

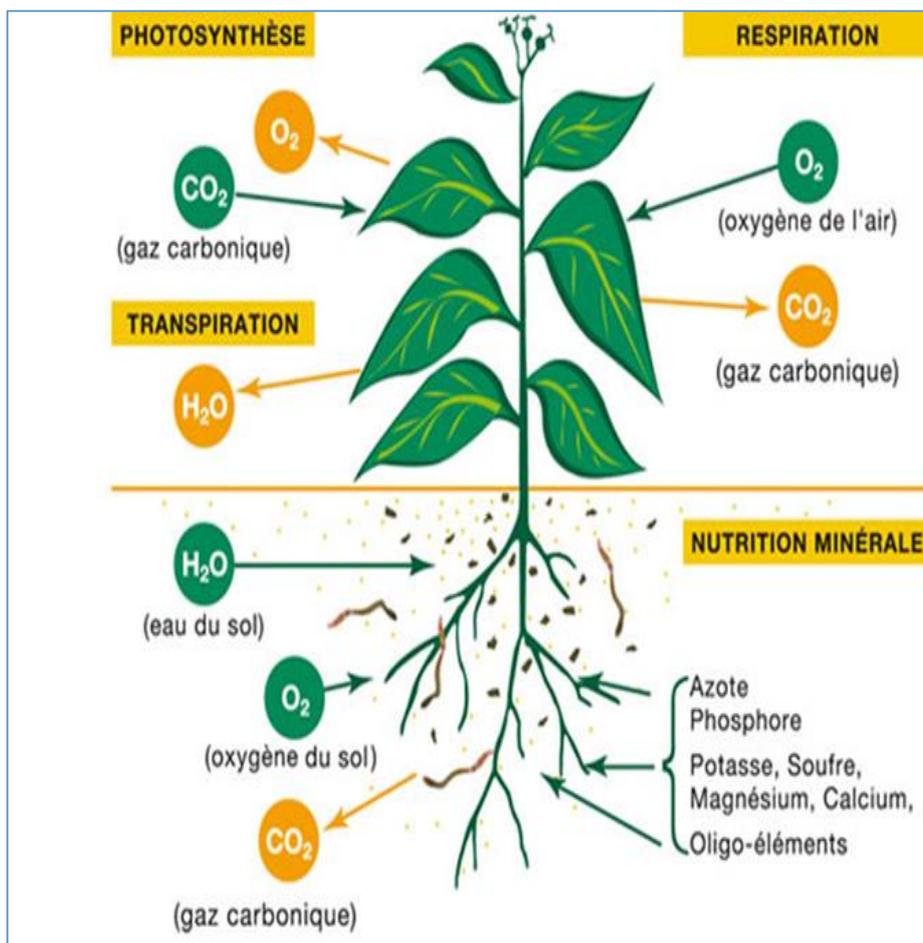
INTRODUCTION

La physiologie végétale, ou phytobiologie : Est une science qui étudie les mécanismes biologiques, chimiques et biochimiques des végétaux, Ainsi que le fonctionnement des cellules, des tissus et des organes. Elle cherche en somme à percer les secrets de la vie chez les plantes dans le domaine de la nutrition, la croissance, le développement, la reproduction et la germination.

Divisé en deux grandes parties :

-Nutrition et métabolisme

-Croissance et développement



1^{ère} Partie : Nutrition

1 : Rappel sur les notions de base

1.1. Organisation d'un végétal

Le règne végétal est traditionnellement subdivisé en deux grands groupes en fonction de l'organisation structurale du végétal : **les Thallophytes et les Cormophytes.**

A. Les Thallophytes

Ce sont des végétaux dont la structure est très simple appelé thalle, le thalle est composé par des cellules qui se ressemblent sans différenciation physiologiques où on ne peut distinguer ni racine, ni tige, ni feuilles ni vaisseaux conducteurs. Certaines thallophytes sont unicellulaires et d'autre pluricellulaire.

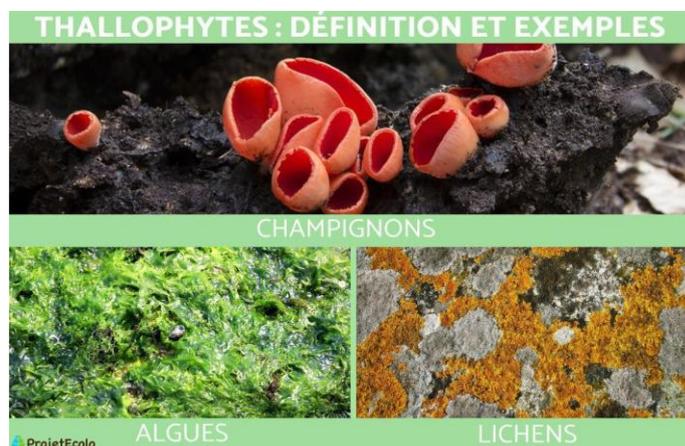


Figure 1Thallophytes

B. Les Cormophytes

Ce groupe est composé par les végétaux supérieurs qui correspondent à des organismes toujours **pluricellulaires** et dont les cellules **eucaryotes** sont réunies en **tissus** formant à leur tour des **organes** beaucoup plus complexe qu'un thalle appelé **cornus** d'où le nom de cormophyte ;

Les cormophytes sont divisées en plusieurs embranchements : **Bryophytes, Ptéridophytes, Préspermaphytes (Préphanérogames), Spermaphytes (Phanérogames)**

Embranchement des Spermaphytes

• **1. Gymnospermes:**

Les ovules (ébauches des futures graines) et les graines elles-mêmes ne sont pas entourés d’enveloppes closes. La majorité des gymnospermes sont des arbres à feuilles en aiguilles ou en écailles vertes persistantes, leurs fruits sont généralement sous forme d’un cône, on parle donc de **conifères**.

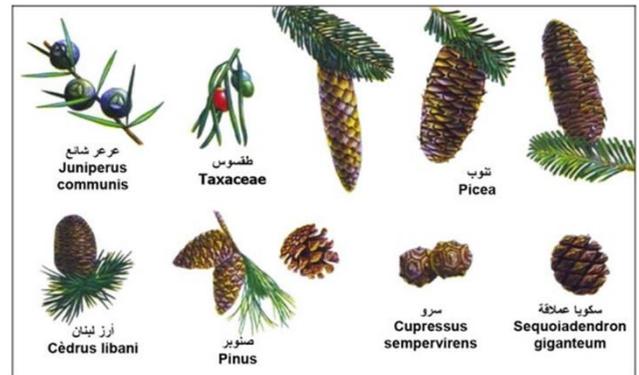


Figure 2 Gymnospermes

• **2. Angiospermes:**

Regroupe les **plantes à fleurs**, et donc les végétaux qui portent des fruits. Ils représentent la plus grande partie des espèces végétales terrestres, et ils comprennent les **Dicotylédones** et les **Monocotylédones**.

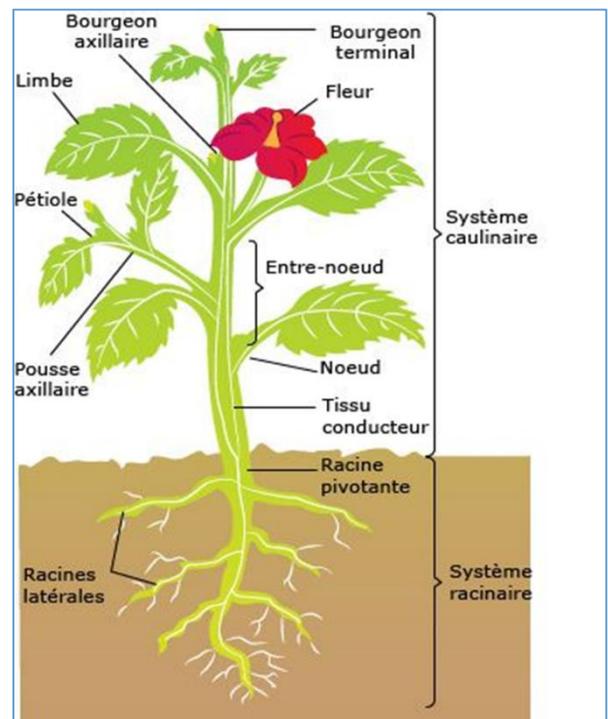


Figure 3 Angiospermes

Racine

Les racines assurent les rôles suivants : Fixer (dans le sol, sur un support...), Boire (osmose...), Nourrir (sels minéraux), Stocker (réserves), Parfois reproduire.

Les racines peuvent se présenter sous différentes formes : fasciculée ou pivotante, tubéreuse, adventives, avec des tubercules, avec des pneumatophores, sous un bulbe...

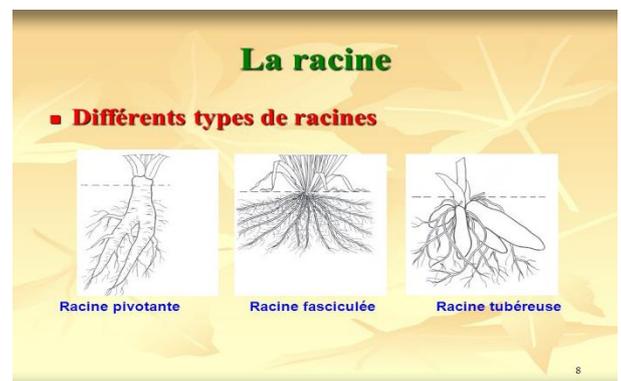


Figure 4 Types des racines

Tige

La tige assure les rôles suivants :

Grandir (méristème), Transporter (sève brute et sève élaborée), Porter bourgeons, feuilles, boutons, fleurs et fruits. Parfois stocker, parfois reproduire, parfois grimper, ramper, s'accrocher, se fixer

Les tiges peuvent, selon les espèces et les variétés, se trouver sous de nombreuses formes, dans diverses textures et se transformer pour accomplir différentes tâches ; les tiges peuvent se transformer dans certains cas en stolons, vrilles, tubercules, bulbes, rhizomes...

Feuille

Les rôles :

Respirer (stomates), transpirer (stomates), nourrir (photosynthèse, pièges), stocker (succulentes...), reproduire (boutures.), défendre (gaz ; épines...)

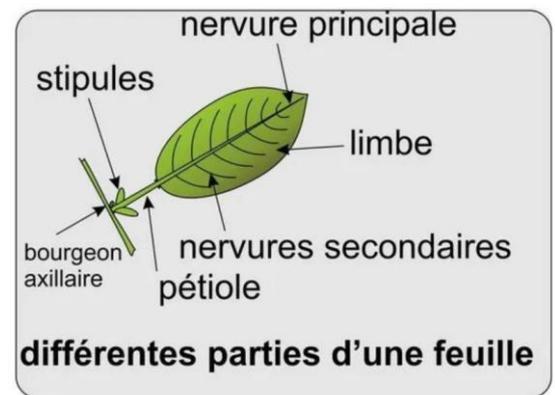


Figure 5 Feuille

Fleur et fruit

• La fleur renferme les organes reproducteurs de la plante, ceux destinés à la reproduction sexuée : étamines et pistil. Une fois la pollinisation effectuée, la fleur se transforme en fruit, à l'intérieur duquel mûrissent les graines.

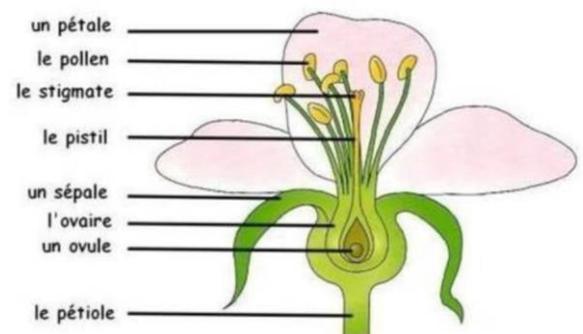


Figure 6 Fleur

1.2. Organisation d'une cellule végétale

La cellule représente l'unité fondamentale structurale et fonctionnelle de tout être vivant.

Il existe une multitude de types de cellules, chacune exerçant une fonction particulière.

Le terme de cellule regroupe les cellules eucaryotes et procaryotes.

La cellule eucaryote : La cellule eucaryote est une cellule qui possède :

- Un vrai noyau limité par l'enveloppe nucléaire, et qui contient le matériel génétique sous forme d'ADN.
- Un cytoplasme hautement structuré contenant de nombreux organites spécifiques
- Elle est limitée par une membrane plasmique qui la sépare du milieu extérieur, et qui limite le cytoplasme.

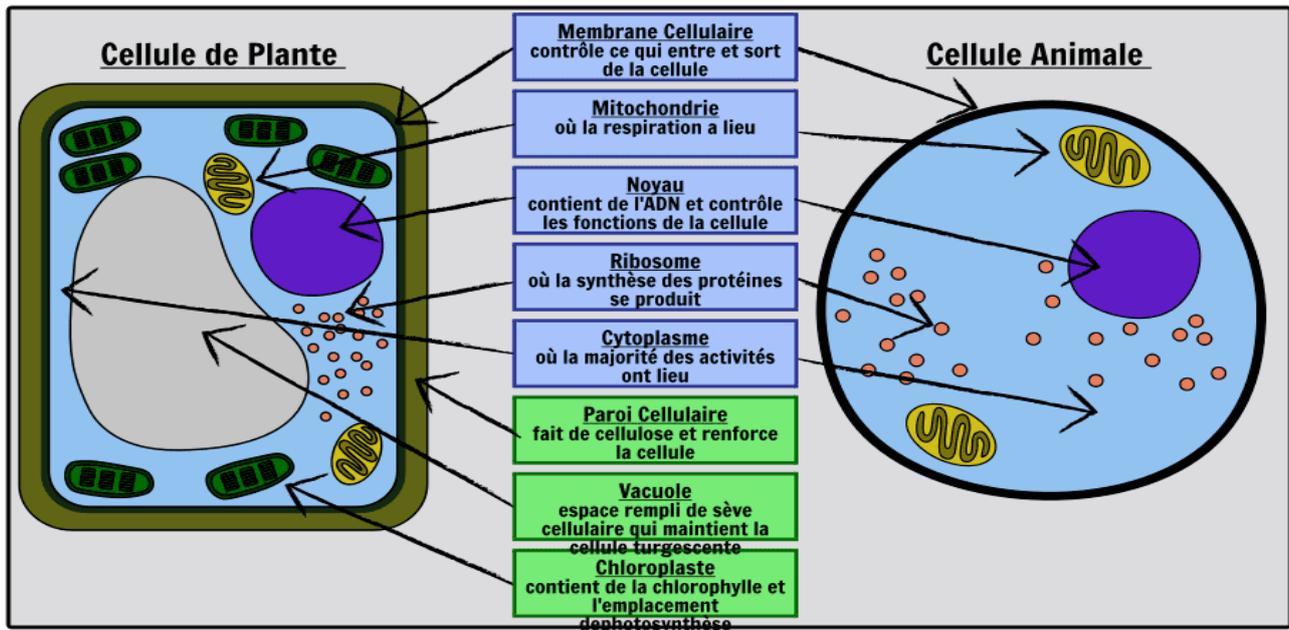


Figure 7 cellule végétale et cellule animale

Particularités de la cellule végétale

La paroi cellulaire

Elle assure la rigidité de la cellule sans pour autant empêcher l'eau et les solutés de la traverser.

- ✓ **La lamelle moyenne** est la partie **la plus externe** de la paroi cellulaire, elle est de nature pectique et constitue le ciment assurant la jonction entre les cellules.
- ✓ **La paroi primaire** formée de cellulose et hémicellulose, elle est **flexible et extensible** ce qui permet la croissance cellulaire. Elle se dépose entre la lamelle moyenne et la membrane plasmique.
- ✓ **La paroi secondaire** est formée lors de **la différenciation** de la cellule, plus épaisse que la paroi primaire, se dépose entre la paroi primaire et la membrane plasmique, constituée de cellulose et hémicellulose ainsi que de la **lignine**, la **subérine** et la **cutine**.

• La paroi primaire est caractéristique des cellules végétales jeunes. Elles confèrent à la cellule la plasticité lui permettant de se diviser de s'allonger ou de se différencier. Les cellules des méristèmes racinaires ou apicaux possèdent typiquement une paroi primaire.

• Au contraire la paroi secondaire est caractéristique des cellules âgées. Ces cellules vont mourir ou sont mortes. Elles assurent différentes fonctions comme la circulation de la sève brute (xylème), la protection (suber) ou le soutien (sclérenchyme).

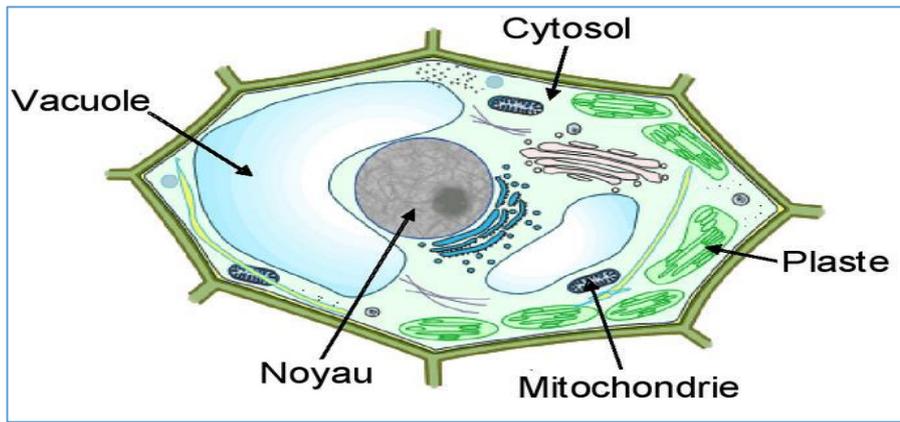


Figure 8 Cellule végétale

Les vacuoles

Elles jouent un rôle de régulation des fonctions physiologiques (pH, concentration ionique, pression osmotique) et occupent plus de 40 % du volume cellulaire total. Sa membrane est appelée le tonoplaste, elles peuvent stocker de l'eau, des éléments minéraux, des substances organiques et des pigments.

- La vacuole, par sa concentration en solutés règle la turgescence de la cellule.

Les plastides

Ce sont des organites intracellulaires ovoïdes ou sphériques de quelques microns de long, on trouve :

a. Les chloroplastes : Des organites uniquement présents chez les végétaux chlorophylliens. Comme les mitochondries, ils sont délimités par une double membrane. L'intérieur du chloroplaste, appelé stroma, contient des « pastilles » vertes : les **thylacoïdes**. La couleur des thylacoïdes est liée à la présence de chlorophylle.

b. Les chromoplastes : Ils contiennent les **carotènes** (pigments jaunes et orangés) ou la **xanthophylle**, (pigment jaune pâle). Ils se trouvent dans les cellules de plusieurs fruits colorés, comme les tomates ou des fleurs.

c. Les amyloplastes : Ce sont des plastides contenant très peu de membranes internes mais de nombreux grains d'amidon.

2. Nutrition hydrique

La nutrition des végétaux verts est très différente de celle des animaux. Depuis des siècles, on réalise des cultures sur les sols à partir de semis. De nos jours, on peut cultiver des plantes sans sol : c'est la culture «hors sol». Cette technique ne peut être mise en œuvre que parce que l'on connaît les besoins des plantes vertes. Quels sont-ils ?

L'eau et les sels minéraux sont prélevés dans le sol par les poils absorbants des racines des plantes.

Les agriculteurs installent des systèmes d'arrosage dans leurs champs pour irriguer leurs cultures et augmenter le rendement de leurs plantations.

Pour obtenir de meilleurs rendements, les cultivateurs épandent de l'engrais sur le sol de leurs plantations. Tous les engrais chimiques sont constitués de substances minérales. Ils contiennent de l'azote, du phosphore et du potassium en proportion variable. Les techniciens agricoles choisissent donc des engrais adaptés à la culture et au sol sur lequel celle-ci se développe.

La quantité et la qualité des sels minéraux fournis à la plante sont déterminées de façon que son développement soit optimal.

Dans une serre, on peut régler la durée et l'intensité de l'éclairage fourni aux plantes. Les productions de deux cultures placées dans les mêmes conditions, mais éclairées de manière différente, augmentent avec l'intensité de l'éclairage. Ces observations montrent que la lumière est nécessaire à la croissance des plantes.

Les végétaux assurent également une nutrition carbonée à partir du CO₂. Le sucre le plus simple produit par la photosynthèse permet de produire des sucres plus complexes, protéines etc. La croissance des plants dépend de la teneur en dioxyde de carbone de l'air qui les entoure.

Tout comme l'organisme humain, la plante a besoin d'eau pour vivre. L'eau est indispensable à la formation de la sève et participe ainsi aux phénomènes de circulation et donc à l'apport de nutriments aux différents organes de la plante ; elle participe également à des phénomènes de régulations tel que la transpiration

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

1. L'eau hygroscopique :

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 0,8mm. 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

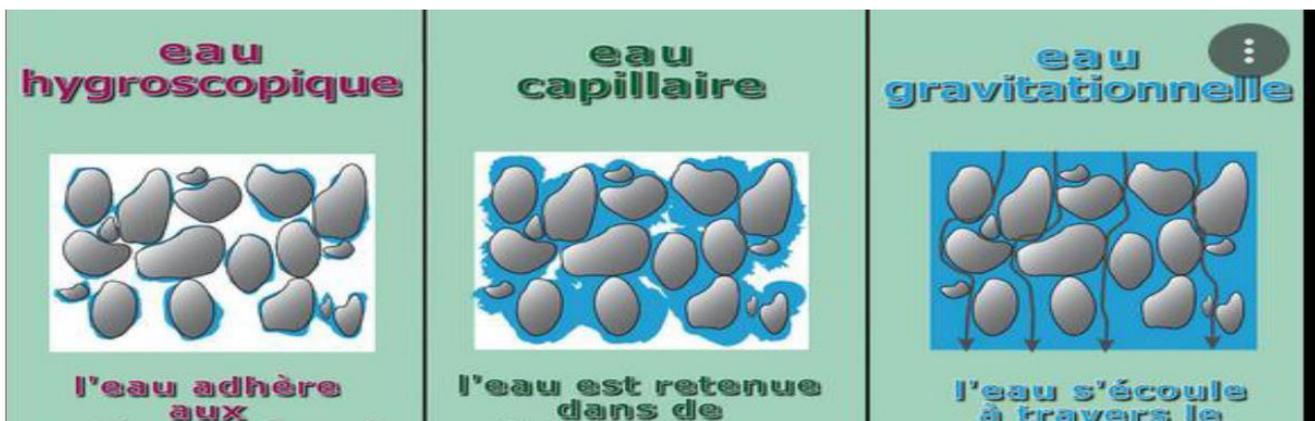


Figure 9 L'eau dans le sol

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.

Les différents états de l'eau dans la plante

a- L'eau libre : C'est l'eau d'imbibition générale, facilement circulante ou stagnante dans les vacuoles.

b- 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.

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).

Pour mesurer la teneur en eau des végétaux, on effectue généralement la dessiccation du matériel végétal. La dessiccation peut être réalisée en étuve à température élevée (105°C/24h). La quantité d'eau contenue est donnée par la **différence de poids** entre la **matière fraîche** et la **matière sèche**.

Variation de la teneur en eau dans la cellule :

La turgescence est un phénomène biologique essentiel chez les plantes, qui se manifeste par l'état de gonflement des cellules végétales. Elle est causée par l'absorption d'eau par osmose, où l'eau entre dans les cellules via la membrane cellulaire, provoquant une pression interne appelée pression de turgescence.

La turgescence se produit lorsque l'eau se déplace de l'extérieur de la cellule (où la concentration en solutés est plus faible) vers l'intérieur de la cellule (où la concentration en solutés est plus élevée) à travers une membrane semi-perméable. La vacuole centrale des cellules végétales joue un rôle crucial dans la turgescence. Elle stocke l'eau et d'autres substances, contribuant ainsi à la pression interne de la cellule.

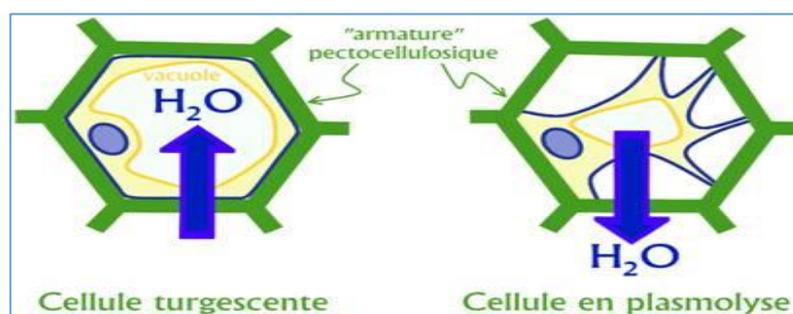


Figure 10 Turgescence et plasmolyse

La plasmolyse c'est l'état inverse de la turgescence. La plasmolyse se produit lorsqu'un flux d'eau sort par osmose de la vacuole. Ce flux d'eau est créé soit par le manque d'eau dans le milieu externe, soit par la présence dans ce milieu d'un liquide plus concentré que le milieu cellulaire. Dans ces situations, il y a un déplacement d'eau par osmose depuis le milieu cellulaire vers le milieu externe.

Ainsi, les cellules d'une plante soumise à une sécheresse ou à une eau trop concentrée en sels perdront leur eau et seront en plasmolyse. Les parties molles se ratatineront alors et la plante mourra de détresse hydrique si la situation ne lui permet pas rapidement de réabsorber de l'eau.

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.

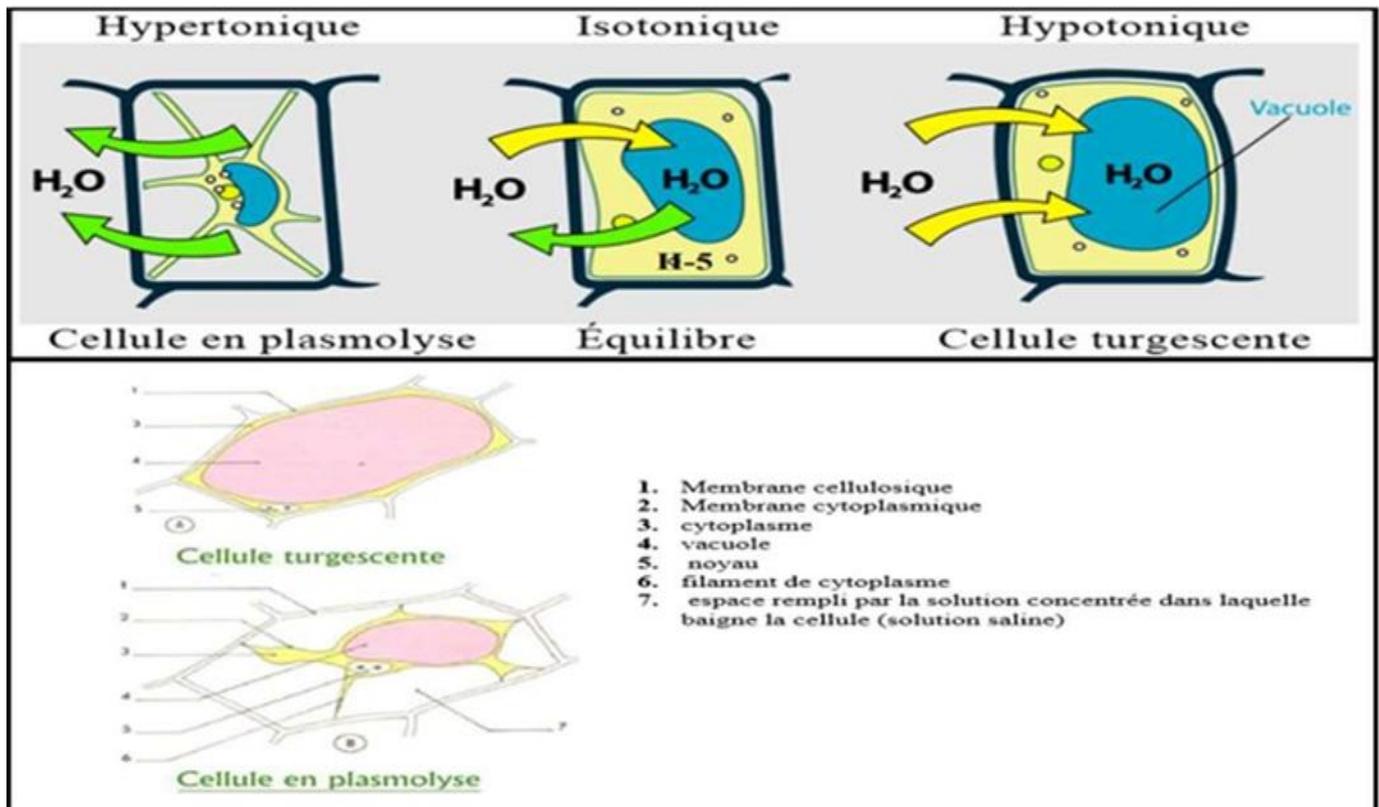


Figure 11 Etats hydrique de la cellule végétale

Remarque

Dans les conditions naturelles, la cellule du poil absorbant est toujours hypertonique par rapport à la solution du sol : elle absorbe donc l'eau passivement par osmose.

Une plante, arrosée avec une solution trop concentrée en sels minéraux, se fane et meurt car, non seulement les cellules des racines n'absorbent plus d'eau, mais elles en perdent ce qui entraîne leur plasmolyse.

Le potentiel hydrique

Le potentiel hydrique permet de déterminer le sens des échanges hydriques entre les différentes parties de la plante, le sol et la plante et la plante et l'atmosphère. En effet l'eau circule toujours des potentiels hydriques les plus élevés vers les potentiels hydriques les plus bas.

Ce potentiel est toujours négatif. On note que le mouvement de l'eau va du potentiel le plus haut au potentiel le plus bas, et donc de la zone retenant le plus d'eau (la plus hydratée), à la zone retenant le moins d'eau (la moins hydratée).

Quand le sol se dessèche on observe donc une diminution du potentiel hydrique, devenant ainsi plus négatif.

Le potentiel hydrique de l'eau pure à 25°C et une pression de **1 atm** est fixe 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 plus élevé (moins négatif) vers le potentiel hydrique le plus bas (plus négatif).

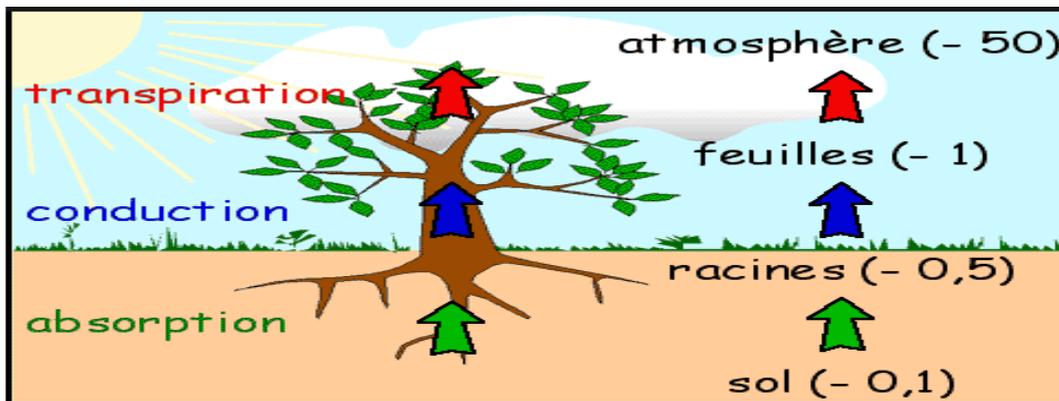


Figure 12 Potentiel hydrique

Pénétration de l'eau dans la plante :

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 μm) qui forment un chevelu visible à l'œil nu un peu en arrière de l'apex ; très nombreux (200 à 500/cm² jusqu'à 2000/cm² chez les graminées, au total souvent plus d'un milliard par plante)

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.

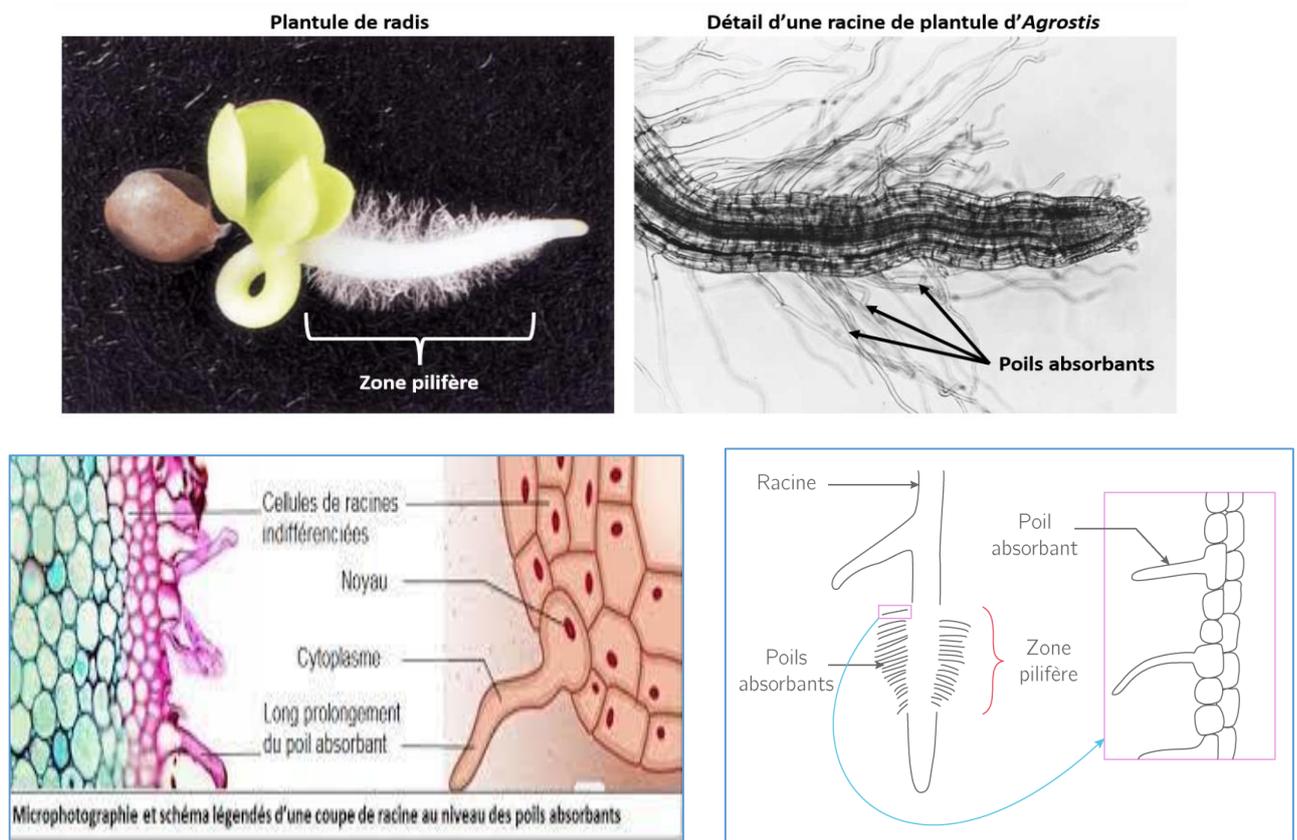


Figure 13 Poil absorbant

Mécanisme

L'eau dans les vacuoles forme une solution de sels minéraux et de métabolites déterminant une pression osmotique qui attire l'eau de l'extérieur vers l'intérieur de la cellule, les membranes pouvant être considérées comme semi-perméables. Actuellement, on parle de potentiel hydrique qui définit comme une grandeur thermodynamique permettant de prévoir les mouvements de l'eau.

L'osmose est un transport passif de l'eau qui permet à une cellule de gagner ou de perdre de l'eau en se déplaçant d'une solution hypotonique (faible concentration en solutés) vers une solution hypertonique (forte concentration en solutés).

La succion (الامتصاص) 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.

Transit de l'eau dans la plante :

L'eau est absorbée par les poils absorbants des racelles. Elle doit atteindre les vaisseaux du **xylème**. Pour cela, **3 trajets** sont possibles

- (a) **La voie transcellulaire**: l'eau va de cellule en cellule, en passant par les vacuoles
- (b) **La voie symplastique**: utilisant les plasmodesmes, au niveau des punctuations, pour passer d'un cytoplasme à un autre..
- (c) **La voie apoplastique**: passe par les parois cellulaires

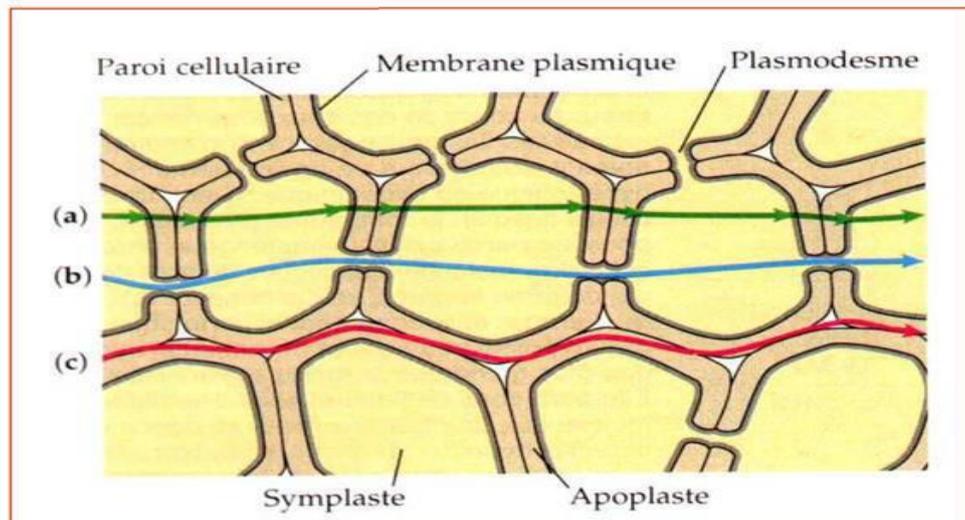


Figure 14 Transit de l'eau

3. Transpiration végétale (النتح)

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.

Moins de 5% de l'eau absorbée par les plantes, est réellement utilisée pour la croissance, et une quantité encore moindre est utilisée dans les réactions biochimiques ; l'équilibre hydrique de la plante passe par une perte de vapeur d'eau assurée généralement par les feuilles (plus de 90% s'échappe par les feuilles)

La transpiration se fait à deux niveaux :

1. Dans de moindre mesure au niveau de la cuticule des feuilles (évaporation). La transpiration (perte d'eau) représente ici **5 à 10 %** de la transpiration totale. On parle de **transpiration cuticulaire**.
2. La majorité au niveau des stomates ; on parle de **transpiration stomatique**.

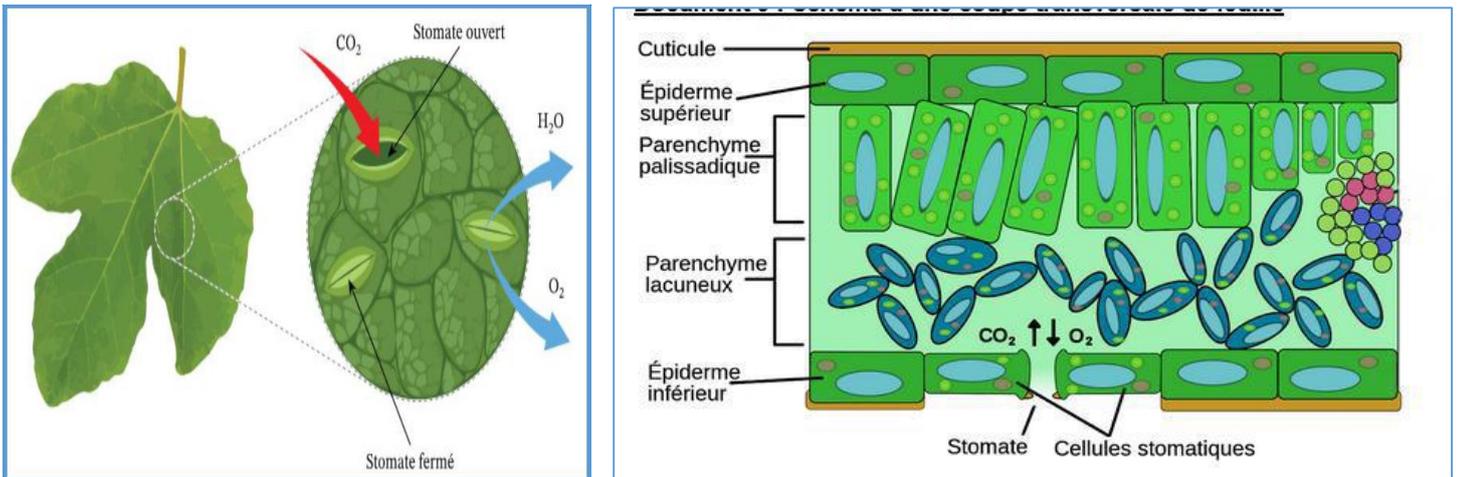


Figure 15 Feuille

Les stomates sont constitués de deux cellules de « **garde** », déformables en fonction de leur teneur en eau et délimitant une ouverture : l'**ostiole**. Ce dernier communique avec les chambres sous stomatiques du parenchyme lacuneux.

Les cellules de garde régulent l'ouverture et la fermeture des stomates. Les cellules s'ouvrent en accumulant de l'eau. Elles gonflent et prennent la forme d'un croissant. Enfin, elles se referment en libérant l'eau. Elles rétrécissent et prennent une forme allongée et fine.

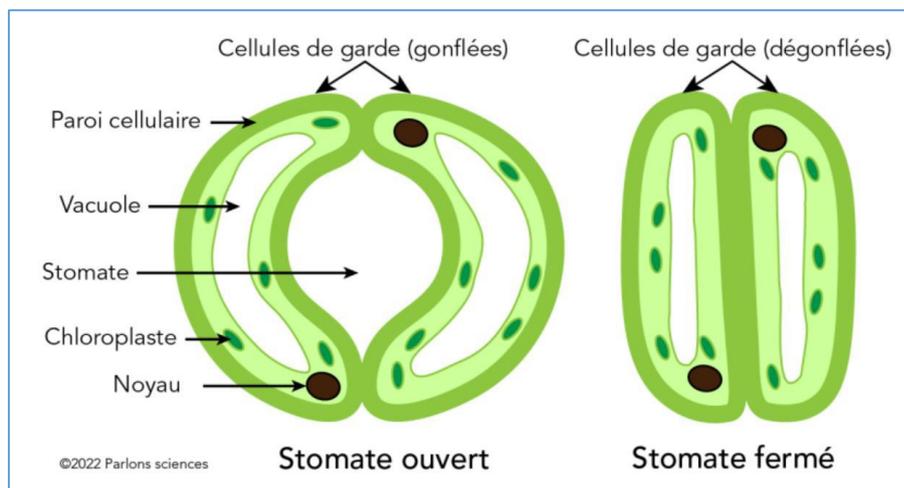


Figure 16 Stomate

Mécanismes d'ouverture des stomates

La transpiration stomatique varie suivant l'ouverture et la fermeture des stomates. 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⁺**) qui est le principal responsable des variations de pressions osmotiques observées. Il est indispensable pour le fonctionnement des stomates.

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.

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 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 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.

Facteurs structuraux

Au niveau de la plante la transpiration stomatique dépend de son anatomie, on distingue ainsi différents facteurs structuraux :

La surface foliaire correspond à la surface des feuilles de la plante. Les stomates étant présents au niveau des feuilles, sa réduction (chute des feuilles, feuilles réduites à des aiguilles, ...) permet une baisse de la transpiration.

La constitution foliaire, en effet certaines espèces de plantes vivant en climat aride,

Les cellules de garde ont des parois renforcées du côté interne qui délimite l'ostiole permettant une protection contre les pertes d'eau.

La densité des stomates. La densité stomatique correspond au nombre de stomates par unité de surface ou par feuille.

Facteurs externes

Les facteurs externes correspondent à l'environnement de la plante, les plus importants sont :

La nature du sol : Un sol chargé en ion possède une pression osmotique plus élevée, ce qui nécessite une augmentation de la succion des plantes concernées et ainsi de la transpiration.

L'humidité du sol : Lorsque le sol s'assèche, la concentration en ion augmente, donc les forces osmotiques sont plus importantes, ce qui entraîne également une extraction plus difficile et une nécessité d'augmentation de la transpiration.

L'humidité de l'air : L'humidité de l'air agit différemment suivant le seuil atteint.

L'agitation de l'air : l'augmentation de l'agitation de l'air entraîne tout d'abord l'ouverture des stomates. Cependant, si l'agitation dépasse un certain seuil, elle entraînera leur fermeture.

La température : son augmentation entraîne une augmentation de l'ouverture des stomates et donc de la transpiration. Mais, lorsque la température dépasse un certain seuil (environ 30°C), elle provoque la fermeture des stomates et la diminution de la transpiration.

La luminosité : la lumière agit sur le métabolisme des cellules stomatiques, favorisant l'entrée d'ions K⁺ et donc l'ouverture des stomates et l'augmentation de la transpiration.