

CHAPITRE 4 : TRANSPORT DE L'EAU ET DES MINÉRAUX CHEZ LES PLANTES

Introduction

Comme tous les organismes vivants, la plante a besoin d'eau, elle est indispensable à la formation de la sève, participe ainsi à la circulation des éléments (organiques et minéraux) et donc à l'apport de nutriments aux différents organes de la plante.

L'eau est aussi impliquée dans des phénomènes métaboliques et des phénomènes de régulation tels que la transpiration. La présence de l'eau est aussi indispensable à la croissance, le développement et l'orientation des organes de la plante.

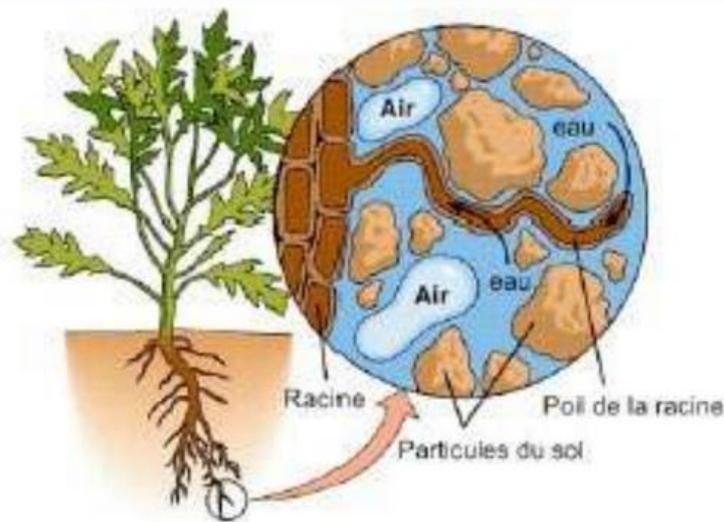


Figure 28 : Absorption de l'eau par les racines

I. L'eau dans la plante

1. La teneur en eau des végétaux

L'eau est stockée dans la vacuole qui sert de réservoir d'eau aux plantes. 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).

$\theta = \% \text{eau} = \frac{(\text{MF} - \text{MS})}{\text{MF}} \times 100$; MS = Matière Sèche ; MF = Matière Fraîche

La teneur en eau diminue avec l'âge de la plante, dans les graines, on trouve entre 5 et 10% d'eau.

2. Les états de l'eau dans la plante

Elle peut être en solution (dans les vacuoles ou les sèves), sous forme de vapeur (dans les méats, dans la chambre sous-stomatique).

Dans le milieu réactionnel de la cellule, l'eau est le solvant des molécules organiques.

2.1. L'eau liée

C'est l'eau immobilisée dans la cellule par des liaisons hydrogènes autour des groupements alcooliques, aminés ou carboxyliques.

2.2. L'eau libre

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

2.3. L'eau de constitution

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

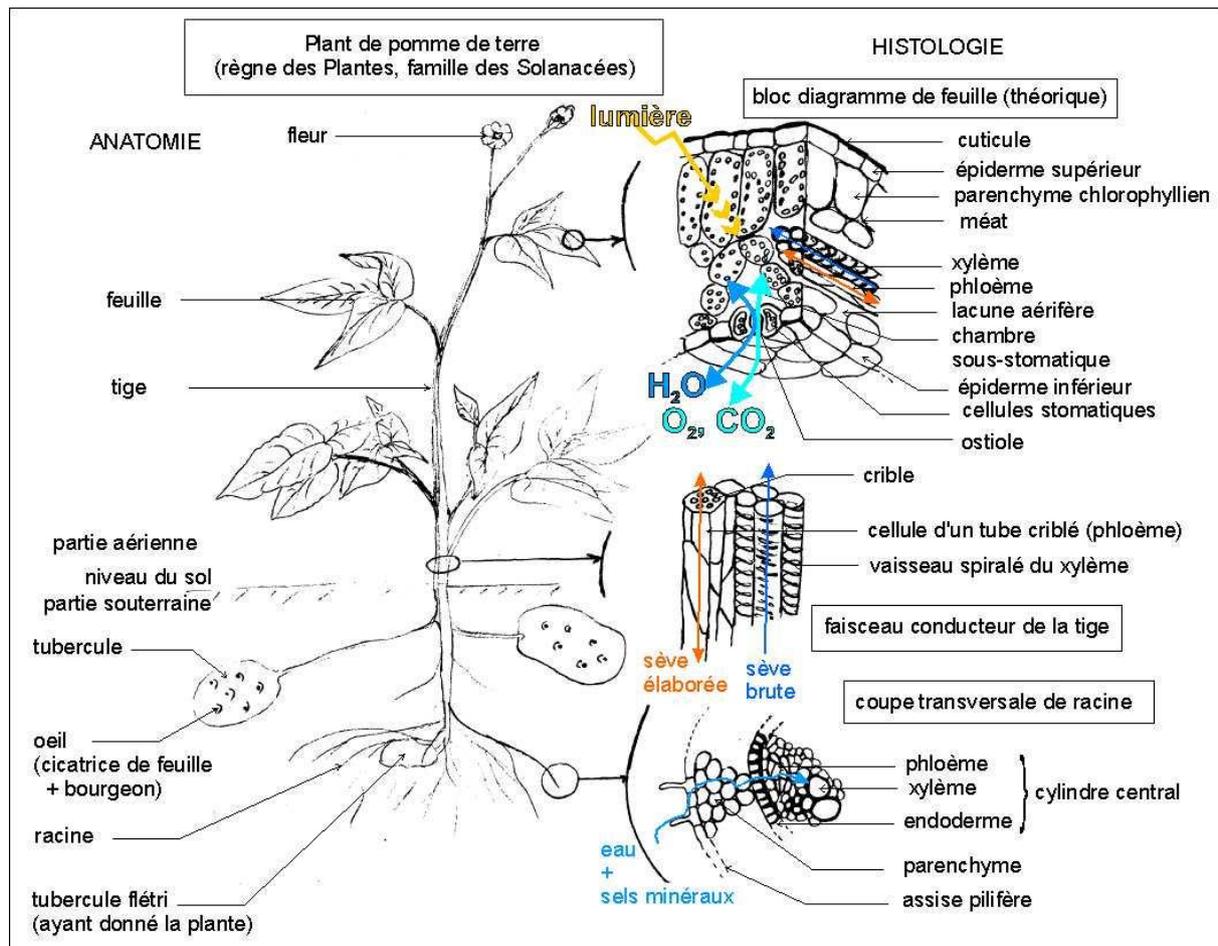


Figure 29 : La circulation de l'eau dans les différents organes de la plante

II. Absorption de l'eau et des sels minéraux

L'absorption racinaire est l'absorption d'eau et de sels minéraux par les racines d'une plante jusqu'à leur répartition dans ses parties supérieures. C'est par ce mécanisme que les plantes se nourrissent.

L'eau passe du sol à la vacuole d'une cellule de poil racinaire par osmose. L'osmose est le mouvement de l'eau d'une faible concentration de solutés (où il y a une forte concentration d'eau) vers une forte concentration de solutés (où il y a une faible concentration d'eau). L'osmose est un processus passif, ce qui signifie qu'elle ne nécessite pas d'énergie. Lorsque la concentration de solutés augmente, la « pression osmotique » qui provoque le mouvement de l'eau augmente également.

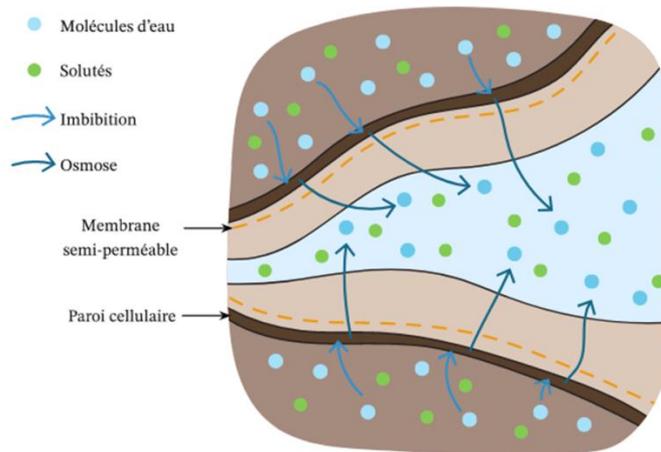


Figure 30 : Le passage de l'eau par osmose

Généralement, des molécules plus petites, comme l'eau et les sels, peuvent passer à travers les membranes, mais les grandes substances, comme les sucres et les protéines, ne le peuvent pas. En permettant à certaines molécules de traverser et en empêchant d'autres de le faire, les membranes cellulaires sont dites semi-perméables ou à perméabilité sélective.

1. Absorption de l'eau

1.1. Le lieu de l'absorption

L'absorption de l'eau par les plantes se fait au niveau des poils absorbants de la zone pilifère des racines, le transport de l'eau s'effectue de façon radiale, des poils absorbants vers la stèle centrale où se trouve le xylème (vaisseaux conducteurs de la sève brute), en traversant la paroi ou le cytoplasme des cellules du cortex.

1.2. Les étapes de l'absorption

- Du poil absorbant à l'endoderme: Selon la loi de l'osmose, l'eau migre dans la racine via l'apoplasme, le symplaste et la voie transmembranaire.

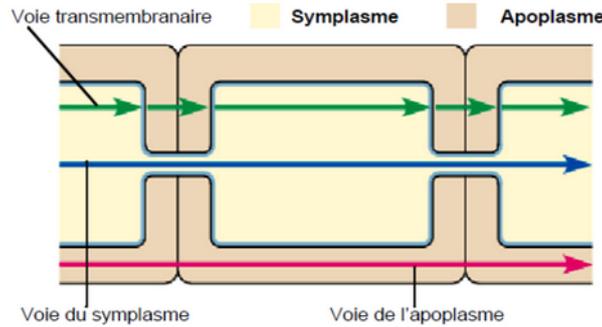


Figure 31 : La voie symplastique et la voie apoplastique

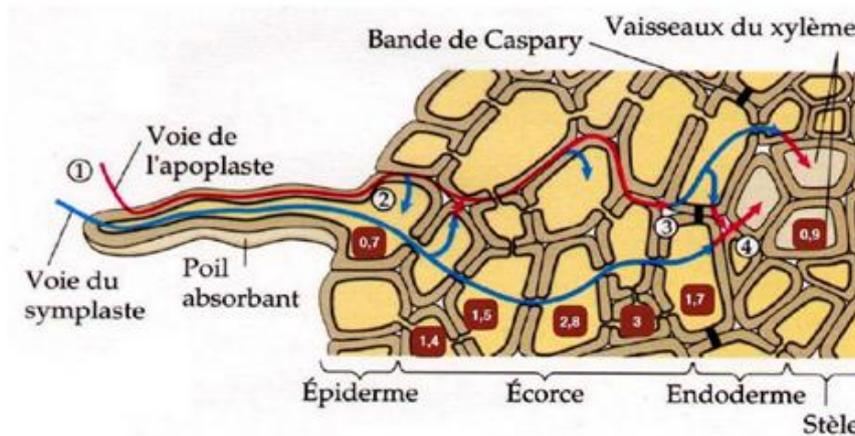


Figure 32 : Le passage de l'eau dans le cortex de la racine

- De l'endoderme à la stèle : (transport actif) Les cellules de l'endoderme sont ceinturées par la bande de Caspary (couche de cire). L'eau et les minéraux doivent pénétrer dans la stèle (les vaisseaux) en empruntant la voie du symplaste. La bande de Caspary empêche également le reflux d'eau et de sels dans le cylindre central vers la zone corticale.

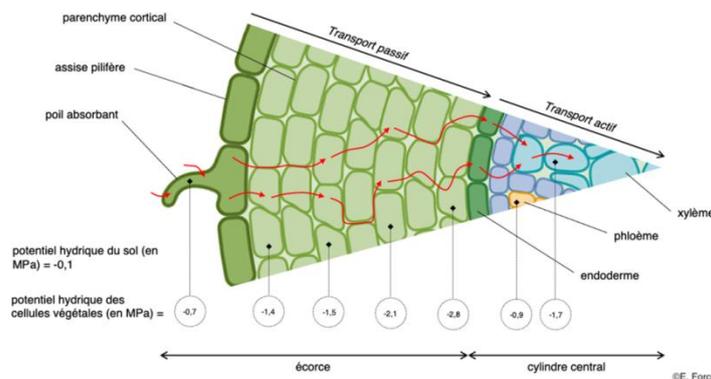


Figure 33 : Le passage de l'eau dans le cortex et la stèle de la racine

Chapitre 4 : Transport de l'eau et les minéraux chez les plantes

- L'eau et les sels minéraux gagnent le cylindre central, traversent l'endoderme, et se déversent dans les vaisseaux du xylème. La sève brute, ainsi formée, ne contient que des sels minéraux et de l'eau.

Les tissus conducteurs de la sève brute sont constitués de cellules mortes (vaisseaux du bois) dont la paroi est imprégnée d'une substance rigide et imperméable : la lignine. La sève brute monte dans la racine, puis dans la tige, jusqu'aux feuilles et à tous les organes aériens.

2. L'absorption des minéraux

2.1. Le processus de l'absorption

L'absorption des minéraux par les racines est un processus dynamique. Les éléments minéraux dissous dans la solution aqueuse du sol pénètrent dans la plante par les racines sous la forme d'ions. Chaque espèce végétale a des besoins précis en ions, liés à son métabolisme propre et possède des résistances variées aux éléments toxiques. La plante développe des mécanismes particuliers de transport d'ions, réglant ainsi les quantités absorbées selon ses besoins.

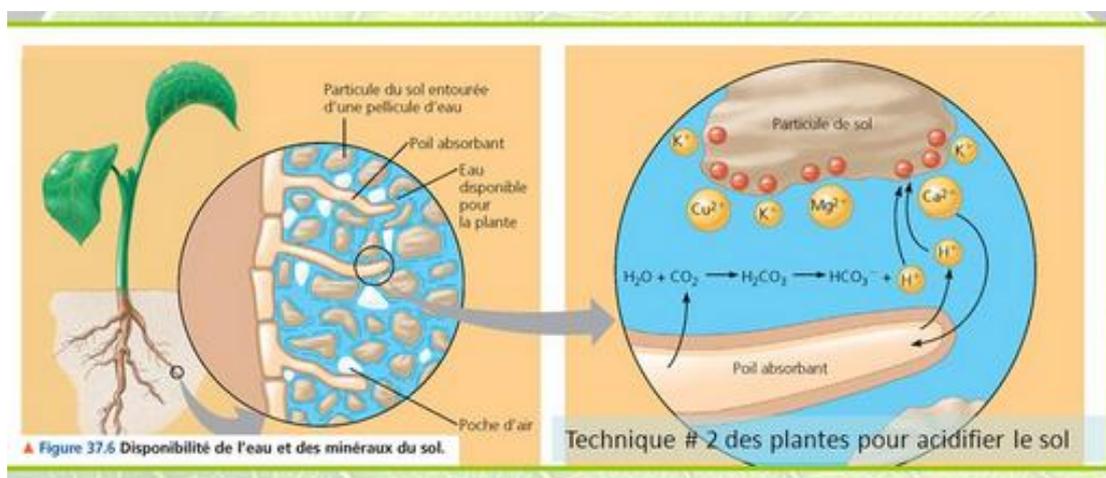


Figure 34 : L'absorption des élément minéraux

2.2. L'absorption sélective

L'absorption des éléments nutritifs par le système racinaire est sélective. Elle met en jeu plus de 400 protéines localisées sur les parois des cellules de l'épiderme, de l'endoderme et des vaisseaux qui règlent les transports de l'eau et des ions depuis le sol vers le xylème

Les cellules n'absorbent pas indifféremment les ions. Il existe une perméabilité sélective (le Na pénètre très mal dans la cellule. A l'opposé, le K se trouve à des concentrations plus élevées à l'intérieur qu'à l'extérieur (accumulation)).

Les cations présentent une vitesse de franchissement des membranes plus grande que celle des anions.

2.3. Les étapes de l'absorption

L'adsorption, étape de fixation superficielle des ions sur les racines, passive et réversible pendant laquelle, l'élément adsorbé peut être désorbé.

Adsorption (du latin **ad** =vers, **sorbere**=aspire, c'est l'adhérence d'un liquide, d'un gaz ou d'une substance dissoute à un solide, augmentant la concentration de cette substance)

L'absorption (au sens strict) qui suit la première étape et peut être active ou passive, selon les ions. Les éléments minéraux doivent être solubles dans l'eau afin d'être assimilé par la plante.

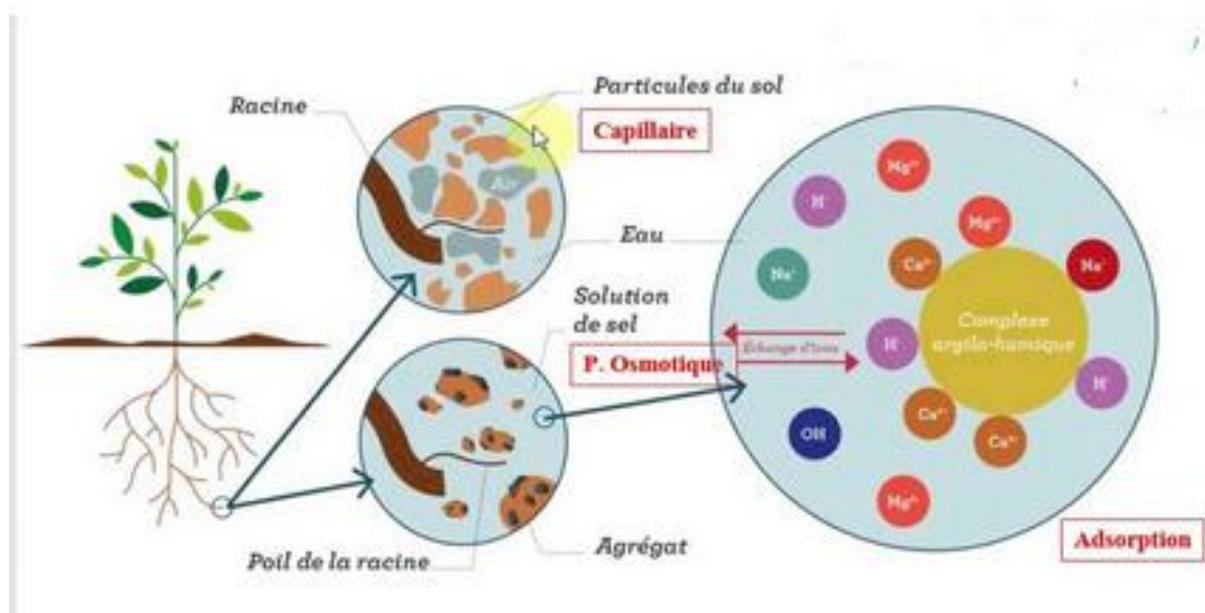


Figure 35 : L'absorption des minéraux

III. Transport de l'eau des minéraux

1. Le processus du transport

La sève brute est caractérisée par une concentration importante en sels minéraux et par un déplacement des racines aux feuilles dans le xylème (bois) ; la sève élaborée, quant à elle, est caractérisée par une concentration importante en sucres et en acides aminés, et par un déplacement descendant ou latéral (vers les autres organes de la plantes) dans le phloème (liber).

La sève brute circule dans l'organisme végétal grâce à un tissu conducteur, le xylème , uniquement dans le sens ascendant, c'est-à-dire de la racine à la feuille, à une vitesse ~ 15m/h. La plus grande partie de la sève brute s'évapore au niveau des feuilles.

Le passage d'eau et de nutriments entre les cellules se fait par les plasmodesmes, par les pompes à protons, ou par des symporteurs (ex : transporteur symport du saccharose activé par une pompe à proton).

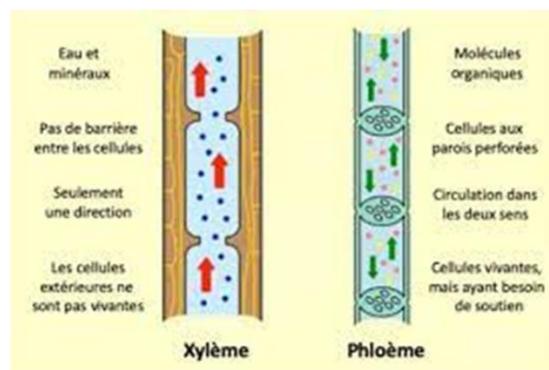


Figure 36 : Le transport de la sève brute et élaborée

2. Les mécanismes de transport

2.1. La pression racinaire

L'eau se déplace vers la stèle et pénètre dans le xylème par osmose = pression racinaire, elle peut entraîner dans certains cas la guttation, quand l'eau perle le matin au niveau des feuilles des petites plantes. Le phénomène ne se produit que si le sol est gorgé d'eau et si l'air est assez humide pour ralentir l'évaporation au niveau des feuilles. (Ce phénomène ne doit pas être confondu avec la rosée qui provient de la condensation de l'eau atmosphérique sur la plante)

2.2. La capillarité

Due à la cohésion (force d'union) des molécules d'eau entre elles et avec la paroi des vaisseaux conducteurs. La montée est inversement proportionnelle au diamètre des tubes du xylème

2.3. Aspiration foliaire

Elle prend naissance entre la chambre sous stomatique et les cellules du parenchyme lacuneux, l'eau occupe tous les espaces.

Lorsque l'eau s'évapore au niveau de la feuille, les lacunes du parenchyme se rétractent et provoquent un appel d'eau. Ainsi, l'eau en provenance du xylème est tractée. Il se crée alors une tension au niveau du xylème: une force de traction (=force d'aspiration) et par conséquence : l'évaporation de l'eau crée une force d'aspiration. C'est l'aspiration foliaire

L'évaporation de l'eau dans les feuilles « tire » sur les molécules d'eau dans les tubes du xylème. Plus l'eau s'évapore, plus la tension est grande et plus l'eau monte dans le xylème. Ce phénomène est aussi facilité par l'adhérence (liaisons hydrogène) des molécules d'eau aux parois du xylème. De plus, les molécules d'eau sont liées entre elles. Ainsi, plus l'eau s'évapore par la transpiration, plus la plante en absorbe et plus l'eau monte.

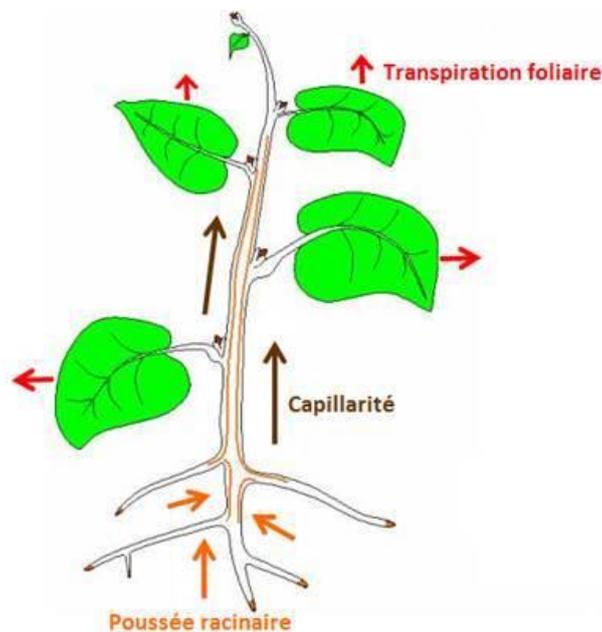


Figure 37 : Les mécanismes de transport de l'eau

IV. La transpiration

1. Définition de la transpiration

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, un phénomène nommé transpiration.

La plus grande partie de l'eau (plus de 90%) s'échappe par les feuilles. En effet le mécanisme de la transpiration est étroitement lié à l'anatomie de la feuille.

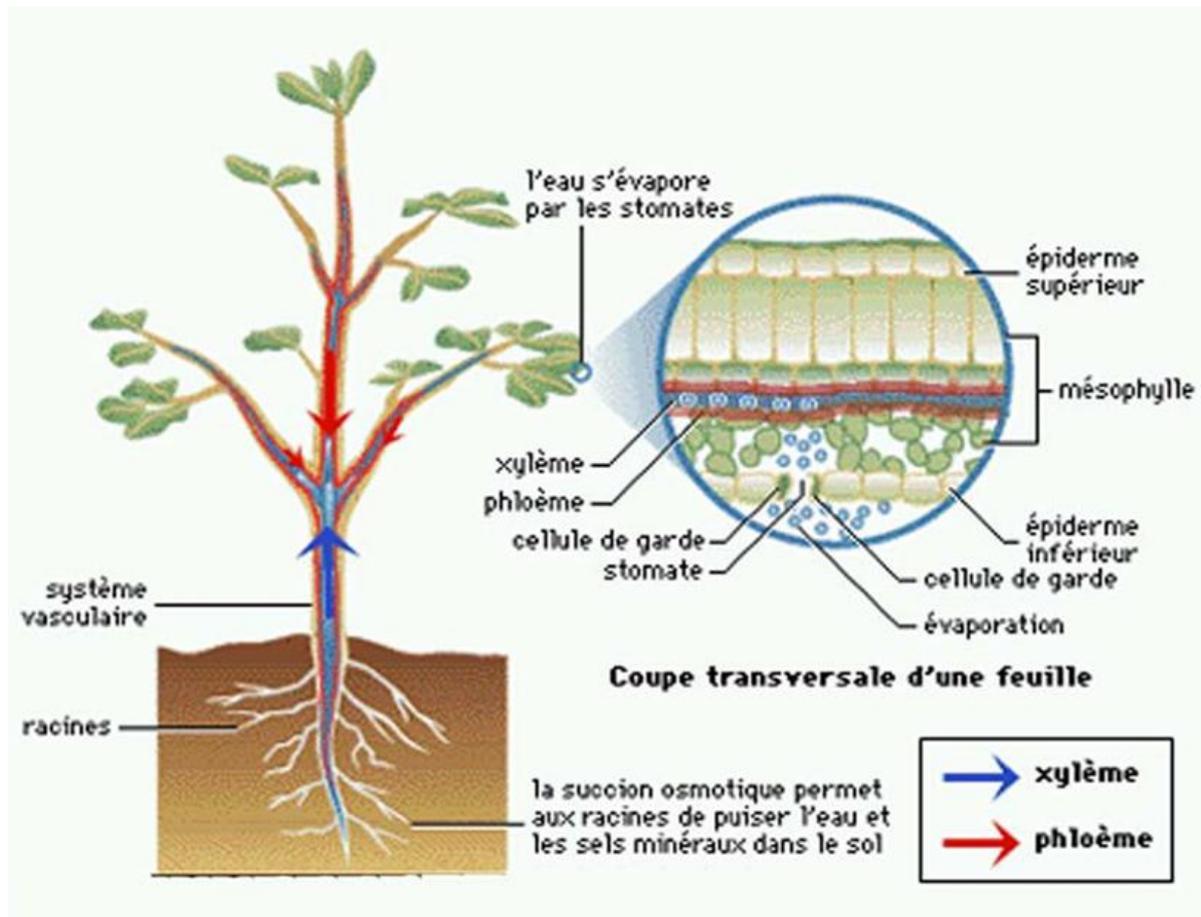


Figure 38 : La transpiration chez les plantes

2. Le mécanisme de la transpiration

La transpiration peut être considérée comme un mécanisme comprenant deux phases T1 l'évaporation de l'eau des parois cellulaires humides dans la chambre sous stomatique et T2 la diffusion de la vapeur d'eau des espaces sous-stomatique dans l'atmosphère.

La diffusion de la vapeur d'eau de l'espace sous-stomatique dans l'atmosphère est un phénomène relativement simple; une fois qu'elle a quitté la surface des cellules, la vapeur d'eau diffuse dans la chambre sous-stomatique et s'échappe des feuilles par les pores stomatiques (ostioles).

Afin de maintenir la turgescence des parties feuillées ainsi que les activités biochimiques à un niveau compatible avec la survie, l'eau perdue par les plantes au cours de la transpiration doit être continuellement remplacée.

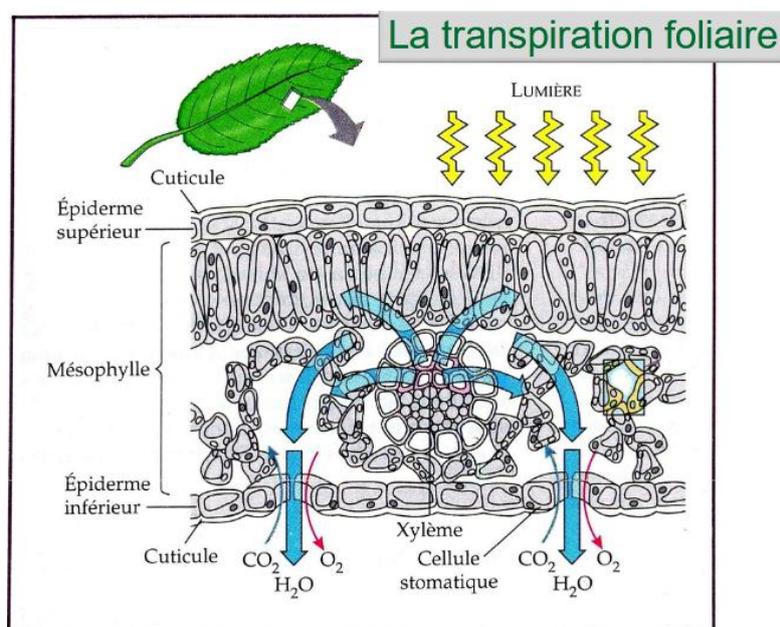


Figure 39 : Mécanisme de transpiration

Remarque : L'absorption d'eau par les racines peut s'effectuer parce qu'il existe un gradient de potentiel entre le sol et la racine. Par conséquent lorsque le sol s'assèche, le potentiel hydrique diminue et les plantes peuvent rencontrer des difficultés pour prélever l'eau suffisamment vite afin de compenser les pertes liées à la transpiration. Dans ces conditions, les plantes vont perdre leur turgescence et se flétrir. Si la transpiration est réduite ou empêchée pendant un certain temps (comme par exemple la nuit ou par la mise sous un sac en plastique), l'absorption d'eau peut reprendre, la turgescence peut être rétablie et les plantes retrouver leur port initial.

3. Les facteurs influençant la transpiration

3.1. Facteurs internes

Surface et épaisseur des feuilles : Une feuille plus petite transpirera moins vite qu'une feuille plus grande, car il y a moins de pores disponibles pour la perte d'eau. L'épiderme de la plupart des végétaux terrestres est recouvert d'une cuticule. Cet atout apporte une protection imperméabilisante qui prévient de l'assèchement. Plus la cuticule est épaisse plus la transpiration sera faible.

Nombre de stomates : L'eau de la transpiration étant évacuée par les stomates est proportionnelle au nombre de pores des stomates. Plus il y en a, plus la transpiration sera forte.

Nombre de feuilles : Un nombre de feuilles, ou autres organes photosynthétiques, plus grand augmente aussi le nombre de stomates disponibles pour la transpiration. Il y aura donc plus d'échanges gazeux avec le milieu externe.

3.2. Facteurs externes

Disponibilité de l'eau : Quand l'humidité du sol passe en dessous d'un seuil normal (entre -1,0 MPa et -4,0 MPa) pour la plante, les stomates se fermeront jusqu'à ce que la condition s'améliore et la transpiration sera ainsi réduite.

Humidité relative : La diminution de l'humidité relative, rendant l'air plus sec, abaisse considérablement le gradient potentiel hydrique atmosphérique ce qui contribue à augmenter la transpiration. La plus grande différence entre le potentiel hydrique interne des feuilles et externe encourage l'eau à quitter celles-ci.

Vent : Le vent défait la couche limite qui sert à protéger la surface des feuilles et augmente donc le dessèchement. Le changement d'air autour de la plante plus fréquent favorise l'évaporation de l'eau. Puis, la différence de potentiels hydriques entre les milieux, interne et externe, est augmentée, ce qui accroît alors tout de suite la transpiration, cherchant le renouvellement de sa couche limite.

Luminosité : Comme la plupart des plantes ouvrent leurs stomates durant le jour pour faire de la photosynthèse, à l'exception des plantes de la famille CAM, la vitesse de transpiration augmente avec l'intensité de la lumière laissant l'eau s'évaporer par les pores des feuilles. La transpiration est donc plus élevée le jour et diminue fortement durant la nuit.

Température : La température encourage l'ouverture des stomates pour permettre l'évaporation de l'eau cellulaire. Plus il fait chaud, plus les stomates s'ouvriront et donc, plus il y aura de transpiration. Ceci se produit jusqu'à ce que la température atteigne un certain seuil, de 25 à 30 °C. À ce seuil, les stomates commenceront à se refermer et ainsi à abaisser la transpiration pour éviter le dessèchement.

4. Les stomates

4.1. Structure des stomates

Ce sont des cellules particulières situées dans les feuilles. Elles ont une forme réniforme et sont constituées de deux cellules de gardes (qui contiennent des chloroplastes) et un vide entre les deux qu'on appelle ostiole.

L'ostiole est l'ouverture des stomates par lequel les gaz circulent et l'eau passe

Souvent, on observe la présence d'une chambre sous-stomatique.

Remarque : chez les monocotylédones, les stomates se trouvent sur les 2 faces de façon égale alors que chez les dicotylédones le nombre de stomates est plus élevé dans la face inférieure.

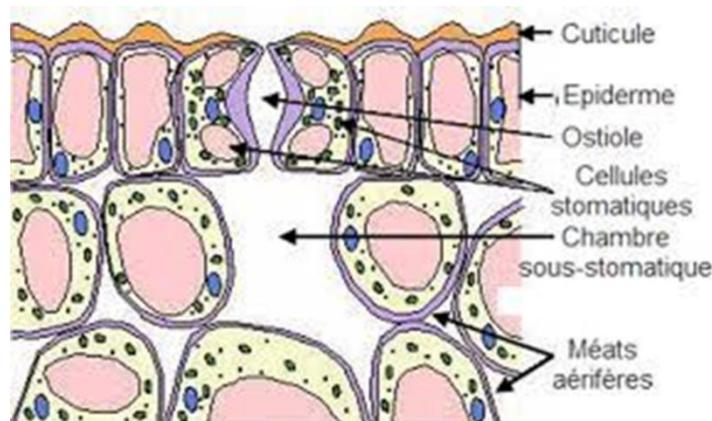


Figure 40 : Le stomate dans la feuille

4.2. 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.

Les cellules de garde ont des parois renforcées du côté interne qui délimite l'ostiole, et sont souvent accompagnées de cellules épidermiques, dépourvues de chloroplastes, avec lesquelles elles sont intimement en contact par leur face externe, permettant des échanges intercellulaire plus important.

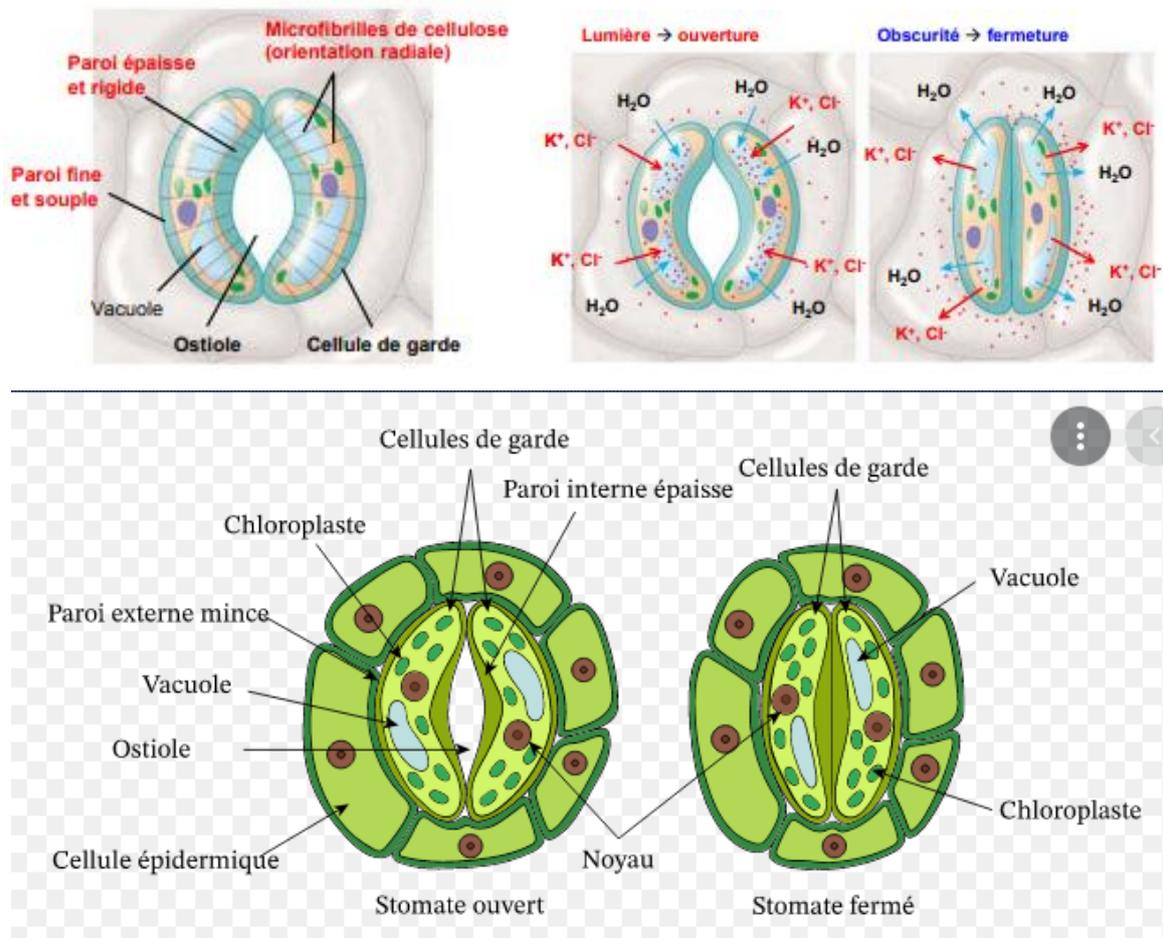


Figure 41 : Structure et Mécanisme d'ouverture des stomates