

**UNIVERSITÉ HASSIBA BEN BOUALI CHLEF**  
**FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**  
**DÉPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUE ET**  
**BIOTECHNOLOGIE**  
**NIVEAU :2 ÈME ANNÉE LICENCE AGRONOMIE**

**COURS DE**  
**PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE**  
**PRÉSENTÉE PAR:**

**Mme . A.NAAS**

# Programme

I. Rappel sur les notions de base

II. Nutrition hydrique

III-La transpiration et l'équilibre hydrique

IV. Nutrition minérale et azotée.

V. Nutrition carbonée : La photosynthèse

VI. Développement et croissance

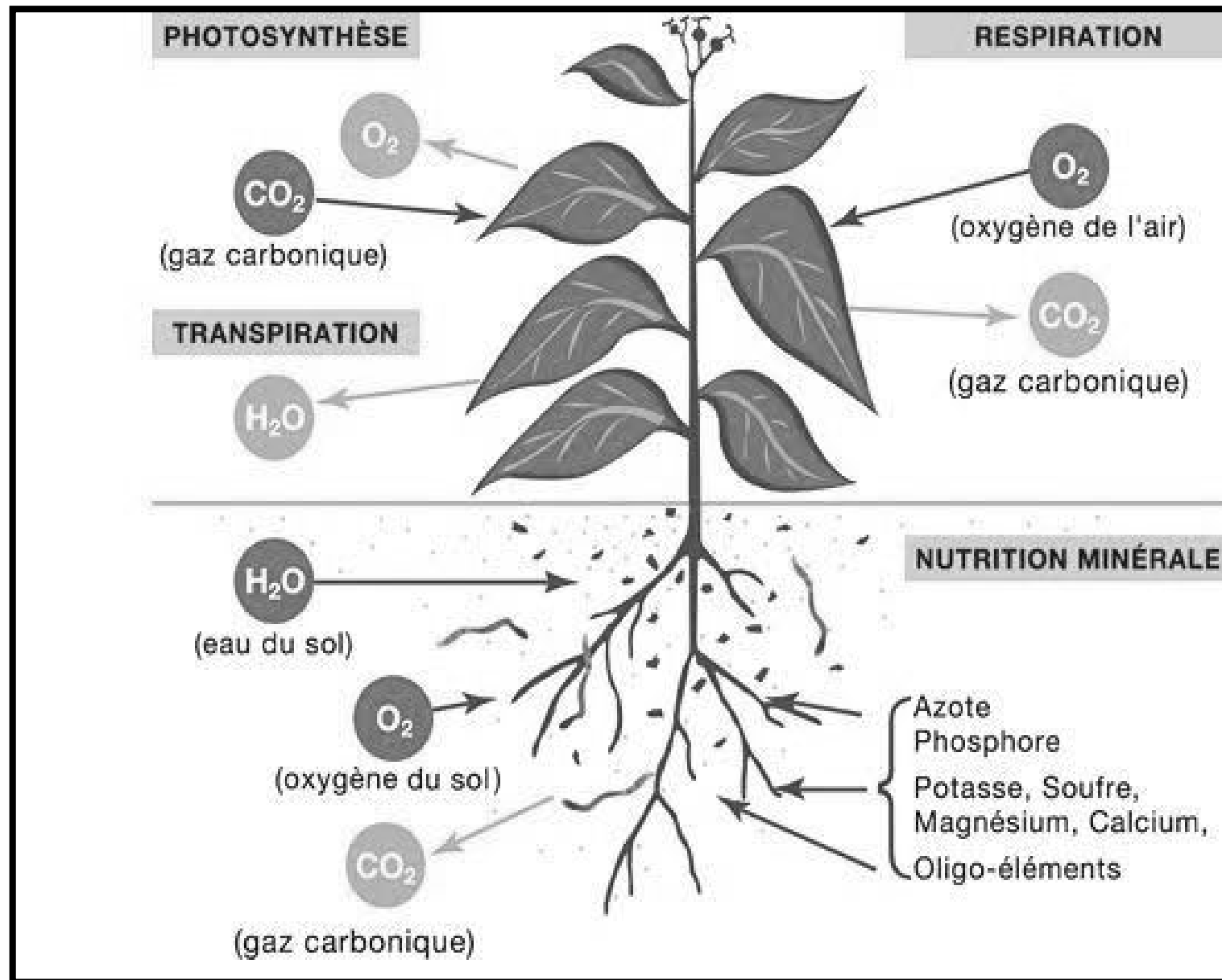
## INTRODUCTION

- ⊙ *La physiologie végétale*

- ⊙ C'est la science qui étudie le fonctionnement des organes et des tissus végétaux et cherche à préciser la nature des mécanismes grâce auxquels les organes remplissent leurs fonctions.
- ⊙ Elle cherche en somme à percer les secrets de la vie chez les plantes.

Divise en deux grandes parties :

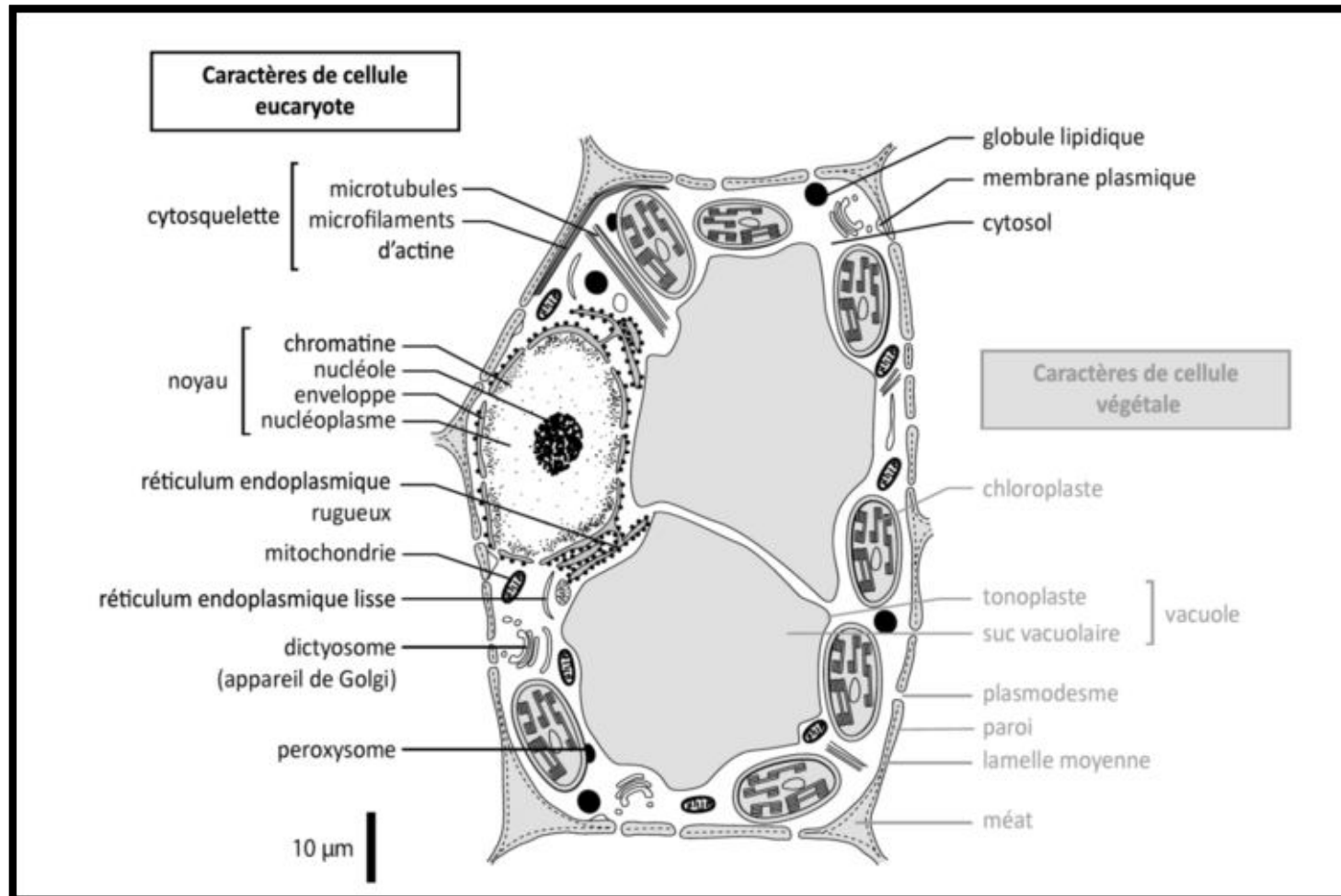
- Nutrition et métabolisme**
- Croissance et développement**



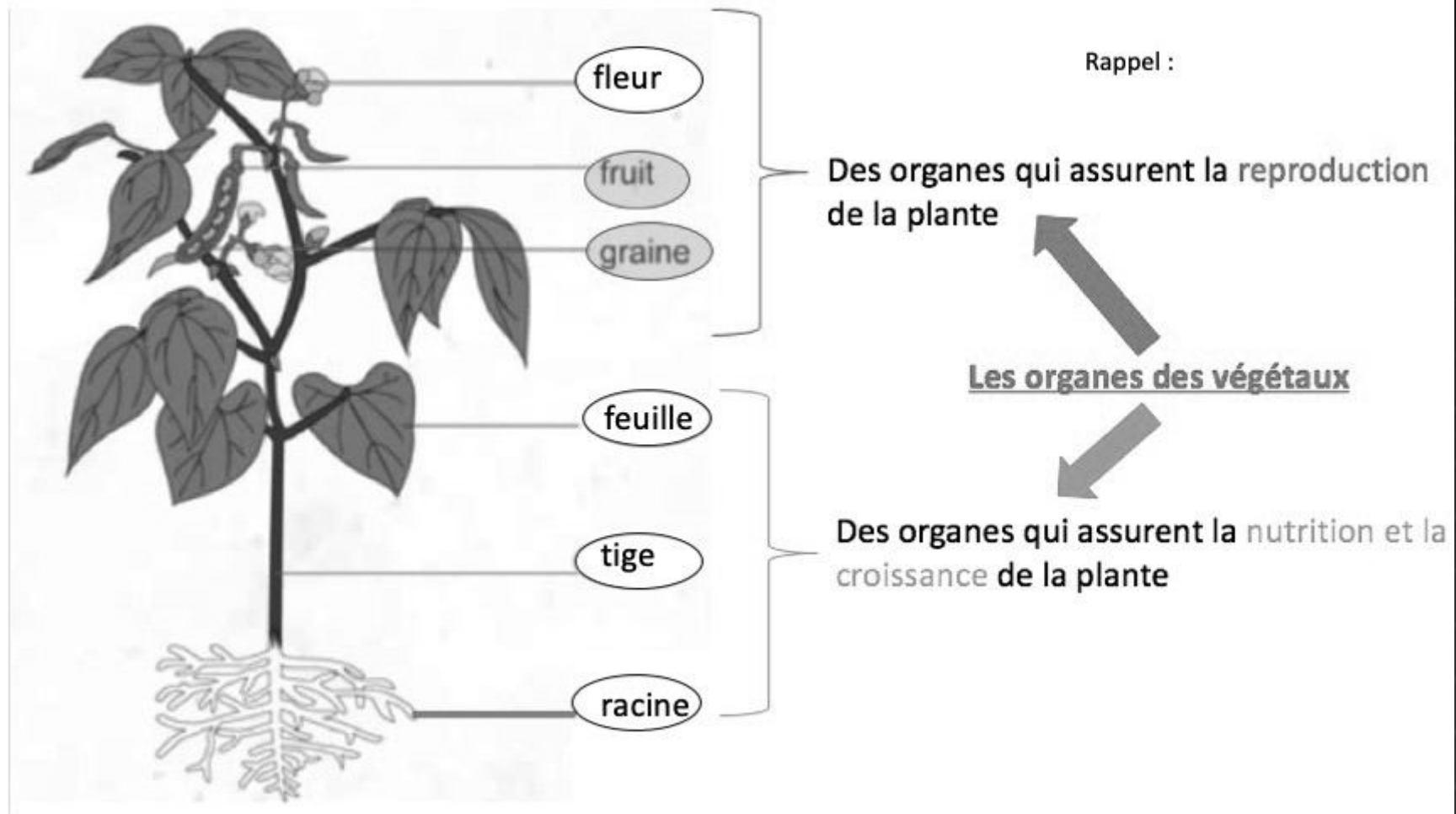
**Figure 1: Mécanismes physiologiques de la plante**

# I-Rappel sur les notions de base

## I-1-Organisation d'une cellule végétale



- ◎ I-Rappel sur les notions de base
- ◎ I-2-Organisation d'un végétal



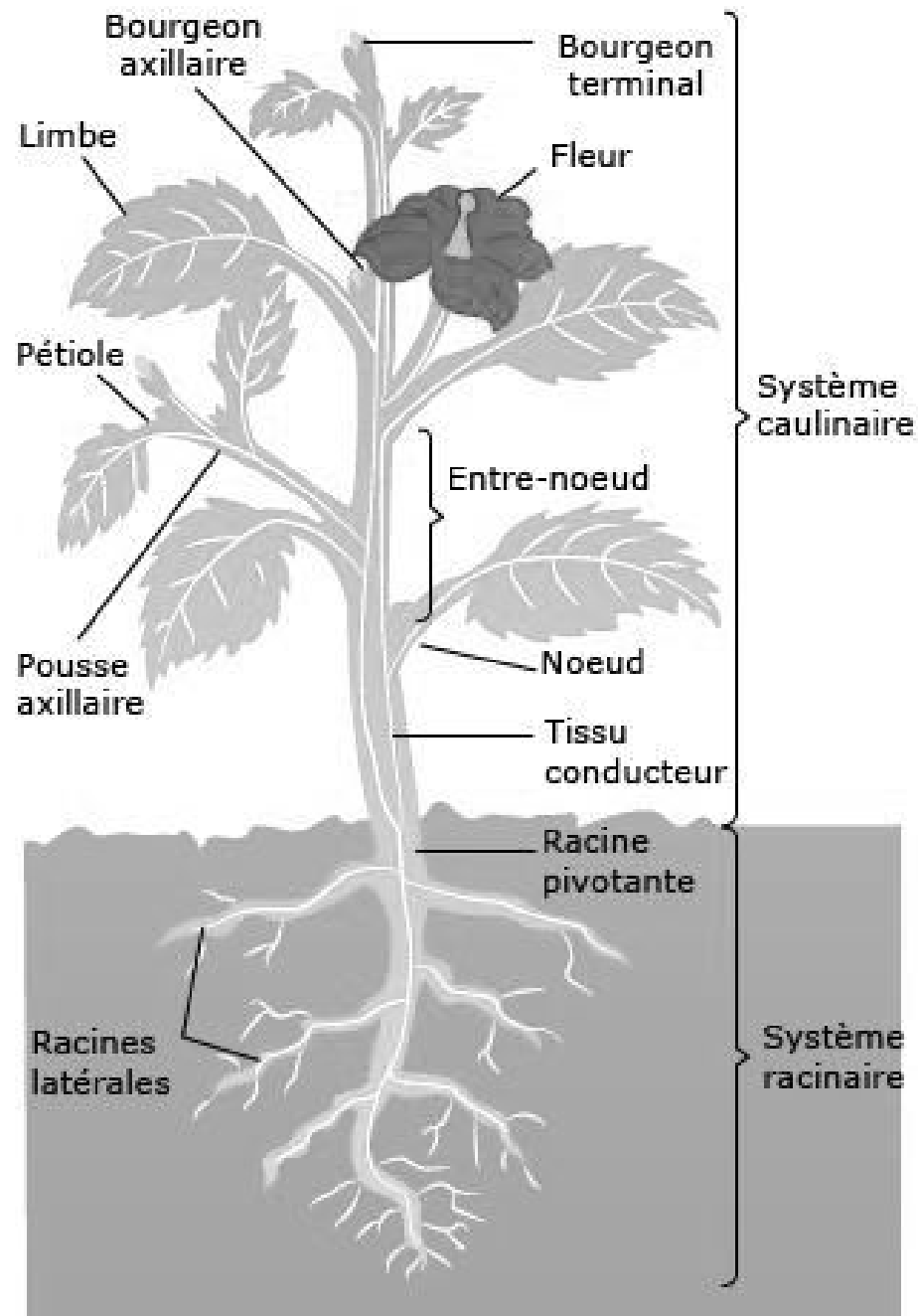
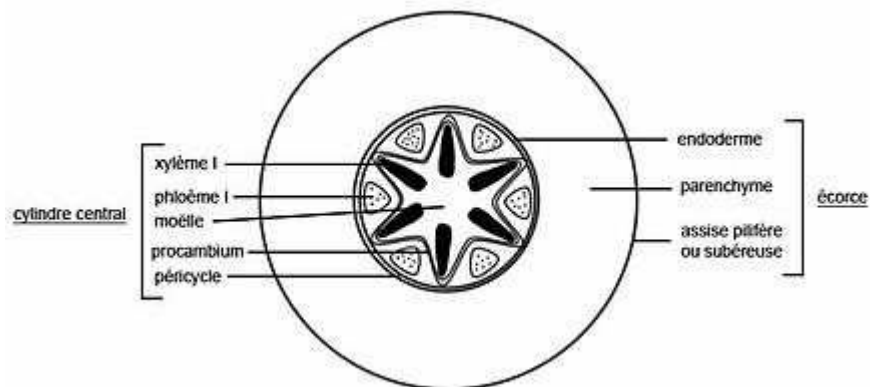
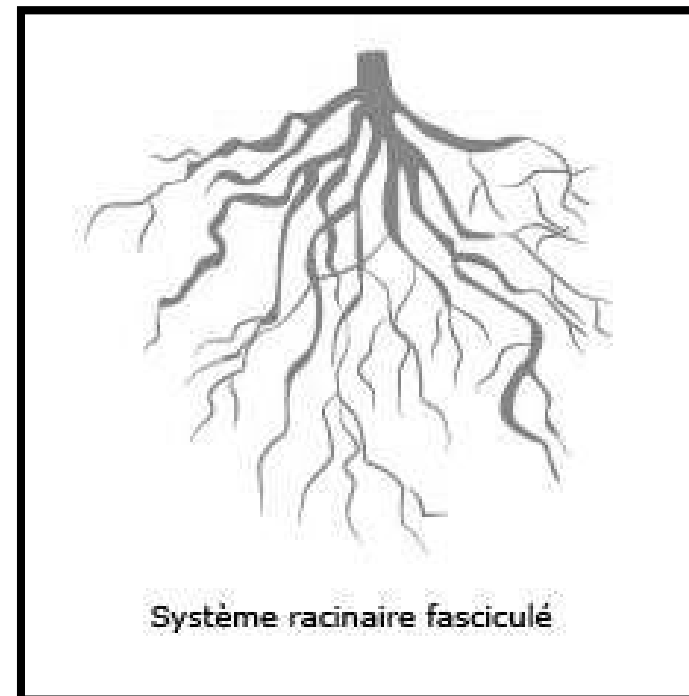
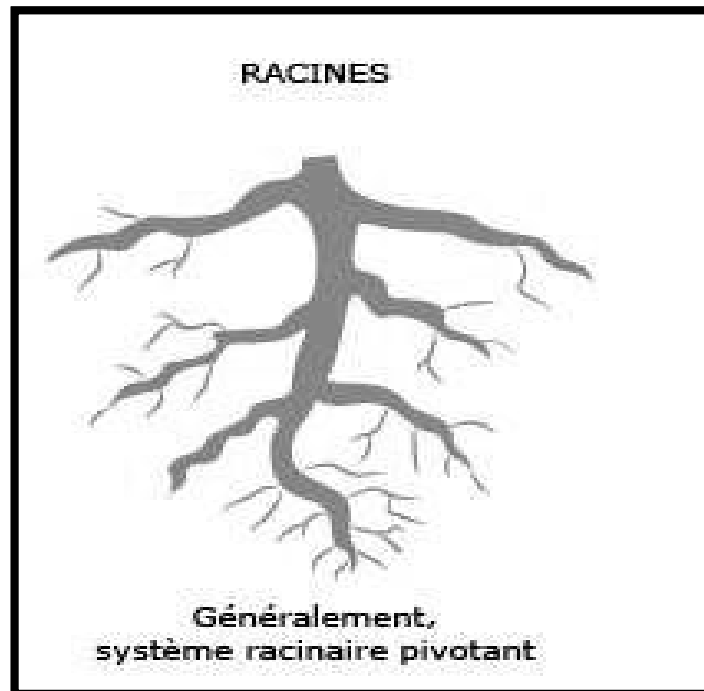
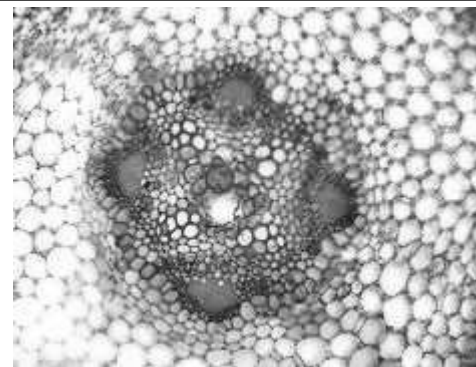


Figure : Morphologie simplifiée d'une plante commune

## les types de racines chez les spermaphytes (dicotylédones).



**Fig : structure primaire d'une racine  
complète**

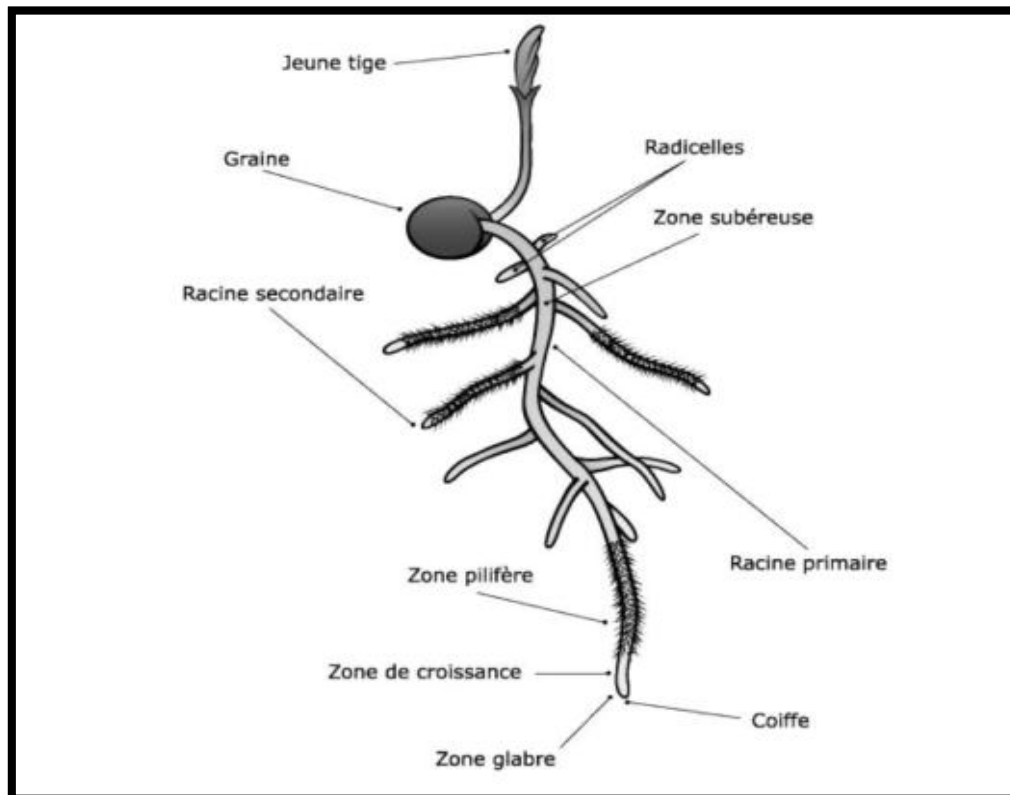


**Fig: structure primaire d'une racine de  
haricot.**



Sur la racine principale et ses ramifications on peut reconnaître à partir de l'extrémité distale:

- ✓ **la coiffe**, sorte de capuchon recouvrant le point végétatif de la racine, mais dont la présence n'est pas obligatoire;
- ✓ **la zone subterminale lisse**, siège de la croissance en longueur;
- ✓ **la zone pilifère**, garnie de poils absorbants, qui caractérise tous les végétaux dont les racines plongent dans la terre.
- ✓ **la zone des ramifications** au niveau de laquelle apparaissent des racines secondaires ayant les mêmes caractéristiques que la racine principale.

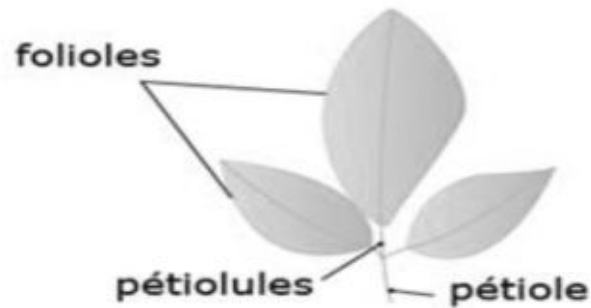


**Fig: Différentes parties du système racinaire**

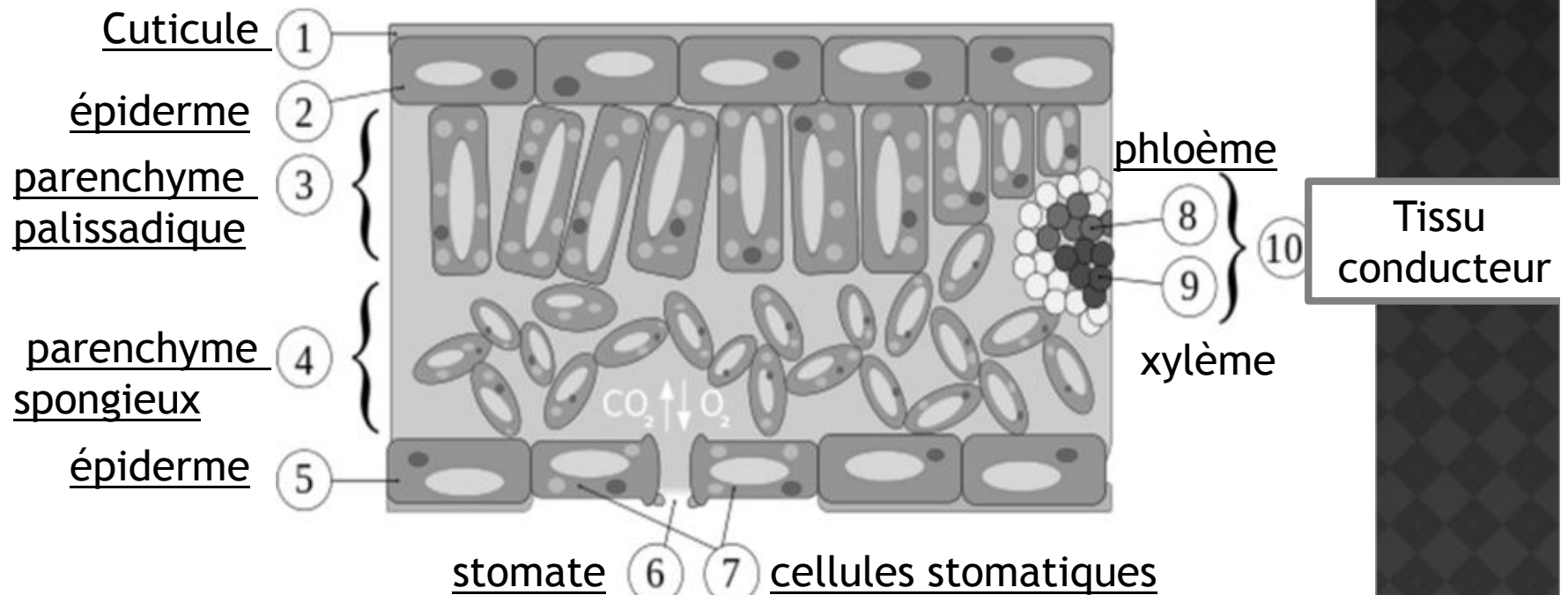
**feuille simple**



**feuille composée**



**Fig : Feuille simple et composée**



**Schéma d'une coupe transversale de feuille montrant ses différents constituants**

# La nutrition des végétaux

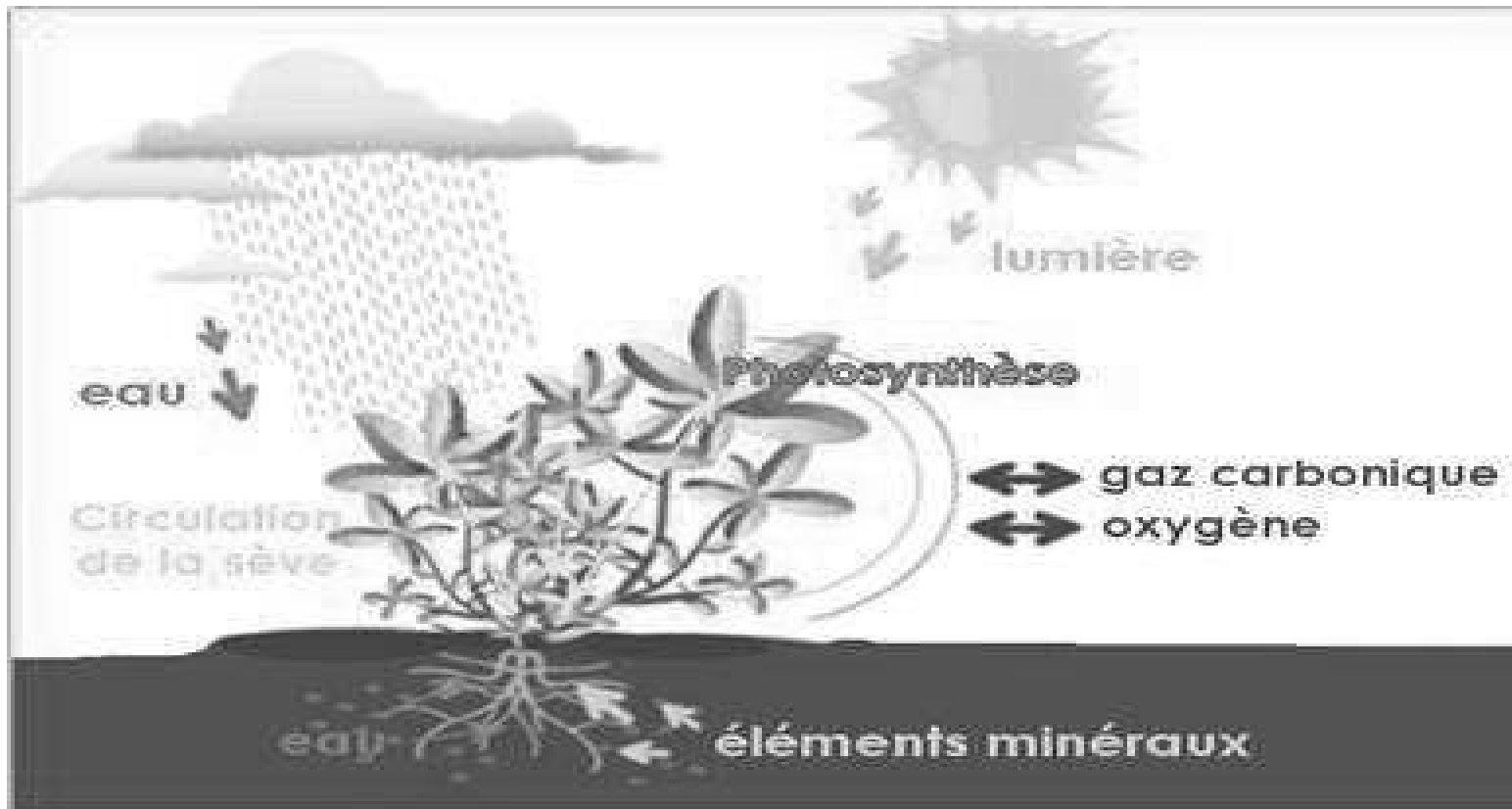
**La nutrition végétale est l'ensemble des processus  
qui permettent aux végétaux d'absorber dans le  
milieu**

**ambient et d'assimiler les éléments nutritifs  
nécessaires à leur différentes fonctions  
physiologiques : croissance, développement,  
reproduction...**

- Quels sont les besoins des végétaux ?
- Comment se nourrissent les végétaux ?
- Comment la nourriture est-elle transportée ?

## Quels sont les besoins des végétaux ?

Pour se développer, une plante a besoin d'**eau**, de **lumière**, d'**oxygène**, de **carbone** mais également d'**éléments minéraux** présents en plus ou moins grande quantité dans le sol.

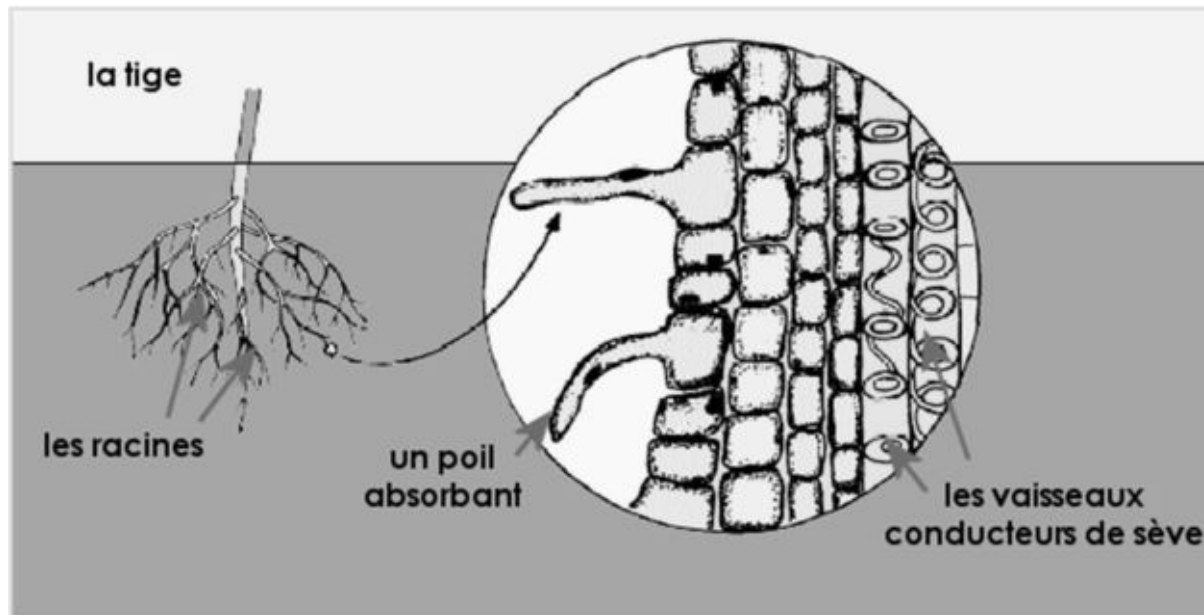


Tous les éléments nutritifs que la plante utilise proviennent du sol ou de l'air ou de l'eau.

# Comment se nourrissent les végétaux ?

**Les racines, la tige et les feuilles sont les organes de nutrition des végétaux vascularisés : ils constituent l'appareil végétatif.**

Par les **poils absorbants** de ses **racines**, la plante absorbe la solution du sol, c'est-à-dire l'eau et les **sels minéraux**, qui constituent la **sève brute**, ou **sève minérale**.



**Le rôle des racines dans la nutrition des végétaux**

Grâce à la lumière, c'est par les feuilles, là où la **photosynthèse** s'effectue, que la plante reçoit des acides aminés et des sucres qui constituent la **sève élaborée**.

# I-Nutrition Hydrique Des Végétaux

## I-1-Définition

- ◎ **La nutrition végétale** est l'ensemble des processus qui permettent aux végétaux **d'absorber** dans le milieu ambiant et **d'assimiler** les **éléments nutritifs nécessaires** à leurs différentes fonctions physiologiques:



**Croissance**



**Développement**



**Reproduction etc**

- La nutrition fait appel à des processus d'absorption de gaz et de solutions minérales soit directement **dans l'eau** pour les **végétaux inférieurs** et les **plantes aquatiques**, soit dans le cas des **végétaux vasculaires** dans la **solution nutritive du sol** par les **racines** ou dans **l'air** par les **feuilles**

## I-2-Importance de l'eau pour les plantes

### ➤ Au niveau cellulaire:

- C'est le milieu où s'effectuent toutes les réactions du métabolisme;
- C'est le milieu de dissolution des ions et des solutés;

### ➤ Au niveau de l'organisme:

- C'est le véhicule des **substances minérales nutritives (sève brute)**, **d'éléments** issus du **métabolisme (sève élaborée)** qui circulent dans les tissus conducteurs des végétaux, de **facteurs de croissance (hormones)**, de **déchets**.
- L'eau assure **la turgescence**, et donc le port des végétaux, sans elle ils se flétrissent,
- Elle permet aussi les mouvements des feuilles et étamines ou des cellules comme les stomates. Elle participe à l'allongement cellulaire.

### **I-3-L'eau dans le sol**

**Le sol** est pour le végétal **la source** presque exclusive de **l'eau** et de **ses minéraux**. La plus grande quantité d'eau absorbée provient du sol, mais il ne faut pas oublier l'eau qui est absorbée au niveau des feuilles (l'eau atmosphérique).

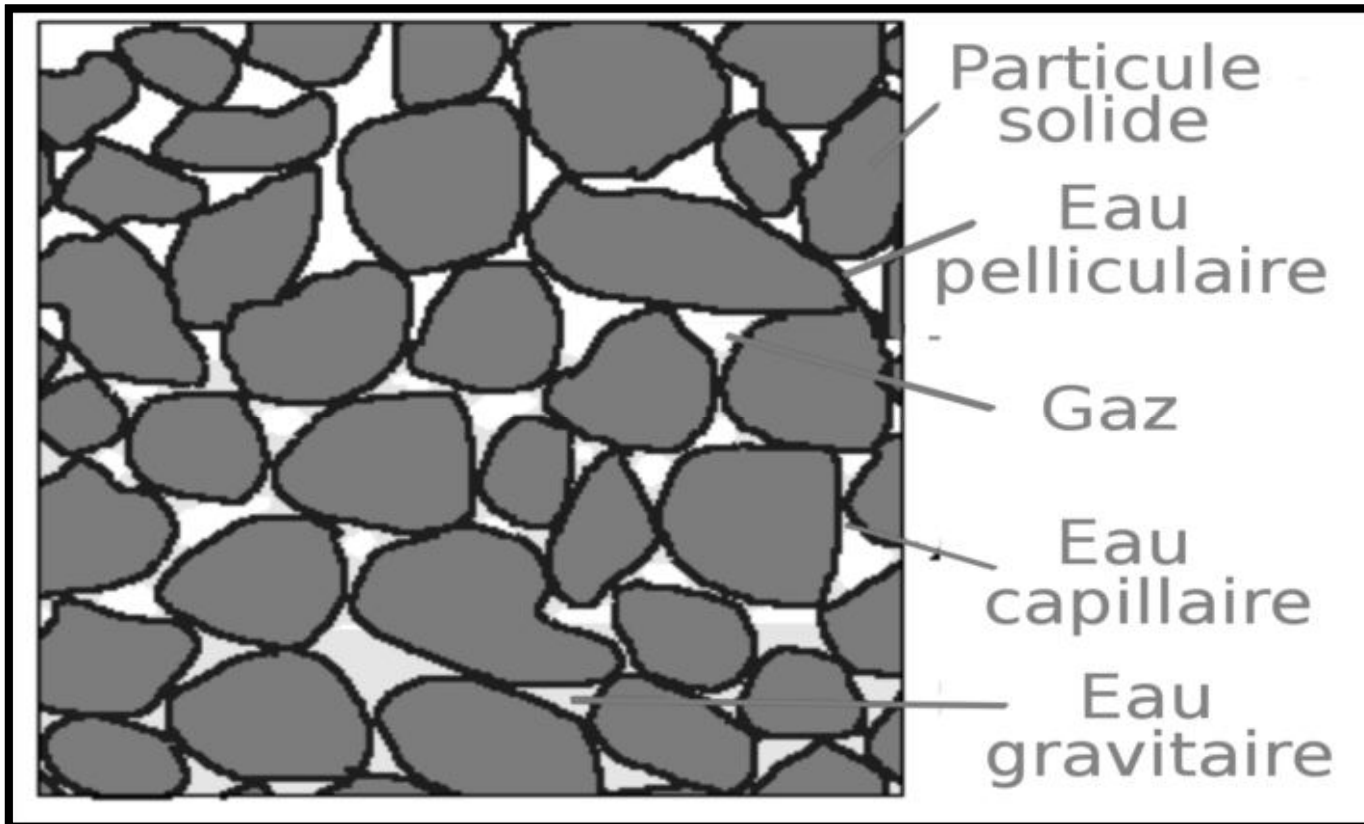


**L'eau est présente dans le sol sous trois états particuliers:**

**1. L'eau pelliculaire**

**2. L'eau capillaire absorbable**

**3. L'eau de gravité**



◎ **L'eau est présente dans le sol sous trois états particuliers:**

**1.L'eau hygroscopique (pelliculaire):** provient de l'humidité atmosphérique et forme une mince pellicule autour des particules du sol. Elle est retenue très énergiquement et ne peut être utilisée par les organismes vivants.

**2.L'eau capillaire absorbable :** située dans les pores dont les dimensions sont comprises entre 0,2 et 0,8 mm. Elle est absorbée par les végétaux et elle permet l'activité des bactéries et des petits Protozoaires.

**3.L'eau de gravité :** occupe de façon temporaire les plus grands pores du sol. Cette eau s'écoule sous l'action de la pesanteur

## I-4- L'eau dans la plante

### II-4-1-La teneur en eau

Dans la plante (sa grande vacuole lui sert de réservoir d'eau), le **xylème** et le **phloème** sont les vaisseaux qui conduisent les deux sèves.

- ⊙ Le **xylème** est un ensemble de tissus morts où circule la sève brute (eau + sels minéraux).
- ⊙ Le **phloème** est composé de tissus vivants où circule la sève élaborée (eau + sels minéraux + substances organiques).
- ⊙ La quantité d'eau contenue par une plante est toujours le résultat d'un équilibre entre l'alimentation hydrique d'une part (le plus souvent au dépend de l'eau du sol) et la déperdition d'eau par transpiration, d'autre part.

## I.4.2. Les différents états de l'eau dans la matière végétale

### *a- L'eau liée :*

C'est l'eau immobilisée dans la cellule par des liaisons hydrogènes

### *b- L'eau libre :*

Facilement circulante ou stagnante dans les vacuoles.

### *c- L'eau de constitution :*

Stabilise la structure tertiaire de certaines macromolécules protéiques

### **I.4.2. Les différents états de l'eau dans la matière végétale :**

Il n'est jamais facile de dessécher totalement une matière végétale, on distingue donc trois sortes d'eau

#### **a- *L'eau liée :***

C'est l'eau immobilisée dans la cellule par des liaisons hydrogènes autour des groupements alcooliques, aminés ou carboxyliques ; la cellulose notamment fixe une quantité considérable de molécules d'eau le long des résidus glucidiques de ces chaînes moléculaires.

#### **b- *L'eau libre :***

S'opposant à la précédente, c'est l'eau d'imbibition générale, facilement circulante ou stagnante dans les vacuoles.

#### **c- *L'eau de constitution :***

C'est l'eau qui stabilise la structure tertiaire de certaines macromolécules protéiques et ne peut être enlevée de ces protéines sans en entraîner la dénaturation.

**Eau liée et eau de constitution forment 3 à 5 % de l'eau totale d'un tissu.**

### I-4-3-La mesure de la teneur en eau (TE)

Pour mesurer la teneur en eau des végétaux, on effectue généralement la dessiccation du matériel végétal.

La quantité d'eau contenue est donnée par la différence de poids entre la matière fraîche et la matière sèche.

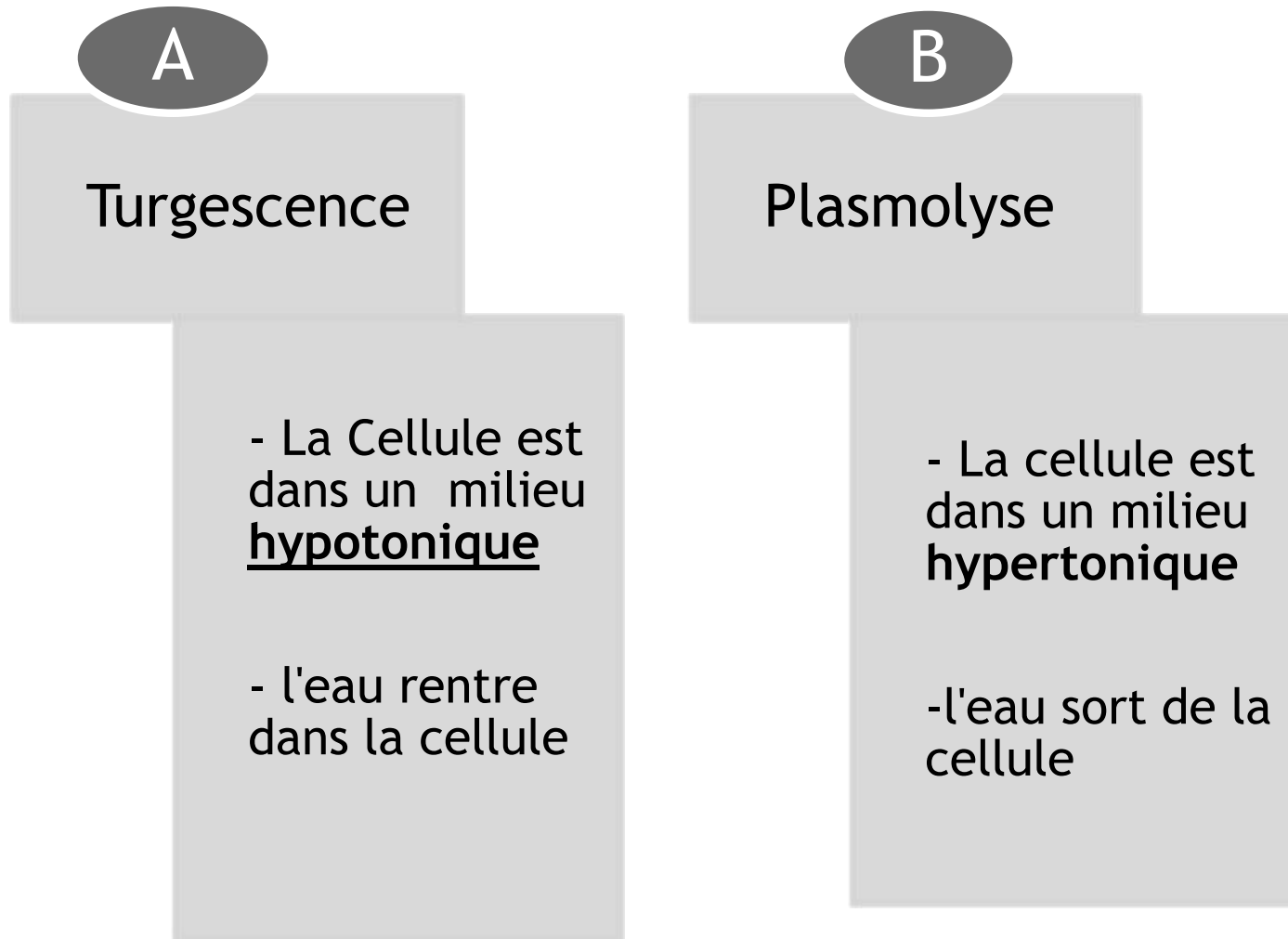
La dessiccation peut être réalisée en étuve à température élevée (105°C/24h).

La mesure de la teneur relative en eau d'un végétal (Le pourcentage en eau d'une plante) est donnée par la formule suivante:

$$TE = (MF - MS) / MF * 100$$

TE: le teneur en eau en % MF et MS : Matière fraîche et Matière sèche

## I-4-5-Variation de la teneur en eau dans la cellule:



- ◉ **Turgescence :**

Quand la cellule est dans un milieu hypotonique, l'eau rentre dans la cellule qui devient turgescence à cause d'une variation de volume cellulaire.

- ◉ **Plasmolyse:**

Quand la cellule est dans un milieu hypertonique, l'eau sort et on assiste à une plasmolyse.

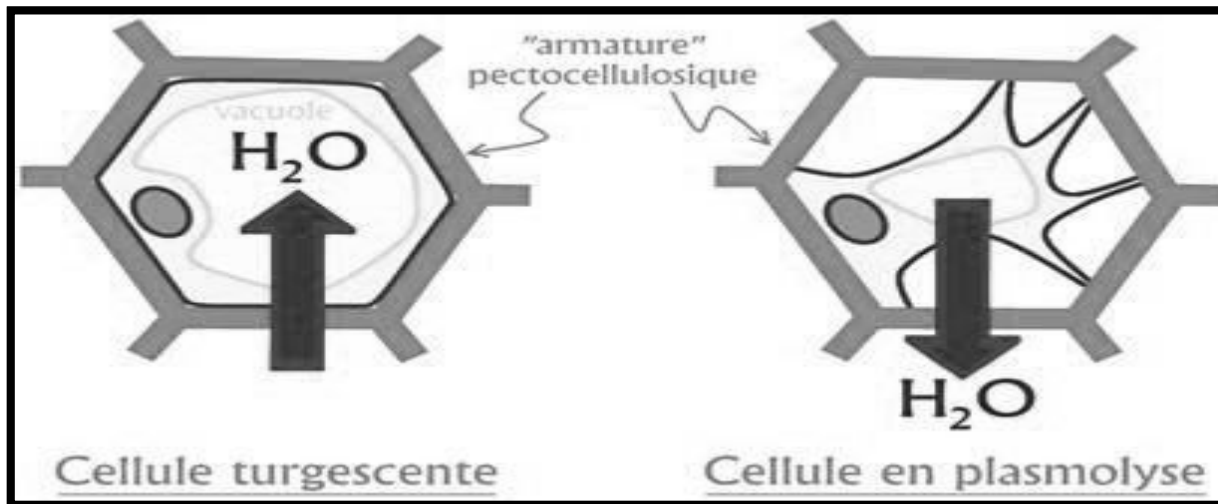
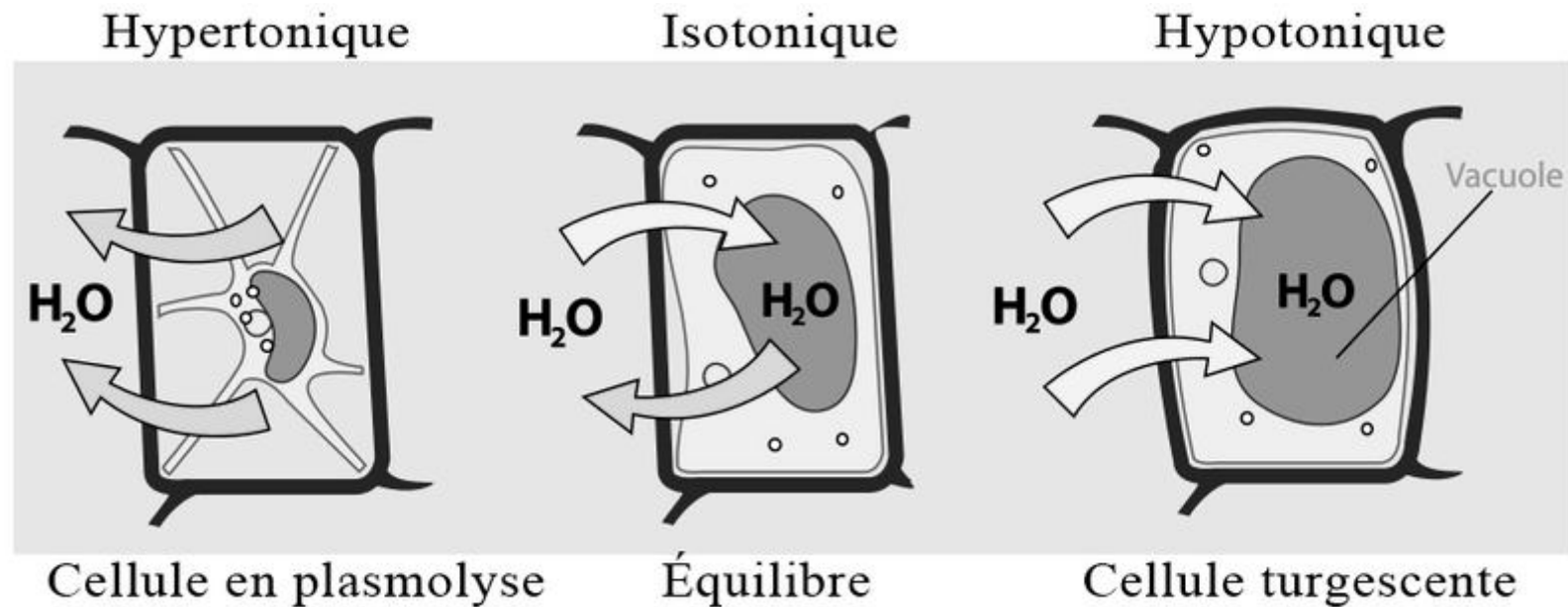


Fig : Etats hydriques de la cellule





- ❖ Une **solution hypertonique** a une concentration élevée en substances chimiques dissoutes (soluté), et donc un faible potentiel hydrique (très négatif). Elle attire par osmose l'eau d'une autre solution.
- ❖ Une **solution hypotonique** a une concentration peu élevée en substances chimiques dissoutes (soluté), et donc un potentiel hydrique plus élevé (faiblement négatif).
- ❖ **Isotonie:** quand le milieu est de même concentration ou de même pression osmotique que le liquide vacuolaire.

## I.5.Mécanismes cellulaires de l'absorption au niveau des racines

- Quelle que soit la structure considérée, **l'absorption d'eau** se fait toujours à travers **une paroi cellulaire**. Pour expliquer ces mécanismes, il faut se rappeler que les échanges d'eau entre **le milieu intra-cellulaire** et **le milieu extra-cellulaire** se font à travers **la membrane cytoplasmique** conformément aux lois physiques de la diffusion : l'osmose qui s'effectue toujours du **milieu hypotonique** vers **le milieu hypertonique**.
- **La pression osmotique** qui détermine **le flux d'eau** est proportionnelle à la **différence de concentration entre les deux milieux**.
- Les variations de turgescence se traduisent par un port plus ou moins "gonflé" de la plante. Une baisse de turgescence se traduit au niveau de la plante entière par un "ramolissement" des organes, que l'on appelle, selon les cas, le **flétrissement** ou la **fanaison**.

- **Le potentiel hydrique** de l'eau pure à 25°C et une pression de 1 atm est fixé par convention à  $\Psi_e = 0$

- Toutes les solutions ont un potentiel hydrique plus faible que l'eau pure et donc négatif ( $\Psi < 0$ )

**Les molécules d'eau se déplacent toujours du potentiel hydrique le moins négatif vers le potentiel hydrique le plus négatif.**

### **Succion**

- **La succion** est liée à la différence de pression osmotique des vacuoles. La plante ne peut absorber l'eau que si la succion de ses racines est supérieure à celle du sol (Potentiel Hydrique de la plante inférieur à celui du sol).

## **I-6-Pénétration de l'eau dans la plante :**

### **I-6-1-L'absorption de l'eau par les racines :**

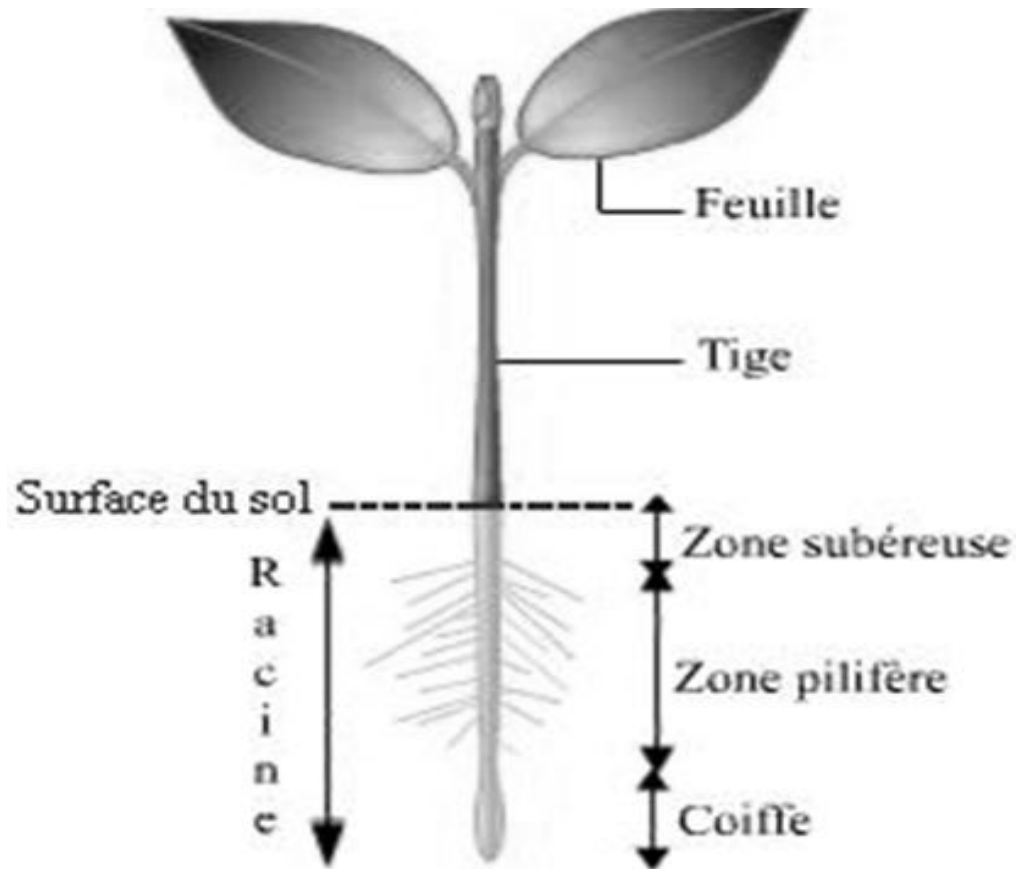
L'entrée de l'eau dans la plante s'effectue par **les poils absorbants** des racines essentiellement ; Les poils absorbants sont des cellules très allongées (**longueur 0,7 à 1 mm; diamètre: 12 à 15  $\mu\text{m}$** ) qui forment un chevelu visible à l'oeil nu un peu en arrière de l'apex ; très nombreux (200 à 500/cm<sup>2</sup> jusqu'à 2000/cm<sup>2</sup> chez les graminées, au total souvent plus d'un milliard par plante ; chez le seigle environ 14 milliards).

-Ils ont une existence transitoire (quelques jours à quelques semaines) et sont renouvelés au fur et à mesure de la croissance.

-Ils sont fragiles et disparaissent par l'acidité ou le manque d'oxygène.

❖ **Détermination de la zone d'absorption d'eau:**

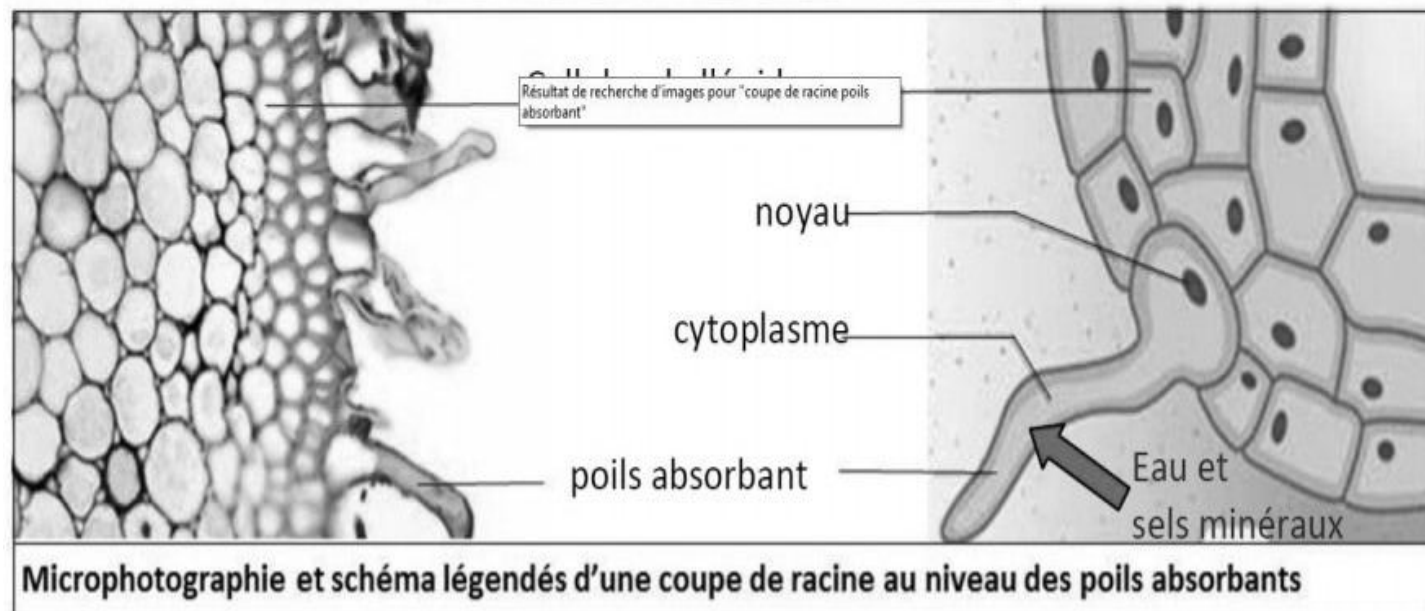
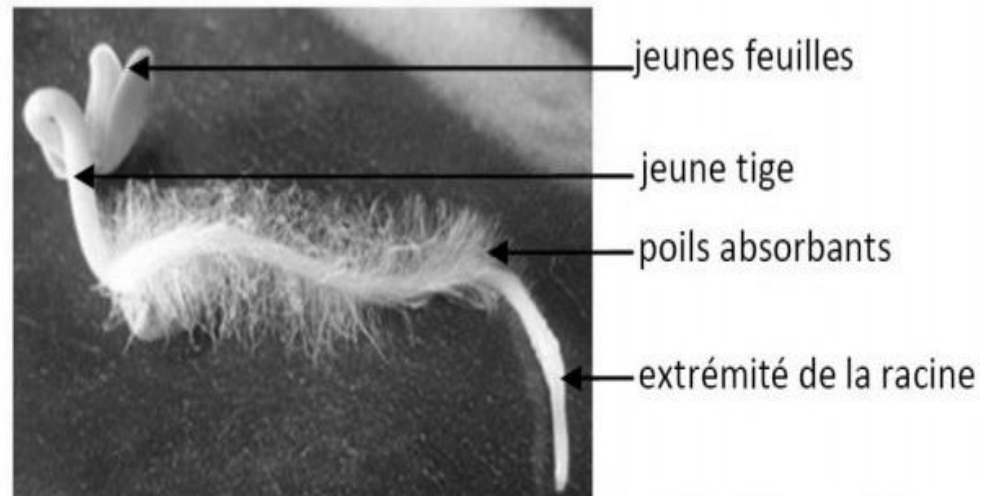
La plante peut absorber principalement l'eau par les parties non subérifiées de ses racines, les poils absorbants.



**Fig1 : Schéma représentant les zones d'une racine**

Les poils absorbants présentent des caractères morphologiques particulièrement favorables aux échanges d'eau :

- Paroi pectocellulosique très mince
- Vacuoles volumineuse
- Surface de contact considérable.



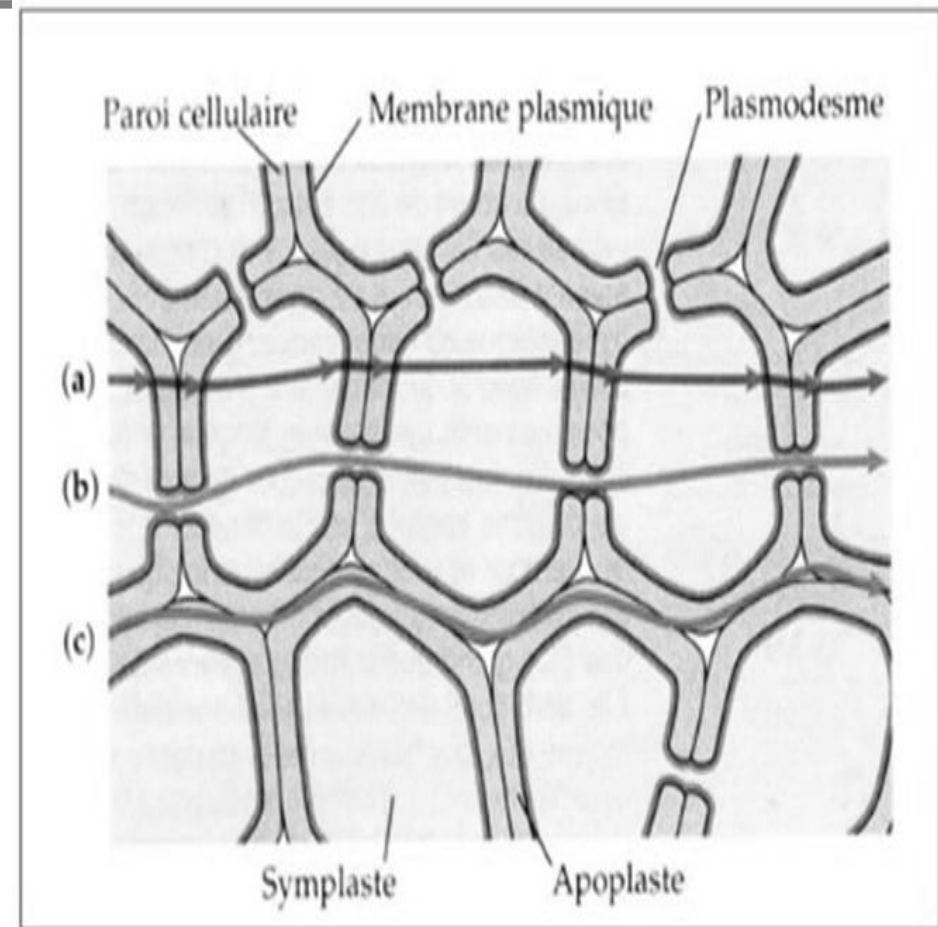
## I-6-2-Transport de l'eau aux vaisseaux de xylème

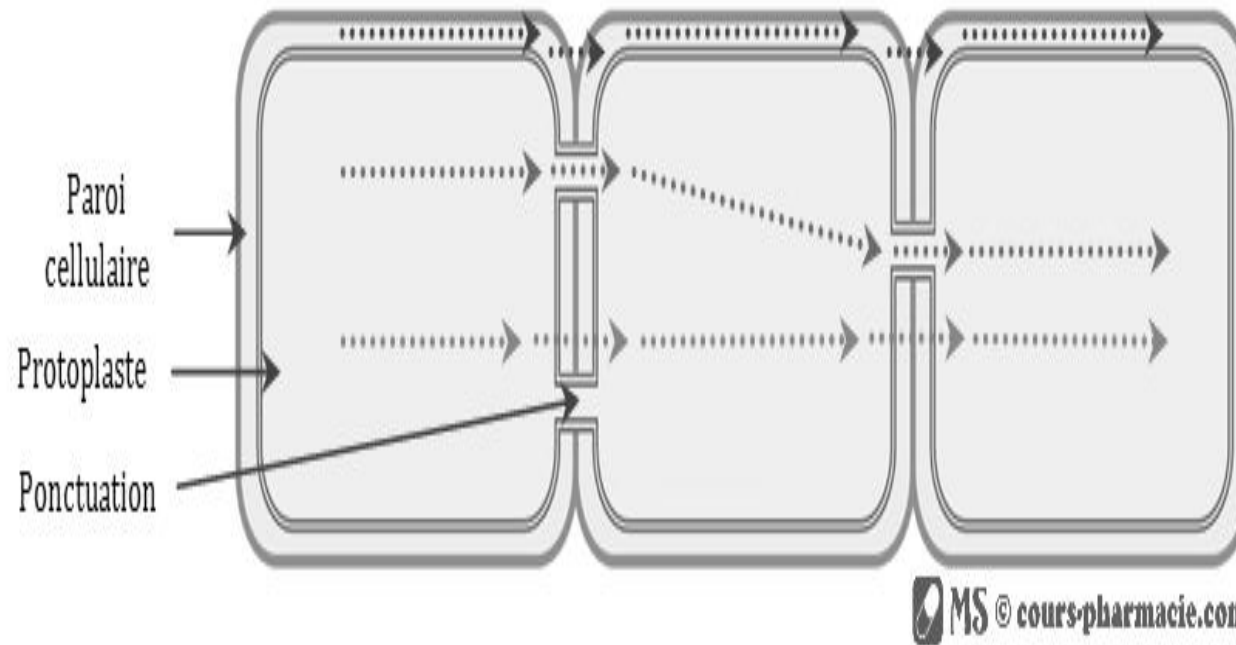
a). L'eau et les sels minéraux sont transportés par les poils absorbants jusqu'à l'endoderme. Le cheminement se fait par la loi de l'**osmose** (phénomènes physiques). Elle doit par la suite atteindre les vaisseaux de xylème, et pour se faire, elle peut utiliser trois voies:

A- La voie **TRANSCELLULAIRE**, correspond à la voie utilisant le cytoplasme dans la cellule végétale, mais qui traverse la paroi pour passer d'un cytoplasme à un autre.

B- La Voie **SYMPLASTIQUE** correspond à la voie utilisant le cytoplasme de la cellule végétale (aussi appelé protoplasme), ainsi que les plasmodesmes, au niveau des ponctuations, pour passer d'un cytoplasme à un autre.

C- La voie **APOPLASTIQUE** correspond à la voie utilisant la paroi végétale





*Schéma simplifié des voies utilisées par l'eau pour se rendre des racelles aux vaisseaux de xylème (vaisseaux de bois) : voie transcellulaire, voie symplastique et voie apoplastique.*



b). Des mesures de pression osmotique réalisées sur une racine indiquent l'existence d'une inversion du gradient de pression osmotique au niveau de l'endoderme. Des poils absorbants à l'endoderme, l'eau circule de **manière passive** selon les lois de l'osmose ; à partir de l'endoderme, la **progression nécessite une dépense d'énergie : c'est un transport actif**

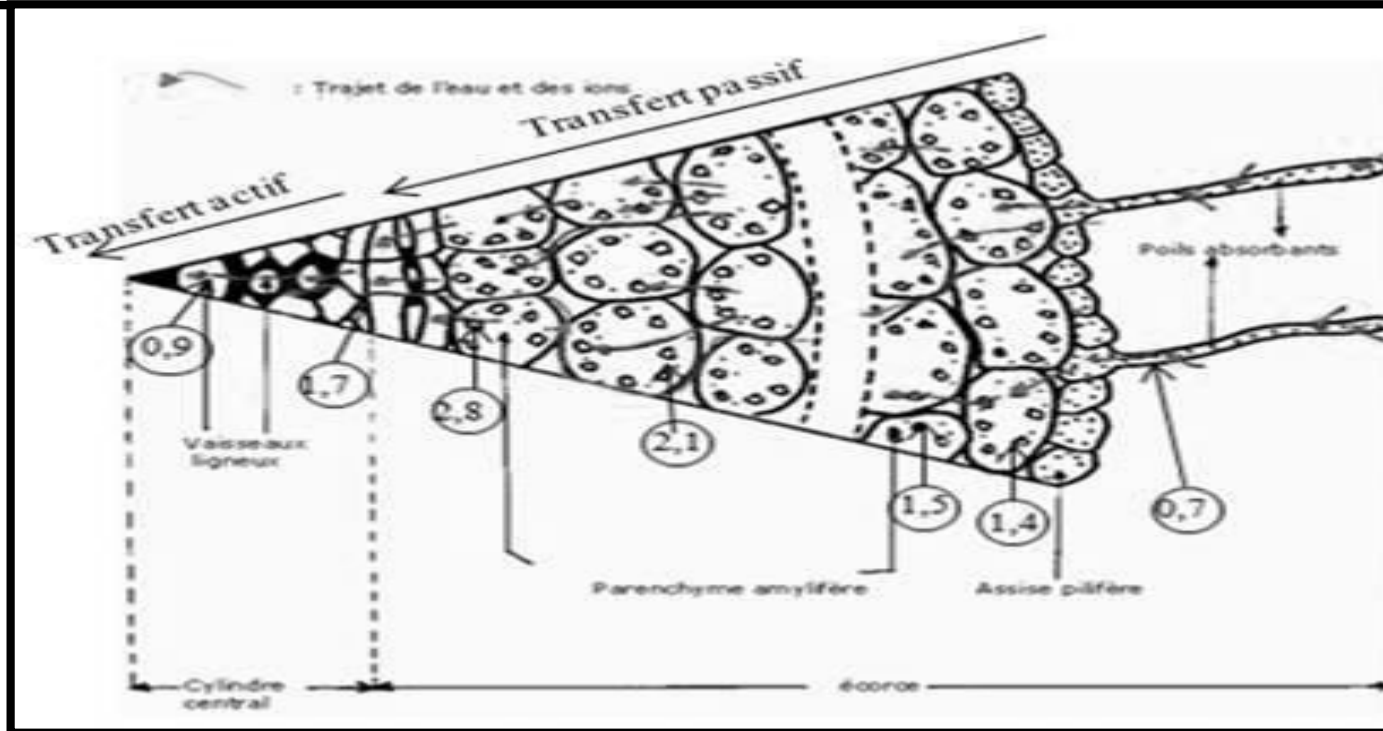
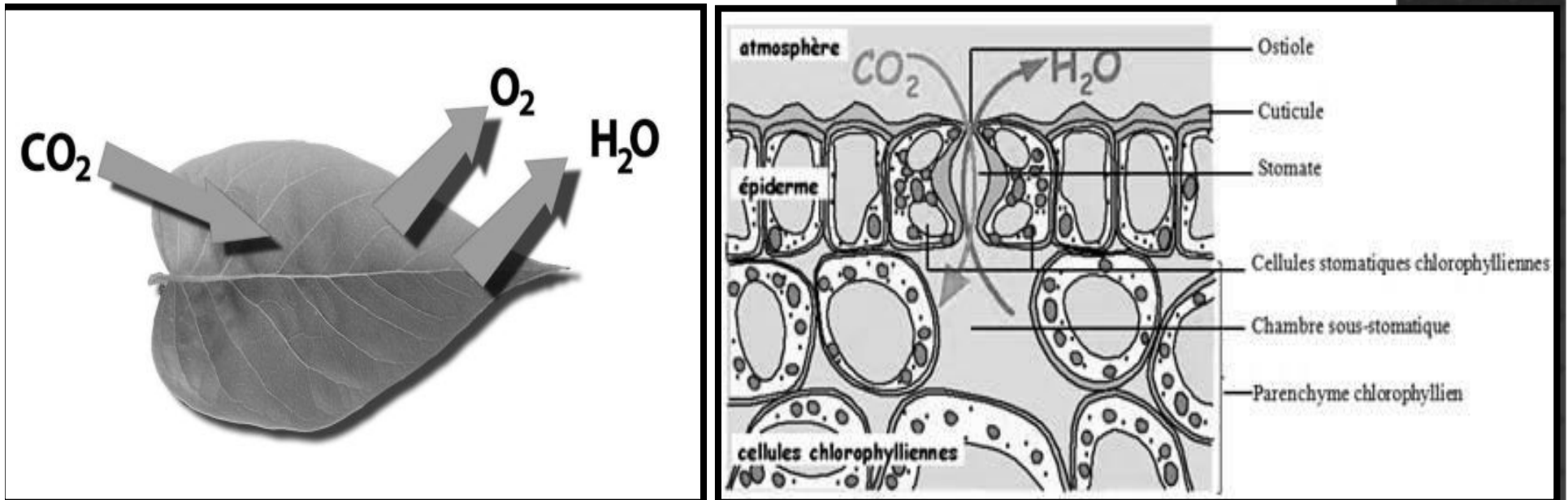


Figure : Trajet de l'eau du poil absorbant à l'endoderme de la racine

## II. Transpiration végétale

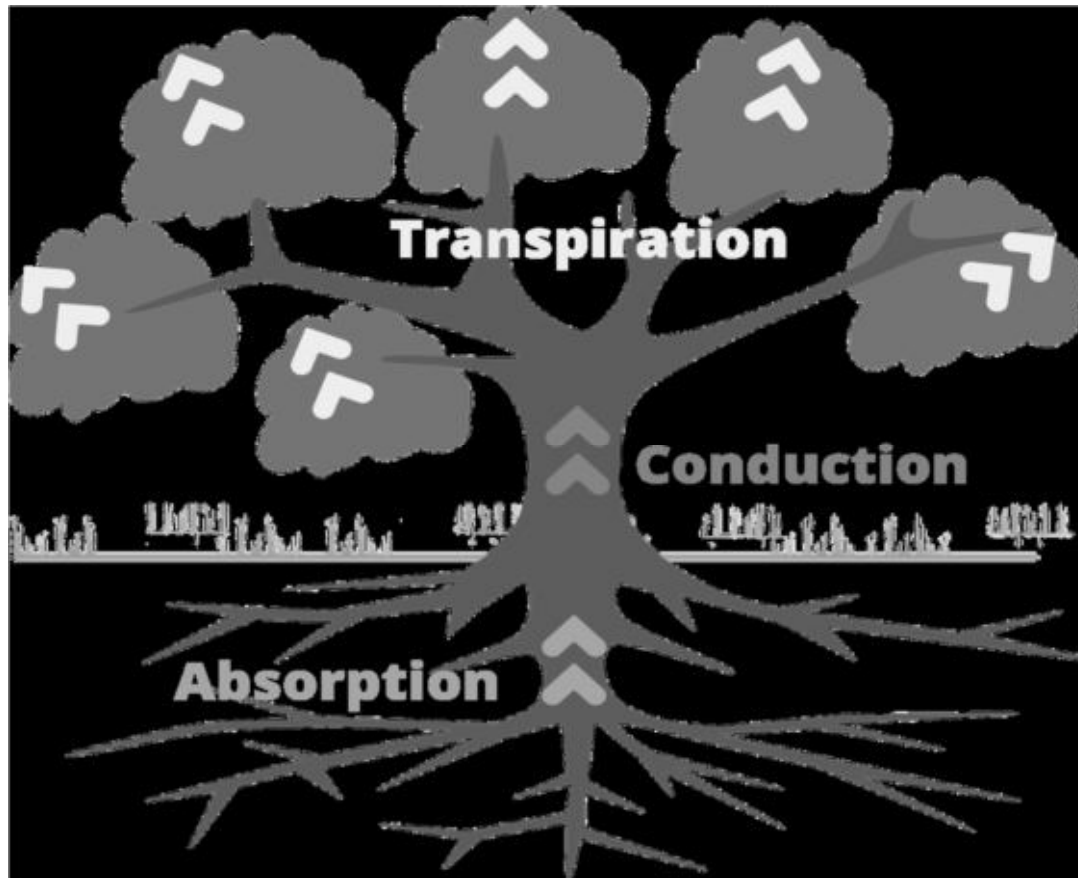
### II.1.Définition :

La transpiration végétale est un mécanisme essentiel qui permet le maintien de l'équilibre hydrique chez les plantes. Ce mécanisme est continu et défini comme **l'émission d'eau à l'état de vapeur** par les feuilles dans l'atmosphère. En revanche, les plantes absorbent la quantité d'eau qui y correspond par les racines.



## II.2. Rôle de la transpiration végétale :

- ✓ Assurer les mouvements d'eau à l'intérieur de la plante ;
- ✓ Contrôler de l'équilibre hydrique ;
- ✓ Transférer les sels minéraux aux feuilles ;
- ✓ Contribuer aux mouvements de la sève élaborée.



## II.3. Les facteurs influençant :

Au niveau de la plante, la transpiration dépend de plusieurs facteurs :

### 1. Facteurs structuraux :

- Surface foliaire : plus elle est grande plus la transpiration augmente.
- Nombre de feuilles : plus il est grand plus la transpiration sera forte.

### 2. Facteurs externes :

- Agitation de l'air : plus elle est forte plus la transpiration augmente.
- Température : plus il fait chaud plus la transpiration augmente.
- Humidité de l'air : plus elle est faible plus la transpiration augmente.
- Humidité du sol : plus le sol est sec plus la transpiration diminue
- Luminosité : la transpiration est plus importante le jour que pendant la nuit.

**La transpiration joue un rôle direct mais principal dans l'absorption de l'eau par la plante, et ceci grâce au fait qu'elle est le moteur de montée de sève.**

#### **II.4. Types de transpiration**

La transpiration se fait à deux niveaux: la  
**cuticule** et les **stomates**.

##### **La transpiration cuticulaire**

se fait au niveau de la cuticule des  
feuilles  
et représente 5 à 10% de la  
transpiration totale.

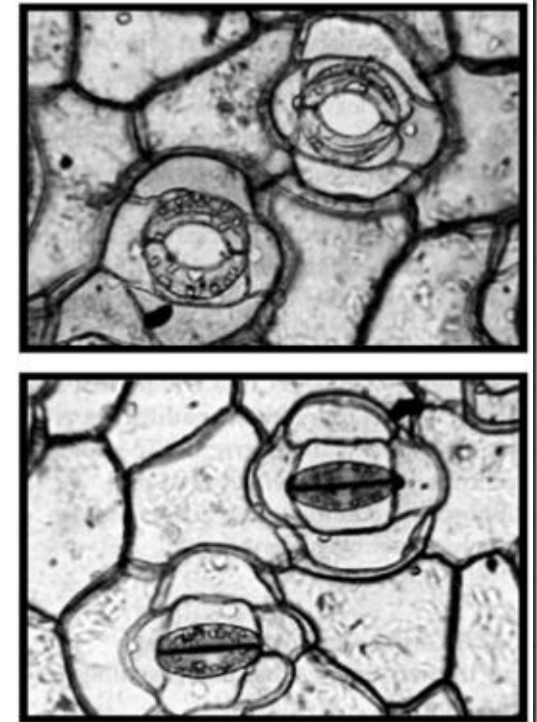
##### **La transpiration stomatique**

se fait au niveau des stomates  
et représente  
la majorité de la transpiration totale.

## II.5. Mécanismes d'ouverture des stomates

### Rappels: les stomates

- Siège des échanges gazeux ( $O_2$ ,  $CO_2$ ) et lieu de la transpiration (évaporation de l'eau sous forme de vapeur d'eau).
- La transpiration : stomates ouverts, fixation du  $CO_2$  atmosphérique.
- Fermeture des stomates lors d'un stress hydrique.
- L'ouverture ou la fermeture des stomates est due à une déformation des cellules de garde.
- Cette déformation dépend des forces osmotiques qui correspondent aux variations de la concentration de **potassium** intracellulaire.
- **$K^+$**  est le principal responsable des variations de pressions osmotiques observées. Il est indispensable pour le fonctionnement des stomates.

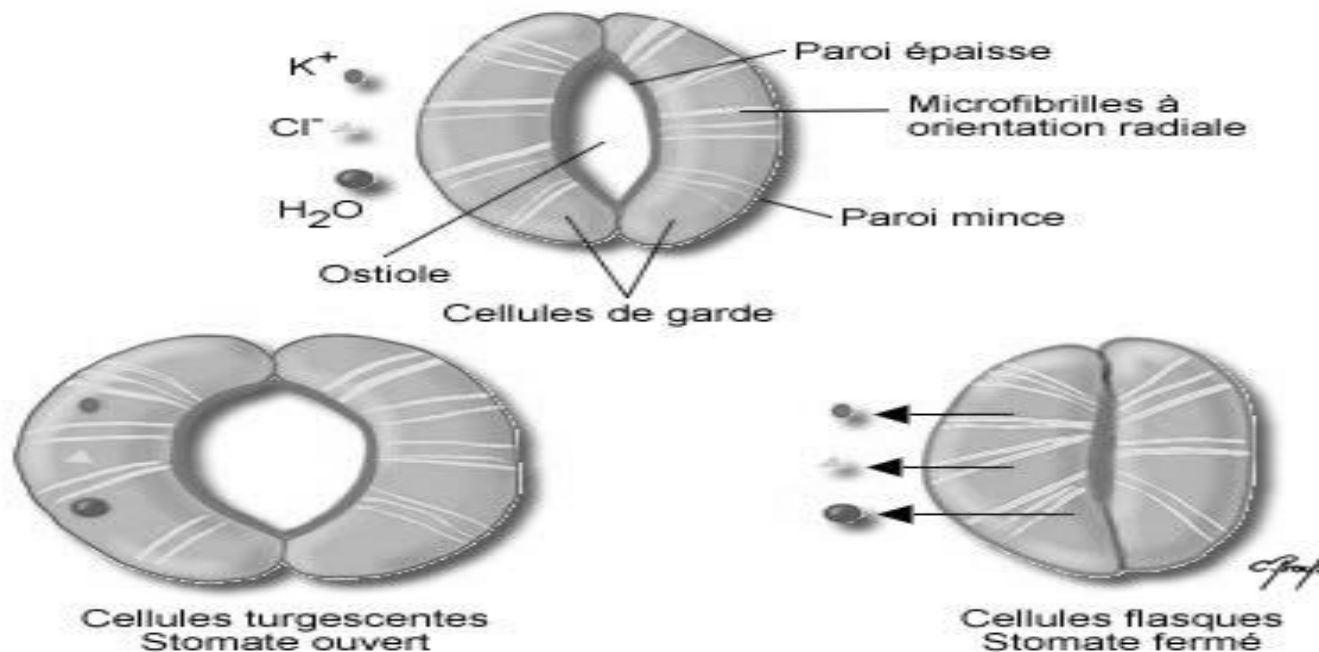


**Fig : ouverture et fermeture de stomates**

## II.5. Mécanismes d'ouverture des stomates

La transpiration stomatique varie suivant l'ouverture et à la fermeture des stomates, liées aux **différences de pressions osmotiques** dans les cellules de garde.

Les **cellules de garde** (donc les stomates) s'ouvrent ou se ferment selon les forces osmotiques qui correspondent aux **variations de la concentration de potassium intracellulaire**. Par augmentation des concentrations potassiques il y a formation d'un milieu **hypertonique** qui entraîne **une turgescence** des cellules de gardes, et ainsi une **ouverture** des stomates.



## II.6.Rôle de la transpiration dans la circulation de la sève brute

- Plus la plante transpire plus la succion sera efficace, et plus la plante absorbera de l'eau dans le sol.
- L'absorption de l'eau est donc liée étroitement à la transpiration qui crée un appel d'eau le long de la tige jusqu'aux feuilles.
- Mais ceci n'est vrai que jusqu'à un certain seuil au-delà duquel la plante sera à un stade de stress hydrique trop important, l'obligeant à fermer les stomates afin de se préserver.



## II.6. Epictèse

▪ Lorsque la pression osmotique  $P_e$  augmente, le sol devient de plus en plus hypertonique. La plante peut s'adapter en augmentant sa propre pression osmotique  $P_i$ .  
C'est l'**épictèse**.

## II.7. Déficit hydrique

▪ A pleine turgescence, les cellules sont gonflées et les parois tendues au maximum. Les feuilles ont alors un beau port. Mais si la quantité d'eau transpirée est supérieure à la quantité d'eau absorbée, on a un **déficit hydrique**.

Lors d'un **déficit hydrique**, les tissus aux vacuoles moins gonflées subissent un flétrissement.

S'il n'est pas trop fort, ni trop prolongé, le flétrissement est réversible. Mais s'il est permanent, la plante meurt.

### III. Nutrition minérale

#### Introduction

La nutrition minérale des plantes est l'ensemble des mécanismes impliqués dans le prélèvement, le transport, le stockage et l'utilisation des ions minéraux et des gaz nécessaires au métabolisme et aux différentes fonctions physiologiques chez la plante (**croissance, reproduction, développement...**).

Ces mécanismes sont assurés au niveau de différents organes de l'appareil végétatif de la plante (racines, tiges et feuilles).

### III. Nutrition minérale

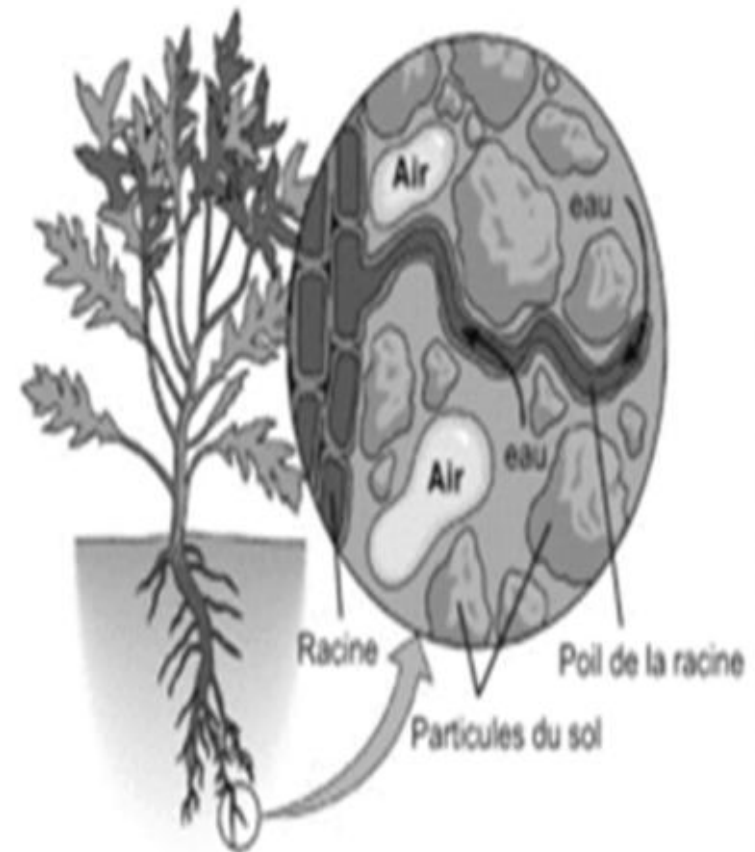
#### III.1. Détermination des besoins nutritifs des végétaux chlorophylliens

La plante se nourrit de **sels minéraux** qui **existent dans le sol** sous forme d'ions et qui **pénètrent dans les racines**.

**De grandes** surfaces racinaires et des systèmes actifs d'absorption expliquent que, malgré les faibles concentrations des ions dans la solution du sol, l'acquisition des nutriments minéraux par les plantes est un processus très efficace.

Les végétaux chlorophylliens puisent des matières minérales indispensables à leur bon fonctionnement dans leurs milieux environnant (sol, eau et air).

**L'absence ou carence de ces matières** perturbe leur développement.

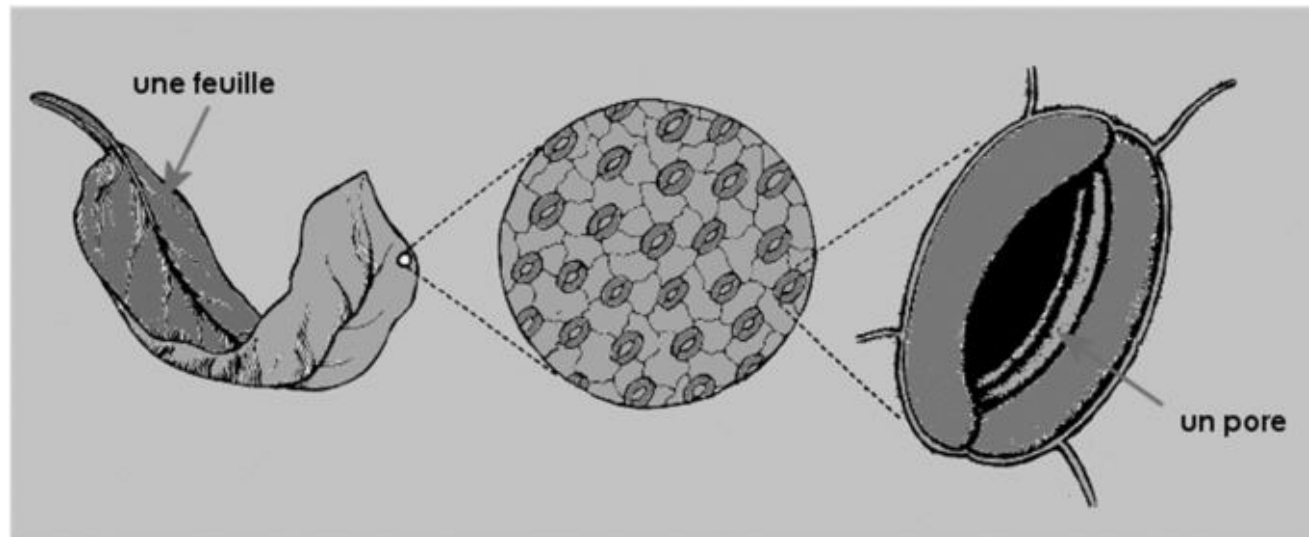


Racines et sol

### III. Nutrition minérale

#### III.2. Comment la nourriture est-elle transportée ?

Comme les animaux, la plante **transpire**. Elle perd de la vapeur d'eau au niveau des **feuilles** par des milliers de **pores** (les **stomates**).

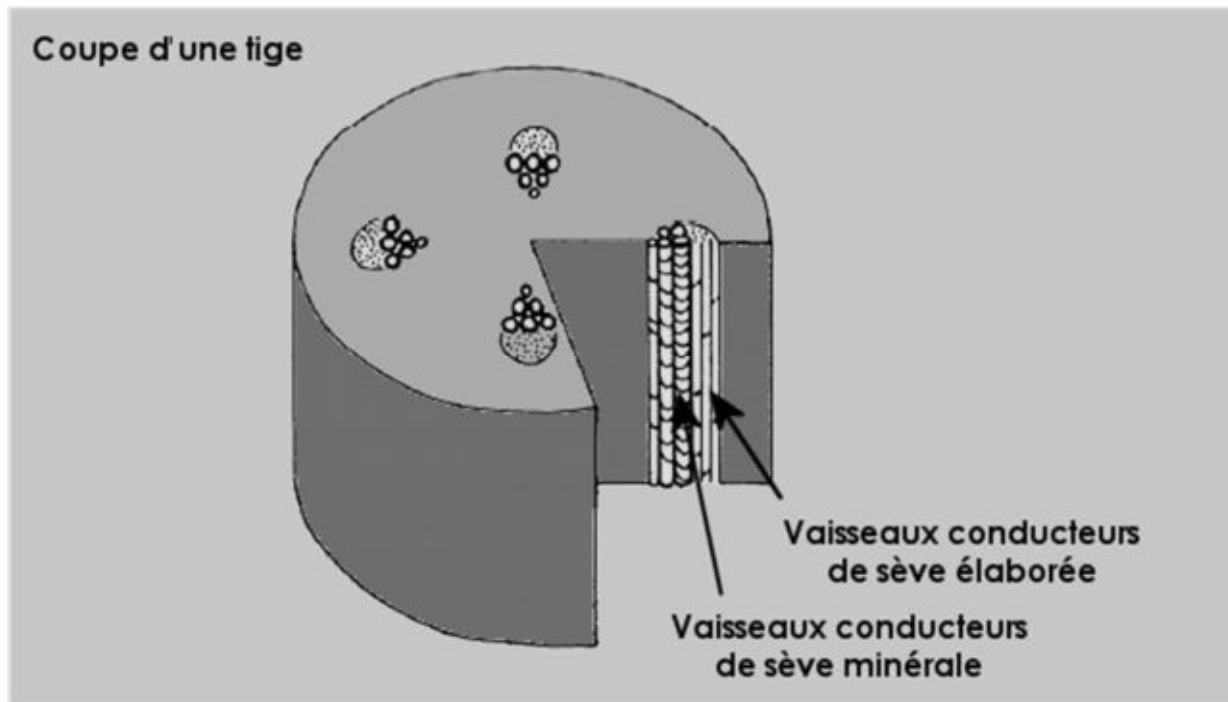


#### La respiration grâce aux feuilles

Cette perte crée une **aspiration** de la **sève minérale** qui monte continuellement des **racines** et apporte ainsi à la plante l'**eau** et les **sels minéraux** indispensables à la plante.

### III. Nutrition minérale

C'est au niveau de la **tige** que les deux types de sève circulent : la **sève brute** par le **xylème** et la **sève élaborée** par le **phloème**.



La nutrition végétale comprend :

- la nutrition minérale : prise d'eau et de sels minéraux dans le sol
  - pour constituer la sève minérale (sève brute)
- et –

la nutrition carbonée : prise de gaz carbonique dans l'air et utilisation de la sève minérale pour constituer la sève élaborée à l'aide de la photosynthèse

### III.3. LE SOL

Le sol est la région la plus superficielle de la croûte terrestre, constamment remaniée par les agents atmosphériques (pluie, vent, alternances chaud, froid etc.) et par des contient aussi des êtres vivants qu'il abrite (bactéries, champignons, vers, et autres) qui y jouent un rôle important.

La composition chimique du sol est le résultat d'un équilibre dynamique.

- Un sol fertile est constitué d'une partie minérale et d'une partie organique.
- Composante minérale : se forme à partir de l'érosion de la roche mère,
- Composante organique : c'est l'humus du sol, c'est à dire la matière organique en décomposition.
- Un sol fertile peut contenir de 1% à 30% d'humus.

### III.3.1.LA CAPACITÉ D'ÉCHANGE CATIONIQUE (CEC) D'UN SOL

La capacité d'échange cationique d'un sol (CEC) traduit la faculté de celui-ci à fixer certains éléments minéraux à la surface du complexe argilo-humique. Ces minéraux pourront être restitués ensuite aux plantes par des phénomènes d'échange.

Quantité totale de cations échangeables que le sol peut adsorber. Se dit parfois: capacité totale échange; pouvoir d'échange de cations; ou capacité d'adsorption de cations. Elle s'exprime en milliéquivalents par 100 g de sol ou de toute autre substance adsorbante, comme l'argile.

### III.4. Les éléments minéraux

#### III.4.1. Éléments essentiels, macro- et micro-éléments

Un élément est essentiel si, en son absence, la plante ne peut pas réaliser un cycle de développement complet, de la graine à la graine.

❖ Les macro-éléments (outre C, H et O), sont N, K, Ca, Mg, P, et S (et la silice Si chez certaines espèces).

Chacun d'entre eux représente au moins 0.1% ( 0.1 % à 4 %) de la matière sèche de la plante.

- L'azote N est prélevé du sol par les racines sous forme de nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) ou d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ou provient chez certaines espèces de la fixation de l'azote atmosphérique par des bactéries symbiotiques.

- K, Ca, Mg, P et S sont prélevés du sol sous forme d'ions  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , phosphate ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) et sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

❖ Les micro-éléments (Les oligo-éléments): Cl, Fe, Mn, Zn, B, Cu, Ni et Mo, sont prélevés sous forme de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  ou  $\text{Fe}^{3+}$  (selon les espèces),  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , borate ( $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ ),  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  et  $\text{MoO}_4^{2-}$ .



### III.4. Les éléments minéraux

#### 1. Macroéléments

##### a. macroéléments principaux

**Azote(N)**: éléments majeurs pour la croissance, Il entre dans la constitution des protéines, des acides aminés, de la chlorophylle ainsi que de l'ADN.

**Phosphore(P)**: intervient dans la photosynthèse, la gestion de l'énergie métabolique (ATP), la constitution d'enzymes, l stimule la croissance et le développement des racines et des fruits.

**Potassium(K)**: le contrôle de la pression osmotique, la régulation stomatique, l'économie de l'eau, les résistances au stress hydrique, au gel et aux maladies.

##### b. Macroéléments secondaires

***Calcium(Ca).***

***Magnésium(Mg).***

***Soufre(S).***

***Sodium(Na).***

## 2-Les oligo-éléments

:

Les micro-éléments ou oligo-éléments jouent un rôle important dans la santé et la croissance de la plante, ils comprennent le Bore (B), Manganèse (Mn), Zinc (Zn), (Cl),, Molybdène (Mo), Cobalt (Co), cuivre (Cu).

Les quantités d'oligo-éléments assimilés par les plantes sont sous forme de traces mais leur rôle dans la nutrition globale de la plante est très important. Ils sont présents dans la plante en quantité très faible qui ne dépasse pas 0.01 % de la matière sèche.

On trouve le soufre chez les crucifères, le potassium chez les algues, le silicium chez les graminées, les prêles et les fougères.

On trouve des variations selon les organes d'une plante. La graine est plus riche en phosphore pauvre en potassium que la plante.

Les parties âgées sont plus riches en calcium alors que les parties jeunes sont riches en potassium, phosphore et azote.

### III.4.2. Éléments non essentiels

Les éléments non essentiels ( facultatifs), on les divise en 2 :

- **Éléments utiles** ou essentielles pour quelques plantes seulement (Na, Si, Co, Al, Se, Ti).
- **Éléments toxiques**: ce sont ceux qui inhibent la croissance et le développement des plantes, leur action peut être en relation avec un blocage d'un système enzymatique, en tenant compte que l'élément minéral ajouté en concentration élevée inhibe la croissance et le développement: il devient toxique.

## L'azote (N)

L'azote (N) est un élément nutritif essentiel à la croissance et au développement des végétaux et donc à la production de la biomasse pour les plantes cultivées. C'est un constituant des acides aminés, protéines, et de plusieurs vitamines.

Sa carence provoque la diminution marquée de la chlorophylle, d'où chlorose (jaunissement) d'abord des vieilles feuilles puis des jeunes, suivie du ralentissement et de l'arrêt de la photosynthèse. Cela explique l'importance de la nutrition azotée en nutrition végétale.

Lorsque l'alimentation azotée est perturbée, les différents organes des plantes sont plus petits, et les rendements diminués. Une plus faible densité des peuplements, à une fructification précoce et à une teneur réduite en protéines.

sous sa forme gazeuse  $N_2$ , il ne peut pas être utilisé directement par les plantes qui ne peuvent, à l'exception de certains micro-organismes (bactéries et algues notamment), l'assimiler que sous forme minérale, ammoniacale ( $NH_4^+$ ) ou nitrique ( $NO_3^-$ ).

## L'azote (N)

En effet, l'azote doit absolument subir une transformation chimique avant de pouvoir être utilisé par les organismes vivants.

C'est le rôle du cycle de l'azote qui permet de transformer l'azote moléculaire gazeux et l'azote organique en azote minéral (ammoniac et nitrates).

Les engrais commerciaux (engrais chimiques) sont généralement formés d'un mélange de ces trois éléments (N, P et K). Souvent, ces engrais (surtout les nitrates et les phosphates) présentent des impacts aussi bien sur l'être humain que sur l'environnement dans lequel il évolue.

## Le phosphore (P)

- Le phosphore intervient dans les transferts énergétiques : processus de stockage et de transport de l'énergie dans les cellules (ATP), dans la transmission de caractères héréditaires (acides nucléiques), la photosynthèse et la dégradation des glucides.
- Le phosphore est un constituant important des protéines phosphorées (nucléoprotéines, phosphoprotéines, etc.). En outre, un grand nombre de réactions métaboliques exigent des phosphorylations préalables pour se dérouler.
- Il est essentiel pour la floraison, la précocité, le grossissement des fruits et la maturation des graines.

### *Carence en P*

- Les plantes carencées en P ont une croissance ralentie; le développement des racines et la densité des populations sont réduits; la floraison et la maturation sont retardées.
- Une carence en P provoque une diminution de la production de protéines et de vitamines. la résistance au gel est moins bonne.

## Le potassium (K)

- Le potassium n'est pas un élément constitutif des hydrates de carbone, des lipides ou des protéines, mais il joue le rôle d'activateur de différentes enzymes.
- Il permet l'augmentation de la pression cellulaire.
- Il régularise l'économie de l'eau dans la plante et réduit l'évaporation; il en accroît donc la résistance à la sécheresse.
- Le potassium est l'ion principal des solutions cytoplasmiques.
- Il joue un rôle fondamental dans les processus d'échanges trans-membranaires passifs et actifs dans les cellules.
- Il améliore le rendement de l'assimilation chlorophyllienne et la résistance au gel.
- Les légumineuses, la pomme de terre, les betteraves, le maïs et l'avoine ont des besoins élevés en K.



### *Carence en K*

- Goût moins agréable (fruits et légumes).
- Réduction de la résistance au gel et à la sécheresse.
- Transpiration et respiration plus importantes.
- Mauvaise conservation des fruits et légumes.

## Le magnésium (Mg)

- Le magnésium est un constituant de la chlorophylle. Il en favorise la synthèse ainsi que celle de la xanthophylle et celle du carotène.
- Il entre dans la composition de composés organiques essentiels comme la pectine. C'est aussi un activateur d'enzymes.
- Il favorise l'absorption du phosphore et son transport dans les graines où il favorise la synthèse des lipides.
- Le magnésium évite l'absorption excessive de potassium par les plantes.

### Carence en Mg

- Chez les plantes carencées en magnésium, la production d'hydrates de carbone est réduite et les amides, qui servent à la protéosynthèse, s'accumulent dans les feuilles.

### III.5.Modalité d'absorption des éléments minéraux:

- L'absorption des éléments minéraux se fait à partir de la solution de sol . Les éléments minéraux sont absorbés sous forme d'ions .
- certains éléments comme **le Fer** sont difficilement absorbables à Ph élevé; l'existence de certains complexes organométallique, les chélate, permet de surmonter cette difficulté.
- L'absorbance des éléments minéraux est sélective. La vitesse de franchissement se fait dans l'ordre suivant:
  - **les cations** :  $\text{NH}_4^+/\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$
  - **Les anions**:  $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-/\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{SO}_4$
- **La vitesse des anions est inférieure** à celle **des cations**. L'intensité de l'absorption dépend de: l'espèce, l'âge, la composition minérale du milieu et l'état physiologique de la cellule.

### III.5.Métabolisme d'absorption des éléments minéraux:

L'absorption des éléments minéraux se fait en 2 étapes:

- a) **l'adsorption** : étape de fixation superficielle, pendant laquelle, l'élément adsorbé peut être désorbé. La racine exprime un pouvoir adsorbant par le quel elle peut échangé ses cations avec la solution du sol c'est la capacité d'échange cationique racinaire (C.E.C.R).
- b) **l'absorption** : (au sens strict) qui suit la première étape et peut être active ou passive selon les ions.

### III.6.Transport des ions dans la racine

L'eau et les sels minéraux doivent d'abord entrer dans la racine d'une manière radiale et se rendre jusqu'à la stèle (cylindre vasculaire), il y a un déplacement de cellule à cellule en suivant 3 voies possibles:

#### 1. La Voie transmembranaire

L'eau et les ions peuvent se déplacer à travers la membrane plasmique (ce déplacement le moins utilisé). Les substances sortent d'une cellule et pénètrent dans la cellule voisine en traversant la membrane et la paroi cellulaire.

**2. La voie apoplastique:** où les ions et l'eau se déplacent dans l'espace de la paroi. Le déplacement se fait de la forte concentration vers la plus faible concentration. Le mouvement des ions se fait d'une manière rapide et passive sans traverser la Membrane.

**3. La voie symplastique:** où l'eau et les ions pénètrent dans la cellule et se déplacent par les plasmodesmes. C'est un mouvement **lent et actif** qui **nécessite de l'énergie (ATP)**. Une fois arrivés à l'endoderme, il y a une sélection entre les ions. Dans cet endroit, les molécules ne peuvent que passer par la membrane plasmique (voie de symplaste) qui permet de faire une sélection car la bande de Caspary, constituée de cire, les empêche de passer. Puis une fois l'endoderme passé, les 3 voies de déplacements peuvent être de nouveau empruntées jusqu'à être chargées dans le xylème.

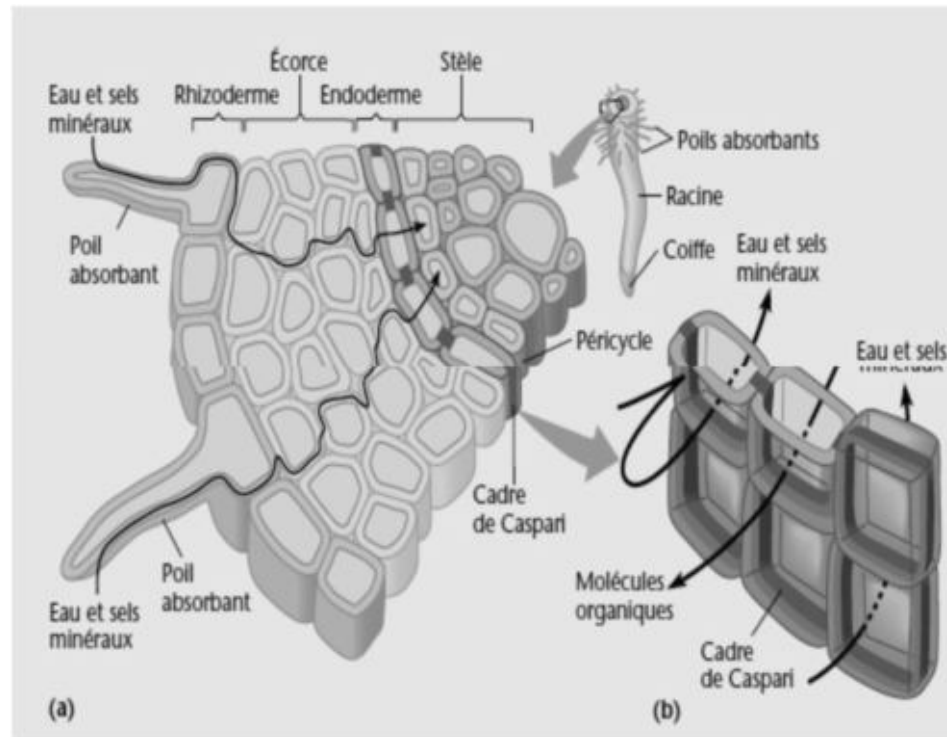


Fig: L'endoderme

- (a) L'eau et les sels minéraux peuvent progresser entre les cellules du rhizoderme et de l'écorce mais ils doivent passer à l'intérieur des cellules de l'endoderme à cause de la présence du cadre de Caspari.
- (b) Le cadre de Caspari oblige l'eau et les minéraux dissous provenant du sol à progresser dans les cellules de l'endoderme au lieu de passer entre elles. (voie symplasmique)

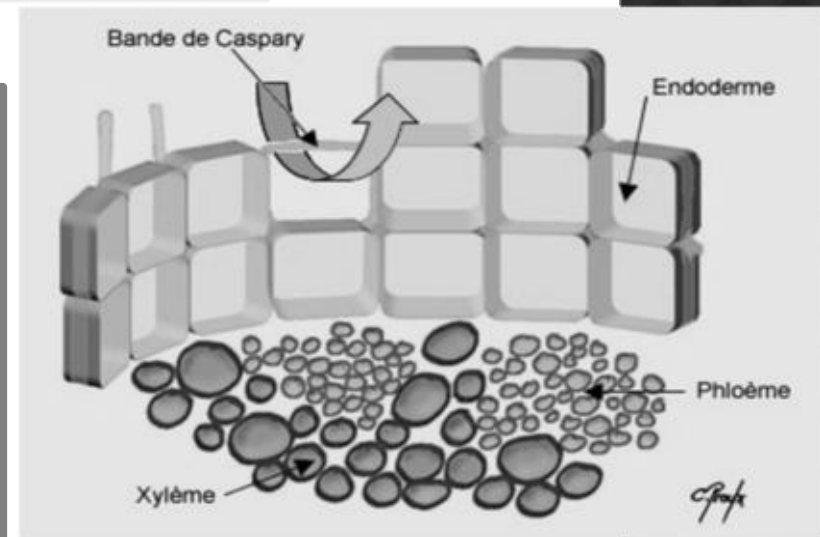
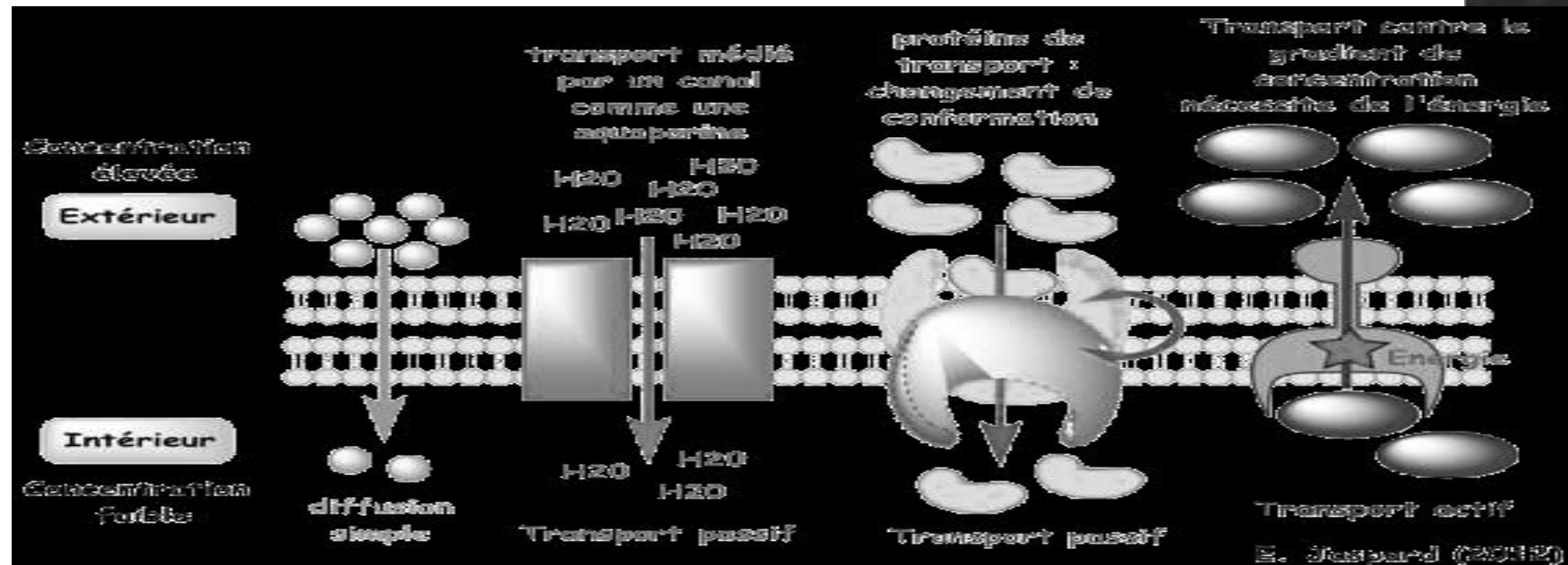


Fig: La bande de Caspari

## Mécanismes de l'absorption.

L'absorption est sensible à la température et aux inhibiteurs métaboliques ; par exemple, une cellule morte n'absorbe pas.

On trouve trois possibilités de pénétration : la diffusion, le transport passif (diffusion facilitée), l'osmose, le transport actif.



<i>Les transports passifs</i>	<i>Les transports actifs</i>
<p>Ils ne nécessitent pas d'énergie car ils s'effectuent dans le sens du gradient de concentration (ou gradient électrochimique).</p>	<p>Ils nécessitent de l'énergie car ils s'effectuent contre le gradient de concentration (transport non spontané).</p>
<p><i>A- La diffusion directe :</i> les molécules "liposolubles" diffusent au travers de la membrane biologique.</p> <p><i>B- La diffusion facilitée :</i> les molécules utilisent une protéine de transport.</p> <p><i>C- L'osmose :</i> mouvement net de molécules de solvant au travers d'une membrane semi-perméable vers un compartiment contenant une concentration plus importante d'un soluté.</p> <p>Ce mouvement tend à égaliser la concentration de ce soluté des 2 côtés de cette membrane.</p>	<p><i>A- Transport actif primaire (ou direct) :</i> l'énergie est fournie par l'hydrolyse d'un nucléotide triphosphate (exemple : pompes à sodium et hydrolyse de l'ATP).</p> <p><i>B- Transport actif secondaire (ou couplé):</i> l'énergie est fournie par une différence de potentiel électrochimique (exemple : un gradient de concentration de sodium). Le terme "secondaire" signifie que cette différence de potentiel électrochimique résulte d'un transport actif primaire (exemple : pompe à sodium et hydrolyse de l'ATP).</p>



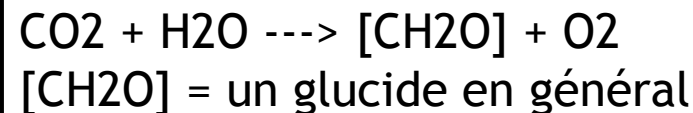
## IV. La nutrition carbonée: La photosynthèse

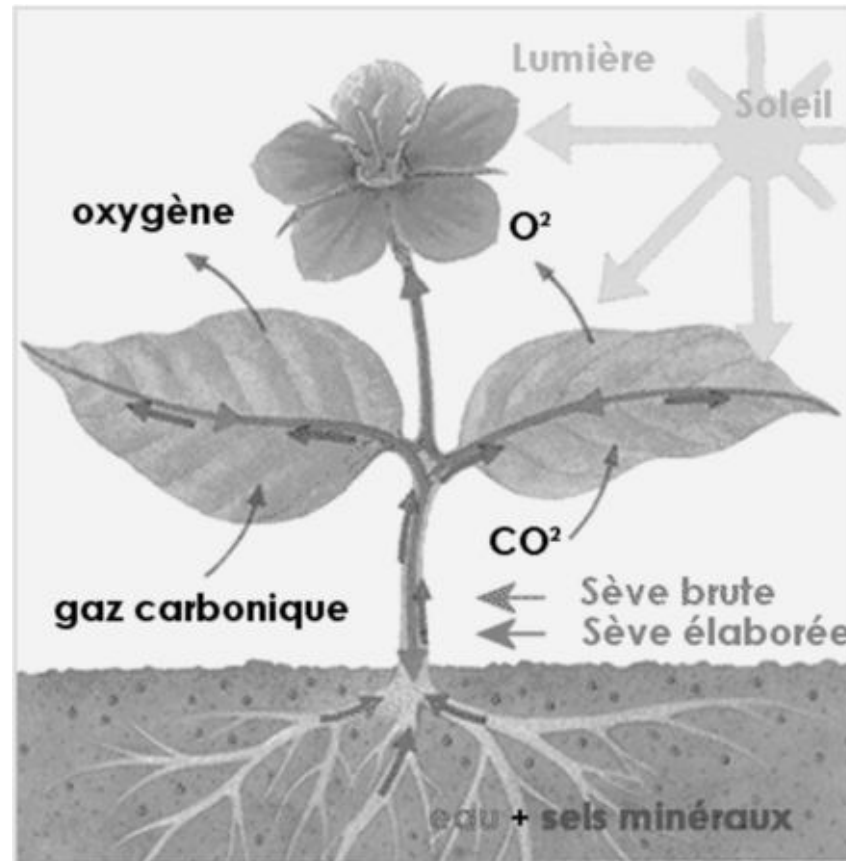
### Introduction

La vie sur terre dépend de l'énergie solaire : les végétaux convertissent l'énergie lumineuse en énergie chimique. Ce processus s'appelle la **photosynthèse**.

Les **autotrophes** sont les producteurs de matière organique et les **hétérotrophes** en sont les consommateurs.

Les **photoautotrophes** utilisent l'énergie lumineuse pour synthétiser des molécules organiques à partir de **CO<sub>2</sub>** et d'**H<sub>2</sub>O**.





La **photosynthèse** est l'ensemble des réactions qui permettent aux plantes vertes, qui contiennent de la **chlorophylle**, de créer de la matière en utilisant l'énergie lumineuse du Soleil, dans les conditions naturelles. Au cours de ce processus, les **feuilles vertes** captent du **gaz carbonique** et rejettent de l'**oxygène**.

Sous les feuilles, les **stomates** permettent l'évaporation d'une partie de l'**eau** absorbée et l'absorption du **dioxyde de carbone**.

## IV. La photosynthèse

Le principal élément nutritif intervenant dans la nutrition végétale est le **carbone**, tiré du **dioxyde de carbone** de l'**air** par la majorité des plantes, grâce au processus de la **photosynthèse**.

Les plantes non **chlorophylliennes** qui n'utilisent pas la photosynthèse dépendent en général d'autres plantes pour leur nutrition carbonée. C'est le cas des plantes **parasites**.

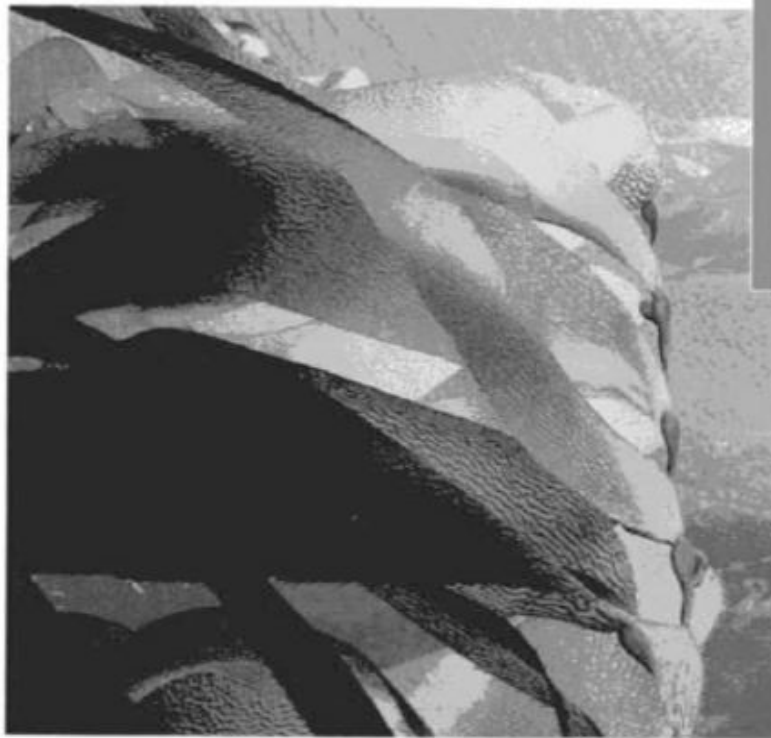
La nutrition fait appel à des processus d'absorption de **gaz** et de **solutions minérales** soit directement dans l'**eau** pour les **végétaux** et les **plantes aquatiques**, soit dans le cas des végétaux vasculaires dans la **solution nutritive** du **sol** par les **racines** ou dans l'air par les **feuilles**.

► **Figure 10.2 Photoautotrophes.**

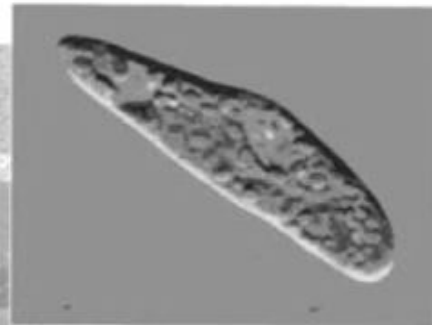
Les photoautotrophes utilisent l'énergie lumineuse pour synthétiser des molécules organiques à partir de dioxyde de carbone et (généralement) d'eau. Ils assurent ainsi leur nutrition et celle de tous les êtres vivants. **(a)** Dans le milieu terrestre, les Végétaux sont les principaux producteurs de nourriture. Dans les milieux aquatiques, les organismes photosynthétiques comprennent: **(b)** des algues multicellulaires, telles que cette algue brune; **(c)** des Protistes unicellulaires, comme les euglènes; **(d)** les Cyanobactéries et **(e)** certains Procaryotes photosynthétiques, dont les Bactéries pourpres sulfureuses, qui produisent du soufre (petites sphères) (c, d, e: MP).



**(a) Plantes**

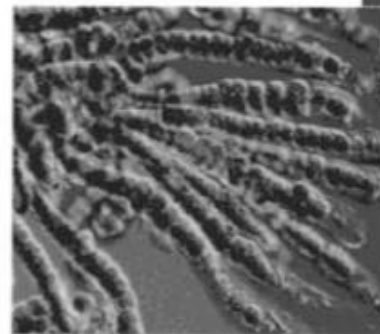


**(b) Algues multicellulaires**



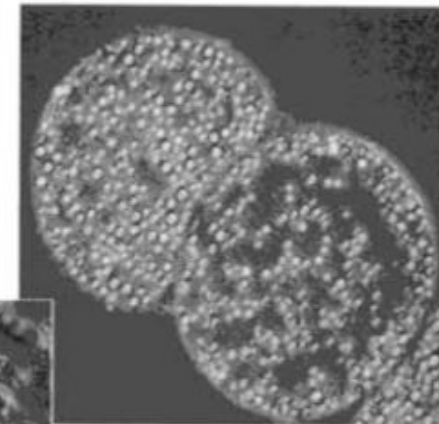
**(c) Protiste unicellulaire**

10  $\mu\text{m}$   
(850  $\times$ )



**(d) Cyanobactéries**

40  $\mu\text{m}$



**(e) Bactéries pourpres sulfureuses**

1,5  $\mu\text{m}$   
(8 000  $\times$ )

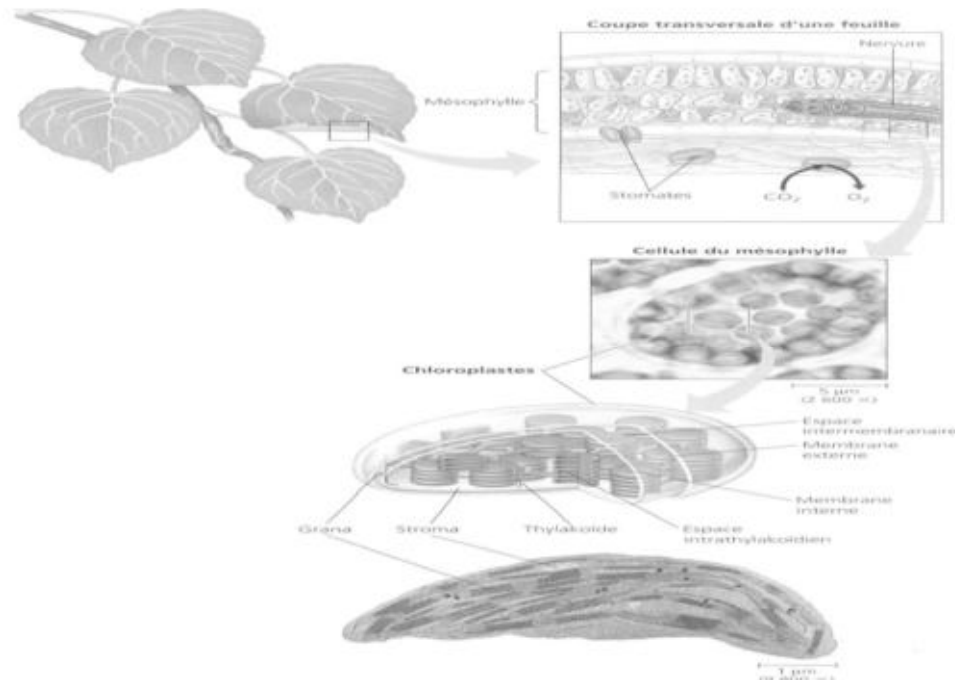
# IV. La photosynthèse

## 1. Localisation du processus de la photosynthèse

La photosynthèse se passe dans les cellules des végétaux, surtout dans le mésophylle, le tissu interne des feuilles. Le CO<sub>2</sub> et l'O<sub>2</sub> entrent et sortent des feuilles par des pores microscopiques appelés **stomates**.

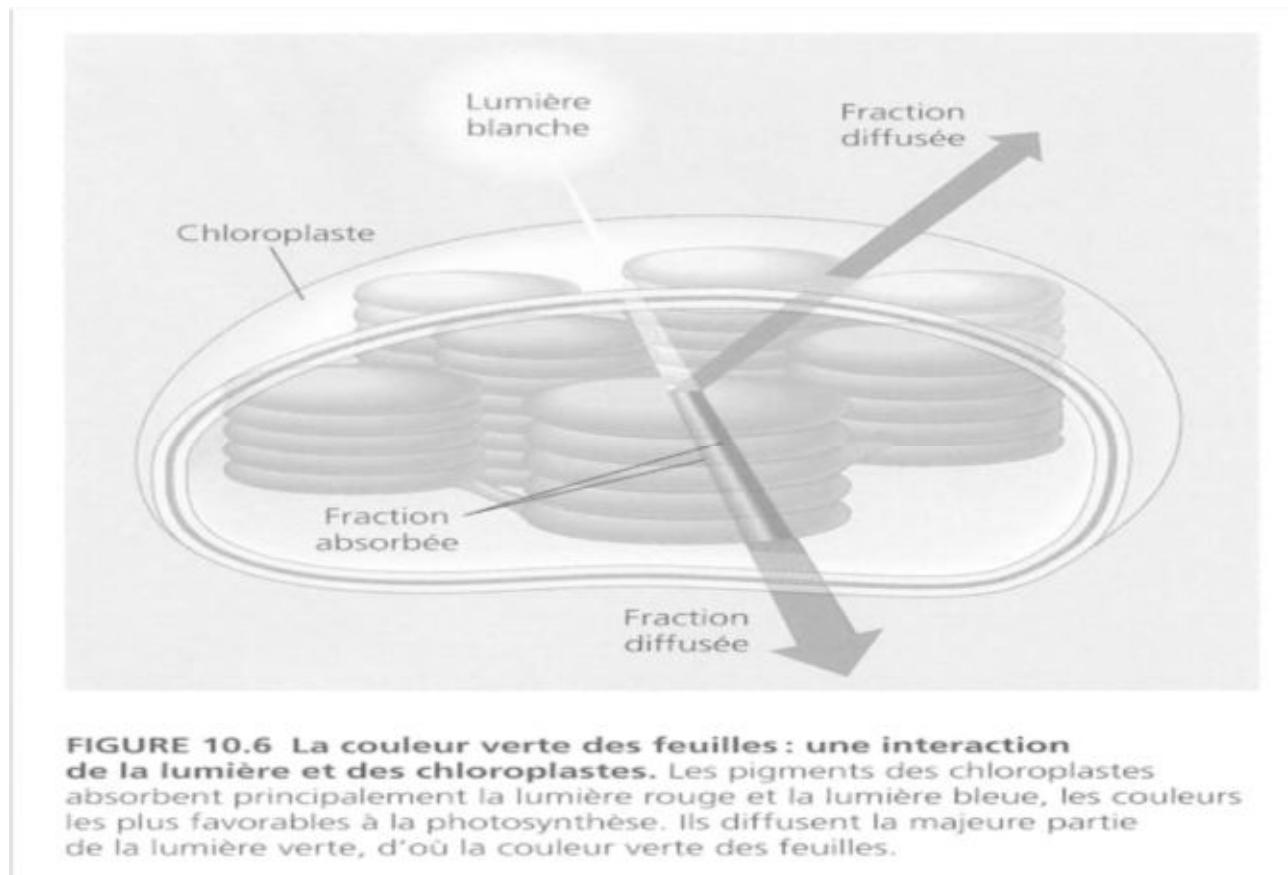
Ces cellules contiennent des **chloroplastes** (environ 30-40). A l'intérieur se trouvent les **thylakoïdes** qui contiennent la chlorophylle. La **chlorophylle** est un pigment vert qui absorbe l'énergie lumineuse.

**FIGURE 10.2 Site de la photosynthèse dans une plante.** Les feuilles sont les principaux organes de la photosynthèse chez les végétaux. Les illustrations représentent des agrandissements successifs allant de la feuille à la cellule, puis au chloroplaste (le site de la photosynthèse). Les échanges gazeux entre le mésophylle (c'est le tissu interne des feuilles) et l'atmosphère s'effectuent par des pores microscopiques appelés stomates. Les chloroplastes, qui se trouvent majoritairement dans le mésophylle, sont entourés d'une double membrane ; ils contiennent un liquide dense appelé stroma. La membrane des thylakoïdes (des sacs membranaires aplatis) crée le stroma de l'espace intrathylakoïdien. Les thylakoïdes forment des empilements appelés grana. (Au milieu, à droite, HEP ; en bas, à droite, HEP.)



## ❖ Lumière solaire et pigments photosynthétiques

La matière peut absorber ou diffuser la lumière. Les substances des organismes photoautotrophes qui absorbent la lumière s'appellent des **pigments**. La chlorophylle absorbe la lumière rouge et la lumière bleue tout en diffusant la lumière verte, que nous voyons.



## ❖ Spectre d'absorption des pigments des chloroplastes

La chlorophylle *a* absorbe la lumière *bleue* et la lumière *rouge* = longueurs d'onde efficaces pour la photosynthèse.

La chlorophylle *a* n'est pas seule mais est la seule capable de déclencher les réactions photochimiques.

Les pigments accessoires (*chlorophylle b* et *caroténoïdes*) absorbent aussi des photons et une partie de l'énergie est transférée à la chlorophylle *a*

## 2. Les deux étapes de la photosynthèse

La photosynthèse se déroule en deux grandes étapes :

I. les **réactions photochimiques** = les étapes qui **convertissent l'énergie solaire en énergie chimique**. La lumière déclenche un **transfert d'électrons et de protons de l'eau vers le NADP+**. L'O<sub>2</sub> est libéré.

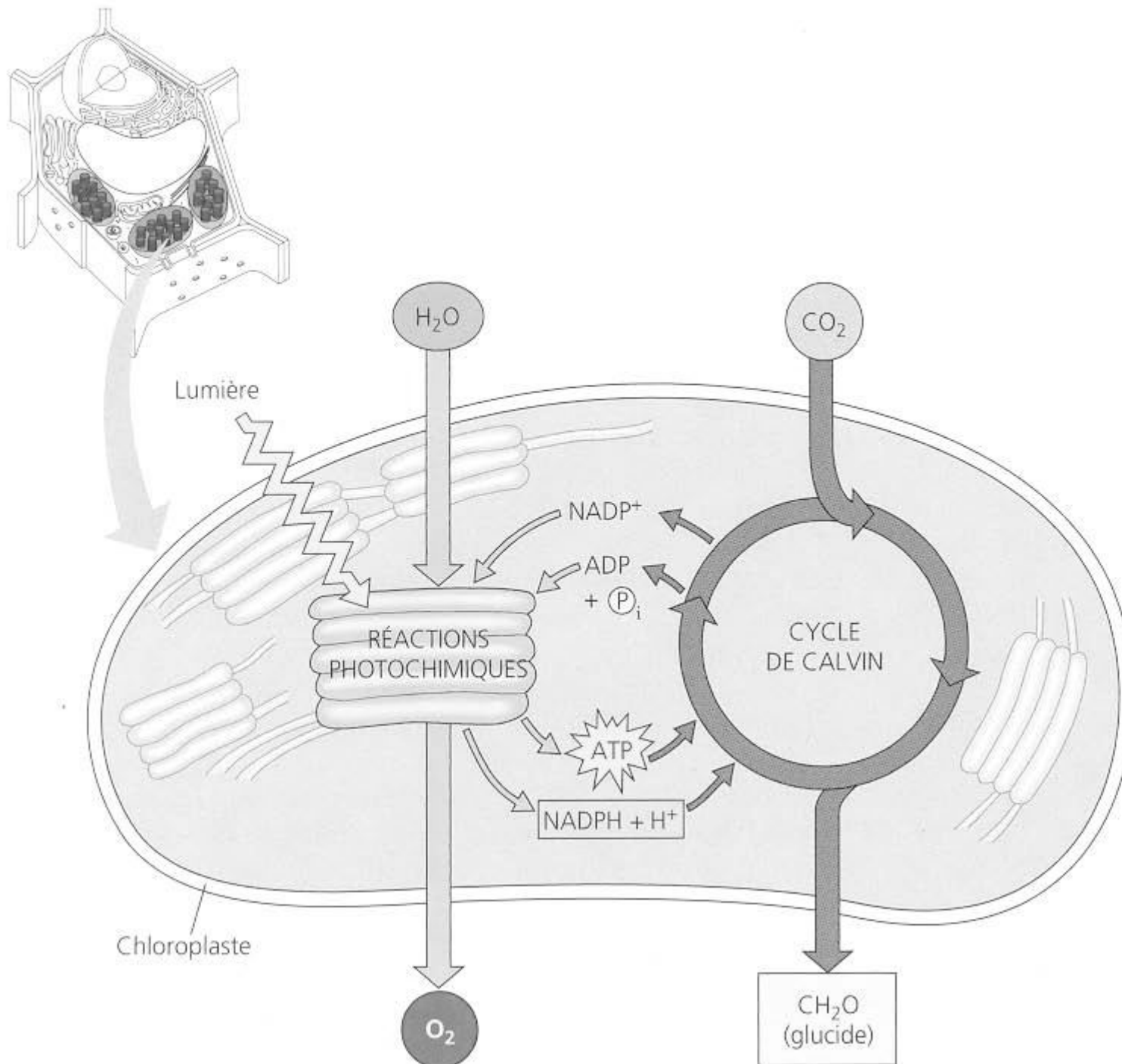
----> production de **NADPH** et d'**ATP** par **photophosphorylation**  
Les réactions photochimiques se déroulent dans les **thylakoïdes**.

II. le **cycle de Calvin** = **phase de fixation du carbone** pendant laquelle le **CO<sub>2</sub>** est incorporé et puis réduit pour produire un **glucide**.

Ce processus utilise l'énergie chimique (**ATP**) et le pouvoir réducteur du **NADPH**.

Le cycle de Calvin se déroule dans le **stroma des chloroplastes**.





**FIGURE 10.4** Vue  
synthèse : intégrée  
photochimiques  
de Calvin. Les réa  
utilisent l'énergie s  
l'ATP et du NADPH  
tivement de source  
de potentiel réduct  
Au cours de celui-c  
sert à produire des  
seront ultérieureme  
(Au chapitre 5, noi  
formule de la majo  
est un multiple de  
chimiques se dérou  
des thylakoïdes for  
que le cycle de Cal

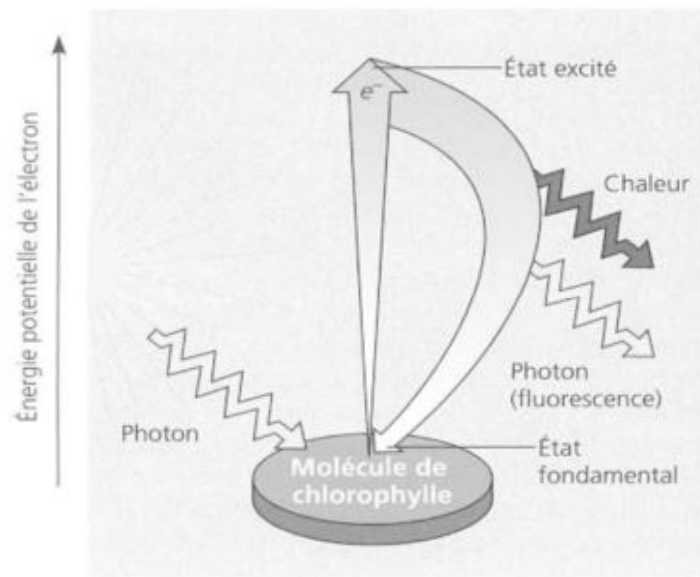
Vous verrez une  
de ce diagramme  
de ce chapitre. E  
si les phénomèn  
des réactions ph  
de Calvin.

## ❖ Le photosystème

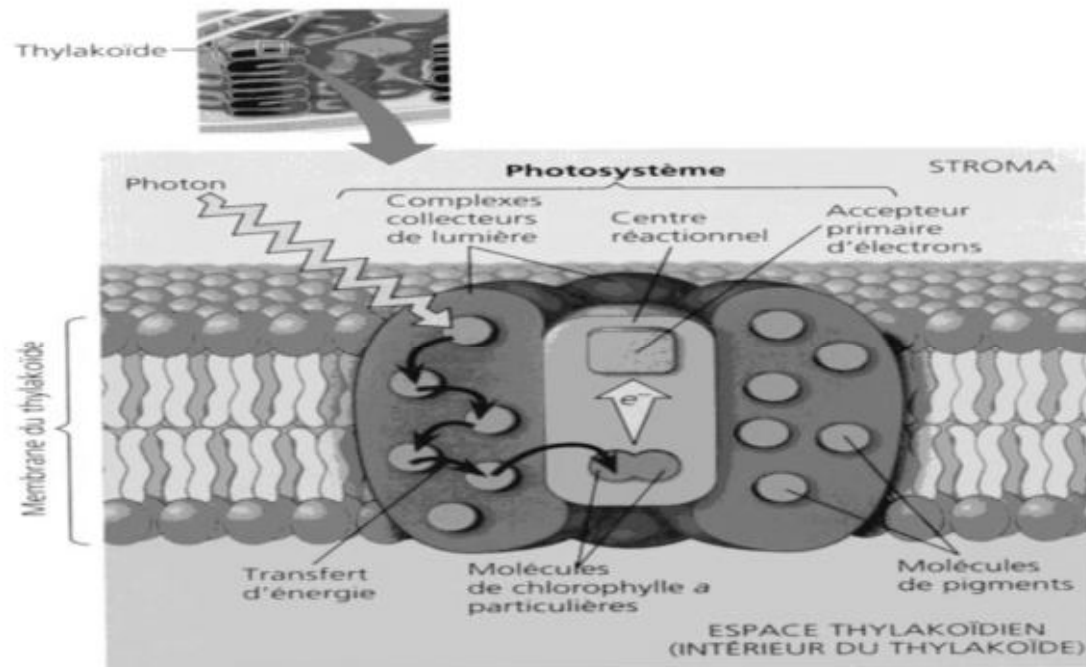
Les photosystèmes sont les complexes moléculaires capteurs de lumière dans la **membrane des thylakoïdes**.

Ils sont composés de

- un **centre réactionnel** = un complexe protéique contenant 2 molécules de **chlorophylle *a*** + **un accepteur primaire d'électrons**
- entouré de **complexes collecteurs de lumière** = protéines + pigments (**chlorophylle *a*, *b* et caroténoïdes**) ---> **élargissement du spectre** et de la surface d'absorption.



(a) Excitation d'une molécule de chlorophylle isolée



▲ Figure 10.12 Réception de la lumière dans un photosystème.

Deux photosystèmes travaillent de concert pour utiliser l'énergie lumineuse et fabriquer du NADPH + H<sup>+</sup> et de l'ATP :

- le photosystème II (chlorophylle *a* P680)
- le photosystème I (chlorophylle *a* P700), *plus efficace* possèdent la même molécule de chlorophylle *a* mais entourée de protéines différentes ---> longueur d'onde efficace différente

## Le transport non cyclique des électrons

La conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique par les deux photosystèmes repose sur un flux d'électrons à travers différents composants dont les deux photosystèmes :

1: un photon d'un pigment d'un complexe collecteur de lumière est transmis jusqu'à une molécule de chlorophylle *a* dans le centre réactionnel du **PS II**, qui devient excitée.

2: l'électron excité de la chlorophylle *a* est capté par l'accepteur primaire d'électrons.

3: une enzyme scinde 1 H<sub>2</sub>O en 2 e<sup>-</sup>, 2 H<sup>+</sup> et 1 O. Les e<sup>-</sup> sont transmis à la chlorophylle *a* pour remplacer ceux qui sont partis. Deux O se combinent pour former O<sub>2</sub>.

4: l'e<sup>-</sup> du PS II voyage à travers une chaîne de transporteurs d'e<sup>-</sup> pour arriver sur le PS I.

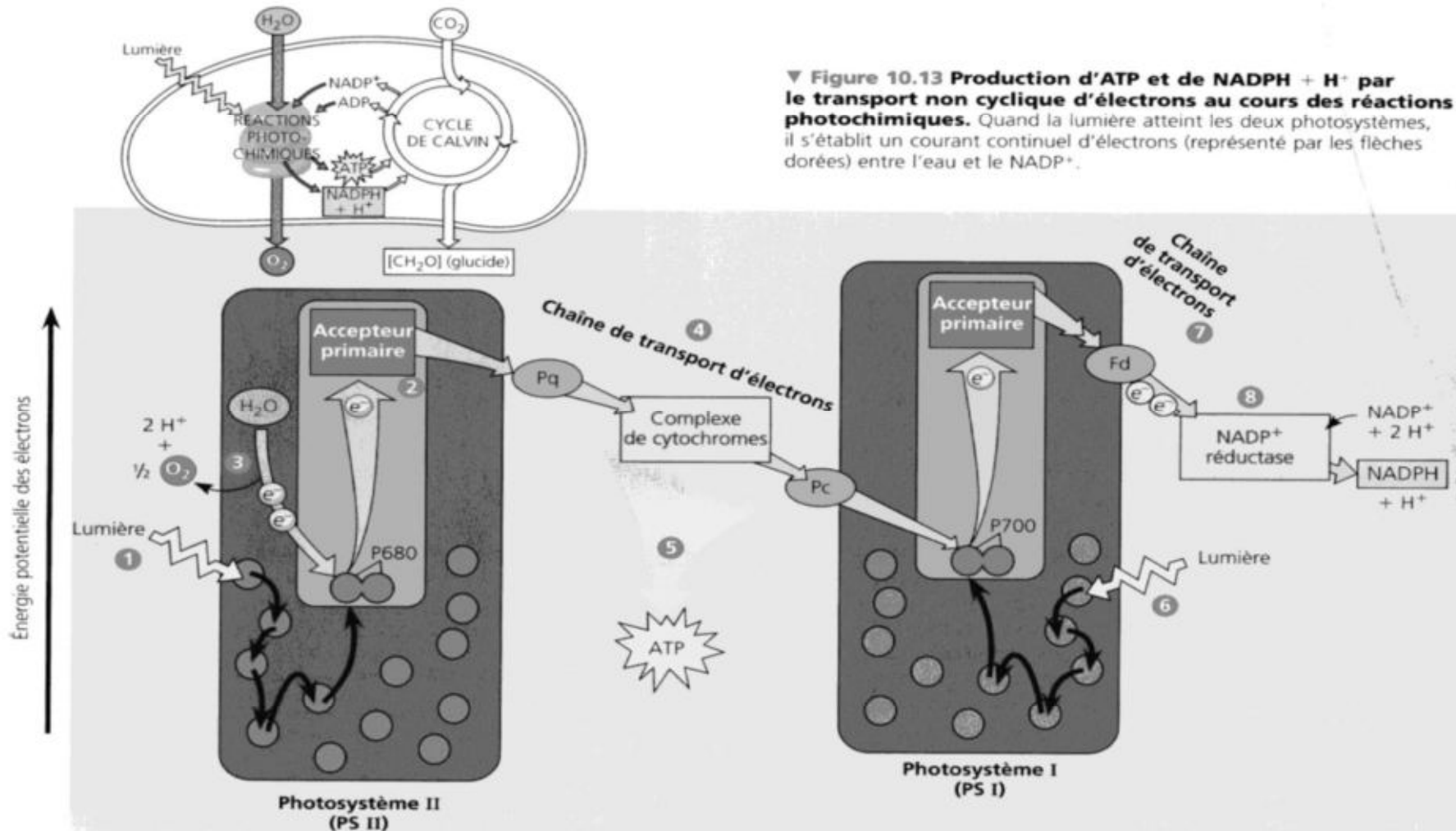
5: ce transport génère de l'ATP.

6: entretemps, la chlorophylle *a* du PS I a été excitée par la lumière et un des ses e<sup>-</sup> est passé sur l'accepteur primaire d'e<sup>-</sup>. Le vide est remplacé par l'e<sup>-</sup> qui arrive de la chaîne de transporteurs.

7: l'e<sup>-</sup> du PS I voyage à travers une chaîne plus courte de transporteurs d'e<sup>-</sup>.

8: une enzyme transfère 2 e<sup>-</sup> sur le NADP<sup>+</sup> pour former le NADPH.

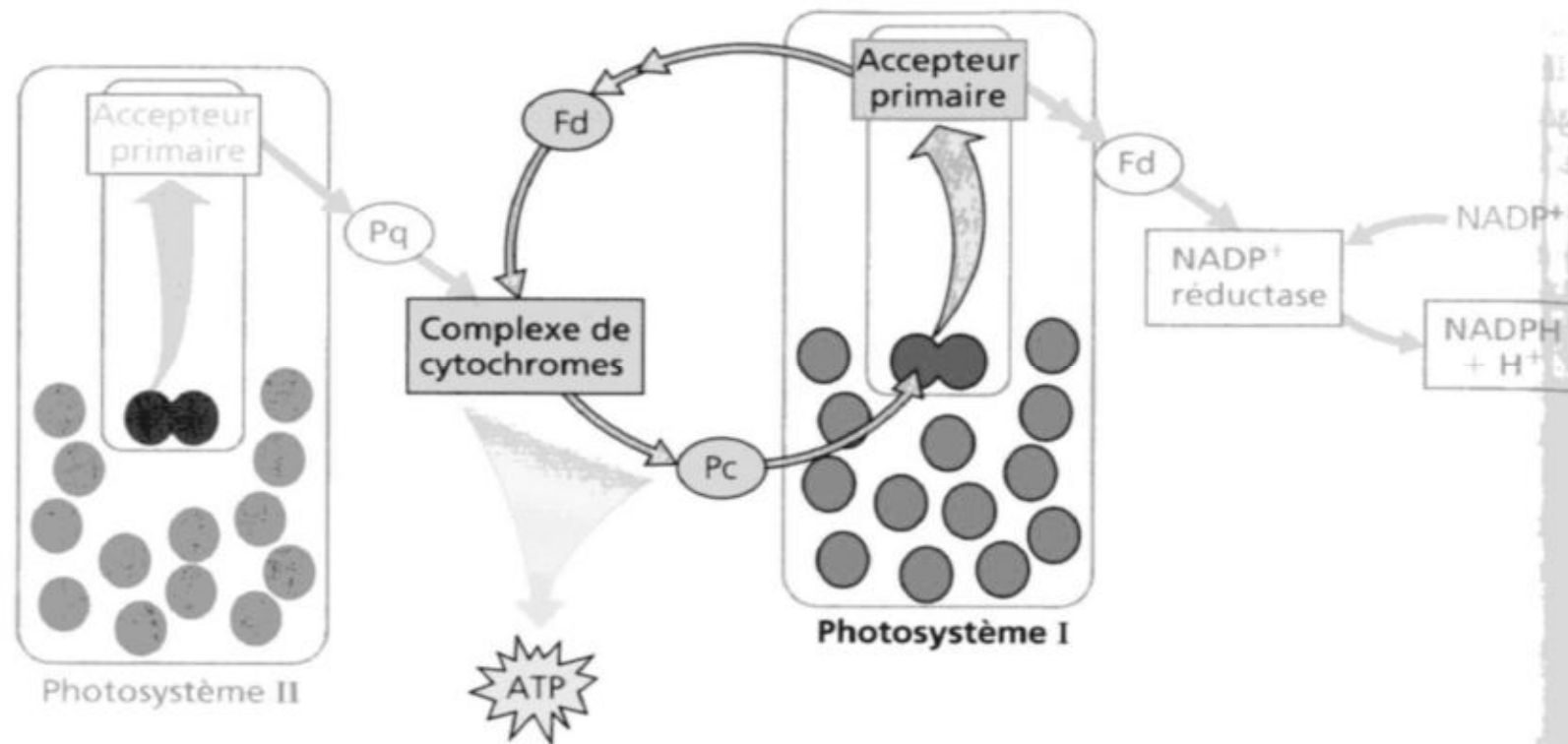
# 1. Le transport non cyclique des électrons

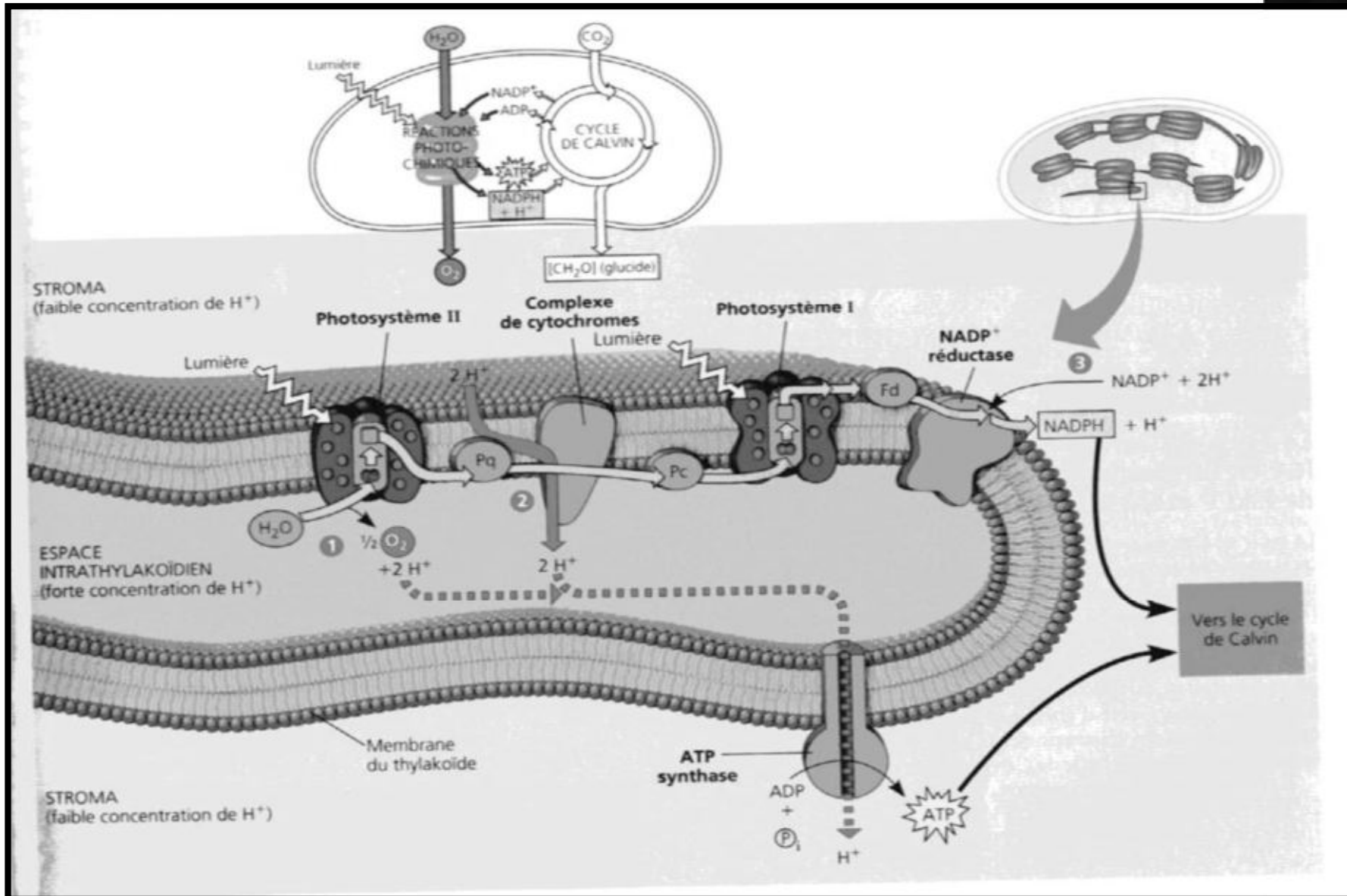


▼ Figure 10.13 Production d'ATP et de  $NADPH + H^+$  par le transport non cyclique d'électrons au cours des réactions photochimiques. Quand la lumière atteint les deux photosystèmes, il s'établit un courant continu d'électrons (représenté par les flèches dorées) entre l'eau et le  $NADP^+$ .

## 2. Le transport cyclique des électrons

Ce petit circuit fermé ne scinde pas d' $\text{H}_2\text{O}$  et ne produit pas d' $\text{O}_2$  ni de NADPH mais il produit de l'ATP ---> nécessaire car le cycle de Calvin a besoin de plus d'ATP que de NADPH.





Les étapes de la phase photochimique

## II) LA PHASE NON PHOTOCHEMIQUE

- C'est le **cycle de Calvin** et il se déroule **dans le stroma**.
  - La lumière n'est plus utile.
  - L'**ATP** et le **NADPH<sub>2</sub>** sont utilisés pour réduire le **CO<sub>2</sub>** de l'air.
- 
- Le CO<sub>2</sub> se fixe sur un glucide à **5 carbones**, le ribulose présent dans le stroma du chloroplaste.
  - L'ATP cède son énergie et devient ADP.
  - Le NADPH<sub>2</sub> cède son hydrogène et devient NADP.
  - Il va se former des molécules intermédiaires conduisant à **des trioses**, utilisés ensuite pour la synthèse des glucoses puis de l'amidon (polymère de glucoses).
- 
- Les trioses régénèrent aussi le ribulose initial.
- $3 \text{ CO}_2 + 9 \text{ ATP} + 6 \text{ NADPH} + \text{eau} \rightarrow \text{Glycéraldéhyde 3-phosphate}$
- $8 \text{ Pi} + 9 \text{ ADP} + 6 \text{ NADP}^+$

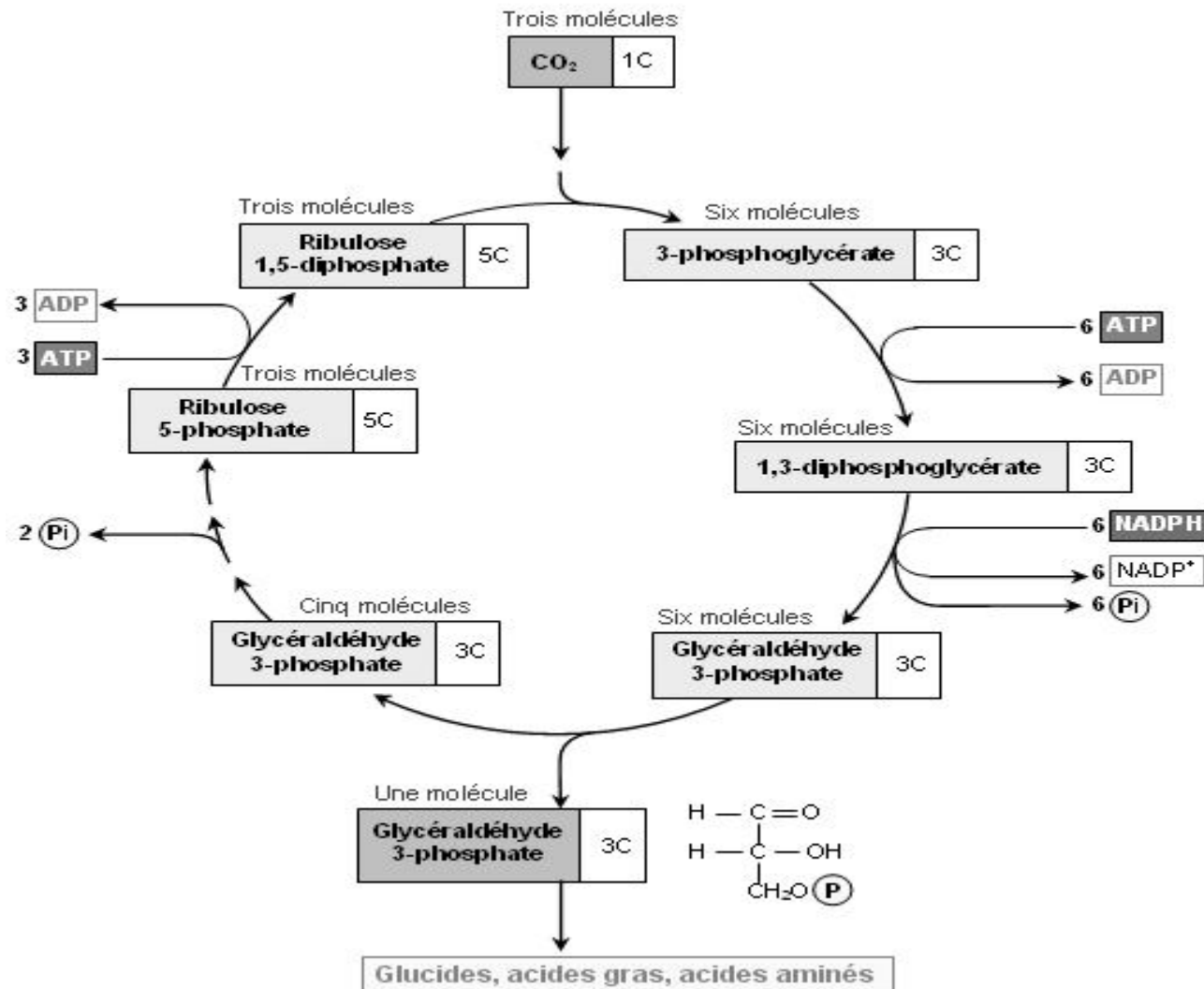


## 2. La phase chimique

### Le cycle de Calvin

Le cycle de Calvin convertit le  $\text{CO}_2$  en glucide à l'aide de l'ATP et du NADPH. 3  $\text{CO}_2$  (et 3 tours de cycle) sont nécessaires pour faire un glucide à 3C (**Phospho-Glycéraldéhyde PGAL**) qui sera convertit plus tard en glucose.

**Bilan de la photosynthèse.  $6 \text{ CO}_2 + 12 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$**

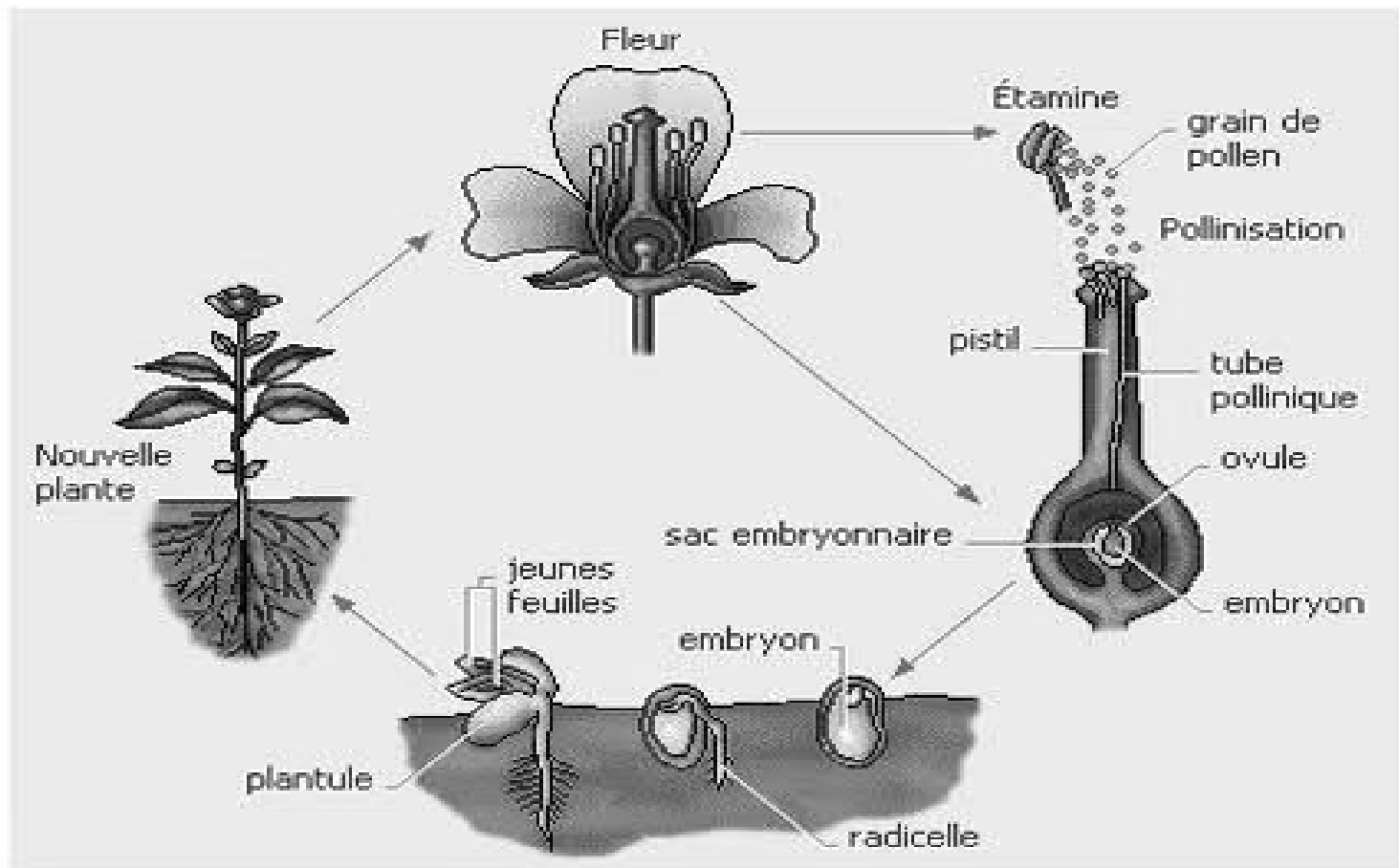


## VII.Développement

- Germination
- Croissance
- Floraison
- Fructification
- Formation de la graine

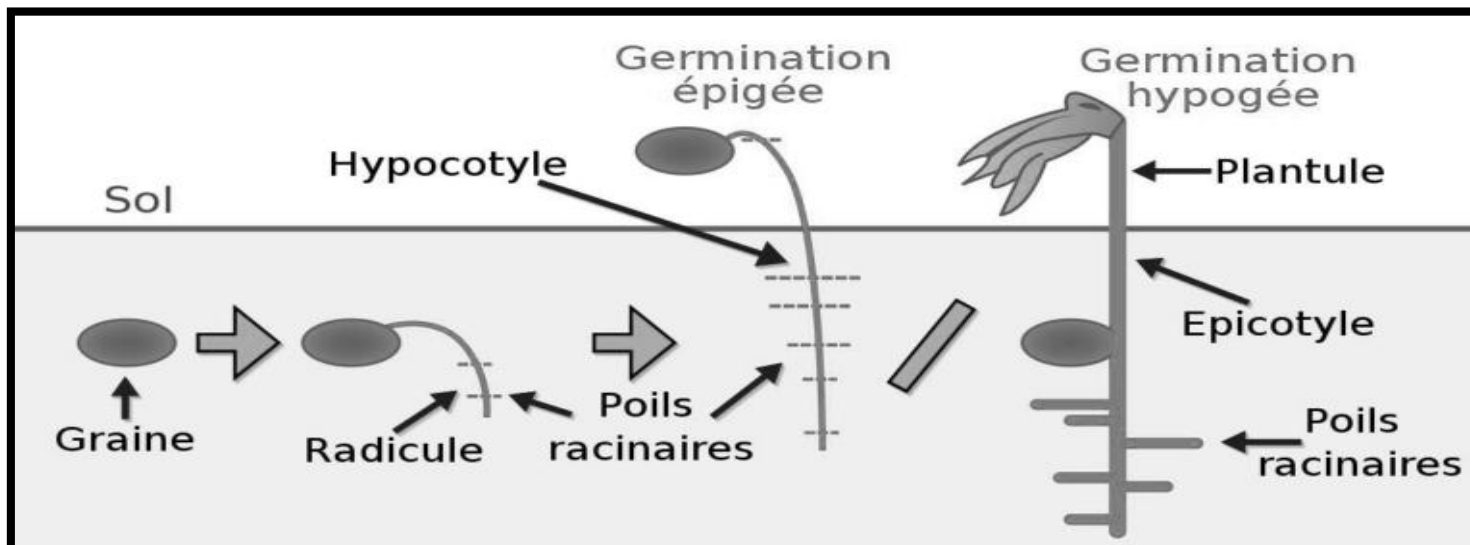
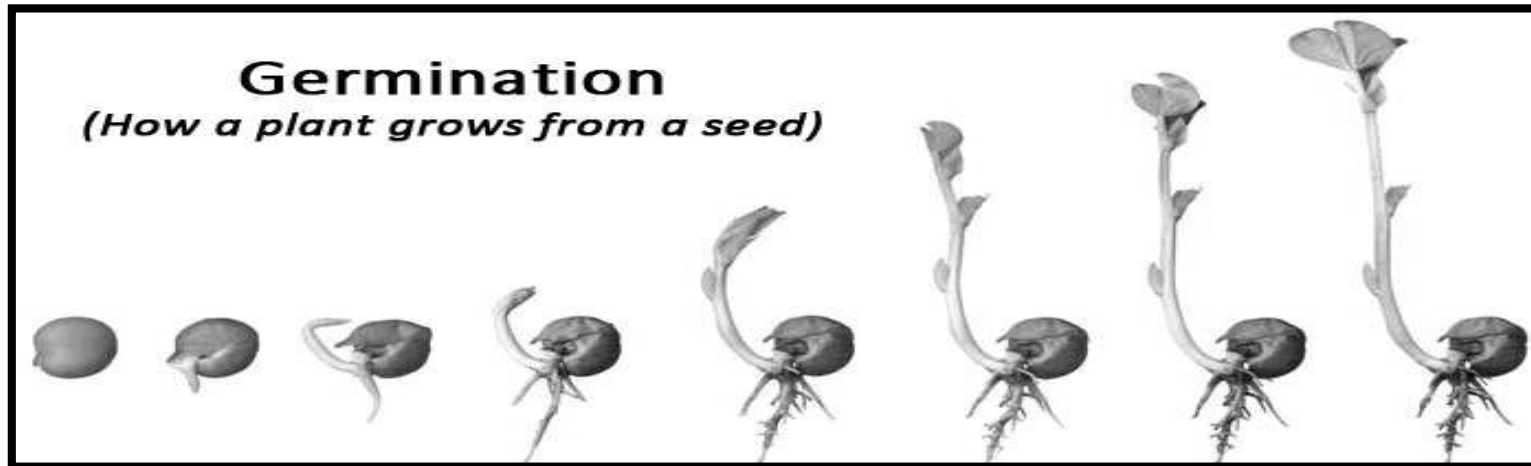
## INTRODUCTION

Le développement (en physiologie végétale) étudie toutes les modifications **qualitatives** et **quantitatives** chez une plante (de la fécondation à la mort)



# 1- La germination

1. La germination est un processus dont les limites sont le début de l'hydratation et le tout début de la croissance de la racicule.



## 2-Déroulement du processus de germination

### *2-1-La phase I ou phase d'imbibition :*

***Elle correspond à une forte hydratation des tissus par absorption d'eau aboutissant au gonflement de la graine :***

- Blé : 47 g d'eau pour 100 g de graines
- Haricot : 200 à 400 g d'eau pour 100 g de graines

La plus grande partie de cette eau, va à l'embryon. Cette phase est assez brève durant de 6 à 12 heures selon les semences.

### *2-2-Phase II ou phase de germination sensu-stricto :*

caractérisée par une stabilisation de l'hydratation et de l'activité respiratoire à un niveau élevé.

cette phase qui est relativement brève (12 à 48), Elle s'achève avec l'émergence de la radicule hors des téguments.

***2-3-Phase III : caractérisée par une reprise de l'absorption de l'eau et une élévation de la*** consommation d'oxygène, elle correspond en fait à un processus de croissance affectant la radicule puis la tigelle (marquée par un changement profond d'état physiologique). on assiste à la croissance et au développement des racines et de la tige. Les réserves sont mobilisées dès la première phase (on a des synthèses d'hormones comme les gibberellines).

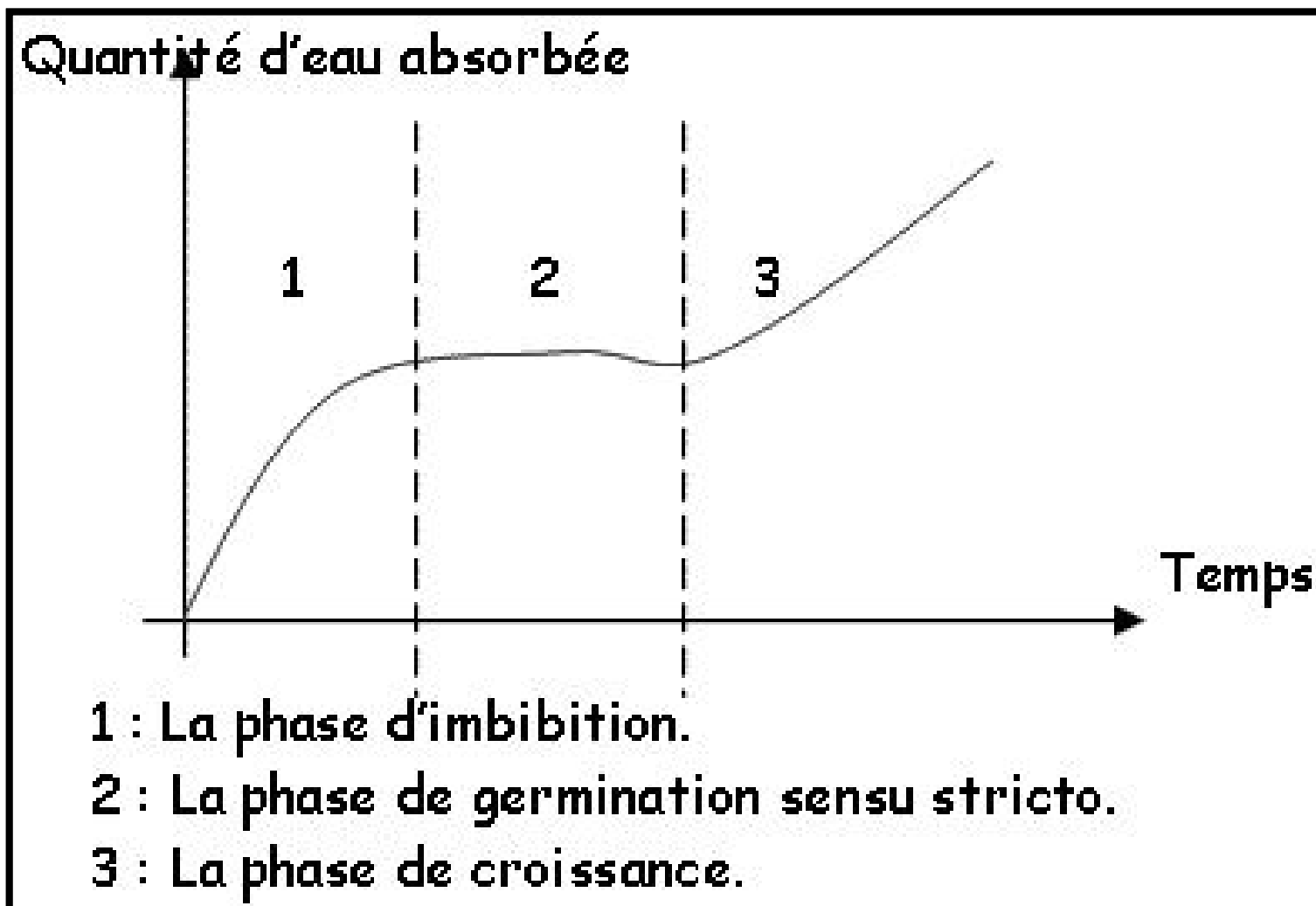
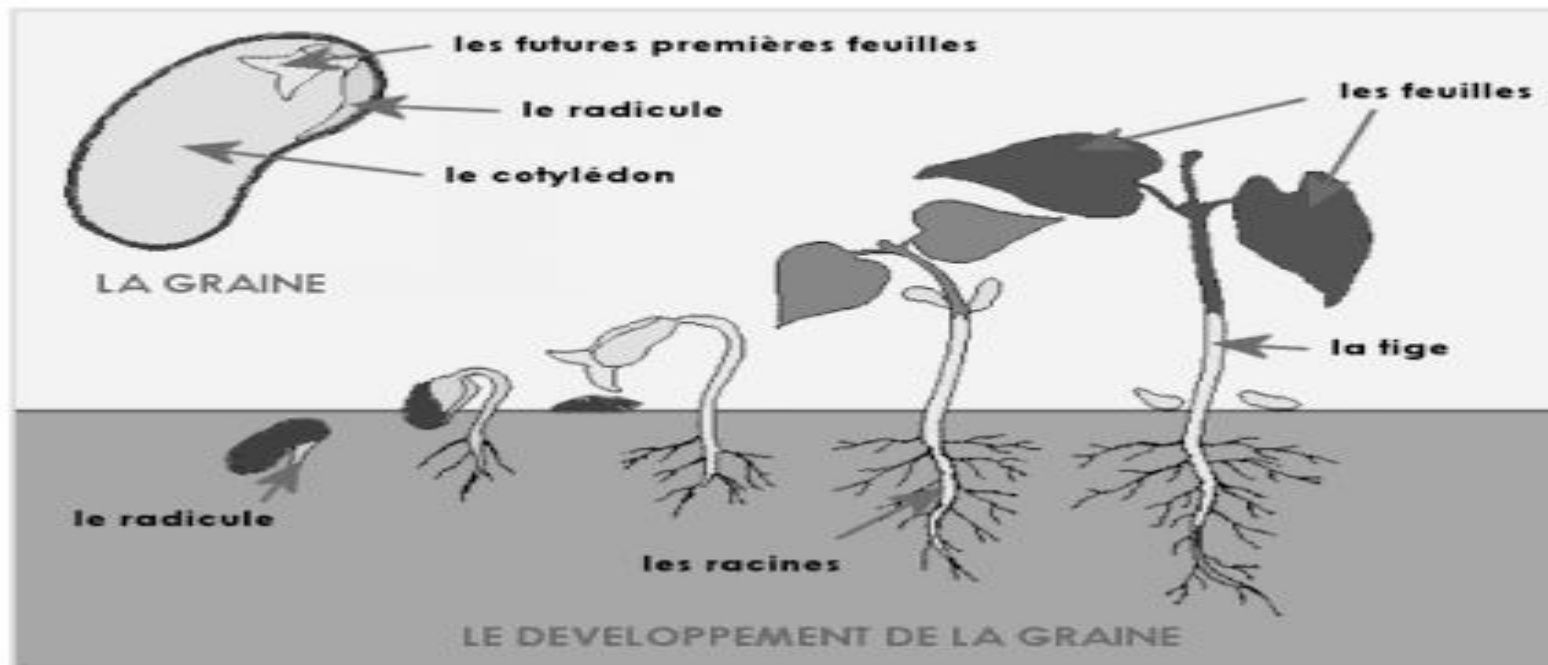


Fig: Courbe théorique d'imbibition des semences

### La vie végétale (3) De la graine à la plante



Ce schéma présente le développement de la graine depuis sa forme de graine jusqu'à sa forme de plante.

La première étape s'appelle la germination. La partie qui ressemblait à une tige lors de notre observation s'appelle le radicule. Lorsque la graine rencontre des conditions favorables (humidité, chaleur) ce radicule va s'allonger et percer la peau de la graine pour s'enfoncer dans la terre.

Alors commence la seconde étape : la croissance. Le radicule va s'allonger et développer des racines qui vont aller chercher dans la terre les *nutriments* (la nourriture) pour la plante. A la surface, la plante développe une tige, puis des feuilles. Pour cela, elle utilise les réserves de nourriture contenues dans le cotylédon (les parties dures et jaunes de notre graine de lentilles).



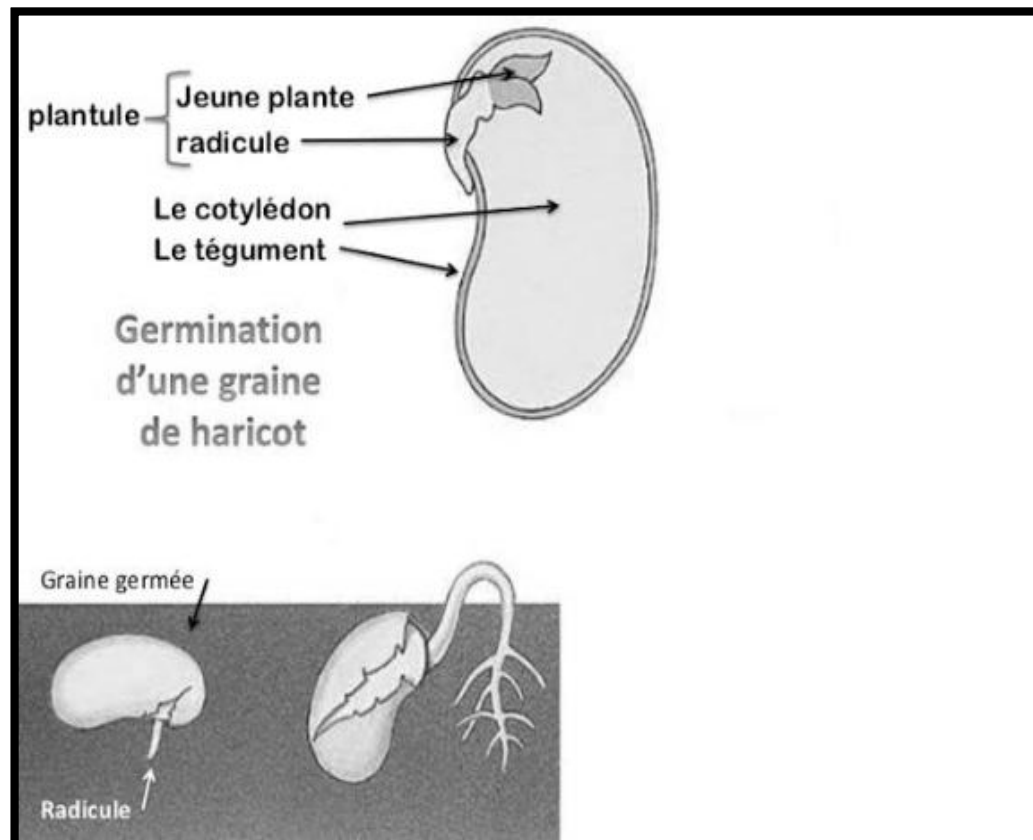
### 3-Conditions de réalisation de la germination

Il y a deux types de conditions à remplir pour qu'une semence germe

#### *3-1-Conditions internes :*

a-La maturité :

**toutes les parties constitutives de la semence : enveloppes séminales (téguments + péricarpe) et amande (tissus de réserve + embryon), soient complètement différenciées morphologiquement.**



### 3-Conditions de réalisation de la germination

#### *3-1-Conditions internes :*

##### b-La longévité:

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

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

- ❖ *Graines microbiontiques dont la longévité peut être de quelques jours (cas du saule ou du bouleau, par exemple)*
- ❖ *Graines macrobiontiques à l'opposé du cas précédent, elles ont une longévité d'une centaines d'années ou plus (certaines légumineuses).*
- ❖ *Graines mésobiontiques dont la durée de vie est comprise entre un et dix ans (cas général)*

### 3-Conditions de réalisation de la germination

#### *3-2- Conditions externes :*

##### a- L'eau :

**Indispensable, elle doit être disponible dans le milieu extérieur en quantités suffisantes mais aussi sous des liaisons faibles pour que la graine puisse l'absorber.**

##### b- L'oxygène :

**Indispensable à la germination même pour les plantes aquatiques qui disposent de l'oxygène dissout. D'où l'importance de l'aération des sols pour la levée des semis. Cependant les taux d'O<sub>2</sub> exigés par les embryons eux-mêmes, sont faibles de l'ordre de 0.5% mais il y a lieu de tenir compte de l'obstacle mis par les téguments et l'albumen à la diffusion des gaz. En fait pour ces derniers, étant des structures poreuses, elles retiennent des gaz adsorbés, qui seront libérés partiellement au moment de l'imbibition.**

**c- La température : C'est le facteur le plus important de la germination du fait que son action est souvent masquée par d'autres phénomènes qui dépendent aussi très étroitement de ce facteur.**

### 3-Conditions de réalisation de la germination

#### 3-2- Conditions externes :

##### d- La lumière :

L'action de la lumière peut être soit nécessaire, soit défavorable à la germination selon la photosensibilité\* des espèces. On trouve plusieurs types de photosensibilité :

❖ **Photosensibilité positive** : elle est présente chez 70% des semences, c'est un besoin de lumière.

❖ **Photosensibilité négative** : c'est un cas rare que l'on trouve chez les liliacées (plantes à fleurs monocotylédones).

❖ **Photosensibilité facultative** : on retrouve ce cas chez la majorité des plantes cultivées.

## *la croissance*

### *Définition de la croissance:*

La croissance est donc une augmentation de dimensions. Elle se distingue du développement qui traduit l'acquisition de propriétés nouvelles. Cependant, cette distinction inappropriée, diffère quand il s'agit d'un être vivant animal ; le végétal ne peut croître qu'en formant de nouveaux tissus voire de nouveaux organes (Branches, rameaux, feuilles .....).

## 2. Croissance

- ✓ Les modifications **quantitatives** représentent la croissance (les modifications irréversibles se produisant au cours du temps). On a, par exemple, l'augmentation de taille, de volume, de masse.
- ✓ On parle de **différenciation** quand la part prise par les modifications qualitatives va prédominer : c'est l'acquisition de propriétés morphologiques et fonctionnelles.

### 1-La mérése :

C'est une prolifération cellulaire qui consiste en une succession de **divisions cellulaires** ou **mitoses**, qui s'opèrent dans des régions localisées : les méristèmes (à l'exception des feuilles où elles se répartissent sur toute la surface du limbe).

### 2-L'auxèse :

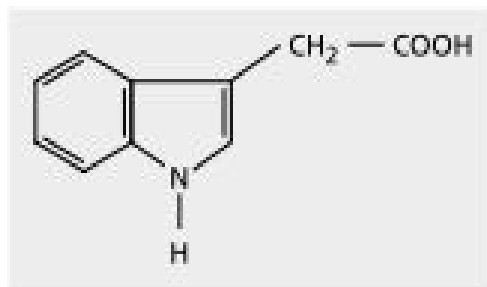
C'est une augmentation de la taille de cellules des cellules végétales au niveau de la **zone méristématique**, principalement (à l'exception des Feuilles où elles se répartissent sur toute la surface du limbe et au niveau de la coiffe plus faiblement.  
Fait intervenir des hormones spécifiques: **Auxine**.

## 2. Croissance

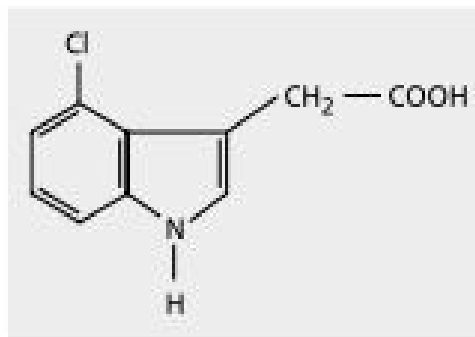
### ➤ Les auxines (hormones de croissance)

L'**auxine** est la première hormone à être découverte dans les plantes et un des premiers agents, sur une longue liste, de signalisation chimique qui régleme le développement des plantes.

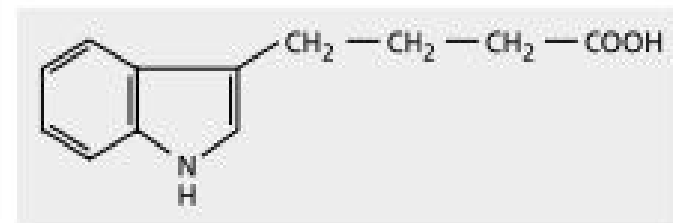
La forme d'auxine la plus courante survenant naturellement est - l'indole 3-acétique (IAA).



Indole-3-acetic acid  
(IAA)



4-Chloroindole-3-acetic acid  
(4-Cl-IAA)



Indole-3-butyric acid  
(IBA)

chez toutes les plantes

Chez le pois

Chez La moutardes et le maïs

Figure. Structure de trois auxines naturelles.

## 2. Croissance

### ➤ Rôle de l'AIA

**\*Action sur l'élongation cellulaire :** L'AIA agit sur la paroi en augmentant sa plasticité .

**\*Action sur la mérése :** L'AIA stimule l'activité mitotique

**\*Action sur la caulogénèse et sur la rhizogénèse :**

La caulogénèse est favorisée par des doses faibles d'AIA ( $10^{-8}$  à  $10^{-6}$  g/mL) et en présence des cytokinines. Par contre la rhizogénèse est stimulée à des doses de l'ordre de  $10^{-7}$  à  $10^{-5}$  g/ml

**\*Action sur le développement du péricarpe des fruits :**

L'AIA favorise le développement du péricarpe des fruits charnus. La pollinisation induit une sécrétion d'auxine par l'ovaire provoquant aussi le développement du péricarpe. L'AIA peut remplacer la pollinisation et donne **des fruits sans pépins (fruits parthénocarpiques)**.

**\*Action sur l'abscission des feuilles et des fruits :**

L'AIA retarde l'évolution de la zone d'abscission responsable de la chute des feuilles et des fruits. Il s'agit de l'action de l'AIA corrélée à celles des autres substances hormonales notamment les cytokinines et l'éthylène.

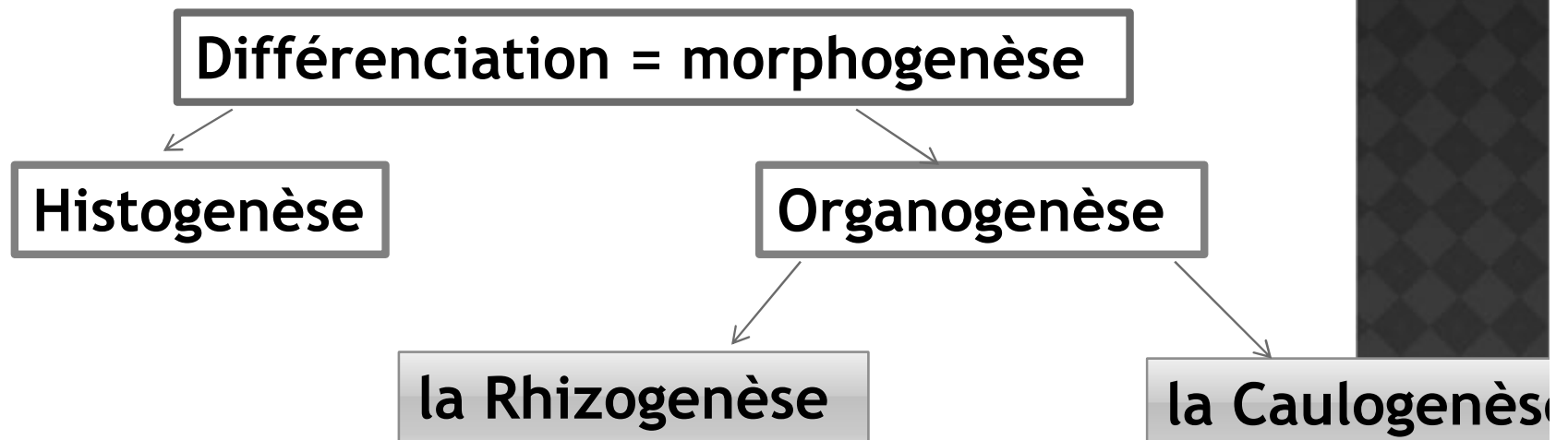


## 2. Croissance

### *La différenciation :*

C'est le processus qui permet aux cellules d'acquérir des caractères morphologiques particuliers, différents suivant les tissus. Ce phénomène est moins marqué chez les végétaux que chez les animaux où il s'agit d'une spécialisation plus poussée.

On peut faire assimiler ce phénomène de différenciation à la morphogenèse qui est l'élaboration de nouvelles structures laquelle s'exprime au niveau des tissus, c'est l'**Histogenèse**, ou au niveau des organes, c'est l'**Organogenèse** qui comprend la **Rhizogenèse** (Racines) et la **Caulogenèse** (Tiges).



## 2. la croissance

### Valeurs de la croissance :

#### 1- Critères utilisés :

- **Dimensions géométriques** : c'est le premier critère auquel on peut penser en fonction des points suivants : longueurs, diamètre, surface et plus rarement le volume.
- **Augmentation de masse** : On peut considérer ce point-ci que la croissance comporte nécessairement ; il est marqué par :
  - la masse de matière fraîche
  - la masse de sèche

#### 2- Valeurs usuelles :

L'intensité de la croissance peut être mesurée par :

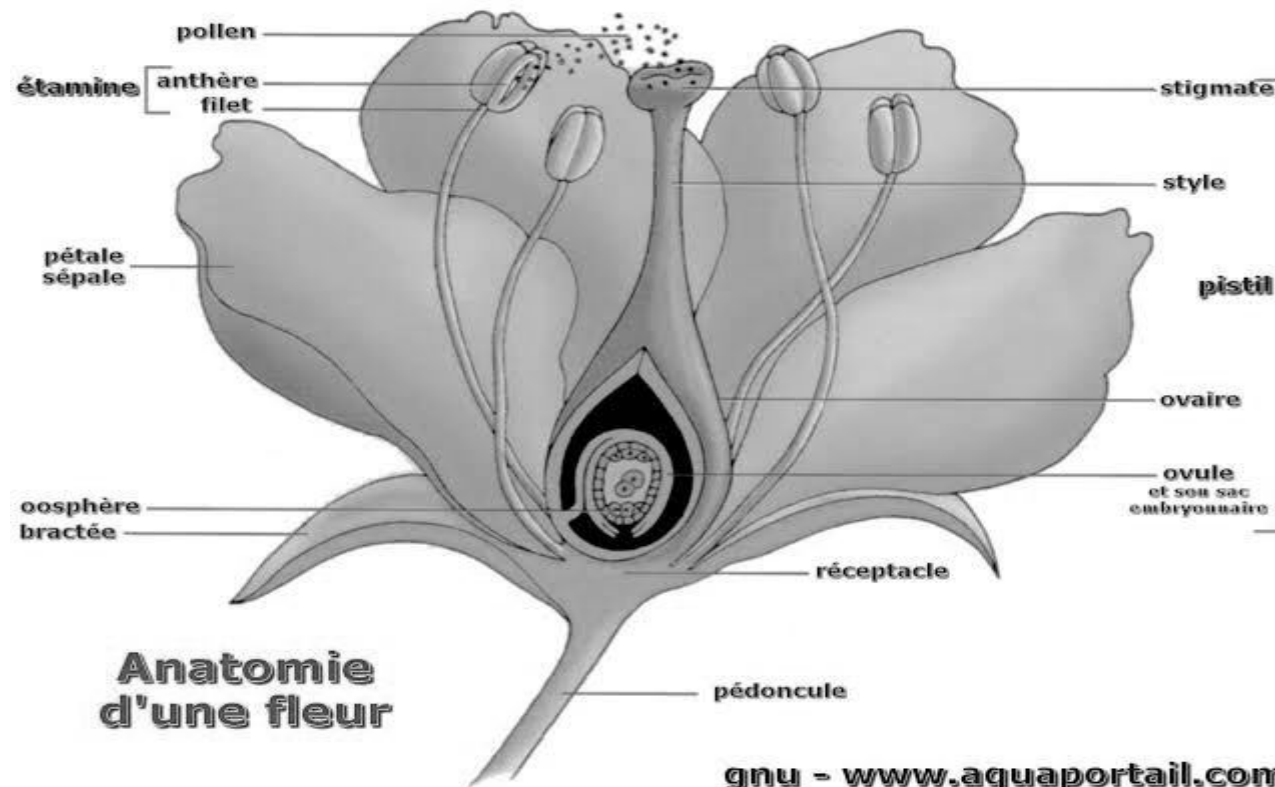
- l'amplitude totale: (ecart entre la val min et la val max)
- la vitesse de croissance : cm ou mm / h ou j
- l'intensité de la prolifération cellulaire : par dénombrement des cellules en division
- Taux de croissance : est la vitesse de croissance relative et taux d'assimilation nette  
de la feuille (masse de matière fraîche/unité de surface foliaire) :  
 $Tr/Ta = \text{Rendement foliaire}$ ,

### 3. Floraison

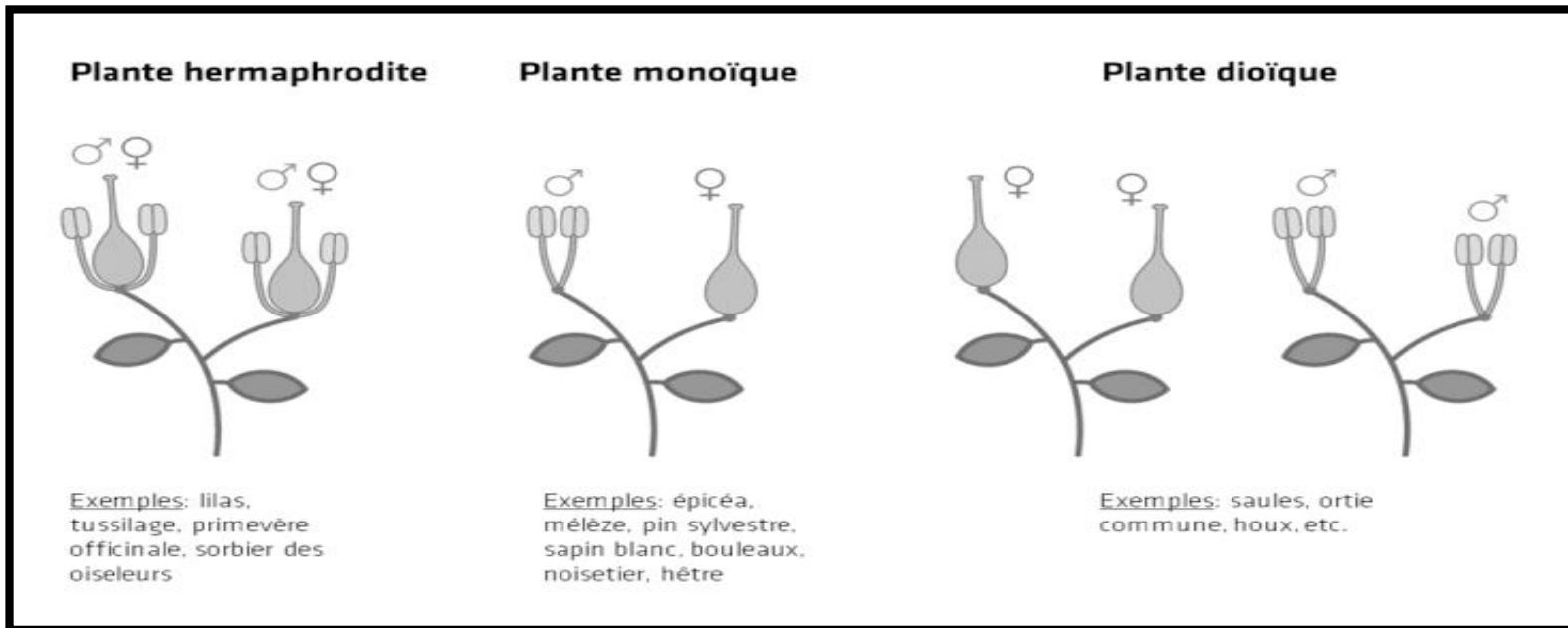
➤ Lorsqu'elle est suffisamment développée, cette plante produit des fleurs mâles et femelles : ce sont les *organes sexuels et reproducteurs* de la plante.

➤ **Structure de la fleur:**

La fleur comprend plusieurs éléments : les **sépales du calice**, les **pétales de la corolle**, les **étamines avec leur pollen** et le **pistil portant les ovules**.

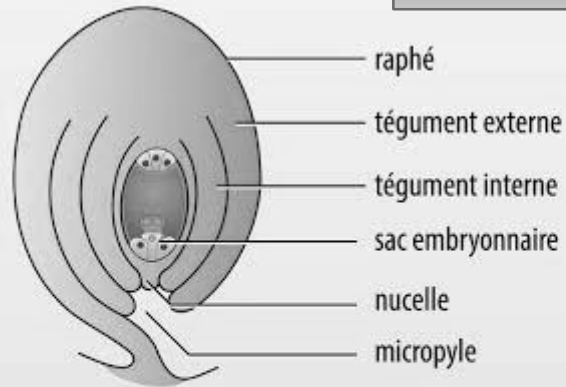


## Les Type des fleurs

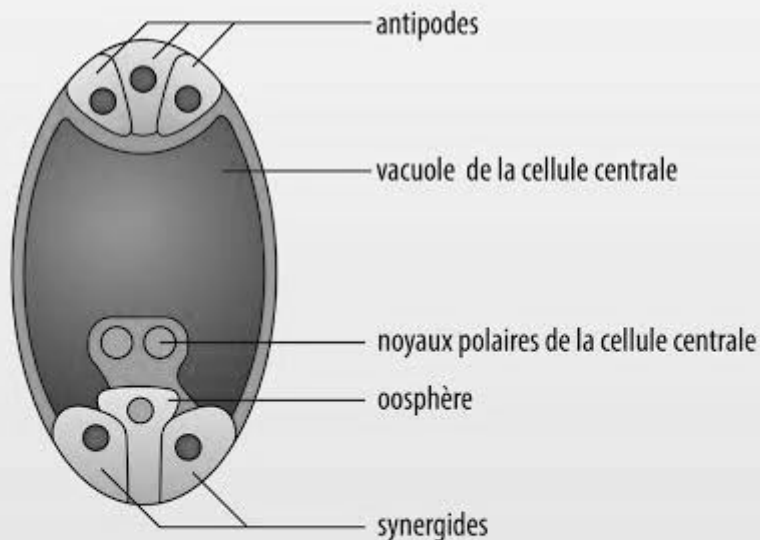


- Les plantes **hermaphrodites** : chaque fleur d'un plant est bisexuée, c'est à dire composée d'un pistil (organe femelle) d'où se formera la graine une fois fécondé et d'étamines qui portent le pollen (organe mâle).
- Les plantes **monoïques** : les organes mâles et les organes femelles sont situés dans des fleurs différentes, portées par un même plant
- Les plantes **dioïques** : les organes mâles et les organes femelles sont portés par des plants différents

## 4. La fécondation chez les plantes à fleur

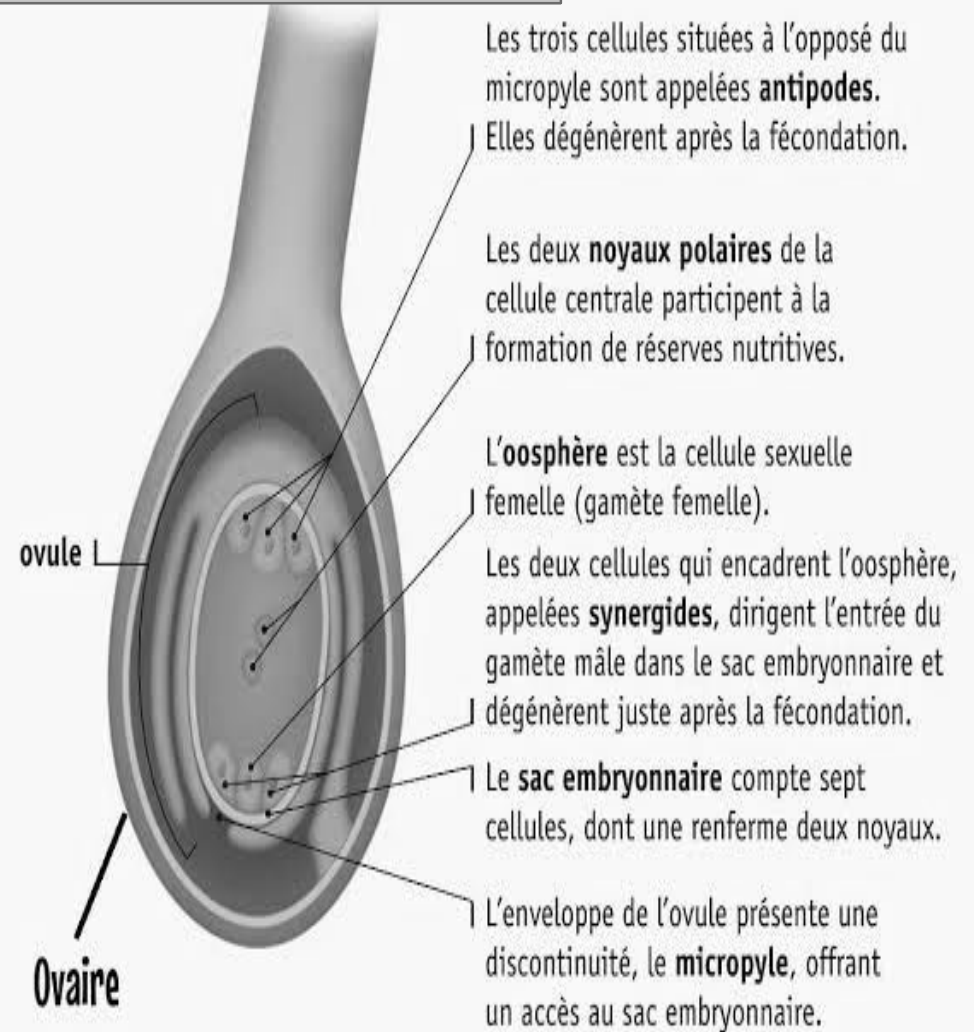


ovule d'une fleur



sac embryonnaire

● noyaux impliqués dans la double fécondation



Le sac embryonnaire

## 5. Formation de fruit fructification

La fructification est le phénomène de transformation par fécondation des fleurs en fruits.

