

Apoplaste extérieur des membranes plasmiques et des vaisseaux du xylème. Le fluide qui s'y trouve s'appelle apoplasme.

Symplaste intérieur des membranes plasmiques. Il comprend l'ensemble des cytosols relié aux cellules voisines par les plasmodesmes. Le fluide qui s'y trouve s'appelle symplasme.

Les plasmodesmes permettent des échanges entre les cellules comme de l'ARN et des protéines. Ce sont des structures dynamiques qui se modifient pour répondre au besoin de la plante.

Dans les plantes, trois voies où circulent les molécules :

- Symplasmique à l'intérieur des parois.
- Transcellulaire, la traverser par la paroi.
- Apoplasme à l'extérieur des parois.

C'est la membrane plasmique qui régule les échanges de substances.

Le potentiel électrique des cellules est généré par le gradient de H^+ contrairement aux animaux où c'est essentiellement Na^+ . Les stimulus électriques joueraient également un rôle dans la communication cellulaire.

Le transport de l'eau

La diffusion d'eau à travers la membrane plasmique se fait par :

Diffusion	Les aquaporines
-----------	-----------------

La perméabilité des aquaporines est régulée par la concentration de Ca^{2+} ou le pH. Ce mécanisme rapide à l'échelle cellulaire est trop lent à celle de l'organisme. Par exemple, pour un séquoia il faudrait plusieurs siècles pour qu'une molécule d'eau atteigne le sommet de l'arbre.

Sur les longues distances, le courant de masse déplace l'eau sous l'effet d'un gradient de pression. L'absence de structure dans les vaisseaux du xylème et phloème facilite le passage du courant.

La montée de l'eau et des minéraux absorbés par les racines dans le xylème jusqu'aux tiges a lieu sous l'effet de la transpiration.

Les minéraux entrent dans la racine au niveau des extrémités notamment par les poils absorbants. Ils sont chargés dans la stèle au niveau de l'endoderme, comme la bande Caspary chez Dicotylédones, par un transport actif qui les concentre. Ce système actif de pompage permet de :

- Sélectionner les minéraux.
- Empêcher les molécules de retourner dans le sol.
- Bloquer les substances toxiques.

Rmq. Dans les arbres avec de larges vaisseaux l'eau peut monter entre 24km/h à 72 km/h.

L'eau est perdue par transpiration.

Poussé de l'eau des racines	Aspirations par les feuilles
-----------------------------	------------------------------

Rmq. Il existe également la montée par capillarité. Elle est liée au diamètre des vaisseaux. Elle fonctionne chez les petites plantes inférieures à 1,5m.

Potentiel hydrique

Les mouvements d'eau entre l'environnement, la plante et l'intérieur de la plante dépendent du potentiel hydrique noté ψ_w (unité MPa). Pour rappel, le flux se fait du potentiel le plus élevé vers le plus faible. Le potentiel hydrique est la somme du :

- ψ_s potentiel de soluté. Il dépend de la quantité de molécules osmotiques dissoutes dans le liquide. Chez les végétaux, ce sont généralement les ions minéraux et les glucides. Il vaut 0 lorsque la concentration en osmolites est nulle.
- ψ_p potentiel de pression. Il est supérieur à 0 lorsque la cellule est turgescente et inférieur lorsqu'elle est en tension. Il permet l'élongation et contribue à rigidifier la cellule.
- ψ_m potentiel matriciel ou potentiel de capillarité.

- ψ_g potentiel de gravité.

Rmq : le potentiel de capillarité est négligeable pour les grandes plantes et le potentiel de gravité pour les plantes inférieures à 10m :

Nb : le potentiel hydrique maximum est 0.

L'état normal d'une cellule végétale est la turgescence. La vacuole est gonflée et exerce une pression sur les parois de la cellule.

L'entrée d'eau dans la racine

Pour que l'eau entre dans la plante il faut que le potentiel hydrique des racines soit inférieur à celui du sol $\psi_{\text{plante}} < \psi_{\text{environnement}}$. Les plantes doivent créer les conditions adéquates pour permettre à l'eau et aux minéraux de rentrer dans la racine.

Rmq : Les plantes classées dans trois catégories en fonction de leur tolérance à la concentration de molécules osmotiquement actives dans le sol. Pour attirer l'eau elles sont capables d'accumuler une forte concentration d'osmolites. (Halophyte > Glycophyte résistant > Glycophyte sensible).

Le potentiel hydrique dépend de :

La constitution du sol	La taille des particules
------------------------	--------------------------

Rmq : Plus la particule est petite plus l'eau sera retenue par le sol.

La tension exercée par une particule est :

$\psi_m = \frac{-2T}{r}$	r Avec le rayon en mètre T la tension superficielle en Mpa
--------------------------	---

Un sol est constitué de la combinaison de trois éléments :

Constituant	Sable	Limon	Argile
Taille des particules	>50um	2 à 50 um	>2um
Sol idéal	40%	40%	20%

Point de flétrissement limite de teneur en eau à partir de laquelle la plante n'est plus capable d'extraire l'eau.

Humus couche supérieure créée et entretenue par la décomposition de la matière organique.

De plus, l'humus :

Retient l'eau.	Est friable et aérée	Riche en matière organique
----------------	----------------------	----------------------------

L'absorption de l'eau a lieu au niveau de la racine au niveau de la zone pilifère. Les poils absorbants multiplient par 100 la surface du rhizoderme avec le substrat.

Chez 80% des Angiospermes, l'absorption de l'eau et des minéraux se fait grâce à des champignons mycorhiziens.

Rmq : Les plantes sont sensibles à la qualité du sol. Elles sont capables d'identifier et de développer leurs racines dans la zone qui leur est la plus favorable.

Poussé de l'eau des racines

La pression racinaire est engendrée par l'activité des cellules racinaires qui dépensent de l'énergie pour accumuler les minéraux. La taille limite est de quelques mètres.

Rmq : De nombreuses espèces utilisent cette voie uniquement lors de leur de période définie, par exemple durant leur croissance.

La poussé d'eau des racines engendre un phénomène de guttation lorsque l'atmosphère est saturée en humidité. L'eau n'arrive plus à s'évaporer et des gouttelettes se forment à l'extrémité des feuilles.

Aspirations par les feuilles

L'aspiration foliaire se base sur l'hypothèse de cohésion-tension. Elle présente l'avantage de ne pas nécessiter de dépense d'énergie de la part de la plante.

Rmq. : le système continue à fonctionner en absence de cellules vivantes.

La transpiration génère une aspiration qui tire les molécules d'eau, attachées les unes aux autres.

1. Les lacunes du parenchyme lacuneux situé dans les feuilles sont saturées en eau parce que les parois des cellules sont humides. Comme l'air extérieur contenant moins d'humidité, la vapeur se diffuse vers l'extérieur.
2. La perte d'eau sur les parois constituées de molécules hydrophiles comme la cellulose courbe les surfaces entre l'eau et l'air. Or l'eau a une tension superficielle importante. Elle se met à tirer sur la chaîne d'eau pour réduire la tension.
3. Les molécules d'eau sont attirées vers les parties aériennes.

Rmq. : La présence de molécules hydrophiles dans les vaisseaux contribue à réduire l'effet de la gravité.

L'aspiration exerce sur les vaisseaux du xylème une tension appelée force de dépression. Ils sont renforcés pour supporter cette force et lui permettre de s'exercer sur la chaîne d'eau.

En cas de froid ou de chaleur extrême, la chaîne d'eau peut se rompre et des bulles d'air apparaissent à l'intérieur de la chaîne et interrompent le flux. Ce phénomène s'appelle la cavitation.

Embolie cavitation où une bulle de gaz qui bloque la colonne d'eau.

Pour éviter que les parties aériennes se retrouvent sans eau, les vaisseaux du xylème sont progressivement remplacés par de nouveaux. Les anciens alors servent uniquement au soutien de la plante.

Taille limite d'un arbre

La chaîne d'eau est soumise à deux forces opposées qui limitent la taille maximum des arbres à 110m. La gravité tire la chaîne d'eau vers le bas tandis que la transpiration la tire vers le haut. Il en résulte une dépression qui a un certain peut briser la chaîne et entraîner une cavitation qui conduira à la mort de l'arbre.

Les stomates régulent la transpiration

Les stomates sont des ouvertures qui régulent la circulation des gaz. Ils sont impliqués dans deux mécanismes principaux :

La photosynthèse en régulant les échanges gazeux	La montée des minéraux
--	------------------------

Ils doivent permettre d'équilibrer les besoins en eau avec ceux de la photosynthèse.

Hydathode stomate aquifère.

L'importante surface et le faible volume des feuilles facilitent les échanges gazeux de la photosynthèse (libérer du O_2 et absorber du CO_2). Les importants besoins en eau sont une conséquence des échanges gazeux. 95% de l'eau est perdue

Rmq. : La transpiration a un effet de refroidissement qui permet d'éviter la dénaturation de protéines.

Structure et fonctionnement des stomates

Un stomate est formé de deux cellules de gardes donnant dans une chambre sous stomatique. La paroi du côté de l'ostiole est plus épaisse. Elle est reliée à celle parallèle par des microfibrilles qui confèrent une structure rigide.

Les stomates possèdent des chloroplastes contrairement aux cellules annexes.

Le nombre, la taille et les caractéristiques des stomates dépendent de :

De l'espèces	Des conditions de vie
--------------	-----------------------

En moyenne, la densité des stomates est de 20 000 par cm^2 .

Rmq. La densité de stomates semble avoir diminuée depuis que la quantité de CO_2 dans l'atmosphère augmente.

Il existe 2 grands types de stomates :

Eudicotylédone	Stomates en T chez les graminées (Monocotylédone)
----------------	---

L'ouverture ou la fermeture dépend de la pression osmotique. Le stomate s'ouvre lorsque la cellule devient turgescente.

L'entrée d'eau est créée notamment par l'augmentation de la concentration de K^+ dans le cytosol :

1. La sortie H^+ modifie le potentiel d'équilibre de K^+ .
2. Le K^+ entre dans la cellule.

Rmq. d'autres molécules sont également utilisées comme l'entrée du Cl^- par des transporteurs symport avec H^+ ou l'entrée de hexoses dans la vacuole.

Régulation de l'ouverture et de la fermeture des stomates

La régulation de l'ouverture et de la fermeture des stomates peut être dû à plusieurs facteurs :

- La lumière par l'intermédiaire de récepteurs sensibles à la lumière bleue.
- Les horloges circadiennes.
- La température.
- Le taux de CO_2 .

Des stress environnementaux peuvent induire une fermeture des stomates. Par exemple, en cas de manque d'eau, les cellules de la racine sécrètent une hormone de stress appelée l'acide abscissique. Elle rejoint les stomates en passant par le xylème et déclenche une voie de signalisation impliquant des canaux calciques. L'entrée de Ca^{2+} déclenche l'arrêt des pompes à protons et la sortie de K^+ des cellules de garde.

Adaptation au stress hydrique

Certaines plantes ont un métabolisme particulier appelé métabolisme d'acide des Crassulacées (CAM). Elles ouvrent leurs stomates la nuit et emmagasinent le CO_2 sous forme d'acide organique qu'elles utilisent la journée pour la photosynthèse. Elles évitent ainsi la perte d'eau lorsqu'il fait trop chaud.

Le transport des glucides par le phloème

Le transport des produits de la photosynthèse est appelé translocation. Il va des organes producteurs vers les organes consommateurs (ou cibles) les plus proches. Ces derniers varient en fonction de la saison et sont notamment :

- Les parties qui ont besoin d'énergie notamment les zones de croissances (méristèmes).
- Les régions de stockage.

Le transport se fait dans le phloème par la sève élaborée qui contient les sucres mais également des aa, des hormones et des sels minéraux.

Le courant d'eau est généré par une différence de pression. Les osmolites sont fortement concentrés au niveau des organes producteurs. Des antiports secondaires font entrer des protons dans les cellules productrices en échange de la sortie de glucoses dans le tube criblé.

La concentration des osmolites diminue au fur et à mesure qu'ils sont captés par les organes cibles.

Les vaisseaux du xylème et du phloème étant à proximité, l'eau entre fortement au niveau des organes sources et ressort au niveau des organes cibles au fur et à mesure que la concentration des nutriments diminue. La sève élaborée peut circuler jusqu'à 1,6km/h. Cette vitesse est possible grâce au courant de masse

À la fin l'eau repart dans le xylème. Environ 5% de l'eau captée passera par le phloème.

L'azote

L'azote est un macroélément et un composant essentiel pour les êtres vivants. Chez les plantes, son absorption se fait au niveau de la racine par un transport actif. La concentration dans la plante étant plus forte que dans le sol. Les plantes sont capables d'assimiler l'azote sous deux formes :

Ion nitrate NO_3^-	Ion ammonium NH_4^+ ou Ammoniac NH_3
----------------------	--

Pour l'ion nitrate, la plante a besoin de réaliser une réduction en NH_4^+ en avant de pouvoir l'utiliser.

Un manque d'azote se traduit par :

- Apparition d'une chlorose des feuilles.
- Des plantes de petites tailles.

Trois processus rendent l'azote disponible pour les plantes :

- la fixation de l'azote diatomique N_2 .
- la nitrification.
- la dénitrification.

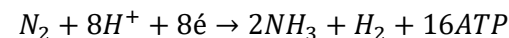
La fixation du diazote

L'azote se trouve en majorité dans l'air sous forme de N_2 . Sa réduction en une forme assimilable se fait par :

Les éclairs (10%)	L'industrie (30%)	Les Bactéries (60%)
-------------------	-------------------	---------------------

Fixation du diazote par les Bactéries

La fixation du diazote par les bactéries est faite en utilisant la nitrogénase, une enzyme. Elle réalise la réaction suivante



Les électrons sont apportés par huit molécules de ferrédoxine.

En présence de dioxygène, la nitrogénase est inhibée irréversiblement.

Nitrification

La nitrification est réalisée par des bactéries du groupe de protéobactéries. Elles sont de type Gram négatif.

Ces réactions se réalisent sur la membrane :

Bactérie	Réaction	
Nitrosomonas	Ammoniac en nitrite	$NH_3 + O_2 \rightarrow NO_2^- + 3H^+ + 2e^-$
Nitrobacter	Nitrite en nitrate	$NO_2^- + H_2O \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + 2e^-$

Lithotrophe assimile les minéraux organiques.

Dénitrification dissimilatrice

La dénitrification dissimilatrice est le processus de réduction du nitrate en nitrite. Elle est réalisée par certaines bactéries en condition anaérobie. Le nitrate est utilisé comme l'accepteur terminal d'électrons.

D'importantes quantités de N_2O présents dans les sols sont issues de la dénitrification dissimilatrice bactérienne.

Assimilation de l'azotes par les plantes

L'absorption du nitrate se fait par un système de symport $2H^+/NO_3^-$

Rmq. : pour se faire la plante acidifie le sol dans lequel elle vit.

La transformation de l'azote en composé organique a lieu le jour dans les partie aérienne

NB: NH_4^+ est toxique à forte dose, il provoque la destruction des systèmes photosynthétiques.

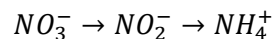
Les nitrates sont assimilés càd transformé en composés organiques, le jour dans les parties aériennes. Comme le nitrate est une molécule très oxydée, la plante a besoin de coupler la transformation avec des molécules énergétiques essentiellement produites par l'activité de photosynthèse. Sinon ils sont stockés dans la vacuole.

Le transport dans les cellules végétales

Le transport du nitrate et de l'ammonium se fait grâce à des transporteurs de type II qui utilisent le gradient de protons car la concentration d'azote est plus élevée dans la plante que dans le sol. Ainsi, il est plus facilement assimilé l'azote lorsque le pH du sol est acide. Les transporteurs sont :

- Nitrite avec NRT 1 (à faible affinité) et 2 (à forte affinité) sont des transporteurs secondaires de type symport qui fonctionnent avec le gradient proton. Ils sont produits systématiquement et leur activité est régulée par phosphorylation.
- Ammonium avec AMT.

La réduction des nitrates et nitrites en ammonium



Ces réactions sont catalysées respectivement par nitrate réductase et la nitrite réductase. Comme le nitrite est toxique pour les plantes, pour éviter qu'il se concentre, l'activité de la nitrite réductase est hautement régulée à la fois au niveau :

Transcriptionnelle	Activité inhibée
--------------------	------------------

La réduction de l'azote en ammonium se fait par l'utilisation de pouvoir réducteur par l'utilisation de FADH_2 et NADH . Comme la production de FADH_2 et NADH a lieu durant la journée par l'activité de photosynthèse.

L'activité des enzymes dépend de molécules qui sont liées à l'activité de photosynthèse notamment de :

- Horloge circadienne
- Concentration de glucose qui fournit une information sur l'activité de photosynthèse.

Rmq : En automne, l'azote contenu dans les protéines des feuilles est récupéré pour constituer des stocks dans des cellules pérennes.

- Glutamine synthétase NH_4^+ sur un glutamate pour produire un glutamine.
- Le glutamine sert de nombreuses voies de synthèse notamment dans celle de la production de glutamate par la GOGAT.