



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Biskra

Faculté des Sciences exactes et des sciences de la Nature et de la Vie

Département des sciences agronomiques

Cours de Physiologie Végétale

Destinés aux étudiants : 2^{ème} année SNV

Préparés par : Dr. Benaziza Abdelaziz

-2-

Année Universitaire 2019/2020



**PREMIERE PARTIE : NUTRITION ET
METABOLISME DE LA PLANTE**

CHAPITRE I : NUTRITION HYDRIQUE DES VEGETAUX

Introduction :

L'eau est pondéralement le constituant le plus important des tissus physiologiquement très actifs et c'est pour cela que les possibilités d'alimentation en eau déterminent largement la répartition des végétaux à la surface du globe : la végétation est abondante sur les terres bien arrosées, mais pratiquement absente des terres peu ou pas du tout arrosée (déserts).

1-Importance de l'eau dans la matière végétale :

L'eau est un constituant très important à deux niveaux de la plante :

- a- au niveau cellulaire, c'est le milieu général d'imbibition de tous les colloïdes protoplasmiques, le liquide au sein duquel s'effectuent toutes les réactions du métabolisme, le milieu de diffusion de tous les ions ou métabolites.
- b- au niveau de l'organisme entier, l'eau est tout aussi importante ; 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.

1-1-La teneur en eau des végétaux :

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. Cet équilibre entre la plante et le milieu est toujours précaire ; malgré certains mécanismes de régulation, la plante dépend étroitement de l'eau qui lui est fournie et le moindre déficit dans le bilan de l'eau entraîne la fanaison, le flétrissement et à plus long terme la mort de la plante.

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 (70-110°C) sous vide jusqu'à ce que le matériel garde un poids constant. On peut aussi entraîner l'eau de la matière végétale broyée par des bains successifs de xylène ou de toluène mais ces solvants ont l'inconvénient de dissoudre d'autres constituants que l'eau notamment des lipides. Une autre méthode, aujourd'hui très utilisée, est la cryo-dessiccation ou Lyophilisation

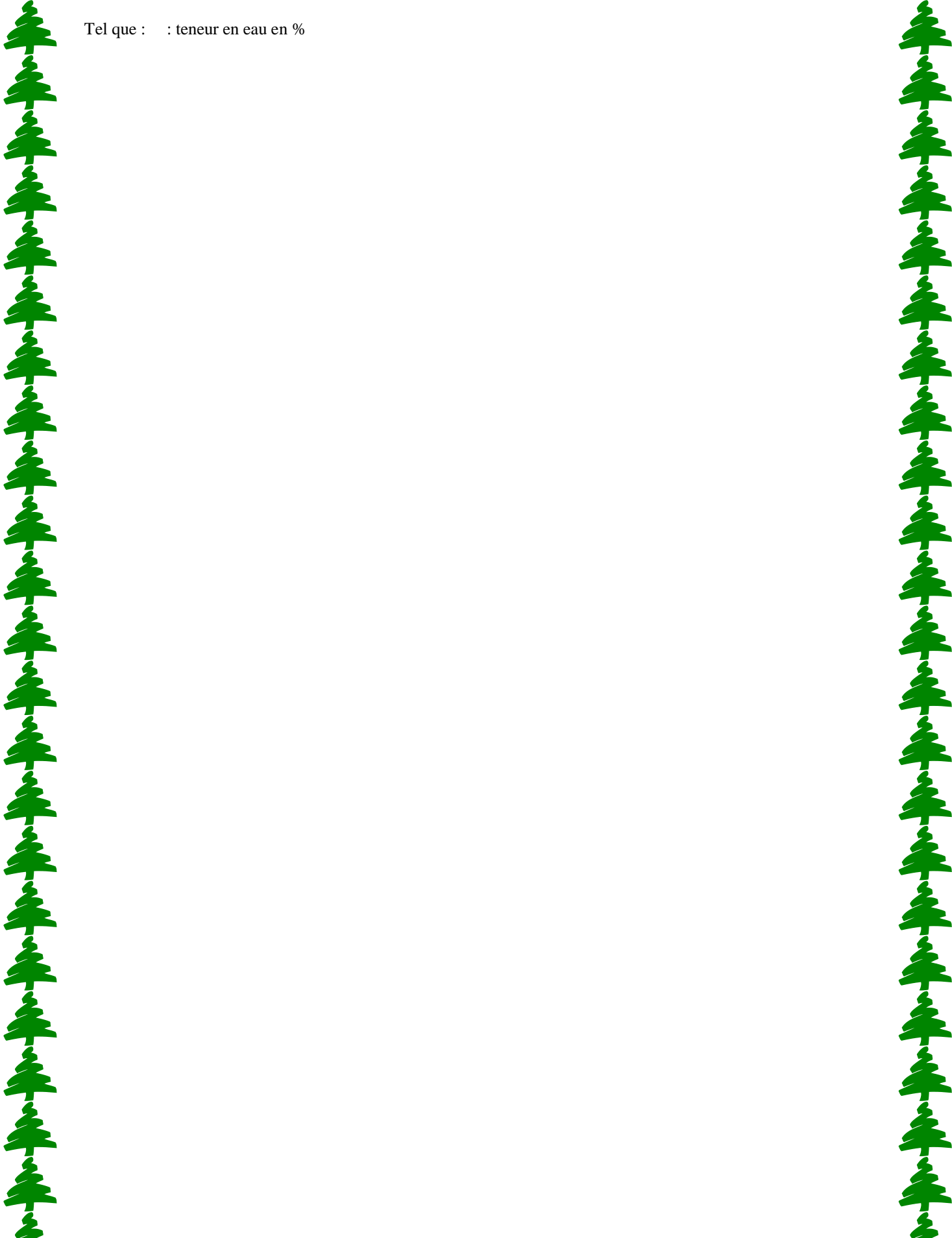
La grande vacuole des cellules végétales leur sert de réservoir d'eau qui circule dans la plante dans les vaisseaux conducteurs des sèves ; xylème (sève brute) et phloème (sève élaborée).

La mesure de la teneur en eau d'un végétal est donnée par la formule suivante :

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



Tel que : : teneur en eau en %



MF et MS : Matière fraîche et Matière sèche

Le déficit en eau est donné par :

$$D = (m - m_r) / m$$

Tel que : m : teneur maximale
 m_r : teneur réelle

1-2- 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 ne sont généralement pas entraînées hors de la matière végétale par les procédés de dessiccation. Ces deux catégories forment 3 à 5 % de l'eau totale d'un tissu.

4- Pénétration de l'eau dans la plante :

C'est avant tout dans le sol que les plantes puisent l'eau qui leur est nécessaire.

4-1- L'eau du sol :

Un sol peut contenir de l'eau libre circulante et de l'eau plus ou moins retenue soit par capillarité dans les petites canalisations entre les roches, soit par adsorption à la surface des minéraux (c'est l'eau d'hygroscopie). Les quantités d'eau ainsi immobilisées sont très variables d'un sol à l'autre

4-2- L'absorption de l'eau par les racines :

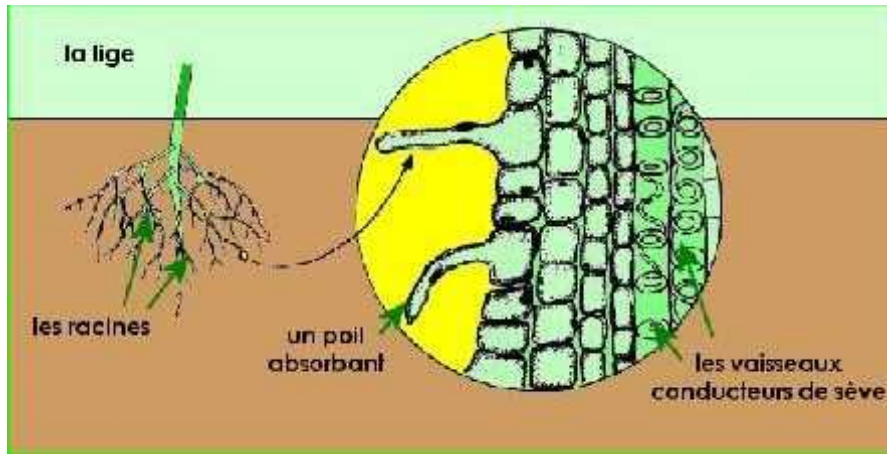


Figure n° 1: Point d'absorption des racines

L'entrée de l'eau dans la plante s'effectue par les poils absorbants des racines essentiellement (Fig.1) ; Les poils absorbants sont des cellules géantes de 0.7 à 1 mm sur 1.2 à 1.5 μm de dimensions qui forment un chevelu visible à l'œil nu un peu en arrière de l'apex ; très nombreux (200 à 500/ cm^2 jusqu'à 2000/ cm^2 chez les graminées, au total souvent plus d'un milliard par plante ; chez le seigle environ 14 milliards). Ils offrent une surface de contact considérable entre le sol et la plante, multipliant par un facteur allant de 2 à 10 la surface des racines, pouvant elle-même atteindre plusieurs dizaines ou même centaines de m^2 . 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.

L'absorption de l'eau par les poils absorbants n'est pas un mode exclusif malgré sa fréquence ; les poils absorbants ne possèdent pas de mécanismes spécifiques d'absorption mais seulement présentent des caractères morphologiques particulièrement favorables aux échanges d'eau :

- Paroi pecto cellulosique très mince
- Vacuoles volumineuse
- Surface de contact considérable.

L'absorption est bien moindre au niveau des zones subérifiées des racines mais se produit néanmoins au niveau des fissures et des lenticelles, ce qui peut être important pour les grands arbres.

4-2-1- Les facteurs contrôlant l'absorption de la l'eau par la plante :

L'absorption est sous la dépendance étroite de l'activité physiologique de la plante : 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 a 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 contrôlée par plusieurs facteurs :

a- *Facteurs climatiques :*

-Température et humidité de l'air agissent indirectement sur l'absorption en modifiant les quantités d'eau perdues par transpiration

- Température du sol a une influence marquée sur l'absorption. En effet une diminution en dessous de 5 à 10 °C entraîne une baisse de l'absorption.

b- *Facteurs pédologiques :*

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.

En conclusion, *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.*

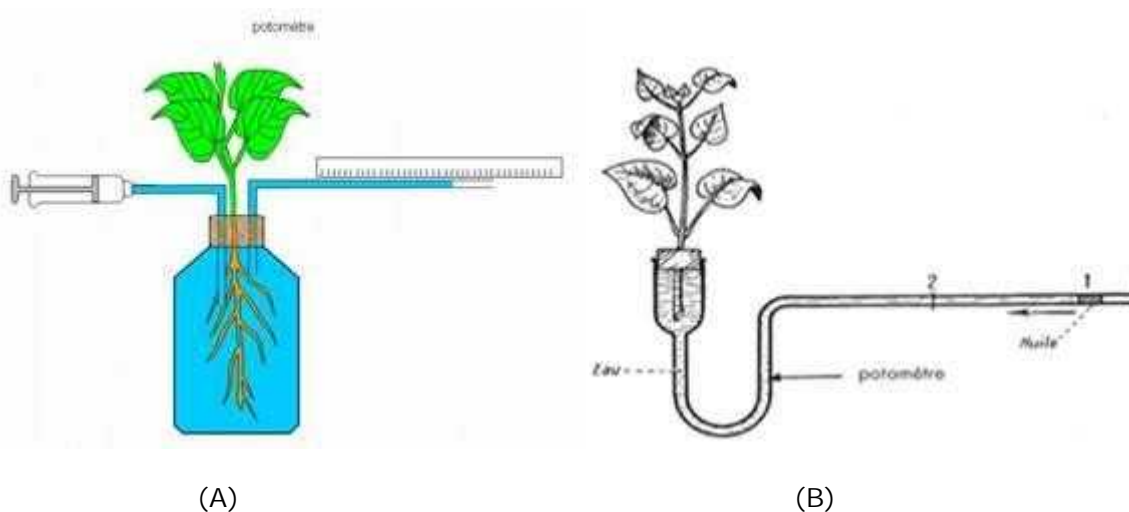
4-2-2- Méthodes de mesure de l'absorption de l'eau par les racines :

« A priori, on pose que la quantité d'eau absorbée est égale à la quantité d'eau perdue par transpiration ». Cette estimation néglige les quantités d'eau transformée ou produite par le métabolisme qui sont d'ailleurs tout à fait minimes 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 :

-Par simple pesée

-A l'aide d'un potomètre (Fig.2) :



(A)

(B)

Figure n°2 : Potomètre de Vescque (deux modèles différents A et B)

- En mesurant la guttation de l'eau hors de la base d'une tige sectionnée (Fig.3)

Si on coupe un rameau de vigne au printemps, de la sève s'écoule au niveau de la section de la tige : on dit que la vigne « pleure ».



Figure n°3 : Guttation

Toutefois ces méthodes restent critiquables car, soit elles font intervenir les deux appareils aérien et racinaire en même temps la perte d'eau est alors la résultante de l'absorption et de la transpiration qui sont deux phénomènes physiologiques se contrôlant mutuellement, soit en supprimant totalement l'appareil végétatif aérien, ce qui entraîne la levée du contrôle de la transpiration sur l'absorption. Malgré leur imperfection, ces méthodes donnent une idée des quantités d'eau absorbées quotidiennement par les végétaux.

On peut dire qu'un végétal absorbe en moyenne et par jour son propre poids d'eau ;

Un arbre d'une forêt tempérée absorbe 500 l/j → 30 t d'eau / ha de forêt.

Un plant de vigne absorbe 1 l/j.

4-2-3- Mécanismes de l'absorption :

Le mécanisme primaire d'entrée de l'eau est le résultat de lois purement physico-chimiques. 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.

$$P_{osm} = R.T [C] = 22.4 [C] \quad \text{à } 0^{\circ}\text{C}$$

P_{osm} : pression osmotique atmosphérique

R. : constante des gaz parfaits

T. : température absolue

[C] : concentration molaire du liquide vacuolaire

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 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 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 intra-cellulaire perd de l'eau et devient plasmolysée. En revanche, si elle est placée dans un milieu extracellulaire hypotonique par rapport au milieu intra-cellulaire, de l'eau pénètre dans la cellule, la vacuole gonfle : la cellule est alors turgescente (Fig.4)

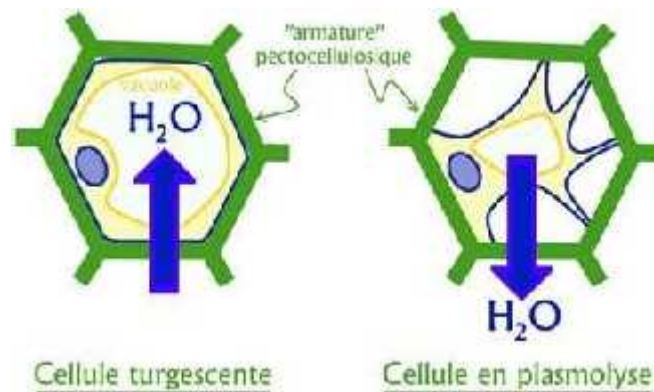


Figure n°4 : Etats hydriques de la cellule

Dans les conditions naturelles, la cellule du poil absorbant (ou celle du mycélium des mycorhizes) 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.

Hypotonie du milieu : 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 (**P_{osm}**) et oppose progressivement une pression membranaire (**P_{mbr}**) 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 (Fig.4).

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 pecto-cellulosique, 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.

$$S = P_{osm} - P_{mbr}$$

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

Hypertonie du milieu extérieur : quand le milieu présente une force de succion de l'eau inférieure à celle de la cellule, l'eau sort de la cellule vers l'extérieur et ceci provoque une *plasmolyse* de la cellule ; c'est ce qui se produit notamment dans les sols desséchés au-delà du point de flétrissement des végétaux.

Autrement dit 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.

C'est en définitif l'hypertonie du poil absorbant qui est généralement le facteur déterminant de l'absorption et elle est largement sous le contrôle de l'activité physiologique.

4-3-Transit de l'eau dans la plante :

4-3-1-Dans les racines :

Une coupe transversale, effectuée au niveau de la région pilifère d'une jeune racine (Fig.5), montre l'existence de deux zones concentriques nettement distinctes : écorce ou cortex et cylindre central ou endoderme où se trouvent les vaisseaux du bois conducteurs de la sève brute.

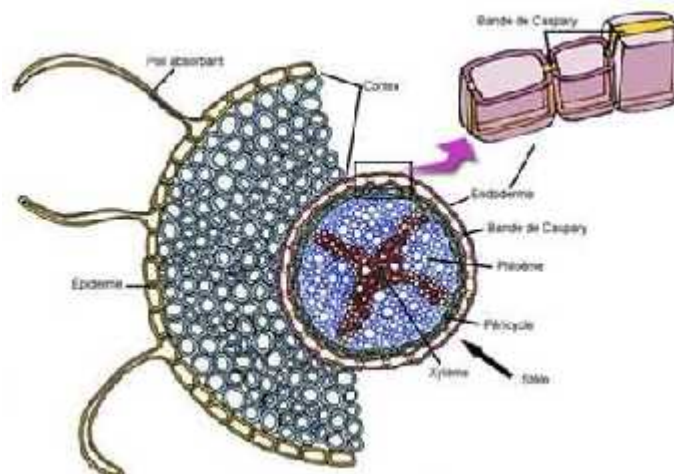


Figure n°5 : Coupe transversale de la zone pilifère de la racine

Des mesures de pression osmotique réalisée 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** (Fig.6)

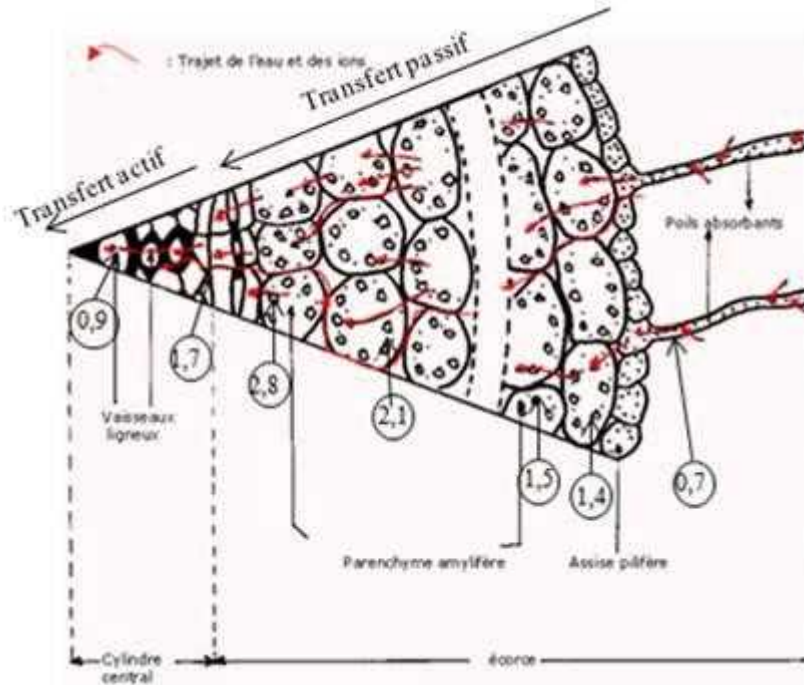


Figure n°6 : Trajet de l'eau du poil absorbant à l'endoderme de la racine

a-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 : au 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 subérisé des cellules endodermiques forme un barrage que l'eau doit contourner par le symplasme. Les trois voies sont d'ailleurs en constante communication.

b-Poussée radiculaire : A l'entrée des vaisseaux l'eau est émise sous pression ; c'est la poussée radiculaire ou racinaire qui dépasse souvent 1 bar (Fig.7). Ci-après quelques exemples :

-Erable à sucre : 1bar

-Vigne : 1.25 bars

-bouleau : 2 à 2.5 bars

-Marronnier : 9 bars

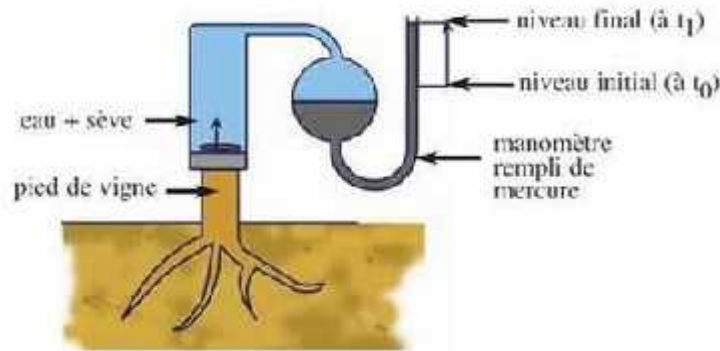


Figure n° 7: Poussée radiculaire


La poussée radiculaire n'existe que si la racine est vivante et aérée ; elle est inhibée par le cyanure et diminue quand la température s'abaisse et sur la racine excisée, elle disparaît si les racines sont inanitiées, ne reprenant qu'en présence de glucides. Elle présente une périodicité journalière avec maximum en fin de matinée. Elle joue certainement un rôle important dans la montée de la sève. Toute fois son existence n'est pas constante ; certaines espèces notamment les conifères ne la présentent pas. En outre, elle disparaît chez les plantes en transpiration active et, si on les décapite alors elle ne reprend que plusieurs heures après la décapitation.

Mécanismes : le mouvement 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 élucidé. Il s'agit indiscutablement 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 concentration saline de la sève brute suit un rythme sensiblement analogue à celui de la poussée radiculaire.

4-3-2-Dans la tige et la sève brute :

- a- **Caractères** : la solution minérale venue du cortex et collectée dans les vaisseaux, constitue la sève brute qui est une solution très diluée de sels minéraux (0.1 à 2 g/l) avec une pression osmotique d'au moins 1 bar en plus d'acides aminés résultant de la réduction des nitrates dans les racines et enfin de parcours, elle s'appauvrit en sels minéraux mais elle s'enrichit en substances organiques (surtout au printemps par mobilisation des réserves).



La sève brute ne circule par les vaisseaux comme le montrent des expériences très simples :

- Tremper la base d'un rameau isolé dans de la paraffine fondue, en gratter la surface pour que seuls les vaisseaux restent obturés ; le rameau mis dans l'eau se fane.
- Plonger un rameau dans une solution de carmin et faire des coupes à différentes hauteurs.
- Pratiquer une décortication annulaire sur la tige (Fig. 8) si elle va jusqu'à la moelle en sectionnant les vaisseaux, la plante se fane mais si elle la respecte, la plante reste turgescence.

La sève ne circule pas dans les vaisseaux lésés (entailles) ou obturés par des thyllés*. Si la lésion n'est pas trop importante, elle peut être contournée par le parenchyme du xylème.

b- *Mécanismes* : Plusieurs mécanismes peuvent être considérés pour expliquer la montée de la sève dans la tige

-la capillarité : la sève monte dans les vaisseaux conducteurs comme l'encre monte dans la trame d'un buvard. L'inconvénient est que ce mécanisme ne pourrait expliquer que la montée de la sève dans les végétaux très bas (mousses) ou dans des fleurs coupées (Au-delà dessus du niveau d'équilibre, les forces de tension en cause tendent plutôt à s'opposer à une montée vers les niveaux supérieurs).

-la poussée radiculaire : quand elle existe, joue un rôle important lorsque la transpiration est faible en particulier la nuit ; cependant cela reste insuffisant.

La transpiration est le plus souvent, le principal moteur de la montée de la sève. Son appel se transmet le long de la tige grâce à la cohésion des filets d'eau comme dans le modèle de Dixon (Fig.9), Un entonnoir fermé d'une plaque de plâtre poreux est relié par un tube vertical à une cuve à mercure, l'évaporation provoque un appel d'eau qui entraîne une élévation de la colonne de mercure de plus d'un mètre qui correspond à 15 m d'eau.

Dans les troncs d'arbres, la continuité des filets d'eau se démontre à l'aide d'iode radioactive. elle résiste à des tensions de plus de 2MPa.

Lorsque la transpiration l'emporte on dit que l'eau est sous tension ; lorsque c'est la poussée radiculaire qui l'emporte, elle est sous pression. Ainsi selon l'heure de la journée, la sève est-elle sous pression ou sous tension. On peut le vérifier avec un manomètre fiché dans le tronc (ou avec un dendrographe). On enregistre ainsi les variations quotidiennes d'une fraction de mm ou de 1 mm pour les gros arbres avec maximum en fin de matinée (poussée radiculaire ayant agi toute la nuit) et minimum en fin d'après midi (transpiration atteint son maximum).

5- La transpiration :

Tout déficit de saturation en vapeur d'eau existant dans l'atmosphère entourant une plante, entraîne l'évaporation continue de l'eau imbibant les tissus de celle-ci : c'est le phénomène de la transpiration qui crée un appel continu d'eau dans le végétal et est le moteur principal de la montée de la sève de la plante.

La transpiration entraîne pour la plante des besoins en eau considérables surtout quand elle est trop intense ; elle ne peut être compensée par une alimentation en eau suffisante et entraîne le flétrissement de la plante et le ralentissement de son métabolisme général. Un flétrissement trop avancé devient irréversible si bien que la transpiration représente un danger potentiel pour la plante.

La transpiration est soumise à des contraintes physiques et physiologiques qu'elle surmonte grâce à des dispositifs anatomiques et à des systèmes de régulation dont le plus efficace est le degré d'ouverture des stomates notamment pour pouvoir s'adapter aux climats très secs.

5-1- Mise en évidence du phénomène de transpiration :

- a- Une plante en pot non arrosée se fane et son poids diminue en prenant toute précaution pour éviter que de l'eau ne s'évapore du pot, en l'enfermant par exemple dans un sac en plastique qui ne laisse traverser que la tige.
- b- La mise sous cloche (avec les mêmes précautions que précédemment), elle donne lieu à des dépôts de gouttelettes le long du verre.
- c- Une plante ou un rameau de plante enfermé dans un sac en plastique donne lieu à un dépôt de gouttelettes sur la surface interne du sac (Fig.8) ; cela ne se produit pas si la plante est effeuillée : la montée d'eau résulte d'une aspiration au niveau des feuilles, en conséquence, il existe une véritable transpiration foliaire



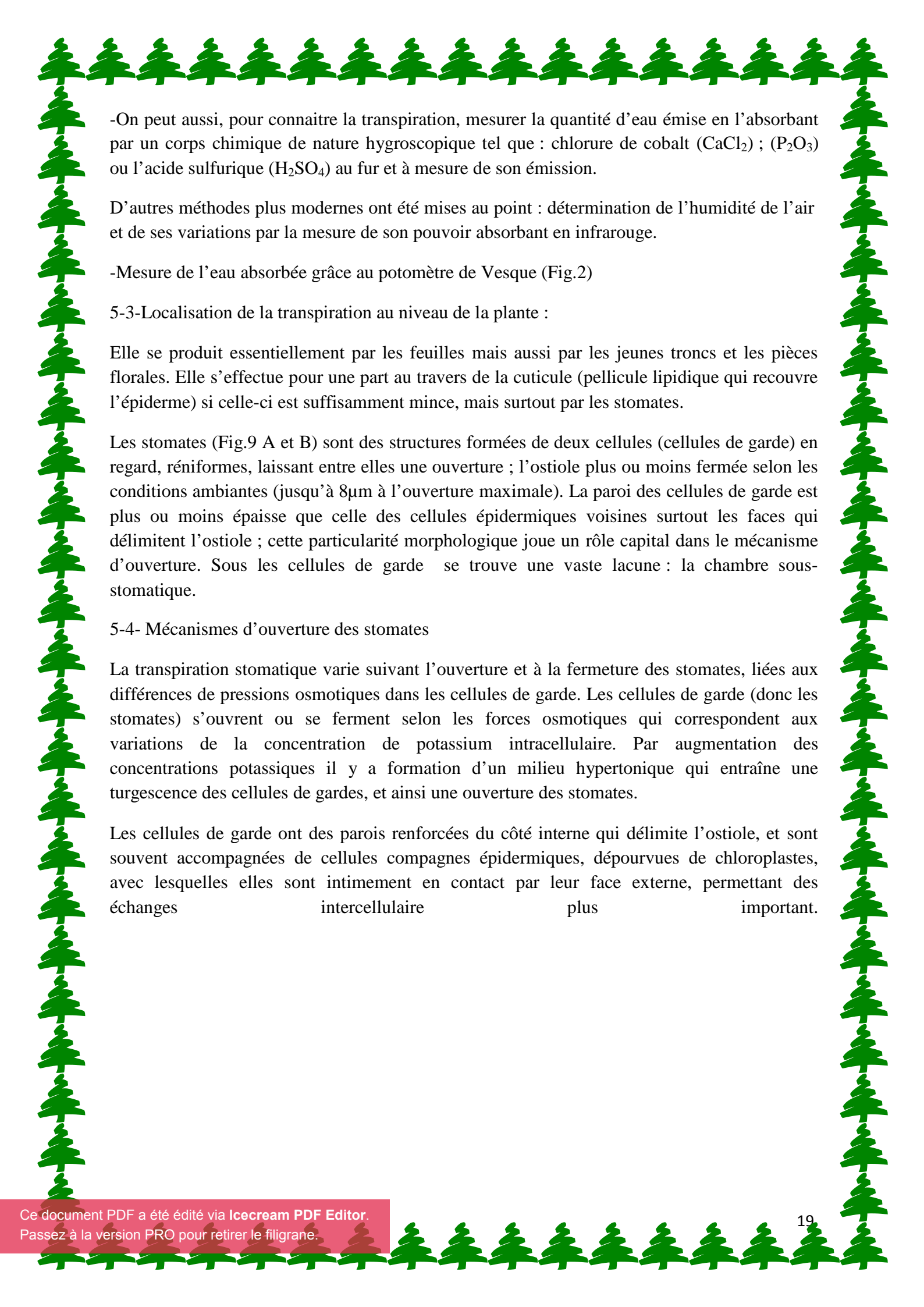
Figure n°8 : Transpiration, mise en évidence

- d- Par le potomètre de Vesque : Le déplacement du niveau du liquide dans le tube fin concrétise la transpiration de la plante (Fig.2).

5-2-Mesure de la transpiration :

C'est la quantité d'eau émise par unité de temps et par unité de masse (ou de surface) de matière respirante

-Cette quantité peut être mesurée simplement par le poids perdu par une plante en pot non arrosée ou par un organe détaché de la plante mère (fruit, feuille...) pendant un temps donné et limite. Il faut parfois tenir compte de la perte de CO₂ par respiration.



-On peut aussi, pour connaître la transpiration, mesurer la quantité d'eau émise en l'absorbant par un corps chimique de nature hygroscopique tel que : chlorure de cobalt (CaCl_2) ; (P_2O_3) ou l'acide sulfurique (H_2SO_4) au fur et à mesure de son émission.

D'autres méthodes plus modernes ont été mises au point : détermination de l'humidité de l'air et de ses variations par la mesure de son pouvoir absorbant en infrarouge.

-Mesure de l'eau absorbée grâce au potomètre de Vesque (Fig.2)

5-3-Localisation de la transpiration au niveau de la plante :

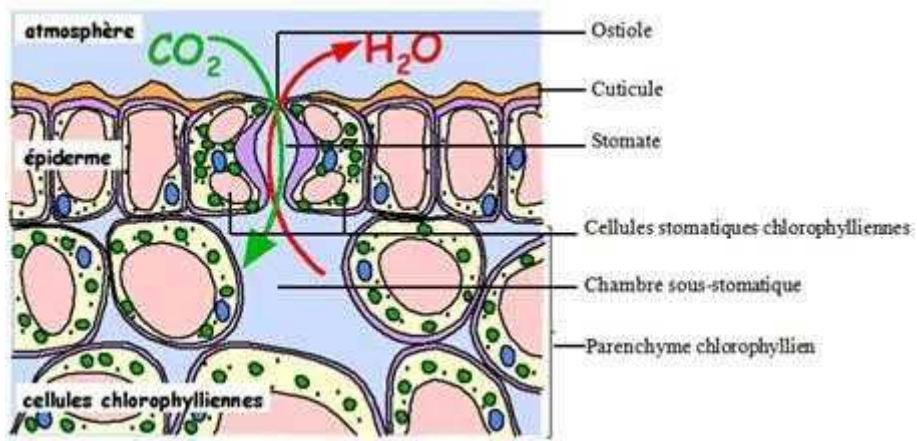
Elle se produit essentiellement par les feuilles mais aussi par les jeunes troncs et les pièces florales. Elle s'effectue pour une part au travers de la cuticule (pellicule lipidique qui recouvre l'épiderme) si celle-ci est suffisamment mince, mais surtout par les stomates.

Les stomates (Fig.9 A et B) sont des structures formées de deux cellules (cellules de garde) en regard, réniformes, laissant entre elles une ouverture ; l'ostiole plus ou moins fermée selon les conditions ambiantes (jusqu'à $8\mu\text{m}$ à l'ouverture maximale). La paroi des cellules de garde est plus ou moins épaisse que celle des cellules épidermiques voisines surtout les faces qui délimitent l'ostiole ; cette particularité morphologique joue un rôle capital dans le mécanisme d'ouverture. Sous les cellules de garde se trouve une vaste lacune : la chambre sous-stomatique.

5-4- 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 compagnes épidermiques, dépourvues de chloroplastes, avec lesquelles elles sont intimement en contact par leur face externe, permettant des échanges intercellulaire plus important.



(A)

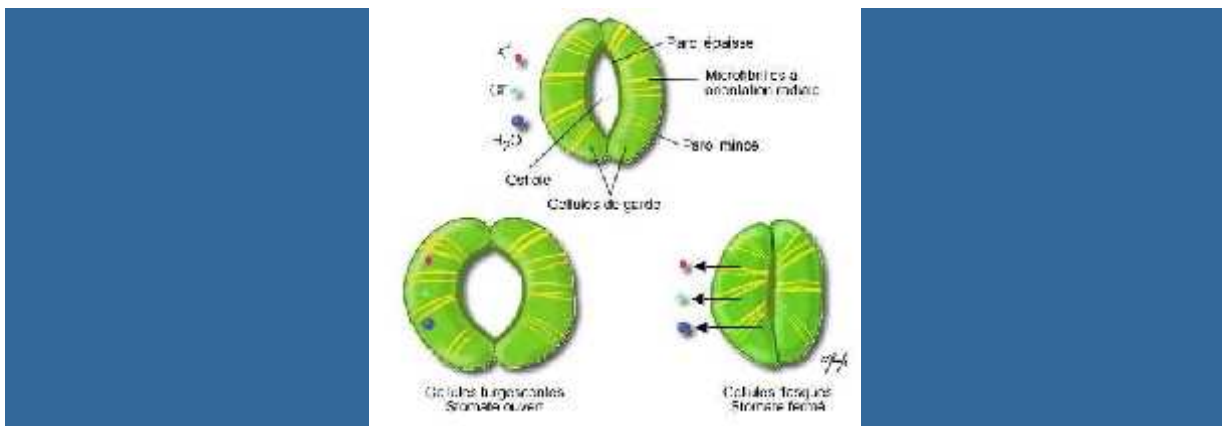


Figure n °9 : Schéma d'un stomate (A : Coupe longitudinale au niveau du parenchyme Chlorophyllien ; B : schéma général) montrant le stomate

CHAPITRE II : NUTRITION MINERALE.

Introduction :

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. Par ailleurs, des symbioses formées entre des bactéries ou des champignons (mycorhizes) et les racines, participent à l'acquisition de ces éléments minéraux. D'immenses progrès ont été réalisés récemment dans la compréhension des mécanismes moléculaires du transport ionique ainsi que des gènes impliqués dans la nutrition minérale.

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.

1-Détermination des besoins nutritifs des végétaux chlorophylliens

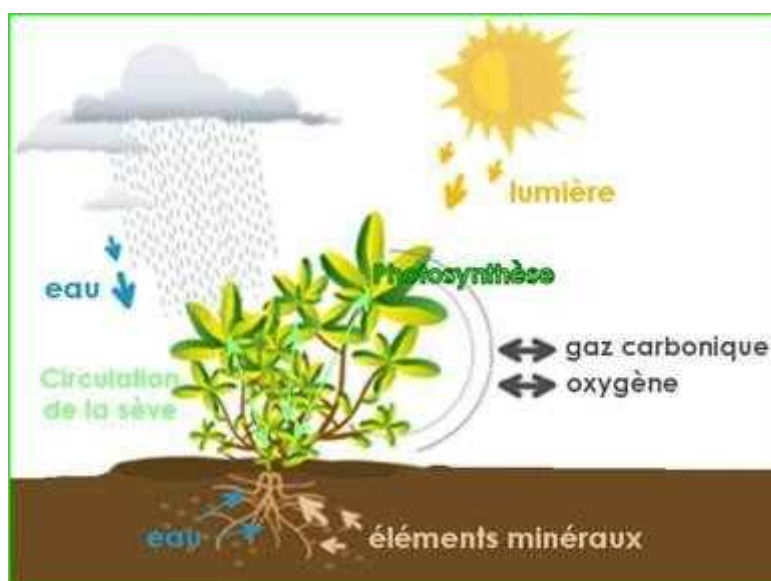
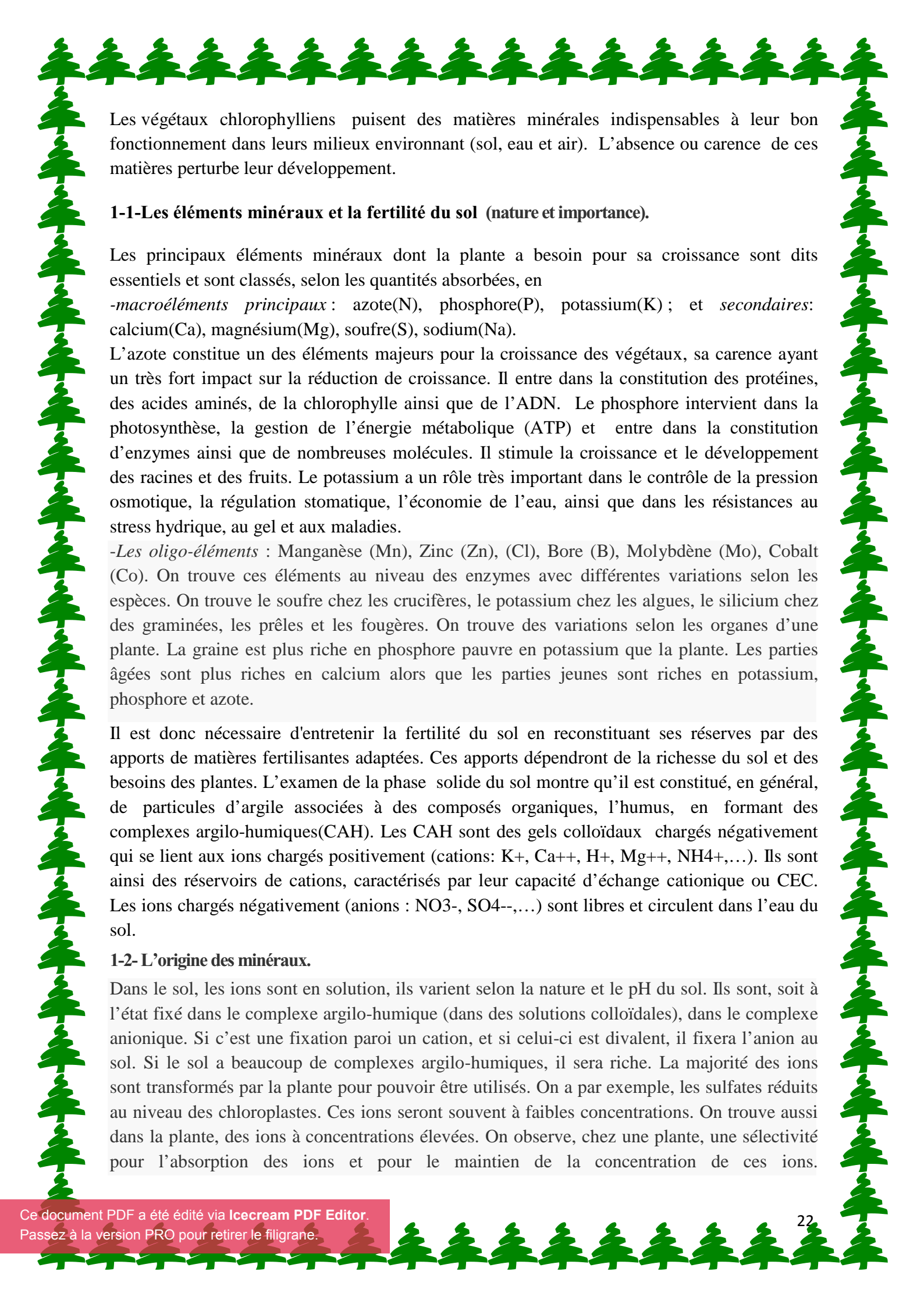


Figure n°10 : Besoins de la plante

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. Par ailleurs, des symbioses formées entre des bactéries ou des champignons (mycorhizes) et les racines, participent à l'acquisition de ces éléments minéraux (Fig.10). D'immenses progrès ont été réalisés récemment dans la compréhension des mécanismes moléculaires du transport ionique ainsi que des gènes impliqués dans la nutrition minérale.



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.

1-1-Les éléments minéraux et la fertilité du sol (nature et importance).

Les principaux éléments minéraux dont la plante a besoin pour sa croissance sont dits essentiels et sont classés, selon les quantités absorbées, en

-macroéléments principaux : azote(N), phosphore(P), potassium(K) ; et *secondaires* : calcium(Ca), magnésium(Mg), soufre(S), sodium(Na).

L'azote constitue un des éléments majeurs pour la croissance des végétaux, sa carence ayant un très fort impact sur la réduction de croissance. Il entre dans la constitution des protéines, des acides aminés, de la chlorophylle ainsi que de l'ADN. Le phosphore intervient dans la photosynthèse, la gestion de l'énergie métabolique (ATP) et entre dans la constitution d'enzymes ainsi que de nombreuses molécules. Il stimule la croissance et le développement des racines et des fruits. Le potassium a un rôle très important dans le contrôle de la pression osmotique, la régulation stomatique, l'économie de l'eau, ainsi que dans les résistances au stress hydrique, au gel et aux maladies.

-Les oligo-éléments : Manganèse (Mn), Zinc (Zn), (Cl), Bore (B), Molybdène (Mo), Cobalt (Co). On trouve ces éléments au niveau des enzymes avec différentes variations selon les espèces. On trouve le soufre chez les crucifères, le potassium chez les algues, le silicium chez des 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.

Il est donc nécessaire d'entretenir la fertilité du sol en reconstituant ses réserves par des apports de matières fertilisantes adaptées. Ces apports dépendront de la richesse du sol et des besoins des plantes. L'examen de la phase solide du sol montre qu'il est constitué, en général, de particules d'argile associées à des composés organiques, l'humus, en formant des complexes argilo-humiques(CAH). Les CAH sont des gels colloïdaux chargés négativement qui se lient aux ions chargés positivement (cations: K^+ , Ca^{++} , H^+ , Mg^{++} , NH_4^+ ,...). Ils sont ainsi des réservoirs de cations, caractérisés par leur capacité d'échange cationique ou CEC. Les ions chargés négativement (anions : NO_3^- , SO_4^{--} ,...) sont libres et circulent dans l'eau du sol.

1-2- L'origine des minéraux.

Dans le sol, les ions sont en solution, ils varient selon la nature et le pH du sol. Ils sont, soit à l'état fixé dans le complexe argilo-humique (dans des solutions colloïdales), dans le complexe anionique. Si c'est une fixation paroi un cation, et si celui-ci est divalent, il fixera l'anion au sol. Si le sol a beaucoup de complexes argilo-humiques, il sera riche. La majorité des ions sont transformés par la plante pour pouvoir être utilisés. On a par exemple, les sulfates réduits au niveau des chloroplastes. Ces ions seront souvent à faibles concentrations. On trouve aussi dans la plante, des ions à concentrations élevées. On observe, chez une plante, une sélectivité pour l'absorption des ions et pour le maintien de la concentration de ces ions.

Dans le complexe argilo-humique, Les ions sont fortement liés : il y a compétition entre la plante et le complexe ionique pour capter des ions, d'où une dépense d'énergie par le végétal.

2- Modalités et mécanismes de l'absorption.

Connaître les mécanismes de nutrition des végétaux permet de raisonner la fertilisation pour obtenir des plantes de qualité et résistantes aux maladies

2-1- Modalités.

Une fois l'absorption effectuée par les poils absorbants ou les mycorhizes, l'absorption est réalisée dans les cultures de manière spécifique. Par exemple, dans un verger, on fait absorber à une plante des oligo-éléments, l'absorption foliaire de fer par une plante chlorosée est le seul moyen de faire absorber ce fer sur les sols calcaires. Les ions circulent par voie symplastique (dans le cytoplasme) jusqu'au xylème puis ils passent dans la sève brute. Certains ions sont retenus au niveau des parois, comme le calcium, d'autres s'accumulent dans la vacuole sont excrétés. La vacuole est une poubelle ou une réserve.

2-2- Mécanismes de l'absorption.

L'absorption est sensible à la température et aux inhibiteurs métaboliques ; par exemple, une cellule morte n'absorbe pas. Ils existent plusieurs composantes dans le phénomène de transport des ions et des petites molécules. On trouve trois possibilités de pénétration : la diffusion, le transport passif (diffusion facilitée), le transport actif.

2-2-1- La simple diffusion.

La membrane cellulaire permet à l'eau et aux molécules non polaires de pénétrer par simple diffusion mais aussi a quelques petites molécules polaires comme l'urée, le glycérol, le CO₂, peuvent pénétrer. Ce phénomène de diffusion est exprimé par la loi de Fick.

$$(DQ/dT)=k.a. c$$

k : le coefficient de diffusion,
a : la surface de diffusion,
c : la variation de concentration.

La diffusion tend vers un état d'équilibre pour que le gradient de concentration soit nul. Le transport de petites molécules se fait grâce à des protéines membranaires de deux types. On trouve des protéines porteuses et des canaux protéiques (Fig.11).

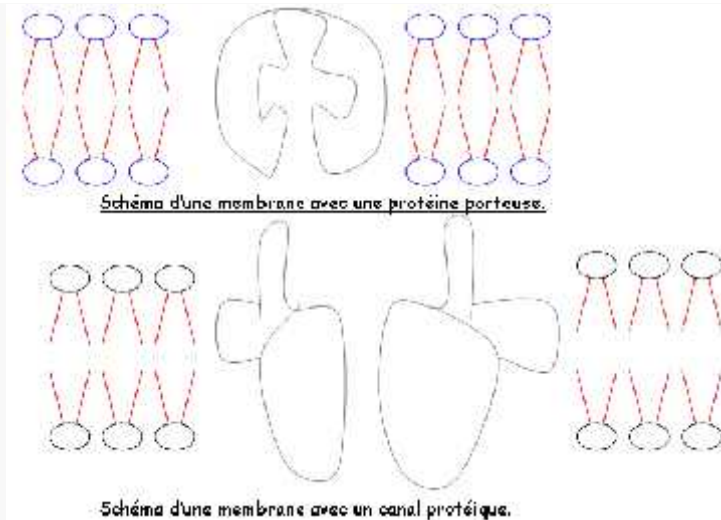


Figure n°11 : transport des minéraux

2-2-2-Le transport passif et la diffusion facilitée.

Le transport se fait par des canaux protéiques et par des protéines porteuses. Si la molécule est non chargée, le transport est déterminé par le gradient de concentration. Si cette molécule est chargée, le transport est déterminé par le gradient de concentration et par le gradient électrochimique. On a donc un transport dans le sens du gradient qui entraîne un potentiel de membrane.

Le potentiel électrochimique :

$$\mu = nF \cdot E(2-1) + RT \log(c_1/c_2) \quad (T) = nF \cdot E(2-1) + (RT/F) \log(c_1/c_2) \quad (V)$$

$$\mu = E-2,3(RT/F) \quad pH = E-0,06 \quad pH$$

Dans la diffusion facilitée le transport est réalisé dans le sens du gradient. Le transport des molécules est réalisé par des canaux protéiques, par des protéines porteuses et par perméabilité membranaire. On trouve deux types de protéines porteuses, des protéines qui permettent un transport passif et des protéines qui réalisent ce transport grâce à de l'énergie : c'est un transport actif.

2-2-3- Mécanisme actif.

Lapicque a mis en évidence le phénomène d'épictèse : c'est une absorption active des ions et des petites molécules.

Une cellule végétale dans une solution hypertonique, concentrée en saccharose est plasmolysée. Au bout d'un certain temps, la cellule redevient turgescente : la cellule rétablit son hypertonie en absorbant des ions (ou des petites molécules) contre le gradient du potentiel électro-chimique. Ce phénomène explique qu'une cellule est capable de concentrer des ions. Ces déplacements nécessitent de l'énergie d'origine chimique, par exemple l'ATP, d'origine physique : le gradient ionique, due aux déplacements d'électrons. Cette énergie permet le

fonctionnement des pompes ioniques donc le type le plus représenté est le type des pompes à protons. On trouve deux types de pompes (Fig.12) :

Des pompes rédox donc la circulation est réalisée grâce à des déplacements d'électrons. Ces pompes produisent de l'ATP.

Des pompes de type ATPase : elles expulsent les protons au niveau de la membrane du plasmalème ou du tonoplaste (transports actifs). Elles utilisent de l'énergie. Le transport des protons par ces ATPases est un transport actif primaire.

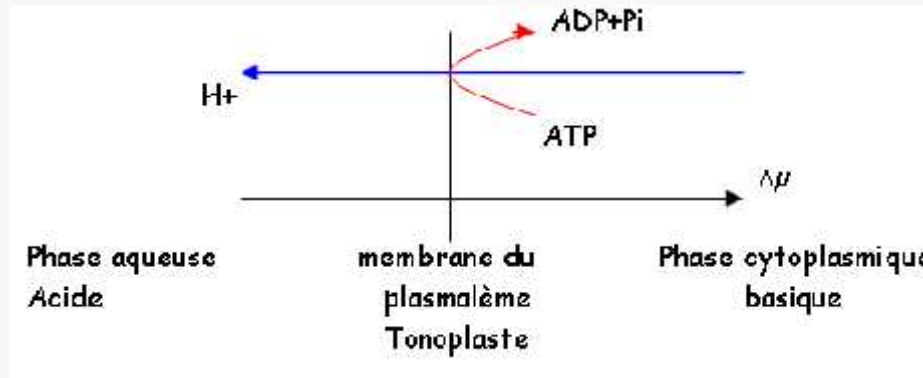


Figure n°12 : Pompe à protons

Cette émission de protons crée la «force motrice protonique », qui permet à son tour d'énergiser le déplacement d'autres espèces ioniques. On parle de transports actifs secondaires.

Ce transport actif secondaire se fait dans le sens opposé au gradient, en demandant donc de l'énergie. S'il y a transport d'un seul soluté, on parle de système uniport. Si deux solutés traversent dans le même sens, c'est un système symport. Si les 2 solutés traversent dans un sens différent, c'est un transport antiport.

3- Rôles des ions dans la plante.

3-1- Rôles physiques.

Les phosphates favorisent l'entrée du magnésium, alors que le calcium freine son entrée. Les ions permettent le maintien de la turgescence, du pH (système tampon), la création de potentiels membranaire qui agissent sur la perméabilité de la membrane.

3-2- Rôles physiologiques.

Les rôles constitutifs sont tenus par les éléments phosphorylés, comme les phospholipides, les composés phosphorylés, les nucléotides, et les acides nucléiques.

On trouve le soufre dans les acides aminés et dans les protéines.

On trouve le calcium dans les parois où ils forment avec les peptides, des pectates ; dans la vacuole il est sous forme de cristaux d'oxalate de calcium ; dans le cytoplasme il est associé à la calmoduline.

On trouve le fer (Fe) au niveau des hèmes et des cytochromes.

Le calcium se trouve dans les chloroplastes (en formant les plastocyanines) et dans les mitochondries où ils forment les cytochromes oxydases.

On trouve du molybdène dans les nitrate-réductases et dans les nitrogénases.

Le phosphore est en importante quantité pendant la floraison et dans les graines. Le potassium est impliqué dans le métabolisme des glucides. Le calcium se trouve le plus souvent dans les lieux de stockage des produits toxiques (en général se sont les vacuoles).

3-3- Quelques particularités.

3-3-1- Le calcium

Face à la présence du calcium, on trouve deux types de plantes :

Les calcicoles, qui tolèrent (ou supportent) le calcium. Quand la concentration en calcium va augmenter, le pH va aussi augmenter (solution basique).

Les calcifuges, qui ne supportent pas le calcium. Leur concentration en Ca diminue en entraînant une diminution du pH (acidification).

Les plantes calcicoles peuvent modifier la composition de leur membrane pour limiter l'entrée de Ca.

3-3-2- Le fer.

Sur un sol basique, le fer ne peut pas être absorbé car il précipite.

3-3-3- Le sodium.

On trouve des plantes halofuges (qui ne supportent pas le sel) et des plantes halophiles (les halophytes) qui supportent le sel. Ces halophytes poussent dans les eaux saumâtres ou près de la mer (des eaux salées). Soit, elles excluent le sel, soit, elles l'accumulent dans leurs vacuoles ou dans des glandes à sel. Ces plantes ont l'aspect de plantes grasses.