Chapitre III **MECANISMES D’ABSORPTION ET DE MOUVEMENT DES IONS**

**III.1. La solution du sol**

La partie la plus importante de l’absorption se fait à partir de la solution du sol. Il est indispensable d’avoir une idée des quantités d’éléments chimiques contenus dans la solution du sol. En effet, on admet généralement que le passage de l’élément minéral du sol à la plante se fait par l’intermédiaire de l’eau du sol, d’après le schéma suivant : l’élément diffuse du sol dans l’eau contenue dans ce sol, par **équilibre de Donan,** et passe ensuite à la racine. L’absorption ne se fait pas uniquement par les poils absorbants, comme on le croyait autrefois.

On a parfois émis l’hypothèse que la plante pouvait assimiler les éléments minéraux par contact direct, la racine épousant la particule du sol, sans l’intervention de la phase « solution du sol ». Pour certains auteurs cependant, il y aurait toujours passage à cette phase solution du sol, mais de façon à peine perceptible au niveau de la racine. La figure 11.2 donne une idée de la façon dont pourrait s’établir cet échange direct entre le sol et la racine. Des ions H+, libérés par les racines peuvent s’échanger avec des cations adsorbés sur les colloïdes du sol.

On voit d’après ce schéma, que seuls les cations pourraient subir ce type d’échange. De toute façon, comme le fait remarquer Mengel, la quantité totale d’éléments qui seraient échangés par contact direct, est extrêmement faible par rapport à la demande totale en minéraux. C’est surtout vrai lorsque les éléments sont demandés en quantités importantes. C’est la raison pour laquelle, le flux de masse et la diffusion jouent un rôle important que l’interception racinaire.

La quantité d’éléments contenus dans le sol varie évidemment dans de très larges proportions. On comprend aisément qu’elle dépend, d’une part, de la quantité totale de minéraux contenus dans le sol, donc de la richesse chimique de ce sol et de sa C.E.C., et d’autre part, de la quantité d’eau disponible, faisant varier la concentration. C’est la raison pour laquelle, pour éliminer le deuxième point, on se réfère souvent à un sol saturé en eau, par exemple, lors de la capacité au champ.

Les tableaux 11.6 et 11.7 donnent une idée de l’importance de ces concentrations.

**Tableau 11.6**. Concentrations en éléments majeurs

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Eléments | Valeurs extrêmes pour l’ensemble des sols | | Sols acides | | Sols calcaires | |
| Ca  Mg  K  Na  N(NO3- )  P(H2PO4-)  S(S O42-)  Cl | mg/l  20 - 1 520  16.8 - 2 400  7.8 - 390  9.2 - 3 450  9.9 - 3 410  0.097-97  9.6 -14 400  7.1 - 8 165 | meq/l   1. - 76   1.4 – 200  0.2 - 10  0.4 – 150  0.16- 55  0.001- 1  0.2 - 300  0.2 - 230 | mg/l  136  45  27  23  750  0.68  48  39 | meq/l  6.8  3.8  0.7  1.0  12.1  0.007  0.1  1.1 | mg/l  560  168  39  667  806  2.91  2 304  710 | meq/l  28  14  1.0  29  13  0.03  48  20 |

Source. Callot G et al (1982), Les interactions sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale. INRA, Paris

**Tableau 11.7**. Concentrations en oligo-éléments dans l’eau du sol.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Eléments | Concentrations en mg/l | Concentrations en µM/l  (micromoles) |
| Fer  Manganèse  Cobalt  Cuivre  Zinc | 10-6 - 10-7 (trace)  0.1  0.02  0.006  0.02 | 0.056 – 0.0056  5 500  1 180  381  1 300 |

Source. Callot G et al (1982),

On notera en passant que la solution du sol est très peu concentrée par rapport aux solutions nutritives qui sont utilisées en physiologie végétale. Il faut cependant savoir que la solution du sol se renouvelle constamment au contact de la phase solide du sol. La vitesse de la circulation de l’eau dans un sol a donc une très grande importance : elle détermine le temps de contact entre la phase solide et la phase liquide, ainsi que la masse de soluté qui peut être entraînée par le flux pour une concentration donnée de la solution.

**III.2. Les modes de transfert du sol vers la plante**

Les éléments nutritifs sont mis à la disposition de la plante de trois façon : **. Par diffusion des ions.** Ceux-ci atteignent les espaces du sol qui sont ou seront occupés par les racines. La diffusion a lieu lorsqu’un ion est transporté d’une concentration plus élevée vers une concentration moins élevée, par les mouvements thermiques aléatoires. Il y a diffusion lorsque la concentration au niveau de la surface racinaire est, soit plus élevée, soit plus basse que celle de la solution environnante. La diffusion a lieu vers la racine lorsque la concentration au niveau de la surface racinaire est abaissée, et elle a lieu de la racine vers le sol lorsque la concentration au niveau de la surface racinaire est plus élevée. La diffusion suit la loi de Fick, on a :

***F* = - D dc/dx**

Où : ***F*** est la vitesse de diffusion, quantité diffusée par unité de section et par unité de temps,  **dc/dx** est le gradient de concentration. **c** est la concentration, **D** est le coefficient de diffusion, **x** représente la distance

Les racines des végétaux peuvent donc créer un courant de diffusion des ions. L’importance de ce transfert dépend du rapport entre ce qui est apporté par le sol et ce qui est demandé par la plante. Une demande importante de la part de la plante ou un pouvoir d’absorption élevé chez la racine donnent lieu à un courant plus fort. Ceci montre donc que la racine elle-même et son métabolisme propre influence la disponibilité des éléments nutritifs. On a vu précédemment que l’importance du phénomène dépend de l’effet « puits » créé par la racine.

**. Par transport des ions** dans la solution (mass flow). Il s’agit des éléments minéraux présents dans solution du sol, qui sont adsorbés par le courant de transpiration. On comprend aisément que le flux de masse joue un rôle important pour tous les éléments qui sont présents en haute concentration dans la solution du sol. Ce sera le cas notamment pour le calcium, le magnésium et l’azote sous forme de nitrate.

**. Par déplacement de la racine vers l’élément nutritif** (root interception). On sait que les racines, par chimiotropisme, peuvent se déplacer vers les endroits qui sont les plus riches en éléments nutritifs. Cependant, cette interception racinaire ne jouerait pas un rôle très important et ne dépasserait pas 2 % des besoins totaux.

**III.3. Les conséquences pratiques de ces modes d’absorption.**

Ainsi qu’on l’a vu plus haut, le flux de masse est capable d’apporter la majeure partie, voire parfois des quantités excédentaires, de calcium, magnésium et azote, indispensable à la plante. Par contre, les éléments tels que le potassium et surtout le phosphore doivent parvenir au végétal par diffusion.

On peut en tirer une conclusion très importante concernant l’application raisonnée de la fumure phospho –potassique. « Le volume du sol réellement exploité par les racines apparaît très variable selon la nature des éléments minéraux considérés. L’ensemble de la profondeur colonisée par le système radiculaire semble bien participer, grâce au mouvement d’eau, à l’alimentation N, S, Ca et Mg (sous réserve naturellement que la fertilisation et l’activité biologique du sol soit assurée). Par contre, l’alimentation potassique et surtout phosphatée s’effectuent essentiellement aux dépends des agrégats situés au voisinage de la racine. Ce fait explique la nécessité de la constitution des réserves phospho-potassiques très supérieures aux besoins annuels des cultures » (Blanchet, 1968).

On peut conclure que l’approche de la fertilisation doit être tout à fait différente suivant que l’on envisage les engrais phospho-potassiques, d’une part, ou les engrais Ca, Mg et N, d’autre part.

Dans le premier cas, à moins d’utiliser par exemple des engrais liquides, il est très difficile de remédier rapidement à une carence en ces éléments dans le sol. Pour l’azote, il en va tout autrement et une application de nitrates peut être rapidement suivie d’un effet positif sur la plante. C’est d’ailleurs sur cette constatation que sont basées, entre autre, toutes les techniques qui font appel au fractionnement de l’azote, comme c’est le cas notamment pour les céréales.

L’ion phosphorique migre très lentement dans le sol et on cite des valeurs de coefficients de diffusion de l’ordre de 5.10-9 cm/seconde. Cependant, l’ion phosphorique peut diffuser suffisamment vite pour expliquer le prélèvement, observé pendant plusieurs jours, par une jeune racine, et à la fin de cette période les racines auront exploré de nouveaux endroits dans le sol. Nous signalons, en passant, la technique du placement qui consiste à enrober certaines graines avec du P et du K, rapidement assimilables par les jeunes racines.

Les mesures effectuées montrent que le potassium se déplace environ 100 fois plus vite que le phosphore. On a effectué des mesures qui montrent que le potassium peut migrer latéralement à 19 cm de la localisation initiale dans le sol.

La différence de concentration dans la solution du sol entraîne une autre conséquence : au niveau de la racine, on trouve souvent des teneurs très différentes de ce qui se passe à quelques cm de celle-ci. En effet, la racine agit comme un filtre qui peut absorber préférentiellement certains éléments pour en laisser d’autres. On estime que le flux de masse transporte la majeure partie de l’azote nécessaire aux cultures et leur fournit un surplus de Ca et Mg ; par contre moins de 10 % de P et moins de 20 % de K. Le reste du P et du K doit donc être fourni par diffusion. Les tableaux 11.8 et 11.9 visualisent cet état de chose.

**Tableau11.8.** Ordre de grandeur des transports d’éléments nutritifs par les mouvement d’eau

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Eléments** | **Concentration de la solution du sol, mg/l** | **Transport par 3 000 t d’eau, kg d’élément/ha** | **Besoins d’une culture kg/ha (ex. : céréale)** | **Importance du transport par rapport aux besoins** |
| P  K  Ca  Mg | 0.2  10  200  25 | 0.6  30  600  75 | 25  120  75  20 | très insuffisant  insuffisant  largement excessif  excessif |

**Tableau 11.9.** Quantités d’éléments majeurs disponibles en fonction des besoins du végétal

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Elément considéré | **Quantités disponibles** | | **% du total nécessaire aux plantes** | |
| dans la couche fertile du sol (kg/ha) | Dans l’eau du sol (ppm) | intercepté par les racines | Transporté jusqu’aux racines par l’eau courante |
| N  P  K  Ca  Mg | 330  100  330  4 400  825 | -  0.05  4  30  25 | 4  7  6  200  50 | (96)  0.4  10  187  208 |

Source, Blanchet (1968)