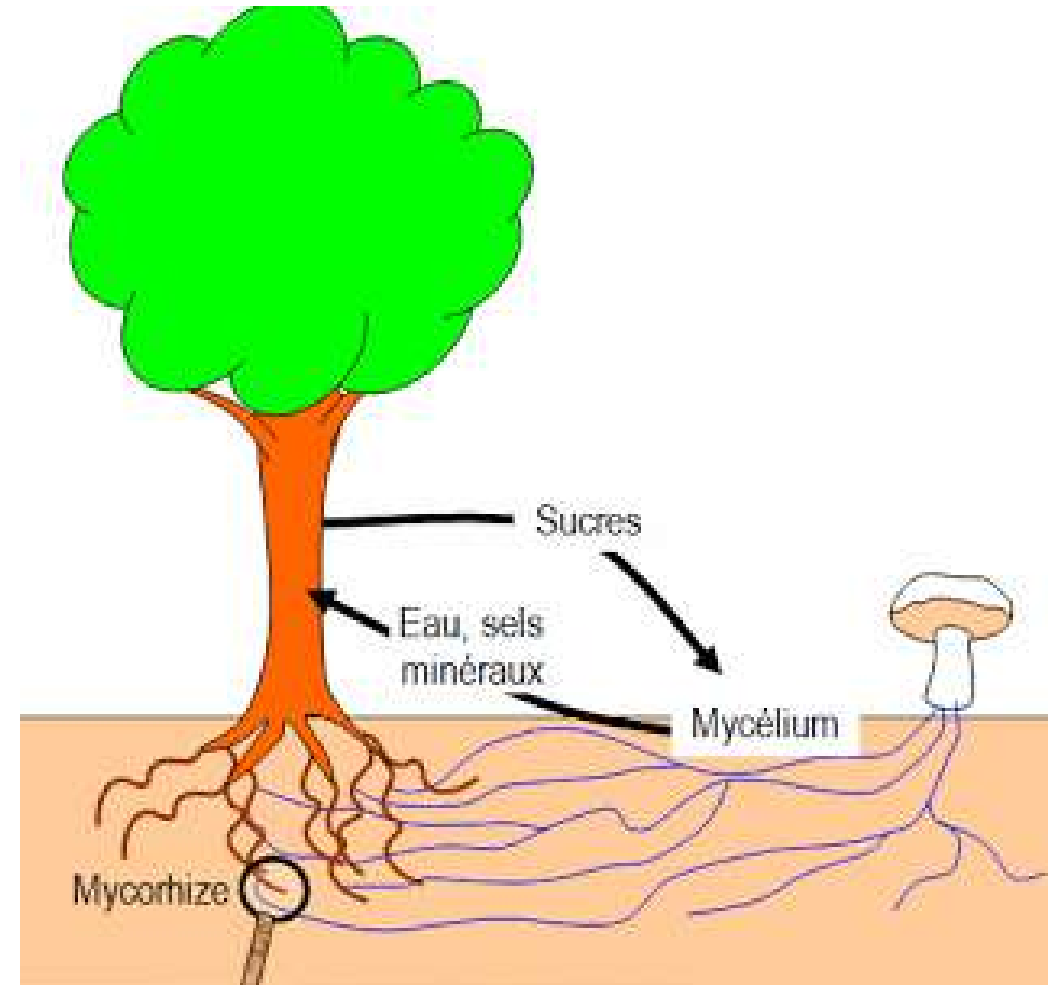


Chap 2. Nutrition minérale

Introduction

- Les **sels minéraux** sont importants pour le développement de la plante, ils se trouvent sous **formes d'ions** et pénètrent dans les **cellules des racines**.
- La **plante se nourrit de sels minéraux**, l'acquisition de ces minéraux se fait à travers des symbioses entre des bactéries ou des champignons (mycorhizes) avec les racines.

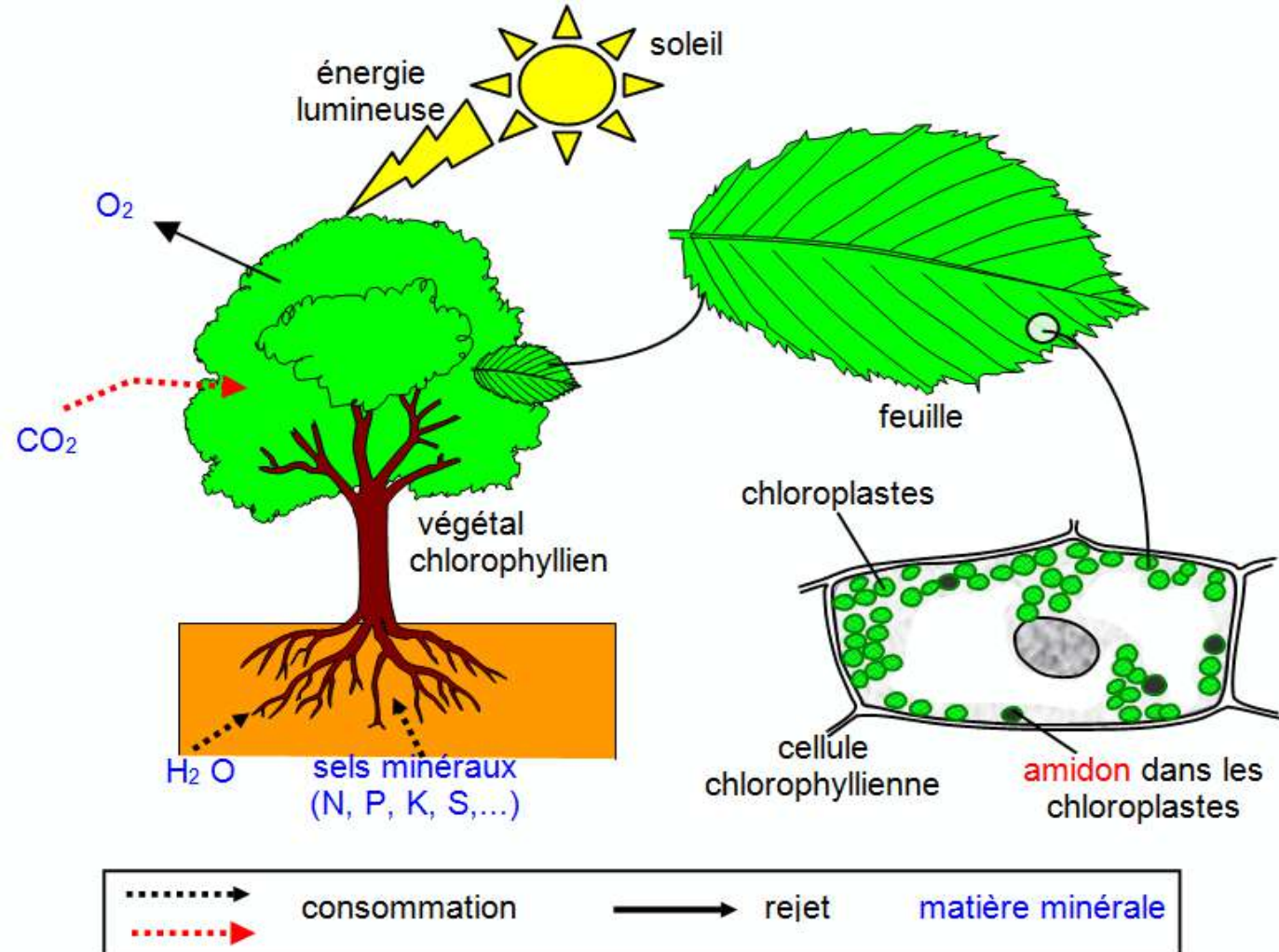


Introduction

Les végétaux chlorophylliens puisent des matières minérales indispensables à leur bon fonctionnement dans leurs milieux environnant (sol, eau et air).
Un manque de ces élément perturbe leur développement.

1. Acquisition d'éléments nutritifs

Dans la plupart des plantes terrestres, l'absorption des nutriments inorganiques s'effectue à travers les cellules racinaires. Les protéines de transport (Les porteurs, les canaux et les transporteurs) sont responsable de ce transport.



2. Détermination des besoins nutritifs

Quelques éléments ont été jugés essentiels pour la croissance des végétaux. Un élément devient essentiel quand son absence empêche la plante d'achever son cycle de vie (Arnon et Stout 1939) ou celui qui a un rôle physiologique clair (Epstein 1999). Si les plantes reçoivent ces éléments essentiels, ainsi que l'énergie solaire, elles peuvent synthétiser tous les composés dont elles ont besoin pour la croissance.

Les principaux éléments minéraux dont la plante a besoin pour sa croissance sont dits essentiels et sont classés, selon les quantités absorbées (Voir Tableau).

Adequate tissue levels of elements that may be required by plants			
Element	Chemical symbol	Concentration in dry matter (% or ppm) ^a	Relative number of atoms with respect to molybdenum
Obtained from water or carbon dioxide			
Hydrogen	H	6	60,000,000
Carbon	C	45	40,000,000
Oxygen	O	45	30,000,000
Obtained from the soil			
Macronutrients			
Nitrogen	N	1.5	1,000,000
Potassium	K	1.0	250,000
Calcium	Ca	0.5	125,000
Magnesium	Mg	0.2	80,000
Phosphorus	P	0.2	60,000
Sulfur	S	0.1	30,000
Silicon	Si	0.1	30,000
Micronutrients			
Chlorine	Cl	100	3,000
Iron	Fe	100	2,000
Boron	B	20	2,000
Manganese	Mn	50	1,000
Sodium	Na	10	400
Zinc	Zn	20	300
Copper	Cu	6	100
Nickel	Ni	0.1	2
Molybdenum	Mo	0.1	1

Source. Epstein 1992, 1977 In (Taiz and zeiger)

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

Les principaux éléments minéraux essentiels pour la plante sont :

a. Les **principaux macroéléments** : azote(N), phosphore(P), potassium(K) ;

- L'**azote** est un élément **majeur** 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 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.

b. Les éléments secondaires : calcium (Ca), magnésium (Mg), soufre (S), sodium (Na).

c. Les oligo-éléments : Manganèse (Mn), Zinc (Zn), (Cl), Bore (B), Molybdène (Mo), Cobalt (Co). Ces éléments se trouvent dans les enzymes, ils varient selon les espèces.

Ces éléments nutritifs se trouvent dans les espèces suivantes : Le soufre (les crucifères), le potassium (les algues), le silicium (graminées, prêles et fougères).

D'autres éléments se trouvent dans les **organes végétaux** :

La **graine** est plus **riche** en **P** et **pauvre** en **K** que la **plante** elle même.

Les **parties âgées** sont plus riches en **Ca** que les **parties jeunes** qui sont riches en **K, P** et **N**.

Pour une bonne reconstitution de ses réserves, les plantes doivent être munies par des apports en matières fertilisantes adaptées au sols. Ces apports dépendent de la richesse du sol et des besoins des plantes.

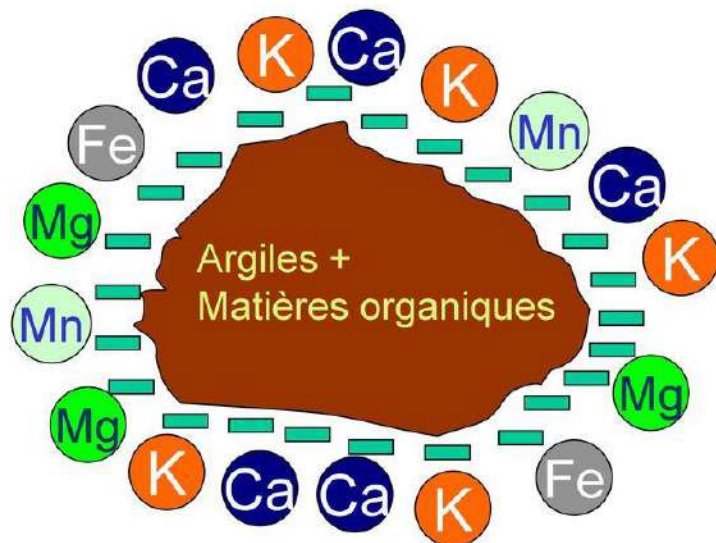
3. Origine des minéraux

Dans le sol, les **ions se trouvent en solution**, et leurs états changent selon le pH et la nature du sol. Ils sont dans des **solutions colloïdales** (dans le complexe argilo-humique). Le complexe argilo-humique est une **structure formée d'argile et d'humus**. L'humus est la fraction "stable" de **la matière organique** du sol, c'est-à-dire qu'elle est peu sujette à la **minéralisation**, mais elle entre dans la structuration du sol. Les **particules d'argiles et d'humus** sont tous deux chargés négativement, ils **retiennent les cations** (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ ...), **éléments essentiels à la plante**.

Remarque. Un sol plein de CAH est considéré comme un sol riche et fertile

Des échanges de cations ont lieu entre le complexe argilo-humique et la solution du sol, ce qu'on appelle la **capacité d'échange cationique** (CEC). Plus elle est élevée, moins les cations seront lessivés : ils seront donc plus accessibles aux plantes.

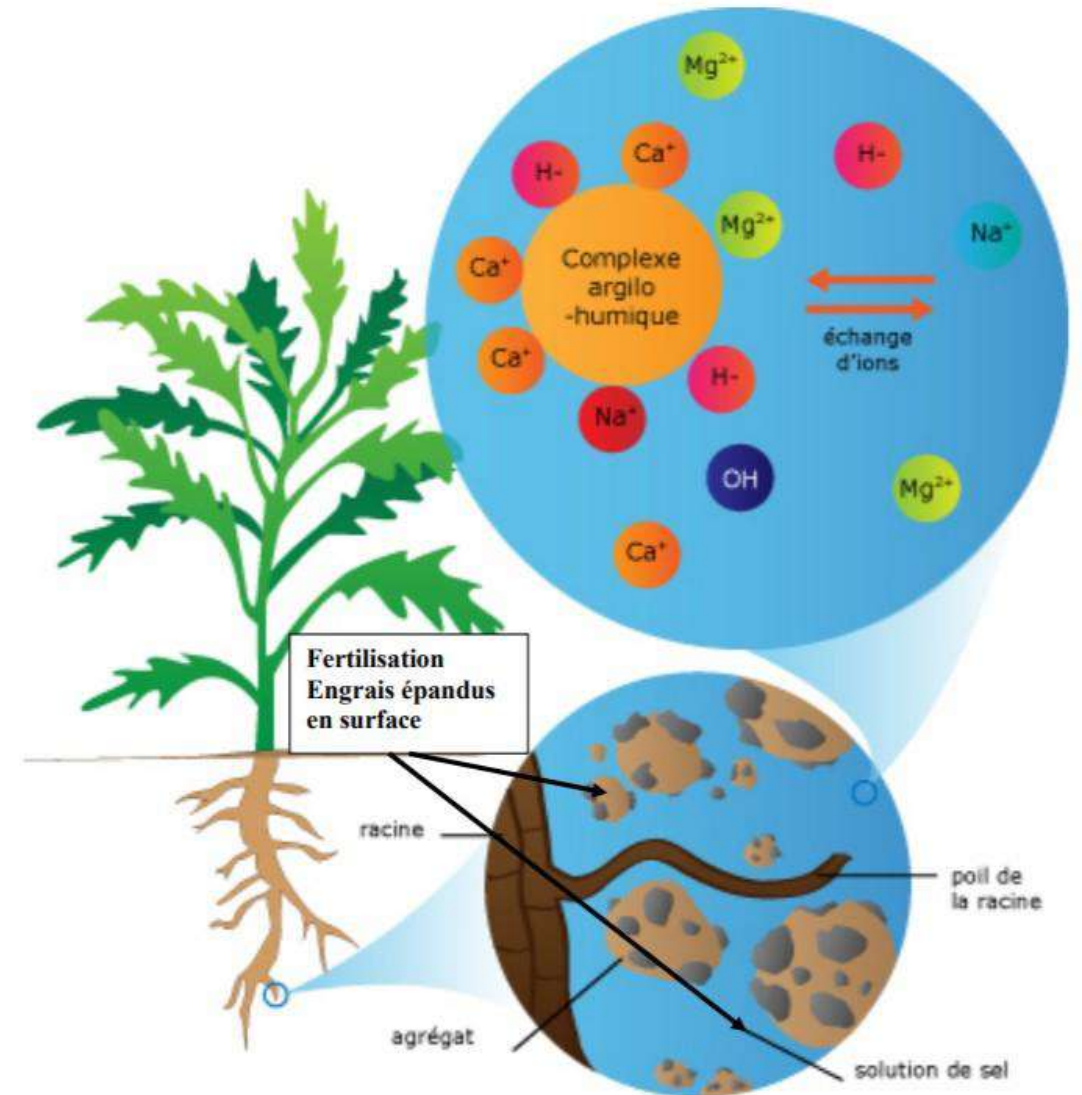
COMPLEXE ARGILO-HUMIQUE
Capacité d'échange cationique



L'humus protège l'argile, il forme avec l'argile un ciment permettant la construction d'agrégats solides.

L'argile favorise l'humification et ralentit la désagrégation de l'humus par les attaques microbiennes.

Schéma simple du Complexe Argilo-Humique



4. Modalités et mécanismes de l'absorption des minéraux

- **Mécanismes des ions** : Certains **nutriments minéraux** peuvent être **absorbé par les feuilles**, en plus des nutriments ajoutés au sol comme engrais. Certains nutriments minéraux peuvent être appliqués sur les feuilles par pulvérisations (application foliaire), ce qui fait les feuilles pourront absorber ces nutriments. L'**application foliaire** complète le déficit en minéraux dans le sol, et peut jouer un rôle dans l'activation de la croissance de la plante.

L'**application foliaire** de nutriments minéraux tels que le Fer, le Manganèse et le Cuivre peut être plus efficace que l'**application au sol**, où ils sont adsorbés sur les particules du sol et sont moins disponibles pour le système racinaire.

L'**absorption foliaire de Fer** par une plante chlorosée est le seul moyen de faire absorber ce fer sur les sols calcaires : donc les ions traverse le cytoplasme par voie symplastique et passent au xylème puis 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 un organe qui accumulent les déchets et en même temps une réserve.

- Mécanismes de l'absorption.

Dans l'absorption des ions, Il existe plusieurs composantes qui interviennent dans le **transport des ions** et des **petites molécules**. Trois possibilités de pénétration sont possibles : La **simple diffusion**, le **transport passif**, le **transport actif**.

La simple diffusion. L'eau, les molécules non polaires et polaires (Urée, Glycérol et CO₂) **pénètrent à la membrane cellulaire** par **simple diffusion**. Ce phénomène de diffusion est exprimé par la **loi de Fick**.

Loi de Fick : $(DQ/dT) = k.a.\Delta c$

k : Coefficient de diffusion,

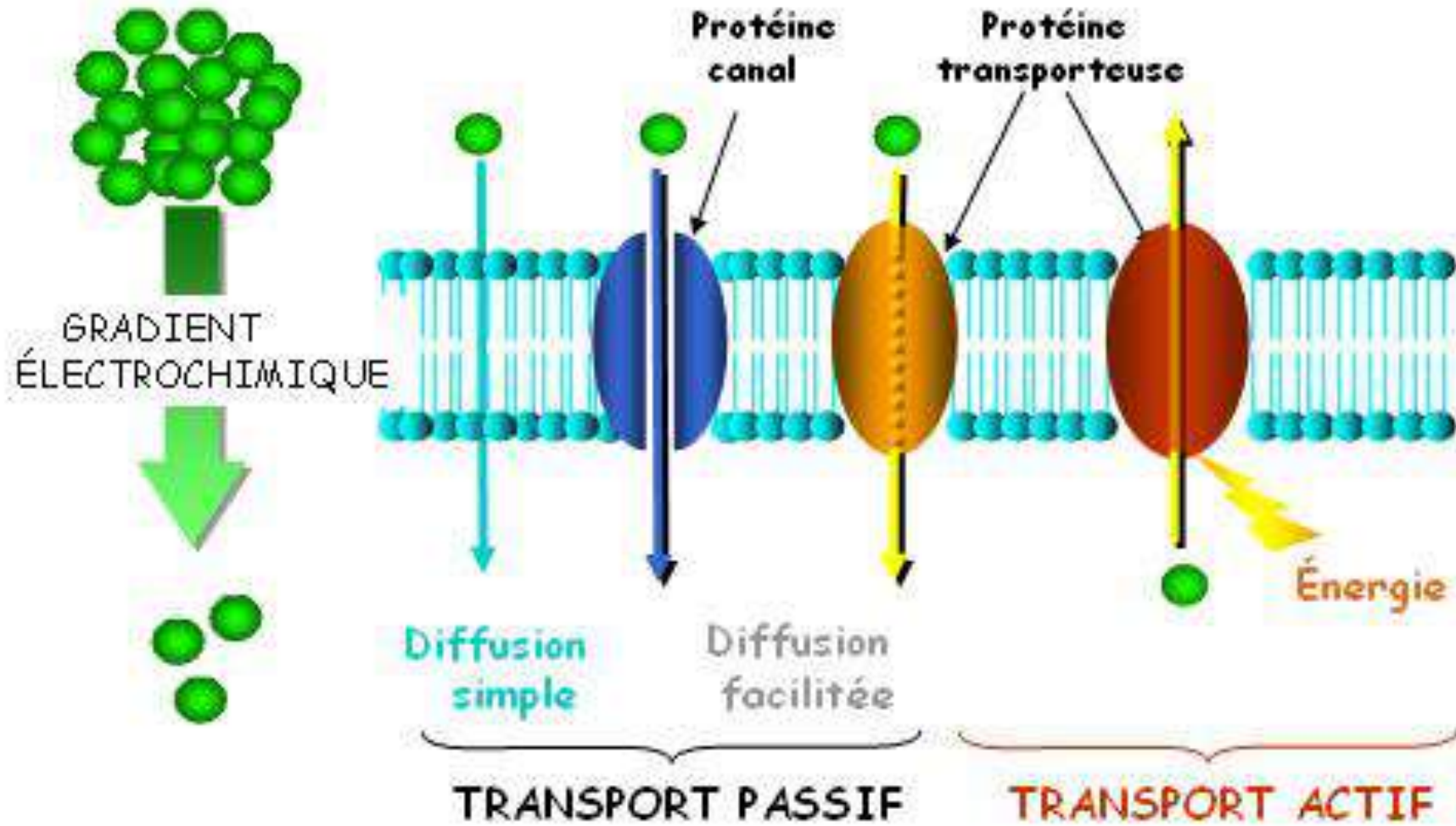
a : Surface de diffusion,

Δc : 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 (**voir Fig. suivante**).

En biologie, le **gradient** désigne une variation de la **concentration** d'une substance ou d'une propriété physiologique. Il est souvent question de **gradient de concentration** de part et d'autre d'une membrane.

Transport des minéraux



- 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.

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**.

Il existe 2 types de protéines porteuses : les **protéines** qui permettent un **transport passif** et les **protéines** qui réalisent ce transport grâce à l'énergie (**transport actif**).

- 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 turgescence : 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.

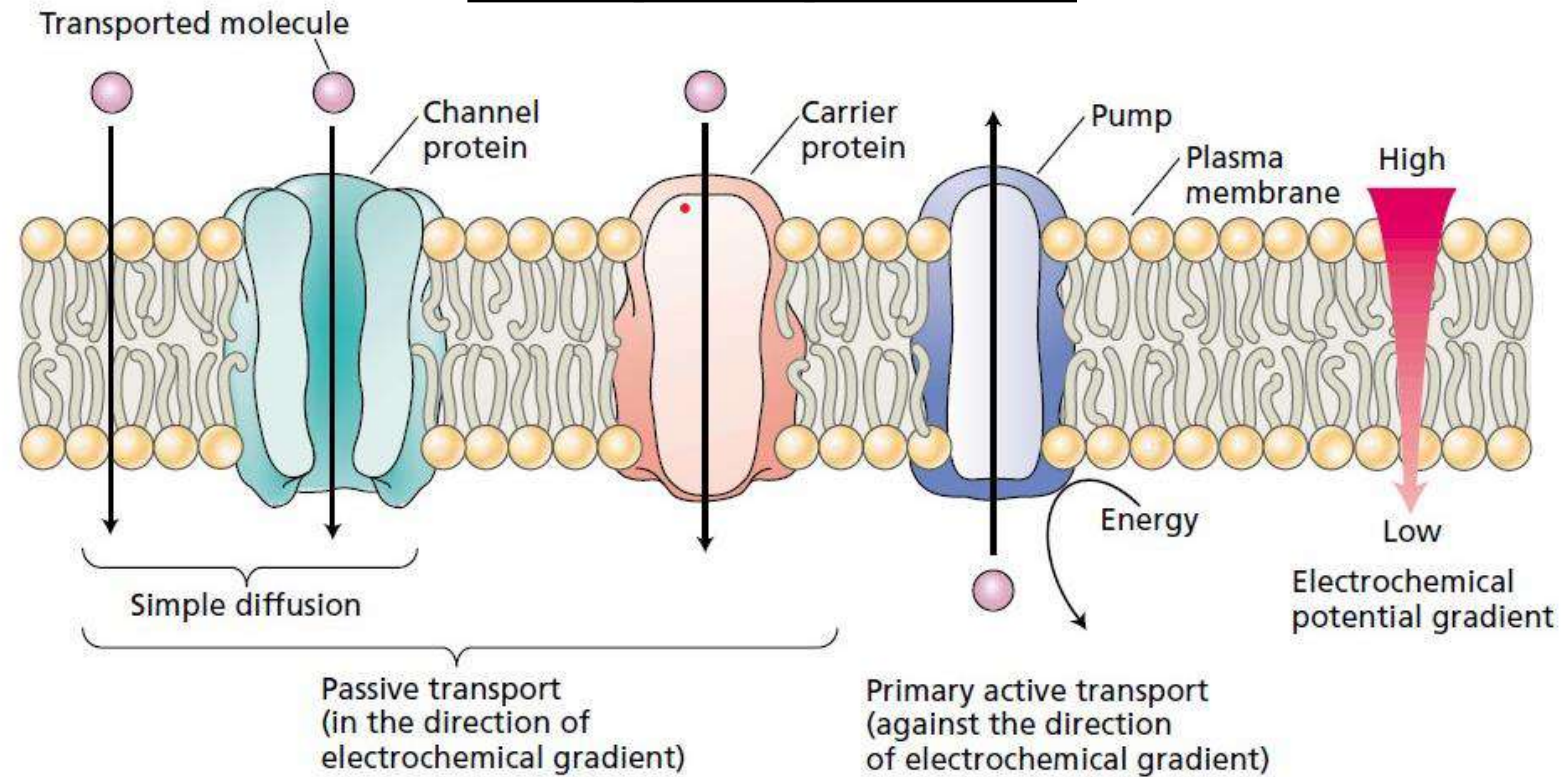
Ces déplacements nécessitent : de l'**énergie chimique** comme l'**ATP**, et de l'**énergie physique** comme **le gradient ionique** due aux déplacements d'électrons. Cette énergie permet le fonctionnement des pompes ioniques donc le type le plus représenté est le type des **pompes à protons**.

Il y a 2 types de pompes (voir Fig suivante) :

- Des pompes rédox : 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 plasmalemme ou tonoplasme (**transports actifs**). Elles utilisent de l'énergie.

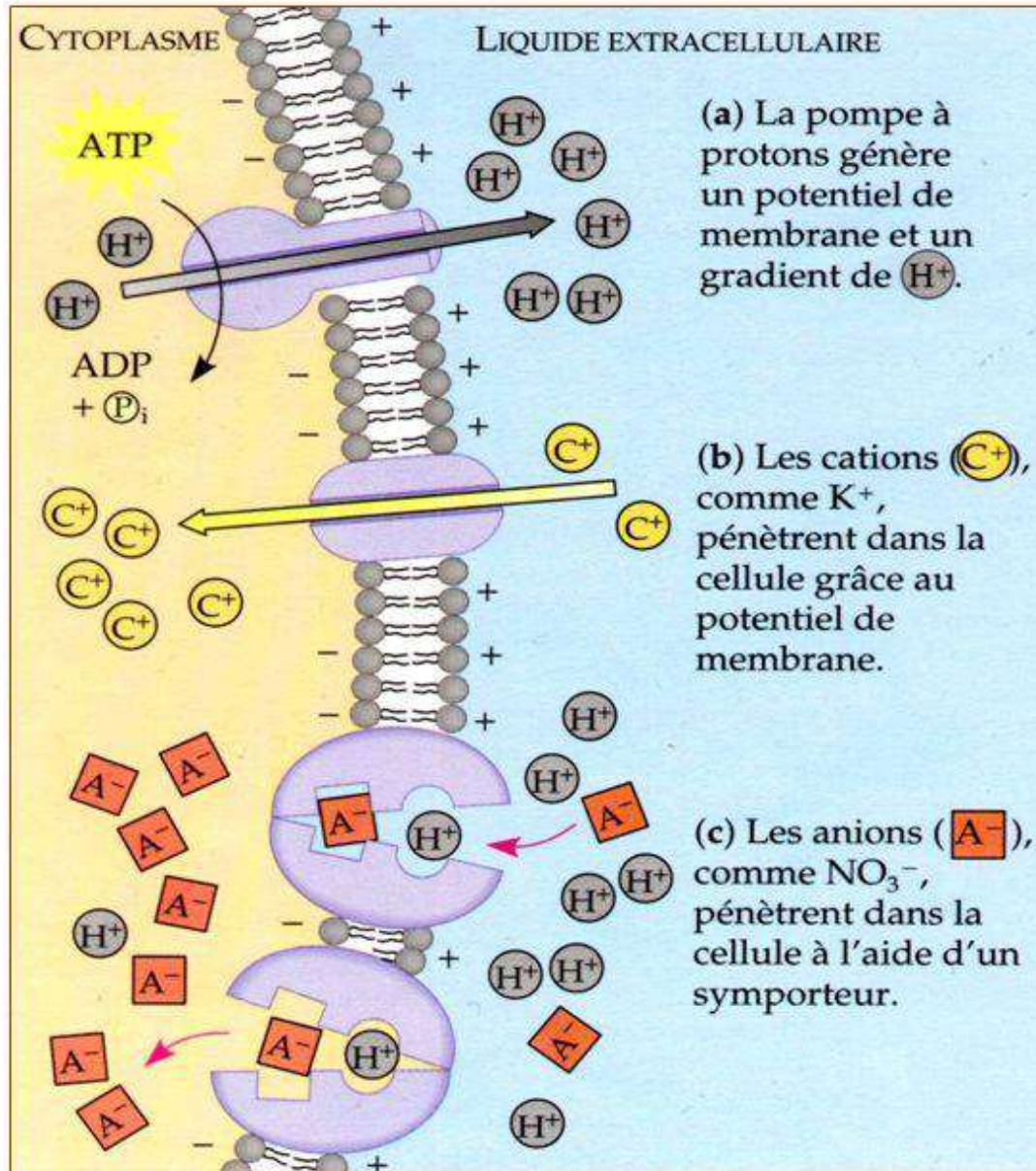
Pompe à protons

Trois classes de protéines de transport membranaire: **canaux**, **porteurs** et **pompes**. Les **canaux** et les **porteurs** peuvent médier le transport passif des solutés à travers les membranes (**par simple diffusion ou diffusion facilitée**), le long du gradient de potentiel électrochimique du soluté.



Les **protéines des canaux** agissent comme des **pores membranaires** et leur spécificité est déterminée principalement par les propriétés biophysiques du canal. Les protéines porteuses se lient à la molécule transportée d'un côté de la membrane et la libèrent de l'autre côté. Le **transport actif primaire** est effectué par des pompes et utilise l'énergie directement, généralement de l'hydrolyse de l'ATP, pour pomper les solutés contre leur gradient de potentiel électrochimique.

Pompe à proton et cotransport



L'Énergie de l'ATP sert à transporter des ions H^+ .

==> formation d'un **gradient de concentration** et d'un **gradient électrique**.

Le gradient électrique permet à des ions + de pénétrer **CONTRE** leur gradient de concentration.

Des **symporteurs** permettent à des anions de pénétrer **CONTRE** leur gradient de concentration et **CONTRE** leur gradient électrique en voyageant avec des ions H^+ .

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**, qui 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.

Transport facile : ou la diffusion simple

Transport passif : pas besoin de l'énergie

Diffusion simple : du milieu plus concentré vers le milieu moins concentré jusqu'à l'équilibre

Transport actif : consomme de l'énergie

accumulation : du milieu moins concentré vers le milieu plus concentré **jusqu'à l'équilibre**

3. Rôles des ions dans la plante

- *Rôles physiques.* Les phosphates favorisent l'entrée du magnésium, alors que le calcium freine son entrée.

Les ions permettent



- Le maintien de la turgescence,
- Le pH (système tampon),
- La création de potentiels membranaires :
Ces potentiels agissent sur la perméabilité de la membrane.

- *Rôles physiologiques*

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

Le **soufre** : dans les acides aminés et dans les protéines.

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

Le **calcium** : dans les chloroplastes (forme les plastocyanines)

dans les mitochondries (forme les cytochromes oxydases)

Le plus souvent dans les lieux de stockage des produits
toxiques (Vacuoles)

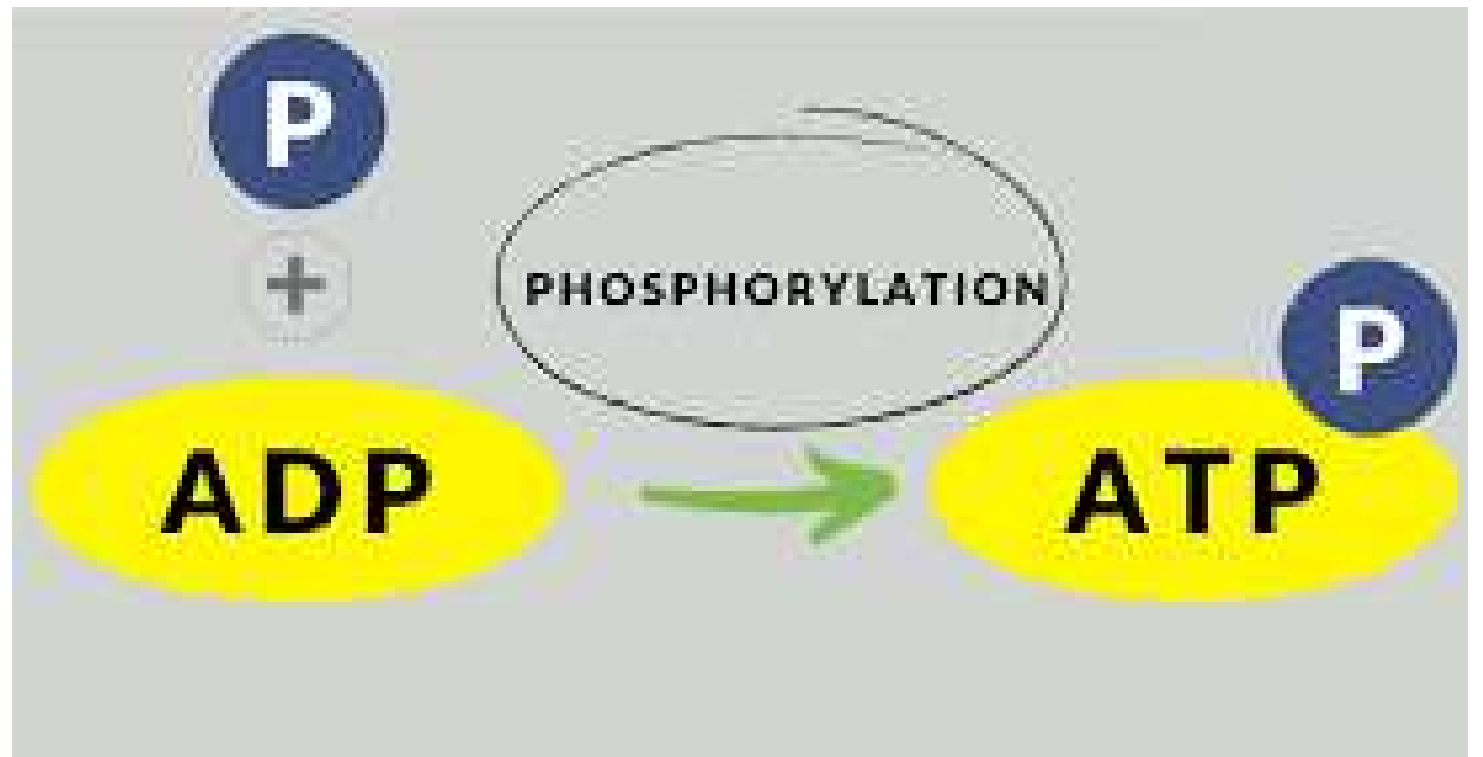
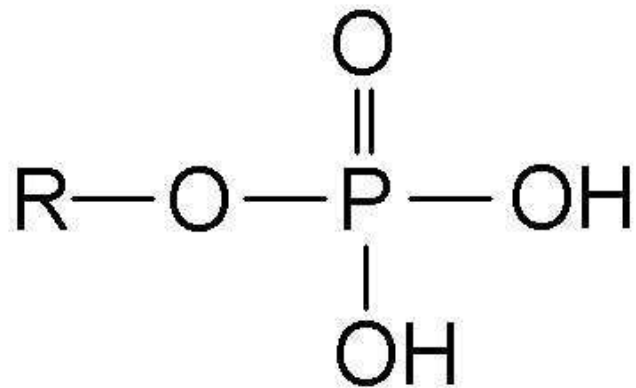
Le **Fer** : au niveau des hèmes et des cytochromes,

Le **phosphore** : avec une grande quantité au cours de la floraison et dans
les graines,

Le **potassium** : entre dans le métabolisme des glucides,

Le **molybdène** : dans les nitrate-réductases et dans les nitrogénases.

Élément phosphorylé : La phosphorylation est une modification chimique consistant à ajouter un groupement phosphate (PO_4^{3-}) sur une molécule, prélevé sur une molécule d'ATP (qui devient alors ADP).



Particularités

a. Le calcium (Ca) :

- Dans un sols **riche en Ca** (et **pH élevé**, milieu **basique**), on trouve les **plantes calcicoles** (tolérantes),
- Dans un sols **pauvre en Ca** (et pH faible, milieu acide), on trouve les **plantes calcifuges** qui ne tolèrent pas les terrains calcaires ou à tendances alcaline.

c. Le **Fer** : Sur un sol basique, le fer ne peut pas être absorbé car il précipite.

e. Le sodium :

Un sol avec un taux de **sels élevé** : on trouve les **plantes halophytes ou halophiles** (qui supportent le sel),

Un sol avec un taux de **sels faible** : on trouve les **plantes halofuges** (qui ne supportent pas le sel)