

pH et maladies de carence

Nous présentons ci-dessous une étude bibliographique sur le pH et les maladies de carence. L'importance du problème n'échappe pas à ceux qui ont circulé un tant soit peu en Afrique. Nous pensons qu'une mise au point sommaire de cette question ne pourra que faciliter la compréhension du rôle des engrais et que leur utilisation doit se faire en connaissance de cause.

I. GÉNÉRALITÉS.

1) Nutrition des plantes : Éléments principaux et oligo-éléments.

On ne connaît pas encore tous les éléments nécessaires à la vie des végétaux. En 1850, 12 éléments avaient été reconnus de façon constante dans les plantes ; en 1900, 15 ; en 1930, 17 ; à l'heure actuelle, on a pu identifier 72 éléments présents dans les végétaux.

Parmi ces éléments, les uns sont fondamentaux pour la plante qui en consomme de grosses quantités. Ce sont, d'une part : C, H, O, (éléments gratuits), d'autre part : N, P, K, (éléments fondamentaux de la fumure). Parmi les autres éléments rencontrés dans le végétal, il n'en existe relativement qu'un petit nombre dont on sait ou soupçonne l'utilité. Les uns peuvent exister en quantités notables, d'autres ne sont décelés qu'à l'état de traces. Enfin, on ne connaît pas de rôle à de nombreux autres éléments trouvés dans la plante souvent en quantités infinitésimales : leur présence peut être simplement fortuite.

Les éléments tels que N, P, K sont souvent appelés éléments principaux ou macro-éléments par opposition aux éléments dont la plante a besoin en quantités très faibles comme le bore ou le manganèse et qui sont nommés micro-éléments ou oligo-éléments.

La découverte de l'importance que jouent les micro-éléments dans la nutrition de la plante ou celle des animaux est relativement récente dans la science agricole ; mais elle a déjà suscité une « volumineuse littérature », écrit W. MORDLEY DAVIES, en Angleterre. Des études ont été entreprises dans toutes les parties du monde, mais suivant le pays et les sols, on a mis l'accent sur tel ou tel élément, telle ou telle culture.

2) Les carences minérales.

Tout élément nécessaire à la vie du végétal peut donner lieu à une maladie de carence quelle que soit son importance : N, P, K, Mg, Fe, S, Mn, B, Zn, Cu, Mo, etc...

Ces carences peuvent être dues à deux causes, soit à la faible teneur du sol en un de ces éléments, soit à un abaissement de l'« assimilabilité » de cet élément dans des conditions spécifiques du sol.

Dans l'un ou l'autre cas, la carence en un élément se traduit par les mêmes symptômes visibles sur les cultures. Nous reproduisons ci-dessous la description succincte de ces symptômes, telle que la présenta T. WALLACE au quatrième congrès international de la Science du Sol, à Amsterdam (1950). Nous ne retiendrons que les carences qui nous intéressent ici dans cette étude ; c'est-à-dire celles qui sont affectées par le pH du sol.

Symptômes de carence :

— *Soufre* : en général semblable à la déficience en azote : pousses verticales, minces et raides.

— *Fer* : chlorose des jeunes feuilles près des points de croissance.

— *Manganèse* : symptômes foliaires des types suivants : chlorose entre les nervures ; taches souvent parallèles aux nervures mais pouvant être disséminées sur tout le limbe ; points ou taches nécrotiques ; nécroses des cotylédons.

— *Bore* : mortification des zones de croissance ; éclatement des tiges et des pétioles ; tiges cavernueuses ; organes distordus ; chlorose ou coloration des feuilles ; piqûres sur les fruits.

— *Cuivre* : mortification des zones de croissance ; arrêt du développement des jeunes feuilles ; chlorose et dépérissement du feuillage ; pousses déformées et gommeuses ; arrêt de la formation du grain.

— *Zinc* : chlorose ou coloration des feuilles qui sont petites et étroites (symptôme de la petite feuille) ; entrenœuds très courts et formation de rosette.

— *Molybdène* : taches chlorotiques ; feuilles gaufrées et nécrosées sur les bords ou entre les nervures ; arrêt de développement du limbe foliaire ; arrêt de développement des légumes qui montrent des signes de déficience en azote.

Comme nous serons amenés à en parler, signalons également les excès en Manganèse, ou Aluminium, qui peuvent se produire dans les sols acides et se révèlent toxiques.

Symptômes de toxicité, par excès d'élément :

— *Manganèse* : taches chlorotiques ; effet de brûlure marginale ou par points sur la feuille ; beaucoup d'espèces du genre *Brassica* présentent des feuilles gaufrées sur les bords ; taches brunes sur les tiges.

— *Aluminium* : tiges et feuilles montrent les symptômes d'une déficience en phosphore ; racines peu développées, courtes et sans fibres.

3) pH et maladies de carence.

Les variations de pH, entre autres conditions spécifiques d'un sol, peuvent entraîner des variations dans l'assimilabilité des éléments minéraux et provoquer des maladies de carence lorsqu'il y a diminution d'éléments assimilables. D'une manière générale l'acidité augmente la solubilité des minéraux et leur absorption par la plante ; au contraire la neutralité ou l'alcalinité d'un sol sont des facteurs responsables de la fixation des éléments et de leur déficience dans la solution nutritive.

L'acidité est aujourd'hui généralement considérée comme due non à la formation d'acides solubles mais à la présence d'ions H^+ échangeables, c'est-à-dire en relation directe avec les phénomènes d'échange d'ions qui caractérisent le pouvoir absorbant. Cette acidité peut agir de plusieurs façons, soit directement par les ions hydrogènes qui remplacent les cations échangeables sur les colloïdes, ce qui augmente la quantité de cations solubles à l'eau, soit indirectement en favorisant la solubilité de certains ions métalliques tels que cuivre, manganèse, fer, aluminium, zinc... de diverses façons. Au contraire, sur des sols neutres ou alcalins, ces éléments peuvent être absorbés et fixés ou oxydés et rendus moins solubles.

Telle est du moins la théorie de D. G. ALDRICH et F. M. TURREL, de l'University of California Citrus Experiment Station, qui rapportent en outre à la suite d'essais d'amendements acides sur sols alcalins : « ...Mais bien que la concentration d'un certain nombre d'éléments nutritifs essentiels soit augmentée par l'acidification, leur effet sur le développement végétal ne peut être établi d'une manière significative jusqu'à présent. Les expériences notées montrent que certaines plantes répondent favorablement à l'acidification, tandis que d'autres ne répondent pas ou pas favorablement. » La solubilité de certains éléments tels que Al, Mn et Fe est parfois tellement affectée par l'acidité du sol qu'il en résulte des phénomènes de toxicité pour les plantes.

On connaît également depuis longtemps l'influence du calcium des sols sur l'absorption et l'utilisation des autres ions nutritifs par les plantes. Ces ions calcium jouent un rôle physiologique très important en réglant la perméabilité des membranes des tissus d'absorption à l'égard d'ions tels que sodium, potassium et magnésium. Le calcium est un élément essentiel dans tous les tissus des plantes et sa carence annule vite l'utilisation de tous les autres ions nutritifs. A un degré supérieur, par suite de chaulages exagérés ou surchaulage surtout, cet effet du calcium sur la solubilité d'autres éléments du sol dépend de la réaction du sol. Si la réaction du sol approche et excède la neutralité, les ions calcium peuvent éliminer certains anions nutritifs des solutions du sol en les précipitant. Quant aux cations, sous de semblables réactions du sol, plusieurs sont

rendus insolubles par des réactions qui peuvent ou non impliquer directement l'ion calcium.

Le rôle du calcium n'est pas encore connu dans cette fixation, excepté peut-être pour le cas du bore ; on n'arrive pas à dissocier toujours le rôle du calcium et celui de la réaction du sol. Ce que l'on a remarqué du moins c'est que lorsque les réactions du sol approchent ou dépassent la neutralité, l'assimilabilité du Manganèse, du Bore, du Cuivre et du Zinc décroissent ; le molybdène, lui, serait au contraire fixé par une réaction acide et rendu assimilable par le chaulage d'un tel sol.

II. — RELATIONS ENTRE LE pH ET LES CARENCES

Nous envisageons ci-dessous les relations possibles entre le pH du sol et la carence en l'un des cinq éléments : Manganèse, Bore, Cuivre, Zinc et Molybdène.

Manganèse.

De toutes les carences minérales, celle du Manganèse est peut-être la plus communément observée et étudiée. En France, on connaît les travaux de Barbier, Chabannes et Trocmé sur les cultures maraîchères des champs d'épandage, et ceux de Coïc, Coppenet, de M^{me} Calvez sur les terres de Bretagne. Aux U. S. A., la carence a été également très étudiée dans les Stations Expérimentales de divers États : en Irlande, en Hollande, en Australie... des travaux sur cette carence ont déjà été faits.

On a constaté à peu près partout que la carence en Mn survient après un chaulage trop intense ou « surchaulage » des sols acides ; ce surchaulage se produit après une longue répétition de chaulages normaux ou même, selon PURVIS et DAVIDSON (New Jersey), après quelques chaulages à doses massives. En Bretagne, on a très bien constaté cet effet des chaulages sans cesse répétés ; on a de plus fait une autre observation quasi générale ; la carence en Manganèse se produit sur terres très humifères originellement. Dans ces terres très humifères et très acides, l'apport de fortes quantités d'amendement calcaire fait croître très rapidement le pH. Et dans tous les cas de déficience, la réaction du sol est de 6,5 ou supérieure, aussi bien en Floride, Virginie, New-Jersey... qu'en Bretagne ou Hollande. *L'acidité est donc un facteur de solubilité du Manganèse et la neutralité ou l'alcalinité d'un sol primitivement acide un facteur de fixation, fixation qui soustrait cet élément à l'alimentation des plantes.*

Solubilisation en milieu acide et fixation en milieu neutralisé, c'est ce qui découle de l'exemple de toxicité du Manganèse que rapportent Fuyimoto et Shermann. Beaucoup de sols agricoles des Hawaï, disent-ils, sont caractérisés par leur forte teneur en Manganèse. Beaucoup de cultures y poussent sans être affectées par cette haute teneur en Manganèse : canne à sucre, fourrages et autres... Les ananas eux souffraient sur ces sols très manganifères ;

les plants n'étaient pas beaux et les rendements restaient bas. Cette haute teneur des sols en Mn était toxique pour l'ananas ; toxicité due non directement à la haute concentration du Manganèse dans le sol, mais à la carence en Fer qu'elle entraînait, d'après certains. Par des applications de chaux, de dolomie, de soude ou de potasse qui élèvent le pH on a pu faire disparaître cet effet néfaste du Mn. Les résultats expérimentaux ont montré que le manganèse échangeable du sol ainsi que celui absorbé par les plantes décroissait lors de ces applications.

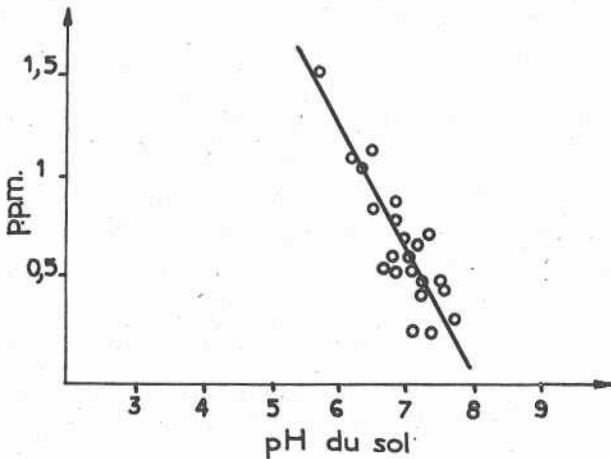


FIG. 1. — Relation entre les variations de pH d'un sol et le Manganèse soluble à l'acétate d'ammonium.

BERTRAMSON, FIELD et TISDALE ont étudié, dans l'Indiana (U. S. A.), l'incidence de l'apport de soufre sur des sols à réaction neutre ou alcaline. Le soufre apporté au sol abaisse le pH ; on peut ainsi étudier la relation entre le pH d'un sol et le manganèse soluble à l'acétate d'ammonium, après un apport de soufre.

Durant les quatre premières semaines il se produit de grandes variations de pH et de manganèse ; puis le pH se stabilise mais le manganèse soluble continue à augmenter rapidement pendant une autre période de 4 semaines, ce qui semblerait indiquer, pour les auteurs, que quelque facteur autre que le pH intervient également ; ce pourrait être, disent-ils, l'action réductrice du soufre.

Entre le pH du sol et le manganèse soluble à l'acétate d'ammonium, on a découvert une haute corrélation négative ($r = -0,854$). Dans les limites de pH considérées, la variation du Mn soluble par rapport au pH était linéaire.

Il existe également une bonne corrélation entre le pH du sol et le manganèse absorbé par les plantes ; la variation est également linéaire.

Le manganèse soluble à l'acétate d'ammonium correspond à ce que SHERMANN appelait déjà en 1942 le Manganèse actif des sols. Ce dernier comprend le manganèse soluble à l'eau, le manganèse échangeable et le manganèse à l'état manganeux mais facilement réductible. Les sols neutres ou alcalins qui ont un manganèse facilement

réductible inférieur à 25 p. p. m. sont considérés comme déficients. Les sols acides ayant moins de la quantité ci-dessus deviennent déficients lorsqu'ils sont chaulés. Quant à la toxicité du Mn dans les sols acides, elle se produirait lorsque le Mn actif dépasserait 150 p. p. m. En Irlande on a observé des cas de toxicité dès que le manganèse soluble à l'eau atteignait 15 à 17 p. p. m. et que le manganèse échangeable variait de 123 à 205 p. p. m. Le pH des sols variait de 4,8 à 5,5.

SHERMANN et HARMER et bien d'autres croient que la fixation du manganèse du sol est provoquée par l'oxydation et le passage de la forme manganeuse à la forme manganique ; ils ont également observé que les conditions de neutralité ou d'alcalinité favorisent l'apparition de la forme manganique, et les conditions d'acidité celle de la forme manganeuse. Ainsi par le jeu de l'oxydo-réduction, le pH intervient dans « l'assimilabilité » ou la fixation du manganèse et sa mise à la disposition de la plante.

Des études sur l'oxydation de l'ion manganeux, il ressort que la réaction se fait en milieu basique et que la présence de substances finement divisées peut catalyser la vitesse de réaction. Ainsi le chaulage, en élevant le pH du sol, favorise doublement l'oxydation du manganèse ; il contribue en premier lieu à rendre basique la réaction du sol et en second lieu il précipite l'hydroxyde manganeux à l'état de fines particules. En augmentant la concentration de l'ion hydroxyl (alcalinisation), le chaulage diminue la solubilité de l'ion manganeux. A l'inverse du chaulage, l'apport de soufre au sol abaisse le pH du sol ; le soufre s'oxyde rapidement, surtout par les procédés biologiques, en acide sulfurique et il favorise la réduction des oxydes manganiques.

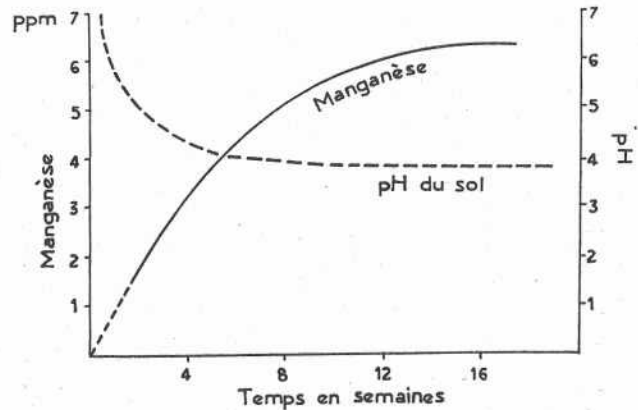


FIG. 2. — Relation entre le pH des sols et le Mn soluble à l'acétate d'ammonium.

Un apport de chlorure de calcium au sol accroît le pourcentage de manganèse échangeable, car la solution de chlorure de calcium est légèrement acide. Un apport de chlorure de potassium ne provoque ni augmentation, ni diminution de manganèse échangeable dans le sol, car la solution de chlorure de potassium est à peu près neutre.

Sur les procédés d'oxydation, on n'en est qu'au stade des

hypothèses et des observations. GUENNELON à Versailles dans un article intitulé : Possibilités théoriques d'oxydation non biologique du manganèse, s'exprime ainsi : « La réaction d'oxydation $\text{Co}^{+++}/\text{Mn}^{++}$ possible théoriquement est vérifiée pour des pH assez faibles, peut s'effectuer dans les sols en présence d'hydroxydes de Co^{+++} , malgré leur très faible solubilité... il est à remarquer que l'oxyde Co_2O_3 existe dans les sols en provenance de la décomposition de roches cristallines, associé au nickel. D'autre part, $\text{Co}(\text{OH})_2$ précipite des pH = 7,5. L'oxygène de l'air agit lentement pour former Co_3O_4 ; son domaine d'existence en fonction du pH est tel qu'une diminution de 0,5 unité permet d'obtenir le sesquioxyde dont l'action oxydante vis-à-vis du manganèse serait alors possible jusqu'à la valence 3. »

Quant à l'oxydation par voie biologique, on sait qu'elle peut également intervenir. BROMFIELD et SHERMAN, en Australie, l'ont étudiée et écrivent à son sujet : « Si le pH alcalin peut favoriser l'oxydation et la fixation du Mn, réciproquement l'oxydation du Mn par voie biologique (*Corynebacterium* et *chromobacterium*) entraîne une augmentation de pH ». Les auteurs ont ainsi observé des augmentations de pH de 6,80 à 8,12, 9 jours après l'ensemencement des bactéries. De son côté MIDDELBURG (Hollande) écrit que l'oxydation biologique peut être stimulée par l'apport d'azote, de phosphate et d'hydrates de carbone.

Pour terminer nous citerons le passage suivant de PRUVIS et DAVIDSON de la Station Expérimentale de New Jersey : « La question de savoir pourquoi la carence en manganèse apparaît un certain temps dans un champ puis se corrige d'elle-même sans traitement et pourquoi elle n'arrive pas toujours sur des sols chaulés, a longtemps été d'un grand intérêt pour beaucoup d'entre nous. Il est possible que l'explication se trouve dans le fait bien connu que la réaction du sol n'est pas constante à l'intérieur même de la couche superficielle du sol. Les déterminations du pH d'un sol se font sur plusieurs prélèvements et l'on fait la moyenne de toutes les mesures. Cependant dans le sol, il y a de petites poches ou cellules où l'on observe des variations assez grandes autour de cette moyenne. Dans des sols non chaulés depuis 5 ans, les variations de pH dans un agglomérat de quelques cm peuvent atteindre une unité pH, et dans les sols récemment chaulés la variation peut dépasser 2 unités pH. On peut citer l'exemple d'un agrégat de 15 cm de côté où les pH variaient de 6,0-6,3-6,7 et 7,1 d'un point à l'autre. Ces variations de pH dans un si petit bloc de terre sont de règle. De telles variations peuvent réaliser de nombreux facteurs parmi lesquels on peut signaler l'impossibilité pratique d'incorporer le matériel de chaulage à l'intérieur d'un sol, l'oxydation des minéraux contenant du soufre et la production d'acides de décomposition des matières organiques.

Tant que le nombre et la taille de ces poches d'acides sont suffisantes pour fournir le manganèse et les autres éléments nutritifs qui sont fixés aux pH élevés, les carences des plantes en ces éléments n'apparaît pas même sur des sols où la réaction globale dépasse la neutralité : de telles

carences apparaîtront lorsque les portions de sols aux réactions variables seront éliminées ou lorsque les poches les plus acides se seront élevées à des pH voisins de 6,5.

Une telle condition, conçoit-on, peut être emmenée par de brèves périodes d'humidité saturante dans des sols surchaulés où la réaction de la solution du sol dans la zone racinaire doit tendre vers l'uniformité lorsque les ions hydroxyl prépondérants envahissent les aires locales de plus grande acidité et les neutralisent. Et ainsi, en ce qui concerne les plantes, on peut voir se produire les mêmes résultats que lors des périodes sèches quand l'humidité de ces zones acides ne peut plus fournir à la plante les éléments nutritifs suffisants.

Bore.

On admet généralement qu'un surchaulage conduit souvent à une carence en bore ; on a avancé deux théories pour expliquer l'intervention de la chaux. Au fait, les deux doivent intervenir mais on ne sait pas bien dans quelle mesure on doit faire appel à l'une ou à l'autre.

Dans une première hypothèse, la carence est imputée au calcium considéré comme élément nutritif du végétal. Cet élément calcium fait défaut dans les sols acides ; il en résulte un retard à la croissance des végétaux, le chaulage apporte cet élément et augmente la pousse des plantes ; en conséquence ces plantes exigent également une plus forte quantité de tous les autres éléments nutritifs ; c'est alors que peut apparaître la carence du bore en quantité limitée dans le sol. Ces sols tout simplement ne contiennent pas suffisamment de bore pour l'optimum de croissance des plantes. L'élévation du pH, comme l'ont démontré plusieurs chercheurs, n'affecte pas la teneur du sol en bore soluble à l'eau. Une relation fonctionnelle existe à l'intérieur de la plante entre le bore et le calcium. Un petit apport de calcium diminue le besoin en bore ; mais un apport plus important accroît le besoin de bore ; les plantes poussant sur des sols surchaulés ont un plus grand besoin de bore.

Beaucoup de chercheurs émettent également une deuxième hypothèse. Ils ont montré que des sols spécifiques contenant normalement assez de bore assimilable pour la croissance végétale, deviennent carencés en cet élément quand on chaulé jusqu'à des pH 7 et au-dessus. Et même quelquefois ces sols acquièrent une telle capacité de fixation du bore que les plantes n'ont pas le temps de profiter d'un apport de cet élément dans le sol et qu'on est obligé de procéder par application sur les feuilles.

Le mécanisme de cette fixation a été l'objet de nombreuses études. Certains attribuent la fixation à une activité microbienne accrue par la chaux, ou à la croissance de champignons stimulée par l'addition de borax sur les sols à la fois acides et chaulés. D'autres pensent que la fixation du bore dans les sols surchaulés est un effet de la matière organique du sol qui acquiert un grand pouvoir de fixation du bore dès qu'elle est activée par la chaux. BARBIER et CHABANNES ont étudié l'adsorption du

bore par différentes argiles en fonction du pH ; graphique ci-dessous, (fig. 3).

Cuivre.

La plupart des chercheurs rapportent que l'assimilabilité du cuivre décroît avec l'augmentation de l'alcalinité des sols, mais tous ne sont pas de cet avis. Plusieurs prétendent observer qu'une augmentation d'alcalinité pour une teneur donnée du sol en cuivre augmente l'assimilabilité de ce cuivre, qu'on le mesure par l'analyse chimique du sol ou par l'analyse des éléments absorbés par les plantes. BYRAN, en Floride, trouve par exemple que la carence en bore des citrus est plus importante sur les sols acides que sur les sols neutres. HERMER observe qu'en général plus les sols organiques sont acides, plus la réponse des plantes au

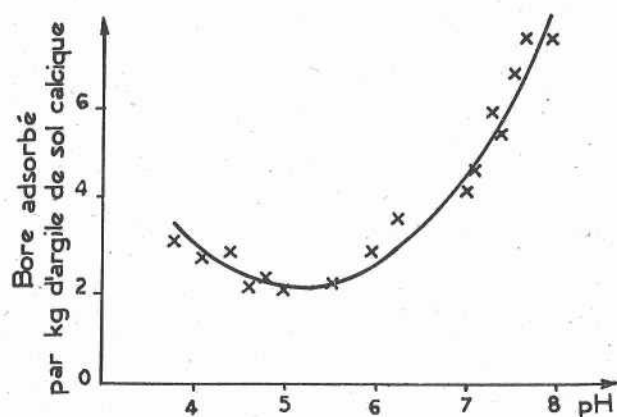


FIG. 3. — L'ion B_3O_7 est susceptible de subir une adsorption par différentes argiles calcaïques. L'adsorption passe par un minimum aux environs de pH = 5. Au delà, elle augmente nettement jusqu'à pH = 8.

cuivre est grande. TEAKLE et STEWART ont été capables de montrer des profits spectaculaires des plantes à l'application de cuivre dans un sol humique, humide et très acide (pH = 4,2). Mais ne s'agit-il plus là dans ces derniers exemples de déficiences du sol par suite d'une trop grande mobilité du cuivre ?

WILLIAMS, en Caroline du Nord, fait ses constatations à la suite d'application importante de sulfate de cuivre : 50 kg/ha ; sur les terres non chaulées les plantes présentent des troubles ; sur les terres qui ont reçu 5 tonnes de chaux à l'ha, le cuivre ne produit aucun effet ; sur les terres qui ont reçu 15 tonnes de chaux à l'ha les plantes « répondent favorablement » à l'application de cuivre. Ainsi lorsqu'on traite différents sols par un excès de sulfate de cuivre, les plus grandes réponses s'observent pour les pH extrêmes ; autour des pH moyens l'effet du cuivre est moins marqué ; peut-on penser qu'il s'agit de troubles de toxicité pour les pH acides et de maladies de carence pour les pH alcalins ? WILLIAMS ne conclut pas.

Dans le Michigan, LUCAS voit la quantité de cuivre non adsorbé et soluble à l'eau doubler d'un sol à pH 5,8 à un autre à pH 3. Ces résultats concordent avec l'hypothèse que la solubilité du cuivre augmente avec l'acidité du sol.

A partir de pH égaux à 4,7 ou supérieurs, une partie du cuivre précipiterait sous la forme d'hydroxyde, le reste entrerait dans d'autres réactions d'échange.

BOISCHOT et Mme GUILLON ont étudié à Versailles cette précipitation du cuivre sur des solutions de sulfate et sur des solutions du sol. Pour les solutions de sulfate de cuivre, ils constatent que :

- 1) la précipitation du cuivre ne commence qu'à pH 5,3 ;
- 2) la quantité précipitée augmente avec le pH ;
- 3) le pourcentage de cuivre précipité est d'autant plus élevé à pH égal que la solution est plus concentrée. C'est ainsi qu'ils ont :

pH.....	5,3	6,5	7	8,5
Cu fixé %.				
a) pour solution à 1 mg/litre de Cu.....	0	51,6	71,2	98
b) pour solution à 400 mg/litre de Cu	0	99	99	99

Dans les sols calcaires, étant donné le pH et la présence de grains de CO_3Ca , la solution du sol ne dépasse pas une concentration de l'ordre de 0,1 à 0,4 mg/litre.

LUCAS a étudié les adsorptions des ions cuivre et des ions hydrogène sur un sol de « muck », que nous appellerons sol d'humus brut, c'est-à-dire un sol très humifère, peu oxydé et très humide. Il lessive cet « humus » avec de l'acide chlorhydrique pour obtenir un humus H ; il lessive à nouveau cet humus H avec une solution de sulfate et d'acétate de cuivre afin d'obtenir un humus Cu. Il étudie ainsi l'équilibre des réactions cuivre-hydrogène. Le rapport des cations adsorbés à des concentrations équivalentes est à peu près de deux équivalents hydrogène pour un équivalent cuivre. Des mesures de titres indiquent que le cuivre est absorbé sous forme de cation divalent Cu^{++} et de cation complexe monovalent $(Cu, CH_3O)^+$.

Comme on le voit, la relation du pH avec la carence en cuivre n'est pas encore bien connue.

Zinc.

On attribue à plusieurs causes la carence des sols en zinc ; en Guinée Française, BRUN et PY mentionnent pour l'ananas un déséquilibre des éléments nutritifs ; ELGABALY, en Égypte, signale le fait que le zinc peut se substituer au magnésium dans les minéraux et ne satisfait plus la demande des plantes ; et on pourrait évoquer toutes les causes générales des carences. Plusieurs chercheurs ont constaté une relation entre la carence en zinc et la réaction du sol. Dès 1917, ELYOD (U. S. A.) décrivait des « symptômes physiologiques » sur citrus et les présentait comme le résultat du surchaulage ; ce qu'on reconnaît maintenant être une carence typique en zinc.

Ces symptômes sont souvent attribués à de hautes valeurs de pH qui causent la précipitation d'ions sous des formes non directement assimilables ou favorisent l'adsorption de ces ions sur les argiles. Il semble établi que l'assimilabilité du zinc décroît lorsque le pH des sols croît et que le point critique est compris entre les pH 5,5 et 6,5.

Si les symptômes de carence ne se manifestent pas toujours et restent capricieux même lorsque ces conditions sont remplies, c'est qu'il faut se souvenir qu'une masse de sol ne présente habituellement pas une réaction semblable en tout point ; il y a des alvéoles et des petites zones à pH variés. Il est peut-être heureux que ce pH du sol varie ainsi d'un point à un autre, même très proches, car les éléments nutritifs ne sont pas assimilables à un même pH et si le milieu racinaire présentait en tout point la même réaction, les symptômes de carence d'un élément ou d'un autre se manifesteraient plus souvent.

Molybdène.

Le molybdène est le plus récent des micro-éléments pour lequel on ait montré sa non-assimilabilité ou déficience dans les sols acides. C'est que la carence en molybdène est parfois compliquée par un excès de manganèse ; quand les symptômes de la carence en molybdène sont associés à ceux de la toxicité en manganèse, les syndromes visuels sont difficiles à diagnostiquer.

En Angleterre, VILLIAM PLART (Long Ashton) a rattaché la déficience du molybdène au phénomène connu du « Whiptail » (queue ou fouet) du chou-fleur ou broccoli. En Australie, en Nouvelle-Zélande aussi bien qu'en Angleterre, on a montré que le Whiptail pouvait être corrigé par l'apport de molybdates au sol.

En Angleterre, sur des sols à pH = 5, des apports de molybdate de sodium à des doses de 220 kg/ha réduisent les effets du Whiptail de 35 % à 5 % ; une dose double les réduirait à zéro. De même le carbonate de calcium, qui élève le pH de 5 à 6-6,5 réduit les effets de carence à 2 ou 3 %, quand on l'applique à des doses de 7 tonnes/ha.

Le molybdène, semble-t-il, est fixé par une réaction acide ; le chaulage le rend assimilable.

CONCLUSION

L'apparition des carences végétales est très souvent liée à la réaction du sol. D'une façon générale, on rencontre plus fréquemment les carences lorsque le pH du sol dépasse une certaine valeur, voisine de celle de la neutralité :

On remarque qu'une légère acidité du sol joue favorablement dans l'assimilabilité de la plupart des éléments par les végétaux. Il ne semble y avoir aucun inconvénient lorsque le pH du sol se situe entre les valeurs 6, 5 et 7 : à ce degré, l'acidité n'est pas préjudiciable et, dans beaucoup de cas, ne le semble pas encore, notamment pour les sols des régions tropicales semi-humides ou humides, lorsque le pH descend aux environs de 6.

Cependant, au-dessous de cette valeur, il est à craindre que d'autres facteurs jouent défavorablement pour le développement des végétaux et l'acidité peut devenir nuisible.

Étienne DELMAS
Ingénieur Agricole
Agronome à l'Institut
des Fruits et Agrumes Coloniaux.

BIBLIOGRAPHIE

- D. G. ALDRICH et F. M. TURELL. Effect of Soil Acidification on some chemical properties of a soil and the plants grown thereon. *Soil Science*, vol. 70, p. 83-90.
- G. BARBIER et G. CHABANNES. Contribution à l'étude du bore dans le sol et les plantes. *Ann. Agro.*, janvier-février 1953, p. 37-39.
- B. R. BERTRAMSON, M. FRIED et S. L. TISDALE. Sulfure studies of indiana soils and crops. *Soil Science*, vol. 70, p. 27-41.
- P. BOISCHOT et M^{me} P. GUILLON. Fixation du cuivre dans les sols calcaires. *Ann. Agro.*, mai-juin 1952, p. 359.
- E. G. BRENNAN et J. W. SHIVE. Effect of calcium and Boron nutrition of the tomato on the relation between these elements in the tissues. *Soils Science*, vol. 66, p. 65-75.
- S. M. BRUMFIELD et U. B. D. SKERMAN. Biological oxydation of Manganese in soils. *Soil Science*, vol. 69, p. 337-348.
- J. BRUN et C. PY. Symptômes foliaires de carence en zinc sur l'ananas en Guinée Française. *Fruits*, vol. VII, n° 2.
- R. CHAMINADE. La rétrogradation du potassium dans les sols. *Ann. Agro.*, t. VI, 1936, p. 818-830.
- Y. COIC, M. COPPENET et M^{lle} G. DE BAISSÉ. Évolution du manganèse dans les différents organes de la pomme de terre. *Ann. Agro.*, janvier-février 1951, p. 41.
- M. COPPENET et M^{me} CALVEZ. Dosage du manganèse actif dans les terres de Bretagne. *Ann. Agro.*, mai-juin 1952, p. 351.
- E. M. CROWTHER. Factors influencing the nutrient uptake. *Fourth International Congress of Soil Science*, vol. IV, p. 112.
- A. DEMOLON. Dynamique du sol.
- M. ELGABALY. Mechanism of zinc fixation by colloidal clays and related minerals. *Soil Science*, vol. 69, p. 167-173.
- C. K. FUJIMOTO et G. D. SHERMANN. Behavior of manganese in the soil and the manganese cycle. *Soil Science*, vol. 66.
- R. GUÉMELON. Possibilités théoriques d'oxydation non biologique du manganèse dans le sol. *Ann. Agro.*, sept.-oct. 1951, p. 582.
- E. J. HENVITT. A biological approach to the problem of soil acidity. *International society of soil science*. Dublin, 1952, vol. I, p. 107.
- R. E. LUCAS. Effect of copper fertilization on carotene, ascorbic acid, protein, and copper content of plants grown on organic soils. *Soil Science*, vol. 65, p. 461.
- Chemical and physical behavior of copper in organic soils. *Soil Science*, vol. 66, p. 119.
- H. A. MIDDELBURG. Manganese mobilization and fertility of tropical volcanic ash soils. *Fourth international congress of soil science*, vol. II, p. 136-137.
- W. MORDLEY DAVIES. Magnesium and the micro-nutrients. *International Society of soil science*, vol. I, p. 136.
- D. MULDER. Survey of nutritional diseases in fruit-trees in relation to soil conditions in the Netherlands. *Fourth international congress of soil science*, Amsterdam, 1950, vol. II, p. 141-148.
- W. PLANT. The relation of molybdenum deficiency to the acid soil complex. *Fourth international congress of soil science*, vol. II, p. 148-151.
- E. R. PURVIS et O. W. DAVIDSON. Review of the relation of calcium to availability and absorption of certain trace elements by plants. *Soil Science*, vol. 65, p. 111-116.
- W. R. WCHMELL, M. PEECH et R. BRADFELD. Causes of poor growth of plants on acid soils and beneficial effects of liming I. Evaluation of factors responsible for acid-soil injury. *Soil Science*, vol. 70, p. 393-410.
- G. SHERMANN, J. S. MC HARGUES et W. S. HODGKISS. Determination of active manganese in soil. *Soil Sc.*, 1942, p. 253-257.
- S. TROCME, G. BARBIER et G. CHABANNES. Recherches sur la chlorose par carence de manganèse des cultures irriguées à l'eau d'égout. *Ann. Agro.*, septembre-octobre 1950, p. 663.
- T. WALLACE. Diagnosis of soil fertility by visual symptoms of crops. *Fourth international congress of soil science*. Amsterdam, 1950, vol. I, p. 11-21.
- T. WASH, J. D. GOLDEN et G. A. FLEMING. Soil and plant studies on manganese toxicity in swedes in relation to applied phosphates. *Fourth international congress of soil science*, Amsterdam, 1950, vol. III, p. 115-119.