

NUTRITION HYDRIQUE

Mécanismes de l'absorption et le transit d'eau

La physiologie végétale étudie les mécanismes qui régissent le fonctionnement et le développement des végétaux. Elle se divise en deux grandes parties :

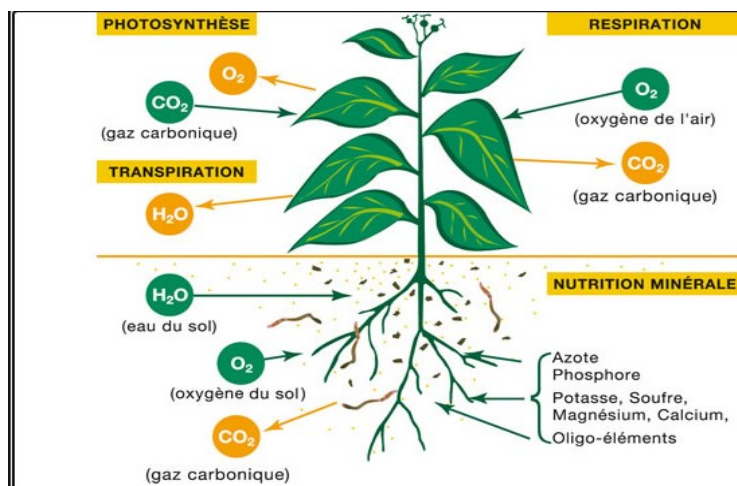
Nutrition et métabolisme : qui se résume par, L'acquisition des éléments indispensables à la vie et la transformation de ces éléments et leur intégration dans la matière organique (dans la biomasse)

Croissance et développement : Mécanismes pour le passage de la graine de l'état de vie ralentie à l'état reproducteur (cycle de développement).

La nutrition des végétaux

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 leur différentes fonctions physiologiques : croissance, développement, reproduction...



L'eau est le constituant le plus important des tissus végétaux, pour cette raison les possibilités d'alimentation en eau déterminent largement la répartition des végétaux à la surface terrestre: la végétation est abondante sur les zones pluvieuses et absente où peu abondante sur zones désertiques.

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.

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

Importance de l'eau dans la matière végétale

Au niveau cellulaire

C'est le milieu d'imbibition de tous les colloïdes protoplasmiques, c'est le liquide au sein duquel s'effectuent toutes les réactions du métabolisme, le milieu de diffusion de tous les ions ou métabolites, l'eau dans la cellule adulte est pour la plus grande part située dans la vacuole qui occupe souvent plus de 95% du volume cellulaire, mais le cytoplasme lui même est très hydraté

Au niveau de l'organisme entier

C'est le fluide circulant dans les vaisseaux conducteurs, formant avec les matières en solution les sèves brute et élaborée. C'est par ailleurs le liquide responsable de la turgescence de toutes les cellules et donc du port dressé des végétaux non ligneux. La sève brute est une solution nutritive du sol très diluée ($0,1 - 2\text{g L}^{-1}$; P O moins d'un bar) contient des sels minéraux, avec quelques composées organiques notamment les aminoacides

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.

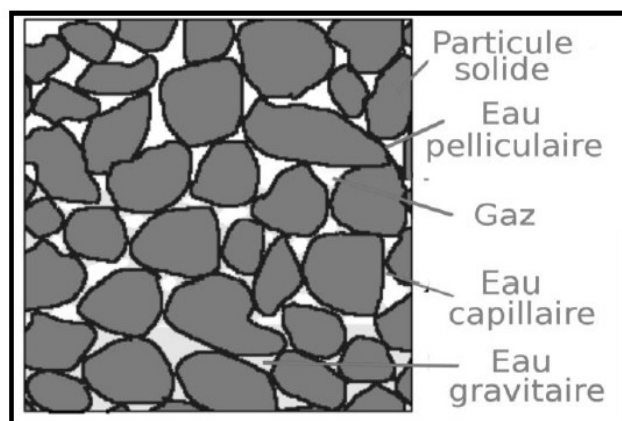
L'eau dans le sol

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

L'eau dans la plante

-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.

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

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

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

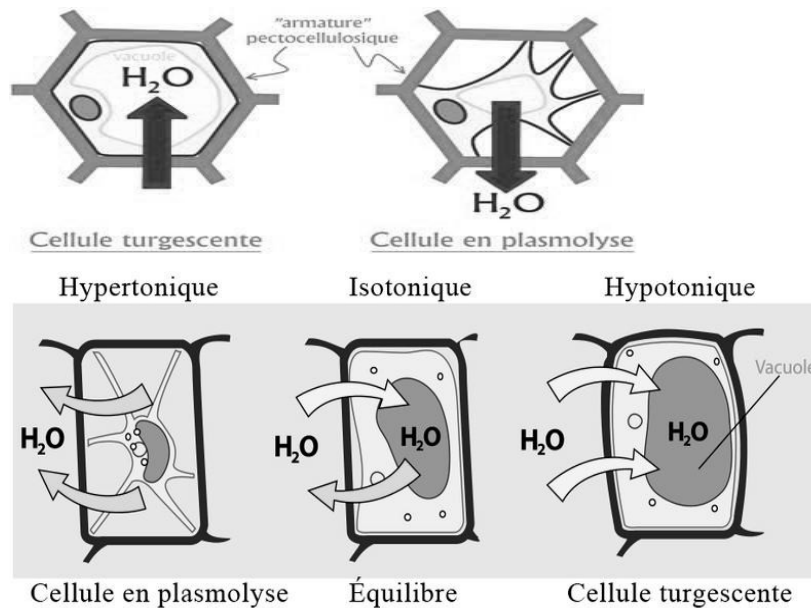
$$TE = (MF - MS) / MF * 100$$

Turgescence :

Quand la cellule est dans un milieu hypotonique, l'eau rentre dans la cellule qui devient turgescence a 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



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 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 moins négatif vers le potentiel hydrique le plus négatif.

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).

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 ; 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.

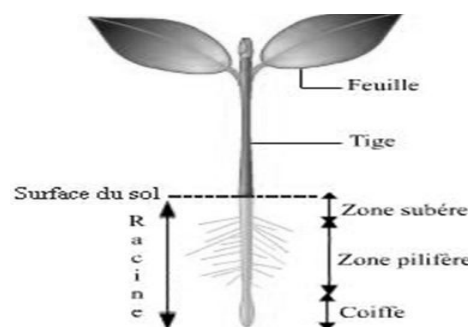
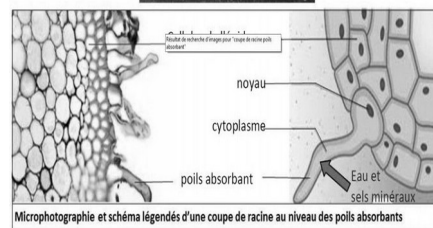
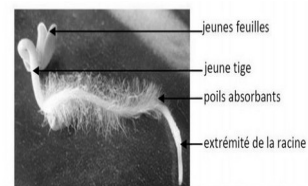
-Ils sont fragiles et disparaissent par l'acidité ou le manque d'oxygène.

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

Paroi pectocellulosique très mince

Vacuoles volumineuses

Surface de contact considérable.



Les facteurs contrôlant l'absorption de l'eau par la plante

L'absorption est sous la dépendance étroite de l'activité physiologique de la plante puisque la transpiration crée un appel retransmis le long de la tige et de cellule à cellule grâce aux forces de cohésion de l'eau. cet appel à un double rôle.

- il exerce directement sur l'eau des racines une tension vers le haut

-il diminue le gonflement des poils absorbants et donc la contre-pression de turgescence.

cependant, l'activité de la racine intervient également et contrôlée par plusieurs facteurs

Les facteurs contrôlant l'absorption d'eau par les racines : les facteurs climatiques (température, humidité de l'air) agissent indirectement sur l'absorption de l'eau en modifiant

les quantités perdues par transpiration, les facteurs pédologiques jouent aussi un rôle dans le contrôle de la quantité d'eau absorbée par une plante. La teneur en eau de sol est un facteur décisif.

Facteurs climatiques

La température et l'humidité de l'air agissent indirectement sur l'absorption en modifiant les quantités d'eau perdues par transpiration, la température du sol a une influence marquée sur l'absorption. En effet une température au dessous de 5 à 10 °C entraîne une baisse de l'absorption.

Facteurs pédologiques

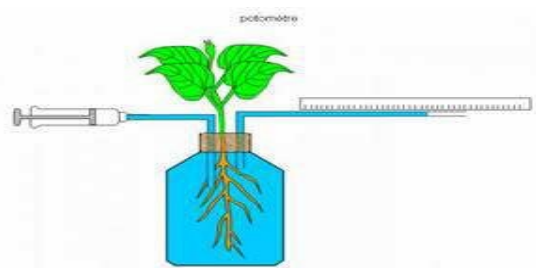
Un Sols trop lourds ou trop humides causent l'asphyxie des racines ce qui gêne l'absorption. La teneur en eau du sol est donc un facteur décisif, c'est l'eau libre pour la végétation qui doit être prise en compte.

La quantité d'eau absorbée est d'autant plus grande que les forces de rétention de l'eau du sol sont faibles, au dessous d'une certaine teneur en eau, différente pour chaque sol, on atteint le stade de flétrissement irréversible de la végétation.

Méthodes de mesure de l'absorption de l'eau par les racines

la quantité d'eau absorbée par la plante ne doit pas être égale à la quantité d'eau perdue par transpiration puisque il ne faut pas négligé les quantités d'eau transformée ou produite par le métabolisme qui sont d'ailleurs tout à fait minimales par rapport aux masses énormes d'eau circulant à travers les organismes végétaux.

On peut mesurer la quantité d'eau puisée dans le sol par une plante de plusieurs façons soit par simple pesée ou à l'aide d'un potomètre



Mécanismes de l'absorption

Le mécanisme primaire d'entrée de l'eau est le résultat de lois purement physicochimiques. L'absorption de l'eau est un processus passif (au sens thermodynamique du terme) du à la différence négative entre le potentiel hydrique du poil absorbant et celui du sol. Elle est toute fois sous la dépendance du métabolisme.

Notion de Pression osmotique : le liquide vacuolaire d'une cellule végétale présente une certaine pression osmotique. À 0°C

Posm : pression osmotique atmosphérique

R : constante des gaz parfaits

T : température absolue

C : concentration molaire du liquide vacuolaire

Posm = R.T C = 22.4 C (Loi de Vant 'Hoff, 1901) en pascal

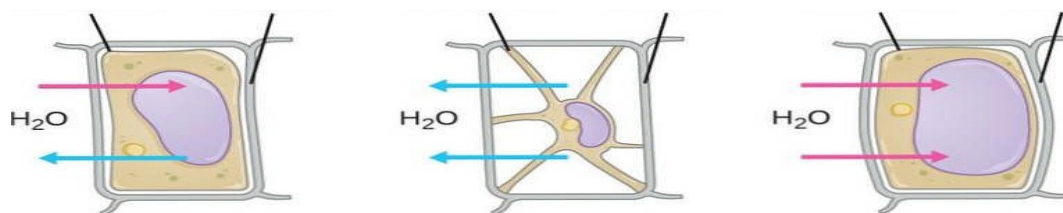
Mécanismes cellulaires de l'absorption au niveau des racines

L'eau pénètre toujours à travers une paroi cellulaire, il faut se rappeler que les échanges d'eau entre le milieu intracellulaire et le milieu extracellulaire 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 du suc vacuolaire est habituellement de quelque bar due aux éléments minéraux surtout (K⁺ CL⁻, HCO₃⁻) et aux acides organiques, elle peut atteindre plusieurs dizaine de bar chez les plantes marines et les halophytes des terrains salés.

Les forces d'imbibitions nécessite de l'énergie importante (400 KJ où plus), la force d'imbibition entre l'eau et les macro molécules qui présentent des sites chargés négativement, ce type de liaison ce rencontre chez les molécules organiques glucides aminoacides , protéine, qui sont hydrophile par leur groupement, au contraire au lipides et acides gras qui sont lipophile, au force d'imbibition et force osmotique s'ajoute la force capillaire qui se traduisent par des rétention d'eau dans les lacunes et les canalicules, elle joue un rôle secondaire

La pression osmotique qui détermine le flux d'eau est proportionnelle à la différence de concentration entre les deux milieux. Ainsi une cellule placée dans une solution hypertonique par rapport au milieu intracellulaire perd de l'eau et devient **plasmolysée**.

En outre, si elle est placée dans un milieu hypotonique extracellulaire par rapport au milieu intracellulaire, l'eau pénètre dans la cellule, la vacuole gonfle : la cellule devient **turgescence**



Dans les conditions normale, 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

Si la cellule est plongée dans un milieu hypotonique (de pression osmotique inférieure à celle de son liquide vacuolaire), un appel d'eau se produit du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré. De l'eau entre dans la cellule et celle-ci se gonfle, devient turgescente. La paroi cellulaire se déforme, se distend sous l'effet de cette pression osmotique (**Posm**) et oppose progressivement une pression membranaire (**Pmbr**) de résistance à la déformation lorsque ces deux pressions opposées s'équilibrent, la cellule atteint son volume maximum. C'est l'état de pleine turgescence, état naturel aux cellules des végétaux non ligneux à port dressé.

Isotonie

La pression osmotique du liquide vacuolaire est donc responsable de l'entrée de l'eau dans la cellule végétale mais à chaque instant cette pression osmotique doit être diminuée de la contre pression de résistance à la déformation exercée par le cadre pectocellulosique, c'est la force de "Succion S », elle est obtenue par la différence entre la pression osmotique et la pression membranaire ou contre pression de résistance à la déformation exercée par la paroi.

La quantité d'eau entrant dans une cellule végétale est à chaque instant, proportionnelle aux forces de succion exercées par la cellule sur l'eau de son entourage. Cette pression de succion de l'eau est à son maximum quand le milieu est de même concentration ou de même pression osmotique que le liquide vacuolaire $S = P_{osm} - P_{mbr}$

Hypertonie du milieu extérieur

Quand le milieu présente une force de succion de l'eau supérieure à celle de la cellule, l'eau sort de la cellule vers l'extérieur et ceci provoque **une plasmolyse**

La plasmolyse de la cellule

C'est ce qui se passe l'orsque le sol est desséché au-delà du point de flétrissement des végétaux. (Morot-Gaudry *et al*, 2017). Est il doit y avoir une hypertonie de la vacuole suffisante du poil absorbant par rapport à la solution du sol, pour surmonter la résistance qu'oppose la turgescence à l'entrée de l'eau.

L'hypertonie du poil absorbant est généralement le facteur déterminant de l'absorption et elle est largement sous le contrôle de l'activité physiologique

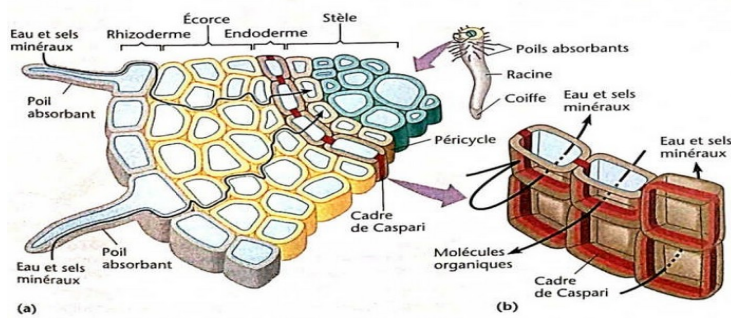


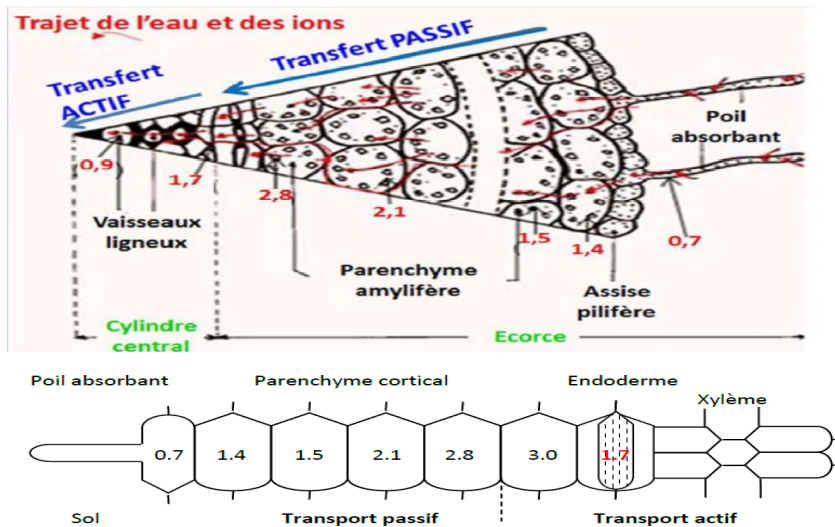
FIGURE 4.5 L'endoderme. (a) L'eau et les sels minéraux peuvent progresser entre les cellules du rhizoderme et de l'écorce mais ils doivent passer à l'intérieur des cellules de l'endoderme à cause de la présence du cadre de Caspari. (b) Cette vue de deux assises du cylindre formant l'endoderme montre comment 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.

Transit de l'eau dans la plante

Dans les racines

Au niveau de la région pilifère d'une jeune racine, il existe de deux zones concentriques nettement distinctes : l'écorce ou cortex et le cylindre central ou endoderme où se trouvent les vaisseaux du bois conducteurs de la sève brute.

Les mesures de pression osmotique 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 c'est les lois de l'osmose ; à partir de l'endoderme, la progression nécessite une dépense d'énergie : c'est un transport actif



Trajets de l'eau

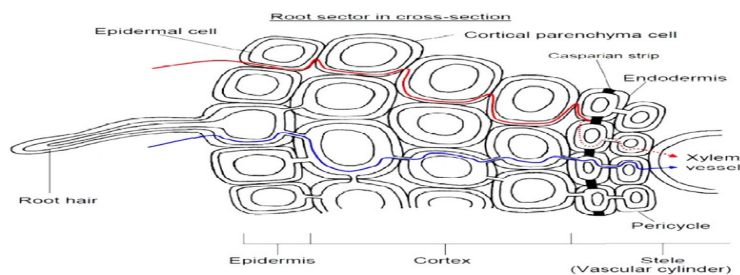
L'eau entrée par les poils absorbants gagne les vaisseaux conducteurs par le cortex (écorce) et la stèle (cylindre central). Elle suit trois voies ;

- L'apoplasme : c'est l'ensemble des parois, des lacunes et des méats des cellules, très accessible à l'eau et aux ions minéraux.
- Le symplasme : C'est l'ensemble des cytoplasmes qui sont en continuité par les systèmes de jonction tels que les plasmodesmes,

- De vacuole à vacuole : à travers des parois et des couches cytoplasmiques ; ce transport est dit transport transcellulaire par opposition au transport transmembranaire limité à une seule membrane.

Dans le cortex, l'apoplasme qui offre très peu de résistance à l'eau est la voie principale mais, le cadre subérimé des cellules endodermiques forme un barrage que l'eau doit contourner par le symplasme. Les trois voies sont d'ailleurs en constante communication.

-Poussée radiculaire: à l'entrée des vaisseaux, l'eau est émise sous pression; c'est la poussée radiculaire ou racinaire qui dépasse souvent 1 bar



Le mécanisme d'entrée de l'eau à travers la racine est dans les conditions normales essentiellement dû à l'appel des parties aériennes (transpiration) ; mais le mécanisme de la poussée radiculaire est mal éclaircie. Il s'agit d'un processus actif lié au métabolisme et plusieurs hypothèses tentent de l'expliquer:

- La tendance actuelle serait de considérer la poussée radiculaire pour une large part comme de nature osmotique.

- Il y aurait une sécrétion active d'ions dans les vaisseaux conducteurs par les cellules de la stèle, les ions sécrétés entraînent l'eau. Ce point de vue est en accord avec le fait que la sève brute poussée radiculaire a une concentration saline de la sève brute poussée radiculaire.

Transit vertical par les vaisseaux du xylème

L'ascension de l'eau, et donc de la sève brute, dans les végétaux repose sur la complémentarité de trois forces physiques : la poussée racinaire (radiculaire), la capillarité et l'aspiration foliaire.

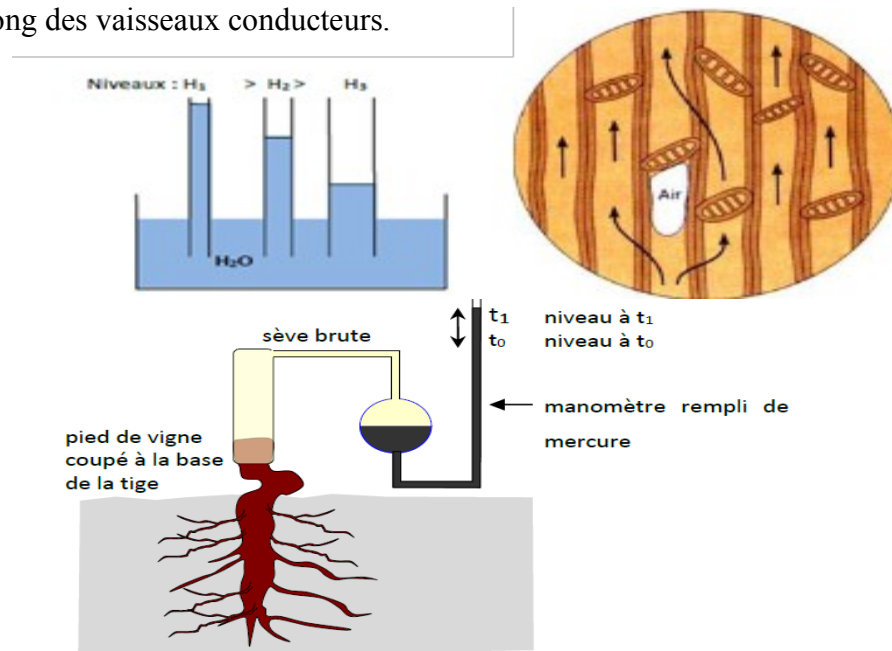
1ère force la poussée radiculaire :

Expérience de HALEY 1727 : sur un cep de vigne sectionné au niveau de sa tige qui est relié à un tube en U contenant le mercure (manomètre), montre que ce dernier est poussé par une force résultante de l'absorption continue des racines. Les racines exercent une poussée et refoulent ainsi la sève dans les vaisseaux du xylème.

La poussée radiculaire aide à l'alimentation en eau des jeunes bourgeons au début de leur éclosion ou les végétaux dépourvus de feuille au début de printemps.

2eme force la force de capillarité :

La capillarité désigne la capacité de l'eau et de certains liquides à monter naturellement le long de tubes très fins plongés dans ces liquides malgré la force de gravité. La Montée est d'autant plus forte que le tube est fin. Ce phénomène explique comment la sève des plantes peut monter le long des vaisseaux conducteurs.



3eme force l'aspiration foliaire :

C'est une force qui s'exprime au niveau des feuilles suite à la transpiration ou rejet d'eau, un vide (une dépression) apparaît dans les feuilles et qui crée un appel d'eau du bas vers le haut. Ce phénomène est appelé transpiration et repose sur la théorie de la **cohésion** (liaisons hydrogène) qui repose sur l'existence d'une colonne d'eau continue depuis la racine jusque dans le parenchyme foliaire.

Transit horizontal dans les parenchymes foliaires

À la sortie des vaisseaux du xylème, l'eau transite par osmose le long d'une dizaine de cellules (trajet apoplasmique) et parvient au niveau des cellules qui bordent les espaces intercellulaires où une grande partie est vaporisée - une petite partie est redistribuée dans la sève élaborée ou métabolisée dans les cellules chlorophylliennes.