

# LES ELEMENTS MINEURS DANS LE SOL

par

D. F. STENUIT

Directeur du Service Pédologique de Belgique  
Héverlé (Louvain)

---

EXTRAIT DE AGRICULTURA

Juin 1955

Volume III. 2<sup>e</sup> série, n<sup>o</sup> 2

---

B 22848 K

# LES ELEMENTS MINEURS DANS LE SOL

par

D. F. STENUIT

Directeur du Service Pédologique de Belgique  
Héverlé (Louvain)

## TABLE DES MATIERES

Introduction.

1. Définition — Rôle général et signification.
2. Le rôle des différents éléments mineurs et leurs symptômes de carence.
  - fer.
  - manganèse.
  - bore.
  - cuivre.
  - zinc.
  - molybdène.
  - toxicité par le manganèse et l'aluminium.
3. Signification pratique des éléments mineurs pour les sols agricoles et horticoles et pour la pédologie.
  - a) La très grande importance de la réaction et de la situation humifère du sol.
  - b) L'état nutritif général et le rapport des différents éléments entre eux.
  - c) L'analyse du sol dans le domaine des éléments mineurs.
  - d) La lutte contre les maladies de carence provoquées par les éléments mineurs.
  - e) L'identification des symptômes de carence en pratique.
  - f) L'influence des engrais chimiques dans la lutte contre ces maladies.
4. Le rapport entre les éléments mineurs dans le sol et la plante et certaines maladies animales.

## INTRODUCTION

Le problème des éléments mineurs dans le sol et leur influence sur le rendement des végétaux cultivés, sur l'état sanitaire et la productivité des animaux constituent une des questions les plus discutées à l'heure actuelle.

Vu que le sol ne nourrit pas seulement les plantes, mais que les plantes influencent également l'alimentation des animaux et même de l'homme, le point crucial et essentiel de cette question se trouve donc lié à l'état nutritif des sols agricoles et horticoles.

Alors qu'auparavant l'opinion qui prévalait était que la plante n'avait besoin que de quelques éléments appelés éléments majeurs pour se développer normalement, depuis quelques années il est apparu que d'autres éléments comme le manganèse, le bore, le cuivre, etc... jouent un rôle prépondérant. Une carence en certains de ces éléments peut être la cause de maladies et de fortes diminutions dans le rendement. La découverte de la cause de la maladie de l'avoine appelée « Veenkoloniale haverziekte » (carence en manganèse) par SJOLLEMA, de la pourriture du cœur de la betterave (carence en bore) par BRANDEBURG et de la maladie du défrichement (carence en cuivre) par HUDIG, a attiré l'attention des agronomes et des pédologues sur ce problème.

Depuis lors l'on a déjà fait beaucoup de recherches à ce sujet. La plupart de ces investigations ont été cependant conçues d'une façon très fragmentaire. Les nombreuses publications contiennent des observations très disparates et beaucoup d'essais furent réalisés trop peu scientifiquement. Certaines stations de recherches se limitent à l'étude des symptômes de carence, sans se soucier du rapport avec la pratique agricole et horticole ; d'autres savants recherchent les symptômes de carence dans les champs sans les rattacher aux études pédologiques, tandis qu'enfin certains chimistes et certains pédologues n'examinent le problème que du point de vue laboratoire sans prendre contact avec la pratique agricole et horticole. De ces nombreux articles et publications il est très difficile de se faire une idée complète de cette question, du moins lorsque l'on veut étudier le rapport entre la pédologie et la pratique agricole et horticole, c'est-à-dire lorsque

LB5 7722.300



G. 33.3

l'on veut donner à la pratique des avis circonstanciés, basés sur des données expérimentales et scientifiques.

L'opinion qui a été émise dans une brochure publiée récemment par la direction du laboratoire d'analyses des sols et des plantes d'Oosterbeek (Hollande) est sans aucun doute la plus juste. Il y est écrit : « Le comportement des éléments mineurs dans le sol et leur assimilation par la plante dans diverses circonstances sont d'ailleurs si compliqués que jusqu'à présent il n'est pas très aisé d'expliquer la signification des chiffres analytiques d'une manière exacte et de donner un avis approprié. On sait seulement que certains éléments mineurs sont indispensables pour le développement de la plante et de l'animal. De cette façon la recherche dans ce domaine constitue un centre d'intérêt. Voilà la raison pour laquelle l'on parle et l'on écrit beaucoup à ce sujet. Effectuer pour la pratique des analyses à grande échelle sur les éléments mineurs est chose prématurée et a peu de sens aussi longtemps qu'un avis bien fondé fait défaut.

Ceux qui prétendent pouvoir établir un avis de fumure sur les éléments mineurs, ne jouent rien d'autre qu'un jeu de hasard. Ou bien ils constatent des choses (par ex. les teneurs en fer et en aluminium) qui peuvent être déterminées dans les champs gratuitement, sans analyse ».

Dans notre pays également ce problème n'est pas dépourvu d'importance. Mais là encore nous manquons des éléments nécessaires pour donner des conseils en connaissance de cause. Aussi le Service Pédologique de Belgique a entrepris depuis quelques années des recherches systématiques dans ce domaine. Ces recherches sont subsidiées par l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture. (I.R.S.I.A.)

Le but de ces recherches peut se résumer brièvement comme suit :

1. Etudier les maladies de carence dans leur forme pure en vases de végétation pendant une période entière de croissance. Fixer les symptômes par le truchement de la photographie en couleurs.
2. Etudier les différents facteurs qui favorisent ou contre-carrent les différentes maladies de carence.
3. Voir dans quelles régions du pays ces maladies de carence

apparaissent le plus et quelles en sont les causes générales.

4. Rechercher si possible dans le sol les normes d'analyse pour carence en éléments mineurs et étudier l'influence de ces carences sur la composition de la plante.

5. Rechercher pour la pratique les moyens de lutte contre les maladies de carence, soit directement, soit indirectement et cela de la manière la plus économique.

Ces études ne comprennent pas la magnésie vu que cet élément n'est plus considéré comme élément mineur. Les recherches concernant la magnésie que nous avons effectuées depuis quatre ans grâce aux subsides de l'I.R.S.I.A. nous ont déjà permis de tirer des conclusions très importantes (1).

Le problème n'est certainement pas facile à résoudre parce que pour la plupart des éléments mineurs il ne s'agit pas d'un manque absolu mais d'une question de solubilité pour laquelle différents facteurs pédologiques peuvent jouer un rôle et tout spécialement la réaction du sol.

Le but de cet article est de situer cette question d'actualité et de montrer comment suivant nos idées elle doit être conçue.

### 1. Définition — Rôle général et signification

Les éléments mineurs ou oligo-éléments portent ce nom parce que dans la plupart des cas ils ne sont présents dans le sol qu'en petites quantités et parce que d'un autre côté la plante n'en requiert que de minimes proportions. La teneur de la plante en ces éléments se situe la plupart du temps entre 0,1 et 1.000 mg par kg de matière sèche. D'après G. BERTRAND la matière sèche des plantes contient les teneurs moyennes suivantes en éléments mineurs (teneurs exprimées en %) :

fer	: 0,036
aluminium	: 0,033
fluor	: 0,020
bore	: 0,009
caesium	: 0,008

---

(1) Dans le cadre de ces recherches, le Service Pédologique de Belgique a édité un atlas en couleurs « Symptômes de carence en magnésie chez les plantes agricoles et horticoles » par D. STENUR et R. PRIOR.

rubidium	: 0,00071
manganèse	: 0,00048
zinc	: 0,00047
cuiivre	: 0,00035
titane	: 0,00012
lithium	: 0,000077
brome	: 0,000070
nickel	: 0,000070
vanadium	: 0,000048
molybdène	: 0,000030
iode	: 0,0000033
cobalt	: 0,0000027

Suivant BRONSART le fumier renferme les teneurs suivantes en éléments mineurs :

fer	: 0,04 %
manganèse	: 0,01 %
aluminium	: 0,024 %
titane	: 0,012 %
bore	: 0,0004 %
cuiivre	: 0,00005 %

Une récolte moyenne exporte, d'après TOLNER, les quantités suivantes de cuivre :

plantes agricoles	: 10 à 60 g de Cu
prairies à faucher	: 30 g de Cu.

De ces chiffres l'on peut clairement déduire que la plante n'absorbe que de très petites quantités de ces éléments et qu'en appliquant régulièrement du fumier de ferme, il existe peu de chance que les plantes aient à souffrir de maladies de carence en ce domaine.

Ceci n'enlève rien au fait que ces éléments soient nécessaires pour la plante et qu'une carence en un de ces éléments puisse influencer la croissance de la plante, provoquer des maladies typiques de carence et même parfois causer des échecs partiels de rendement.

La santé des animaux est également influencée par les éléments mineurs et une carence en certains d'entre eux dans la nourriture provoque des maladies et des perturbations dans les

fonctions vitales, car ces éléments jouent un rôle important dans les enzymes, les hormones et même dans certaines vitamines.

Quoique de moindre importance que les éléments majeurs, ils remplissent néanmoins un rôle assez spécifique dans la croissance de la plante. Dans la nutrition végétale ils peuvent être considérés comme catalyseurs, en ce sens qu'ils activent certaines modifications ou certaines réactions dans la plante.

D'une part, un manque de certains de ces éléments dans le sol peut provoquer des symptômes de carence bien définis et très souvent bien localisés ; d'autre part un excès d'un de ces éléments est également nuisible. Nous voyons souvent, par exemple sur terres fortement acides, des dégâts à la végétation par excès d'aluminium ou de manganèse, alors que sur sols fortement alcalins apparaissent des phénomènes de toxicité en molybdène.

Ces éléments mineurs acquièrent de plus en plus de signification en pédologie et dans le domaine de l'alimentation végétale. D'abord, parce qu'à la suite des fortes fumures et des rendements élevés, il y a de plus fortes exportations en ces éléments qu'auparavant. Et ensuite parce que l'on emploie des engrais chimiques de plus en plus concentrés et de plus en plus purs, dans lesquels ces éléments sont peu ou pas représentés, tandis qu'auparavant l'on utilisait des engrais bruts tels que le guano, le nitrate de soude du Chili, la kaïnite, produits qui apportaient régulièrement ces éléments au sol.

L'emploi de fortes doses d'engrais chimiques peut provoquer l'apparition de maladies de carence par suite d'un manque d'équilibre entre les éléments. Nous savons par exemple qu'un excès d'azote dans le sol peut avoir comme conséquence une carence en cuivre, que sur un sol riche en acide phosphorique peut se manifester une carence en zinc, tandis qu'un excès de potasse peut causer une carence en magnésie et en bore. Il en résulte ce que nous pourrions appeler des carences relatives, qui apparaissent lorsque l'équilibre entre les éléments de la nutrition végétale est rompu.

Les sols pauvres en humus montrent plus rapidement des symptômes de carence, non seulement parce qu'un sol riche en humus est mieux tamponné mais aussi parce que le fumier constitue une des formes les plus équilibrées, en vue de la restitution des éléments mineurs au sol.

La dégradation de la structure favorise également les maladies de carence en éléments mineurs parce que les racines des plantes explorent un plus petit volume de terre et que dans des cas-limite elles ont à souffrir d'une carence en ces éléments.

Enfin le degré d'acidité joue un grand rôle dans les maladies de carence. Souvent elles ne sont pas dues à un manque absolu en un élément, mais à une insolubilisation causée par un pH du sol trop élevé ou trop bas. Nous voyons p. ex. apparaître d'une part des carences en manganèse et en bore quand le pH est trop élevé et d'autre part nous constatons que les plantes souffrent d'une carence en molybdène quand le pH est trop bas.

Toutes ces causes d'apparition de maladies de carence en oligo-éléments montrent que dans la plupart des cas c'est le dés-équilibre dans la fumure ou dans l'état nutritif du sol qui est la grande cause de ces phénomènes.

## 2. Le rôle et les symptômes de carence des différents éléments mineurs

Le rôle et les symptômes de carence de chacun de ces éléments diffèrent très fortement. Il n'est pas possible de décrire en particulier les différents symptômes et maladies de carence en éléments mineurs. Nous vous conseillons de consulter à cet effet des ouvrages spécialisés. Nous jugeons toutefois utile de donner une courte description des symptômes de carence pour quelques éléments mineurs.

### Le fer :

Le fer joue un rôle dans la formation de la chlorophylle, non pas comme formateur de molécules, mais comme catalyseur.

Le manque de cet élément engendre une chlorose des feuilles et en premier lieu des feuilles supérieures de la plante ou de la branche. Cette chlorose appelée « chlorose ferrique » donne une couleur jaune aux feuilles et dans certains cas cette couleur est même blanc jaunâtre très pâle. Les nervures et les sommets de la feuille restent verts le plus longtemps. Par forte carence en fer les plantes entières ou les branches des arbres fruitiers prennent



un aspect jaune. Par temps sec et ensoleillé la maladie est plus prononcée, alors que par temps pluvieux elle diminue.

La chlorose en fer se manifeste sur des sols trop alcalins, en particulier sur sable et limon sableux, dans lesquels le fer s'insolubilise. Sur des sols acides la carence en fer ne se remarque pratiquement jamais. Au contraire dans ces cas, il y en a plus qu'en suffisance, parfois même trop. Les carences en fer apparaissent facilement sur les arbres fruitiers et également chez les plantes qui préfèrent un milieu acide et réducteur comme c'est le cas pour le riz.

L'application de fer au sol a ordinairement peu d'effet, car le fer appliqué devient rapidement inassimilable dans des sols trop alcalins. Les pulvérisations sur les feuilles constituent en général le moyen de lutte le plus efficace. Il faut cependant agir avec prudence pour éviter les brûlures. Le seul moyen efficace de lutter est de mettre le sol en état de réaction normale en appliquant des engrais acidifiants ou du soufre.

### Le manganèse :

Comme c'est le cas pour le fer, le manganèse est également un élément actif de la formation de la chlorophylle où il agit comme catalyseur.

Les symptômes de carence chez les plantes apparaissent également sous la forme de chlorose. Cette chlorose est cependant fort différente d'une plante à l'autre. La maladie la plus connue est la maladie des taches grises de l'avoine (« Veenkoloniale haverziekte » ou « Grey speck disease »). Les plus vieilles feuilles de la plante d'avoine présentent dans le sens de leur longueur près des nervures des stries brunâtres (Fig. 1). Le sommet de la feuille reste plus longtemps vert, tandis que la base de la feuille devient jaune blanchâtre. Dans un stade plus avancé la feuille fléchit et devient parfois entièrement brune. Le système racinaire est moins développé et en cas de forte attaque la plante entière peut dépérir. Chez le froment et l'orge, la feuille devient vert pâle avec présence de taches nécrotiques. En cas de forte attaque elle brunit et meurt (Fig. 2). Chez les choux, la feuille est marbrée, avec présence de taches chlorotiques jaunes entre les nervures. Chez les betteraves sucrières et les navets une chlo-



FIG. 1.

Symptômes de carence en manganèse sur feuille d'avoine.  
Observez les stries de même que la cassure caractéristique  
de la feuille.



FIG. 2.  
plantes carencées  
plantes témoins  
Carence en manganèse sur orge.

rose internervienne apparaît. Chez les tomates les feuilles sont typiquement marbrées avec petites taches chlorotiques jaunes. Chez le pois l'on ne remarque rien à la plante même, mais ce sont les fruits qui montrent en leur milieu des taches brunes (Kwade harten). Chez les pommes de terre, la carence en manganèse se manifeste par des taches noir brun le long des nervures des petites feuilles supérieures. Chez les arbres fruitiers, des taches jaunes apparaissent entre les nervures. La couleur jaune est cependant moins prononcée que pour la carence en fer, la partie verte près des nervures est ordinairement plus large.

La carence en manganèse, comme la carence en fer est dans la plupart des cas, due à un processus d'oxydo-réduction dans le sol, par lequel le manganèse devient inassimilable pour la plante et passe de la forme bivalente à la forme polyvalente. Ce processus se manifeste dans un sol à réaction élevée et suivant certains savants sous l'influence de microorganismes.

Comme pour la carence en fer la plante devient malade lorsque le pH du sol est trop élevé aussi bien en sols légers qu'en sols lourds. Un sol riche en humus augmente l'apparition de la carence en manganèse. Ni le fer, ni le manganèse n'ont une influence sur la croissance de la plante, mais bien sur le métabolisme de la cellule adulte.

L'application de manganèse au sol sous forme de sulfate de manganèse est suffisante dans de nombreux cas, mais l'année suivante le manganèse redevient inassimilable en sols fortement alcalins. Les pulvérisations sur les feuilles sont également efficaces et plus facilement applicables que les pulvérisations à base de fer parce que le danger de brûlure est moins grand.

Sur des sols fortement acides, les plantes montrent parfois des symptômes de toxicité en manganèse, avec réduction de la croissance. Ils peuvent être reconnus chez certaines plantes comme chez les choux par une coloration jaunâtre du bord de la feuille (2).

---

(2) En 1954 le Service Pédologique de Belgique a réalisé une étude sur la carence en manganèse chez les différentes plantes agricoles et horticoles. Un atlas comprenant les photos en couleurs de ces symptômes paraîtra sous peu.

### Le bore :

Les fonctions du bore dans la plante ne sont pas encore clairement et complètement connues. Le bore semble jouer un rôle dans la division cellulaire et la croissance des plantes. Cet élément a également une influence sur de nombreuses fonctions ayant leur siège dans la cellule.

Les symptômes de carence en bore se manifestent par des dégâts ou par la mortalité des points végétatifs, particulièrement de la tige principale. Une maladie très connue est la pourriture du cœur des betteraves fourragères et sucrières, reconnue en 1931 par BRANDENBURG, comme étant due à une carence en bore. Dans cette maladie les jeunes feuilles du cœur de la plante deviennent brunes et noires, puis dépérissent. Le milieu du sommet des betteraves pourrit et noircit, parfois même jusqu'au cœur de la plante qui devient creux. Autour de ces parties mortes, dans la portion supérieure de la plante, de nouvelles petites feuilles se développent en forme de rosette. Ces petites feuilles peuvent dépérir à leur tour. Chez les choux navets, presque les mêmes symptômes se manifestent, mais la pourriture de la plante commence souvent sur le côté de la racine. Quand l'on sectionne une racine, l'on voit des taches brunâtres (cœur brun). Chez les céréales l'on ne remarque pratiquement pas de symptômes de carence en bore ; ces plantes semblent n'avoir que de faibles exigences en cet élément. Chez les arbres fruitiers, les pousses du sommet peuvent mourir. Il se forme alors des pousses latérales qui peuvent dépérir à leur tour. En outre, des taches nécrotiques apparaissent sur l'écorce. Elles se transforment par la suite en taches brunes. Des déformations, des fentes, des formations de liège se remarquent chez les fruits.

La plupart du temps, le manque de bore se rencontre sur les terres fortement alcalines, dans lesquelles le bore, comme le fer et le manganèse, devient inassimilable pour les racines de la plante. Le temps sec favorise cette maladie.

Un excès de bore cause également des dégâts aux plantes, les sommets des feuilles noircissent comme chez les vignes et les tomates.

L'application de bore sous forme de borax constitue en général un moyen suffisamment efficace pour lutter contre la carence en

bore. Après quelque temps le bore redeviendra inassimilable sur sols à réaction trop alcaline. L'application régulière de certains engrais chimiques comme le nitrate de soude du Chili, les sels bruts de potasse, peut aussi prévenir la carence en bore. La diminution de la réaction trop alcaline dans le sol est le moyen de lutte le plus efficace.

### Le cuivre :

Le rôle du cuivre dans la plante n'est pas encore complètement élucidé. L'on sait qu'il intervient directement dans la croissance et qu'il joue un rôle de catalyseur dans les processus d'oxydation.

La maladie la plus connue est « la maladie du défrichement ». En 1924 le professeur HUDIG a trouvé qu'il s'agissait d'une carence en cuivre. Cette maladie, qui apparaît surtout après défrichement d'une bruyère sur les céréales et spécialement sur avoine blanche et froment, a comme caractéristique le racornissement des pointes des feuilles supérieures qui prennent une coloration allant du brun au gris ou au blanc. La fructification et la maturité laissent à désirer.

Chez les arbres fruitiers les symptômes de carence en cuivre apparaissent lorsque la pousse termine sa croissance et non au début de la croissance comme c'est le cas pour la carence en zinc. Au milieu de l'été la croissance des pousses s'arrête, tandis que les feuilles supérieures de même que les extrémités des pousses commencent à dépérir. Des pousses latérales peuvent alors se développer chez les pommiers ; celles-ci parfois dépérissent à leur tour.

En cas de carence moins prononcée, il n'y a que quelques feuilles du sommet qui tombent, tandis que la croissance des pousses s'arrête. De sorte qu'après quelques années, l'arbre est encore assez petit et se présente sous un aspect très touffu.

La carence en cuivre apparaît surtout sur terres sablonneuses riches en humus et acides.

Avant la découverte de la carence en cuivre, la maladie du défrichement fut combattue par l'emploi de boues de ville et ultérieurement par des applications de sulfate de cuivre. Actuellement, beaucoup de cultures sont pulvérisées contre les maladies au moyen de produits renfermant du cuivre, si bien que les

maladies de carence en cet élément se rencontrent moins fréquemment.

### Le zinc :

Le zinc joue un rôle direct dans la croissance de la plante. Il active la croissance, alors que la carence en cet élément la freine. Suivant MULDER l'influence du zinc sur la croissance repose sur un processus enzymatique.

Là où il y a carence en cuivre, le freinage de la croissance ne se manifeste qu'au milieu de l'été, tandis que la carence en zinc se remarque dès le début de la croissance par une végétation ralentie et une formation insuffisante de chlorophylle.

La carence en zinc se manifeste surtout chez les arbres fruitiers. Elle est reconnaissable par la formation des feuilles dite « en rosette ». Les pousses croissent insuffisamment, tandis que les feuilles se groupent en une espèce de « rosette ». Les feuilles restent petites, sont comme pliées et montrent une chlorose jaune avec les nervures principales et secondaires vertes. Plus tard apparaissent des points verts dans le jaune des feuilles restées petites. Ces dernières sont plus ou moins ondulées sur les bords, dressées et très cassantes. En automne, les feuilles prennent une couleur bronzée. La formation du bois est insuffisante, si bien que les branches restent minces et faibles. Chez les arbres « citrus » cette carence en zinc semble se manifester facilement.

Cette maladie de nutrition se remarque sur toutes les espèces de sol : sur sable aussi bien que sur argile, à pH élevé comme à pH bas. L'application de chaux et d'acide phosphorique semble diminuer l'assimilabilité du zinc pour la plante, tandis que la suppression de fumier de ferme et l'application de fortes doses d'engrais chimiques aideraient à provoquer cette carence. La teneur en matière organique du sol semble jouer un rôle important dans l'assimilation du zinc par la plante. Les conditions climatiques ont également une nette influence : par temps ensoleillé (lumineux) les symptômes sont les plus marqués.

L'application de sels de zinc pour lutter contre cette carence est en certains cas efficace sur sols acides, mais non pas sur sols à réaction neutre ou alcaline ; une pulvérisation d'une solution de

zinc sur les feuilles a plus d'effet qu'une application directe de zinc au sol.

### Le molybdène :

L'on sait que le molybdène joue un rôle dans le métabolisme de la cellule végétale, notamment dans la réduction des nitrates.

La carence en molybdène diminue la surface foliaire et provoque chez les choux-fleurs la « non-formation-du-cœur » c'est-à-dire que la partie centrale de la plante ne se développe pas, si bien qu'aucune fleur ne peut se former. Les feuilles sont découpées irrégulièrement et parfois tordues (Fig. 3). Sur d'autres espèces de choux, comme chez le chou moelliers p. ex., cette maladie de nutrition apparaît également. Dans une forme moins prononcée seules les feuilles sont irrégulièrement découpées et légèrement tordues. Chez les tomates ce sont les feuilles inférieures qui sont atteintes en premier lieu ; elles montrent un pointillage qui plus tard se transforme en une nécrose. Les fleurs tombent, si bien qu'aucun fruit ne peut se former.

Cette maladie apparaît spécialement sur les sols fortement acides. Chez les choux-fleurs, on la retrouve aussi bien dans les pots que sur les jeunes plants en pépinière et que sur les plantes repiquées en pleine terre. Dans la région de Malines cette carence a été constatée à maintes reprises. L'application de molybdate d'ammonium donna des améliorations ou des guérisons totales. Cependant le remède le plus efficace est de mettre en ordre la réaction du sol.

### Autres éléments mineurs :

En ce qui est des autres éléments mineurs, comme le cobalt, le titane etc..., très peu de choses sont connues actuellement concernant leur influence sur le développement de la plante. Pour le cobalt, l'on est d'accord pour dire qu'il n'a pas d'effet sur la croissance de la plante ; il ne serait donc pas nécessaire pour les végétaux ; par contre les animaux en ont besoin.

### Toxicité par le manganèse et l'aluminium :

En sols acides et particulièrement en sols fortement acides il





FIG. 3.  
plantes saines  
plantes carencées  
Carence en molybdène chez les choux-fleurs.

n'est pas rare de rencontrer un empoisonnement dû au manganèse ou à l'aluminium. C'est ainsi qu'en 1953 à Héverlé, nous avons observé sur des cultures de choux en sable des symptômes très nets de toxicité. Les choux restèrent notablement plus petits et les bords des feuilles présentèrent une coloration jaunâtre. En plein champ les mêmes symptômes furent remarqués sur choux moelliers sur un sol très acide des environs de Louvain (Fig. 4).

Chez les céréales on remarque des taches internerviennes brunes sur les feuilles. Chez les tomates la croissance est moindre et des dégâts apparaissent sur les tiges. Chez les pommes de terre des taches brun-roux sont constatées sur les feuilles, qui en cas de forte attaque peuvent aller jusqu'à la nécrose avec dégâts aux tiges. Les feuilles des betteraves sucrières montrent des taches chlorotiques d'empoisonnement qui peuvent être confondues avec une carence en manganèse.

### 3. La signification pratique des éléments mineurs pour les sols agricoles et horticoles et pour la pédologie

L'importance de ces éléments ne doit être ni sous-estimée, ni exagérée. Suite à un emploi de fumures chimiques de plus en plus fortes et au manque de fumier de ferme dans beaucoup de régions, l'équilibre dans l'état nutritif de nombreux sols est rompu. Ceci est surtout le cas pour les pays à cultures agricoles et horticoles intensives comme la Belgique et la Hollande. L'idée qui dominait chez les agriculteurs il y a quelques années, notamment celle que l'on ne pouvait pas trop fumer, doit être abandonnée. Au fur et à mesure que la pédologie progresse, il apparaît plus certain qu'un élément a une influence sur un autre et que nous devons voir le processus de la nutrition du sol dans son ensemble. C'est le cas sans aucun doute pour le problème des éléments mineurs.

En faisant l'étude de ces éléments mineurs dans le sol et dans la plante, l'on voit sans conteste que plusieurs années de recherches seront encore nécessaires pour élucider complètement ce problème. Ce qui n'empêche pas qu'il y ait déjà beaucoup de choses connues et qu'aucun pédologue ne puisse nier l'importance de ces éléments. Au contraire ce problème est d'actualité et se pose



FIG. 4.

plantes atteintes  
plantes témoins

Toxicité suite à un excès de manganèse sur choux-moelliers.

avec de plus en plus d'acuité. Une information dans ce domaine est nécessaire et en ce sens l'on doit attirer l'attention en particulier sur les quelques points suivants :

a) *La très grande importance de la réaction et de la situation humifère du sol*

De ce qui a été dit précédemment l'on peut déduire que la réaction joue un très grand rôle dans l'apparition des maladies de carence. Pour un sol trop acide, comme pour un sol trop alcalin des symptômes de carence se manifestent ; pour une réaction fortement acide la plupart du temps l'on est en présence de phénomènes de toxicité, tandis qu'à réaction fortement alcaline l'on rencontre des symptômes de carence.

La zone optimale de pH doit être respectée pour chaque sol et un contrôle régulier dans ce domaine est des plus souhaitables.

La richesse en humus du sol joue aussi un grand rôle pour les éléments mineurs parce que le sol est mieux tamponné et qu'ainsi l'effet d'une mauvaise réaction peut être diminué. De plus l'apport de fumure organique ramène au sol des éléments mineurs dans un rapport souhaité.

b) *L'état nutritif général et le rapport des différents éléments entre eux*

Dans ce qui précède, nous avons déjà montré que l'excès d'un élément peut provoquer la carence en un autre élément, tandis que l'action favorable d'un élément est parfois influencée par un autre. Ainsi par ex. on a pu établir aux U.S.A. que sur plusieurs sols une application de zinc avait une action favorable pour autant qu'elle soit réalisée en même temps qu'un apport de cuivre. En Suisse l'on a établi que la carence en manganèse était parfois aggravée par l'application de bore. De nombreux autres exemples pourraient encore être donnés.

D'une manière générale quand la situation nutritive du sol est en ordre, les maladies de carence sont beaucoup moins à craindre.

c) *L'analyse du sol dans le domaine des éléments mineurs*

Suite à l'influence de la réaction du sol et des processus d'oxy-

dition et de réduction sur la solubilité des éléments mineurs dans le sol et sur leur assimilabilité par la plante, il n'est pas encore possible de déceler à l'heure actuelle la plupart des maladies de carence par l'analyse du sol. Par l'extraction l'on met en solution, la plupart du temps, autant de ces éléments pour la partie saine du terrain que pour les taches malades. Des recherches sont encore en cours, afin de trouver une méthode d'analyse appropriée et d'établir des normes basées sur un nombre suffisant de champs d'essai.

Dans cet ordre d'idée voici quelques constatations que nous avons pu faire dans le cadre de nos recherches sur les éléments mineurs.

Nous avons analysé suivant cinq méthodes différentes des échantillons de terre provenant d'un même champ et prélevés d'une part dans la partie saine du terrain et d'autre part dans la partie où les plantes étaient carencées en manganèse. Pour ces méthodes nous n'avons trouvé de corrélation positive respectivement qu'en 44, 67, 69, 50 et 48 % des cas. Ces pourcentages sont donc nettement insuffisants.

Le degré d'acidité nous donne par contre une meilleure indication, vu que toutes les carences en manganèse sur sol sablonneux (51 cas) furent rencontrées à  $\text{pH} > 6,4$ .

Au point de vue de la détermination du cuivre les résultats que nous avons obtenus sont plus significatifs.

Voici quelques résultats d'analyse :

*Teneur en Cu en  $\mu\text{g}/100$  g de terre*

sols carencés en cuivre	mêmes sols après application de sulfate de cuivre
22	146
20	89
19	183
25	113

d) *La lutte contre les maladies de carence provoquées par les éléments mineurs*

Le moyen de lutte le plus efficace est de mettre le sol en bon état de réaction et en bonne situation nutritive générale.

Dans beaucoup de cas il est difficile d'arriver à la situation désirée en un temps assez court, comme par ex. pour les sols très alcalins, dans lesquels on doit diminuer le pH par l'application d'engrais acidifiants, de fumier ou de tourbe. Dans ces cas il est parfois souhaitable d'appliquer directement des éléments mineurs soit sur la plante par des pulvérisations, soit au sol même. Les pulvérisations ont souvent une action plus rapide que l'application d'un mélange d'éléments mineurs au sol. Les pulvérisations n'ont cependant qu'une action temporaire et peuvent parfois brûler les feuilles. L'application directe d'éléments mineurs au sol n'a que peu d'effet sur sols à réaction élevée, comme pour la carence en manganèse p. ex. parce que cet élément redevient inassimilable en présence d'une trop forte alcalinité. Pour contrecarrer cet effet on trouve actuellement sur le marché des produits renfermant des éléments mineurs difficilement solubles, si bien qu'ils ne libèrent progressivement au sol que de très petites quantités.

Dans tous les cas, il est plus souhaitable de rechercher la solution du problème dans le sol que dans la plante, en mettant en ordre aussi vite que possible la réaction et l'état nutritif général. Lorsque le sol est en ordre, l'application d'éléments mineurs aura aussi son effet maximum. Une analyse sérieuse du sol se trouve à la base de la lutte contre les maladies de carence.

e) *L'identification des symptômes de carence en pratique*

Certains symptômes de carence peuvent aisément être identifiés quand on les a vus une fois ; il en est ainsi p. ex. de la pourriture du cœur causée par une carence en bore et de la carence en manganèse chez les tomates. La plupart des maladies ne sont cependant pas facilement identifiables même pour des spécialistes, surtout lorsqu'il s'agit d'une attaque légère. Même au moyen de photos en couleurs, souvent imparfaites, qui ont paru dans certains travaux, il est très difficile pour une personne non

avertie de séparer les uns des autres les symptômes de carence pour les différents éléments. Souvent ces photos ne montrent qu'un stade de la croissance. Plusieurs auteurs, comme WALLACE p. ex., pensent que la plante est l'indicateur le plus important de la carence en éléments mineurs dans le sol. Nous ne sommes pas de cet avis pour les raisons suivantes :

1) La plupart des symptômes de carence sont difficilement reconnaissables pour un non-initié en particulier et lorsque la maladie n'est pas prononcée. Beaucoup d'erreurs sont alors possibles. La chose est encore aggravée du fait que l'on appliquera alors un remède contre-indiqué.

2) Des attaques légères ne sont souvent pas identifiables. L'on doit alors attendre que les symptômes soient plus caractéristiques. De cette manière les plantes et le rendement des végétaux ont déjà subi des dégâts souvent durant plusieurs années. L'on ne peut donc guérir dans ce cas que lorsque la maladie se sera suffisamment déclarée et aura pris une certaine ampleur. Prévenir dans ce cas est exclu.

Lorsque nous mettons en ordre l'état nutritif général du sol, beaucoup de symptômes de carence peuvent être combattus dans leur stade initial, en attendant que l'on ait trouvé des méthodes appropriées pour déterminer les éléments mineurs.

3) L'emploi exclusif de la plante comme indicateur conduira à des erreurs regrettables dans la lutte contre les maladies. En effet, cette lutte repose souvent sur un état nutritif déséquilibré du sol. Lorsque la situation nutritive n'est pas connue par une analyse du sol, digne de confiance, une lutte efficace est impossible et l'application d'éléments mineurs au sol sera souvent inefficace.

f) *L'influence des engrais chimiques dans la lutte contre ces maladies.*

Comme il a été dit plus haut, certains engrais comme le nitrate de soude du Chili, les sels potassiques bruts, les scories, le superphosphate, contiennent des éléments mineurs. Une fumure régulière au moyen de ces engrais diminuera sensiblement le

danger de carence en éléments mineurs et dans certains cas écartera les maladies de carence.

A titre exemplatif, nous pouvons donner ici l'analyse de deux engrais.

Nitrate de soude du Chili (analyse du Prof. Breckpot : Louvain)

	<i>mg de l'élément sur 100 g d'engrais dans l'eau</i>	<i>dans l'acide nitrique</i>
manganèse	0,02	0,06
zinc	0,05	0,6
chrome	0,01	0,001
fer	0,02	1,0
aluminium	0,001	0,005
nickel	0,001	traces
plomb	0,005	0,2
argent	0,001	0,002
étain	traces	—
molybdène	0,003	—
civre	0,07	—
strontium	0,06	—
iode	0,04	—

Scories (analyse des Usines Cockerill — Liège)

fer (oxyde)	
fer total	10,08 %
soufre	0,19 %
manganèse	4,20 %

#### 4. Le rapport entre les éléments mineurs dans le sol et la plante et certaines maladies animales

1) Il est connu depuis longtemps que certains éléments mineurs déterminés ont une signification dans le domaine biologique et physiologique. Au fur et à mesure que la science progresse, la connaissance de ces fonctions est de plus en plus grande. L'iode p. ex. remplit un rôle important dans le fonctionnement de la glande thyroïde. Le fer est une partie constitutive de l'hémoglo-



bine du sang et de certaines enzymes notamment des catalases et des peroxydases. Le cuivre active les enzymes oxydées comme la tyrosinase et les transférases. Le zinc est un activant de l'enzyme qui permet le transport de l'anhydride carbonique du sang vers les poumons. Le manganèse active la prolidase (enzyme de la digestion). La carence en cobalt peut causer l'amaigrissement des moutons ; cet élément active la vitamine B12 (facteur de croissance animale). Résumer toutes ces fonctions ou les étudier d'une manière approfondie nous conduirait trop loin. Il est cependant certain que le rôle des éléments mineurs ne peut être négligé aussi bien pour l'homme que pour les animaux.

2) Comme les animaux se nourrissent en grande partie de plantes fourragères et d'herbe, il est inévitable que la composition de la plante ait une grande influence sur la santé, la production laitière et la fertilité du bétail.

Il est d'autre part un fait que la composition chimique de la plante est étroitement liée à l'état nutritif du sol. Les éléments majeurs, comme les éléments mineurs jouent donc un rôle. Les animaux nourris avec de l'herbe ou des plantes fourragères carencées en certains éléments en subiront inévitablement les conséquences, qui se marqueront sur certaines fonctions vitales ayant une importance capitale pour l'exploitation rationnelle du bétail, telles la production laitière et la fertilité. C'est la raison pour laquelle il est important que le pédologue ait une idée du rapport sol-plante-animal et qu'il ait une connaissance sommaire des différentes maladies animales provoquées par un manque d'éléments mineurs.

Comme maladies animales dans lesquelles les éléments mineurs semblent exercer une influence il faut signaler en premier lieu la diarrhée en prairie. Les animaux ont une forte diarrhée et deviennent maigres, la production laitière diminue et la fertilité régresse. Auparavant l'on croyait que la cause résidait dans une haute teneur en albumine de l'herbe ; les essais de ces dernières années semblent démontrer qu'il s'agit de la teneur en cuivre de l'herbe qui joue en ce cas un rôle important.

En ce qui concerne la fertilité du bétail, il semble également que l'approvisionnement en éléments mineurs a une grande importance. SJOLLEMA a pu démontrer qu'il y avait une relation entre la carence en cuivre du foin et le phénomène du léchage

qui va souvent de pair avec l'avortement, la naissance prématurée, la production de jeunes animaux faibles.

GRASHUIS a pu établir qu'une des causes de l'infertilité résidait dans la carence en manganèse chez le bétail vivant sur sols à pH élevé contenant peu de manganèse échangeable. Ce fait fut d'ailleurs confirmé dans d'autres pays que la Hollande. La carence en manganèse a de plus, suivant TOLNER, d'autres conséquences pour le jeune bétail comme une taille élancée, peu de développement du tronc, peu de volume abdominal, jarrets droits, mauvaise fécondation, beaucoup d'avortements, poils rugueux, secs et de couleur brunâtre. D'autre part en Allemagne (SCHARRER et ses collaborateurs), en Angleterre, en Suède, il fut démontré expérimentalement et indiscutablement que l'iode avait une influence sur la fertilité. En ce qui concerne le cobalt, on a pu constater en Australie une maladie du bétail pour laquelle cet élément n'avait pas seulement une influence sur l'amaigrissement, la respiration et la production laitière, mais aussi indirectement sur la fertilité des animaux.

Certaines autres maladies pourraient encore être citées, pour lesquelles les éléments mineurs jouent un rôle, ou bien pour lesquelles cette possibilité de jouer un rôle existe. Il en est ainsi de la brucellose, de l'avortement épizootique et de la maladie actuellement très connue de la tétanie de l'herbe.

Lorsque le sol d'une exploitation se trouve dans un état nutritif équilibré la plupart de ces maladies animales ne seront pas à craindre. C'est la raison pour laquelle la plus grande attention doit être réservée à la situation nutritive du sol, car il est souvent trop tard ou contre-indiqué ou même imprudent d'appliquer des éléments mineurs. En premier lieu, comme il est dit plus haut, on doit veiller à ce que les différents facteurs de croissance soient en ordre. Nous songeons à la structure du sol, à la fumure équilibrée (minérale et organique), à l'état calcique, au rapport équilibré entre les éléments nutritifs du sol.

Comme c'est le cas pour la plante, l'exploitation rationnelle des animaux aurait tout intérêt à ce que les parcelles de la ferme soient contrôlées régulièrement, en particulier dans le domaine de la situation nutritive, de manière à ce que des déséquilibres soient écartés.

## RESUME

Quoique de moindre importance que les éléments majeurs, les éléments mineurs remplissent néanmoins un rôle bien spécifique. L'auteur décrit successivement le rôle et la signification des principaux oligo-éléments : fer, manganèse, bore, cuivre, zinc, molybdène.

Divers facteurs peuvent avoir une influence sur l'apparition des phénomènes de carence chez les plantes : à côté d'un manque absolu de l'élément mineur dans le sol, l'insolubilisation de cet élément, le déséquilibre dans l'état nutritif, la pauvreté en humus, la mauvaise structure du sol et son degré d'acidité peuvent également favoriser les maladies de carence.

Au point de vue de la pratique les différents moyens d'investigation et de lutte sont analysés

Le problème des éléments mineurs est ensuite considéré du point de vue : sol-plante-animal.

## SAMENVATTING

Alhoewel van minder belang dan de hoofdelementen, hebben de sporenelementen niettemin een specifieke rol te vervullen. Schrijver behandelt achtereenvolgens de rol en de betekenis van de bijzonderste sporenelementen : ijzer, mangaan, boor, koper, zink, molybdeen.

Verschillende factoren kunnen het optreden van gebreksziekten bij de planten beïnvloeden : een absoluut gebrek van een sporenelement in de grond, doch ook de onopneembaarheid van dit element, een onevenwichtige voedingstoestand, humusgebrek, slechte grondstructuur en verder ook de zuurheidsgraad kunnen eveneens deze gebreksziekten in de hand werken.

Van praktisch standpunt uit worden verschillende opzoekingsmethoden en bestrijdingsmiddelen onderzocht. Het probleem van de sporenelementen wordt vervolgens behandeld van uit het standpunt : grond-plant-dier.

## SUMMARY

Although of less importance than the major elements, the minor elements fulfill nevertheless a very specific roll. The author successively describes the roll and significance of the principal minor-elements : iron, manganese, boron, copper, zinc, molybdena.

Various factors may have an influence on the apparition of lack of assets with plants ; besides an absolute shortage of minor elements in the soil, the insolubility of said element, ill balances the nutritious state, the poverty in the soil, the bad structure and his degree of acidity, all these factors may favour the plant diseases.

Practically all different means of investigation have been outlined. The problem of the minor elements is further considered as : soil-plant-animal.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BEAR, F. E. a.o. — *Hunger signs in crops*, Washington 1949.  
SCHARRER, K. — *Biochemie der Spurenelemente*, Berlin 1944.  
WALLACE, T. — *Diagnosis of mineral deficiencis in plants by visual symptoms* (Bristol), Waltham (U.S.A.), 1950.  
MULDER, D. — *Voedingsziekten bij Fruitgewassen*, 's Gravenhage 1953.  
— *Bibliography of the literature on the Minor Elements and their relation to plant and animal nutrition* — Vol. I, II, III, New-York 1948-1953.
-