant la première phase (imbibition), l'intensité respiratoire augmente. Elle reste constante pendant toute la durée de la seconde phase (germination sensu stricto) et augmente nouveau dès que les premières racines s'allongent (croissance).

Le processus global de germination comprend donc trois phases successives. La première (imbibition) correspond à l'hydratation de la semence ; cette prise d'eau assez rapide entraîne une augmentation régulière de l'activité respiratoire. La seconde phase représente le véritable processus de germination (germination sensu stricto). La dernière phase est marquée par un changement profond d'état physiologique, car le processus devient irréversible. Le passage de la germination sensu stricto à la croissance constitue donc l'étape la plus importante. C'est pourquoi les chercheurs essaient de préciser ce qui différencie ces deux phénomènes.

## **IV.4. Facteurs généraux de la germination**

La germination d'une semence exige la réunion de conditions extérieures favorables. Cependant, beaucoup de semences sont incapables de germer lorsqu'elles sont placées dans de telles conditions. Les causes d'incapacité à la germination sont inhérentes aux semences elles-mêmes, mais elles sont sous le contrôle de certains facteurs externes ;

### **IV.4.1- Principaux facteurs extérieurs**

La germination exige obligatoirement de l'eau. Mais, l'activité métabolique, consécutive à l'imbibition, nécessite de l'oxygène. Enfin, comme pour tout autre phénomène physiologique, la température joue un rôle très important. L'eau, l'oxygène et la température sont donc les trois facteurs essentiels de la germination. Ils sont d'ailleurs pratiquement indissociables. Pour

comprendre l'action de ses facteurs, il ne faut jamais oublier que c'est l'embryon qui germe. C'est lui qui, sous les enveloppes et éventuellement les tissus de réserve, doit avoir la possibilité de s'imbiber et de disposer d'oxygène, et qui subit, de façon directe ou indirecte, l'influence de la température.

Un autre facteur joue parfois un rôle très important dans la germination. Il s'agit de la lumière.

Enfin, on a beaucoup parlé de substance, présentes dans l'entourage des semences, capables d'empêcher ou de retarder leur germination. Ce sont les inhibiteurs de germination.

Nous analyserons successivement l'influence de chacun de ces facteurs, en considérant qu'il n'existe aucune inaptitude particulière à la germination.

#### **e. L'eau**

L'eau doit être apportée à l'état liquide. Les semences peuvent bien fixer un peu de vapeur d'eau, mais jamais en quantité suffisante pour assurer la germination.

Sensibilité à l'eau

Un excès d'eau est souvent néfaste à la germination c'est la raison pour laquelle les semences ne germent généralement pas quand elles sont complètement immergées. Un très mince film d'eau peut même gêner considérablement la germination ; c'est le cas, par exemple, de la betterave. L'excès d'eau intervient indirectement, en privant l'embryon d'oxygène.

Certaines semences présentent une extrême sensibilité à l'eau qu'on peut mettre en évidence grâce à des dispositifs très simples. Les semences sont déposées sur un cavalier de papier filtre dont les bords plongent dans l'eau et jouent le rôle de mèche. Le tout est enfermé dans un récipient clos pour éviter l'évaporation. Plus la mèche est longue, plus le support où se trouvent les semences est pauvre en eau. Les graines du *Nauclea latifolia* (rubiaceae tropicale arborescente) germent très difficilement sur des papiers filtre saturés d'eau. Leur germination est nettement améliorée quand, dans le dispositif précédent, la longueur de la mèche atteint 4 à 8 cm.

On connaît toutefois des exemples de semences qui germent parfaitement dans l'eau. Ce sont souvent des plantes aquatiques (*Typha latifolia*, par exemple). Les caryopses du riz ont également cette propriété. Dans le cas de *Oldenlandia corymbosa*, certaines graines ne germent même que lorsqu'elles sont immergées.

#### **Mécanisme de l'imbibition**

Nous avons vu précédemment quelle est la forme des courbes d'imbibition. L'absorption d'eau est rapide pendant les premières heures, puis elle devient plus lente et atteint un maximum. L'eau pénètre dans les enveloppes par capillarité, puis les cellules vivantes redeviennent turgescentes et provoquent un appel d'eau, la température intervient assez peu. Elle agit sur la vitesse d'entrée d'eau, mais ne change généralement pas le taux d'imbibition final.

La quantité d'eau absorbée au cours de l'imbibition varie d'une espèce à l'autre, mais dans de nombreux cas, une semence absorbe plus d'eau que ce qui est nécessaire à sa germination.

Rappellent qu'une semence imbibée n'est plus en vie ralentie et n'est plus un organe de résistance. En particulier, elle ne supporte plus des températures extrêmes.

### **Influence du mode d'imbibition**

La germination de certaines semences peut dépendre de la façon dont elles sont déposées sur le substrat humide. La germination de l'embryon de pommier est très sensible à la façon dont l'eau lui est apportée et cette sensibilité dépend beaucoup de la température. Les embryons germent très bien entre 5 et 20 °C s'ils sont déposés sur le milieu humide, à plat sur un cotylédon. Quand ils sont placés debout sur leurs cotylédons, leur germination est plus lente à 5, 10 et 15 °C et elle est pratiquement impossible à 20 °C (fig. 2.20). Ce phénomène ne joue sans doute pas un rôle très important lorsque la graine est intacte, car l'embryon s'imbibe alors par toute sa surface ; or, dans ces conditions, son orientation dans l'espace n'a plus d'influence.

### **f. L'oxygène**

La germination exige obligatoirement de l'oxygène. On a toutefois signalé des exemples de semences, celles de certaines espèces aquatiques en particulier, qui germent sans oxygène. Mais ce n'est sans doute qu'une apparence. En effet, les enveloppes séminales sont des structures poreuses ; elles retiennent des gaz adsorbés (Haber et Brassington, 1959 ; Côme, 1971) qui sont partiellement libérés au moment de l'imbibition.

En réalité, d'un peu d'oxygène retenu dans leurs enveloppes. Dans certains cas, cette faible quantité d'oxygène peut être suffisante pour permettre la germination. D'une façon générale, la germination exige, en effet, assez peu d'oxygène.

- **Quantité d'oxygène nécessaire**

Beaucoup de semences germent parfaitement dans des atmosphères appauvries en oxygène. 2 à 5 de ce gaz sont le plus souvent suffisants. Certaines semences germent même mieux dans ces conditions. Mais certaines graines seulement germent dans ces conditions ; les autres en sont totalement incapables.

Un excès d'oxygène est très souvent néfaste à la germination. Dans le cas des akènes de *Bidens radiata*, cet effet nocif des fortes pressions partielles d'oxygène s'exerce sur la phase de germination sensu stricto.

- **Utilisation de l'oxygène**

Quelques expériences réalisées avec les embryons de pommier démontrent qu'une semence ou, plus précisément, son embryon en cours de germination, utilise l'oxygène qui lui parvient à l'état dissous dans l'eau d'imbibition. Quand les embryons sont recouverts par de l'eau surmontée par de l'air, il suffit d'une couche d'eau de un ou deux millimètre pour empêcher la germination. Mais le remplacement de l'air par de l'oxygène pur permet une bonne germination une couche d'eau

très importante. Il suffit d'ailleurs d'agiter l'eau, de façon à renouveler l'oxygène dissous au niveau des embryons, pour que la germination soit très facile, même en présence de l'air.

#### **g. La température**

La température est certainement le facteur le plus important de la germination, mais son mécanisme d'action n'est pas toujours bien compris.

##### **Action directe de la température**

La température intervient directement ; en agissant sur la vitesse des réactions biochimiques. C'est la raison pour laquelle on pense souvent qu'il suffit d'élever la température pour stimuler la germination. Mais cela n'est vrai que s'il n'existe aucun autre facteur limitant et, en particulier, si l'oxygène ne fait pas défaut

La température n'agit pas de même façon sur la phase de germination sensu stricto et sur la phase de croissance ; l'optimum thermique de la première de ces phases nettement inférieur à celui de la seconde. L'effet global de la température correspond à la résultante de son action sur ces deux phénomènes. L'amélioration de la germination de nombreuses semences par des alternances de températures peut sans doute trouver, de cette façon, une explication partielle. Les variations thermiques stimuleraient alternativement la germination sensu stricto et la croissance et conduiraient à une meilleure germination que des températures constantes.

En réalité, l'action directe de la température sur le processus de germination est souvent masquée par d'autres phénomènes qui dépendent aussi très étroitement de ce facteur.

##### **Action indirecte de la température**

La température joue un grand rôle dans la germination en agissant sur la solubilité de l'oxygène dans l'embryon. Mais son action essentielle se situe au niveau des enveloppes des semences, en réglant l'apport d'oxygène à l'embryon, à travers celles-ci ; ces diverses actions de la température font que la germination ne peut le plus souvent se produire que dans les conditions thermiques assez précises

##### **Température compatibles avec la germination**

La gamme des températures compatibles avec la germination varie d'une espèce à l'autre. Elle peut être très étroite ou, au contraire, très large et elle dépend beaucoup de l'origine géographique des espèces.

#### **h. La lumière**

Les premières observations concernant l'influence de la lumière sur la germination remontent à plus d'un siècle, avec les travaux de Caspary (1860) sur les graines de *Bulliarda aquatic* qui ne germent pas à l'obscurité. Par la suite, de très nombreux exemples ont été décrits et l'on a pris l'habitude de classer les semences en trois catégories selon leur comportement vis-à-vis de la lumière blanche.

## Les trois catégories de semences

✓ **Les semences à photosensibilité positive** germent plus facilement à la lumière blanche qu'à l'obscurité. Certaines d'entre elles sont même totalement incapables de germer en l'absence complète de lumière : elles sont dites « à photosensibilité positive stricte ». la plus parts des espèces aquatiques entrent dans cette catégorie. C'est en fait le cas le plus fréquent.

✓ **Les semences à photosensibilité négative** ne germent pas ou difficilement à la lumière blanche. Les espèces de ce type sont peu nombreuses.

✓ **Les semences non photosensibles** sont apparemment insensibles à l'éclairement elles germent de la même façon à l'obscurité et à la lumière blanche. C'est le cas de beaucoup d'espèces cultivé exemple : tomates.

En fait, cette classification doit être regardée avec une grande prudence, car de nombreux facteurs peuvent modifier la sensibilité des semences à la lumière.

### Mécanisme d'action de la lumière

Les spécialistes ont maintenant tendance à considérer que la germination de toutes les semences, quelle que soit leur sensibilité à la lumière, est sous la dépendance du phytochrome et qu'elle exige toujours la présence de ce pigment sous la forme active (P730).

La lumière blanche, qui renferme à la fois du rouge sombre, agit en fait comme du rouge clair. En effet, la photoconversion du phytochrome inactif (P660) en phytochrome actif (P730) exige 3 à 4 fois moins d'énergie que la réaction inverse. Dans la lumière blanche, c'est donc l'action du rouge qui prédomine.

L'exigence de la lumière blanche pour la germination des semences à photosensibilité positive résulterait d'une absence ou d'une quantité insuffisante de phytochrome sous la forme P730 avant tout éclaircissement. On comprend alors qu'un éclaircissement blanc ou rouge clair plus ou moins prolongé, qui augmente la proportion de phytochrome actif, soit nécessaire.

Dans le cas des semences non photosensibles, le phytochrome serait déjà présent en grande quantité sous la forme P730 dans les semences sèches, au moment de leur maturité. Il pourrait être synthétisé au cours de la maturation des semences sur la plante et rester sous cette forme après la déshydratation. La lumière ne serait pas nécessaire à la germination et, d'autre part, elle ne serait pas nuisible puisqu'elle augmente la proportion de phytochrome actif.

Les semences à photosensibilité négative possèderaient, elles aussi, du phytochrome actif avant tout éclaircissement, ce qui leur permettrait de germer à l'obscurité.

## IV.5. LES INHIBITEURS DE GERMINATION

### • **Nature, Localisation et rôle**

Des substances naturelles ou artificielles très variées ont la propriété de s'opposer à la germination de diverses semences. Leur nature présence a été mise en évidence dans tous les

types d'organes végétaux ; mais leur nature exacte reste généralement inconnue, car elles n'ont pas souvent été isolées .Il s'agit parfois de produits gazeux, comme l'acide cyanhydrique, l'ammoniac, la chlore, l'éthylène, etc. On a attribué un rôle inhibiteur aux acides aromatiques (l'acide cinnamique et ses dérivés phénoliques), aux lactones insaturées comme la coumarine, aux alcaloïdes et, bien sur, à l'acide abscissique. Mais des substances beaucoup plus banales peuvent avoir aussi une telle action ; c'est le cas des acides organiques, des sucres et de certains acides aminés. On peut se demander a la limite, si n'importe quelle substance soluble n'est pas capable d'agir comme un inhibiteur de germination, à condition de bien choisir sa concentration et les semences qui sont mises en sa présence.

Le fait de montrer que des substances extraites d'un organe végétal sont capables d'inhiber la germination de certaines semences, ne signifie pas que ces substances ont une telle action *in vivo*, même si elles sont présentes dans les semences elles mêmes. D'autre part, un véritable inhibiteur de germination est une substance capable d'empêcher la germination de l'embryon. Or, de nombreuses substances peuvent inhiber la germination des semences intactes par l'intermédiaire des enveloppes, sans agir directement au niveau de l'embryon. C'est le cas en particulier des composés phénoliques dont nous analyserons le rôle plus tard. Il n'est donc pas douteux que de nombreuses substances soient capables de gêner la germination des semences, mais il est souvent difficile de leur attribuer un rôle réel, dans les conditions naturelles. L'exemple des blastokolines en est la preuve.

#### **Cas des blastokolines**

En général, les graines ne germent pas à l'intérieur des fruits charnus. On a interprété ce phénomène par la présence d'inhibiteurs dans le péricarpe, parce que le jus des fruits charnus inhibe la germination de diverses semences. Ces inhibiteurs ont reçu le nom de « blastokolines » par Koeckemann (1934). Mais il ne s'agit pas d'une catégorie d'une catégorie de substances bien définie ; ce sont tous les composés présents dans la pulpe des fruits qui auraient la propriété d'inhiber la germination. Cependant il n'est pas rare qu'occasionnellement des graines germent à l'intérieur de leur fruit .On sait d'ailleurs provoquer ce phénomène à volonté avec certaines variétés de pommes (Come.1970). Dans le cas du *Sechium edule* dont le fruit (appelé chrysothine, choucho ou chayotte) possède une seule graine, celle-ci germe systématiquement dans le fruit .Depuis que l'on connaît un peu mieux les mécanismes impliqués dans la germination ,l'absence de germination des graines au sein des fruits charnus s'explique très bien sans faire appel à des inhibiteurs présents dans le péricarpe. Il s'agit d'une inaptitude naturelle des graines à germer ou d'une oxygénation insuffisante de l'embryon dans la masse du fruit .On ne croit donc plus aux blastokolines.

## **IV.6. Inaptitudes à la germination : les dormances**

Ces phénomènes ont retenu depuis longtemps l'attention des physiologistes. Leurs modalités étant assez variées,

Divers types d'inaptitudes à la germination

Il existe deux grands types d'inaptitudes à la germination. L'embryon lui-même peut être incapable de germer, même s'il débarrassé des diverses structures qui l'entourent ; on parle alors de **dormance embryonnaire**. Dans d'autres cas, l'embryon dénudé germe parfaitement, mais la semence intacte ne germe pas, car les structures dans lesquelles l'embryon est enfermé (enveloppes et albumen éventuellement) s'opposent à sa germination ; il s'agit d'une **inhibition de germination**.

#### **IV.6.1- Dormances embryonnaires**

Inaptitudes à la germination qui résident dans l'embryon constituent les véritables dormances ce phénomène est caractéristique de la famille des rosacées, mais des exemples ont été décrite chez bien d'autres espèces.

L'embryon peut être dormant au moment de la récolte de la semence, sans que celle-ci ait subi un traitement particulier, on qualifie ce phénomène de dormance primaire. Dans d'autres cas l'embryon est parfaitement capable de germer, mais il perd cette aptitude sous l'influence de divers facteurs. On parle de dormance secondaire.

La dormance embryonnaire primaire s'installe au cours du développement de la semence à un stade qu'il est souvent difficile de préciser. L'embryon immature peut déjà être dormant ; c'est le cas du pommier, par exemple. Mais certaines plantes, comme le *Fraxinus excelsior*, produisent des semences dont l'embryon ne peut pas germer parce qu'il est incomplètement développé. Un tel embryon ne doit pas être considéré comme dormant, car son inaptitude à germer provient de son état d'immaturité.

La dormance embryonnaire secondaire correspond à la perte de l'aptitude à la germination d'un embryon qui n'est pas dormant à l'origine ou dont la dormance primaire a été préalablement levée. On l'appelle aussi dormance induite. d'une façon générale, , un embryon entre en dormance secondaire quand il est placé, à l'état imbibé, dans des conditions incompatibles avec sa germination. Il s'agit d'une sorte de réaction aux mauvaises conditions de germination. Un embryon non dormant semble avoir deux possibilité à sa disposition ; ou bien il germe s'il est placé dans des conditions convenables, ou bien il entre en dormance si on ne lui donne pas la possibilité de germer.

##### **a. Manifestations de la dormance embryonnaire**

La dormance embryonnaire se manifeste de diverses façons selon l'embryon considère et son expression dépend des conditions de germination.

Caractéristiques de la dormance d'un embryon

Au moment de la récolte des pommes les embryons des graines qu'elles renferment sont dormants.

Lorsque l'embryon n'est pas dormant, il germe rapidement s'il est déposé sur un milieu humide, à une température moyenne. Sa radicule s'allonge en se recourbant vers le milieu de

culture et des poils absorbants apparaissent sur la jeune racine. L'épicotyle se développe ensuite. Les cotylédons ne présentent aucune différence entre eux. La jeune plante issue de la germination croît rapidement ; elle est vigoureuse.

Un embryon dormant se comporte de façon très différente. Ou bien il ne germe pas, ou bien il germe tardivement en donnant naissance à une plantule dont la croissance est considérablement perturbée. Lorsque l'embryon est déposé sur le milieu de culture, à plat sur un cotylédon, la dormance se manifeste d'abord par un grandissement du cotylédon qui se trouve au contact du milieu humide ; ce cotylédon verdit à la lumière et peut atteindre 2 ou 3 fois sa taille initiale. L'autre cotylédon ne grandit pratiquement pas et reste blanc. L'évolution de l'embryon peut s'arrêter à ce stade ou se poursuivre par une croissance très ralentie de la racine. La racine issue de la germination présente alors des anomalies plus ou moins importantes ; elle donne des poils absorbants en nombre réduit et elle se nécrose progressivement. En général, de telles plantules, parfois qualifiées de naines, ne vont pas viables. Cependant, l'épicotyle ne paraît pas être très affecté par ces phénomènes : il peut se développer normalement, même en l'absence complète de racine. Le degré des anomalies des plantules dépend de l'état de dormance de l'embryon ; plus la dormance est profonde, plus ces anomalies sont importantes.

Il existe sans doute une infinité d'états physiologiques différents entre un embryon non dormant et un embryon complètement dormant, qui se révèlent par des anomalies de croissance plus ou moins sévères. Tous ces états peuvent en fait se rencontrer dans un même lot d'embryon

#### **b. Installation de la dormance embryonnaire**

Nous avons déjà signalé que l'époque à laquelle la dormance primaire s'installe est très mal connue. L'entrée en dormance secondaire est plus facile à étudier.

On ne sait pas actuellement, pourquoi les embryons de certaines semences sont dormants alors que ceux d'autres espèces ne le sont pas. Le déterminisme de la dormance primaire reste donc totalement inconnu. La culture in vitro d'embryons prélevés à divers stades de leur développement sur la plante, apportera sans doute des renseignements dans ce domaine. Quelques travaux de ce type ont été réalisés avec l'embryon de pommier, les résultats obtenus montrent clairement que les embryons très immatures sont déjà dormants. Il n'est d'ailleurs pas impossible qu'ils se développent ; dès le début, à l'état dormant.

### **IV.6.2- Dormance secondaire**

Avec les embryons de pommier dont la dormance primaire a été levée par un traitement convenable, il est possible d'induire une dormance secondaire de diverses façons.

#### **Température trop élevée**

A 30°C la phase de germination sensu stricto ne peut pas se réaliser. Si les embryons non dormants sont laissés à cette température ; ils perdent progressivement la faculté de germer à une température plus basse.

### **Privation d'oxygène**

Les embryons non dormants ne peuvent germer que s'ils disposent d'une quantité suffisante d'oxygène. Ils entrent en dormance secondaire lorsqu'ils sont placés dans une atmosphère trop pauvre en oxygène pour assurer leur germination notons cependant qu'en anoxie totale, les embryons ne font pas retour à un état de dormance ;

### **Présence de lumière**

La lumière blanche continue inhibe très fortement la germination des embryons et induit une dormance secondaire.

## **CONCLUSION**

Après l'étude de notre sujet " la croissance et développement des plantes" nous sommes arrivés à tirer les conclusions suivantes :

- La croissance regroupe toutes les variations quantitatives irréversibles qui permettent l'édification du végétal.
- Macroscopiquement, il s'agit de l'augmentation de taille des organes.
- Au niveau cellulaire elle s'effectue par multiplication cellulaire c'est à dire la mérése puis l'élongation cellulaire, c'est à dire l'auxèse.
- Les zones de croissance de la tige et la racine en longueur sont localisées à leur extrémité.
- La morphogenèse végétale associe division élongation et différenciation cellulaire.
- La croissance des végétaux est contrôlé par des facteurs interne les hormones de croissance et des par des facteurs externes.
- Le passage de la semence inerte à la jeune plante porte le nom de germination

- La germination nécessite plusieurs conditions pour se réaliser
- Il existe deux grands types d'inaptitudes à la germination : dormance embryonnaire et inhibition de germination.
- La floraison se manifeste par le développement des pièces florales (sépalés, pétales, étamines et carpelles)
- La floraison se déroule en trois étapes L'induction florale , L'évocation florale et L'initiation florale
- La formation des bourgeons floraux (la mise à fleurs) est conditionnée, pour chaque espèce, par un ensemble de facteurs externes (lumière et température...) et de facteurs internes (hormones de croissance)
- La fructification est un phénomène phénologique transformant par fécondation les fleurs en fruit.
- La fructification est une étape importante dans le cycle de développement des plantes puisque elle permet la formation de la graine qui assure après la germination la production d'une nouvelle plante.

## REFERENCES

### ● BIBLIOGRAPHIE

- Physiologie végétale ;TOME2. Développement .R.HELLER
- Physiologie et biologie des plantes vasculaires deuxième partie : croissance ; reproduction ; écologie ; physiologie .GUY DEYSSON
- Physiologie végétale II croissance et développement .PAUL MAZLIAK.

### ● WEBIOGRAPHIE

- [www.bibliotheque.auf.org/doc\\_num.php?explnum\\_id=287](http://www.bibliotheque.auf.org/doc_num.php?explnum_id=287)
- [1spear.free.fr/downloads/BCP5/Biodevegetal/part1.pdf](http://1spear.free.fr/downloads/BCP5/Biodevegetal/part1.pdf) pdf bn
- [tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/39/38/34/.../these.pdf](http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/39/38/34/.../these.pdf) pdf wa3ar
- [maitres.snv.jussieu.fr/agregerinterne/.../presentacroiss.pd](http://maitres.snv.jussieu.fr/agregerinterne/.../presentacroiss.pd). présentation croissance méristème
- [files.rovilleverger.webnode.fr/](http://files.rovilleverger.webnode.fr/) base de la biologie pdf
- [www.ressources-pedagogiques.ups-tlse.fr/.../CHAPITR...](http://www.ressources-pedagogiques.ups-tlse.fr/.../CHAPITR...) chapitre II
- <http://biologique.free.fr/cours/phyv/Developpement%20vegetatif.pdf> développement végétatif pdf
- [pcoic.perso.sfr.fr/Files/90\\_sequence\\_04.pdf](http://pcoic.perso.sfr.fr/Files/90_sequence_04.pdf)