

## Chapitre 3 : Les éléments nutritifs et la fertilité du sol

### 3-1- Notions de fertilité d'un sol

Plusieurs définitions ont été données à la fertilité d'un sol qu'on cite :

\*La fertilité est la faculté avec laquelle la racine peut bénéficier dans le sol des différents facteurs de croissance: chaleur, eau, éléments chimiques nécessaires à la plante.

\*De point de vue **pédologique**, la fertilité d'un sol est en relation étroite avec ces propriétés physiques chimiques et biologiques. C'est ainsi qu'on parle dans un sol d'une fertilité physique, chimique, biologique et récemment d'une nouvelle notion; fertilité hydrique.

Les facteurs qui influencent la fertilité d'un sol donc:

**Des facteurs physiques:** la composition minéralogique, la texture, la structure, stabilité structurale, la densité apparente, la capacité de rétention en eau et la porosité.....

**Des facteurs chimiques:** le pH, la CEC, la conductivité électrique de la solution du sol, la teneur en carbone organique, la teneur en éléments nutritifs assimilables ou totaux (N, P, K, Ca, Mg, Na, S, B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn,...)

**Des facteurs biologiques:** la biomasse microbienne, les activités enzymatiques, l'abondance de la faune du sol....

\* Pour améliorer ces facteurs, on utilise le travail du sol, les amendements organiques et minéraux ou bien la fertilisation.

### 3-2- Les éléments nutritifs dans le sol et nutrition des plantes

#### 3-2-1-Notion d'élément majeur et oligo-élément

Pour se développer, les plantes prélèvent dans le milieu qui les entoure (air, eau, sol) les éléments nécessaires à leur vie et à leur développement. C'est ainsi qu'on distingue :

\***Les 3 éléments C, H, O** (qui représentent 98 % de la biomasse d'une plante).

\***Les éléments majeurs (qu'on appelle aussi nutriments de base) :**

Il s'agit des éléments: **N, P, K, Ca, Mg, S**; absorbés souvent en quantité élevée par les plantes avec des teneurs supérieures au g/kg MS d'une plante (il y a une grande variabilité dans les teneurs de ces éléments dans les tissus végétatifs selon les espèces, variétés et des conditions du milieu), et on peut les subdiviser en deux groupes :

\*\***Les éléments majeurs primaires :** azote, phosphore, potassium.

**\*\*Les éléments majeurs secondaires :** calcium, magnésium, soufre.

La différence entre les deux réside dans le fait suivant : les éléments majeurs primaires, sont utilisés à des quantités très importantes par rapport aux éléments majeurs secondaires.

**\*Les oligo-éléments :** comme le bore, le fer, le cuivre, le manganèse, le molybdène et le zinc. Présentent des teneurs de l'ordre du mg ou du dixième de mg/kg de MS des plantes. Ils sont indispensables à faible dose et lorsqu'ils dépassent le seuil optimum, ils devenant toxiques.

**Tableau 1:** Ordre de grandeur des seuils de carence en oligo-éléments dans les végétaux (ppm/matière sèche)

Oligo-éléments	Bore	Cuivre	Fer	Manganèse	Molybdène	Zinc	Cobalt	Sélénium	Vanadium
ppm/matière sèche	20	3-5	20	20	0.07-0.1	15	0.05	0.1	0.002

### **Quand aux sources des éléments nutritifs;**

La plante trouve dans l'air, sous forme de gaz carbonique, le carbone et l'oxygène nécessaires à la photosynthèse et à l'assimilation chlorophyllienne.

L'eau prélevée dans le sol, outre ses rôles multiples, fournit hydrogène et oxygène par le mécanisme de l'assimilation chlorophyllienne.

Les 15 autres éléments minéraux : N, P, K, Ca, Mg, la plus grande partie de S et les oligoéléments proviennent du sol où les racines les absorbent sous formes ioniques, à partir de solutions très diluées. L'azote est, pour la plupart des plantes, prélevé dans le sol sous forme minérale (nitrique ou ammoniacale), mais pour les légumineuses, il est prélevé dans l'air du sol par les bactéries des nodosités racinaires.

### **3-2-1-1-Les éléments majeurs**

#### **L'azote :**

L'azote est l'élément nutritif le plus déficient dans les systèmes de production agricole. La plupart des systèmes de cultures non légumineuses exigent l'apport d'azote, particulièrement les variétés à haut rendement.

**\* Formes de l'azote :** L'azote est présent dans la nature sous deux états :

- à l'état libre,  $N_2$ , où il constitue près de 80 % de l'air que nous respirons,
- à l'état combiné, sous forme minérale ou organique :

- Minérale (gaz) :  $N_2O$  (protoxyde d'azote),  $NO$  (monoxyde d'azote),  $NO_2$  (dioxyde d'azote),  $NH_3$  (ammoniac).
- Minérale (ions) :  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$
- Organique : urée,  $NH_2CONH_2$  acide aminé

**\*Les sources d'azote pour les cultures :**

Il s'agit de la matière organique du sol, les amendements organiques (fumier, boue résiduaire, composte.....); l'engrais vert (spécialement les légumineuses), les engrais minéraux, les eaux d'irrigation et aussi de l'atmosphère

**\*Les rôles de l'azote chez la plante**

Élément constituant des protéines, favorise la multiplication des chloroplastes, favorise la synthèse des glucides, constituant essentiel du cytoplasme et de ses éléments constitutifs; chloroplastes, mitochondries, ADN du noyau, membranes..... Il est nécessaire à tous les stades de la plante

**\*Les symptômes de carence chez la plante**

Le jaunissement (chlorose) sur les feuilles, une taille réduite des feuilles, une hauteur réduite des plantes

**\*Les conséquences d'excès d'azote chez la plante**

Un retard de maturité, une sensibilité plus grande des tissus aux maladies et au gel, une sensibilité des céréales à la verse

**\*Remèdes**

Apport d'azote au sol ou en fertilisation foliaire, drainage des sols trop humides (réduction de la dénitrification), amélioration de la structure du sol, emploi d'engrais verts évitant le lessivage de N en hiver

## **Le phosphore**

**\*Différentes formes du phosphore**

Le phosphore n'a pas de forme gazeuse. Il existe donc sous forme combinée minérale ou organique ou sous la forme combinée avec du calcium, à pH élevés (phosphates calciques) ou avec l'aluminium, (phosphates d'alumine) le fer et le Mn à des pH bas. On le trouve aussi sous la forme d'anions dans le sol, les phosphates ; les formes d'ions présentes vont dépendre du pH. Dans la gamme 'naturelle' de pH des sols, on trouve donc le phosphore en solution sous deux formes:  $H_2PO_4^-$ , et  $HPO_4^{2-}$

**\*Les rôles du phosphore**

C'est l'un des constituants de l'ADN et l'ARN, le phosphore est l'un des constituants des membranes cellulaires. Il active la croissance et aussi la synthèse des glucides (sucres, amidon, cellulose, il améliore la qualité : pureté des jus sucrés, conservation des fruits....

### \*Symptômes de carence

Une diminution de croissance, une coloration vert foncé du feuillage ou pourpre (typique chez le maïs) à un stade avancé, la carence se manifeste d'abord sur les feuilles âgées (du bas).

### \*Remèdes

Fertilisation phosphatée adaptée au pH.

## Le potassium

### \* Rôle du potassium chez la plante

Il régularise la photosynthèse, participe à la synthèse des protéines et il est indispensable à la synthèse des enzymes.

### \*Symptômes de carence du potassium

Une décoloration des feuilles suivie d'une nécrose localisée sur le contour du limbe foliaire, ou à l'apex des feuilles. Chez certaines plantes, comme la pomme de terre, on constate aussi des taches nécrotiques à l'intérieur du limbe.

Le potassium étant un élément mobile dans les plantes, la carence se manifeste d'abord sur les feuilles âgées (du bas).

### \*Remèdes

Pulvérisation immédiate d'une solution à 2% de sulfate de potassium, enrichissement du sol par apport d'engrais potassiques (très considérable en sols très argileux) et apports réguliers de potassium en fonction des exportations.

## Le soufre

Bien qu'étant un des éléments majeurs dont les besoins sont les plus faibles en quantités, nous traitons le soufre juste après l'azote car ces 2 éléments se ressemblent.

Ces ressemblances expliquent qu'on peut le gérer de la même manière, en réalisant des bilans besoins/fournitures par culture; **mais**, contrairement à l'azote qui est un facteur clef, on ne s'intéresse au soufre en agronomie que dans des situations précises (Cultures de plantes à besoins importants : *Brassicacées, Alliacées* sols à très faibles réserves...).

### \*Différentes formes du soufre dans le sol :

Le soufre peut comme l'azote être combiné :

- Sous forme organique, lié à des atomes de carbones
- Sous forme minérale. Si le sol est dans des conditions normales d'aération, le soufre est sous la forme de sulfates ( $\text{SO}_4^2$ ). C'est la forme assimilable par les végétaux. Ces sulfates se présentent sous différents états :

- Combinés à d'autres ions positifs, dans des formes peu solubles (combinaisons avec Fe, Al ou le baryum)

– A l'état d'ions libres en solutions

– Sous un état faiblement adsorbés par des charges +

Par contre si le sol est en conditions réductrices, le soufre passe sous la forme de sulfures  $S^{2-}$ , qui peuvent poser des problèmes de toxicités pour les végétaux.

#### **\*Rôle du soufre chez la plante**

Il joue un rôle de régulation osmotique. Il entre dans la composition de plusieurs acides aminés (Méthionine, cystéine) et par conséquent dans de nombreuses protéines. La maturation des fruits et des graines sont retardées en absence de soufre.

#### **\*Symptômes de carences du soufre**

Un ralentissement de la croissance et un jaunissement généralisé du feuillage (chlorose). Le soufre étant relativement peu mobile dans les plantes, les symptômes de carence vont d'abord se manifester sur les jeunes feuilles avant de rapidement se généraliser. Chlorose des nervures foliaires et des feuilles; les nervures sont en général plus claires que les tissus internes. Les feuilles sont moins larges et la pousse a un aspect ligneux.

#### **\*Remèdes**

Emploi d'engrais contenant du soufre (EPSO Top, Microtop, Combitop, Sulfate d'ammoniaque, superphosphate).

### **Le calcium**

#### **\*Rôle du calcium chez la plante**

Constituant des parois cellulaires. Donne la résistance aux tissus et favorise la formation et la maturation des fruits et des graines.

#### **\*Symptômes de carences du calcium**

Chlorose des feuilles et autres organes les plus jeunes. Bitter-pit des pommes (taches liégeuses amères).

#### **\*Remèdes**

Apport d'amendements calcaires broyés, de dolomie ou d'écumes de défécation et emploi régulier d'engrais contenant du calcium (Scories- Potassique et amendements Thomas, phosphates naturels, etc.)

### **Le magnésium**

#### **\*Rôle du magnésium chez la plante**

C'est un constituant de la chlorophylle et il favorise l'absorption du phosphore.

### **\*Symptômes de carences du magnésium**

Une décoloration du limbe (due à l'absence de chlorophylle). Le magnésium est assez mobile dans les plantes, en conséquence les symptômes de carence vont d'abord apparaître sur les feuilles âgées.

### **\*Remèdes**

Emploi régulier d'engrais contenant du magnésium (nitrate d'ammoniaque magnésien, Scories-Potassiques, etc.) et pulvérisation foliaire d'EPSO Top, Microtop ou Combitop (Sel d'Epsom - Bittersalz)

### **3-2-1-2-Les oligo-éléments**

#### **Le fer**

##### **\*Rôle du fer chez la plante:**

Il intervient dans la photosynthèse, la respiration, la réduction des nitrates..., nécessaire à la synthèse de la chlorophylle et il entre dans la composition de certains enzymes.

##### **\*Symptômes de carence en fer :**

Chlorose (décoloration) des jeunes feuilles. En cas de carence aiguë les feuilles deviennent presque blanches et dépérissent. On rencontre des carences en Fe en arboriculture fruitière, dans la culture des petits fruits et en viticulture.

##### **\*Remède :**

Pulvérisation foliaire immédiate de sulfate, de citrate ou de chélate de Fe, apport de chélates de fer au sol, action sur le pH du sol vers la neutralité ou une faible acidité et amélioration de la teneur du sol en matière organique.

#### **Le cuivre**

##### **\*Rôle du cuivre chez la plante:**

Il intervient dans la photosynthèse, dans l'édification des parois cellulaires pour la synthèse de la lignine...

##### **\*Symptômes de carence en cuivre :**

Il s'agit de chlorose (décoloration) et blanchissement de la pointe des feuilles.

Torsion (courbure) des jeunes feuilles. L'avoine et l'orge de printemps sont sensibles à la carence cuprique. Sur arbres fruitiers, celle-ci se manifeste par de la chlorose et un port tordu des rameaux terminaux.

**\*Remèdes:**

Apport généralement assuré par des fongicides contenant du cuivre, abaissement du pH par emploi d'engrais acidifiants. Apport au sol ou en pulvérisation foliaire de sulfate de cuivre.

**Manganèse (Mn)**

**\*Rôle du manganèse chez la plante:** nécessaire pour la synthèse de l'ATP, c'est un activateur d'enzymes qui participent à la formation de la chlorophylle, à la photosynthèse, à l'élaboration des protéines et de la vitamine C.

**\*Symptômes de carence en Mn**

Une croissance diminuée et un ralentissement de la synthèse des hydrates de carbone et des protéines. Taches sur les feuilles âgées chez les céréales, betteraves et fruits. Taches sur les jeunes feuilles chez les pommes de terre et légumineuses. Céréales (maladie des taches grises): taches d'un gris sale. Les dicotylédones présentent des taches jaune clair entre les nervures des feuilles.

**\*Remèdes:**

Tourbières basses et sols alcalins: pulvérisation foliaire et emploi d'engrais acidifiants. Sables très humifères: application au sol de sulfate de manganèse (environ 100 kg/ha).

**Bore (B)**

**\*Rôle du bore chez la plante**

Agit sur la croissance des méristèmes, le métabolisme des glucides...Entre dans la composition des parois cellulaires et des esters d'hydrates de carbone. Il règle l'action des hormones de croissance.

**\*Symptômes de carence en B**

Une croissance ralentie; les organes les plus jeunes et particulièrement les bourgeons terminaux sont endommagés (pourriture). Chlorose et dépérissement de jeunes feuilles.

**\*Remèdes:**

Correction du pH vers la neutralité. Apport de bore (borax et engrais contenant du bore) et pulvérisation foliaire immédiate d'acide borique.

**Zinc**

**\*Rôle du zinc chez la plante**

Le zinc est un activateur d'enzymes; il favorise la synthèse de la chlorophylle et des hormones de croissance.



### \*Symptôme de carences du zinc

Chlorose des jeunes feuilles apparaissent en général dans le cas d'un ensoleillement intense. En arboriculture fruitière, on note un feuillage clair et de petites feuilles disposées en rosettes.

### \*Remèdes:

Applications foliaires de sels et de chélates de zinc. Abaissement du pH par emploi d'engrais acidifiant.

### Molybdène (Mo)

### \*Rôle du molybdène chez la plante

C'est un composant de différents enzymes. Il joue un rôle important dans la fixation biologique de l'azote par les bactéries des nodosités des légumineuses.

### \*Symptômes de carence en Mo

Les jeunes feuilles chlorosent et se déforment en cuiller.

### \*Remèdes:

Correction du pH par chaulage et apport de molybdène (uniquement en cas de carence).

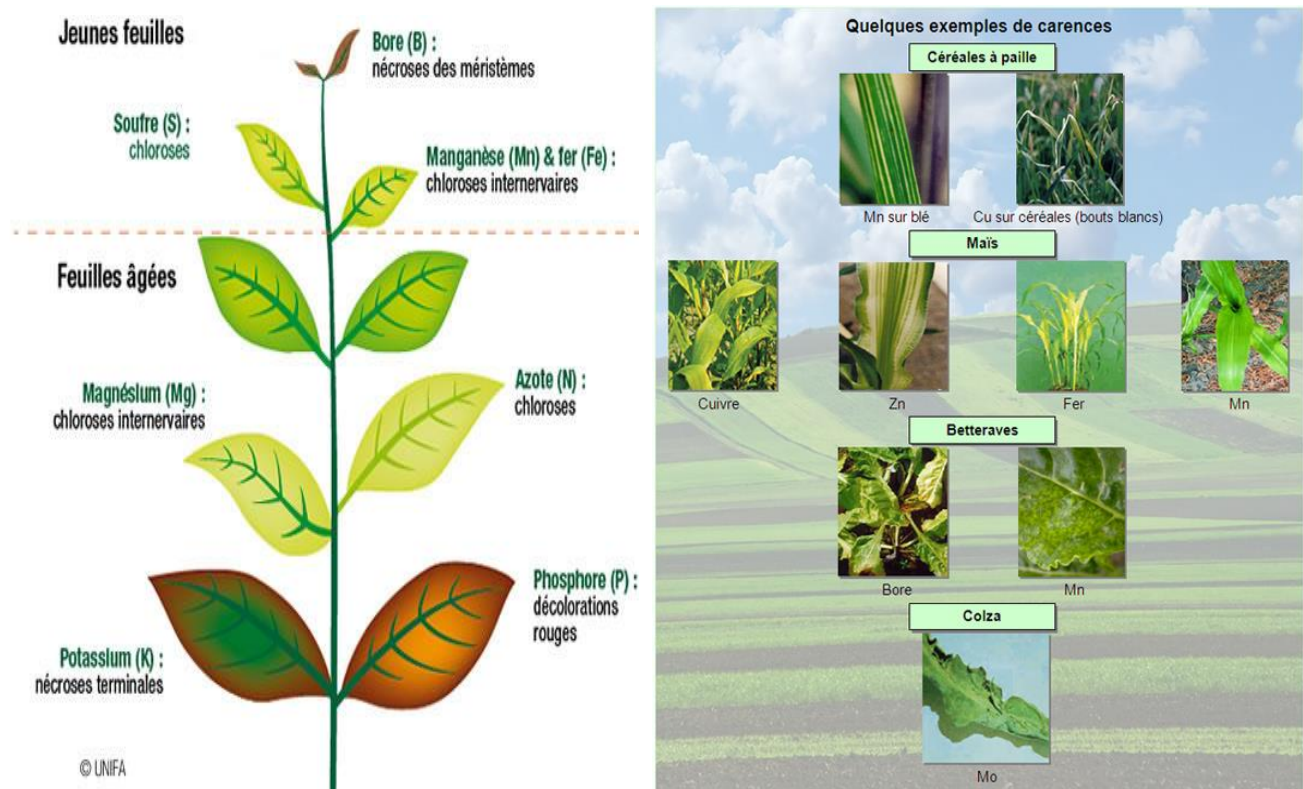


Figure 1 : Quelques exemples des signes de carence des éléments nutritifs sur les plantes