

COURS PHYSIOLOGIE VEGETALE

1.0 septembre 2024

HADJ ABDELKADER Fatma Zohra
Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie,
Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Sciences Agronomiques
Email : fz.hadjabdelkader@gmail.com

Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale :
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/fr/>

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Objectifs | 3 |
| Introduction | 4 |
| I - Qu'est-ce que la physiologie végétale ? | 5 |
| II - Pourquoi étudier la physiologie végétale ? | 6 |
| III - Pourquoi la physiologie végétale est-elle importante pour les sciences alimentaires ? | 7 |
| IV - NUTRITION HYDRIQUE | 8 |
| 1. ROLE DE L'EAU (Importance de l'eau)..... | 8 |
| 2. LOCALISATION | 8 |
| 3. TENEUR EN EAU DES VEGETAUX..... | 9 |
| 3.1. Mesure de la teneur en eau..... | 9 |
| 4. DIFFERENTS ETATS DE L'EAU DANS LA MATIERE VEGETALE..... | 10 |
| 5. ABSORPTION DE L'EAU | 10 |
| 6. ABSORPTION DE L'EAU PAR LES RACINES..... | 12 |
| 7. TRANSPIRATION..... | 15 |
| V - NUTRITION MINERALE | 17 |
| 1. Détermination des besoins nutritifs | 17 |
| 2. Modalités et mécanismes de l'absorption..... | 21 |
| 3. Rôle des éléments minéraux nécessaires..... | 22 |



Objectifs

Ce polycopié de cours est destiné principalement aux étudiants de L2 Sciences Alimentaires

Objectifs de l'enseignement de la physiologie végétale vise à **comprendre les mécanismes fondamentaux qui régissent la vie des plantes**. Il s'agit d'explorer les processus biologiques qui permettent aux végétaux de se développer, de se nourrir, de se reproduire et de s'adapter à leur environnement.

Ce module a pour objectifs :

- 1- L'étude des fonctions vitales de la plante
- 2 - Description de la fonction.
- 3 - Méthodes de mesure de son intensité.
- 4- Description des mécanismes physiques.
- 5- L'étude de l'influence des facteurs de l'environnement sur l'intensité des différentes fonctions = Réponses de la plante aux facteurs du milieu externe.
- 6 - L'étude de l'influence des facteurs internes ou endogènes sur l'intensité des différentes fonctions: Etat hydrique et nutritionnel - Facteurs hormonaux .

Introduction

La nutrition de la plante concerne l'ensemble des mécanismes impliqués dans le prélèvement, le transport, le stockage et l'utilisation des ions minéraux et des matières organiques nécessaires au métabolisme et à la croissance de la plante. La fonction de nutrition minérale représente une originalité majeure du monde végétal. Dans les écosystèmes terrestres, les plantes sont la principale voie d'entrée des ions minéraux nutritifs dans la biosphère et les chaînes alimentaires qui conduisent à l'homme. Ces ions quittent le monde minéral du sol pour entrer dans le monde vivant au moment où ils sont prélevés par les systèmes d'absorption de la membrane plasmique des cellules racinaires. On parle alors d'autotrophie végétale. Les connaissances acquises dans ce domaine sont utilisées pour gérer au mieux la fertilisation des cultures, de façon rationnelle et durable.

Les performances hydrominérales du système racinaire des plantes cultivées peuvent être améliorées, soit en jouant sur les capacités d'absorption, de stockage et de synthèse des racines, soit en modifiant la structure et la morphologie du chevelu racinaire, soit enfin en modifiant leur environnement proche (sécrétion de composés organiques). La fonction de la nutrition carbonée et énergétique est également importante afin de comprendre les mécanismes de la croissance des végétaux. Il est admis actuellement que les racines sont les clés de la deuxième révolution verte, celle qui s'affranchira partiellement des intrants rares et coûteux qui sont connus pour polluer l'environnement lorsqu'ils sont apportés en excès (**Morot-Gaudry, 2013**).

L'objectif de cette matière est la connaissance du mode de fonctionnement et la nutrition du végétal

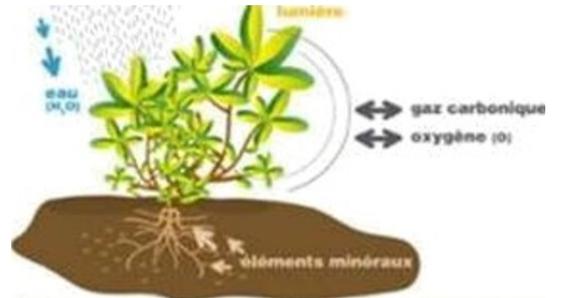
Le polycopié que nous présentons se divise en quatre parties principales ;

- Absorption des éléments minéraux et leurs rôles (nutrition minérale)
- Photosynthèse et assimilation du CO₂ (nutrition carbonée)
- Respiration (nutrition énergétique)
- Développement de la plante

I Qu'est-ce que la physiologie végétale ?

La physiologie végétale est la science qui étudie les fonctions vitales des plantes.

Elle cherche à comprendre les mécanismes biologiques qui permettent aux végétaux de: se développer, de se nourrir, de se reproduire et de s'adapter à leur environnement.



II Pourquoi étudier la physiologie végétale ?

L'étude de la physiologie végétale est essentielle pour plusieurs raisons :

- Comprendre le monde vivant
- Comprendre le processus de la Nutrition minérale et transport des éléments au sein du végétale

III Pourquoi la physiologie végétale est-elle importante pour les sciences alimentaires ?

•Qualité des aliments: La physiologie végétale permet de comprendre comment les facteurs environnementaux, les pratiques culturales et la génétique influencent la qualité nutritionnelle et organoleptique des produits agricoles.

•Conservation des aliments: En connaissant les mécanismes de maturation, de sénescence et de dégradation des aliments, il est possible de mettre en place des techniques de conservation efficaces pour réduire les pertes et préserver la qualité des produits.

•Transformation des aliments : Comprendre les réactions biochimiques qui se produisent lors de la transformation des aliments permet d'optimiser les procédés et d'obtenir des produits finis de qualité.

IV NUTRITION HYDRIQUE

1. ROLE DE L'EAU (Importance de l'eau)

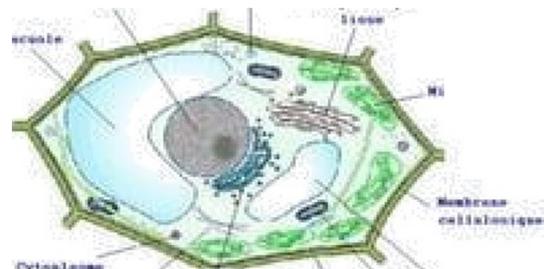
Au niveau de la plante entière:

L'eau dans la plante est le liquide qui circule dans les vaisseaux conducteurs.

- Elle sert de véhicule des éléments nutritifs (sels minéraux, azote...).
- L'association de l'eau avec les matières en solution forme les sèves brutes et élaborées (nourricière).
- L'eau est aussi un agent de régulation thermique (évaporation et transpiration))

Au niveau cellulaire:

- L'eau est le milieu général d'imbibition de tous les colloïdes protoplasmiques.
- Elle est le liquide au sein duquel s'effectuent toutes les réactions du métabolisme.
- C'est aussi le milieu de diffusion de tous les ions ou métabolites: substrats et produits des réactions.
- Elle Contrôle les activités enzymatiques dans la cellule (Activité enzymatique augmente avec l'augmentation de la teneur en eau),



Le contrôle des activités enzymatiques par la teneur en eau offrira un grand intérêt économique pour la conservation des denrées végétales desséchées (graines, céréales...).

Au niveau de la plante entière :

L'eau circule dans les vaisseaux de la plante, transportant les nutriments absorbés par les racines vers les feuilles (sève brute) et les produits de la photosynthèse vers les autres parties de la plante (sève élaborée). De plus, l'eau maintient la rigidité des cellules (turgescence), permettant aux plantes non ligneuses de se tenir debout.



Au niveau de la plante entière

2. LOCALISATION

L'eau dans la cellule adulte se trouve à 3 niveaux:

- Paroi squelettique (l'eau représente 50% et retenue par imbibition au niveau des cellulose et des composés pectiques)
 - Le cytoplasme (l'eau représente 85% de matière fraîche du cytoplasme, retenue par les groupement hydrophiles)
 - La vacuole qui peut représenter jusqu'à 95 % du volume de la cellule (l'eau représente jusqu'à 98% du suc vacuolaire)

3. TENEUR EN EAU DES VEGETAUX

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 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,

« Lyophilisation :

Méthode de dessiccation (déshydratation) sous vide, à basse température,

Procédé de séchage à froid, elle permet de réduire les aliments en poudre

Elimination progressive de l'eau du produit préalablement congelé (phase solide) par passage à la phase vapeur, sans passer par la phase liquide »

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 :

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

Tel que :

Θ : teneur en eau en %

MF : Matière fraîche (g)

MS Matière sèche (g)



Etuve

3.1. Mesure de la teneur en eau

La méthode généralement adoptée pour la détermination de la teneur en eau.

On porte rapidement et pendant 60 à 90 minutes l'échantillon à 100°C afin de tuer toutes les diastases (enzymes de dégradation responsables du phénomène de la respiration), puis on adopte une température plus basse, 70°C, jusqu'on ait une masse constante. Ceci ne se produirait dans les conditions normales qu'à partir de plusieurs jours ou même plusieurs semaines.

4. DIFFERENTS ETATS DE L'EAU DANS LA MATIERE VEGETALE

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 :

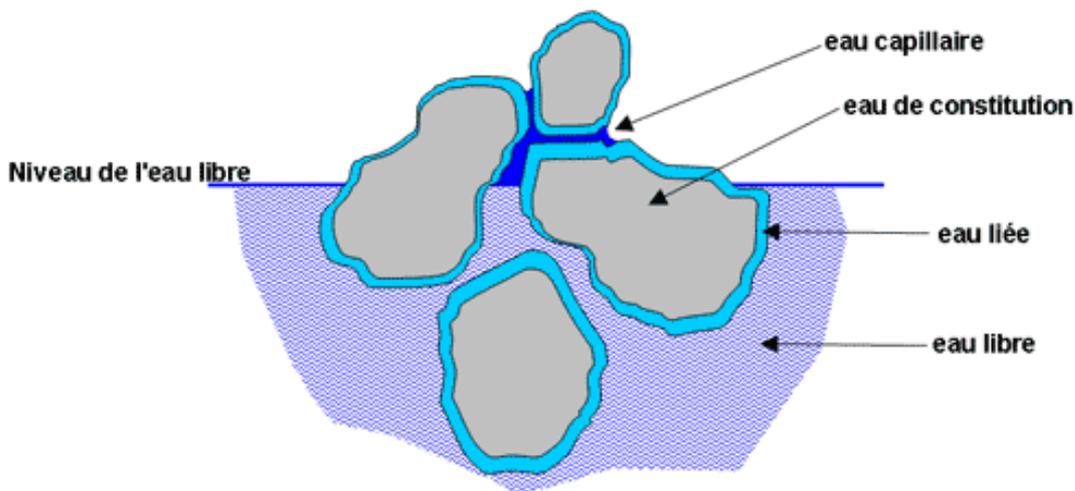
C'est l'eau qui stabilise la structure tertiaire de certaines macromolécules protéiques et ne peut être enlevée de ces protéines sans en entraîner la dénaturation.

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.

5. ABSORPTION DE L'EAU

L'EAU DU SOL

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



Forme de l'eau dans le sol

DIFFERENTS ETATS DE L'EAU DANS LE SOL

1. L'eau libre :

Elle forme les solutions que l'on rencontre dans les interstices larges du sol,

2. L'eau liée:

§Les liaisons, sans être aussi fortes que dans l'eau de constitution, sont néanmoins beaucoup plus importantes que dans les solutions, et nécessitent une énergie importante pour être rompues.

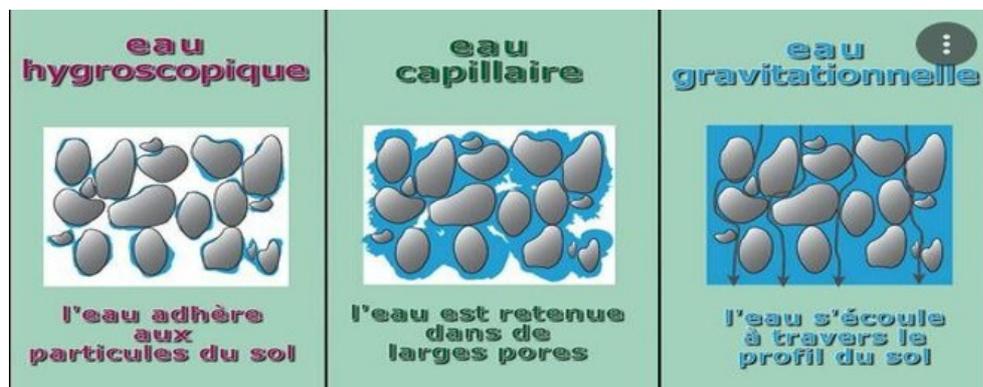
§Exemples d'eau liée • l'eau de capillarité et l'eau d'imbibition.

FORCES DE RETENTION

🔗 Fondamental

En fonction des forces de rétention, on distingue les différents types d'eau dans le sol.

- L'eau hygroscopique est une eau indisponible, étant donné qu'elle rentre dans la constitution même du sol.
- L'eau capillaire est une eau disponible sur laquelle s'exercent les forces capillaires.
- L'eau de gravitation est une eau disponible qui s'écoule à travers le sol par gravité. Elle est plus ou moins retenue par les forces osmotiques et par les forces d'imbibition.



Forces de rétention

POTENTIEL HYDRIQUE

Le potentiel hydrique permet de déterminer le sens des échanges hydriques entre :

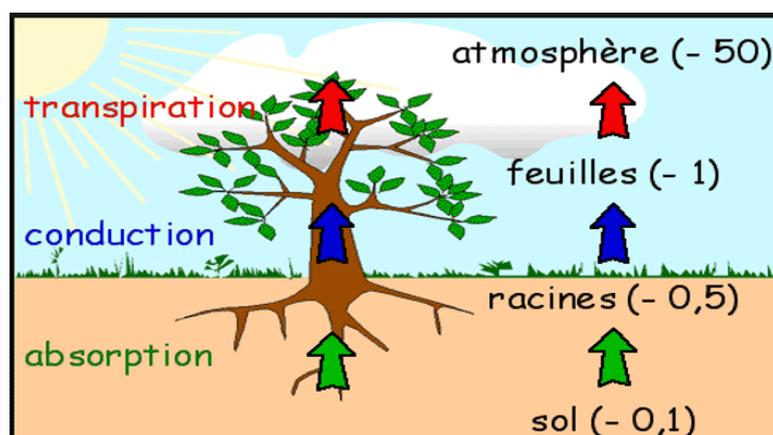
- Différentes parties de la plante (organes, cellules).
- Le sol et la plante.
- La plante et l'atmosphère.

En effet l'eau circule toujours des potentiels hydriques les plus élevés vers les potentiels hydriques les plus bas. Le potentiel hydrique d'un sol est l'énergie qu'il faut appliquer au sol pour libérer 1g d'eau.

Ce potentiel est toujours négatif, et est d'autant plus bas que la liaison entre l'eau et le sol est forte.

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

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



Potentiel Hydrique

6. ABSORPTION DE L'EAU PAR LES RACINES

A-Facteurs contrôlant l'absorption de la l'eau par les racines

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 :

- Facteurs climatiques : Température et humidité de l'air, 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
- Facteurs pédologiques: Sols trop lourds ou trop humides causent l'asphyxie des racines ce qui gêne l'absorption

B-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 du à la différence négative entre le potentiel hydrique du poil absorbant et celui du sol.

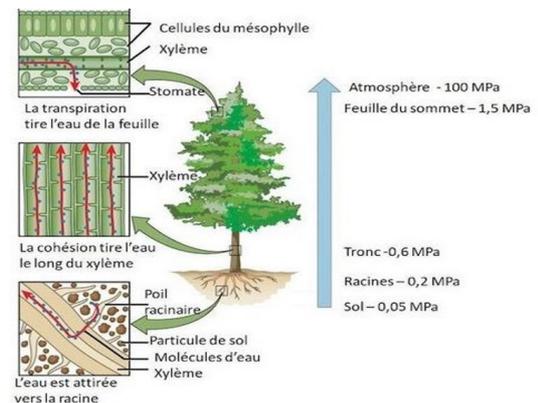
Elle est toute fois sous la dépendance du métabolisme.

C-Absorption, transport et émission de l'eau

La plante absorbe l'eau du sol via ses racines pour assurer ses ¹**biosynthèses**² et sa transpiration.

La transpiration, processus de transport de l'eau du sol par la plante jusqu'aux feuilles où elle s'évapore et qui représente la très grande majorité de l'eau absorbée, est essentielle au fonctionnement de la plante.

Pour comprendre le cycle de l'eau dans le sol et la plante, il est important au ³**potentiel**⁴ **hydrique**⁵, On dit que la circulation de l'eau dans le sol et dans la plante est passive dans la mesure où elle obéit en premier lieu à un mouvement spontané depuis les zones à forte disponibilité (humides, à potentiel hydrique élevé, dans le sol) vers les zones de faible disponibilité (plus sèches, à potentiel hydrique plus faible, dans les feuilles et l'atmosphère).



Passage de l'eau dans la plante

1. <https://www.plantes-et-eau.fr/glossaire/biosynthese>
 2. <https://www.plantes-et-eau.fr/glossaire/biosynthese>
 3. <https://www.plantes-et-eau.fr/glossaire/potentiel-hydrique>
 4. <https://www.plantes-et-eau.fr/glossaire/potentiel-hydrique>
 5. <https://www.plantes-et-eau.fr/glossaire/potentiel-hydrique>
 6. <https://www.plantes-et-eau.fr/glossaire/potentiel-hydrique>

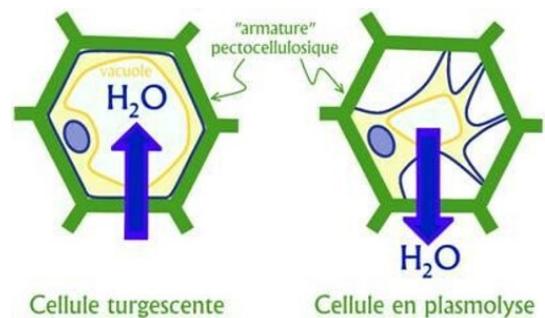
En un jour, la plante absorbe un volume d'eau équivalent à sa masse. Les plantes supérieures absorbent l'eau par leurs poils absorbant (fixés sur les racines).

L'absorption de l'eau se fait toujours à travers une paroi ou une membrane cellulaire selon les lois physiques de la diffusion :

L'**OSMOSE** (qui est un transport passif) s'effectue toujours du **milieu hypotonique (le moins concentré)** vers le **milieu hypertonique (le plus concentré)**.

La pression osmotique est une force déterminée par une différence de concentration entre deux solutions situées de part et d'autre d'une ⁷**membrane**⁸⁹¹⁰¹¹ **semi-perméable**¹².

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 extra-cellulaire hypotonique par rapport au milieu intra-cellulaire, l'eau pénètre dans la cellule, la vacuole gonfle : la cellule est alors **turgescence**,



L'eau dans la cellule

Absorption

Remarque

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

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

Transport de l'eau

L'eau et les sels minéraux sont transportés par les poils absorbants jusqu'à l'**endoderme**. Le cheminement se fait par la loi de l'osmose.

Il y a déplacement par voie **apoplastique** (à travers la paroi) et symplastique (à travers les vacuoles et le cytoplasme).

Au niveau de l'endoderme, la couche cellulaire subérifiée (bandes de Caspary) oblige un passage par voie symplastique.

Dès que l'eau arrive aux éléments conducteurs du xylème, elle monte à travers la racine et la tige jusque dans les feuilles, d'où la plus grande partie se perd dans l'atmosphère par transpiration ; on peut donc considérer la voie sol-plante-atmosphère comme un continuum servant au déplacement de l'eau.

7. <https://www.aquaportail.com/definition-503-membrane.html>

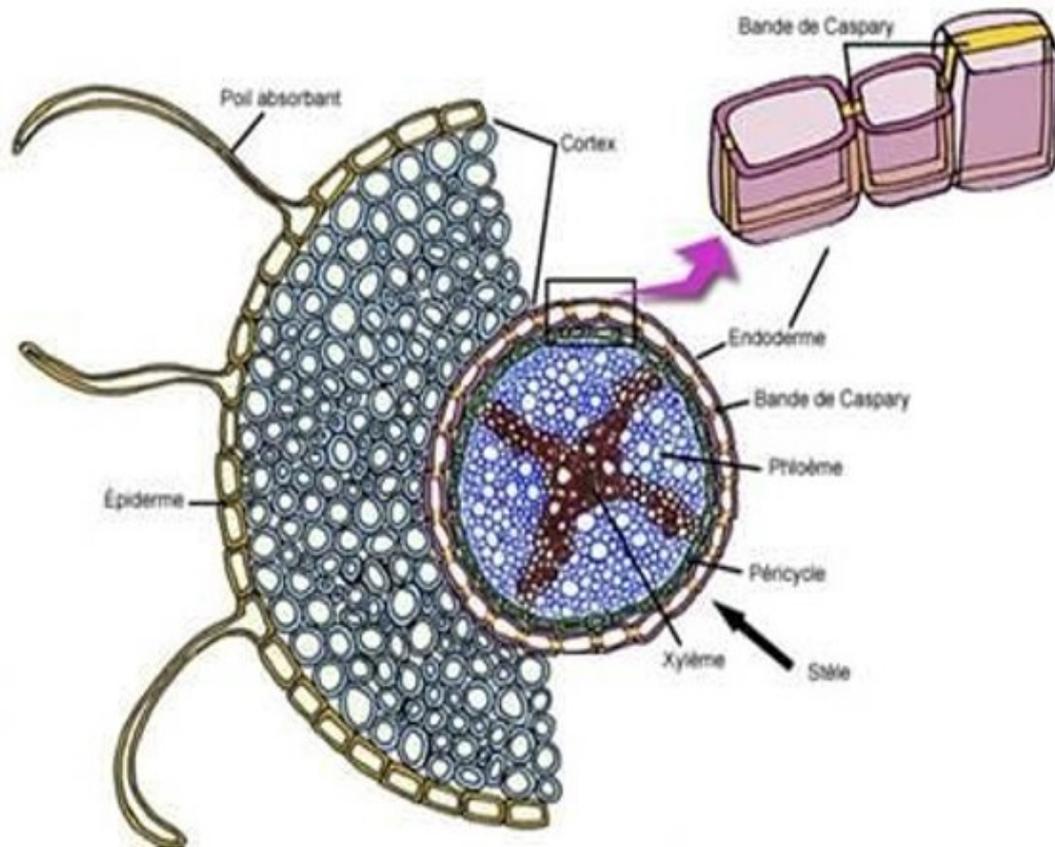
8. <https://www.aquaportail.com/definition-503-membrane.html>

9. <https://www.aquaportail.com/definition-503-membrane.html>

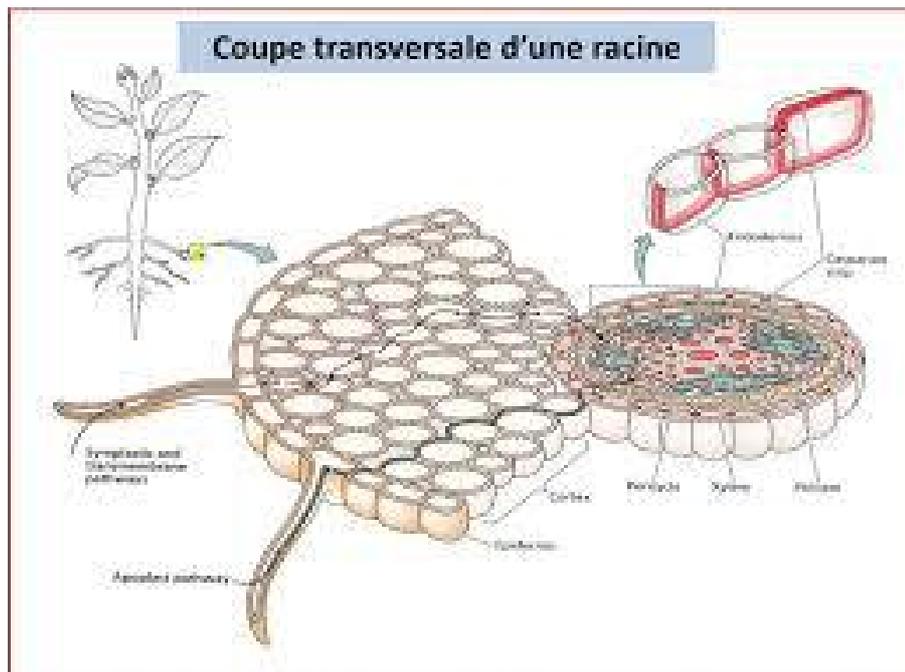
10. <https://www.aquaportail.com/definition-503-membrane.html>

11. <https://www.aquaportail.com/definition-3215-semi-permeable.html>

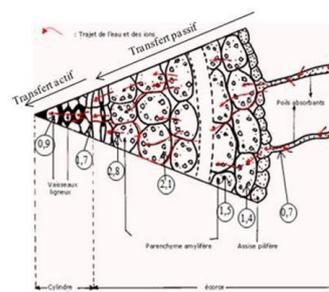
12. <https://www.aquaportail.com/definition-3215-semi-permeable.html>



coupe transversale de la zone pilifère



coupe racine

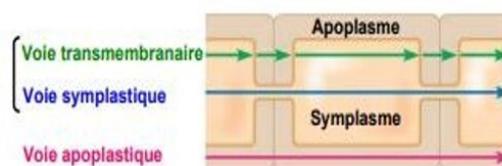


Trajet de l'eau du poil absorbant à l'endoderme

Trajet de l'eau

Pour traverser la racine, l'eau peut suivre au moins l'une des trois voies suivantes :

- **Apoplastique** : passe par les parois cellulaires.
- **Symplastique** : l'eau passe de protoplaste en protoplaste par les plasmodesmes.
- **Transmembranaire** : l'eau va de cellule en cellule, en passant par les vacuoles.



Trois voies de passage de l'eau

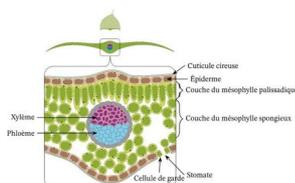
Protoplaste : Cellule végétale débarrassée de sa paroi cellulosique externe.

7. TRANSPIRATION

Emission de l'eau par la plante

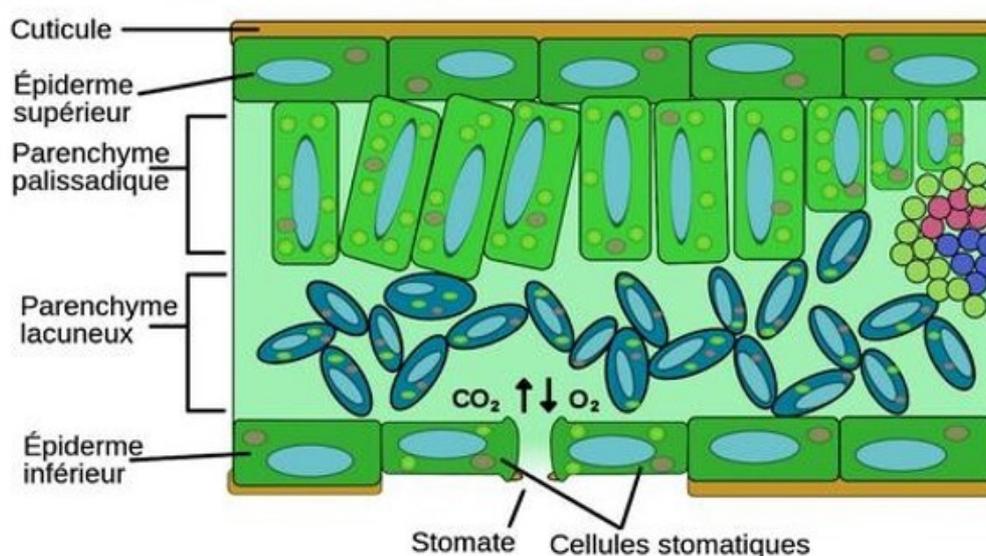
Moins de 5% de l'eau absorbée par les plantes, est réellement utilisée pour la croissance, et une quantité encore moindre est utilisée dans les réactions biochimiques; l'équilibre hydrique de la plante passe par une perte de vapeur d'eau, un phénomène nommé **TRANSPIRATION**.

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.



Structure de la feuille

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



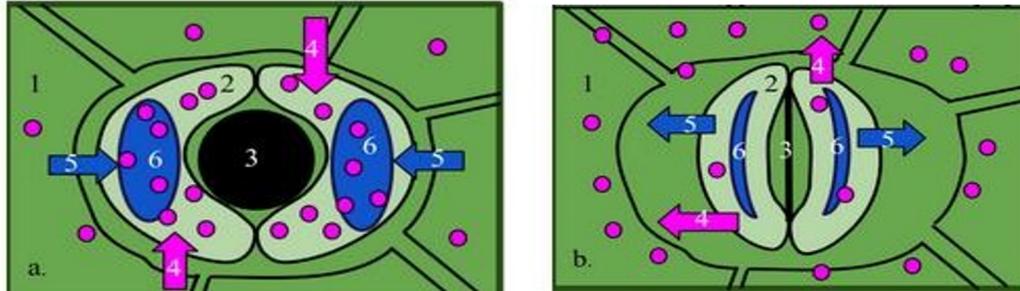
Anatomie de la feuille

Mécanisme d'ouverture des stomates

Dans de bonnes conditions hydriques, les deux **cellules stomatiques absorbent l'eau**, se gonflent et se courbent, permettant **l'ouverture de l'ostiole et les échanges**.

En effet, lorsque **les cellules de garde sont turgescentes** (gonflées d'eau), la paroi extérieure plus mince et plus souple se dilate plus que la paroi interne qui est plus épaisse et plus rigide : les cellules s'incurvent comme un haricot ou un rein (d'où le nom de cellules réniformes) et **l'ostiole s'ouvre**.

1-Cellule épidermique 2-Cellule de garde



3-Ostiole 4-K⁺ 5-Eau 6-Vacuole

Mécanisme de l'ouverture des stomates (a) et leur fermeture (b)

(cf. video.mp4)

V NUTRITION MINERALE

1. Introduction



Nutrition minérale

Les plantes absorbent les nutriments essentiels du sol grâce à leurs racines (poils absorbant qui se trouvent dans la zone pilifère de la racine).

Les plantes absorbent les sels minéraux du sol, présents sous forme d'ions, directement par leurs racines. Malgré les faibles concentrations de ces sels dans le sol, les plantes ont développé des systèmes d'absorption très efficaces, notamment grâce à une grande surface racinaire et des mécanismes actifs.

Les associations symbiotiques avec des bactéries ou des champignons (mycorhizes) améliorent encore l'absorption des minéraux par les racines.

Les plantes absorbent les nutriments essentiels du sol grâce à leurs racines.

Les recherches récentes ont permis de mieux comprendre les mécanismes moléculaires du transport des ions et d'identifier les gènes impliqués dans la nutrition minérale des plantes. Les minéraux sont indispensables à la croissance et au développement des plantes. Leur absence ou leur carence entraîne des perturbations importantes.

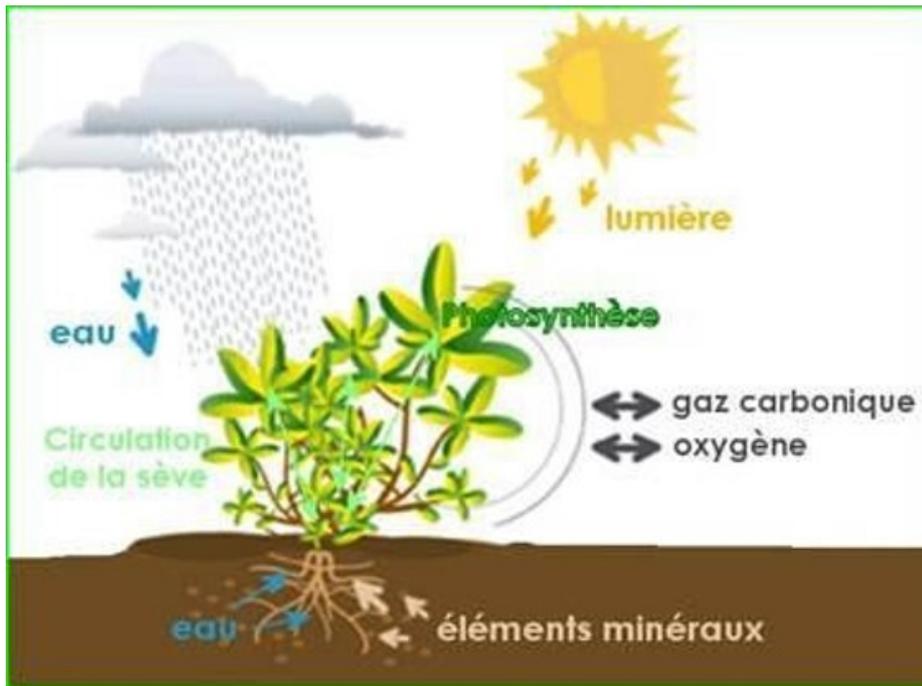
En résumé, les plantes sont de véritables "ingénieurs" qui ont mis au point des stratégies complexes pour extraire les éléments nutritifs dont elles ont besoin dans un environnement souvent pauvre en ressources. Ces mécanismes sont essentiels pour la vie végétale et pour les écosystèmes en général.

2. Détermination des besoins nutritifs

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.



Besoin de la plante

Origine des minéraux

Comment les plantes obtiennent les éléments nutritifs dont elles ont besoin à partir du sol ?

Les éléments nutritifs sont présents dans le sol sous forme d'ions. Ces ions peuvent être **libres dans la solution du sol** ou **fixés sur les particules du sol**, notamment dans le **complexe argilo-humique**. Cette fixation dépend de **la nature du sol**, de **son pH** et des **propriétés des ions eux-mêmes**.

Les plantes absorbent ces ions du sol, mais elles doivent souvent fournir de l'énergie pour les arracher au complexe argilo-humique où ils sont fortement liés. Cela crée une compétition entre la plante et le sol pour ces éléments nutritifs.

Une fois absorbés, les ions subissent souvent des transformations chimiques à l'intérieur de la plante pour pouvoir être utilisés.

Par exemple, les sulfates peuvent être réduits au niveau des chloroplastes.

La concentration des ions à l'intérieur de la plante est généralement différente de celle du sol, ce qui témoigne d'une sélectivité de la plante dans l'absorption et le maintien de ces éléments.

En résumé, les plantes puisent leurs éléments nutritifs dans un environnement complexe et dynamique, le sol. Elles doivent non seulement absorber ces éléments, mais aussi les transformer et les réguler pour assurer leur croissance et leur développement.

Éléments minéraux et la fertilité du sol

Un élément essentiel est un nutriment indispensable à la vie d'une plante, de sa germination jusqu'à la production de nouvelles graines. Pour qu'un élément soit considéré comme essentiel, il doit remplir trois conditions :

1- Indispensabilité: La plante ne peut pas achever son cycle de vie sans cet élément.

2- Irremplaçable: L'élément en question ne peut être substitué par un autre élément.

3- Implication métabolique directe: L'élément doit jouer un rôle actif dans les processus métaboliques de la plante, soit en faisant partie intégrante de molécules essentielles (comme les enzymes), soit en étant nécessaire à des réactions biochimiques spécifiques.

En résumé, un élément essentiel est un nutriment unique et indispensable à la plante, jouant un rôle crucial dans son métabolisme et son développement.

On divise généralement les éléments essentiels à une plante en 2 classes: les macroéléments et microéléments (oligoéléments)

Macroéléments

Principaux : Azote(N), Phosphore(P), Potassium(K) ;

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.



Azote



Phosphore

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.



Potassium

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.

Oligoéléments:

Manganèse (Mn), Zinc (Zn), (Cl), Bore (B), Molybdène (Mo), Cobalt (Co).

Les **quantités d'oligoéléments assimilées** par les plantes sont sous forme **de traces** mais leur rôle dans la nutrition globale de la plante est primordiale. Ils sont présents dans la plante en quantité très faible qui ne dépasse pas 0,01% de la matière sèche.

On trouve ces éléments au niveau des enzymes avec différentes variations **selon les espèces**.

On trouve :

- le soufre chez les crucifères (brassicacée) (choux, radis, navet)
- 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.

| Oligo-élément | Rôles Principaux | Impact sur la Plante en cas de Carence |
|----------------|---|---|
| Fer (Fe) | Production de chlorophylle, cytochromes et nitrogénase. | Chlorose (jaunissement des feuilles), réduction de la croissance. |
| Zinc (Zn) | Activation enzymatique, synthèse de la chlorophylle. | Feuilles petites et déformées, taches nécrotiques. |
| Bore (B) | Transport des hydrates de carbone, régulation métabolique, intégrité membranaire. | Croissance réduite, déformation des jeunes feuilles. |
| Cuivre (Cu) | Activation d'enzymes impliquées dans les réactions d'oxydoréduction. | Feuilles décolorées, dépérissement des pointes. |
| Nickel (Ni) | Constituant d'enzymes impliquées dans l'absorption de l'azote. | Croissance réduite, symptômes similaires à une carence en azote. |
| Molybdène (Mo) | Métabolisation de l'azote, réduction des nitrates. | Feuilles plus petites et plus pâles, accumulation de nitrates. |
| Chlore (Cl) | Osmose, équilibre ionique, photosynthèse. | Croissance réduite, jaunissement des feuilles. |

Rôle des oligoéléments

3. Modalités et mécanismes de l'absorption

Introduction

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

Modalités d'absorption

L'absorption des substances minérales s'effectue chez les végétaux supérieurs par les poils absorbants ou les régions non subérifiées de la racine.

Les éléments minéraux sont généralement absorbés sous forme d'ions.

Certains éléments comme le Fer (Fe) sont difficilement absorbables à pH élevé ; l'existence de certains complexes organométalliques, les chélates, permet de surmonter cette difficulté.

Un chélate : c'est Molécule organique qui se combine avec un ion métallique comme le fer formant ainsi un complexe plus soluble et assimilable par les plantes

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.

Pour les cations : NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+

Pour les anions : NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^-

Etapas de l'absorption

Deux étapes :

1. L'adsorption, étape de fixation superficielle, passive et réversible pendant laquelle, l'élément adsorbé peut être désorbé.

2. L'absorption (au sens strict) qui suit la première étape et peut être active ou passive, selon les ions.

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.

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 CO_2 , peuvent pénétrer.

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.

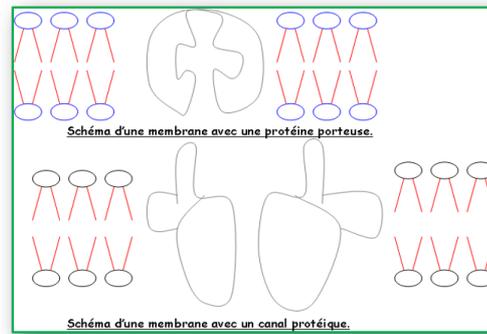


Schéma d'une membrane avec protéine porteuse et canal protéique

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.

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 :

- 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 tonoplasme (transports actifs). Elles utilisent de l'énergie. Le transport des protons par ces ATPases est un transport actif primaire.

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.

4. Rôle des éléments minéraux nécessaires

Rôle physique

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.

Rôle physiologique

Les rôles constitutifs sont tenus par les éléments phosphorylés, comme les phospholipides, 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. On trouve le fer (Fe) au niveau des cytochromes (utilisé pour transférer des électrons lors de la photosynthèse) .

Le calcium se trouve dans les 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).

Quelques particularités.

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.

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

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.