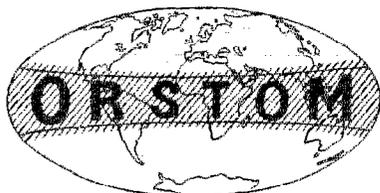


**TRAVAUX
ET DOCUMENTS
DE L'O.R.S.T.O.M.**

**LES ELEMENTS TRACES
DANS LES SOLS**



H. AUBERT
M. PINTA



EDITIONS DE L'OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE D'OUTRE-MER

RENSEIGNEMENTS, CONDITIONS DE VENTE

Pour tout renseignement, abonnement aux revues périodiques, achat d'ouvrages et de carte, ou demande de catalogue, s'adresser à :

SERVICE CENTRAL DE DOCUMENTATION DE L'ORSTOM
70-74, route d'Aulnay - 93 - BONDY (France)

- Tout paiement sera effectué par virement postal ou chèque bancaire barré, au nom du Régisseur des Recettes et Dépenses des SSC de l'ORSTOM, 70-74, route d'Aulnay - 93 - BONDY ; compte courant postal n° 9.152-54 PARIS
- Achat au comptant possible à la bibliothèque de l'ORSTOM, 24, rue Bayard - 75 - PARIS 8e.

REVUES ET BULLETINS DE L'ORSTOM

I. CAHIERS ORSTOM

a) *Séries trimestrielles :*

- Pédologie (1) — Sciences humaines
- Océanographie — Hydrologie
- Hydrobiologie — Entomologie médicale et Parasitologie

Abonnement : France 90 F ; Etranger 110 F,
le numéro 25 F.

b) *Série semestrielle :*

- Géologie
- Abonnement : France 70 F ; Etranger 75 F

c) *Séries non encore périodiques :*

- Biologie (3 ou 4 numéros par an)
 - Géophysique
- Prix selon les numéros.

II. BULLETINS ET INDEX BIBLIOGRAPHIQUES

- Bulletin analytique d'Entomologie médicale et vétérinaire — Mensuel

Abonnement : France 70 F, Etranger : 80 F, le numéro 8 F

- Index bibliographique de Botanique tropicale — Trimestriel

Abonnement : France 25 F ; Etranger 30 F

(1) Masson et Cie, 120, boulevard Saint-Germain - 75 - PARIS 6e, dépositaires de cette série à compter du vol. VIII, 1970.
Abonnement étranger : 124 F.

Dernièrement parus, dans la même collection : TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'ORSTOM :

N° 7 — LACOMBE (B.) - 1970 - Fakao (Sénégal). Dépouillement de registres paroissiaux et enquête démographique rétrospective.

N° 8 — DEBRAY (M.), JACQUEMIN (H.), RAZAFINDRAMBAO (R.) - 1971 - Contribution à l'inventaire des plantes médicinales de Madagascar.

N° 9 — PERNÈS (J.) - 1971 - Etude du mode de reproduction : apomixie facultative du point de vue de la génétique des populations.

N° 10 — MASSONI (C.), PERROT (M.H.), FOURCADIER (N.) - 1971 - Liste bibliographique des travaux effectués dans le bassin du fleuve Niger par les chercheurs de l'ORSTOM, de 1943 à 1968.

H. AUBERT – M. PINTA

LES ELEMENTS TRACES DANS LES SOLS

Laboratoire de Spectrographie

O.R.S.T.O.M. - 93 - Bondy

O.R.S.T.O.M.

PARIS

1971

TABLE DES MATIERES

	Pages
PREFACE	V
INTRODUCTION	1
BORE	5
CHROME.....	11
COBALT	15
CUIVRE	21
IODE	27
MANGANESE.....	31
MOLYBDENE.....	39
NICKEL	45
PLOMB.....	49
SELENIUM	53
TITANE	55
VANADIUM	59
ZINC	63
AUTRES ELEMENTS.....	69
CONCLUSION	85
BIBLIOGRAPHIE	89
ANNEXE	(voir tableaux)

PREFACE

Dans le sol, un certain nombre d'éléments sont prédominants ou en proportion importante : oxygène, hydrogène, silicium, aluminium, fer, carbone, azote, calcium et magnésium, sodium et potassium, phosphore, soufre, encore que leur teneur varie largement d'un sol à l'autre. Leur ordre d'importance est bien différent entre le sol ferrallitique de Basse Côte d'Ivoire riche en kaolinite et celui de la même classe essentiellement constitué d'oxyde de fer dans le centre de la Nouvelle Calédonie ou d'oxyde d'aluminium dans certaines îles voisines. La teneur varie aussi d'un horizon à l'autre d'un même profil de sol. D'autres éléments : Cu, Pb, Ni, Co, Mo, etc, n'existent normalement dans les sols qu'à l'état de traces : ils n'en ont pas moins, pour la plupart d'entre eux sinon pour tous, un rôle capital dans l'alimentation des plantes et dans leur développement. Si le plus souvent il ne nous est pas possible de mesurer avec précision l'influence sur la végétation, de faibles variations de leur teneur dans les sols, au moins peut-on, bien souvent, observer la conséquence de leur nette déficience ou de leur présence en excès sous des formes auxquelles la plante réagit davantage, ou qu'elle peut mieux utiliser.

Certains de ces éléments traces peuvent, en fonction de la nature de la roche-mère, ou de conditions climatiques ou topographiques - facteurs de la pédogénèse - perdre leur caractère de traces et atteindre une réelle abondance dans certains sols. Cela peut aller jusqu'à des teneurs qui transforment ces sols - ou des horizons particuliers de sols - en véritables minerais susceptibles d'une exploitation industrielle (Mn, Ni, Co, etc.). Dans d'autres cas, leur teneur, sans être aussi élevée, peut leur donner un rôle important dans l'évolution des sols ou en être le témoin. Aussi, la connaissance non seulement de leur présence, mais également de leur dynamique a-t-elle un très grand intérêt pour le pédologue. Quoique ces faits aient été connus depuis longtemps, ces éléments traces ont été assez peu étudiés dans les sols jusqu'à ces dernières décades malgré les travaux remarquables de Gabriel BERTRAND, en France, dès le début du siècle. Peut-être faut-il en rendre responsables les difficultés pratiques que présentait le dosage de certains d'entre eux. Depuis 30 ans, en même temps que s'est développée l'utilisation des méthodes physiques, telles que la spectrographie, l'absorption atomique, dans l'analyse des sols, l'étude des éléments traces y est devenue également beaucoup plus fréquente.

Le développement de la géochimie a aussi permis d'établir certains principes qui permettent de mieux comprendre les raisons de leur présence, de leurs associations, de leur évolution. L'article de G. PEDRO et A.B. DELMAS dans le numéro des Annales Agronomiques récemment consacré aux oligo-éléments en France en est une très belle illustration, comme d'ailleurs les travaux de nombreux chercheurs étrangers : V.M. GOLDSCHMIDT, R.L. MITCHELL, V. KOVDA, K.K. TUREKIAN, K.H. WEDEPOHL, A.P. VINOGRADOV, etc.

Les pédologues de l'ORSTOM ont la charge d'étudier les sols dans diverses régions écologiques du globe ; ils les prennent donc, appartenant à de nombreuses classes et groupes, sur des roches-mères extrêmement variées et dans des conditions d'évolution très différentes. Longtemps les déterminations d'éléments traces ont été essentiellement réalisées à Bondy pour l'ORSTOM et pour divers organismes travaillant avec nous. Depuis quelques années, plusieurs des laboratoires d'Outre-Mer peuvent également réaliser les analyses nécessaires.

L'équipe du laboratoire de spectrographie des Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM à Bondy a ainsi, sous la direction très dynamique de M. PINTA, accumulé de nombreux résultats et s'est livrée à diverses études sur la présence et la géochimie de certains de ces éléments dans plusieurs types de sols. Je peux citer par exemple les publications de M. PINTA, L. NALOVIČ, D. RAMBAUD. Une mise au point englobant toutes ces données nous a paru nécessaire. M. M. PINTA et Mlle H. AUBERT s'en sont chargés.

Cependant de nombreux travaux sur ces éléments traces paraissant chaque jour, il n'est pas possible d'obtenir une publication bibliographique vraiment exhaustive même en admettant que ne soient pas utilisées certaines sources dont l'expression linguistique nous empêche de tirer profit tant qu'une traduction en langue plus abordable n'en est pas réalisée.

Conscients des imperfections de ce travail, nous espérons cependant qu'il pourra être utile à de nombreux chercheurs, pédologues et agronomes en particulier.

G. AUBERT

Chef de la Section de Pédologie de
l'ORSTOM

Membre de l'Académie d'Agriculture
et de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer

INTRODUCTION

L'importance des éléments traces dans les différents milieux n'est plus à démontrer, ainsi que le prouvent les nombreux travaux dont ils ont fait l'objet depuis le début du siècle et surtout depuis 1945.

Dans le domaine particulier de l'agronomie, leur influence est grande sur la fertilité des sols. Leur absorption, en trop faible ou trop forte quantité, par les plantes, peut provoquer des maladies de carence ou de toxicité dans les cultures et, par voie de conséquence, chez les animaux qui s'en nourrissent. Aussi les agronomes, les géochimistes, les pédologues, les biochimistes se sont-ils depuis longtemps intéressés à ces problèmes (SAUKOV, 1931 - WALLACE, 1947, 1961 - MONNIER-WILLIAMS, 1950 - STILES, 1951 - YOE et KOCH, 1953 - GOLDSCHMIDT, 1954 - SWAINE, 1955 - MITCHELL, 1956 - UNDERWOOD, 1956 - VINOGRADOV, 1951 - PINTA, 1961 - SHAW, 1964 - SAUCHELLI, 1969 - PEDRO et DELMAS, 1970). Outre les ouvrages de base publiés par ces auteurs, de nombreux articles et notes ont paru et continuent à paraître chaque jour, portant sur des cas précis mais particuliers. Ils sont dispersés dans de nombreuses revues et publications.

Il nous a paru intéressant de faire le point de ces études, de rassembler les résultats obtenus, en vue d'une synthèse.

Les renseignements que nous avons réunis dans cette étude bibliographique concernent principalement une quinzaine d'éléments, ceux le plus fréquemment étudiés pendant les dix dernières années, sans que cela puisse préjuger d'une moindre importance des éléments non cités. Nous n'avons pas compris dans cette étude les éléments tels que : aluminium, fer et silicium, qui sont classés comme oligo-aliments des plantes, mais qui se trouvent normalement dans les sols en fortes proportions.

Pour certains éléments, tels le bore, le molybdène, le manganèse, le cobalt, le zinc, le cuivre, le nickel, nous avons pu réunir un nombre relativement important de références bibliographiques et les publications se rapportent à des travaux assez différents les uns des autres.

Dans la plupart des cas, les études concernent la recherche systématique d'un ou plusieurs éléments dans les différents types de sols d'une région géographiquement bien définie, parfois en vue de l'établissement ultérieur d'une carte de répartition de ces éléments (cas de l'U.R.S.S.), mais l'on peut trouver aussi l'étude, limitée à un seul élément, d'un très grand nombre de sols de différentes régions d'un même pays (cas de l'Inde) ou d'un nombre très restreint de sols (étude d'une carence particulière).

Pour d'autres éléments, tels le chrome, l'iode, le vanadium, le plomb, le sélénium, la somme des renseignements est nettement moins importante, ce qui ne signifie pas, naturellement, que leur intérêt soit moindre, mais leur étude est souvent plus récente et les travaux concernent essentiellement des cas de carence ou de toxicité reconnus (cas de l'iode en particulier).

En ce qui concerne les sols de France, COPPENET (1970) a présenté tout récemment un rappel chronologique des travaux se rapportant aux carences en éléments traces affectant les végétaux cultivés. Cet article fait partie comme celui, cité précédemment de PEDRO et DELMAS, d'un numéro spécial des Annales Agronomiques consacré aux oligo-éléments en France.

A ces références bibliographiques, nous avons joint les données analytiques obtenues au laboratoire de spectrographie du Service de Pédologie des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. Depuis sa création, en effet, ce laboratoire a procédé, à la demande des chercheurs agronomes, pédologues... de l'O.R.S.T.O.M. ou d'autres organismes, de recherches en pays tropicaux, à l'étude des éléments traces dans un nombre très élevé de sols tropicaux et subtropicaux, africains et malgaches principalement. Ces sols, dont la teneur en éléments traces et les possibilités d'utilisation pour les

cultures étaient mal connues, font maintenant l'objet de recherches systématiques en vue de leur mise en valeur (Ces résultats analytiques ont été obtenus grâce à la collaboration technique de Madame RICHARD).

PRESENTATION DES RESULTATS

Tous les renseignements se rapportant à un élément donné ont été rassemblés dans un tableau, à l'intérieur duquel se trouvent différentes rubriques correspondant aux résultats des analyses, aux constatations et conclusions auxquelles ont abouti les auteurs des publications.

Nous avons ainsi les rubriques : origine, roche-mère, type de sol, teneur en élément total, teneur en élément utilisable par les plantes, carence ou toxicité...

Nous donnons ci-dessous quelques explications relatives aux en-têtes de ces rubriques.

ROCHE-MERE ET SA TENEUR EN ELEMENT TRACE

Les roches-mères ont une influence non négligeable sur les teneurs des sols en éléments traces. Elles constituent la source première et la réserve de ces éléments. Dans des sols de même type, formés sur des roches différentes, il existe le plus souvent une relation directe entre les teneurs respectives des sols et des roches en un élément donné. Les différences constatées entre les teneurs des roches et celles des sols sont dues aux processus intervenant au cours de la formation des sols (phénomènes d'illuviation, d'éluviation, accumulation biogénétique dans certains horizons...).

TYPE DE SOL

Les termes définissant les sols étudiés ont été transcrits des publications originales. Certains appartiennent aux classifications actuellement utilisées par les pédologues (classifications américaine, française, russe). D'autres sont beaucoup moins précis du point de vue pédologique, faisant apparaître soit une qualité physique : la couleur (sol noir, terre rouge), la texture (sol sableux, sol argileux), soit une qualité chimique (sol calcaire, sol acide, sol alcalin) et les sols ne sont, alors, rattachés à aucun groupe particulier de l'une ou l'autre des classifications.

Dans un but d'homogénéisation, il a semblé utile, pour la compréhension et l'utilisation des résultats, lors de travaux ultérieurs, de traduire, autant que possible, les caractéristiques des sols étudiés en termes de la classification française. Dans certains cas cela ne présente pas de difficulté car les termes utilisés sont suffisamment définis - même si ce n'est pas de façon très précise - sur le plan international (rendzine, chernozems, régosols...), parfois aussi il existe une correspondance assez satisfaisante entre les différentes classifications, mais, dans d'autres cas il a fallu interpréter les données, en particulier en fonction de celles d'ordre géographique et climatique, pour déterminer avec suffisamment de probabilité le type de sol étudié.

HORIZON

Nous avons rassemblé dans cette colonne tous les renseignements relatifs aux horizons dans lesquels l'échantillonnage a été fait : horizon de surface, horizon cultivé, horizon humifère ; les données chiffrées qui leur sont alignées dans les diverses colonnes leur correspondent : teneur en élément total, teneur en élément utilisable par les plantes. Nous y avons noté aussi les indications relatives à la répartition de l'élément dans le profil.

TENEUR EN ELEMENT TOTAL

L'expression des teneurs en élément varie selon les auteurs. Le plus souvent, cependant, les résultats sont évalués en $n \times 10^{-x} \%$, en mg/kg ou en p.p.m. de sol séché à l'air. Pour faciliter la comparaison entre les différentes données chiffrées elles ont toutes été converties en une même unité. Nous avons choisi la *partie par million* (p.p.m.), unité la plus utilisée.

Les teneurs sont exprimées en p.p.m. de l'élément et non des oxydes ou autres composés. Selon les publications nous citons les teneurs maximales ou minimales, moyennes de l'ensemble du sol, moyennes par horizon, si les sols étudiés sont en nombre restreint. Dans certains cas la valeur minimale est donnée comme étant inférieure à une certaine limite,

cette limite est due à la méthode de dosage utilisée. Il peut arriver aussi qu'il n'y ait pas de donnée chiffrée, mais seulement des notations (teneur forte, moyenne, faible).

Chaque fois que possible, nous avons indiqué le nombre d'échantillons étudiés par les auteurs.

TENEUR EN ELEMENT "UTILISABLE" PAR LES PLANTES

Les teneurs en élément "utilisable" par les plantes sont également exprimées en p.p.m. de sol séché à l'air. Le réactif d'extraction est indiqué. Parmi les réactifs proposés par les auteurs et le plus souvent utilisés, soit pour l'extraction d'un seul élément, soit pour l'extraction simultanée de plusieurs, on peut citer : l'eau à 100°C (extraction du bore, BERGER et TRUOG, 1939), la solution tampon acide oxalique-oxalate d'ammonium à pH 3,3 (extraction du molybdène, GRIGG, 1953), l'acide chlorhydrique 0,1 N (extraction du zinc, BONIG, 1956), l'acétate d'ammonium N à pH 7 (extraction du cuivre, zinc, cobalt, molybdène, manganèse..., MITCHELL, 1948), l'E.D.T.A. 0,05 M à pH 7 (extraction du cuivre et du zinc, MITCHELL, 1948), l'acide acétique à 2,5 %, pH 2,5 (extraction du manganèse, cuivre, zinc, nickel, cobalt, chrome..., MITCHELL, 1948), l'acide chlorhydrique N, l'acide nitrique N (extraction du cuivre, zinc, nickel, cobalt, PEYVE, 1958).

Cette notion d'élément "utilisable" par la plante ou "assimilable" (pour certains auteurs, il s'agit d'élément "échangeable") est d'une grande importance. Son estimation quantitative est difficile, étant donné le milieu complexe dans lequel vit la plante. Il semble, cependant, que les acides faibles, tel l'acide acétique à 2,5 %, et leurs sels agissent souvent dans des conditions proches de celles de la nature.

La connaissance des teneurs des sols en élément "utilisable" par les plantes ayant une grande importance en agronomie, puisque les déterminations ainsi faites permettent de rendre compte des carences ou des toxicités, mais leur interprétation dépendant de la méthode utilisée, tous les résultats analytiques cités ne l'ont été que s'ils correspondent à des déterminations par des méthodes nettement précisées. Les teneurs sont, comme dans le cas des teneurs totales, les teneurs maximales ou minimales, moyennes de l'ensemble du sol ou moyennes par horizon.

VARIATIONS DE L'ELEMENT

Sous cette rubrique, nous avons classé les variations de la teneur en élément en fonction de différents facteurs : position de l'horizon dans le profil, caractéristiques du sol : pH, teneur en matière organique, teneur en fractions fines (argile et limon).

Leur action, différente selon l'élément étudié, est souvent de grande importance.

CARENCE OU TOXICITE

Les renseignements que nous possédons sur la carence ou la toxicité des éléments résultent de l'étude de cas précis où elles provoquent des troubles de croissance chez les plantes et souvent, par suite, chez les animaux (carence en cobalt, toxicité du bore). Les teneurs maximales et minimales nécessaires varient avec l'élément, le type de sol, le pH, l'espèce végétale.

ACTION DES ENGRAIS A BASE D'ELEMENTS TRACES

L'action de ces engrais particuliers a été étudiée le plus souvent en liaison avec les symptômes de carence ou de toxicité, carence ou toxicité corrigée soit par apport d'élément, soit par chaulage. Ces engrais sont plus ou moins actifs selon la forme sous laquelle leur apport est fait (pulvérisation de solution, épandage d'éléments solides).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

La liste des références bibliographiques se trouve dans la dernière colonne des tableaux.

BORE *

Toutes les roches de l'écorce terrestre renferment du bore, mais les concentrations varient avec la nature de la roche étudiée :

roches éruptives basiques (basalte, dolérite...) : 1 à 5 p.p.m.

roches éruptives acides (granite, rhyolite...) : 3 à 10 p.p.m.

roches métamorphiques (schistes) et roches sédimentaires d'origine continentale (sables, argiles, calcaires, alluvions...) : 5 à 12 p.p.m.

Les roches sédimentaires d'origine marine se différencient nettement par leur très forte teneur en bore, qui peut atteindre 500 p.p.m. et plus.

La teneur moyenne en bore de l'écorce terrestre est environ 50 p.p.m. (VINOGRADOV, 1959 - KOVDA et al., 1964).

Les roches-mères correspondant aux sols étudiés ont été rarement analysées, mais les quelques données chiffrées obtenues sont tout-à-fait en accord avec les teneurs moyennes ci-dessus :

Teneurs faibles, 2,5 p.p.m., dans des sables alluviaux anciens de Biélorussie.

Teneurs moyennes, 8 à 10 p.p.m., pour différents calcaires d'Allemagne, des granites et des alluvions sableuses de la région de l'Amour en U.R.S.S.

Les teneurs les plus fortes indiquées par les auteurs, mis à part certains sédiments marins d'une richesse exceptionnelle (cf. plus haut), ont été mises en évidence en U.R.S.S., Biélorussie et région de l'Amour, dans des argiles glaciaires, des alluvions lacustres et des dépôts stratifiés d'inondation : 35 à 70 p.p.m. ; en Allemagne, dans des formations rouges de muschelkalk et dans des schistes paléozoïques : 80 à 100 p.p.m.

TENEUR DES SOLS EN BORE TOTAL

Les teneurs des sols en bore total varient de 1-2 p.p.m. (podzols de Biélorussie) à 250-270 p.p.m. (sol tourbeux eutrophe d'Israël), la moyenne étant de l'ordre de 20 à 50 p.p.m. Les variations sont dues, en partie, aux roches-mères sur lesquelles les sols se sont formés mais surtout aux types de sols qui reflètent les différences entre les diverses régions géographiques et zones climatiques.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Les teneurs les plus faibles ont été dosées dans divers types de sols sur sables, en particulier dans les podzols et les sols podzoliques :

en U.R.S.S., Lettonie, sols sableux du littoral : 5 p.p.m. ; Biélorussie, sols lessivés faiblement podzoliques et podzols sur limons argileux et sables fluvioglaciaires : 1,3 à 4,3 p.p.m. ; Estonie, podzols : 6,5 p.p.m.

Les teneurs sont moyennes dans les sols bruns forestiers : en Chine du Nord-Est, sur basaltes : 45 p.p.m. ; en U.R.S.S., région de l'Amour, sur granite : 65 p.p.m. Dans cette dernière région le bore des sols hydromorphes de prairie sur dépôts stratifiés d'inondation varie de 55 à 85 p.p.m.

* Voir Annexe, Tableaux, pages 1 à 9

Les concentrations peuvent être fortes dans des rendzines et des sols bruns calcaires, comme, par exemple, dans ces derniers sols sur marnes en Israël : 100 à 145 p.p.m.

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Les sols de ces régions ont généralement des teneurs en bore total moyennes ou fortes

Dans les chernozems on a dosé :

en Yougoslavie (Serbie) : 25 à 40 p.p.m.

en Bulgarie du nord : 28 à 53 p.p.m.

en U.R.S.S. (Arménie) : 30 p.p.m. (en moyenne).

Les sols bruns isohumiques ont des teneurs en bore du même ordre de grandeur :

en Israël, sols bruns isohumiques formés sur alluvions provenant de "terra rossa" mélangées à des dépôts éoliens : 25 à 40 p.p.m.

En général les teneurs sont moyennes dans les vertisols : en Inde, vertisols sur roches basaltiques, sur schistes ou sur alluvions côtières : 20 à 50 p.p.m.

Par ailleurs les sols salés (solonetz, sols salés à alcalis) ont des teneurs souvent supérieures à la moyenne et, parfois même, très fortes :

en Yougoslavie (Serbie), solonetz : 40 à 65 p.p.m.

en U.R.S.S. (Ouzbékistan), sols salés à alcalis sur loess et argiles marines : 160 p.p.m.

en Israël, sols salés alluviaux : 150 à 170 p.p.m.

Les sols peu évolués sur alluvions (sols alluviaux) sont fréquemment riches en bore total :

en Inde, sols alluviaux sur alluvions sableuses, argileuses ou calcaires : 15 à 50 p.p.m.

en Israël, sols alluviaux formés à partir de "terra rossa" : 50 à 85 p.p.m.

Les sols rouges méditerranéens, en Israël également, formés sur calcaire, sont très riches en bore total : 190 p.p.m.

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Dans les sols de ces régions nous retrouvons la même limite inférieure de concentration que dans les sols des zones tempérées et boréales : 1 à 2 p.p.m.

En Nouvelle Calédonie, les sols bruns eutrophes, sur flysch à ciment calcaire ont 2 à 3 p.p.m. de bore.

Dans les sols ferrallitiques, on a dosé :

en Chine, Tché-Kiang : 0,4 à 3,3 p.p.m.

en Polynésie, sur basaltes et basaltes andésitiques : 2 à 3 p.p.m.

TENEUR DES SOLS EN BORE "UTILISABLE" PAR LES PLANTES

Les maladies de carence ou de toxicité des plantes, provoquées par le manque ou l'excès de bore, sont bien connues et les chercheurs s'appliquent le plus souvent à doser le bore "utilisable" par les plantes, sans tenir compte du bore total.

La méthode la plus fréquemment utilisée pour cette détermination est celle de BERGER et TRUOG (1944) : bore soluble à l'eau chaude.

D'après les nombreuses données chiffrées obtenues, la teneur moyenne en bore soluble à l'eau, dans les différents types de sols des zones tempérées, boréales, semi-arides et arides, tropicales, est comprise entre 0,1 et 1-2 p.p.m.

Ainsi :

En France : sols bruns calcaires de Gascogne sur molasses du miocène : 0,31-0,91 p.p.m. ; sols bruns lessivés sur limons du Pays de Caux : 0,1 à 1 p.p.m. ; sols bruns acides à tendance podzolique sur schistes du Massif Armoricaïn : 0,5 à 1,25 p.p.m. et dans les sols podzoliques sur granites de la même région : 0,45 à 1,3 p.p.m.,

dans la vallée du Rhône et le Sud-Est, on a dosé en sol brun acide : 0,12 p.p.m. de bore soluble à l'eau pour 8,5 p.p.m. de bore total ; en sol rouge fersiallitique : 0,3 p.p.m. de bore soluble pour 21 p.p.m. de bore total ; en sol salé : 1,3 p.p.m. de bore soluble pour 35 p.p.m. de bore total.

en Allemagne, sols calcaires et sols bruns acides à podzoliques sur grès bigarré : 0,4 à 1,2 p.p.m.

en Bulgarie, sur argiles marines et loess riches en bore : sols lessivés : environ 0,3 p.p.m. ; chernozems : 0,7-0,9 p.p.m.

au Canada, Saskatchewan, chernozems : 0,1-2 p.p.m.

en U.R.S.S., Arménie, chernozems : 0,55-1,05 p.p.m.

en Inde : sols plus ou moins évolués sur alluvions et différents types de sols sableux, limoneux, limono-argileux : 0,3-2 p.p.m.

La teneur minimale indiquée, 0,04 p.p.m., a été dosée en Lettonie dans des sols sur sables du littoral.

Dans ces conditions, le bore soluble à l'eau représente 0,1 à 3,5 % du bore total, à quelques exceptions près : 3,7 % dans les podzols d'Estonie pourtant souvent carencés ; 6,4 à 8,5 % dans ceux de Pologne ; 5,5 à 16,3 % dans les pélosols de l'oasis de Fayoum en Egypte.

D'autre part, aux fortes concentrations en bore total des sols salés (solonetz, sierozems, sols salés à alcalis) des régions semi-arides et arides, correspondent des quantités importantes de bore soluble à l'eau dont la proportion par rapport au bore total peut être très élevée.

Ainsi, en U.R.S.S., dans les sols salés à alcalis de la région de Krasnodar et du Turkménistan, on a dosé 32 à 37 p.p.m. de bore soluble à l'eau

En Inde, dans le Punjab, les teneurs varient de 3 à 11 p.p.m. dans l'horizon de surface des sols salés à alcalis. Dans ces types de sols, le pourcentage du bore soluble à l'eau par rapport au bore total atteint 65 % en Crimée et même 81 % dans le Rajasthan, en Inde.

VARIATIONS DES TENEURS DES SOLS EN BORE

Dans les sols, les concentrations en bore total et en bore "utilisable" par les plantes varient en fonction de celles en humus et en matière organique totale.

La répartition de cet élément entre les différents horizons des profils de sols suit celle de l'humus. Ainsi, il y a accumulation du bore dans les horizons humiques des chernozems, dans les horizons illuviaux humifères des podzols et dans les horizons profonds des sols tourbeux (en Pologne).

La teneur en bore varie aussi en fonction de la texture des sols ; elle augmente avec le pourcentage d'argile et de limon. Les argiles retiennent le bore comme cela a été vérifié, par exemple aux U.S.A., où des essais en serre sur des sols sableux et sur des sols argileux ont montré que la luzerne déplace plus facilement le bore des sols à texture grossière.

Il existe d'autre part une relation très nette entre les teneurs en bore "utilisable" par les plantes et le pH des sols. Ceci a été vérifié en France (JOUIS et al., 1960 ; MAURICE et TROCME, 1963) et au Danemark où l'on a étudié l'action du chaulage sur le bore disponible.

De même l'on a constaté aux U.S.A., que la luzerne fixe moins de bore soluble, lorsque dans les essais on fait passer le pH de 5 à 7 ; en milieu basique le bore est sous forme de composés moins facilement solubilisables que ceux formés en milieu acide. C'est là, d'ailleurs, une des causes de la carence souvent constatée des sols ayant un pH fortement acide (podzols) : le bore est alors entraîné par lessivage, surtout en région humide.

D'une façon générale, la teneur en bore soluble du sol tend à augmenter quand la pluviosité diminue. Cela a été bien observé au Punjab, en Inde, ou en zone semi-aride d'U.R.S.S. (VINOGRADOV, 1959).

CARENCE OU TOXICITE

Les limites sont très étroites qui définissent les teneurs en bore, minimale ou maximale, utiles aux végétaux. Elles sont comprises entre 0,1-0,2 et 1,5 p.p.m. Elles varient d'ailleurs en fonction de l'espèce cultivée.

Ainsi :

en France, dans les sols plus ou moins podzolisés du Massif Armoricaïn, de pH compris entre 5,5 et 6,5, la limite de carence admise pour de nombreuses cultures (en particulier betteraves et rutabaga) est de 0,5 p.p.m. (COPPENET, 1965).

en Chine, T'ai-Wan, les betteraves cultivées sur des sols ferrallitiques et sur divers sols sur grès, schistes ardoisièrs, calcaires, sont carencées quand le bore soluble à l'eau est inférieur à 0,2 p.p.m. La limite est la même au Japon, pour des sols sur rhyolite, granite, schistes, grès, tuf...

en Israël, la limite de carence est atteinte dans les sols bruns isohumiques sableux sur grès calcaire, pour 0,3 à 0,5 p.p.m.

en Inde, Rajasthan, la limite inférieure est fixée à 0,35 p.p.m. dans les divers types de sols des régions arides.

Cette limite est valable pour les sols acides dans lesquels le bore est facilement soluble dans l'eau, mais, d'après les études faites, les teneurs nécessaires pour les cultures sur sols basiques ou calcaires sont plus élevées.

Ainsi, en France, on constate une carence dans la vigne cultivée sur sols bruns calcaires de pH supérieur à 8, lorsque la teneur du sol en bore soluble à l'eau n'atteint pas au moins 0,75 p.p.m.

En Pologne, carence également dans les betteraves, dans le cas de sols à pH neutre ou alcalin, dont la teneur en bore soluble à l'eau est inférieure à 0,6 p.p.m.

De même en Egypte, des sols ayant un pH supérieur à 8 et 2,5 à 3,5 p.p.m. de bore soluble à l'eau bénéficient d'un apport d'engrais contenant du bore.

La carence en bore "utilisable" par les plantes dépend donc principalement du type de sol : sols lessivés acides, sols sableux à texture grossière, sols calcaires (DIEKMANN, 1957 ; LE MARE et al., 1969 ; TOLLENAR, 1966). Elle peut être due, aussi, aux conditions de culture : chaulage excessif qui immobilise le bore, dans les sols acides en particulier (RYAN et al., 1967 ; CHARPENTIER et al., 1967).

La limite de toxicité s'établit à 1,5 p.p.m. dans les sols arides et salés à alcalis de l'Inde (Punjab et Rajasthan).

En Israël, la limite est atteinte dans les sols alluviaux ayant 1,2 p.p.m. de bore soluble à l'eau.

Pour certains végétaux : blé, orge, pois..., elle est seulement de 0,8 p.p.m. en Irak.

ACTION DES ENGRAIS

On corrige les carences des sols acides par apport d'engrais contenant du bore, généralement du borax, soit sous forme de poudre ou granulé, soit en solution que l'on pulvérise (CALTON et al., 1956 ; VAIL et al., 1957). On le fixe par chaulage en évitant toutefois un excès de chaux qui l'immobiliserait.

L'apport de borax concentré a également une action bénéfique sur les cultures faites sur sols calcaires ou à pH alcalin.

La matière organique jouant un rôle important dans la fixation du bore par les sols, les amendements organiques ont une action particulièrement marquée, comme cela a été démontré en Pologne dans des essais avec du fumier de ferme. L'augmentation des récoltes (luzerne, pommes de terre, vin...) est alors très sensible.

CONCLUSION

Les sols, surtout dans leurs horizons humifères, sont plus riches en bore que la plupart des roches-mères dont ils dérivent : 10-15 p.p.m. pour les roches, 20-40 p.p.m. pour les sols.

Les sols des régions semi-arides et arides se différencient nettement des sols des autres zones climatiques par leurs teneurs en bore total et soluble à l'eau généralement fortes.

Les teneurs en humus et en argile, le pH des sols, ont une influence prépondérante sur les concentrations en bore total et "utilisable" par les plantes.

Le bore soluble à l'eau représente en général 1 à 3 % du bore total mais aussi quelquefois beaucoup plus. Les carences ou toxicité en bore sont corrigées par apport d'engrais contenant cet élément et par chaulage.

CHROME *

Le chrome peut être mis en évidence dans toutes les roches de l'écorce terrestre, mais sa répartition est fonction de leur nature.

Les teneurs sont comprises entre : 20-40 p.p.m. dans les roches éruptives acides (granite, charnockite...) et 2000-3000 p.p.m. dans les roches volcaniques ultrabasiques (dunite, péridotite...) et les produits de leur métamorphisme, serpentinite en particulier.

La moyenne des teneurs en chrome : 100 à 300 p.p.m., citées pour les roches basiques (basalte, dolérite...), métamorphiques et sédimentaires (schistes et argiles), correspond à celle donnée pour l'ensemble de la lithosphère : 200 p.p.m. Les argiles paraissent souvent plus riches que les grès et surtout les calcaires (100 à 110 p.p.m.) (VINOGRADOV, 1959 ; TUREKIAN et WEDEPOHL, 1961 ; KOVDA et al., 1964).

Les analyses de roches faites en U.R.S.S. confirment ces valeurs moyennes : en Biélorussie et dans la région de l'Amour, on a dosé dans des :

granites et sables alluviaux anciens : 25 à 35 p.p.m. de chrome

limons argileux loessiques : 50 p.p.m.

argiles glaciaires lacustres et alluvions lacustres : 115 à 300 p.p.m.

Dans l'Oural, sur roches ultrabasiques, le chrome devient un minerai ; il en est de même sur serpentinite dans le sud-ouest de la Rhodésie.

TENEUR DES SOLS EN CHROME TOTAL

Les teneurs des sols en chrome total varient de traces à 3000-4000 p.p.m., la moyenne étant de l'ordre de 100 à 300 p.p.m. Ces teneurs sont très proches de celles des roches sur lesquelles les sols se sont formés ; l'influence de la roche-mère est prépondérante dans le cas du chrome, élément peu mobile, par rapport à celle des grands processus pédologiques qui correspondent, d'ailleurs, à la différenciation des principales zones climatiques et régions géographiques.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Dans les sols de ces régions, en particulier dans les différents types de podzols et sols lessivés, la teneur en chrome dépend, avant tout, de celle de la roche-mère.

Ainsi les teneurs minimales, 7 à 20 p.p.m., et maximales, 3500 p.p.m., dosées, correspondent, en Ecosse, d'une part à des podzols hydromorphes à alios granite et grès et d'autre part à un sol ocre podzolique sur serpentinite. Par ailleurs, en Ecosse également, des podzols sur granito-gneiss et micaschistes et un sol ocre podzolique sur gabbro, ont respectivement, 150 à 300 p.p.m. de chrome total.

De même la teneur en chrome des sols sur sables varie avec la nature de ces derniers : sols sur sables fluvioglaciaires, alluviaux et marins anciens : traces à 60 p.p.m. ; sols sur sables quaternaires assez récents : 50 à 120 p.p.m. l'influence de la roche-mère apparaît aussi au Pays de Galles : les sols sur rhyolite en renferment 15 p.p.m., ceux sur dolérite : 250 p.p.m.

Les teneurs moyennes en chrome, 100 à 200 p.p.m., correspondent :

* Voir Annexe, Tableaux, pages 11 à 14

aux sols bruns forestiers : en Chine du Nord-Est, sur basalte en Ecosse, sur moraine à base de galets et débris de roches andésitiques, en U.R.S.S., région de l'Amour, sur granite : 80 à 100 p.p.m.

aux rendzines : à Madagascar (*), sur calcaire gréseux, 95 p.p.m.

aux sols hydromorphes : en U.R.S.S., région de l'Amour, sur alluvions : 130 à 150 p.p.m. ; en Ecosse, sols hydromorphes à gley sur schistes : 200 p.p.m.

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Les sols de ces régions sont souvent riches et même très riches en chrome.

Les chernozems d'U.R.S.S., région de l'Amour, sur dépôts stratifiés d'inondation, ont, en moyenne, 400 p.p.m. de chrome total.

Les vertisols ont également de fortes teneurs en chrome : à Madagascar, sur basalte et marne : 200 à 540 p.p.m., sur alluvions : 190 p.p.m. ; au Tchad, sur sédiments argilo-sableux : 180 à 300 p.p.m. ; en République Centrafricaine, sur amphibolite : 300 à 1000 p.p.m.

La plus forte teneur, 2400 p.p.m., a été dosée dans un vertisol topomorphe sur flysch à ciment calcaire, en Nouvelle Calédonie.

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Les teneurs en chrome des sols des régions tropicales humides présentent des variations importantes : traces à 4000 p.p.m.

L'influence de la roche-mère est, là encore, très sensible, bien que, mis à part quelques cas particuliers, les teneurs observées soient souvent assez élevées.

Ainsi au Ghana, des sols ferrallitiques faiblement à moyennement désaturés, sur granite et matériau sableux, ont moins de chrome que les mêmes sols sur schistes : 20 à 80 p.p.m. sur granite, 10 à 50 p.p.m. sur matériau sableux, 100 à 250 p.p.m. sur schistes.

A Madagascar, des sols ferrallitiques sur basalte et cendres volcaniques ont plus de chrome : 200 à 400 p.p.m. que les mêmes sols sur granite : 70 p.p.m.

Les teneurs les plus faibles ont été dosées dans des sols de Nouvelle Calédonie : sols humocarbonatés, sols hydromorphes plus ou moins humifères, sur calcaire corallien et ponces volcaniques : traces à 4 p.p.m.

Les teneurs les plus fortes dosées dans des sols tropicaux correspondent à des sols peu évolués sur éboulis basaltique de Polynésie : 650 à 2000 p.p.m. et à des sols de différents types de Nouvelle Calédonie : sols bruns, brun-rouge, sols peu évolués d'apport ou d'érosion, sur flysch à ciment calcaire, débris basaltiques et dolérite : 900 à 2700 p.p.m.

La teneur maximale, 4000 p.p.m., a été mise en évidence dans un sol peu évolué humifère, d'origine fluviomarine, sur éléments de roches altérées diverses, en Nouvelle Calédonie également.

Pour de nombreux sols, les teneurs sont de l'ordre de 150 à 300 p.p.m. :

Sols ferrallitiques plus ou moins lessivés : en Côte d'Ivoire, sur granite et schistes : 50 à 300 p.p.m. ; au Tchad, sur arkose et grès arkosique : 100 à 280 p.p.m. ; à Madagascar, sur roche métamorphique acide : 185 p.p.m. ; en Polynésie, sur basalte andésitique : 115 à 260 p.p.m.

Sols ferrugineux tropicaux, au Tchad, sur sédiments argileux et argilo-sableux : 100 à 150 p.p.m. ; à Madagascar, sur grès et sur calcaire : 80 à 165 p.p.m.

(*) Les sols de rendzine, quoique étudiés en des régions climatiques très diverses, ont toujours été cités avec les sols des régions tempérées et méditerranéennes auxquels ils sont le plus souvent associés. Tel est le cas de la rendzine de Madagascar. De la même manière, les vertisols ont toujours été regroupés avec les sols des zones semi-arides.

Sols hydromorphes : les teneurs en chrome total sont du même ordre de grandeur :

à Madagascar, sols hydromorphes à gley sur alluvions : 220 à 270 p.p.m.

en Nouvelle Calédonie, sols hydromorphes sur sédiments basaltiques ou calcaire corallien : 140 à 220 p.p.m.

au Tchad, sols hydromorphes sur sédiments argileux : 80 à 250 p.p.m.

Par ailleurs, dans le cas des sols tropicaux, certaines variations constatées pour des sols formés sur une même roche et de même type d'ensemble, paraissent être dues plus particulièrement aux caractéristiques pédogénétiques de détail, telles que l'intensité de certains phénomènes : décomposition plus ou moins intense de la roche-mère, évolution plus ou moins accentuée du sol, lessivage.

Ainsi en République Centrafricaine, des sols ferrallitiques plus ou moins appauvris ou des sols ferrugineux tropicaux plus ou moins lessivés, des sols à pseudogley d'hydromorphie plus ou moins forte, dérivant de granite ou de gneiss ou d'alluvions récentes, présentent sur chacune de ces roches des teneurs en chrome qui peuvent varier de valeurs faibles, 10 à 60 p.p.m., à des valeurs plus fortes, 200 à 500 p.p.m.

TENEUR DES SOLS EN CHROME "UTILISABLE" PAR LES PLANTES

Le chrome est très peu soluble dans les réactifs faibles : en Ecosse, le chrome soluble dans l'acide acétique à 2,5 %, pH 2,5, représente 0,01 à 0,4 % du chrome total (moins de 0,03 à 1 p.p.m.) dans un podzol hydromorphe à alios et dans un sol ocre podzolique sur serpentinite.

En France, le chrome soluble dans l'acétate d'ammonium N à pH 7, est un peu plus fort : 0,1 à 1 % du chrome total. Selon D. BERTRAND (1964), on trouve parfois des teneurs relativement fortes en chrome "utilisable", extrait par l'acétate d'ammonium N à pH 7, pour des teneurs faibles en chrome total.

Cependant, les données analytiques sont trop peu nombreuses pour que nous puissions en tirer des conclusions valables.

VARIATIONS DES TENEURS DES SOLS EN CHROME

La répartition du chrome entre les différents horizons des profils de sols suit généralement celle de l'humus. On constate souvent un enrichissement des horizons supérieurs, dans les sols où ils sont particulièrement humifiés (chernozems) ; dans les podzols et les sols lessivés podzoliques l'accumulation a lieu, au contraire, dans les horizons illuviaux ou dans les horizons à gley.

La teneur en chrome varie aussi en fonction de la texture du sol. Elle est plus forte dans les sols argileux que dans les sols sableux facilement lessivés (PASTERNAK et al., 1969). Dans les sols tropicaux il existe une relation positive entre les teneurs en chrome et en argile, le chrome s'accumule dans les horizons argileux, il augmente légèrement avec la profondeur (cas des sols du Dahomey, PINTA et al., 1961). Cependant, dans tous les cas, les différences entre les teneurs en chrome des horizons d'un même profil ne sont que peu importantes. Enfin, dans de nombreux sols, les teneurs en chrome sont, aussi, relativement proportionnelles à celles en oxyde de fer (LENTSHIG et al., 1966).

TOXICITE

En France, les conditions d'apparition d'une toxicité du chrome vis-à-vis des végétaux ont fait l'objet d'études particulières.

Selon R. GROSMAN (1966), l'action de cet élément dépend de son état de valence, les composés du chrome trivalent étant parmi les moins toxiques. Par ailleurs, MOULINIER et MAZOYER (1968) ont montré que les composés solubles : sulfate et nitrate sont plus rapidement toxiques que l'oxyde ou le phosphate, insolubles. Cette toxicité est d'autant plus forte que le sol est plus acide et il se produit en même temps une diminution de la teneur du sol en acide phosphorique assimilable.

On peut éviter cette action toxique par apport au sol d'amendements calcaires et de phosphate de calcium monobasique.

CONCLUSION

Les sols ont, en moyenne, 100 à 300 p.p.m. de chrome total (teneurs extrêmes : des traces et 4000 p.p.m.).

Il n'existe pas de différences essentielles entre les teneurs en chrome des sols des diverses régions climatiques et géographiques du globe. Elles sont proches de celles des roches qui sont à l'origine des sols, surtout lorsque ces roches sont très riches en cet élément (sols sur serpentinite).

Cependant, les caractéristiques pédogénétiques (type de sol), les conditions climatiques, etc. ont un rôle non négligeable, quoique secondaire, en particulier dans le cas des sols tropicaux, en ce qui concerne la teneur des sols en chrome total.

COBALT *

Le cobalt est présent dans toutes les roches de l'écorce terrestre, à des teneurs variables selon la nature de la roche :

- roches ultrabasiques (dunite, périodite...) et produits de leur métamorphisme (serpentinite) : 100 à 200 p.p.m.
- roches éruptives basiques (basalte, andésite, syénite...) : 30 à 45 p.p.m.
- roches éruptives acides ou neutres (granite, rhyolite...) : 5 à 10 p.p.m.
- roches métamorphiques (schistes) et certaines roches sédimentaires (grès, argiles...) : 20 à 30 p.p.m.
- les sables, calcaires, limons, ont des teneurs faibles : 1 à 5 p.p.m. et même parfois très faibles : 0,1 à 0,3 p.p.m.

La teneur moyenne en cobalt de la lithosphère est de l'ordre de 30 p.p.m. (VINOGRADOV, 1959 ; TUREKIAN et WEDEPOHL, 1961 ; KOVDA et al., 1964).

Nous avons peu de données sur les roches-mères correspondant aux différents types de sols étudiés mais les quelques résultats analytiques cités confirment ces teneurs moyennes :

en Australie, Tasmanie, dolérite : 35 à 60 p.p.m.

en Allemagne, Forêt Noire et en Espagne, vallée du Guadalquivir, ardoises paléozoïques et craies tertiaires altérées : 4 à 5 p.p.m.

en U.R.S.S., Biélorussie, argiles glaciaires lacustres : 13 p.p.m., sables fluvioglaciaires : 3 p.p.m., limons argileux loessiques et morainiques : 8 p.p.m.

TENEUR DES SOLS EN COBALT TOTAL

Les teneurs des sols en cobalt total varient dans de larges proportions : 0,05 p.p.m. (podzols d'U.R.S.S.) à 300 p.p.m. (vertisols de République Centrafricaine). La teneur moyenne est environ 10 à 15 p.p.m.

Dans les sols, les concentrations en cobalt varient, d'une part en fonction de celles des roches qui sont à l'origine des sols, et d'autre part en fonction des types de sols, dont les caractéristiques sont en rapport plus ou moins étroit avec le climat qui a dominé leur évolution, et donc, avec les grandes zones géographiques.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Les teneurs en cobalt total des sols de ces régions sont comprises entre 0,05 et 200 p.p.m. Elles dépendent très étroitement de celles des roches-mères, encore qu'elles tendent à varier d'un horizon à l'autre en fonction de certains processus pédologiques (podzolisation, lessivage).

Ainsi, au Pays de Galles, les sols sur dolérite ont 20 à 30 p.p.m. de cobalt, ceux sur rhyolite 3 p.p.m. Ceci est d'ailleurs particulièrement sensible pour les sols que l'on peut considérer comme généralement pauvres en cobalt : podzols, sols lessivés podzoliques, sols lessivés, sols tourbeux...

En U.R.S.S., Biélorussie, les podzols sur sables fins sont les plus pauvres : 0,05 p.p.m., viennent ensuite les sols faiblement podzoliques sur sables fluvioglaciaires : 0,2 à 1,8 p.p.m., puis les mêmes sur limons argileux : 0,06 à 6 p.p.m. ceux sur argiles lacustres sont nettement mieux pourvus : 1,7 à 13 p.p.m.

* Voir Annexe, Tableaux, pages 15 à 27

On trouve des exemples analogues pour les sols des U.S.A., en particulier pour les sols lessivés, les sols ocres podzoliques et les podzols formés, dans les Etats du Sud-Est ou en Nouvelle Angleterre, sur sables ou sur dépôts glaciaires dérivés de roches granitiques. En Ecosse, les podzols, pauvres sur dépôts sablo-caillouteux d'origine granitique (traces à 3 p.p.m.) sont moyennement pourvus sur gneiss (10 à 40 p.p.m.) et sont riches sur serpentinite (200 p.p.m., teneur la plus forte dosée dans des sols de ces régions).

Un autre exemple est celui donné par COPPENET (1965) pour les sols de Bretagne : en sols podzoliques sur granite : 1 à 45 p.p.m.

Les sols tourbeux sont également pauvres en cobalt, qu'il s'agisse de ceux d'Allemagne, Brandebourg, ou de ceux d'Israël sur débris de papyrus : 0,3 à 1,5 p.p.m. et 3,4 à 3,8 p.p.m. respectivement.

Parmi les autres types de sols, on trouve des concentrations moyennes en cobalt dans les sols bruns forestiers :

en Chine du Nord-Est, sur basalte, ils atteignent 23 p.p.m. et en Bulgarie, sur gneiss 10 à 20 p.p.m. Cependant, en Ecosse, sur moraine à base de galets et débris de roches andésitiques et en Bulgarie ou en Espagne, vallée du Guadalquivir sur granite, ils ne renferment plus que 2,5 à 10 p.p.m. de cobalt total. En Bretagne, sur schistes, les sols bruns.acides, à tendance podzolique, n'ont que 6,4 à 13 p.p.m. de cobalt.

Les rendzines ont, en général, des teneurs plus faibles : en Israël, sur marnes, elles ne contiennent que 5,9 à 6,7 p.p.m. ; en Espagne, vallée du Guadalquivir, sur craie altérée, ou en Australie (Queensland) sur calcaire : 10 à 6,8 p.p.m. ; dans le Sud-Est de l'Australie elles peuvent, cependant, atteindre 18 p.p.m.

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Les sols des zones semi-arides et arides ont des teneurs moyennes en cobalt plus fortes que celles des sols des zones tempérées et boréales.

Les chernozems sont généralement classés parmi les sols riches en cet élément (VINOGRADOV, 1959 ; KOVDA et al., 1964):

en Bulgarie, en U.R.S.S., dans le bassin Oural-Sakmara sur diluvium de serpentinite, et dans le Transoural : 10 à 30 p.p.m., en Azerbaïdjan les teneurs peuvent atteindre 100 p.p.m.

Les sols châtaîns ont des teneurs moyennes :

en Bulgarie, sols châtaîns et châtaîns hydromorphes : 3 à 15 p.p.m., sols châtaîns vertiques : 15 à 45 p.p.m. ;

en U.R.S.S., Azerbaïdjan et Kouban : 10 p.p.m. et jusqu'à 80 p.p.m. pour un sol châtain alcalisé à horizon B textural, sur produits d'altération de roches basiques, dans le bassin Or'Kumak

Pour les sols bruns isohumiques, les teneurs en cobalt total sont de l'ordre de 8 à 20 p.p.m. :

12 à 16 p.p.m. sur sédiments argileux dans le Queensland, en Australie ; en U.R.S.S., Ouzbékistan : 17 p.p.m. ; en Israël, sur alluvions dérivées de "terra rossa" et dépôts éoliens : 8 p.p.m.

Les vertisols apparaissent comme les sols ayant généralement les teneurs les plus fortes en cobalt total, teneurs cependant très variables :

en Australie, Queensland et Tasmanie, sur basalte, dolérite et alluvions : 7 à 70 p.p.m.

en Inde, sur alluvions dérivées de laves et basalte : 15 à 50 p.p.m.

au Tchad, sur sédiments argilo-sableux : 10 à 95 p.p.m.

Les concentrations maximales des sols en cobalt total ont été dosées dans des vertisols lithomorphes hydromorphes sur amphibolite en République Centrafricaine : 100 à 300 p.p.m.

A quelques exceptions près, les sols salés (solonetz, sols salés à alcalis) ont des concentrations assez faibles en cobalt total, de l'ordre de 3 à 9 p.p.m., aussi bien en Bulgarie qu'en Espagne ou qu'en U.R.S.S. (Azerbaïdjan et bassin Oural-Sakmara). Cependant, cette teneur peut être, parfois, un peu plus forte, comme au Turkménistan : 10 à 30 p.p.m. et surtout dans le bassin Or'-Kumak où, sur produits sodiques d'altération de roches basiques, elle atteint 80 et même 140 p.p.m.

Dans les sols rouges méditerranéens, on a dosé des teneurs un peu plus faibles :

en Espagne, vallée du Guadalquivir, sur roches granitiques et en Israël sur calcaire dur : 10 p.p.m.

en Australie, dans le Queensland, sur granodiorite : 3,5 p.p.m.

mais dans la région d'Adélaïde et dans le Sud-Est, les teneurs varient de 1 à 30 p.p.m.

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

En zones tropicales, les concentrations minimales, des traces, et maximales, 240 p.p.m., sont très proches de celles des zones tempérées et boréales.

L'influence de la roche-mère y est également sensible ; ainsi en République Centrafricaine, dans des sols ferrugineux tropicaux, on a dosé, sur granite : traces à 3 p.p.m. ; sur migmatite : 30 à 60 p.p.m. ; sur amphibolite : 20 à 100 p.p.m.

à Madagascar, les teneurs en cobalt des sols ferrugineux tropicaux varient de traces à 3 p.p.m. sur grès et sables et de 15 à 30 p.p.m. sur roches basiques, les sols sur schistes renfermant 5 à 12 p.p.m. de cet élément.

Nous pouvons faire les mêmes constatations en ce qui concerne les sols ferrallitiques :

en Côte d'Ivoire, sur charnockite : 1 à 10 p.p.m., sur schistes : 25 p.p.m.

au Ghana, dans des sols ferrallitiques faiblement à moyennement désaturés, sur granite : traces à 30 p.p.m., sur matériaux provenant de roches basiques : 50 à 100 p.p.m., sur hornblendite : 100 à 200 p.p.m.

Cependant, dans le cas des sols ferrallitiques en particulier, d'autres facteurs que les roches-mères interviennent.

Ils peuvent correspondre à la présence de certains horizons ou à un état plus ou moins poussé de dégradation du sol, comme en Polynésie où, en fonction de ces éléments, la teneur en cobalt total des sols ferrallitiques varie, sur basalte et éboulis basaltiques, de 5 à 25 p.p.m.

Par contre, dans d'autres cas, la raison de ces variations n'apparaît pas. Ainsi, en République Centrafricaine, dans des sols ferrallitiques désaturés, sur gneiss et migmatite, l'éventail des concentrations peut aller, suivant les cas, de traces à 30 p.p.m. ou de 30 à 80 p.p.m.

Parfois même, l'ordre des teneurs en fonction de la roche apparaît comme inversé : à Madagascar, les sols ferrallitiques sur basalte se révèlent anormalement plus pauvres (traces à 3 p.p.m.) que ceux sur granite ou calcaire (15 à 20 p.p.m.).

Parmi les sols à teneur moyennes ou fortes, on trouve :

les sols alluviaux plus ou moins hydromorphes ou halomorphes, comme en Inde et au Tchad : 8-35 p.p.m. En Polynésie, les sols formés à partir d'éléments d'origine volcanique et très humifères atteignent : sols alluviaux hydromorphes : 25-75 p.p.m., sols peu évolués bien drainés : jusqu'à 120 p.p.m.

Cependant, dans certains "sols miniers" de Nouvelle Calédonie (sols ferrallitiques sur roches ultrabasiqes), les teneurs sont certainement encore plus élevées, mais nous n'avons aucun renseignement particulier à leur sujet.

TENEUR DES SOLS EN COBALT "UTILISABLE" PAR LES PLANTES

Le cobalt est un élément important pour les animaux. Ses composés jouent un rôle dans la formation de l'hémoglobine et, dans quelques régions du globe, les ovins et bovins peuvent être atteints d'une anémie due à la carence en cobalt des sols et par suite, des végétaux qui composent leur nourriture. Il est donc intéressant de connaître, en plus du cobalt total, le cobalt "utilisable" par les plantes.

Selon les auteurs, le cobalt utilisable est extrait : par l'acide acétique à 2,5 %, pH 2,5, ou par l'acide chlorhydrique et nitrique N (en U.R.S.S.).

Les concentrations, minimale et maximale, de cobalt soluble dans l'acide acétique à 2,5 %, pH 2,5, sont égales à 0,008 p.p.m. (sols hydromorphes podzoliques à gley) et 3,74 p.p.m. (sols rouges blanchis) aux U.S.A. On a dosé également 4 p.p.m. de cobalt, extrait par ce réactif, dans l'horizon supérieur d'un sol ocre podzolique sur serpentinite, en Ecosse, sol très riche en cobalt total.

En général, les teneurs sont de l'ordre de 0,05 à 1 p.p.m.

Ainsi en Allemagne, Brandebourg, on a dosé en sols tourbeux : 0,09-0,41 p.p.m. ; en Bulgarie, en sols bruns forestiers : 0,09-0,97 p.p.m. et en Inde, en sols vertiques, vertisols et sols alluviaux : 0,056-0,95 p.p.m. En fait, le cobalt "utilisable" par les plantes représente une proportion très variable du cobalt total : 0,6 à 3 % en Inde ; 1 à 8 % en Bulgarie, 17 à 30 % en Allemagne. Le pourcentage le plus élevé, 46 %, a été obtenu dans des sols lessivés, aux U.S.A.

L'acide nitrique N étant un réactif plus fort extrait des quantités plus importantes de cobalt :

En Roumanie, dans des chernozems : 1,6 p.p.m. ; en Bulgarie dans des sols bruns forestiers : 0,3-3,86 p.p.m. ; en Israël dans des sols rouges méditerranéens : 2,3 p.p.m.

Le pourcentage de cobalt ainsi extrait augmente également : 7-28 % en Israël, 31 % en Roumanie, 62 % en Bulgarie

Les teneurs maximales en cobalt extractible par l'acide chlorhydrique N, 6 à 26 p.p.m., ont été obtenues à partir des horizons supérieurs de sols châtaîns, de solonetz et de sols très salés à alcalis en U.R.S.S., bassin Or-Kumak, qui, nous l'avons vu précédemment, sont très riches en cobalt total. Dans ce cas le cobalt "utilisable" correspond à 16-22 % du cobalt total.

VARIATION DES TENEURS DES SOLS EN COBALT

Si l'on étudie la répartition du cobalt entre les différents horizons des profils de sols, on constate le plus souvent une accumulation de cet élément dans les horizons supérieurs humifères.

Il existe une relation nette entre les teneurs en cobalt et celles en humus et en matière organique. Le cobalt paraît être fixé par l'humus.

Dans les chernozems et les vertisols, la répartition est uniforme tout le long du profil ; dans les podzols le cobalt s'accumule dans l'horizon B illuvial, l'horizon A₂ éluvial est généralement pauvre en cet élément.

D'autre part le cobalt est absorbé par les minéraux argileux et sa distribution dans le profil suit aussi celle des argiles, les sols à texture fine en sont plus riches que ceux à texture grossière, comme cela a été observé pour des sols du Dahomey et de Pologne (PINTA et al., 1961 ; PASTERNAK et al., 1969).

La teneur en cobalt "utilisable" dépend, d'autre part, des potentiels d'oxydo-réduction du sol. Les pédologues d'U.R.S.S. en ont donné de bons exemples dans leurs études sur les sols alluviaux de la basse vallée de la Moscova.

On notera, également, l'influence du pH des sols sur les teneurs en cobalt : un pH acide facilite la mise en solution des composés du cobalt et leur élimination par lessivage. Les sols ayant un pH alcalin sont souvent relativement riches en cobalt "utilisable" : bassin Or-Kumak en U.R.S.S., Tchad...

Ces différents facteurs n'ont toutefois qu'une influence moins importante que la teneur en cobalt de la roche-mère, ainsi que nous l'avons montré précédemment (sols sur serpentinite en Ecosse).

CARENCE OU TOXICITE

Selon certains auteurs (RAVIKOVITCH, 1961), les sols ayant moins de 5 p.p.m. de cobalt total sont carencés et ne peuvent fournir aux végétaux les quantités de cobalt indispensable aux animaux.

Aux U.S.A., on considère (ALBAN, 1960) que la teneur en cobalt "utilisable" par les plantes ne doit pas être inférieure à 0,02 p.p.m., teneur qui, dans de nombreuses régions, n'est pas atteinte.

En Europe, les régions carencées correspondent à des zones de forte pluviosité où les sols sont le plus souvent de type podzolique ou lessivé, sur roches-mères acides, tels que les dépôts morainiques (RYAN et al., 1967). C'est en particulier le cas des sols podzoliques sableux de Lettonie, en U.R.S.S. (KOVDA et al., 1964). C'est aussi celui des podzols, des sols ocre podzoliques et des sols rouges et jaunes blanchis des Etats de l'est des U.S.A.

En France, elles ont été reconnues, non seulement sur des sols très lessivés podzoliques en de nombreuses régions mais aussi, dans certains cas, sur des rendzines ou sur des sols rouges fersiallitiques.

En Australie, des sols ferrallitiques lessivés très acides sont également carencés ou à la limite de carence.

En Israël, par contre, le manque de cobalt s'observe sur des sols ayant un pH proche de la neutralité ou de réaction basique, tels que les sols brun-rouge isohumiques sur grès calcaire, les sols salés désertiques, les sols tourbeux.

On remédie à ces carences par apport d'engrais contenant du cobalt, le plus souvent sous forme de sulfate de cobalt pulvérisé, et l'on constate toujours une amélioration des récoltes.

CONCLUSION

Le cobalt des sols des différentes zones climatiques varie dans de très larges proportions : 0,05 à 200-300 p.p.m.

Les sols les plus riches sont ceux à fortes teneurs en humus (chernozems) et les sols de pH plus ou moins alcalin : vertisols (qui sont d'ailleurs souvent bien pourvus en humus), horizons B des solonetz, des sols salés à alcalis.

Les caractéristiques pédogénétiques, mais surtout la roche-mère ont un rôle très important, quant aux teneurs des sols en cobalt.

Le cobalt "utilisable" est souvent en quantités insuffisantes dans les sols et il en résulte des maladies de carence pour les ovins et bovins. Il est nécessaire de compenser ces carences par des apports d'engrais contenant du cobalt.

CUIVRE *

Toutes les roches de l'écorce terrestre renferment du cuivre, à des teneurs plus ou moins élevées selon leur nature :

roches éruptives basiques (basalte, dólérite...) : 100-200 p.p.m.

roches éruptives acides (granite, rhyolite...) : 10-20 p.p.m.

roches métamorphiques (schistes) et certaines roches sédimentaires (argile, loess...) : 30-40 p.p.m., parfois un peu plus.

grès, sables, calcaire : de 3 à 10-15 p.p.m.

La teneur moyenne de la lithosphère est environ 100 p.p.m. (VINOGRADOV, 1959 ; TUREKIAN et WEDEPOHL, 1961 ; KOVDA et al., 1964).

Les roches-mères des sols étudiés aux S.S.C. de l'O.R.S.T.O.M., ou dont les analyses ont été trouvées dans la bibliographie citée, ont des teneurs correspondant à ces teneurs moyennes :

en U.R.S.S. (Biélorussie), sables alluviaux anciens et fluvioglaciers : 3,6 p.p.m. ; limon argileux loessique : 11,3 p.p.m.

en Tchécoslovaquie : loess et limons loessiques : 24 p.p.m. ; roches argileuses : 49 p.p.m. ; paragneiss micacés : 95 p.p.m.

en Tasmanie : dólérite : 60-100 p.p.m.

dans l'ouest du Massif Armoricaín, les teneurs dosées sont du même ordre, quoique souvent un peu plus faibles, en fonction des roches : 1,5 p.p.m. dans les grès, 4,8 à 20 p.p.m. dans les divers types de granite, 17,8 p.p.m. dans les gneiss, 22,7 p.p.m. dans les schistes limoneux, 88,5 p.p.m. dans les amphibolites.

Mais en U.R.S.S., dans la péninsule de Kola, on a dosé jusqu'à 1000 p.p.m. de cuivre, teneur tout-à-fait exceptionnelle, dans des schistes cristallins à intrusion de norite. Des valeurs de cet ordre ou même plus élevées ont été obtenues à partir de roches servant de minerais de cuivre, en Mauritanie ou en Afrique Centrale, par exemple.

TENEUR DES SOLS EN CUIVRE TOTAL

Dans les sols, les teneurs en cuivre total varient de traces (sols sur sables d'U.R.S.S. et certains sols des régions tropicales) à 200-250 p.p.m. (vertisols de l'Inde) ; la moyenne est de l'ordre de 15 à 40 p.p.m. Une valeur moyenne de 20 p.p.m. a été donnée pour les sols de France. Les variations sont dues principalement aux teneurs différentes des roches-mères sur lesquelles les sols se sont formés et, à un degré moindre, aux types de sols qui correspondent aux différences existant entre les principales zones climatiques et régions géographiques.

Certaines valeurs très élevées apparaissent localement en zones d'agriculture intensive.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Les teneurs les plus faibles ont été dosées dans des sols sur sables alluviaux anciens et fluvioglaciers d'U.R.S.S., vallée de la basse Volga : traces à 8 p.p.m.

* Voir Annexe, Tableaux, pages 29 à 40

L'influence de la roche-mère sur la teneur des sols en cuivre total est particulièrement nette dans le cas des podzols, des sols lessivés et des sols tourbeux.

Ainsi, en Biélorussie, les podzols tourbeux et les sols podzoliques sur matériau sableux renferment 2 à 10 p.p.m. de cuivre ; par contre, dans la péninsule de Kola sur schistes cristallins et sur moraine argilo-sableuse, matériaux eux-mêmes riches en cet élément, les teneurs atteignent 50 et 200 p.p.m. dans les sols lessivés faiblement podzoliques et 75 p.p.m. dans les sols tourbeux.

Des variations analogues ont été mises en évidence dans les podzols d'Ecosse : ceux sur granite et grès sont pauvres en cuivre : 3 à 5 p.p.m., ceux sur micaschistes et sur gabbro à olivine ont des teneurs moyennes : 25 à 30 p.p.m. Les sols plus ou moins podzoliques et les podzols du Massif Armoricain renferment, eux aussi, des teneurs en cuivre total variant en fonction des roches-mères : 3 à 5 p.p.m. sur granite leucocrate et granulite, 15 à 20 p.p.m. sur granite à biotite. Cependant, certains podzols sur grès atteignent des teneurs analogues à celles de ces sols sur granulite.

De même, au Canada (Nouveau Brunswick), les podzols sur sédiments riches en sulfures ont, dans les horizons supérieurs, cinq à six fois plus de cuivre que ceux sur les autres types de sédiments : respectivement 60 et 10 à 11 p.p.m.

Les teneurs moyennes en cuivre correspondent :

aux sols bruns forestiers : 26,8 p.p.m. dans un sol brun acide sur schistes limoneux du centre-ouest Finistère, 25 et 22 p.p.m. dans des sols bruns sur moraine à base de galets et débris de roches andésitiques, en Ecosse, et sur basalte dans le nord-est de la Chine. Il faut signaler, cependant, qu'en Tasmanie (Australie), sur dolérite, les teneurs observées dans ce type de sols peuvent être très élevées : 60 à 120 p.p.m.

aux rendzines : en Israël, sur marnes, en Tchécoslovaquie sur marnes sableuses : 23 à 35 p.p.m. ; en Australie, dans la région d'Adélaïde et dans le sud-est : 6 à 43 p.p.m. ; à Madagascar, sur calcaire gréseux : 33 p.p.m.

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Dans ces zones climatiques, les teneurs des sols en cuivre total sont généralement moyennes ou fortes.

Les chernozems ont des concentrations comprises entre 15 et 70 p.p.m. : en Roumanie, dans la région de Cluj et de la Dobroudja, sur loess : 25 à 45 p.p.m.

en Bulgarie, sur basalte, andésite, gabbro : 15 à 68 p.p.m.

en U.R.S.S., dans le bassin Oural-Sakmara, sur sédiments du secondaire : 60 à 70 p.p.m.

Les sols châtaîns ont généralement de fortes teneurs en cuivre : en U.R.S.S., dans le bassin Or-Kumak, sur produits sodiques de décomposition de roches basiques : 88 à 96 p.p.m.

Les sols bruns isohumiques ont des teneurs moyennes : en Israël sur grès calcaire et en Ouzbékistan (U.R.S.S.), respectivement 16 et 18 à 22 p.p.m.

Les vertisols sont le plus souvent riches et même parfois très riches en cuivre :

en République Centrafricaine, sur amphibolite : 100 à 200 p.p.m.

au Tchad, sur sédiments argilo-sableux, en Australie dans des sols de Tasmanie et du Queensland, sur dolérite et basalte : 30 à 90 p.p.m.

en Inde, Gujarat, sur sables et calcaire : 80 à 155 p.p.m., au Maharashtra : 70 à 230 p.p.m.

Les sols salés (solonetz, sols salés à alcalis) peuvent également être très riches en cuivre. Ainsi les horizons A₁ de certains solonetz du bassin Oural-Sakmara ou du bassin Or-Kumak, en U.R.S.S., en contiennent 60 à 64 p.p.m. et ceux de sols très salés à alcalis, dans les mêmes régions, 164 p.p.m.

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Dans ces régions les sols ont des concentrations en cuivre très variables, l'écart entre les teneurs, minimale et maximale, dosées est important : de traces à 200-250 p.p.m.

Ces teneurs dépendent souvent de celles des roches-mères. Ainsi, au Ghana, des sols ferrallitiques faiblement à moyennement désaturés, sur limon rougeâtre provenant de roches basiques, sont plus riches que les sols de même type formés sur granite et matériau sableux : respectivement 100 et 20 à 30 p.p.m.

Les plus faibles concentrations en cuivre : traces à 10 p.p.m. ont été mises en évidence :

en Nouvelle Calédonie, dans différents types de sols (sols peu évolués d'apport, sols bruns eutrophes... sur flysch à ciment calcaire)

au Tchad, dans des sols sur matériau sableux, sols hydromorphes peu humifères à gley ou pseudogley, sols ferrugineux tropicaux lessivés à pseudogley

en Côte d'Ivoire dans des sols hydromorphes peu humifères à pseudogley sur schistes et dans un ranker d'érosion sur charnockite.

On a dosé des concentrations moyennes en cuivre : 10 à 50 p.p.m. dans :

les sols alluviaux ou peu évolués, plus ou moins hydromorphes, sur alluvions à Madagascar ; sur alluvions d'origine volcanique en Polynésie, ainsi que sur diverses alluvions du Logone, au Tchad,

les sols ferrugineux tropicaux, sur roches basiques, schistes et grès à Madagascar,

les sols ferrallitiques, sur basalte, granite, gneiss et calcaire à Madagascar ; sols ferrallitiques, à sous-sol induré ou non sur basalte et basaltes andésitiques, en Polynésie,

les sols salins, sur sédiments argileux, au Tchad, et sur alluvions à Madagascar.

Les teneurs en cuivre total sont souvent fortes dans les krasnozems, comme en Australie (Tasmanie et Queensland) : 80 à 140 p.p.m. Elles deviennent extrêmement élevées dans les sols, en général peu épais, formés sur roches "minéralisées" et souvent dénommés sols miniers. Dans de telles conditions, dans le Haut Katanga, il a été dosé jusqu'à 1,5 et 6 % et exceptionnellement 10 % de cuivre total (DUVIGNEAUD et al., 1960).

Il apparaît, d'autre part, qu'en régions tropicales, outre la roche-mère et le type de sol, certains facteurs, tels des processus pédogénétiques secondaires, ont généralement une influence sur les teneurs des sols en cuivre total : désagrégation plus ou moins intense de la roche, évolution plus ou moins accentuée du sol, lessivage plus ou moins fort. Ainsi, en République Centrafricaine, en fonction de ces divers processus, des sols ferrugineux tropicaux, dérivant de charnockite, de gneiss ou de migmatite, ont sur chacune de ces roches, des teneurs en cuivre total, soit très faibles (traces à 1 p.p.m.), soit moyennes (10 à 30 p.p.m.), soit très fortes (100 à 200 p.p.m.). On peut faire les mêmes constatations en ce qui concerne les sols ferrallitiques plus ou moins lessivés et les sols peu évolués d'érosion.

Dans chacune de ces grandes zones climatiques, la teneur des sols en cuivre total peut dépendre, en plus de l'action de ces différents facteurs pédogénétiques, de l'action de l'homme, qui peut l'accroître considérablement par les traitements anticryptogamiques effectués sur les plantes cultivées. C'est ainsi qu'en France, la teneur en cuivre des sols de vignobles soumis à des traitements anticryptogamiques intenses peut atteindre 850 p.p.m. dans la couche cultivée.

TENEUR DES SOLS EN CUIVRE "UTILISABLE" PAR LES PLANTES

Le cuivre a un rôle biologique important, sa carence entraîne certaines maladies des plantes et des animaux. Il est donc intéressant de connaître, en plus des teneurs en cuivre total des sols, les concentrations en cuivre "utilisable" par les plantes.

Ces concentrations varient selon le mode d'extraction.

On distingue l'extraction par :

un acide fort dilué : acides chlorhydrique et nitrique N

un acide faible : acide acétique à 2,5 %, pH 2,5

un sel : acétate d'ammonium neutre à pH 7, ce qui correspond au cuivre dit "échangeable"

un complexant organique : E.D.T.A....

D'après les résultats analytiques obtenus on constate : qu'en Inde, Gujarat, le cuivre extrait par l'acétate d'ammonium N, des vertisols, des sols vertiques et des sols alluviaux, varie de 0,35 à 1 p.p.m. et représente 0,3 à 1,6 % du cuivre total.

En France, des sols lessivés du Sud-Ouest (sols de vignobles) qui subissent des traitements anticryptogamiques intenses ont des teneurs très fortes en cuivre "utilisable", échangeable par l'acétate d'ammonium : 65 à 180 p.p.m., soit 21 % du cuivre total. Par contre, dans les sols lithiques et les sols bruns acides des Cévennes, ces teneurs ne sont que de 3 à 4 p.p.m.

Le cuivre soluble dans l'acide acétique à 2,5 %, pH 2,5, est souvent faible : en Ecosse : 0,06 à 0,3 p.p.m. dans un sol ocre podzolique, soit 0,8 à 1,2 % du cuivre total ; le pourcentage atteint 3 à 5 % dans un podzol tourbeux à alios (moins de 0,10 à 0,27 p.p.m.).

L'extraction par l'E.D.T.A. donne des teneurs plus importantes : en Israël, dans des sols de différents types (rendzines, sols alluviaux, sols salés hydromorphes...) on a obtenu 2 à 7,5 p.p.m. de cuivre "utilisable", soit 7 à 17 % du cuivre total; en Inde, dans des sols alluviaux, des sols vertiques..., les teneurs correspondantes varient de 0,45 à 12,3 p.p.m. soit 7 à 10 % du cuivre total.

L'acide chlorhydrique N, réactif fort, est surtout utilisé par les chercheurs d'U.R.S.S. Les quantités extraites sont souvent élevées : sols bruns forestiers de la région de Krasnodar, 21,4 p.p.m., soit 33 % du cuivre total ; sols châtaîns, solonetz et sols très salés à alcalis du bassin Or'-Kumak, 18 à 20 % du cuivre total. Le pourcentage atteint 60 % (100 p.p.m.) dans les sols podzoliques de la péninsule de Kola, formés à partir de schistes cristallins très riches en cuivre.

VARIATIONS DES TENEURS DES SOLS EN CUIVRE

Les concentrations des sols en cuivre total paraissent varier dans le même sens que celles en humus et en matière organique suffisamment évoluée. On observe souvent une accumulation de cet élément dans les horizons supérieurs humifères, par exemple dans les sols lessivés faiblement podzoliques ou les horizons de surface plus évolués des sols tourbeux de la péninsule de Kola, en U.R.S.S. Par contre, en Ecosse, les sols typiquement podzoliques présentent, dans les horizons d'humus grossier, des teneurs plus faibles en cuivre total que dans les horizons illuviaux. Dans les chernozems les variations des teneurs en cuivre sont faibles entre les horizons.

Dans de nombreux sols, plus ou moins lessivés ou appauvris, les horizons B sont plus riches que les horizons A₂ : les teneurs en cuivre varient également, en effet, en fonction de la teneur en argile. Ce métal s'accumule dans les horizons argileux. Dans certains sols du Tchad et de Madagascar on constate une légère augmentation du cuivre en même temps que de l'argile avec la profondeur. D'ailleurs, comme l'ont montré en Pologne PASTERNAK et ses collaborateurs (1969), les sols argileux sont plus riches en cuivre que les sols sableux.

En ce qui concerne le cuivre utilisable, la réaction du sol paraît avoir une action nette : en Pologne, en Inde (Madhya-Pradesh), le cuivre utilisable diminue quand le pH augmente. Certains sols tourbeux à forte teneur en matière organique, comme ceux de Biélorussie, sont carencés en cuivre "utilisable", en effet à pH 2,5-3,5 les acides humiques et à pH 6 les acides fulviques forment avec le cuivre des composés insolubles, inutilisables par les plantes.

CARENCE OU TOXICITE

Les limites de toxicité vis-à-vis des plantes diffèrent selon les espèces végétales. En U.R.S.S. (Moldavie), on constate une toxicité pour l'avoine et le maïs cultivés sur chernozems et sols de vergers ayant plus de 25 à 30 p.p.m. de cuivre "utilisable". En France, par suite de traitements anticryptogamiques intenses, le cuivre échangeable (extraction par l'acétate d'ammonium N à pH 7), varie de 50 à 200 p.p.m. dans des sols de vignobles et de vergers (DELAS et al., 1959). On a constaté, d'autre part, le mauvais rendement des céréales cultivées sur défriche de vigne. Une étude systématique de la toxicité du cuivre en fonction du pH du sol, à égalité de teneurs en cuivre "utilisable", a montré que cette toxicité augmente quand le pH diminue. A pH 6, pour le maïs, la toxicité est sensible à partir de 50 p.p.m., la croissance diminue de moitié pour 100 p.p.m. et elle est fortement inhibée à 200 p.p.m. ; à pH 5, la toxicité est encore plus marquée pour ces mêmes teneurs. Pour le blé, la toxicité apparaît pour 25 p.p.m. dans un sol de pH 4 (DROUINEAU et al., 1962).

Cette toxicité du cuivre en fonction du pH du sol est due au fait que l'activité des ions cuivriques augmente quand le pH diminue, d'autre part la capacité de rétention du cuivre par la matière organique diminue en même temps que le pH.

O₂ corrige la toxicité en augmentant la teneur en matière organique (apport de fumier) et en élevant le pH (chaulage et engrais alcalins). Le cuivre est fixé et insolubilisé.

Les sols carencés en cuivre sont le plus souvent des sols tourbeux ou des sols podzoliques, sableux, localisés dans les régions de fortes précipitations pluviales. La carence est aussi associée à des sols formés sur roches-mères pauvres en cuivre : granite, grès calcaire (sols brun-rouge isohumiques d'Israël) et calcaire (RYAN et al., 1967). En France, elle a été particulièrement notée dans des podzols sur sables des landes de Gascogne et dans des sols podzoliques sur granite et grès du Massif Armoricaïn (DUVAL et al., 1960).

La limite de carence est égale à 1 p.p.m. dans les sols sableux et argileux de Norvège et dans différents sols de l'Inde (Madhya - Pradesh). Au Japon, cette limite est égale à 0,5 p.p.m. En Egypte, des sols ayant 0,8 à 3,2 p.p.m. de cuivre soluble dans l'acide nitrique N sont considérés comme carencés, de 3 à 12 p.p.m. ils ne le sont plus réellement mais l'apport de cuivre, en engrais, peut améliorer les rendements. En Lettonie, l'apport de cuivre à des sols ayant 0,01 à 3,25 p.p.m. de cuivre soluble dans l'acide chlorhydrique N entraîne un accroissement des récoltes. En Inde, Delhi, les pulvérisations de cuivre augmentent la fixation du phosphore et du potassium et, par suite, la récolte de blé dans des sols ayant 22 p.p.m. de cuivre total et 2,55 p.p.m. de cuivre extrait par l'E.D.T.A. En France et en Ecosse certains auteurs préfèrent utiliser les teneurs en cuivre total pour diagnostiquer les carences. Le seuil serait, pour de nombreuses cultures, de l'ordre de 7 à 8 p.p.m. dans les sols de type podzolique nettement acides.

CONCLUSION

Les sols ont, en moyenne, 20 p.p.m. de cuivre. Leurs concentrations dépendent de celles des roches-mères (roches volcaniques basiques particulièrement riches), des pourcentages en humus, matière organique, argile et du pH. Les sols de pH basique ou neutre, riches en humus, ont plus de cuivre que les sols de pH acide.

Les chernozems, certains sols salés, les vertisols, sont parmi les sols les plus riches en cet élément.

La toxicité varie largement avec le pH des sols ; 0,5 à 3 p.p.m. de cuivre "utilisable" et 7 à 8 p.p.m. de cuivre total peuvent être pris comme limite de carence pour de nombreuses cultures.

L'apport d'engrais contenant du cuivre corrige les carences. Les toxicités sont éliminées par chaulage et apport de matière organique.

IODE *

L'étude de l'iode a été faite surtout en fonction de l'apparition du goître dans certaines régions, cette maladie étant associée aux faibles teneurs en iode des sols et des eaux.

VINOGRADOV (1959) s'est tout particulièrement intéressé à cette question et a étudié de façon approfondie la présence, les proportions et l'évolution de cet élément dans les roches et les sols d'U.R.S.S.

Quelle que soit leur origine, les roches sont généralement pauvres en iode ; pour la plupart d'entre elles les teneurs sont comprises entre 0,2 et 0,8 p.p.m.

roches éruptives basiques : 0,5 à 0,8 p.p.m.

roches éruptives acides : 0,4 p.p.m.

roches métamorphiques (schistes) et certaines roches sédimentaires (argiles) présentent des concentrations légèrement supérieures : de 1 à 2 p.p.m.

mais les sables et dépôts glaciaires plus ou moins sableux, ainsi que certains calcaires sont très pauvres : 0,2 à 0,3 p.p.m.

Par contre, les dépôts sédimentaires d'origine marine peuvent avoir des teneurs en iode extrêmement fortes : 100 à 1000 p.p.m.

La concentration moyenne de l'iode dans la lithosphère est environ 0,3 p.p.m. (VINOGRADOV, 1959 ; TUREKIAN et WEDEPOHL, 1961 ; KOVDA et al., 1964).

Les données bibliographiques récentes que nous avons rassemblées proviennent toutes du bassin de l'Amour, en U.R.S.S. Elles confirment, en ce qui concerne la teneur en iode des roches, les concentrations moyennes citées ci-dessus : andésite et diorite : 0,3 p.p.m. ; sables et limons sableux : 0,2 à 0,4 p.p.m. ; limons argileux et argiles : 0,6 à 2 p.p.m. ; dépôts d'inondation stratifiés : 1 à 2 p.p.m.

TENEUR DES SOLS EN IODE TOTAL

Les sols sont beaucoup plus riches en iode que les roches-mères. Selon VINOGRADOV (1959), les concentrations des sols en iode total seraient vingt à trente fois supérieures à celles des roches.

Dans les sols étudiés, elles sont comprises entre 0,7 p.p.m. (sols ferrugineux tropicaux lessivés du Mali) et 25 p.p.m. (sols humiques à gley de Lettonie). La moyenne est de l'ordre de 1 à 5 p.p.m.

Il existe une relation nette entre la teneur en iode des sols et leur texture. Dans l'ensemble ils sont d'autant plus riches en cet élément qu'ils sont plus argileux. Ainsi en Espagne des sols sableux ont des teneurs comprises entre 0,5 et 4 p.p.m. et des sols argileux entre 1 et 8,9 p.p.m.

En U.R.S.S., les sols de prairie hydromorphes de la région de l'Amour en contiennent : sols sableux : 0,09 p.p.m., sols argileux : 1,9 et même jusqu'à 5 p.p.m. ; de même en Lettonie ou dans la région de Kaluzha, sur sables ou dépôts argilo-sableux, les sols plus ou moins podzoliques ont des teneurs faibles, inférieures souvent à 0,4 p.p.m. ou au moins à 1 p.p.m. ; en Biélorussie, sur limons argileux et argiles lacustres, ils atteignent 1,6 à 2,7 p.p.m.

La teneur en iode des sols paraît, aussi, plus ou moins en rapport avec certaines de leurs caractéristiques dépendant du type d'évolution.

* Voir Annexe, Tableaux, pages 41 à 42

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Les sols bruns forestiers ont des teneurs variables en iode total, généralement de l'ordre de 1 à 2 p.p.m., dans un cas on note un maximum de 12 p.p.m.

Ainsi, en U.R.S.S., dans le bassin de l'Amour : sur sables : 0,7-2,4 p.p.m., sur diluvium d'andésite : 1 p.p.m., sur diluvium de basaltes ; 12 p.p.m.

Les rendzines et sols bruns calcaires sont plus riches :

en Israël, sur marnes : 4,1 à 4,9 p.p.m.

en U.R.S.S., Biélorussie : 1,8 à 3,6 p.p.m., en Lettonie : 0,38 à 3,47 p.p.m.

Les sols humiques à gley ont des teneurs très supérieures à la moyenne. Les teneurs maximales en iode, dosées dans des sols : 18 à 25 p.p.m., l'ont été dans des sols humiques à gley et très humifères, en U.R.S.S. (Lettonie et région de Moscou).

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Les sols isohumiques de ces régions ont des teneurs moyennes en iode. Ainsi, en U.R.S.S., dans le bassin de l'Amour, les chernozems en renferment 2,6 p.p.m. et les sols châtaîns 1,7 à 2,9 p.p.m. ; les solonetz qui leur sont associés ont 3,8 p.p.m. d'iodo total.

Les sols rouges méditerranéens sur calcaire peuvent être très riches, tels ceux d'Israël : 7,5 p.p.m.

D'ailleurs, les teneurs les plus fortes observées en Israël, correspondent à des sols alluviaux formés à partir de "terra rossa" : 10,5 à 11,6 p.p.m.

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Les seules données récentes que nous possédions concernent des sols ferrugineux tropicaux et des sols alluviaux du Mali, ils sont très pauvres en iode : 0,07 à 0,21 p.p.m.

VARIATIONS DES TENEURS DES SOLS EN IODE

Il apparaît que les teneurs en matière organique, humus, argile, ont une importance beaucoup plus grande que la teneur des roches-mères en ce qui concerne les concentrations des sols en iode total.

L'iodo des sols varie surtout en fonction de la teneur en matière organique et humus. Si l'on considère les différents types de sols, les plus riches en iode sont ceux à forte teneur en matière organique (sols humiques à gley et sols très humifères de Lettonie et de la région de Moscou et même les chernozems de l'Amour qui ont des teneurs moyennes à élevées).

La répartition de l'iodo dans les profils de sols suit celle de l'humus. On constate généralement une accumulation dans les horizons supérieurs humifères. Dans les sols lessivés podzoliques et les podzols cette accumulation se produit dans les horizons B illuviaux.

Comme nous l'avons vu précédemment, la concentration en iode des sols dépend aussi de leur texture, les sols argileux sont souvent plus riches en iode que les sols sableux.

L'influence de la réaction des sols semble être, également, importante. La teneur en cet élément est élevée en sols à alcalis ou en sols à pH basique, comme cela est fréquent dans les horizons supérieurs des sols des régions semi-arides et arides (sols salés à alcalis en Israël).

On remarque, de même, que dans les sols à engorgement total ou partiel, l'iodo augmente avec la profondeur.

Notons, d'autre part, que l'influence de certains facteurs, qui ne dépendent pas du type de sol, peut n'être pas négligeable : c'est le cas de la proximité de la mer. Selon certains auteurs (VINOGRADOV, 1959), la source principale de l'iodo étant l'iodo atmosphérique provenant de l'évaporation de l'eau de mer, les sols des régions maritimes ont des teneurs en iode plus fortes que les sols des régions continentales ; de plus les végétaux d'origine marine étant très riches en iode, les sols formés à partir de sédiments marins le sont aussi, de même que ceux sur lesquels sont utilisés les amendements organiques d'origine marine.

CARENCE DES SOLS EN IODE TOTAL

L'iode est un élément important pour les êtres humains, il entre dans la composition de l'hormone thyroïdienne et son absence provoque l'apparition du goître. Selon VINOGRADOV (1959), il est possible de connaître, d'après les foyers endémiques de cette maladie, les régions dans lesquelles les sols sont carencés en iode. Citons, parmi ceux qui ont été signalés, ceux des régions montagneuses : sols bruns forestiers de Suisse, sols forestiers du Nord-Caucase, des sols de plaines, podzoliques ou très lessivés, de pH très acide, enfin, parfois même, certains sols tourbeux très acides.

RYAN et al. (1967) citent des cas de carence en différents pays d'Europe (Finlande, Norvège, Pologne...), associés à des sols sur roches-mères calcaires. En Israël, cette carence apparaît dans des sols brun-rouge isohumiques, peu humifères, sableux, sur grès calcaire.

CONCLUSION

L'iode se trouve dans les sols à des teneurs très variables : 0,02 à 20-25 p.p.m.

Les sols les plus riches sont ceux à fortes concentrations en matière organique évoluée et en argile qui, en milieu peu acide, fixent et retiennent cet élément. A l'inverse, au moins dans leurs horizons supérieurs, les sols podzoliques et les sols lessivés ainsi que dans l'ensemble de leur profil les sols peu évolués sableux ou à texture grossière sont très pauvres en iode.

Les sols sont généralement beaucoup plus riches en iode que les roches sur lesquelles ils se sont formés. Seuls les facteurs hydrologiques, climatiques, biologiques et autres, entraînant l'accumulation de matière organique peu acide et la formation de colloïdes, ont un rôle important quant aux teneurs des sols en iode.

MANGANESE*

Le manganèse est présent dans toutes les roches de l'écorce terrestre à des concentrations généralement très supérieures à celle des autres éléments traces.

Les teneurs sont maximales dans les roches éruptives basiques (basalte, gabbro...) : 1000-2000 p.p.m.

Elles sont très variables dans les roches éruptives acides (granite, rhyolite...), dans les roches métamorphiques (schistes), ainsi que dans certaines roches sédimentaires (limon, argile...) : 200-1200 p.p.m. Elles sont moyennes dans les calcaires : 400-600 p.p.m. et relativement faibles dans les sables : 20-500 p.p.m.

La teneur moyenne en manganèse de l'écorce terrestre est de l'ordre de 900 à 1000 p.p.m. (VINOGRADOV, 1959 ; KOVDA et al., 1964).

Les quelques résultats analytiques cités, concernant les roches-mères étudiées par les différents auteurs, sont tout-à-fait en accord avec les valeurs ci-dessus, à l'exception de certaines dolérites d'Australie (Tasmanie) où les teneurs atteignent en effet 16500 p.p.m.

En U.R.S.S., les schistes cristallins avec intrusion de norite de la péninsule de Kola en contiennent 1000 p.p.m. ; les loess d'Uzbékistan : 580 à 720 p.p.m. ; les argiles glaciaires et lacustres de Biélorussie : 500 p.p.m. ; les granites et dépôts sableux riches en graviers de la région de l'Amour : 170 p.p.m., alors que dans les alluvions lacustres de la même zone on a dosé : 900 p.p.m.

En Espagne, dans la vallée du Guadalquivir, les teneurs sont de l'ordre de 200 p.p.m. dans les roches calcaires, et 400-600 p.p.m. dans les alluvions quaternaires.

TENEUR DES SOLS EN MANGANESE TOTAL

Le manganèse des sols a fait l'objet de nombreuses études. Il n'existe pratiquement pas de régions du globe pour lesquelles on ne puisse citer de renseignements bibliographiques à ce sujet. En U.R.S.S., aux U.S.A., en Inde, en Australie, en particulier, une abondante littérature a été publiée sur cet élément, étudié sous ses différentes formes.

Nous avons rassemblé, ici, les données les plus récentes et nous leur avons adjoint les résultats des dosages faits, ces dernières années, au laboratoire de Spectrographie du Service de Pédologie des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. sur les sols des pays tropicaux et subtropicaux, africains et malgaches principalement.

Le domaine de variation des teneurs des sols en manganèse total est très étendu : de traces (podzols de Pologne) à 10000 p.p.m. (sols à alcalis non lessivés du Tchad). La plupart des sols ont, en moyenne, entre 500 et 1000 p.p.m. de manganèse total. Les variations observées peuvent, rarement, être corrélées avec la typologie des sols, mais elles sont souvent fortes entre des sols de même type, dans une région climatique donnée.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Les concentrations en manganèse total varient de traces à 8800 p.p.m.

En ce qui concerne les divers types de sols de ces régions, les teneurs les plus faibles ont été dosées dans certains podzols : podzols de Pologne, région de Lodz : traces à 50 p.p.m. ; d'Ecosse sur granite : 50 p.p.m. ; de Norvège sur matériau morainique : 100 à 220 p.p.m. (podzols ferrugineux et podzols humoferrugineux).

* Voir Annexe, Tableaux, pages 43 à 53

Par contre en U.R.S.S. (Biélorussie), les teneurs varient de 280 à 750 p.p.m. dans les podzols sur sables et de 360 à 1000 p.p.m. dans ceux sur limon et argile.

Dans certains cas, les teneurs en manganèse total des podzols dépendent étroitement de celles des roches-mères : au Canada (Nouveau Brunswick), les podzols sur sédiments non sulfurés renferment 600 p.p.m. de manganèse total et les podzols sur sédiments riches en sulfures 1100 p.p.m. ; en Ecosse, dans les podzols sur granito-gneiss et micaschistes, on a dosé 1000 à 3000 p.p.m. et dans un sol ocre podzolique sur gabbro à olivine 7000 p.p.m.

Dans d'autres types de sols, on observe des variations aussi importantes des teneurs en manganèse total :

Sols lessivés :

en U.R.S.S., les sols lessivés faiblement podzoliques à gley de Biélorussie ne dosent que 6 à 23 p.p.m., mais en Bulgarie et au Canada (Nouvelle Ecosse), les teneurs varient respectivement de 740 à 1700 p.p.m. et de 350 à 1800 p.p.m.

Sols hydromorphes à gley et de prairie :

en Ecosse sur schistes, en Espagne sur alluvions, les valeurs obtenues ont été de 300 et 500 p.p.m. ; en U.R.S.S., région de l'Amour, elles atteignent 1300 à 1800 p.p.m. Notons qu'un sol de prairie hydromorphe de cette région d'U.R.S.S. a la plus forte teneur en manganèse total dosée en régions tempérées ou boréales : 8800 p.p.m.

Les sols bruns forestiers présentent, eux aussi, des concentrations très variables en manganèse total.

Ils sont relativement pauvres en Espagne, vallée du Guadalquivir, sur roches calcaires : 250 p.p.m. ; mieux pourvus en Hongrie : 120 à 600 p.p.m. et en Bulgarie : 260 à 1380 p.p.m. ; ils sont riches en U.R.S.S. : au Kouban : 400 à 2400 p.p.m., dans la région de l'Amour sur granite : 3100 p.p.m. et en Australie, Tasmanie, sur dolérite : 850 à 3150 p.p.m.

Les concentrations obtenues dans des rendzines sont comprises entre 200 p.p.m. (en Espagne, sur roches calcaires) et 1100 p.p.m. (en U.R.S.S., Kouban, ainsi qu'auprès d'Adélaïde et dans le sud-est de l'Australie).

Les sols alluviaux de Pologne sont souvent très riches en manganèse total : 800 à 4000 p.p.m.

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Les teneurs, minimale et maximale, des sols de ces régions sont, d'une part, des traces (chernozems et sols châtaîns de la vallée de la basse Volga en U.R.S.S.), d'autre part, 10000 p.p.m. (sols salés à alcalis non lessivés du Tchad).

A l'exception de ceux formés sur les alluvions anciennes sableuses de la vallée de la basse Volga, en U.R.S.S., dans lesquels les teneurs en manganèse total sont très faibles : de traces à 90 p.p.m., les chernozems ont des teneurs moyennes et qui paraissent relativement constantes : en Bulgarie : 520 à 840 p.p.m. en U.R.S.S. (différentes régions) : 600 à 1000 p.p.m.

Les sols châtaîns, les sols bruns isohumiques ont, par contre, des concentrations très variables en cet élément.

Sols châtaîns : en U.R.S.S., vallée de la basse Volga, sur sables, les teneurs sont comprises entre des traces et 90 p.p.m. ; au Kouban entre 550 et 600 p.p.m.

Sols bruns isohumiques : au Tchad, sur sédiments argileux et sableux : 60 à 180 p.p.m. ; en Australie (Queensland) sur grès calcaire et sédiments argileux : 550 à 1670 p.p.m.

Sols vertiques et vertisols. Ils sont souvent riches et même parfois très riches en manganèse total :

en Espagne, sur alluvions quaternaires : 500 p.p.m. ; en Nouvelle Calédonie, sur flysch à ciment calcaire : 800 p.p.m.

en Australie, Queensland et Tasmanie, sur diorite, basalte, alluvions, dolérite : 1250 à 2750 p.p.m. ; à Madagascar, sur marne et basalte : 700 à 2400 p.p.m. ; en Inde : 650 à 2950 p.p.m.

Les concentrations les plus fortes ont été dosées, en République Centrafricaine, dans des vertisols lithomorphes sur amphibolite : 3000 à 5000 p.p.m.

Les sols salés (solonetz, sols salés à alcalis) ont généralement des teneurs moyennes en manganèse total, mais elles peuvent, par place, être très élevées.

en Espagne, sur alluvions quaternaires, elles atteignent 1000 p.p.m. ainsi qu'en U.R.S.S. (Turkménistan et Ouzbékistan), où elles peuvent, cependant, s'abaisser jusqu'à 100 p.p.m.

Il en est de même en Australie (Queensland), où l'on dose, dans les solods sur roches granitiques ou sur alluvions, de 60 à 990 p.p.m. de manganèse total.

au Tchad, les sols salins sur alluvions en contiennent environ 700 p.p.m., mais dans certains sols salés à alcalis non lessivés, on a dosé des teneurs tout-à-fait exceptionnelles : jusqu'à 10000 p.p.m.

Les sols rouges méditerranéens présentent des variations semblables. Ceux d'Espagne sur roches calcaires et alluvions quaternaires, atteignent rarement la moyenne des concentrations : 340 à 390 p.p.m. ; en Australie, les teneurs varient de 140-270 à 1100 p.p.m. dans ceux du Queensland sur granodiorite et basalte et de 180 à 1400 p.p.m. dans ceux du sud-est et de la région d'Adélaïde.

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Les limites, inférieure et supérieure, des concentrations en manganèse total des sols de ces régions sont sensiblement les mêmes que celles indiquées précédemment pour les sols des autres zones climatiques : 20 à 30 p.p.m. et 4000 à 5000 p.p.m. et, pour un même type de sol, les teneurs sont souvent très variables.

Les sols bruns, brun-rouge et bruns eutrophes, sur flysch à ciment calcaire, tufs scoriacés basaltiques et dolérite, de Nouvelle Calédonie, et sur scories basaltiques des Nouvelles Hébrides, sont dans l'ensemble riches en manganèse total : 800 à 2500 p.p.m. environ.

Nous retrouvons les mêmes écarts de concentration dans les sols ferrugineux tropicaux et dans les sols ferrallitiques, pour lesquels les teneurs dépendent étroitement de celles des roches-mères.

Sols ferrugineux tropicaux. En République Centrafricaine, les teneurs varient de 30 à 50 p.p.m. sur granite à 1500-4000 p.p.m. sur gneiss et amphibolite ; les sols sur charnockite ont de 100 à 300 p.p.m. de manganèse total. De même, à Madagascar, les sols de ce type sont très riches sur roches basiques : 3500 p.p.m., mais ceux sur schistes sont pauvres : 150 p.p.m.

Sols ferrallitiques. Nous pouvons faire les mêmes remarques en ce qui concerne les sols ferrallitiques faiblement à moyennement désaturés du Ghana : 100 à 350 p.p.m. sur granite et 2000 à 3000 p.p.m. sur débris de roches basiques,

Les krasnozems d'Australie, sur dolérite, sont également très riches : 1350 à 4250 p.p.m.

Des facteurs pédogénétiques secondaires : décomposition plus ou moins poussée de la roche-mère, évolution plus ou moins accentuée du sol, lessivage et lixiviation, peuvent cependant avoir une influence plus forte que celle de la roche sur les concentrations des sols en manganèse total. Cela peut provoquer de grandes variations dans la richesse en cet élément à l'intérieur d'une même famille de sols comme, par exemple, parmi les sols ferrugineux tropicaux sur matériaux sableux du Tchad, dont les teneurs sont comprises entre 100 et 300 p.p.m., d'une part, et 800 à 1000 p.p.m., d'autre part.

En Polynésie également, selon qu'ils sont plus ou moins dégradés et à sous-sol induré ou non, les sols ferrallitiques sur basalte renferment 640 à 1500 p.p.m. de manganèse total.

Sols hydromorphes et alluviaux. Les teneurs varient de 200-250 p.p.m. (sols hydromorphes à gley et peu humifères du Tchad sur sédiments argileux et argilo-sableux, de Polynésie sur alluvions d'origine volcanique, de Côte d'Ivoire sur schistes), à 2650-3000 p.p.m. (sols hydromorphes à gley et pseudogley sur alluvions de Madagascar et de République Centrafricaine).

Par ailleurs, les sols alluviaux du Tchad, sur sédiments limono-argileux, ont des teneurs comprises entre 100 et 1000 p.p.m.

En Inde, sur alluvions sableuses, argileuses et calcaires, les teneurs sont plus faibles : 350 à 550 p.p.m.

Les sols peu évolués, d'apport ou d'érosion sont souvent très riches en manganèse total : 700 à 900 p.p.m. en Nouvelle Calédonie sur flysch à ciment calcaire ; 2000 et 4000 p.p.m. au Tchad et en République Centrafricaine sur gneiss à amphibole et amphibolite.

De ce qui précède il résulte que différents facteurs autres que la roche-mère, tels les facteurs climatiques, et dans les diverses zones géographiques, en particulier en zones tropicales, des facteurs pédogénétiques secondaires et biogénétiques, ont une influence non négligeable quant à la teneur des sols en manganèse total.

TENEUR DES SOLS EN MANGANESE "UTILISABLE" PAR LES PLANTES

Des nombreuses études concernant le manganèse il ressort que dans les sols on peut le mettre en évidence principalement sous deux formes : une forme Mn^{2+} , soluble, mobile, facilement utilisable, et une forme Mn^{4+} , pratiquement insoluble, non mobile et non utilisable.

Le manganèse Mn^{2+} comprend :

Le manganèse soluble à l'eau, qui existe dans les sols sous forme de sels (carbonates, bicarbonates, sulfates...) facilement solubles.

Le manganèse échangeable, entraînable par l'acétate d'ammonium N à pH 7. Il est fixé sur le complexe adsorbant argilo-humique.

Le manganèse soluble aux acides dilués (acide acétique à 2,5 %, pH 2,5, acides sulfurique et chlorhydrique dilués) comprend les deux formes précédentes, mais augmentées de celle correspondant à des sels facilement solubles à pH acide (pH inférieur à 6).

Dans des conditions d'oxydation bien déterminées, sous l'action de l'oxygène de l'air ou des solutions de sol et en présence de bactéries aérobies, le manganèse Mn^{2+} se transforme en Mn^{4+} , il se forme alors $MnO_2 \cdot n H_2O$, le produit final de l'oxydation étant le bioxyde cristallisé MnO_2 (pyrolusite).

Sous forme $MnO_2 \cdot n H_2O$ le manganèse est facilement réductible, en particulier par l'hydroquinone et le chlorhydrate d'hydroxylamine à 2 % dans l'acétate d'ammonium, ou bien encore par l'hydrosulfite de soude, réducteur plus puissant.

Le manganèse Mn^{3+} , sous forme Mn_2O_3 est très difficile à mettre en évidence dans les sols. Il n'est pas soluble dans les réactifs précédents, mais seulement dans le pyrophosphate de soude. Selon certains auteurs, Mn_2O_3 serait le premier produit d'oxydation de Mn^{2+} en milieu faiblement alcalin (pH 6-7,5), selon d'autres, il proviendrait de la dismutation $MnO \cdot MnO_2$.

Il résulte de ce qui précède que, selon les auteurs, les teneurs des sols en manganèse "utilisable" par les plantes seront évaluées en : manganèse soluble à l'eau ou aux acides dilués, manganèse échangeable et manganèse facilement réductible.

Le manganèse soluble et le manganèse échangeable forment le manganèse mobile. On notera que les auteurs russes entendent, sous cette dernière appellation, le manganèse soluble dans les acides, en particulier le manganèse soluble dans l'acide sulfurique 0,1 N.

La somme du manganèse soluble, échangeable et réductible correspond au manganèse actif.

Le manganèse soluble à l'eau est très faible. Dans les sols de l'Inde (sols vertiques, sols alluviaux, sols salés à alcalis), il varie de traces à 3 p.p.m. au maximum, ce qui représente moins de 0,1 % du manganèse total. Une exception cependant : dans les sols subdésertiques de la région d'Ustyurt, en U.R.S.S., les teneurs varient de 5 à 520 p.p.m., soit 7,5 à 74 % du manganèse total.

A pH très bas, inférieur à 5, il est rapidement solubilisé dans la solution de sol, ce qui peut provoquer des phénomènes de toxicité comme cela a été observé au Congo Brazzaville.

Le manganèse échangeable est plus fort :

En zones tempérées et boréales, les teneurs sont moyennes dans les sols bruns forestiers de Pologne et de Bulgarie : 16 à 88 p.p.m., soit 1,5 à 13 % du manganèse total.

Elles sont fortes dans les podzols et les sols podzoliques : en Sibérie 100 à 460 p.p.m. ; en Norvège, dans des podzols ferrugineux et humoferrugineux : 74 à 113 p.p.m., soit 25 à 64 % du manganèse total.

En zones semi-arides et arides : les teneurs sont moyennes, également, dans les sols subdésertiques : en Ouzbékistan 7 à 50 p.p.m. (0,9 à 7,8 % du manganèse total) ; dans les sols vertiques, les sols salés et les sols alluviaux de l'Inde, il varie de 16 à 17,7 p.p.m., soit 0,1 à 19,5 % du manganèse total.

En zones tropicales : les sols ferrallitiques renferment des teneurs moyennes en manganèse échangeable : au Pakistan 101 p.p.m. ; en Inde 172 p.p.m. ; en Polynésie 120 p.p.m., ce qui correspond à 20 % du manganèse total.

Le manganèse mobile, tel qu'il est défini par les chercheurs d'U.R.S.S., représente souvent 40 à 50 % du manganèse total : dans les sols podzoliques en Biélorussie : 18 à 68 % ; dans les sols bruns forestiers en Bulgarie : 40 à 50 %.

Le manganèse facilement réductible existe souvent à des teneurs élevées :

en Allemagne, Thuringe, le pourcentage par rapport au manganèse total est compris entre 58 et 75 %.

en Inde, Rajasthan, dans les sols salés et sols à alcalis, les teneurs varient entre 4,6 et 20,5 p.p.m., ce qui correspond à 1,9-6,4 % du manganèse total. Dans différents états de ce même pays, on a dosé, dans les sols alluviaux : 61 à 258 p.p.m., soit 16,6 à 37,5 % du manganèse total : dans les vertisols : 90 à 730 p.p.m., soit 7,5 à 30 % du manganèse total et dans les sols ferrallitiques 220 à 692 p.p.m., soit 24 à 33 % du manganèse total.

D'autre part, dans des sols de l'Iowa (U.S.A.), on a extrait par l'hydrosulfite de soude : 120 p.p.m. de l'horizon A₂ de sols de prairie à fragipan, 1130 p.p.m. de l'horizon A₂ de sols lessivés et 1250 p.p.m. de l'horizon A₂ de sols bruns forestiers.

Etant donné les teneurs très différentes obtenues, comme nous venons de le montrer, par l'intermédiaire des divers réactifs utilisés, il est nécessaire de préciser sous quelle forme a été dosé le manganèse "utilisable" par les plantes.

VARIATIONS DES TENEURS DES SOLS EN MANGANESE

Quoique la teneur en cet élément soit très différente d'un sol à un autre dans un même groupe, certaines relations peuvent, cependant, être soulignées entre celle-ci et certains caractères du sol.

Dans les zones tempérées et boréales, semi-arides et arides, on observe une accumulation du manganèse dans les horizons supérieurs humifères. Cette corrélation positive avec les teneurs en humus et matière organique est valable pour le manganèse "utilisable" comme pour le manganèse total. Ils suivent la répartition de l'humus le long du profil. Ainsi, dans les podzols de Norvège, podzols humoferrugineux et podzols humiques, le manganèse échangeable passe respectivement de 112 p.p.m. dans l'horizon A₀ à 0,5 p.p.m. dans l'horizon A₂, dans un cas et de 74,8 p.p.m. à 1,9 p.p.m. pour les mêmes horizons, dans l'autre.

De même, dans un sol brun forestier sur granite de la région de l'Amour, en U.R.S.S., on a dosé 3100 p.p.m. de manganèse total dans l'horizon A₀ et 770 p.p.m. dans l'horizon A/B.

Dans les sols à profils peu différenciés, la répartition est pratiquement uniforme entre les différents horizons : sols de toundra, chernozems, en U.R.S.S.

Cette accumulation fréquente des différentes formes de manganèse dans les horizons supérieurs des sols est principalement d'origine biogénétique ; les végétaux à racines profondes l'extrait du sous-sol et lors de la décomposition de leurs débris, le manganèse qu'ils contenaient, ainsi libéré, est fixé par la matière organique et s'accumule dans les horizons humifères (VINOGRADOV, 1959).

La teneur en manganèse total varie également en fonction de la texture des sols : les sols sableux sont généralement moins riches en manganèse que les sols argileux. Ainsi au Dahomey, dans des sols ferrugineux tropicaux et dans des sols ferrallitiques, la répartition du manganèse le long des profils suit celle des argiles : la teneur augmente avec la profondeur (PINTA et al., 1961).

Mais en Inde, dans différents types de sols (sols ferrallitiques, sols alluviaux, sols désertiques, sols salés...), sur gneiss, grès, sables, dépôts éoliens, on a constaté qu'au-delà de 40 % d'argile, il existe une relation négative entre la teneur en manganèse et celle en argile des horizons de surface des sols.

En ce qui concerne les formes de manganèse "utilisable" par les plantes : manganèse soluble, échangeable, facilement réductible, tous les auteurs ont mis en évidence une relation négative entre la valeur du pH et les quantités dosées : plus le pH est alcalin, plus les teneurs sont faibles. Au-dessus de pH 7, comme nous l'avons montré précédemment, le manganèse est sous forme d'oxydes très stables, difficilement solubilisés par les réactifs utilisés.

Ainsi en Espagne, sur roches calcaires, et en Inde, Punjab, les teneurs en manganèse, autre que total, varient en raison inverse de la teneur en carbonate de chaux, le manganèse échangeable des sols salés à alcalis du Punjab est très faible : 0,3 à 0,7 % du manganèse total. De même, dans les podzols à pH très acide, comme ceux de Biélorussie, le manganèse des horizons supérieurs, lié à la matière organique sous forme de composés facilement entraînés, migre vers les horizons inférieurs où il est transformé en oxydes insolubles.

Il résulte de ce qui a été indiqué précédemment, que les facteurs pédogénétiques, climatiques (humidité, température, époque de l'année), le potentiel d'oxydo-réduction, les conditions de culture (sols vierges, sols cultivés en culture pluviale ou sous irrigation), ont une grande importance quant aux teneurs des sols en manganèse "utilisable" par les plantes.

CARENCE OU TOXICITE

Les carences en manganèse se rencontrent principalement dans les sols de pH alcalin ou sur roches-mères calcaires, dans lesquels le manganèse est immobilisé sous forme d'oxydes insolubles, mais également dans des sols très acides dans lesquels l'acidité favorise l'entraînement du manganèse qui s'y trouve sous forme de composés "très mobiles", parfois, cependant, insolubilisés en profondeur (podzols).

RYAN et al. (1967) citent certains des sols européens, de type très variable, le plus souvent carencés en manganèse total (podzols, sols tourbeux, rendzines, sols calcaires, sols sur sables...).

La carence peut aussi être provoquée par un apport intensif d'engrais contenant de la chaux à des sols acides : le manganèse est alors immobilisé.

En Inde, les chercheurs ont fixé respectivement à 3 et 100 p.p.m. les limites de carence en manganèse échangeable et réductible. En U.R.S.S., dans des sols hydromorphes à pseudogley, cette limite est égale à 150 p.p.m. de manganèse "mobile" (soluble dans l'acide sulfurique 0,1 N).

En France, le problème des carences en manganèse revêt une certaine importance, en particulier dans les terres humifères de Bretagne. COIC et COPPENET (1949) se sont tout particulièrement intéressés aux conditions d'apparition de cette carence.

Il résulte de leurs études que la carence se manifeste dans des terrains humifères, extrêmement légers, très perméables du fait de leur richesse en matières organiques et très acides à l'origine, auxquels on a apporté de fortes doses d'amendements calcaires. Un pH de 6,5 est le seuil à partir duquel apparaissent les symptômes de carence.

Des analyses faites sur les sols, il ressort que dans les sols à blé non carencé, le manganèse échangeable par l'acétate d'ammonium N à pH 7 varie de 0,97 à 1,7 p.p.m. et le manganèse réductible par l'hydroquinone de 19 à 30 p.p.m., le pH étant de l'ordre de 5,9 à 6,7. Par contre, dans les sols à blé carencé, les auteurs ont dosé respectivement 0,57 à 0,9 p.p.m. de manganèse échangeable et 14,2 à 27 p.p.m. de manganèse réductible, le pH est alors égal à 6,6.

Les auteurs estiment que l'on peut fixer à environ 1 p.p.m. la teneur minimale en manganèse échangeable nécessaire au développement normal du blé.

Des pulvérisations de sulfate de manganèse font disparaître les symptômes généraux de carence. Ceci confirme les conclusions auxquelles ont abouti les chercheurs d'autres régions.

Les toxicités s'observent le plus souvent dans les sols acides (RYAN et al., 1967). Elles sont fréquentes dans les sols des régions tropicales humides, de pH inférieur à 5. C'est le cas des sols de la vallée du Niari, au Moyen Congo, dans lesquels PREVOT et al. (1955) et FRANQUIN (1958), ont mis en évidence un phénomène de toxicité manganique pour l'arachide et le coton. Cette toxicité résulte très probablement de la destruction des complexes organiques sur lesquels le manganèse est fixé, ce qui, dans ces sols devenus très acides à la suite de quelques années de culture, entraîne la libération de fortes quantités de manganèse assimilable. En ce qui concerne l'arachide, les auteurs ont constaté qu'il existe une corrélation négative entre les teneurs en manganèse et celles en différents éléments, tels le potassium, le calcium et le magnésium.

On peut citer également un cas de toxicité manganique sur un sol ferrallitique de Madagascar, pour certaines légumineuses (coton, soja, arachide...) (N GO CHAN BANG et al., 1971).

On peut corriger ces toxicités manganiques, soit en enrichissant les sols en matière organique, ce qui accroît la fixation organique du manganèse et limite l'abaissement du pH en le tamponnant, soit en élevant le pH des sols par application de chaux.

CONCLUSION

Les différents types de sols des diverses régions et zones climatiques sont généralement riches et même parfois très riches en manganèse total, les teneurs peuvent atteindre 10000 p.p.m.

L'accumulation des différentes formes de manganèse se produit le plus souvent dans les horizons supérieurs humifères ; elle est surtout d'origine biologique.

Le manganèse est plus facilement "mobilisé" dans les sols de pH acide que dans ceux de pH alcalin ou neutre. Les différents composés du manganèse existant dans les sols sont sous la dépendance du pH et du potentiel d'oxydo-réduction, ces deux facteurs étant, dans une certaine mesure, dépendants l'un de l'autre.

Les carences des sols en manganèse "utilisable" par les plantes sont corrigées par chaulage dans le cas des sols trop acides et par apport d'engrais contenant du manganèse dans celui des sols neutres ou alcalins.

Les toxicités des sols en manganèse "utilisable" par les plantes peuvent être évitées, également, par chaulage contrôlé ou par apport de matière organique.

MOLYBDENE*

Le molybdène est présent dans la majeure partie des roches de l'écorce terrestre, mais à des teneurs généralement faibles.

La concentration des roches en molybdène augmente graduellement des roches éruptives ultra-basiques (dunités, péridotite) : 0,2 à 0,4 p.p.m., aux roches éruptives basiques (basalte, gabbro) : 1,4 p.p.m. et éruptives acides (granite...) : 1,9 p.p.m. Les roches métamorphiques (schistes) et sédimentaires (argiles) ont les plus fortes concentrations en molybdène : 2 p.p.m. environ. Dans les grès et les roches carbonatées, les teneurs sont souvent plus faibles : 0,2 à 0,4 p.p.m.

La teneur moyenne de la lithosphère est de l'ordre de 1 à 2 p.p.m. (VINOGRADOV, 1959 ; TUREKIAN et WEDEPOHL, 1961 ; KOVDA et al., 1964).

Malgré de très nombreux travaux sur la répartition du molybdène dans les sols, nous n'avons que très peu de renseignements sur les teneurs des roches-mères correspondant aux sols étudiés. Les plus complets et les plus récents proviennent de travaux faits en différentes régions d'U.R.S.S., Biélorussie en particulier, sur les roches sédimentaires.

Ainsi, l'on constate que les sables alluviaux anciens et fluvioglaciers et les limons sableux sont pauvres en molybdène : 0,28 à 0,90 p.p.m. Les limons argileux de moraine et les limons loessiques sont mieux pourvus : 0,9 à 4,9 p.p.m., les teneurs variant en fonction de la granulométrie des matériaux.

Les plus fortes concentrations en molybdène ont été dosées en U.R.S.S. dans des argiles : 2,8 à 3,7 p.p.m. et dans des schistes argileux : 4,5 à 5,7 p.p.m. Des valeurs identiques à ces dernières (3,3 à 5,7 p.p.m.) ont été obtenues dans l'analyse d'une dolérite de Tasmanie, ce qui la différencie singulièrement de celles étudiées en U.R.S.S. par VINOGRADOV et par KOVDA (cf. plus haut).

TENEUR DES SOLS EN MOLYBDENE TOTAL

Les teneurs des sols en molybdène total sont relativement faibles. Elles sont, cependant, souvent supérieures à celles des roches-mères. Dans les sols étudiés les concentrations varient de traces (différents types de sols de régions semi-arides et tropicales) à 24 p.p.m. (sols bruns forestiers d'U.R.S.S.). La moyenne est de l'ordre de 1 à 2 p.p.m.

Les variations semblent être dues d'abord aux types de sols, qui reflètent les différences existant entre les diverses zones climatiques et géographiques et à certains processus secondaires d'évolution des sols, mais à l'intérieur d'un même type de sols, elles reflètent la richesse relative des roches-mères.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Les concentrations, minimale et maximale, dosées, sont égales d'une part, à 0,07 p.p.m. (sol peu évolué d'érosion sur sédiments tertiaires en Espagne) et d'autre part, à 24 p.p.m. (sols bruns forestiers en U.R.S.S.).

Les teneurs sont souvent inférieures à 1 p.p.m. Les concentrations les plus faibles correspondent à divers sols, le plus souvent sur matériau sableux, en particulier aux podzols et sols lessivés faiblement podzoliques.

Ainsi, aux U.S.A., dans des sols de pH acide (5,1) du Wisconsin et en Lettonie, dans des sols lessivés faiblement podzoliques, sur matériau sableux, les teneurs sont comprises entre 0,2 et 0,47 p.p.m.

* Voir Annexe, Tableaux, pages 55 à 67

Cependant, même dans ces podzols et dans les sols lessivés faiblement podzoliques, les teneurs peuvent varier en fonction de celles des roches-mères sur lesquelles ils se sont formés.

C'est ainsi qu'en Ecosse, elles sont inférieures à 1 p.p.m. dans des podzols sur granite et grès et égales à 5 p.p.m. dans ce type de sols sur micaschistes. De même, en U.R.S.S., les podzols et sols podzoliques sur argiles loessiques et sables fins de Biélorussie sont pauvres en molybdène total : 0,12 à 0,35 p.p.m. alors que les mêmes sols sur sables fluvioglaciers sont mieux pourvus : 0,2 à 1,9 p.p.m., et que ceux formés sur limons argileux loessiques, matériaux eux-mêmes riches en molybdène (1,3 à 4,9 p.p.m.) ont des teneurs bien supérieures : 2,2 à 4,8 p.p.m.

En Australie, les podzols sur roche doléritique sont, eux aussi, relativement riches en molybdène total : 2,6 à 3,7 p.p.m.

Les teneurs des sols bruns forestiers sont très variables : en Bulgarie : de 0,32 p.p.m. (sur roches granitiques) à 4,5 p.p.m. (sur gneiss et schistes). En Chine du nord-est, sur basalte, et en Australie (Tasmanie), sur dolérite, on a dosé respectivement 2,2 et 3,9 à 5,1 p.p.m. de molybdène. Les teneurs les plus fortes correspondent à des sols bruns forestiers du Kouban, en U.R.S.S., elles atteignent 24 p.p.m.

Les sols tourbeux sont généralement riches en molybdène total : en Italie, 4 p.p.m. ; en U.R.S.S., Biélorussie et Kouban : 1,54 et 7,5 p.p.m. ; en Bulgarie une teneur tout-à-fait exceptionnelle, 101 p.p.m., a été trouvée dans un sol tourbeux de la région de Varna.

Les sols alluviaux plus ou moins hydromorphes ont des concentrations variables en molybdène total, souvent inférieures à 1 p.p.m. C'est le cas, en Ecosse, d'un sol hydromorphe sur schistes et en Yougoslavie (Bosnie) de sols hydromorphes à pseudogley : 0,35 à 1 p.p.m.

En U.R.S.S., Transoural, par contre, la teneur est élevée : 10 p.p.m.

Les rendzines et sols bruns calcaires ont, dans l'ensemble, des teneurs légèrement supérieures à la moyenne : en U.R.S.S., Biélorussie et Kouban, 0,5 à 2,9 p.p.m. ; en Israël, sur marnes : 3,5 p.p.m. ; en Australie sur calcaire : 2 p.p.m. dans le Queensland et 5 à 7 p.p.m. dans la région d'Adélaïde. Certaines valeurs nettement plus élevées ont même été citées pour des sols bruns calcaires de l'est de la France.

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Les différents types de sols de ces régions ont des concentrations en molybdène total généralement plus fortes que celles des sols des régions tempérées et boréales ; elles sont, en moyenne, de l'ordre de 2 à 5 p.p.m.

C'est le cas des chernozems : en Pologne, dans ceux de la plaine côtière et dans le sud, les concentrations varient de 0,5 à 3,3 p.p.m. ; en U.R.S.S., dans ceux du Kouban sur limon argileux loessique et dans ceux du Caucase, elles sont comprises entre 1 et 5 p.p.m., par contre elles atteignent 10 p.p.m. dans les chernozems et 20 p.p.m. dans un brunizem lessivé de la région à l'est de l'Oural.

Les sols bruns isohumiques sont généralement riches en molybdène total : en Israël, sur différentes roches-mères (grès calcaire, alluvions et dépôts éoliens) et en Australie (Queensland) sur sédiments argileux, on a dosé respectivement 4,6 à 6 p.p.m. et 3 à 12 p.p.m. de molybdène total.

Les vertisols ont des teneurs variables en molybdène total. C'est ainsi qu'en République Centrafricaine, dans des vertisols lithomorphes hydromorphes sur amphibolite, elles sont comprises entre des traces et 6 p.p.m. De même, en Nouvelle Calédonie, elles sont faibles dans des vertisols topomorphes sur flysch à ciment calcaire : traces à 1 p.p.m. Mais dans le Gujarat de l'Inde, elles varient de 1,2 à 4 p.p.m. dans des sols vertiques et des vertisols sur sédiments dérivés de basaltes ou sur alluvions dérivées de lave et sur calcaire. En Australie (Tasmanie), sur dolérite, elles sont du même ordre de grandeur : 2,5 à 3,5 p.p.m.

Les sols subdésertiques et les sols salés ont souvent des teneurs supérieures à 2 p.p.m.

C'est le cas, en Ouzbékistan, des sols subdésertiques formés sur limons argileux loessiques et des sols salés à alcalis : 2,6 à 4,5 p.p.m. ; en Azerbaïdjan, la teneur atteint 8 p.p.m. dans l'horizon humifère de ces mêmes sols.

Les limites de variation sont les mêmes que précédemment pour les sols du Queensland, en Australie, sur roches granitiques et alluvions, mais en Nouvelle Calédonie, les sols sur flysch à ciment calcaire sont pauvres en molybdène total : traces - 1 p.p.m.

Les teneurs dosées dans des sols rouges méditerranéens, en Israël sur calcaire dur et en Australie, sont comprises, également, entre 2 et 8,5 p.p.m.

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Les limites, maximale et minimale, des concentrations en molybdène total des sols de ces zones sont du même ordre de grandeur que celles des zones climatiques citées plus haut : des traces et 17 p.p.m.

Les concentrations des sols ferrugineux tropicaux sont le plus souvent inférieures à 1 p.p.m. : au Mali 0,50 à 0,75 p.p.m. ; au Tchad, sur matériau argilo-sableux, et en République Centrafricaine, sur granite, gneiss... : traces à 1 p.p.m. A Madagascar, cependant, dans des sols ferrugineux tropicaux sur calcaire ou schistes, on a dosé respectivement 2,6 à 9 p.p.m. de molybdène total.

Les sols ferrallitiques ont des teneurs variables en molybdène total : ceux du Dahomey et de République Centrafricaine (sur granite, migmatite...) sont pauvres : traces à 3 p.p.m. En Australie, les sols ferrallitiques humifères sur roches ignées et sur alluvions du Queensland, les krasnozems sur granodiorite et basalte ou dolérite du Queensland et de Tasmanie, sont riches : 3,3 à 6,9 p.p.m.

Les teneurs les plus fortes correspondent, à Madagascar, à des sols ferrallitiques sur granite : 14 p.p.m. et sur cipolin : 17 p.p.m.

Dans certains sols ferrallitiques les concentrations en molybdène total paraissent en liaison avec divers processus secondaires d'évolution des sols : évolution plus ou moins poussée, lessivage et lixiviation plus ou moins intenses, degré d'hydratation, etc. C'est ainsi qu'en Côte d'Ivoire, dans les sols ferrallitiques lessivés ou appauvris jaunes, sur schistes, on trouve moins de molybdène total (0,5 p.p.m.) que dans les sols rouges de même type (1,5 à 2,5 p.p.m.).

En Polynésie, également, sur basalte et basalte andésitique, les teneurs varient de traces à 2 p.p.m., selon que les sols ferrallitiques sont dégradés ou non.

Dans les sols hydromorphes comme dans les sols peu évolués de ces régions, les teneurs en molybdène total sont très variables.

Dans un sol humique à gley de Polynésie, on a dosé 2 p.p.m. de cet élément. En Inde, dans l'Uttar-Pradesh et le Gujarat, les teneurs des sols hydromorphes peu humifères sur alluvions de débris basaltiques varient de 0,4 à 3,1 p.p.m. mais en République Centrafricaine, dans des sols de même catégorie sur matériau argilo-sableux à sablo-argileux, ces valeurs, qui atteignent parfois aussi 3 p.p.m. descendent, en d'autres cas à seulement des traces.

Dans ce même pays les sols peu évolués d'érosion sur amphibolite n'ont aussi que des traces à 1 p.p.m. de molybdène total, tandis que sur itabirite, ils sont beaucoup plus riches : 4 à 5 p.p.m.

Aux Nouvelles Hébrides, les sols peu évolués d'apport sur ponces acides, sont, ainsi que ceux du Tchad, bien pourvus en cet élément : 3 p.p.m., mais ceux de Madagascar sur terrasses ou levées alluviales sableuses sont pauvres : traces à 2 p.p.m., de même que ceux sur colluvions de flysch à ciment calcaire de Nouvelle Calédonie : traces à 1 p.p.m.

TENEUR DES SOLS EN MOLYBDENE "UTILISABLE" PAR LES PLANTES

Le molybdène a un rôle biochimique très important pour les plantes. Il intervient dans le cycle de l'azote en facilitant la réduction de NO_2 en N et les légumineuses l'accumulent dans leurs nodules (EVANS, 1956).

Une carence ou un excès en molybdène des sols provoquent des maladies de carence ou de toxicité chez les plantes et les animaux qui s'en nourrissent. Il est donc très utile de connaître, outre les teneurs en molybdène total, les teneurs en molybdène "utilisable" par les plantes.

Selon les auteurs, cette forme de molybdène est extraite par :

l'oxalate ou l'acétate d'ammonium N à pH 7 ;

l'acide acétique à 2,5 %, pH 2,5 ;

la solution tampon acide oxalique-oxalate d'ammonium à pH 3,3 (réactif de GRIGG).

Ces réactifs sont tous des réactifs faibles qui n'extraient des sols que la fraction de molybdène facilement soluble. Certains auteurs utilisent également des méthodes biologiques, telles que la méthode de l'*Aspergillus Niger*, pour obtenir une estimation de cette forme de molybdène dans les sols.

Dans les sols étudiés, les teneurs en molybdène "utilisable" par les plantes sont très rarement supérieures à 1 p.p.m. Il existe une relation positive entre les teneurs des sols en molybdène total et molybdène "utilisable", les sols les plus riches en molybdène "utilisable" sont généralement ceux ayant de fortes teneurs en molybdène total.

Les sols ayant les teneurs les plus faibles en molybdène "utilisable" : 0,01 à 0,1 p.p.m., se rencontrent dans les diverses zones climatiques.

On peut citer : des podzols et des sols podzoliques en Ecosse et en U.R.S.S. : 0,015 à 0,080 p.p.m. ; des sols bruns calcaires en Yougoslavie et en U.R.S.S. : 0,025 à 0,053 p.p.m. et 0,09 p.p.m. ; certains chernozems en Bulgarie : 0,06 à 0,10 p.p.m. ; des sols peu évolués sur alluvions en Inde (Gujarat) : 0,04 à 0,13 p.p.m. et la plupart des sols des zones tropicales, tels des sols ferrugineux tropicaux au Mali et des sols ferrallitiques en Côte d'Ivoire : 0,02 à 0,06 et 0,02 à 0,11 p.p.m.

Des teneurs plus fortes en molybdène "utilisable" : 0,1 à 1 p.p.m. ont été dosées, en particulier, dans des sols tourbeux en Italie et dans des rendzines en Israël : 0,8 p.p.m. ; dans des sols hydromorphes en U.R.S.S. et en Yougoslavie : 0,10 à 1,23 p.p.m. ; dans des sols bruns isohumiques et des sols salés en Israël et en U.R.S.S. : 0,1 à 0,6 p.p.m. ; dans des sols alluviaux salés en Inde : 0,15 à 1,38 p.p.m.

Les teneurs de certains sols bruns forestiers en U.R.S.S. et celles de sols rouges méditerranéens, en Israël, atteignent 24 p.p.m.

Par ailleurs, des teneurs tout-à-fait exceptionnelles de 12 et 27 p.p.m. de molybdène "utilisable" ont été dosées respectivement dans un brunizem lessivé en U.R.S.S. (Transoural), et dans des lithosols sur argile noire aux U.S.A. (Kentucky).

Dans ces conditions et pour l'ensemble des sols étudiés, le molybdène "utilisable" par les plantes représente en moyenne 2 à 20 % du molybdène total. C'est le cas des sols ferrallitiques plus ou moins lessivés jaunes, ocre-rouge et rouges en Côte d'Ivoire. En Italie, le molybdène "utilisable" représente 9 % du molybdène total dans les sols peu évolués sur alluvions et 20 % dans les sols tourbeux. En U.R.S.S., le pourcentage varie de 7 à 15 % dans les podzols et sols podzoliques et est de l'ordre de 20 % dans les sols tourbeux. Les pourcentages sont plus forts dans les sols hydromorphes en Yougoslavie et en Israël : 27 à 31 et 35,8 %. Ils atteignent 59 % dans les podzols d'U.R.S.S. (Biélorussie) et 50 et 65 % dans certains sols salés à alcalis sur alluvions dans l'Uttar-Pradesh en Inde.

VARIATIONS DES TENEURS DES SOLS EN MOLYBDENE

Si l'on étudie la répartition du molybdène entre les différents horizons des profils de sols, on constate qu'il y a généralement accumulation de cet élément dans les horizons supérieurs et en particulier dans les horizons humifères. Le molybdène est fixé par la matière organique et l'humus, sa teneur varie en fonction de celle en humus. C'est ainsi que dans les chernozems la répartition est uniforme le long du profil. Dans les podzols et sols podzoliques, l'accumulation se produit au niveau de l'horizon B illuvial. Dans cet horizon, le molybdène est fixé par les oxydes de fer et d'alumine, sa teneur augmente en même temps que celle des hydrates.

La teneur en molybdène varie également avec la texture du sol. Les sols argileux sont plus riches en molybdène que les sols sableux et la répartition de cet élément le long du profil des sols suit celle des matériaux argileux, ceci étant particulièrement net pour certains sols tropicaux : Dahomey, Côte d'Ivoire (PINTA et al., 1961 ; RIANDEY, 1964).

On a vu précédemment l'influence de la roche-mère sur la teneur des sols en molybdène, les sols sur roches-mères acides peuvent être plus riches en molybdène que ceux sur roches-mères basiques.

La valeur des précipitations pluviales et l'effet de la mise en culture des sols ont une certaine importance quant à leur teneur en molybdène "utilisable" : le molybdène "utilisable" diminue quand la pluviométrie est forte et les sols vierges sont souvent plus riches en cette forme de molybdène que les sols cultivés ; cependant, dans certains podzols, elle paraît s'accumuler pendant la période de culture.

Le molybdène "utilisable" par les plantes varie aussi en fonction du pH du sol. Plus le pH est alcalin, plus le pourcentage en molybdène "utilisable" augmente ; dans les sols de pH acide le molybdène est fortement fixé par les hydrates de fer et d'alumine, les phosphates, les argiles.

CARENCE OU TOXICITE

De nombreux facteurs interviennent donc pour provoquer les carences ou toxicités en molybdène, le pH étant l'un des plus importants (DAVIES, 1956).

Les cas de carence les plus fréquents se rencontrent dans les sols acides et très acides : podzols, sols podzoli-ques, sols à cuirasse ferrugineuse, dans lesquels le molybdène se trouve sous forme de composés peu facilement solubles. Les sols à texture grossière, certains sols alluviaux peuvent, aussi, être carencés en molybdène, de même que les sols à faible teneur en humus (cas des sols tropicaux).

En France, de graves carences en molybdène ont été mise en évidence sur les sols fersiallitiques de la Costière du Gard, en Crau sur des sols décalcifiés et, sur les contreforts du plateau de Vaucluse, sur des sols détritiques à pH 7, dépourvus de calcaire. Le dosage du molybdène échangeable a donné 0,10 à 0,14 p.p.m. en Costière du Gard et 0,28 p.p.m. dans les sols de Vaucluse.

On remédie à ces carences par un chaulage qui agit sur le pH et par apport d'engrais contenant du molybdène, principalement sous forme de molybdate de soude pulvérisé. L'amélioration des récoltes est, alors, souvent importante (GOUNY et al., 1970).

Les toxicités sont souvent liées à des sols de texture lourde formés sur matériaux calcaires, sédiments marins ou schistes argileux. Les toxicités se rencontrent, également, dans les sols tourbeux et certains sols à gley (RYAN et al., 1967).

CONCLUSION

Le molybdène, élément indispensable aux plantes et aux animaux, se trouve dans les sols à des concentrations comprises entre des traces et 20 p.p.m.

Les sols à forte teneur en humus et les sols des régions semi-arides ont, généralement, les plus fortes teneurs en cet élément.

Certains processus pédogénétiques, provoquant l'accumulation du molybdène dans les sols, semblent avoir un rôle plus important que les roches-mères quant aux teneurs en molybdène total.

Le molybdène "utilisable" par les plantes varie de 0,01 à 12 p.p.m. Il est, en particulier, lié au pH du sol. Les carences en molybdène sont associées aux sols de pH acide et à ceux à texture grossière.

On corrige les carences par chaulage et apport d'engrais contenant du molybdène et les toxicités par des amendements acides.

NICKEL*

La plupart des roches de l'écorce terrestre renferment du nickel, mais les teneurs sont fonction des roches étudiées.

Ainsi, les concentrations sont maximales dans les roches ultrabasiqes (dunite, péridotite) : 1200 à 2000 p.p.m. et dans les produits de leur métamorphisme (serpentinite en particulier) ; 500 p.p.m. Dans quelques cas où ces roches ont donné naissance à des minerais de cet élément, comme certaines dunites, les chiffres obtenus sont encore plus élevés et dépassent 3000 p.p.m. (Nouvelle Calédonie)..

Les teneurs sont fortes dans les roches éruptives basiques (basalte, gabbro...) : 150 p.p.m. et relativement faibles dans les roches éruptives acides (granite) : 5-10 p.p.m.

Les teneurs moyennes correspondent aux roches métamorphiques et sédimentaires : certains grès complexes : 90 p.p.m. ; limons et argiles : 90-100 p.p.m. ; limons loessiques : 20-30 p.p.m.

Les roches calcaires sont moins riches en cet élément : 10-20 p.p.m., ainsi que certaines roches quartzieuses dont la teneur peut descendre jusqu'à 2 p.p.m.

La teneur moyenne en nickel de la lithosphère est environ 100 p.p.m. (VINOGRADOV, 1959 ; TUREKIAN et WEDEPOHL, 1961 ; KOVDA et al., 1964).

Les données bibliographiques récentes concernant les analyses de roches confirment ces valeurs moyennes : en Australie, Tasmanie, dans la dolérite, le nickel varie de 8 à 140 p.p.m. (moyenne 50 p.p.m.). En U.R.S.S., Biélorussie, les teneurs sont comprises entre 20 et 40 p.p.m. dans des limons argileux loessiques et des argiles glaciaires lacustres ; dans la région de l'Amour, les granites ont moins de 5 p.p.m. de nickel et les alluvions sableuses très anciennes environ 12 p.p.m. ; dans la péninsule de Kola, par contre, des schistes cristallins à intrusion de norite sont très riches : 300 p.p.m. pour l'ensemble et 85 p.p.m. pour la moraine argileuse qui les recouvre.

TENEUR DES SOLS EN NICKEL TOTAL

Les concentrations des sols en nickel total varient dans de larges limites : teneur minimale : traces non dosables (dans différents types de sols des diverses zones climatiques), teneur maximale : 5000 p.p.m. (horizon B₂ d'un sol ocre podzolique en Ecosse). Cette teneur est même dépassée dans les minerais de nickel, là où, comme en certains points de Nouvelle Calédonie, ils ne sont que des horizons pédologiques indurés.

Ces variations se produisent, d'une part, en fonction des roches sur lesquelles les sols se sont formés, d'autre part, en fonction des divers types de sols et par conséquent, jusqu'à un certain point, en fonction des grandes zones climatiques et écologiques

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Les teneurs en nickel total des sols de ces régions sont comprises entre des traces et 500 p.p.m. La teneur moyenne est de l'ordre de 20 à 30 p.p.m.

Les sols peu évolués sur matériau sableux, les sols tourbeux, les podzols et les sols lessivés podzoliqes ont souvent les plus faibles teneurs en nickel : en U.R.S.S., vallée de la basse Volga, des sols sur sables alluviaux anciens ou fluvioglaciaires et en Biélorussie des sols lessivés faiblement podzoliqes, ont des teneurs variant de traces à 20 p.p.m. ; les sols sur sables marins quaternaires sont plus riches : 7-30 p.p.m. ; en Roumanie, région de Olt, les podzols sont pauvres en nickel total : 2,7 p.p.m.

* Voir Annexe, Tableaux, pages 69 à 74

L'influence de la teneur en nickel de la roche-mère sur celle des sols est particulièrement nette à l'intérieur de ces types de sols.

C'est ainsi qu'en Ecosse, les teneurs sont faibles dans des podzols hydromorphes à alios et à horizon A₀ tourbeux sur granite ou grès : 4 et 8 p.p.m. ; elles sont fortes dans des sols de même type sur granito-gneiss et micaschistes : 40-80 p.p.m. et un sol ocre podzolique sur serpentinite est extrêmement riche : 600 p.p.m. dans l'horizon de surface, 500 p.p.m. dans l'horizon B₂.

De même, en U.R.S.S., dans la péninsule de Kola, des sols lessivés faiblement podzoliques, formés sur schistes cristallins, matériaux eux-mêmes très riches en nickel, ont des concentrations en cet élément très supérieures à la moyenne : 300 p.p.m. dans l'horizon A₀.

Les autres types de sols ont, dans ces régions, des teneurs moyennes :

Sols bruns forestiers : en U.R.S.S., région de l'Amour, sur alluvions lacustres et en Ecosse sur moraine à base de galets et débris de roches andésitiques, les concentrations varient de 18 à 25 p.p.m. ; en Chine du nord-est, sur basalte, et en Australie, Tasmanie, sur dolérite, elles sont plus fortes : 20-51 p.p.m.

Nous retrouvons des concentrations du même ordre de grandeur dans les rendzines : en Australie, régions d'Adélaïde et du sud-est : 12-38 p.p.m. ; à Madagascar, sur calcaire gréseux : 59 p.p.m.

Les teneurs en nickel total des sols de prairie hydromorphes sont soit moyennes, soit fortes : en U.R.S.S., région de l'Amour, sur dépôts d'inondation stratifiés : 23-42 p.p.m. ; le long des rives de la Moscova : 70-110 p.p.m.

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Les sols de ces zones climatiques ont des teneurs en nickel total généralement supérieures à celles des sols des zones tempérées ou boréales. Elles varient de 5 à 300 p.p.m., la moyenne étant environ 50 p.p.m.

C'est le cas des chernozems : en Roumanie : 17-30 p.p.m. ; en U.R.S.S., région de l'Amour, sur alluvions lacustres : 50 p.p.m., mais dans le bassin Oural-Sakmara, sur déluvium de serpentinite, les teneurs atteignent 133 p.p.m.

En ce qui concerne les vertisols, les concentrations sont variables, mais souvent égales ou supérieures à la moyenne : en Nouvelle Calédonie, dans un vertisol sur flysch à ciment calcaire on a dosé 24 p.p.m. de nickel total, et en Australie, Tasmanie, sur dolérite : 30 p.p.m.

En Inde, à Madagascar sur marnes et basalte, au Tchad sur sédiments argilo-sableux, les teneurs de ces sols varient de 30 à 90 p.p.m. ; elles sont plus élevées à Madagascar dans des sols de ce type formés sur alluvions : 115 p.p.m. et en République Centrafricaine dans des vertisols lithomorphes sur amphibolite : 60-300 p.p.m.

Les sols salés (solonetz, sols salés à alcalis) ont des concentrations du même ordre de grandeur : en Australie, en Nouvelle Calédonie sur flysch à ciment calcaire, les sols renferment 1 à 20 p.p.m. de nickel total ; en U.R.S.S., dans le bassin Or'-Kumak sur croûte d'altération de roche basique, au Turkménistan, au Tchad sur sédiments argileux, les solonetz et les sols salés à alcalis sont plus riches : respectivement 50 à 75 p.p.m., 40 à 100 p.p.m. et 10 à 50 p.p.m.

En Australie, la teneur en nickel des sols rouges méditerranéens est comprise entre 5 et 54 p.p.m.

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Nous retrouvons les mêmes limites de variation que pour les sols des autres zones climatiques : d'une part des traces (en Nouvelle Calédonie dans des sols humocarbonatés hydromorphes sur flysch à ciment calcaire), d'autre part, 500 p.p.m. (en Polynésie dans des sols alluviaux sur alluvions d'origine volcanique) et même bien davantage en certains points de Nouvelle Calédonie.

L'influence de la teneur en nickel de la roche-mère est très nette dans le cas des sols tropicaux.

C'est ainsi qu'au Ghana, des sols ferrallitiques faiblement à moyennement désaturés ont des teneurs en nickel total différentes selon la roche-mère : 10 à 20 p.p.m. sur granite ; 25 à 50 p.p.m. sur phyllade et 100 p.p.m. sur matériau provenant de roche basique.

Nous retrouvons les mêmes variations à Madagascar, pour des sols ferrallitiques sur différentes roches-mères : sur granite 26 p.p.m. sur basalte 85 p.p.m., sur cipolin jusqu'à 230 p.p.m. et sur gneiss jusqu'à 250 p.p.m.

Ceci est vrai, également, pour les sols ferrugineux tropicaux : à Madagascar, ceux formés sur basalte sont plus riches que ceux formés sur grès : 60 et 20 p.p.m.

Dans les krasnozems d'Australie, les teneurs sont souvent très élevées ; 100 p.p.m. sur dolérite en Tasmanie, 290 à 300 p.p.m. sur la même roche-mère au Queensland.

Nous pouvons constater, également, que dans une même région, pour un même type de sol, sur une même roche-mère, les teneurs sont parfois très variables. Ainsi, en République Centrafricaine, des sols ferrallitiques renferment :

- sur migmatite : 2 à 10 p.p.m. et 300 p.p.m.
- sur gneiss : 3 à 15 p.p.m. et 60 à 100 p.p.m.
- sur amphibolite : 25 p.p.m. et 60 à 100 p.p.m.

Les sols ferrugineux tropicaux présentent aussi des différences importantes : sur gneiss et amphibolite, suivant les points, 10 à 60 p.p.m. dans certains cas et 100 à 300 p.p.m. dans d'autres, quelle que soit la roche.

Ces différences pourraient être dues à l'action de processus secondaires d'évolution : décomposition plus ou moins intense de la roche-mère, lessivage, appauvrissement ou lixiviation plus ou moins poussés du sol, etc.

Ainsi, en Polynésie, des sols ferrallitiques formés sur basalte et basalte andésitique ont 15 à 25 p.p.m. de nickel d'une part et 100 à 290 p.p.m. d'autre part, selon qu'ils sont très dégradés ou non.

Les sols alluviaux plus ou moins hydromorphes, ont généralement des teneurs moyennes en nickel total. En République Centrafricaine sur alluvions, au Tchad sur sédiments argilo-sableux et à Madagascar sur alluvions, les sols hydromorphes à gley ou pseudogley renferment 20 à 30 p.p.m. et 45 à 60 p.p.m. de nickel total. En Côte d'Ivoire, des sols hydromorphes à pseudogley sur schistes ont des teneurs comprises entre 5 et 50 p.p.m., mais en Polynésie, les concentrations en nickel total peuvent atteindre 500 p.p.m. dans des sols hydromorphes humiques à gley sur alluvions d'origine volcanique.

Dans les sols peu évolués d'apport ou d'érosion, les teneurs en nickel total sont très variables : relativement faibles au Tchad dans des sols sur gneiss : 10 p.p.m., elles sont moyennes en République Centrafricaine dans des sols peu évolués d'érosion sur amphibolite : 25-30 p.p.m. et aux Nouvelles Hébrides dans des sols peu évolués d'apport formés sur ponces acides recouvrant des scories basiques : 10-90 p.p.m. ; mais elles sont fortes à Madagascar dans des sols de terrasse inondable et de levée alluviale sur limons sableux et sédiments argilo-sableux : 178 et 120 p.p.m.

TENEUR DES SOLS EN NICKEL "UTILISABLE" PAR LES PLANTES

Le nickel "utilisable" par les plantes est rarement étudié et les réactifs d'extraction varient selon les auteurs : acide acétique à 2,5 %, pH 2,5 en Ecosse, acide chlorhydrique N en U.R.S.S.

Les quantités de nickel extraites par l'acide acétique à 2,5 %, réactif relativement faible, représentent environ 2 % du nickel total. En Ecosse, elles varient de 0,09 p.p.m., dans un podzol hydromorphe à alios sur granite, à 1-4 p.p.m. dans un sol ocre podzolique sur serpentinite, très riche en nickel total.

Les pourcentages de nickel extrait par l'acide chlorhydrique N sont plus forts : c'est le cas en U.R.S.S. des sols lessivés faiblement podzoliques et des sols tourbeux de la péninsule de Kola : 7-20 % du nickel total (2,1-60 p.p.m.) d'une part et 9-40 % (4,2-4,9 p.p.m.) d'autre part ; les sols châtaîns, les sols salés à alcalis et les solonetz du bassin Or'-Kumak ont eux aussi des teneurs relativement fortes en nickel "utilisable", 14 et 9,8 p.p.m. dans les horizons supérieurs, soit 13 à 18 % du nickel total.

VARIATIONS DES TENEURS DES SOLS EN NICKEL

La répartition du nickel entre les différents horizons des profils de sols suit celle de l'humus et de la matière organique. Il y a généralement accumulation du nickel dans les horizons supérieurs. Ainsi, en Polynésie, dans des sols peu évolués bruns, pierreux, on a dosé 25 p.p.m. de nickel total dans l'horizon supérieur, s'il est peu humifère et 250 p.p.m. s'il est très riche en humus. Dans les chernozems le nickel est uniformément réparti tout le long des profils, comme l'est la matière organique elle-même. Dans les podzols et les sols podzoliques, les concentrations sont plus fortes dans les horizons B illuviaux, riches en humus.

Les teneurs sont également assez élevées dans les horizons à gley, peu humifères mais argileux, des sols hydromorphes, car elles varient en fonction de la texture : les sols argileux sont plus riches en nickel que les sols sableux (PASTERNAK et al., 1969). Les argiles fixent le nickel et, dans les sols tropicaux (sols ferrallitiques du Dahomey, de Côte d'Ivoire, d'Australie), on observe une augmentation des concentrations en nickel avec la profondeur, en même temps qu'une augmentation de la teneur en argile.

Il peut y avoir aussi une accumulation du nickel dans certains horizons très riches en sesquioxydes de fer ou d'alumine.

Nous avons noté, précédemment, l'importance non négligeable des teneurs en nickel des roches-mères quant aux teneurs des sols en cet élément.

TOXICITE DU NICKEL

On a mis en évidence certains cas de toxicité du nickel, en particulier dans les sols ocre podzoliques et les sols hydromorphes à gley sur serpentinite et schistes d'Ecosse (RYAN et al., 1967) et sur certains sols ferrallitiques sur roches ultrabasiques, en Nouvelle Calédonie.

CONCLUSION

On trouve du nickel à des teneurs variables dans tous les types de sols des diverses zones climatiques du globe, les teneurs sont comprises entre des traces et 500 p.p.m.

Les sols des régions semi-arides et arides ont souvent des concentrations plus fortes que les sols des zones tempérées et tropicales.

Les teneurs en nickel des sols varient tout d'abord en fonction de celles des roches-mères en cet élément, mais d'autres facteurs interviennent également dans la répartition : type de sol, degré d'évolution, teneur en fractions fines et en sesquioxydes métalliques et surtout teneur en humus, le nickel étant essentiellement un élément d'accumulation biogénétique.

Les sols les plus riches en nickel sont souvent formés sur roches basiques et renferment de fortes teneurs en humus.

37 fiches bibliographiques

550 dosages faits au laboratoire de Spectrographie des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M.

PLOMB*

Les données bibliographiques récentes sur la répartition du plomb dans les sols sont relativement peu nombreuses. Les auteurs semblent, d'ailleurs, avoir étudié cet élément principalement en fonction de la toxicité qui peut résulter de teneurs trop fortes.

Cependant, au laboratoire de Spectrographie du Service de Pédologie des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M., nous l'avons dosé dans un assez grand nombre de sols tropicaux, ce qui nous a permis de mieux connaître sa répartition dans ces sols.

On peut mettre le plomb en évidence dans toutes les roches de l'écorce terrestre :

roches éruptives basiques (basalte, gabbro...) : 8 p.p.m.

roches éruptives acides (granite, rhyolite...) : 20 p.p.m.

Les teneurs sont du même ordre de grandeur dans les roches intermédiaires (diorite, andésite), dans les roches métamorphiques (schistes) et dans certaines roches sédimentaires (argiles) : 15 à 20 p.p.m.

Dans les grès et calcaires, elles sont moyennes : 7 à 10 p.p.m.

Dans la lithosphère la concentration moyenne en plomb est environ 16 p.p.m. (SWAINE, 1955 ; VINOGRADOV, 1959 ; TUREKIAN et WEDEPOHL, 1961).

Les seuls résultats analytiques que nous ayons sur la teneur en plomb des roches-mères correspondant aux sols étudiés proviennent d'U.R.S.S., péninsule de Kola : schistes cristallins avec intrusion de norite : 50 p.p.m. ; moraine argilo-sableuse recouvrant ces schistes : 50 p.p.m.

TENEUR DES SOLS EN PLOMB TOTAL

Les sols sont souvent plus riches en plomb que les roches dont ils dérivent. Les concentrations dosées dans les différents types de sols étudiés sont comprises entre : des traces (divers types de sols tropicaux) et 1200 p.p.m. (podzols du Canada). La teneur moyenne est de l'ordre de 15 à 25 p.p.m.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Les teneurs en plomb des sols de ces régions sont souvent supérieures à la concentration moyenne.

Les podzols ont des teneurs variables, généralement assez fortes, qui dépendent étroitement de la roche-mère.

Ainsi, en Ecosse, les teneurs varient de 20 p.p.m., dans des sols ocre podzoliques sur serpentinite et gabbro à olivine, à 70-80 p.p.m. dans des podzols sur granito-gneiss et micaschistes, les sols de même type sur granite et gneiss renfermant 50 et 40 p.p.m. de plomb.

Les concentrations les plus fortes et, de beaucoup supérieures à la moyenne, ont été dosées au Canada (Nouveau Brunswick) dans des podzols sur sédiments riches en sulfures : 1041 p.p.m. (dans l'horizon L-H) et 1290 p.p.m. (dans l'horizon B₁), par contre, sur d'autres sédiments la teneur en plomb des podzols de cette même région est comparable à celles des podzols d'Ecosse citées ci-dessus : 73 p.p.m. (horizon L-H) et 35 p.p.m. (horizon B₁).

* Voir Annexe, Tableaux, pages 75 à 78

Dans les sols hydromorphes, les teneurs sont du même ordre de grandeur. En Allemagne, Westphalie, et en Ecosse dans un sol hydromorphe à gley sur schistes, on a dosé de 11 à 80 p.p.m. d'une part, et 50 p.p.m. de l'autre.

Les sols bruns forestiers ont des teneurs comprises entre 25 et 40 p.p.m., que ce soit en Chine du nord-est sur basalte ou en Ecosse sur moraine andésitique.

On a dosé également 20 p.p.m. de plomb dans une rendzine noire sur calcaire gréseux, à Madagascar.

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Les teneurs en plomb des différents types de sols de ces régions sont très variables ; elles sont dans l'ensemble du même ordre de grandeur que celles citées précédemment.

Ainsi des chernozems du bassin Oural-Sakmara, en U.R.S.S., ont en moyenne 11 p.p.m. de plomb sur serpentinite et 25 p.p.m. sur sédiments secondaires et tertiaires.

Les teneurs sont plus faibles dans les sols isohumiques subarides sur matériau argilo-sableux du Tchad : traces à 15 p.p.m.

Les vertisols ont des teneurs variables : les vertisols topomorphes sur flysch à ciment calcaire, en Nouvelle Calédonie, sont pauvres : moins de 2 p.p.m. ; les vertisols lithomorphes hydromorphes sur amphibolite, en Côte d'Ivoire, sont mieux pourvus : 5 p.p.m. ; mais au Tchad sur sédiments argilo-sableux ainsi qu'à Madagascar sur alluvions, les teneurs varient de 20 à 45 p.p.m. dans des sols de ce type.

Nous retrouvons des variations du même ordre de grandeur dans les sols subdésertiques et les sols salés : en U.R.S.S., les sols subdésertiques sur limon argileux de la région d'Ustyurt renferment 42 à 80 p.p.m. de plomb. Les sols salins, sur sédiments argileux au Tchad, et sur alluvions à Madagascar, ont respectivement 1 à 10 p.p.m. et 22 p.p.m. (en moyenne) de plomb.

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Dans les sols de ces zones climatiques nous retrouvons les mêmes limites, minimale et maximale, que précédemment : traces et 30 à 50 p.p.m.

Nous avons dosé des concentrations très peu élevées dans des sols bruns eutrophes et brun-rouge, sur flysch à ciment calcaire en Nouvelle Calédonie et sur scories basiques aux Nouvelles Hébrides : 1-2 et 4 p.p.m.

En ce qui concerne les sols ferrugineux tropicaux : en République Centrafricaine, les teneurs en plomb varient de moins de 3 p.p.m. (sur charnockite) à 20 p.p.m. (sur gneiss, amphibolite, migmatite). Au Tchad, sur sédiments argilo-sableux, les concentrations sont comprises entre 3 et 30 p.p.m. ; à Madagascar, sur schistes, grès ou calcaire, la teneur moyenne est plus élevée : 20 à 30 p.p.m. D'ailleurs, toujours à Madagascar, on a dosé jusqu'à 175 p.p.m. de plomb dans un sol ferrugineux tropical sur roche basique.

Les sols ferrallitiques ont, eux aussi, des teneurs assez variables en plomb total. Elles sont très faibles, en Polynésie, dans des sols ferrallitiques plus ou moins dégradés, à sous-sol induré ou non : moins de 1 p.p.m. ; en République Centrafricaine, dans des sols ferrallitiques faiblement désaturés sur différentes roches-mères (charnockite, gneiss, migmatite...), elles vont de moins de 3 p.p.m. à 30 p.p.m. ; elles sont plus fortes au Tchad sur arkose et grès arkosique : 10 à 30 p.p.m., au Dahomey sur sédiments tertiaires sablo-argileux : 23 p.p.m. et à Madagascar sur calcaire, basalte, granite ou gneiss : 10 à 50 p.p.m.

Sols plus ou moins hydromorphes sur alluvions. En Polynésie, les sols alluviaux hydromorphes plus ou moins humifères (alluvions d'origine volcanique) sont pauvres en plomb : 1 à 3 p.p.m. En République Centrafricaine, au Tchad, à Madagascar, les teneurs en plomb dosées dans les sols de ce type, sont respectivement : moins de 3 et 30 p.p.m., 20 à 50 p.p.m. et 25 à 30 p.p.m.

Sols peu évolués d'apport. A Madagascar, les sols sur matériau sablo-argileux sont riches en plomb total : 35 à 50 p.p.m. Par contre, ceux de Polynésie sur éboulis basaltiques, ceux de Nouvelle Calédonie sur colluvions de flysch à ciment calcaire et ceux des Nouvelles Hébrides sur ponces acides et scories basiques ont des teneurs faibles : 1 à 2 et 2 à 5 p.p.m.

TENEUR DES SOLS EN PLOMB "UTILISABLE" PAR LES PLANTES

Le réactif d'extraction utilisé est, suivant les cas, l'acide acétique à 2,5 %, à pH 2,5 ou l'acide nitrique dilué.

Le premier a été spécialement employé en Grande Bretagne. En Ecosse il permet d'extraire 4 à 12 % du plomb total d'un sol ocre podzologique et d'un podzol à alios ; au Pays de Galles, dans des sols sur rhyolite, dolérite, tuf de pierre ponce et débris de différentes roches-mères, cette forme du plomb correspond à 1 à 4,3 % du plomb total.

Selon VINOGRADOV (1959) l'acide acétique extrairait environ 30 % et l'acide nitrique 60 % du plomb total, Il est difficile, cependant, de conclure sur ces formes de plomb dans les sols, les renseignements utiles étant en nombre trop restreint.

VARIATIONS DES TENEURS DES SOLS EN PLOMB

On ne constate pas, en général, de très grandes variations dans la répartition du plomb entre les différents horizons des profils.

La teneur en plomb varie cependant, plus ou moins, en fonction de la teneur en humus et matière organique. On observe le plus souvent, une accumulation du plomb dans les horizons supérieurs des sols.

Cette accumulation du plomb dans les horizons supérieurs est particulièrement nette pour les podzols et sols podzologiques d'Ecosse, pour les sols tourbeux et les sols lessivés faiblement podzologiques du nord de la péninsule de Kola et pour certains chernozems peu développés du bassin Oural-Sakmara, en U.R.S.S. Selon les auteurs (SWAINE et al., 1960 ; DOBROVOL'SKIY et al., 1964 ; KRYM, 1964), elle serait d'origine biogénétique (accumulation par les plantes).

Dans les chernozems bien développés du bassin Oural-Sakmara, la teneur en plomb reste, par contre, constante dans les divers horizons.

D'autre part, le plomb s'accumule dans les horizons B illuviaux humifères des podzols (podzols sur sédiments riches en sulfures du Nouveau Brunswick, au Canada) et dans les horizons à gley peu humifères mais plus argileux (podzols d'Ecosse).

En effet, la teneur en plomb varie aussi en fonction de la teneur en argile des sols. Dans les sols tropicaux on a montré que le plomb a tendance à augmenter en même temps que l'argile, en fonction de la profondeur de l'horizon (cas des sols du Dahomey, PINTA et al., 1961).

TOXICITE DU PLOMB

Certains sols, situés à proximité des mines de plomb, sont très riches en cet élément, les teneurs pouvant atteindre 5000 p.p.m., ce qui provoque une toxicité des plantes et des eaux pour les animaux.

Des essais, faits aux U.S.A. sur solutions nutritives, ont montré que la toxicité du plomb, pour les plantes, varie avec le pH : plus le pH est alcalin, plus le plomb est toxique à de faibles teneurs (RASMUSSEN, 1963).

CONCLUSION

Les sols ont des teneurs en plomb légèrement supérieures à celles des roches-mères. La teneur moyenne est de l'ordre de 15 à 20 p.p.m.

Les sols des zones tempérées et boréales ont des teneurs en plomb un peu supérieures à celles des sols des zones semi-arides et arides ou tropicales.

Le plomb s'accumule dans les horizons humiques et argileux des sols.

13 fiches bibliographiques

500 dosages faits au laboratoire de Spectrographie des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M.

SELENIUM*

Le sélénium n'est pas un élément très répandu dans les roches. On le trouve principalement sous forme d'impureté des roches sulfurées. VINOGRADOV (1959) ne cite qu'une teneur : 0,5 p.p.m., dans les roches éruptives, qu'elles soient basiques ou acides ; dans les roches métamorphiques et sédimentaires (argiles), la teneur moyenne est légèrement supérieure : de l'ordre de 0,6 p.p.m., à l'exception des roches carbonatées où elle atteint 0,8 p.p.m. (TUREKIAN et WEDEPOHL, 1961). La teneur moyenne de l'écorce terrestre est environ 0,8 p.p.m.

Cependant, en diverses régions du globe, aux U.S.A. notamment, on trouve des roches dont les teneurs en sélénium sont relativement fortes. Ce sont, pour la plupart, des schistes et argiles anciens. Selon VINOGRADOV (1959), l'enrichissement en sélénium de ces roches serait dû à la fixation de cet élément par $\text{Fe}(\text{OH})_3$ lors de leur formation au secondaire, soit directement à partir de la mer où ils se déposaient, soit indirectement à partir des dégagements volcaniques, sulfurés et autres, riches en sélénium, abondants à cette époque géologique. D'un grand nombre d'analyses faites sur ces schistes, il ressort que les pyrites et limonites qu'ils renferment peuvent avoir jusqu'à 200 p.p.m. de sélénium.

Les données bibliographiques citées concernant les teneurs des roches en sélénium confirment ce qui précède :

en Nouvelle Zélande, la teneur moyenne est aux environs de 0,4 p.p.m. ;

en Angleterre et au Pays de Galles, on a dosé : dans des schistes provenant du métamorphisme de dépôts marins : 2 à 24 p.p.m. ; dans des ardoises pyriteuses noires : 4,5 à 6,5 p.p.m. ; dans des schistes pyriteux : 2,5 à 6 p.p.m.

TENEUR DES SOLS EN SELENIUM TOTAL

La teneur des sols en sélénium total dépend essentiellement de la teneur des roches-mères ; elle est le plus souvent très faible : la concentration moyenne des sols d'U.R.S.S., selon VINOGRADOV (1959), est de l'ordre de 0,01 p.p.m.

SWAINE (1955) a rassemblé un grand nombre de résultats d'analyses provenant surtout des U.S.A. et des pays du Pacifique. La plupart de ces sols ont de 0,1 à 2 p.p.m. de sélénium total.

Ainsi, au Japon, dans des sols formés sur alluvions, les teneurs sont comprises entre 0,4 et 0,9 p.p.m. en surface, 0,8 et 1,2 p.p.m. en profondeur.

Au Mexique, la teneur moyenne varie de 0,4 à 3,5 p.p.m. en surface et 0,03 à 2,1 p.p.m. en profondeur.

En Nouvelle Zélande, sur des roches ayant des concentrations moyennes de l'ordre de 0,4 p.p.m., on a dosé 0,6 p.p.m. dans l'horizon A et 1,4 p.p.m. dans l'horizon B.

Dans les régions où les roches-mères sont très riches en sélénium les sols ont également de fortes teneurs en cet élément, c'est en particulier le cas de certains sols du Canada ou des U.S.A.

Au Canada (Manitoba, Alberta, Saskatchewan), on a dosé 0,1 à 6 p.p.m. de sélénium.

Aux U.S.A. (Etats du centre et de l'ouest), la concentration moyenne est comprise entre 1 et 7 p.p.m.

A Porto-Rico, dans des sols limono-argileux sur schistes, les teneurs varient, en surface, de 2 à 10 p.p.m., en profondeur de 3 à 12 p.p.m.

* Voir Annexe, Tableau, page 79

En Angleterre et en Irlande, on trouve également des sols très riches en sélénium. En Angleterre et au Pays de Galles, des sols mal drainés, formés sur schistes marins provenant du métamorphisme de vases marines, ont donné 1,5 à 7 p.p.m. et des sols, également mal drainés sur schistes pyriteux 0,2 à 4 p.p.m. En Irlande, les sols se sont formés sur dépôts de lacs glaciaires; les concentrations en sélénium sont comprises entre 0,3 et 1,9 p.p.m. dans les sols minéraux, et entre 2,5 et 37 p.p.m. dans les sols organiques. Des teneurs tout-à-fait exceptionnelles de 360 à 1200 p.p.m. ont même été mises en évidence dans les horizons 0-15 et 15-30 cm d'un sol tourbeux.

VARIATIONS DE LA TENEUR DES SOLS EN SELENIUM

Nous avons montré précédemment l'influence prépondérante de la roche-mère sur la teneur des sols en sélénium, mais certains caractères du sol interviennent également

Le sélénium varie en fonction de la teneur en matière organique et humus : en Irlande les sols tourbeux organiques sont plus riches que les sols minéraux et les plus fortes concentrations correspondent aux horizons dans lesquels la matière organique est seulement partiellement décomposée.

La teneur en sélénium varie également en fonction de la texture du sol. Les sols lourds sont plus riches que les sols légers (GARDINER et al., 1963). Elle augmente souvent avec la profondeur, en particulier dans les horizons d'accumulation argileuse lorsqu'il s'en trouve (WELLS, 1967).

On peut noter aussi l'influence de la topographie : en Irlande (FLEMING, 1962), les teneurs les plus fortes en sélénium ont généralement été extraites de bas-fonds mal drainés, où l'on trouve des sols du type humique à gley.

D'autre part, les teneurs varient en raison inverse de l'importance des précipitations pluviales : en région semi-aride et aride, le sélénium augmente quand elles diminuent (GARDINER et al., 1963).

CARENCE OU TOXICITE EN SELENIUM

Les sols sélénifères ont fait l'objet d'études approfondies, en raison des conséquences que peuvent avoir pour les végétaux et, par suite, pour les animaux, des teneurs anormales en sélénium.

En effet, la végétation naturelle (légumineuses, composées...) et cultivée (céréales) s'adapte aux conditions particulières des sols sélénifères. Les plantes accumulent le sélénium et deviennent toxiques pour le bétail.

Les chercheurs se sont surtout préoccupés d'étudier dans quelles conditions la toxicité apparaît : en Australie (Mac CRAY et al., 1963), certaines espèces d'herbages servent de plantes-tests : pour 20 à 50 p.p.m. de sélénium dans ces plantes la croissance du bétail est normale, le sol n'a pas de teneurs excessives, au-delà de 50 p.p.m. le bétail est empoisonné.

D'autre part, ces études ont permis de mettre en évidence la concentration en sélénium nécessaire à la croissance normale du bétail : en Nouvelle Zélande (WATKINSON, 1962), l'apport de cet élément favorise la croissance des agneaux si les sols en renferment moins de 0,45 p.p.m. Une maladie de carence peut même apparaître chez ces animaux. D'après les travaux de GARDINER et al., (1962), en Australie, cela se produit lorsque la teneur des herbages en cet élément descend en dessous de 0,03 p.p.m. Des constatations analogues ont été faites en Suède et aux U.S.A. En France, ces affections dues à la carence en sélénium paraissent liées à des teneurs dans les foin de l'ordre également de 0,01 à 0,04 p.p.m., en particulier dans certains départements du Centre (S. PERIGAUD, 1970).

CONCLUSION

Le sélénium, généralement rare dans les sols (0,01 p.p.m. en moyenne dans les sols d'U.R.S.S.), se trouve cependant, à de très fortes teneurs dans certains sols assez humifères, formés à partir de schistes et d'argiles marines, ou dans certaines tourbes. La végétation peut l'accumuler et devenir toxique pour le bétail.

D'autre part, le sélénium se révèle nécessaire, en petite quantité, à une croissance normale du bétail.

TITANE *

Le titane n'est pas, par nature, un élément trace. On le trouve, en effet, à de fortes concentrations dans la plupart des roches de l'écorce terrestre, concentrations qui varient cependant avec la nature de la roche.

Elles sont maximales dans les roches éruptives basiques (basalte, gabbro...) : 3900 à 37900 p.p.m. (moyenne 13000 p.p.m.).

Elles sont plus faibles dans les roches éruptives acides (granite, rhyolite...) ; 400 à 5400 p.p.m. (moyenne 2000 p.p.m.).

Les roches métamorphiques (schistes) et certaines roches sédimentaires (argiles et limons) ont des teneurs moyennes : limons : 1300 à 8000 p.p.m. (moyenne 2800 p.p.m.) ; argiles : 400 à 6600 p.p.m. (moyenne 3200 p.p.m.).

Les teneurs minimales correspondent aux sables : 70 à 3000 p.p.m. (moyenne 1100 p.p.m.).

La concentration moyenne en titane de la lithosphère est environ 6000 p.p.m. (KOVDA et al., 1964).

Nous ne pouvons faire état que d'un nombre restreint de résultats analytiques concernant les teneurs des roches en titane. Ils proviennent d'U.R.S.S., comme ceux cités plus haut, et les confirment.

Ainsi, en U.R.S.S., Biélorussie, on a dosé dans :

- des sables alluviaux et fluvioglaciers : 860 p.p.m. ;
- des limons argileux provenant de débris morainiques : 3800 p.p.m. ;
- des limons argileux loessiques : 4400 p.p.m. ;
- des argiles glaciaires lacustres : 4600 p.p.m.

TENEURS DES SOLS EN TITANE TOTAL

Depuis près d'un siècle le titane des sols des différentes régions du globe a fait l'objet d'un grand nombre d'études, les résultats sont fort nombreux et variés.

Comme les roches, les sols sont très riches en titane et selon SWAINE (1955), les sols les plus répandus en renferment de 100 à 10000 p.p.m. Nous avons rassemblé ici les données les plus récentes et celles obtenues au laboratoire de Spectrographie des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. à partir de sols tropicaux.

Les teneurs varient de traces non dosables (sols humocarbonatés de Nouvelle Calédonie) à 25000 p.p.m. (sol ocre podzolique d'Ecosse). La teneur moyenne est de l'ordre de 4000 à 5000 p.p.m.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Les teneurs en titane total des sols de ces régions varient entre 150 et 25000 p.p.m. Il existe une relation nette entre les teneurs des sols et celles des roches-mères. Il apparaît que les sols les plus pauvres en cet élément sont ceux formés sur sables ou matériau sableux.

* Voir Annexe, Tableaux, Pages 81 à 83

Ainsi, en Pologne, les sols sur sables de la région de Lodz ne renferment que 150 p.p.m. de titane ; en U.R.S.S., les sols de la vallée de la basse Volga ont des teneurs différentes selon leur origine : sols sur sables alluviaux anciens et fluvioglaciers : 200 à 1000 p.p.m. ; sols sur sables marins : 280 à 3200 p.p.m.

Dans le cas des podzols et sols podzoliques, l'influence de la roche-mère est très sensible : en Pologne on a dosé 720 à 2300 p.p.m. dans les podzols sur sables de la province de Jaroslaw et 2160 à 5940 p.p.m. dans les sols de ce type sur lehm. En Ecosse, les teneurs varient de 1000 p.p.m., dans un podzol hydromorphe à alios sur débris granitiques, à 12000 et même 25000 p.p.m. dans des sols ocres podzoliques sur débris de serpentinite ou de gabbro à olivine, les podzols sur débris de gneiss et micaschistes renfermant 700 à 9000 p.p.m. de titane total.

Les sols bruns forestiers sont très riches : 6500 p.p.m. en Chine du nord-est sur basalte ; 10000 p.p.m. en Ecosse sur moraine à base de galets et débris de roches andésitiques.

Nous retrouvons des teneurs du même ordre de grandeur dans une rendzine noire sur calcaire gréseux à Madagascar : 9300 p.p.m.

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Les concentrations en titane total des sols de ces régions sont comprises entre 170 et 20000 p.p.m., et dans l'ensemble elles sont supérieures à 2000 p.p.m.

Aux Nouvelles Hébrides, dans des sols brun-rouge fersiallitiques sur scories basaltiques on a dosé 4500 à 5400 p.p.m. de titane.

Les vertisols ont des teneurs plus variables mais fortes : en Nouvelle Calédonie, sur flysch à ciment calcaire, elles sont de l'ordre de 3000 p.p.m. ; elles sont plus élevées dans des vertisols sur alluvions à Madagascar : 5000 à 7000 p.p.m. et elles atteignent le maximum : 10000 à 20000 p.p.m. dans des vertisols lithomorphes hydromorphes sur amphibolite, en République Centrafricaine.

Les sols subdésertiques, sur dépôts de limons argileux récents, de la région d'Ustyurt en U.R.S.S., ont les teneurs les plus faibles dosées en zones semi-arides et arides : 170 à 900 p.p.m.

Par contre, les sols salés sont généralement riches en titane : les sols salés à alcalis du Turkménistan, en U.R.S.S., en renferment 100 à 6000 p.p.m. ; un sol salin, à Madagascar, également 6000 p.p.m. et un solonetz solodisé, sur flysch à ciment calcaire, en Nouvelle Calédonie, 3000 p.p.m.

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Nous retrouvons les mêmes limites de variation que précédemment, les teneurs des sols en titane total sont comprises entre, d'une part des traces, d'autre part 21000 p.p.m.

Sols ferrugineux tropicaux. A Madagascar, on a dosé dans les sols ferrugineux tropicaux : 650 p.p.m. dans un sol sur carapace sableuse, 3000 à 7000 p.p.m. dans ceux formés sur calcaire et matériau gréseux et 10000 p.p.m. lorsque la roche-mère était une roche cristalline basique.

Une certaine hydromorphie s'y ajoutant, ces teneurs élevées paraissent diminuer : au Tchad les teneurs varient de 600 à 2000 p.p.m. dans des sols ferrugineux tropicaux à pseudogley de profondeur développés sur matériau argilo-sableux, tandis que dans le même type de sol et sur la même roche-mère, mais en condition de meilleur drainage, elles atteignent 3000 à 10000 p.p.m.

Remarquons cependant, que ces teneurs paraissent pouvoir varier assez largement dans un même type de sol, sur la même roche. Nous avons dosé cet élément dans des sols ferrugineux tropicaux provenant de République Centrafricaine, formés sur des charnockites, des amphibolites ou des gneiss. Sur chacune de ces roches, nous avons obtenu aussi bien 1000 à 4000 p.p.m. que jusqu'à 10 à 20000 p.p.m.

Les sols ferrallitiques sont au moins aussi riches et souvent davantage encore. Dans ceux de Madagascar, nous avons obtenu 7500 p.p.m. dans un sol formé sur gneiss et 21000 p.p.m. dans un autre sur basalte.

Les auteurs ont d'ailleurs, depuis longtemps, signalé cette accumulation du titane dans les sols ferrallitiques. Ainsi, d'après LACROIX (1905), le sol des Iles de Loos, en Guinée, en contient 9000 p.p.m. dans la cuirasse, alors que la syénite néphélinique sous-jacente n'en possède que 2900 p.p.m. De même à Fourbam, au Cameroun, d'après LAPLANTE, le basalte ne dose que 6000 p.p.m. alors que l'horizon de concentration des sesquioxides en dose 12 et 15000 p.p.m.

Les sols hydromorphes ont également de fortes teneurs en titane : en République Centrafricaine, les sols hydromorphes à pseudogley sur alluvions en renferment de 3000 à 10000 p.p.m.

Au Tchad, sur matériau argilo-sableux, les sols hydromorphes à gley paraissent plus riches : 15000 p.p.m., que ceux à pseudogley de profondeur : 1000-2000 p.p.m. A Madagascar, sur alluvions, les concentrations atteignent 7000 p.p.m. dans les sols hydromorphes à gley et 10000 p.p.m. dans les sols hydromorphes.

Les sols peu évolués, d'apport ou d'érosion, ont des concentrations en titane du même ordre de grandeur que celles des sols cités précédemment. Elles varient en fonction des roches-mères. En République Centrafricaine, les sols peu évolués d'érosion sur amphibolite renferment de 3000 à 10000 p.p.m. de titane ; au Tchad, dans un sol peu évolué d'apport, sur gneiss à amphibole, la concentration atteint 15000 p.p.m.

Mais à Madagascar, sur limons sableux et sédiments argilo-sableux et aux Nouvelles Hébrides, sur ponces acides recouvrant des scories basiques, les teneurs des sols peu évolués d'apport sont un peu plus faibles : 4800 à 6000 p.p.m. En Nouvelle Calédonie, également, sur flysch à ciment calcaire, les sols de ce type sont moins bien pourvus : 3000 p.p.m.

On notera, d'autre part, que, toujours en Nouvelle Calédonie, des sols humocarbonatés plus ou moins humifères sur calcaire corallien, ont les plus faibles teneurs en titane : des traces non dosables.

TENEUR DES SOLS EN TITANE "UTILISABLE" PAR LES PLANTES

Le titane apparaît comme pratiquement insoluble dans les réactifs faibles. Ainsi en Ecosse, dans un sol ocre podzolique sur débris de gabbro à olivine ayant 12000 p.p.m. de titane total on a dosé seulement 0,7 p.p.m. de titane soluble dans l'acide acétique à 2,5 %, pH 2,5.

Les données chiffrées, relatives au titane "utilisable" sont, cependant, en nombre trop restreint pour que nous puissions en tirer des conclusions valables.

VARIATIONS DES TENEURS DES SOLS EN TITANE

On constate généralement une augmentation de la teneur en titane avec la profondeur. Les horizons supérieurs des sols, en particulier ceux à fortes teneurs en humus et matière organique, sont relativement les plus pauvres en cet élément. Selon VINOGRADOV (1959), dans certains podzols on note une accumulation du titane dans les horizons illuviaux. Ceci se produit également dans les sols à gley : les horizons B et C d'un sol ocre podzolique renferment 20000 et 25000 p.p.m. de titane (SWAINE et al., 1960).

La teneur des sols en titane suit celle des argiles, les sols à texture grossière ont des concentrations moindres que les sols à texture fine. Elle suit également celle des sesquioxides de fer, en particulier dans les sols ferrugineux tropicaux et surtout dans les sols ferrallitiques.

Cependant, l'influence de la roche-mère est prépondérante en ce qui concerne les teneurs des sols en titane total : les sols formés sur roches éruptives basiques sont plus riches que ceux formés sur granite, sables...

CONCLUSION

Les teneurs des sols en titane sont voisines de celles des roches-mères. Elles sont le plus souvent très fortes : 1000 à 10000 p.p.m. et dans certains cas, elles peuvent atteindre 20000 p.p.m.

Le titane n'existe pratiquement pas sous forme soluble dans les acides faibles ou dans l'eau. En général il est peu mobile dans les profils de sols, on observe cependant dans certains profils de podzols une accumulation de cet élément dans l'horizon B.

13 fiches bibliographiques

290 dosages faits au laboratoire de Spectrographie des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M.

VANADIUM*

Le vanadium peut être mis en évidence dans la plupart des roches de l'écorce terrestre.

Les roches éruptives ultrabasiques (dunite, péridotite) et basiques (basalte, gabbro...) ont les teneurs maximales en cet élément : 200 p.p.m. environ.

Les concentrations sont beaucoup plus faibles dans les roches éruptives acides (granite, rhyolite...) : 30 à 40 p.p.m.

Elles sont voisines de celles des roches éruptives basiques dans les roches métamorphiques (schistes) et certaines roches sédimentaires (argiles et limons) : 130 p.p.m.

Elles sont particulièrement faibles dans les grès et les roches carbonatées : 20 p.p.m.

La teneur moyenne de la lithosphère est environ 150 p.p.m. (SWAINE, 1955 ; VINOGRADOV, 1959 ; TUREKIAN et WEDEPOHL, 1961).

Ces caractéristiques générales se retrouvent dans les quelques résultats analytiques que nous mentionnons, concernant les roches-mères de certains des sols étudiés. Dans le cas des formations alluviales, les résultats sont très variables selon la nature lithologique des bassins versants d'où elles proviennent.

C'est ainsi qu'en Biélorussie, en U.R.S.S., les teneurs en vanadium varient de 12 p.p.m. dans des sables alluviaux anciens et fluvioglaciers, à 160 p.p.m. dans des argiles glaciaires lacustres, des limons argileux d'origine morainique en renfermant 77 p.p.m. Les alluvions de la région de l'Amour, toujours en U.R.S.S., sont plus riches, non seulement celles formées de limon argileux fin (jusqu'à 600 p.p.m.), mais aussi celles qui sont très sableuses, où l'on dose même 100 p.p.m.

TENEUR DES SOLS EN VANADIUM TOTAL

Les sols ont des teneurs en vanadium proches de celles des roches sur lesquelles ils se sont formés, parfois même supérieures. Dans les sols étudiés les concentrations varient de traces (sols sableux d'U.R.S.S. et certains sols tropicaux) à 400 p.p.m. (rendzine de Madagascar).

L'influence de la roche-mère apparaît prépondérante quant à la teneur des sols en vanadium total, cependant celle des types de sols, dont les caractéristiques sont en rapport plus ou moins étroit avec les grandes zones climatiques et géographiques, ne doit pas être négligée.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Dans les sols de ces régions, les limites de variation des concentrations en vanadium total sont celles citées précédemment : des traces et 400 p.p.m. La teneur moyenne est environ 100 p.p.m.

Dans ces régions, l'influence de la roche-mère est particulièrement nette dans le cas des sols généralement pauvres en éléments traces : sols peu évolués sableux et, sur matériau sableux, sols podzoliques et podzols.

En U.R.S.S., les sols sur matériau sableux de la vallée de la basse Volga ont des teneurs en vanadium total variant avec l'origine des sables : très faibles, seulement des traces, dans les sols sur sables alluviaux anciens et fluvioglaciers, un peu plus élevées, jusqu'à 12 p.p.m., dans ceux sur sables marins anciens, elles atteignent 29 p.p.m. dans les sols sur sables marins quaternaires.

* Voir Annexe, Tableaux, pages 85 à 88

En Ecosse, également, les teneurs vont croissant des podzols et sols ocres podzoliques formés sur débris de roches granitiques (15 p.p.m.) à ceux formés sur débris de gabbro à olivine ou de micaschistes et granito-gneiss (200 et 250 p.p.m.). Les teneurs moyennes (60 p.p.m.) correspondent à des podzols à alios à horizon A₀ tourbeux sur débris de grès.

De même, au Pays de Galles, des sols analogues non cultivés, sur rhyolite, sont moins bien pourvus en vanadium : 15 p.p.m., que ceux sur dolérite et autres roches volcaniques : 75 à 150 p.p.m.

Les autres types de sols ont des teneurs fortes en cet élément, souvent supérieures à 100 p.p.m., c'est le cas des sols lessivés et des sols hydromorphes.

Sols lessivés : en U.R.S.S. les teneurs atteignent 100 p.p.m. dans la plaine de Meshchov et 160 p.p.m. (en moyenne) dans la région de l'Amour.

Sols hydromorphes : les teneurs sont comprises entre 140 et 300 p.p.m., en U.R.S.S., région de l'Amour, dans des sols de prairie hydromorphes sur alluvions sableuses et dépôts stratifiés d'inondation. En Ecosse, elles sont égales à 200 p.p.m. dans un sol hydromorphe à gley sur débris schisteux.

Les sols bruns forestiers sont également riches en vanadium total : 92 p.p.m. en Chine du nord-est, sur basalte, 120 p.p.m. en U.R.S.S., région de l'Amour sur granite et 150 p.p.m. en Ecosse sur moraine à base de galets et débris de roches andésitiques.

Les rendzines ont des concentrations du même ordre de grandeur ou un peu plus fortes. En Australie : 160 p.p.m. au Queensland et 170 à 290 p.p.m. dans la région d'Adélaïde. A Madagascar, on a même dosé 390 p.p.m. dans une rendzine noire sur calcaire gréseux.

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Le domaine de variation des concentrations en vanadium total des sols des zones semi-arides et arides est le même qu'en zones tempérées et boréales : de traces à 300 p.p.m. Les teneurs sont très souvent supérieures à 100 p.p.m.

C'est ainsi qu'on a dosé 290 p.p.m. de vanadium dans les chernozems de la région de l'Amour en U.R.S.S. et 140 à 180 p.p.m. dans les sols bruns isohumiques du Queensland, en Australie. Par contre, les sols de ce dernier type sur sédiments sableux, au Tchad, ont des teneurs faibles : traces à 25 p.p.m.

Nous retrouvons des teneurs fortes et parfois très fortes dans les vertisols : au Tchad, les teneurs des vertisols topomorphes sur sédiments argileux varient de 30 à 95 p.p.m., sur sédiments argilo-sableux de 90 à 200 p.p.m.

En République Centrafricaine, sur amphibolite, les vertisols lithomorphes hydromorphes ont les plus fortes concentrations en vanadium total dosées en zones semi-arides et arides : 200 à 300 p.p.m.

Les sols salés (sols salés à alcalis, solonetz...) sont également bien pourvus en vanadium total : au Tchad, 55 à 100 p.p.m. dans des sols salins et des sols salés à alcalis non lessivés sur sédiments argileux ; à Madagascar et en Nouvelle Calédonie, 90 p.p.m. dans des sols salins sur alluvions et dans un solonetz solodisé sur flysch à ciment calcaire ; en Australie, 86 à 130 p.p.m. dans les solods du Queensland.

Les sols rouges méditerranéens sont souvent très riches en vanadium total : 70 à 180 p.p.m., en U.R.S.S., Géorgie, sur matériau argileux, 82 à 300 p.p.m. en Australie, Queensland et région d'Adélaïde.

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Nous retrouvons, pour les sols de ces régions, les limites, inférieure et supérieure, déjà citées pour les sols des autres zones climatiques : des traces et 300 p.p.m. La teneur moyenne est de l'ordre de 80 à 90 p.p.m.

Les concentrations les plus faibles ont été mises en évidence dans des sols de Nouvelle Calédonie : sols humocarbonatés hydromorphes, plus ou moins humifères, sur calcaire corallien : traces-2 p.p.m., sol semi-tourbeux à anmoor calcaire sur sable calcaire et calcaire corallien : 2-7 p.p.m. Ces teneurs faibles des sols sont en rapport avec les teneurs également faibles des roches-mères.

Les sols bruns eutrophes, sur flysch à ciment calcaire, en Nouvelle Calédonie et sur scories basaltiques, aux Nouvelles Hébrides, dosent d'une part 70 à 80 p.p.m., de l'autre 40 à 90 p.p.m. de vanadium total.

Dans les sols ferrugineux tropicaux et dans les sols ferrallitiques les roches-mères ont également une influence prépondérante sur les teneurs des sols en vanadium total.

Ainsi, en République Centrafricaine et à Madagascar, les concentrations des sols ferrugineux tropicaux varient en fonction de la roche-mère :

- en République Centrafricaine, on a dosé :

- . sur granite : 3 à 10 p.p.m.
- . sur gneiss : 100 à 150 p.p.m.
- . sur amphibolite : 100 à 300 p.p.m.

- à Madagascar, sur grès et sable, la teneur est environ 30 p.p.m., sur roche cristalline basique elle atteint 105 p.p.m.

- au Ghana, les sols ferrallitiques faiblement à moyennement désaturés renferment :

- . sur granite : 5 à 60 p.p.m.
- . sur phyllade : 50 à 200 p.p.m.
- . sur matériau provenant de roches basiques : 200 à 300 p.p.m. de vanadium.

On peut faire les mêmes constatations en ce qui concerne les sols ferrallitiques de Madagascar, on y a dosé : 28 p.p.m. sur granite, 170 p.p.m. sur gneiss.

On remarque, également, que pour une même roche-mère, les teneurs en vanadium des sols ferrallitiques peuvent être soit faibles, soit fortes : en République Centrafricaine, sur migmatite, on a obtenu tout aussi bien 10 à 20 p.p.m. que 100 p.p.m. ; sur amphibolite : 40 et 100 à 150 p.p.m. ; au Tchad, sur arkose et grès arkosique, les teneurs varient de 20 à 250 p.p.m.

Parmi les sols riches en sesquioxides à fortes concentrations en vanadium total, on peut citer les krasnozems du Queensland en Australie : 120 à 270 p.p.m.

Les autres types de sols ont, dans l'ensemble, des teneurs moyennes, c'est le cas des sols peu évolués d'apport : au Tchad, sur grès à amphibole : 60 p.p.m. ; en Nouvelle Calédonie, sur tuf scoriacé basaltique ou flysch à ciment calcaire, aux Nouvelles Hébrides, sur ponces acides recouvrant des scories basiques : 70 à 90 p.p.m. Ces teneurs sont également celles de sols de terrasses inondables et de levées alluviales sur sables et sédiments argileux, à Madagascar. En Polynésie, sur éboulis basaltiques, l'écart entre les teneurs est plus grand : 50 à 100 p.p.m.

Les teneurs en vanadium des sols peu évolués d'érosion varient naturellement en fonction du type de roche-mère. Ainsi, en République Centrafricaine, elles sont de 10 p.p.m. sur itabirite et de 100 à 300 p.p.m. sur amphibolite.

Les sols hydromorphes à gley ou pseudogley ont, dans l'ensemble, des teneurs moyennes en vanadium.

En Côte d'Ivoire et en République Centrafricaine, celles des sols hydromorphes à pseudogley sur schistes ou alluvions récentes varient respectivement de 20 à 80 p.p.m. et de 60 à 85 p.p.m.

Au Tchad, les teneurs des sols hydromorphes à gley sont, en moyenne, égales à 25 p.p.m. sur sédiments argileux et à 60 p.p.m. sur matériau argilo-sableux, les sols hydromorphes halomorphes sur sédiments limono-argileux étant beaucoup mieux pourvus : 100 à 250 p.p.m.

Par ailleurs, en Polynésie, on a dosé 35 à 110 p.p.m. de vanadium dans les sols hydromorphes sur alluvions d'origine volcanique.

TENEUR DES SOLS EN VANADIUM "UTILISABLE" PAR LES PLANTES

Le vanadium a une certaine influence sur les plantes, en particulier sur les légumineuses. De nombreuses expériences ont montré qu'il favorise la fixation de l'azote par les nodules. Il intervient aussi dans la réduction des nitrates. Son action est comparable à celle du molybdène.

Cependant, le vanadium "utilisable" par les plantes a été très peu étudié dans les sols jusqu'à maintenant. Il semble peu soluble dans les acides faibles : en Ecosse, le vanadium soluble dans l'acide acétique à 2,5 %, pH 2,5, varie de moins de 0,02 à 0,49 p.p.m., soit 0,4 à 0,6 du vanadium total.

VARIATIONS DES TENEURS DES SOLS EN VANADIUM

En général, les horizons humifères des sols sont les plus riches en vanadium. Cela apparaît particulièrement net dans les sols isohumiques et les sols bruns forestiers, comme en U.R.S.S.

Les concentrations en vanadium varient également en fonction de la texture des sols. Les sols argileux ou à texture fine sont plus riches que les sols sableux. En zones tropicales, on a constaté une augmentation de la teneur avec la profondeur, la répartition du vanadium entre les différents horizons y suit celle des argiles (sols ferrallitiques du Dahomey, PINTA et al., 1961). En zones tempérées l'horizon B des sols lessivés et des podzols est souvent plus riche que l'horizon supérieur (podzols d'Ecosse, SWAINE et al., 1960).

D'autre part, nous avons montré précédemment l'influence prépondérante des roches-mères en ce qui concerne les concentrations des sols en vanadium total.

CONCLUSION

Les sols ont des teneurs en vanadium comprises entre des traces, d'une part, et 300 p.p.m., d'autre part ; la concentration moyenne est de l'ordre de 100 p.p.m.

Il n'existe pas de différences notables entre les teneurs en vanadium des sols des diverses zones climatiques, elles dépendent essentiellement de celles des roches-mères.

ZINC*

La plupart des roches de l'écorce terrestre renferment du zinc, les teneurs étant plus ou moins fortes selon la nature de la roche.

Elles sont maximales dans les roches éruptives basiques (basalte, gabbro...) : 70 à 130 p.p.m. ; moyennes dans les roches éruptives acides (granite, rhyolite...) : 50 à 60 p.p.m. Les roches métamorphiques (schistes) et certaines roches sédimentaires (argiles) ont des teneurs intermédiaires : 80 p.p.m. en moyenne. Les concentrations relativement les plus faibles correspondent aux limons loessiques et argiles glaciaires : 30 à 40 p.p.m. ainsi qu'aux roches carbonatées et aux grès : 20 et 16 p.p.m. respectivement.

La teneur moyenne des roches, 50 p.p.m., est aussi celle de la lithosphère (VINOGRADOV, 1959 ; TUREKIAN et WEDEPOHL, 1961 ; KOVDA et al., 1964).

Les analyses de roches de différentes régions du globe, dont nous avons eu connaissance, sont en accord avec les concentrations moyennes citées ci-dessus.

Ainsi, en U.R.S.S., dans la péninsule de Kola, des schistes cristallins à intrusion de norite renferment 100 p.p.m. de zinc, la moraine argilo-sableuse qui les recouvre, seulement 50 p.p.m. ; dans la région de l'Amour les alluvions sableuses sont relativement pauvres : 10 p.p.m., par contre, les dépôts stratifiés d'inondation sont riches : 85 p.p.m. ; en Biélorussie, les limons argileux morainiques ont également des teneurs faibles : 8 à 23 p.p.m.

En Tchécoslovaquie, les schistes sont plus riches que les sables : 23 et 13 p.p.m.

En Inde, au Gujarat, les teneurs en zinc augmentent des grès : 16 p.p.m., aux roches ignées basiques : 51 p.p.m., le calcaire et les schistes ayant des teneurs intermédiaires : 24 et 47 p.p.m.

En Australie (Tasmanie), la dolérite est bien pourvue : 40 à 90 p.p.m.

Aux Iles Hawaiï, les basaltes et cendres volcaniques sont très riches en zinc : 110 à 150 p.p.m.

TENEUR DES SOLS EN ZINC TOTAL

Le domaine de variation des concentrations des sols en zinc total est très étendu. Les limites extrêmes sont, d'une part des traces ; de l'autre 900 p.p.m. La teneur moyenne est de l'ordre de 50 à 100 p.p.m.

Les variations sont dues principalement aux teneurs différentes des roches sur lesquelles les sols se sont formés. L'influence de ces dernières est prépondérante par rapport à celle des processus pédogénétiques eux-mêmes.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Les teneurs, minimale et maximale, en zinc total, dosées dans les sols de ces régions, sont respectivement : des traces (sols de Tchécoslovaquie) et 600 p.p.m. (sols plus ou moins évolués du Canada).

En U.R.S.S., les sols lessivés faiblement podzoliques de Biélorussie sont très pauvres quand ils se sont formés sur limon argileux : 0,84 à 8,5 p.p.m. ou sur sables alluviaux anciens et fluvioglaciaires : 4,4 à 9,3 p.p.m. ; ils sont un peu mieux pourvus sur limon argileux morainique : 2,1 à 13 p.p.m. ou sur argiles lacustres : 8,3 à 20,4 p.p.m.

* Voir Annexe, Tableaux, pages 89 à 98

En Roumanie, dans les régions de Cluj et Olt, les concentrations dosées dans les podzols sont moyennes : 28 et 46 p.p.m.

Au Canada, Nouveau Brunswick, où les horizons supérieurs des podzols ont des teneurs en zinc total très supérieures à la moyenne, elles varient cependant assez largement en fonction de la nature de la roche-mère : sur sédiments riches en sulfures : 400 p.p.m. et, par contre, sur les autres sédiments : 90 p.p.m. seulement.

Sols lessivés. En Australie, ceux de Tasmanie sur dolérite sont plus riches : 39 à 96 p.p.m., que ceux de Karélie, en U.R.S.S., sur argiles glaciaires morainiques ou sur argiles lacustres : 7,79 à 66 p.p.m.

Sols bruns forestiers. Leurs teneurs en zinc total sont très variables suivant la roche-mère qui leur a donné naissance : relativement faibles, 14 p.p.m., sur granite, en U.R.S.S. dans la région de l'Amour, elles sont moyennes : 41 à 65 p.p.m., sur dolérite en Tasmanie, et élevées : 85 p.p.m. sur basalte en Chine du nord-est.

Les sols hydromorphes sont généralement riches en zinc total : en U.R.S.S., les sols alluviaux hydromorphes de la vallée de la Moscova en renferment 80 à 130 p.p.m. et dans la région de l'Amour, sur dépôts stratifiés d'inondation, 70 à 100 p.p.m.

Les rendzines et sols bruns calcaires ont, dans l'ensemble, des concentrations proches de la moyenne et même parfois plus fortes.

- à Madagascar, sur calcaire gréseux : 42 p.p.m.
- en Australie, Queensland, sur calcaire : 70 p.p.m.
- en Israël, sur marnes : 100 à 130 p.p.m.

Les concentrations maximales dosées dans des sols de régions tempérées et boréales correspondent à des sols plus ou moins évolués, sablo-limoneux, de Nouvelle Ecosse, au Canada : 250 à 600 p.p.m.

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Les sols de ces zones climatiques ont des teneurs en zinc total comprises entre : des traces (sols subdésertiques de la région d'Ustyurt, en U.R.S.S.) et 900 p.p.m. (sols salés à alcalis du Turkménistan). Dans une même région et pour un même type de sol, les concentrations sont souvent très variables, mais dans l'ensemble, dans ces zones arides, elles sont égales ou légèrement supérieures à la moyenne.

Les chernozems sont bien pourvus en zinc ; tels sont en Roumanie ceux de la Dobrudja formés sur loess : 73 p.p.m., ceux des régions de Olt et Cluj étant encore plus riches : 84 à 103 p.p.m.

En U.R.S.S., dans le bassin Oural-Sakmara, des sols de même type formés sur sédiments anciens renferment 45 p.p.m. de zinc total ; mais dans la région de Rostov les teneurs des chernozems cis-caucasiens, très variables, atteignent jusqu'à 680 p.p.m.

Les sols châtaîns ont le plus souvent des teneurs égales à la moyenne générale : en Bulgarie 42 à 106 p.p.m. dans les sols châtaîns et 62 à 98 p.p.m. dans les sols châtaîns vertiques et les sols châtaîns hydromorphes.

En U.R.S.S., dans la région de Stavropol, les limites, inférieure et supérieure, sont un peu plus faibles : 14,4 à 71 p.p.m.

Nous retrouvons des teneurs du même ordre de grandeur dans les sols bruns isohumiques :

- en U.R.S.S., Ouzbékistan : 83 p.p.m.
- en Israël, sur grès calcaire : 48 p.p.m. ; sur alluvions provenant de "terra rossa" et dépôts éoliens : 82 à 90 p.p.m.
- au Queensland, sur grès calcaire et sur sédiments argileux : 45 à 100 p.p.m.

En ce qui concerne les vertisols, on a dosé 25 à 30 p.p.m. de zinc total dans ceux de la Nouvelle Calédonie sur flysch à ciment calcaire ; 60 à 70 p.p.m. dans ceux de l'Inde, Gujarat, sur grès et roches ignées ; au Tchad, sur sédiments argilo-sableux, à Madagascar sur sables argileux et alluvions et au Queensland sur diorite et basalte, les teneurs atteignent 90, 105 et 120 p.p.m.

En U.R.S.S., les sols subdésertiques sur limon argileux peuvent être pauvres en zinc : traces à 40 p.p.m. au Turkménistan ou, au contraire, riches en cet élément : 60 à 112 p.p.m. en Ouzbékistan.

Les sols salés (sols salés à alcalis, solonetz...) présentent aussi des concentrations très variables : elles sont moyennes en Bulgarie, dans des sols salés à alcalis : 40 à 60 p.p.m., et en Australie (Queensland) dans des solods sur granite et alluvions : 10 à 50 p.p.m., elles sont fortes, en Israël, également dans des sols salés à alcalis : 100 à 200 p.p.m. et exceptionnellement élevées au Turkménistan (U.R.S.S.) dans des sols de même type : 100 à 900 p.p.m.

On peut constater des variations analogues dans les teneurs des sols hydromorphes alluviaux : en Bulgarie elles sont moyennes : 62 p.p.m. ; en U.R.S.S., au Caucase, elles sont très fortes : 850 p.p.m.

Par ailleurs, les sols rouges méditerranéens de différentes régions d'Australie (Queensland, sud-est, région d'Adélaïde) ont des concentrations moyennes en zinc total : 11 à 86 p.p.m. Ceux d'Israël sont, par contre, beaucoup plus riches : 200 à 215 p.p.m.

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Les sols tropicaux ne se différencient pratiquement pas des sols des autres régions climatiques quant à leurs concentrations en zinc total. Elles sont comprises entre : des traces (sols de Polynésie) et 400 p.p.m. (sols des Nouvelles Hébrides).

Les sols bruns eutrophes : en Nouvelle Calédonie, sur flysch à ciment calcaire, ils sont beaucoup moins riches en zinc : 25 à 30 p.p.m., qu'aux Nouvelles Hébrides sur scories basaltiques : 250 à 400 p.p.m.

Nous avons dosé des teneurs à peine moyennes dans les sols ferrugineux tropicaux hydromorphes lessivés, sur gneiss et amphibolite, de République Centrafricaine. Par contre, à Madagascar, les sols ferrugineux tropicaux sont riches en zinc total : 95 p.p.m. sur schistes, 135 p.p.m. sur grès. Au Dahomey, ils sont moyennement pourvus : 65 p.p.m.

Au Tchad, les concentrations maximales sont plus fortes dans les sols ferrugineux tropicaux à pseudogley sur sédiments sableux : 300 p.p.m., que dans les sols de même type mieux drainés, sur sédiments argileux et sableux : 100 p.p.m., les concentrations minimales étant identiques dans les deux cas : 25 p.p.m.

Les sols ferrallitiques ont également des teneurs très variables, le plus souvent cependant, de l'ordre de celles citées plus haut. En République Centrafricaine, les concentrations des sols ferrallitiques faiblement désaturés sur différentes roches-mères (migmatite, gneiss, schistes, amphibolite...) sont relativement les plus faibles : 25 à 40 p.p.m.

Au Dahomey et au Tchad sur arkose et grès, on a dosé 40 à 116 et 25 à 145 p.p.m. de zinc.

Ces teneurs sont aussi celles des krasnozems sur basalte ou des sols ferrallitiques humifères sur alluvions du Queensland, en Australie : 42 à 100 p.p.m.

En Inde, les sols faiblement ferrallitiques argileux renferment 65 p.p.m. de zinc.

A Madagascar, les teneurs sont souvent fortes : 100 p.p.m. dans un sol rouge faiblement ferrallitique lessivé sur gneiss, 140 p.p.m. dans des sols ferrallitiques sur granite et 198 p.p.m. dans un sol brun-rouge ferrallitique humifère sur cipolin.

En Nouvelle Calédonie et en Polynésie, les concentrations des sols ferrallitiques sur tuf scoriacé basaltique, dolérite, basalte ou basalte andésitique, varient en fonction de leur degré de dégradation par érosion : de 70 à 250 p.p.m. pour les premiers, de traces à 150 p.p.m. pour les seconds. Ces derniers peuvent aussi être indurés en profondeur, leurs teneurs en zinc sont alors comprises entre des traces et 70 p.p.m.

Les sols alluviaux hydromorphes ont, dans l'ensemble, des teneurs moyennes mais parfois assez fortes : 20 à 40 p.p.m. dans les sols hydromorphes à gley sur sédiments argileux, en République Centrafricaine. Au Tchad, elles peuvent atteindre 100 p.p.m. dans les sols hydromorphes plus ou moins salés sur sédiments limono-argileux.

En Inde, au Gujarat, les sols alluviaux sur calcaire sont un peu mieux pourvus : 76 à 80 p.p.m., que ceux formés sur schistes : 50 à 60 p.p.m. ; au Punjab, l'écart entre les teneurs extrêmes est plus grand pour les sols formés sur alluvions provenant de roches éruptives, riches non seulement en quartz et feldspath mais aussi en amphibole (hornblende) et en tourmaline : 18 à 100 p.p.m.

Sols peu évolués, d'apport ou d'érosion. Leurs teneurs en zinc sont très variables, elles dépendent surtout de celles des roches-mères.

En République Centrafricaine, on a dosé 25 à 40 p.p.m. de zinc dans des sols peu évolués d'érosion sur amphibolite et itabirite.

A Madagascar, dans les zones alluviales de l'ouest, les concentrations sont de 65 et 100 p.p.m. pour des sols de bourrelets de berge et de terrasses.

En Nouvelle Calédonie, les sols peu évolués d'apport sur flysch à ciment calcaire sont moins bien pourvus en zinc : 25 à 30 p.p.m., que ceux formés sur tuf scoriacé basaltique : 70 à 250 p.p.m.

Aux Nouvelles Hébrides, les sols peu évolués d'apport, formés sur ponces acides recouvrant des scories basiques, sont très riches en zinc total : 250 à 320 p.p.m.

TENEUR DES SOLS EN ZINC "UTILISABLE" PAR LES PLANTES

Diverses maladies des plantes sont dues à une toxicité ou à une carence en zinc et le rôle de cet élément paraît encore plus important en biochimie animale, analogue en cela à celui du cuivre et du cobalt (VINOGRADOV, 1959). Par conséquent, il est du plus grand intérêt de connaître, non seulement les teneurs des sols en zinc total, mais également la proportion de celui-ci, "utilisable" par les plantes.

Les réactifs d'extraction diffèrent selon les auteurs. Ce sont :

- soit des acides fort dilués (acides chlorhydrique et nitrique N, acide chlorhydrique 0,1 N)
- soit des acides faibles (acide acétique à 2,5 %, pH 2,5)
- soit des sels (chlorure de potassium N, acétate d'ammonium N à pH 7, acétate de sodium N à pH 4,8)
- soit des complexants organiques tels que l'E.D.T.A.

Les proportions de zinc "utilisable" par les plantes varient, naturellement, en fonction du réactif utilisé mais plus encore, semble-t-il, en fonction des caractéristiques physico-chimiques du sol et par conséquent de son type. Dans l'ensemble elles sont relativement fortes, représentant en moyenne 5 à 20 % du zinc total ; dans des cas tout-à-fait exceptionnels le pourcentage peut atteindre 25 et même 90 % du zinc total.

Extraction par les sels et les complexants organiques

En Bulgarie, le zinc, extrait par l'acétate d'ammonium N à pH 7 des chernozems, sols châtaîns, sols salés à alcalis des zones de steppe, est compris entre des traces et 3,8 p.p.m. et représente 1 à 8,3 % du zinc total.

En U.R.S.S., à partir de sols podzoliques et sols tourbeux de Biélorussie, ce même réactif a permis d'extraire 0,049 à 0,92 p.p.m. de zinc "utilisable", soit 5 à 92 % du zinc total, et à partir de sols alluviaux hydromorphes de la basse vallée de la Moscova 0,2 à 27 p.p.m., soit 0,2 à 20 % du zinc total.

La solution tampon d'acétate de sodium à pH 4,8 a permis d'extraire 2,1 à 3,5 p.p.m. de zinc, soit 2,3 à 5,1 % du zinc total, de sols subdésertiques d'Ouzbékistan ayant des teneurs moyennes (60 à 110 p.p.m.) en zinc total.

Au Mali, les auteurs ont utilisé le chlorure de potassium N pour extraire le zinc "utilisable" de sols ferrugineux tropicaux peu lessivés et de sols alluviaux, les quantités obtenues : 0,1 à 0,9 p.p.m., représentent 4 à 18 % du zinc total.

En Israël, le zinc a été extrait par l'E.D.T.A. de différents types de sols : sols rouges méditerranéens, sols brun-rouge isohumiques, rendzines..., les concentrations sont comprises entre 1,9 et 13 p.p.m., soit 1,7 à 9,6 % du zinc total.

Extraction par les acides

Les chercheurs de l'Inde utilisent surtout l'acide chlorhydrique 0,1 N comme réactif d'extraction. Dans les sols alluviaux analysés les teneurs varient de 1,8 à 6,3 p.p.m., soit 3,6 à 13,2 % du zinc total. Dans les vertisols et les sols vertiques, les valeurs correspondantes sont égales à 1,2 à 3,8 p.p.m. et 1,5 à 5,6 % du zinc total.

En Afrique du Sud, à partir de sols lessivés, de sols ferrallitiques et de sols bruns isohumiques, la concentration moyenne en zinc "utilisable", obtenue par extraction par l'acide chlorhydrique 0,1 N est de l'ordre de 0,6 p.p.m. et le pourcentage par rapport au zinc total 5,5 %.

Aux Iles Hawaiï, dans les mêmes conditions d'extraction, le zinc "utilisable" (0,1 à 18 p.p.m.) de latosols acides, représente 0,2 à 6,3 % du zinc total.

Les teneurs extraites par les acides forts sont plus élevées : ainsi en U.R.S.S., Turkménistan (Amou-Daria), à partir de sols de prairie hydromorphes, dont les concentrations en zinc total sont moyennes (30 à 80 p.p.m.), l'acide nitrique N a permis d'extraire 15,5 à 24 % du zinc total (5 à 18 p.p.m.).

VARIATIONS DES TENEURS DES SOLS EN ZINC

Les facteurs biogénétiques ont une certaine influence sur la répartition du zinc entre les différents horizons des sols.

Le zinc total aussi bien que le zinc "utilisable" s'accumulent dans les horizons supérieurs des sols, en particulier dans les horizons humifères. Les teneurs en cet élément augmentent en même temps que celles en humus et matière organique.

Dans les podzols et les sols podzoliques, la répartition dépend du degré de podzolisation, le zinc tend à s'accumuler dans l'horizon illuvial.

Dans les rendzines et sols bruns calcaires (Pologne, région de Kielce), une certaine accumulation se produit dans les horizons A et (B) par rapport au matériau originel.

Dans les chernozems, la répartition du zinc est uniforme entre les différents horizons.

Les teneurs en zinc varient également en fonction de la texture du sol, les argiles retiennent le zinc. Les sols à texture fine sur argile et limon sont plus riches en zinc que ceux à texture grossière sur matériau sableux. Dans les sols tropicaux, on a constaté, en particulier au Dahomey, que la concentration en zinc augmente avec la profondeur et qu'il s'accumule dans les horizons plus argileux.

Les conditions d'oxydo-réduction influent sur la dynamique du zinc comme sur celle du fer. Les variations saisonnières du premier paraissent suivre celles du rapport fer ferreux-fer ferrique dans le sol. Des études sur les éléments traces des sols alluviaux de la basse vallée de la Moscova en U.R.S.S. en ont donné de bons exemples.

Le pH des sols exerce, également, une certaine influence sur les teneurs des sols en zinc "utilisable". Un pH acide facilite la mise en solution des composés du zinc et les teneurs relatives en cette forme de zinc peuvent augmenter et le sol être assez riche si cet élément n'est pas entraîné.

Il semble aussi que, comme l'ont montré certains auteurs, la proportion de zinc sous forme "utilisable" croisse sous l'influence de la culture. Cela a été signalé en U.R.S.S., aussi bien dans les sols lessivés faiblement podzoliques du sud de la zone de taïga que dans les sols subdésertiques de l'Ouzbékistan ou les sols hydromorphes du Turkménistan.

L'influence de ces différents facteurs pédogénétiques sur la teneur des sols en zinc total et "utilisable", bien que ne devant pas être négligée, est cependant moindre que celle de la roche-mère pour tous les types de sols des diverses zones climatiques, ainsi que nous l'avons montré précédemment.

CARENCE OU TOXICITE EN ZINC

Des carences en zinc sont souvent constatées dans les sols de pH acide. Un pH égal ou inférieur à 5 facilite sa mise en solution et dans les zones humides, il peut alors être facilement entraîné (les sols lessivés, les sols podzoliques et les podzols sont souvent carencés). Dans ces sols acides les végétaux en extraient également davantage. Dans le cas des cultures (céréales, canne à sucre...), les réserves peuvent ainsi diminuer rapidement par suite des exportations des récoltes. Ce fait a été signalé pour les latosols des Iles Hawaiï.

Par ailleurs, certains sols de pH alcalin présentent, eux aussi, des carences en zinc, celui-ci étant sous forme peu utilisable. Par exemple, dans les sols bruns isohumiques calcaires des Nouvelles Galles d'Australie, dans lesquels les teneurs en zinc total peuvent être considérées comme suffisantes (35 à 61 p.p.m.), les concentrations en zinc "utilisable" par les plantes sont très faibles et souvent à la limite de carence.

La carence des sols en zinc peut aussi dépendre d'une forte teneur du sol en éléments fins, argile et limon fin, qui le retiennent énergiquement : aux U.S.A. des études en serre ont montré que l'apport de chaux à des sols argileux provoque, par immobilisation du zinc, une maladie de carence du maïs, alors que le même traitement ne produit rien de tel sur un loess sableux.

Selon RYAN et al. (1964), des apports de phosphore à certains sols sont aussi la cause de carence en zinc pour les végétaux.

En Inde, la limite de carence en zinc "utilisable", soluble dans l'acide chlorhydrique 0,1 N, a été fixée à 1 p.p.m. ; au Japon, pour les sols alluviaux, cette limite est égale à 4-5 p.p.m. de zinc, dosé par la méthode à l'Aspergillus Niger.

En France, les travaux de CHABANNES et al. (1949), sur un sol sableux, légèrement argileux et fortement humifère, et ceux de DARTIGUES et al. (1963), sur des sols limono-sableux et sablo-limoneux, ont montré que la carence en zinc apparaît pour des teneurs en zinc, extractible par l'acide chlorhydrique dilué à pH 5 ou encore 0,2 N, inférieures à 3 p.p.m.

La carence en zinc est corrigée par apport de composés solubles du zinc, principalement du sulfate de zinc, utilisé parfois en arrosage mais le plus souvent sous forme de pulvérisations. Dans le cas des sols acides, un léger chaulage peut être efficace en rendant le zinc moins facilement soluble.

Les cas de toxicité sont rares, même à la suite de traitements excessifs de carence originelle. On en a mis cependant en évidence en Grèce (sols alluviaux, sols tourbeux, sols rouges méditerranéens), en Espagne (sols acides en région sèche) (RYAN et al., 1964).

En Inde, la limite de toxicité en zinc "utilisable" soluble dans l'acide chlorhydrique 0,1 N est estimée à 100 p.p.m.

Aux Pays-Bas, où les quantités de zinc soluble dans l'acide acétique à 2,5 %, pH 2,5, sont parfois très fortes, le chaulage permet d'éliminer la toxicité qui en résulte pour l'avoine et les betteraves.

CONCLUSION

Le zinc se trouve dans les sols à des teneurs relativement fortes, en moyenne 50 p.p.m. Il n'existe pas de différences essentielles entre les divers types de sols des différentes zones climatiques.

Les concentrations en zinc des sols varient en fonction de celles des roches-mères et de leurs teneurs en humus et en argile.

La mobilité du zinc dépend du pH du sol : plus le pH est acide, plus les teneurs en zinc "utilisable" par les plantes peuvent être élevées en régions assez sèches.

Les carences en zinc des sols acides de zone humide sont corrigées par apport de composés solubles du zinc, parfois accompagnés d'un certain chaulage. Les toxicités, plus rares, sont évitées, elles aussi, par chaulage.

AUTRES ELEMENTS

Nous avons réuni dans ce chapitre les éléments traces pour lesquels nous n'avons pu rassembler que peu de données bibliographiques récentes, mais qui ont été dosés au laboratoire de Spectrographie du Service de Pédologie des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M. dans un nombre relativement élevé de sols subtropicaux et tropicaux, pour la plupart africains et malgaches (trois cents environ).

Ce sont des éléments peu étudiés, soit parce que leur rôle en tant qu'éléments traces ne semble pas primordial, soit parce que leur mise en évidence est souvent difficile, la sensibilité et la précision des méthodes utilisées n'étant pas toujours très satisfaisantes. Aux Services Scientifiques Centraux les dosages ont été faits par spectrographie d'arc.

Les renseignements chiffrés étant en nombre restreint, nous ne les avons pas réunis dans des tableaux synoptiques.

ALCALINS RARES : LITHIUM, RUBIDIUM, CESIUM.

Les teneurs moyennes des différents types de roches en lithium, rubidium et césium sont respectivement :

Roches éruptives ultrabasiques : lithium : 0,5 p.p.m. ; rubidium : 2 p.p.m. ; césium : 0,1 p.p.m.

Roches éruptives basiques : lithium : 15 p.p.m. ; rubidium : 45 p.p.m. ; césium : 1 p.p.m.

Roches éruptives acides : lithium : 40 p.p.m. ; rubidium : 200 p.p.m. ; césium : 0,5 p.p.m.

Roches métamorphiques et argiles : lithium : 60 p.p.m. ; rubidium : 200 p.p.m. ; césium : 12 p.p.m.

Grès et roches carbonatées : lithium : 15 et 5 p.p.m. ; rubidium : 60 p.p.m. et 3 p.p.m. ; pas de données pour le césium.

Les teneurs de la lithosphère en ces éléments sont de l'ordre de 65 p.p.m. pour le lithium, 300 p.p.m. pour le rubidium, 3 à 7 p.p.m. pour le césium (SWAINE, 1955 ; VINOGRADOV, 1959 ; TUREKIAN et WEDEPOHL, 1961 ; KOVDA et al., 1964).

TENEUR DES SOLS EN LITHIUM, RUBIDIUM ET CESIUM TOTAUX

Selon SWAINE (1955), les teneurs des sols en lithium total sont comprises entre 5 et 200 p.p.m. VINOGRADOV (1959), cependant, indique pour les sols d'U.R.S.S., en particulier, un domaine de variations beaucoup moins étendu : 10 à 70 p.p.m. seulement.

Les concentrations en rubidium sont plus fortes : 20 à 500 p.p.m. selon SWAINE (1955), 10 à 100 p.p.m. selon VINOGRADOV (1959).

Les valeurs obtenues par spectrographie d'arc, à partir de sols des zones semi-arides et arides ou des zones tropicales que nous avons analysés, atteignent 400 p.p.m. pour le lithium et 1000 p.p.m. pour le rubidium.

En ce qui concerne le césium, les renseignements bibliographiques manquent. VINOGRADOV (1959) considère que la teneur en cet élément des sols d'U.R.S.S. est de l'ordre de quelques p.p.m. seulement (4 à 5), la méthode spectrographique n'ayant pas permis de le doser quantitativement avec précision ; SWAINE (1955) cite quelques références bibliographiques dont les résultats analytiques paraissent aussi incertains.

Les dosages que nous avons faits sur les sols des zones subtropicales et tropicales ont mis en évidence des teneurs extrêmement variables : de 3 à 500 p.p.m., la plupart d'entre elles étant supérieures à celles citées par VINOGRADOV (1959).

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Les sols des zones tempérées et boréales ont des teneurs en lithium et rubidium dont les limites de variation sont comparables à celles indiquées précédemment.

Ainsi en Ecosse, le lithium des podzols varie de : 8 p.p.m. dans un podzol à alios à horizon A_0 tourbeux sur débris de grès à 200 p.p.m. dans un podzol sur débris de micaschistes, un sol ocre podzolique sur débris de serpentinite et un podzol sur débris granitiques en renfermant 10 et 20 p.p.m.

Dans les mêmes sols les concentrations en rubidium sont comprises entre 40 et 500 p.p.m., la plus faible correspond à un podzol à alios à horizon A_0 tourbeux sur débris de grès et la plus forte à un podzol sur débris de gneiss. Les sols ocres podzoliques, sur débris de serpentinite et de gabbro à olivine, ont respectivement 60 et 50 p.p.m. de rubidium (SWAINE et al., 1960).

En U.R.S.S., les teneurs des podzols sont moyennes pour le lithium : 17 à 40 p.p.m. et proches de 80 p.p.m. pour le rubidium (VINOGRADOV, 1959).

Nous n'avons pas de données analytiques se rapportant au césium dans ces sols.

Les sols bruns forestiers ont également des concentrations moyennes en ces éléments :

En Ecosse, dans un sol brun forestier sur moraine à base de galets et débris de roches andésitiques, le lithium et le rubidium atteignent 50 p.p.m. (SWAINE et al., 1960).

En U.R.S.S., on a dosé, dans le même type de sol : lithium 40 p.p.m., rubidium 31 p.p.m. (VINOGRADOV, 1959).

Dans les rendzines, les teneurs sont fortes : à Madagascar, dans la partie supérieure d'une rendzine noire sur calcaire gréseux, elles sont respectivement égales à 115 p.p.m. de lithium, à 350 p.p.m. de rubidium et 660 p.p.m. de césium (NALOVIĆ, 1969).

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Dans certains types de sols de ces régions, les concentrations en rubidium et césium, ce dernier étant plus rarement dosé, sont parfois relativement fortes.

En U.R.S.S., les teneurs de chernozems sont moyennes en lithium et rubidium : respectivement 37 à 46 p.p.m. et 57 à 90 p.p.m. (VINOGRADOV, 1959).

Au Tchad, des sols bruns isohumiques, sur sédiments argileux et sableux, renferment 20 p.p.m. de lithium et 300 p.p.m. de rubidium (PIAS, 1968).

Les vertisols sont le plus souvent riches et même parfois très riches en rubidium et césium :

Au Tchad, dans des vertisols topomorphes sur sédiments argileux et argilo-sableux, le lithium varie de 20 à 90 p.p.m. et le rubidium de 100 à 1000 p.p.m. (PIAS, 1968).

En République Centrafricaine, sur para-amphibolites, les vertisols lithomorphes renferment 10 à 15 p.p.m. de lithium, 300 p.p.m. de rubidium et 60 à 200 p.p.m. de césium (BOULVERT, 1966).

Les vertisols sur alluvions, à Madagascar, sont également très bien pourvus en ces trois éléments : 70 à 180 p.p.m. de lithium, 190 à 680 p.p.m. de rubidium et 280 à 300 p.p.m. de césium (NALOVIĆ, 1969).

En Nouvelle Calédonie, par contre, les vertisols sur flysch à ciment calcaire paraissent pauvres en rubidium : 8 p.p.m. seulement, le lithium étant égal à 24 p.p.m. environ (TERCINIER, 1966).

Toujours en Nouvelle Calédonie, nous avons dosé des teneurs en lithium et rubidium du même ordre de grandeur dans un solonetz solodisé sur flysch à ciment calcaire : 18 p.p.m. de lithium et 8 p.p.m. de rubidium (TERCINIER, 1966).

A Madagascar, un sol salin sur alluvions est riche en rubidium : 440 p.p.m., le lithium ayant une concentration moyenne : 42 p.p.m. (NALOVIĆ, 1969).

Les sols salés à alcalis et solonchacks d'U.R.S.S. ont des teneurs moyennes en lithium : 23 p.p.m. et rubidium : 19 à 67 p.p.m. (VINOGRADOV, 1959).

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Dans les sols tropicaux analysés les teneurs en ces éléments sont extrêmement variables. Elles sont comprises entre :

- moins de 1,8 et 400 p.p.m. de lithium,
- moins de 3 et 100 p.p.m. de rubidium,
- 3 et 300 p.p.m. de césium.

Les limites inférieures indiquées n'ont pas toujours pu être précisées, les chiffres donnés correspondent à la limite de sensibilité de la méthode spectrographique utilisée pour les dosages.

Sols bruns eutrophes

En Nouvelle Calédonie, sur flysch à ciment calcaire, le lithium est de l'ordre de 17 p.p.m., le rubidium est faible : 3 p.p.m., mais aux Nouvelles Hébrides, sur scories basaltiques, les teneurs en lithium sont élevées : 250 à 350 p.p.m., celles en rubidium étant relativement faibles : 20 à 25 p.p.m. (TERCINIER, 1966, 1964).

Sols ferrugineux tropicaux

En République Centrafricaine, sur granite et charnockite, les teneurs sont faibles : lithium 3 à 9 p.p.m., rubidium moins de 3 p.p.m., sur gneiss, amphibolite et migmatite, elles sont faibles encore en ce qui concerne le lithium : 3 à 20 p.p.m. et très diverses en rubidium et césium : moins de 3 à 300 p.p.m. pour le premier, 3 à 150 p.p.m. pour le second (BOULVERT, 1966).

Au Tchad, les sols ferrugineux tropicaux à pseudogley de profondeur sur sédiments sableux et argilo-sableux sont : moyennement pourvus en lithium : 15 à 30 p.p.m., très riches en rubidium : 200 à 1000 p.p.m. ; et pauvres en césium : 3 p.p.m. (PIAS, 1968 ; VIZIER, 1965).

A Madagascar, les sols ferrugineux tropicaux sont généralement riches, les teneurs varient en fonction de la roche-mère ; pour le lithium : de 30 p.p.m. sur grès à 140 p.p.m. sur schistes, sur roche basique, calcaire et sables : 85 à 95 p.p.m. ; pour le rubidium : de 140 p.p.m. sur sables à 350 et 390 p.p.m. sur roche basique et grès. Le césium atteint 60 p.p.m. dans les sols de ce type formés sur calcaire (NALOVIĆ, 1969).

Sols ferrallitiques

En République Centrafricaine, sur les différentes roches-mères, les teneurs en lithium sont comprises le plus souvent, entre 3 et 30 p.p.m., les plus faibles ont été dosées dans des sols sur granite : 2,7 à 9 p.p.m., et les plus fortes dans des sols sur gneiss, mais dans ce cas les variations sont importantes : de 3 à 300 p.p.m.

Dans la plupart des sols le rubidium est inférieur ou égal à 3 p.p.m., à l'exception des sols ferrallitiques formés sur gneiss, dans lesquels il varie, comme le lithium, de 3 à 300 p.p.m.

En ce qui concerne le césium, les concentrations sont comprises entre 10 et 30 p.p.m. (BOULVERT, 1966).

Au Tchad, dans des sols ferrallitiques sur grès, nous retrouvons les mêmes teneurs en lithium que ci-dessus : 3 à 30 p.p.m., celles en rubidium, par contre, sont plus fortes : 100 à 300 p.p.m. (PIAS, 1968).

Les chiffres que nous avons obtenus pour les sols de Madagascar varient très largement en fonction de la roche-mère. Ainsi nous avons dosé moins de 1,8 p.p.m. de lithium dans les sols formés sur cendres volcaniques et 70 p.p.m. dans ceux formés sur calcaire, ceux sur gneiss et granite en ayant 27 à 35 p.p.m. Le rubidium est également relativement

faible dans les sols sur cendres volcaniques : 13 p.p.m., tandis que les plus fortes concentrations correspondent aux sols sur granite : 265 p.p.m. Le césium est fort dans les sols sur calcaire et basaltes : 90 et 170 p.p.m. (NALOVIĆ, 1969).

En Polynésie, tous les sols ferrallitiques analysés dérivent de basalte et basalte andésitique, les teneurs en lithium, comprises entre 3 et 30 p.p.m., varient en fonction du degré de dégradation des sols et de leur induration dans les horizons profonds :

- sols ferrallitiques très dégradés : 3 p.p.m.
- sols ferrallitiques peu dégradés : 5 et 30 p.p.m.
- sols ferrallitiques indurés en sous-sol : 3 à 10 p.p.m. (TERCINIER, 1963).

Sols hydromorphes à gley et pseudogley et sols alluviaux

En République Centrafricaine, sur alluvions récentes les concentrations en lithium sont moyennes : 25 à 30 p.p.m., mais celles en rubidium : 8 p.p.m. et césium : 10 p.p.m., sont faibles (BOULVERT, 1966).

Au Tchad, dans des sols hydromorphes à gley et pseudogley, sur sédiments sableux et argilo-sableux, le lithium est aussi de l'ordre de 25 à 30 p.p.m., le rubidium est fort : 200 p.p.m. et le césium varie de 6 à 30 p.p.m. Par contre, les sols alluviaux hydromorphes halomorphes analysés sont riches en lithium : 30 à 100 p.p.m. et très riches en rubidium : 270 à 1000 p.p.m. (VIZIER, 1965 ; PIAS, 1968).

Les sols hydromorphes et hydromorphes à gley de Madagascar sont, eux aussi, bien pourvus en ces éléments : lithium 71 et 90 p.p.m., rubidium 90 et 180 p.p.m., césium 220 p.p.m. (NALOVIĆ, 1969).

Sols peu évolués d'apport ou d'érosion

En République Centrafricaine, les teneurs des sols peu évolués d'érosion varient naturellement en fonction de la roche-mère : lithium 2,7 p.p.m. sur itabirite, 10 à 20 p.p.m. sur amphibolite ; césium : 300 p.p.m. (BOULVERT, 1966).

A Madagascar, les sols alluviaux peu évolués sont riches en lithium : 75 à 250 p.p.m. et en rubidium : 280 à 480 p.p.m. (NALOVIĆ, 1969).

Aux Nouvelles Hébrides, dans des sols peu évolués d'apport, sur ponces acides recouvrant des scories basiques, on a dosé 180 à 400 p.p.m. de lithium et seulement 25 p.p.m. de rubidium (TERCINIER, 1964).

Tous ces résultats montrent que, tout en étant extrêmement variables, les teneurs en lithium et rubidium des différents types de sols des diverses zones climatiques sont, le plus souvent, comprises entre les limites extrêmes citées par SWAINE (1955).

Elles varient en fonction de la roche-mère et, de façon moins nette, en fonction de certains processus de pédogénèse, en particulier dans les sols des régions tropicales.

La répartition de ces éléments entre les différents horizons des profils de sols paraît être en liaison avec le type de sol, le plus souvent ils s'accumulent dans les horizons supérieurs.

L'hydromorphie joue un rôle important dans cette répartition, cela a été mis en évidence à Madagascar, en particulier (NALOVIĆ, 1969).

ALCALINO-TERREUX : BARYUM, STRONTIUM.

Les roches ont des teneurs en baryum et strontium différentes selon leur origine :

Les roches éruptives ultra-basiques sont très pauvres en ces éléments : baryum : 1 p.p.m., strontium : 10 p.p.m.

Les roches éruptives basiques (basalte, gabbro...) quoique déjà moins pauvres sont cependant moins riches en baryum : 270 p.p.m. que les roches éruptives acides (granite, charnockite) et que les roches métamorphiques (gneiss,

schistes) ou sédimentaires (argiles) : 800 p.p.m. Par contre, les concentrations en strontium sont très peu différentes : 300 p.p.m. dans les roches éruptives acides, 440 à 450 p.p.m. dans les roches éruptives basiques ou sédimentaires.

Dans les roches neutres, les teneurs citées comme moyennes par VINOGRADOV (1959), sont de 650 p.p.m. pour le baryum et 800 p.p.m. pour le strontium.

Pour les roches carbonatées, les valeurs sont de 10 p.p.m. pour le baryum et 610 p.p.m. pour le strontium.

Ces teneurs moyennes sont également celles de la lithosphère : 500 p.p.m. de baryum, 400 p.p.m. de strontium (VINOGRADOV, 1959 ; KOVDA et al., 1964).

Nous pouvons citer quelques résultats analytiques concernant les teneurs des roches en ces éléments. Ils proviennent d'U.R.S.S., comme ceux indiqués précédemment.

Ainsi dans la région de l'Amour on a dosé dans des sables, des graviers ou des alluvions sableuses : 400 à 540 p.p.m. de baryum, 100 à 200 p.p.m. de strontium ; dans des alluvions lacustres, formées en majeure partie de limons argileux : 600 p.p.m. de baryum, 520 p.p.m. de strontium et dans des dépôts stratifiés d'inondation : 450 p.p.m. de baryum et 870 p.p.m. de strontium ; quant au granite, sa teneur en baryum est moyenne, mais il est relativement pauvre en strontium : 100 p.p.m. (KOVDA et al., 1958).

Par ailleurs, des études portant sur les sables de la basse vallée de la Volga ont fait ressortir l'influence de leur origine sur leurs teneurs en ces éléments : les sables alluviaux anciens et fluvioglaciers de cette région renferment 20 à 100 p.p.m. de baryum et 50 à 60 p.p.m. de strontium ; les sables marins anciens dosent 10 à 270 p.p.m. de baryum et environ 40 p.p.m. de strontium ; les sables marins quaternaires sont nettement plus riches : 170 à 600 p.p.m. de baryum et 160 à 1000 p.p.m. de strontium (VAKULIN, 1966).

TENEUR DES SOLS EN BARYUM ET STRONTIUM TOTAUX

Dans les sols, selon SWAINE (1955), le baryum est compris entre 100 et 3000 p.p.m., le strontium entre 50 et 1000 p.p.m.

VINOGRADOV (1959), pour ces deux éléments, donne des teneurs moyennes proches de celles de la lithosphère : 500 p.p.m. pour le baryum, 350 p.p.m. pour le strontium.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Les sols de ces régions ont des concentrations en baryum et strontium variant entre les limites citées ci-dessus : baryum de 150 à 3000 p.p.m. ; strontium de 40 à 800 p.p.m.

Les sols de toundra de montagne, de la péninsule de Kola, en U.R.S.S., renferment en moyenne 190 p.p.m. de baryum et 380 p.p.m. de strontium (DOBROVOL'SKIY, 1963).

En Ecosse, les teneurs, minimale (250 p.p.m.) et maximale (3000 p.p.m.), en baryum des podzols, correspondent à des sols formés, d'une part sur débris granitiques, de l'autre sur débris de gneiss ; sur grès ou micaschistes, les concentrations sont égales à 800 et 1500 p.p.m. Les sols ocres podzoliques sur débris de serpentinite ou de gabbro à olivine ont respectivement 1500 et 2000 p.p.m. de baryum. Dans les mêmes sols, le strontium varie de 40 p.p.m. dans un podzol sur débris de grès à 700 p.p.m. dans un podzol sur débris de gneiss. Un sol ocre podzolique sur débris de gabbro à olivine en renferme 800 p.p.m. (SWAINE et al., 1960).

En U.R.S.S., les teneurs moyennes des sols podzoliques à gley de la région de l'Amour sont de l'ordre de 710 p.p.m. de baryum et 440 p.p.m. de strontium (KOVDA et al., 1958).

Les sols bruns forestiers ont, le plus souvent, des concentrations moyennes : en Ecosse, on a dosé 600 p.p.m. de baryum et 150 p.p.m. de strontium dans un sol de ce type sur moraine à base de galets et débris de roches andésitiques (SWAINE et al., 1960).

Dans la région de l'Amour (U.R.S.S.) sur granite, le baryum ne dépasse pas 500 p.p.m. et le strontium 280 p.p.m. (KOVDA et al., 1958).

En Chine du nord-est, sur basalte, les teneurs sont sensiblement équivalentes : 570 p.p.m. de baryum, 270 p.p.m. de strontium (FANG et al., 1963).

Par contre, à Madagascar, dans une rendzine noire sur calcaire gréseux, elles sont beaucoup plus fortes : 2180 p.p.m. de baryum et 625 p.p.m. de strontium (NALOVIĆ, 1969).

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Dans les sols de ces zones climatiques, les teneurs en baryum et en strontium sont souvent assez élevées : de 10 à 1500 p.p.m. pour le baryum, de 90 à 3000 p.p.m. pour le strontium qui peut atteindre des teneurs tout-à-fait exceptionnelles : 4300 p.p.m.

En U.R.S.S., les chernozems de la région de l'Amour ont des concentrations moyennes : 400 p.p.m. de baryum et de strontium (KOVDA et al., 1958).

Au Tchad, les sols bruns isohumiques sur divers sédiments sont plus riches : 1000 p.p.m. de baryum, 200 p.p.m. de strontium (PIAS, 1968).

Les vertisols sont également, en général, bien pourvus en ces éléments : en République Centrafricaine, dans des vertisols lithomorphes hydromorphes sur amphibolite, et au Tchad dans des vertisols topomorphes sur sédiments argilo-sableux, on a dosé respectivement 300 à 1500 et 900 à 1400 p.p.m. de baryum, 100 à 1000 et 90 à 300 p.p.m. de strontium (BOULVERT, 1966 ; VIZIER, 1965).

A Madagascar, dans des sols de même type sur alluvions, l'écart est moins grand entre les teneurs maximales et minimales : 630 à 750 p.p.m. de baryum et 255 à 380 p.p.m. de strontium (NALOVIĆ, 1969).

Nous retrouvons des valeurs équivalentes dans un vertisol sur flysch à ciment calcaire, en Nouvelle Calédonie : 800 p.p.m. de baryum, 240 p.p.m. de strontium (TERCINIER, 1966).

Les sols subdésertiques de la région d'Ustyurt en U.R.S.S., formés sur limon fin, ont des concentrations à peine moyennes en baryum : 100 à 300 p.p.m., mais très variables et parfois même, exceptionnellement élevées en strontium, puisqu'elles peuvent atteindre 4300 p.p.m. (DOBROVOL'SKIY, 1961).

Les sols très salés à alcalis du Turkménistan (U.R.S.S.) sont, eux aussi, très riches en strontium : 700 à 3000 p.p.m., et bien pourvus en baryum 700 à 900 p.p.m. (GRAZHDAN, 1959).

A Madagascar, dans un sol salin sur alluvions, et en Nouvelle Calédonie, dans un solonetz solodisé, sur flysch à ciment calcaire, les teneurs en baryum sont les mêmes que ci-dessus : 700 à 900 p.p.m., mais celles en strontium, par contre, sont beaucoup plus faibles : 90 p.p.m. seulement (NALOVIĆ, 1969 ; TERCINIER, 1966).

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Dans les sols tropicaux, les concentrations maximales en baryum et strontium sont du même ordre de grandeur que celles des sols des zones tempérées ou même, dans certains cas, que celles des sols de zones arides : 2000 à 3000 p.p.m. de baryum ; 1500 à 2000 p.p.m. de strontium, mais les concentrations minimales sont très inférieures : 9 à 10 p.p.m. de baryum, 3 p.p.m. de strontium.

Les sols bruns eutrophes sont le plus souvent bien pourvus en ces deux éléments : aux Nouvelles Hébrides, sur scories basiques, et en Nouvelle Calédonie, sur flysch à ciment calcaire, on a dosé 600 à 1880 p.p.m. de baryum d'une part et 800 p.p.m. de l'autre, dans les deux cas le strontium est égal à 200-300 p.p.m. (TERCINIER, 1964, 1966).

Dans les sols ferrugineux tropicaux, les variations des teneurs sont importantes, elles paraissent dépendre de la nature de la roche-mère. Ainsi, en République Centrafricaine, elles sont faibles lorsque les sols sont formés sur roches éruptives acides (granite, charnockite) : 27 à 100 p.p.m. de baryum, 3 à 9 p.p.m. de strontium, et plus fortes, mais très variables lorsque les roches-mères sont d'origine métamorphique : sur gneiss on a dosé 30 à 2000 p.p.m. de baryum et 3 à 80 p.p.m. de strontium (BOULVERT, 1966).

De même, à Madagascar, les sols ferrugineux tropicaux sur roches basiques sont plus riches, 1300 p.p.m. de baryum et 350 p.p.m. de strontium que ceux sur schistes : 300 p.p.m. de baryum, ou sur sables : 3 p.p.m. de strontium (NALOVIĆ, 1969).

Au Tchad, par ailleurs, les sols ferrugineux tropicaux à pseudogley profond ou à concrétions, sur matériau argilo-sableux, ne renferment que 60 à 150 p.p.m. de baryum et 3 à 10 p.p.m. de strontium (VIZIER, 1965). Dans d'autres zones du pays, cependant, des sols de même type contiennent respectivement 250 à 1000 p.p.m. de baryum et 20 à 200 p.p.m. de strontium (PIAS, 1968).

Les sols ferrallitiques présentent des variations analogues, les teneurs étant, cependant, plus rarement élevées.

En République Centrafricaine, nous avons dosé des teneurs très faibles dans ceux formés sur granite : 9 à 72 p.p.m. de baryum, 2,7 à 9 p.p.m. de strontium, plus fortes mais très diverses dans ceux sur gneiss ou micaschistes : 30 à 720 p.p.m. de baryum, 3 à 90 p.p.m. de strontium (BOULVERT, 1966).

A Madagascar, le baryum varie de 25 p.p.m. dans les sols ferrallitiques sur cendres volcaniques, à 1050 p.p.m. dans les mêmes sols sur gneiss ; ceux sur basalte et granite en renferment 700 p.p.m. environ.

En ce qui concerne le strontium, les concentrations dosées sont maximales sur granite : 310 p.p.m. et minimales sur calcaire : 4 p.p.m. (NALOVIĆ, 1969).

En Polynésie, les sols ferrallitiques formés sur basalte et basalte andésitique ont des teneurs faibles en baryum, variant en fonction de l'induration et du degré de dégradation des sols :

10 à 30 p.p.m. dans ceux à sous-sol induré,
50 à 100 p.p.m. dans ceux peu dégradés,
80 à 300 p.p.m. dans ceux très dégradés (TERCINIER, 1963).

Les sols hydromorphes à gley et pseudogley

Ces sols sont caractérisés par des teneurs extrêmement variables : 170 à 3000 p.p.m. de baryum et 25 à 300 p.p.m. de strontium dans des sols hydromorphes à pseudogley sur alluvions, en République Centrafricaine (BOULVERT, 1966).

Au Tchad, les sols hydromorphes à gley sur matériau argileux et les sols hydromorphes halomorphes sur matériau limono-argileux sont riches en baryum : 85 à 1000 p.p.m., et en strontium : 130 à 170 et 280 à 300 p.p.m., par contre, les sols hydromorphes à pseudogley profond sur matériau argilo-sableux ne renferment que 100 à 200 p.p.m. de baryum et 10 à 30 p.p.m. de strontium (PIAS, 1968 ; VIZIER, 1965).

A Madagascar, les teneurs sont du même ordre de grandeur dans un sol hydromorphes à gley sur alluvions : baryum 450 p.p.m., strontium : 44 p.p.m. (NALOVIĆ, 1969).

Les concentrations en baryum et strontium des sols peu évolués d'érosion varient naturellement en fonction de la roche-mère.

En République Centrafricaine, ceux sur itabirite ne renferment que 18 p.p.m. de baryum et 2,7 p.p.m. de strontium, tandis que sur amphibolite les sols de même type ont de 80 à 1000 p.p.m. de baryum et 80 à 1500 p.p.m. de strontium (BOULVERT, 1966).

Les sols peu évolués d'apport sont, dans l'ensemble, riches en baryum et strontium :

Au Tchad, dans un sol peu évolué hydromorphe sur gneiss, nous avons dosé 600 p.p.m. de baryum et 1000 p.p.m. de strontium (PIAS, 1968).

A Madagascar, sur alluvions, les teneurs sont de l'ordre de 1400 à 1750 p.p.m. de baryum et de 95 à 145 p.p.m. de strontium (NALOVIĆ, 1969).

En Nouvelle Calédonie, sur débris de roches diverses ou sur flysch à ciment calcaire et aux Nouvelles Hébrides, sur ponces acides recouvrant des scories basiques, les concentrations varient de 700 à 900 p.p.m. pour le baryum et de 180 à 300 p.p.m. pour le strontium (TERCINIER, 1966, 1964).

VARIATIONS DES TENEURS DES SOLS EN BARYUM ET STRONTIUM

Les résultats analytiques cités précédemment nous montrent qu'à l'exception de certains de ceux des régions tropicales, les sols sont généralement bien pourvus en baryum et strontium, quels que soient leur type et la zone climatique où ils se sont développés. Les valeurs citées sont bien comprises entre les limites indiquées par SWAINE (1955).

Les concentrations en ces éléments dépendent tout d'abord de celles des roches sur lesquelles les sols se sont formés : les podzols et les sols podzoliques d'Ecosse, les sols ferrugineux tropicaux et les sols ferrallitiques en fournissent de bons exemples :

Elles peuvent varier également en fonction d'autres facteurs : facteurs fondamentaux d'évolution des sols, en particulier facteurs climatiques (pluviosité, température), degré d'évolution : par exemple intensité du lessivage ou de la lixiviation, ou facteurs secondaires d'évolution des sols (érosion, dégradation). Cela permet d'expliquer, en particulier, les concentrations extrêmement variables dosées dans des sols de même type formés sur une même roche (cas des sols ferrugineux tropicaux ou des sols ferrallitiques en République Centrafricaine).

La répartition des éléments entre les différents horizons des sols dépend essentiellement du type de sol. Ainsi, en Ecosse, dans les sols de type podzolique sur granite, grès, schistes, il y a accumulation du baryum et du strontium dans les horizons inférieurs. Par contre, dans les sols des zones semi-arides et arides et même dans certains sols de zones tropicales, c'est le plus souvent en surface que l'on observe un enrichissement en baryum (sols de Madagascar, NALOVIĆ, 1969). Le baryum peut s'y accumuler sous forme de sulfate très peu soluble. Le strontium plus soluble, est entraîné en profondeur par lixiviation.

On constate aussi que les sols subdésertiques et les sols salés à alcalis sont enrichis en strontium, des dépôts marins étant à l'origine de cet enrichissement (VINOGRADOV, 1959).

Par ailleurs, la répartition du strontium dans les roches suivant celle du calcium, les sols calcaires sont souvent riches en cet élément.

En zones semi-arides et arides et en zones tropicales, les sols les plus riches en alcalino-terreux sont les vertisols, les sols hydromorphes et les sols alluviaux plus ou moins hydromorphes. Les conditions d'hydromorphie paraissent favoriser le maintien ou l'accumulation de ces éléments.

ARGENT

Dans les roches, les concentrations en argent sont généralement très faibles. On a dosé en moyenne :

dans les roches éruptives basiques (basalte), les roches métamorphiques (schistes) et sédimentaires (argiles) : 0,1 p.p.m.

dans les roches éruptives acides (granite) : 0,05 p.p.m. (VINOGRADOV, 1959).

Selon KOVDA et al. (1964), la teneur moyenne de la lithosphère est environ 0,1 p.p.m.

TENEUR DES SOLS EN ARGENT

Les sols sont, eux aussi, très pauvres en argent. SWAINE (1955) indique moins de 1 p.p.m. comme teneur moyenne des sols en cet élément.

Cependant, quelques très rares sols d'Ecosse et des U.S.A. ont été décrits comme possédant 2 à 5 p.p.m. et même jusqu'à 30 p.p.m. d'argent.

Les déterminations systématiques de l'argent dans les sols des diverses régions climatiques sont rares et les données chiffrées très peu nombreuses. Les renseignements analytiques que nous citons, concernant les zones semi-arides et arides ou les zones tropicales, correspondent à des sols que nous avons analysés.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Au Canada, la teneur moyenne en argent de l'horizon supérieur des podzols bien drainés du Nouveau Brunswick est de l'ordre de 3,8 p.p.m. sur sédiments riches en sulfures, et de 1,6 p.p.m. sur d'autres sédiments : dans ce cas les valeurs extrêmes, pour une cinquantaine de profils de sols, sont égales à 0,2 et 7,8 p.p.m. d'argent (PRESANT, 1965).

A Madagascar, dans la partie supérieure d'une rendzine noire sur calcaire gréseux, la teneur est inférieure à 2,3 p.p.m. (NALOVIĆ, 1969).

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Dans les vertisols lithomorphes hydromorphes de République Centrafricaine et dans ceux sur alluvions de Madagascar, nous avons dosé moins de 3 p.p.m. d'argent (BOULVERT, 1966 ; NALOVIC, 1969).

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Les sols tropicaux sont également très pauvres en argent.

Sols ferrugineux et sols ferrallitiques

En République Centrafricaine, sur différentes roches-mères (charnockite, gneiss, amphibolite...) et au Dahomey, les teneurs sont inférieures à 1 p.p.m. (BOULVERT, 1966 ; PINTA et al., 1961).

Au Tchad, sur matériau argilo-sableux, elles sont comprises entre moins de 1 et 3 p.p.m. (VIZIER, 1965).

A Madagascar, les concentrations sont inférieures à 2 p.p.m. dans les sols de ces types sur granite, gneiss, calcaire, sables, mais elles atteignent 5 p.p.m. dans l'horizon supérieur d'un sol ferrallitique sur basalte (NALOVIC, 1969).

En Polynésie, également, elles sont plus élevées : les sols ferrallitiques à sous-sol induré et les sols ferrallitiques dégradés sur basalte andésitique en renferment 3 à 7 p.p.m., la plus forte teneur dosée, 24 p.p.m., correspond à l'horizon supérieur d'un sol ferrallitique non dégradé sur éboulis basaltiques (TERCINIER, 1963).

Sols hydromorphes

Au Tchad, dans les horizons supérieurs d'un sol hydromorphe peu humifère à gley de surface et d'un sol hydromorphe à pseudogley de profondeur, les concentrations sont inférieures à 3 p.p.m., dans les horizons inférieurs de ces mêmes sols, elles sont égales à 3 p.p.m. (VIZIER, 1965).

Sols peu évolués d'apport ou d'érosion

En République Centrafricaine, un sol peu évolué d'érosion sur itabirite renferme moins de 3 p.p.m. d'argent. mais à Madagascar les horizons supérieurs des sols peu évolués d'apport sont relativement plus riches : 5 à 9 p.p.m. d'argent, (NALOVIC, 1969).

A de rares exceptions près, tous les sols analysés ont donc des concentrations très faibles en argent.

BISMUTH

Selon VINOGRADOV (1959), la teneur en bismuth des différentes roches est très faible : de 0,007 p.p.m. dans les basaltes à 0,01 p.p.m. dans les granites, les argiles et les schistes.

En ce qui concerne la lithosphère, SWAINE (1955) et KOVDA et al. (1964) indiquent 0,2 p.p.m. comme concentration moyenne.

Nous n'avons pas de renseignements bibliographiques sur les teneurs des roches et des sols en cet élément.

TENEUR DES SOLS EN BISMUTH TOTAL

Nous avons dosé le bismuth par spectrographie d'arc dans des sols des différentes zones climatiques et géographiques, comprenant principalement des sols subtropicaux et tropicaux.

C'est un élément difficile à déceler et la méthode manque souvent de sensibilité.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

A Madagascar, la teneur en bismuth de la partie supérieure d'une rendzine noire sur calcaire gréseux est inférieure à 8 p.p.m. (NALOVIĆ, 1969).

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

En République Centrafricaine, les vertisols sur amphibolite ont des teneurs en cet élément qui atteignent rarement 3 p.p.m. (BOULVERT, 1966). Dans le même type de sols, à Madagascar sur alluvions ou en Nouvelle Calédonie sur flysch à ciment calcaire, les teneurs sont faibles et n'ont pu être précisées avec exactitude (NALOVIĆ, 1969 ; TERCINIER, 1966).

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

En République Centrafricaine, sur différences roches-mères (charnockite, granite, amphibolite, gneiss) et au Tchad, sur matériau argilo-sableux, les concentrations en bismuth des sols ferrugineux tropicaux et des sols ferrallitiques sont toutes inférieures à 3 p.p.m.

A Madagascar, cependant, dans un sol ferrugineux tropical sur calcaire, on a dosé 10 p.p.m. de cet élément.

Les sols alluviaux, sur alluvions, les sols peu évolués d'érosion sur itabirite ou sur amphibolite de République Centrafricaine, ainsi que les sols hydromorphes ou alluviaux, sur matériau argilo-sableux, du Tchad ont eux aussi des teneurs en bismuth généralement inférieures à 3 p.p.m. (BOULVERT, 1966 ; VIZIER, 1965).

La concentration la plus forte, obtenue dans un des sols étudiés, 13 p.p.m., correspond à l'horizon supérieur d'un sol peu évolué d'apport fluviomarine (sol de mangrove) à Madagascar (NALOVIĆ, 1969).

ETAIN

Les teneurs en étain dans les roches varient en fonction de la nature de la roche ; elles sont plus faibles dans les roches éruptives basiques (basalte, gabbro...) : 1,5 p.p.m., que dans les roches éruptives acides (granite...) : 3 p.p.m. et que dans les roches métamorphiques et sédimentaires (schistes et argiles) : 10 p.p.m. (VINOGRADOV, 1959).

La moyenne obtenue pour l'ensemble de la lithosphère est de l'ordre de 40 p.p.m. (SWAINE, 1955 ; KOVDA et al., 1964).

TENEUR DES SOLS EN ETAIN TOTAL

L'étain est rarement dosé dans les sols et les renseignements chiffrés sont peu nombreux. Selon SWAINE (1955), les teneurs des sols peuvent atteindre 10 p.p.m.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Au Canada, Nouveau Brunswick, dans les horizons supérieurs de podzols formés sur des sédiments riches en sulfures on a dosé en moyenne 7,1 p.p.m. d'étain ; dans les sols de même type formés sur d'autres sédiments la concentration moyenne est environ 2,3 p.p.m., les teneurs extrêmes étant alors égales à 0 et 9,1 p.p.m. (PRESANT, 1965).

En Chine du nord-est la concentration est voisine de 6 p.p.m. dans des sols bruns forestiers sur basalte (FANG et al., 1963).

A Madagascar, par contre, dans la partie supérieure d'une rendzine noire sur calcaire gréseux, la teneur en étain est inférieure à 2,4 p.p.m. (NALOVIĆ, 1969).

La teneur maximale a été dosée en Pologne dans des sols voisins de dépôts miniers : 50 p.p.m. (SAROSIEK et al., 1962).

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Les résultats analytiques cités proviennent de dosages effectués au laboratoire de Spectrographie des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M.

Dans les divers types de sols les teneurs en étain sont comprises entre moins de 3 et 50 p.p.m.

En Nouvelle Calédonie, elles sont égales à 7 et 8 p.p.m. dans des sols fersiallitiques sur flysch à ciment calcaire (TERCINIER, 1966).

Les vertisols ont des concentrations très variables en cet élément. Ainsi, en République Centrafricaine, les teneurs des vertisols lithomorphes hydromorphes sur amphibolite varient de moins de 3 à 50 p.p.m. (BOULVERT, 1966).

Au Tchad, celles des vertisols topomorphes sur sédiments argilo-sableux sont, en moyenne, égales à 3 p.p.m. (PIAS, 1968).

A Madagascar, les vertisols sur alluvions ont des teneurs en étain inférieures à 3 p.p.m. et en Nouvelle Calédonie, des vertisols topomorphes sur flysch à ciment calcaire en renferment 4 p.p.m. (NALOVIĆ, 1969 ; TERCINIER, 1966)

Les sols salés (sols salins, solonetz) ont des teneurs en étain du même ordre de grandeur : moins de 3 p.p.m. dans un sol salin sur alluvions à Madagascar, 7 p.p.m. dans un solonetz solodisé sur flysch à ciment calcaire en Nouvelle Calédonie (NALOVIĆ, 1969 ; TERCINIER, 1966).

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Les concentrations en étain varient de moins de 1 à 60 p.p.m. dans les sols que nous avons analysés.

A quelques exceptions près, les sols ferrugineux tropicaux et les sols ferrallitiques étudiés ont des teneurs en étain comprises entre moins de 3 et 10 p.p.m.

C'est le cas, en République Centrafricaine, de ceux formés sur différentes roches-mères (gneiss, amphibolite, charnockite, granite...) pour lesquels elles sont, pour la plupart, inférieures ou égales à 3 p.p.m., une teneur exceptionnelle de 60 p.p.m. ayant été dosée dans l'horizon inférieur d'un sol ferrugineux tropical sur amphibolite (BOULVERT, 1966).

C'est le cas, également, de ceux du Tchad sur matériau argilo-sableux (PIAS, 1968 ; VIZIER, 1965).

Au Dahomey, elles sont légèrement plus fortes : 3 p.p.m. dans un sol ferrugineux tropical et dans un sol "terre de barre" et 16 p.p.m. dans un sol faiblement ferrallitique argileux (PINTA et al., 1961).

Par ailleurs, à Madagascar, les sols ferrugineux tropicaux et les sols ferrallitiques formés sur granite, sur calcaire, sur cendres volcaniques, sont très pauvres en étain : moins de 2,7 p.p.m., à l'exception toutefois d'un sol ferrallitique sur granite et d'un autre sur cipolin, dans lesquels on a dosé 2,8 et 6 p.p.m. de cet élément (NALOVIĆ, 1969).

Les teneurs sont également à peine dosables dans les sols ferrallitiques plus ou moins dégradés et à sous-sol induré, formés sur basalte et basalte andésitique, en Polynésie : moins de 1 p.p.m. (TERCINIER, 1963).

Sols hydromorphes et alluviaux

En République Centrafricaine, les sols hydromorphes à pseudogley, sur alluvions, ont des teneurs qui ne dépassent pas 3 p.p.m. (BOULVERT, 1966).

Au Tchad, dans le même type de sols sur gneiss ou matériau argilo-sableux et, en Nouvelle Calédonie, sur flysch à ciment calcaire, elles sont de l'ordre de 9 à 10 p.p.m. (PIAS, 1968 ; VIZIER, 1965 ; TERCINIER, 1966).

Au Dahomey, par contre, on a dosé 27 p.p.m. d'étain dans l'horizon supérieur d'un sol noir tropical à hydro-morphie temporaire (PINTA et al., 1961).

Les sols peu évolués d'apport ont également des concentrations très variables : en Nouvelle Calédonie, sur débris de roches diverses, elles sont inférieures à 3 p.p.m., sur flysch à ciment calcaire, elles sont égales à 4 et 7 p.p.m. et elles atteignent 22 p.p.m. dans l'horizon supérieur d'un sol de mangrove, à Madagascar (TERCINIER, 1966 ; NALOVIĆ, 1969).

Dans l'ensemble, les concentrations en étain des divers types de sols de différentes zones climatiques, que nous avons analysés, sont donc très faibles et proches des valeurs citées par SWAINE (1955).

La répartition de l'étain entre les horizons des sols suit, le plus souvent, celles de la matière organique et de l'argile. On constate une accumulation de cet élément dans l'horizon de surface, en particulier dans les sols à forte teneur en matière organique et dans les sols à hydromorphie temporaire ou permanente. Ceci a été mis en évidence à Madagascar dans un sol de mangrove et au Dahomey dans un sol noir tropical (NALOVIĆ, 1969 ; PINTA et al., 1961).

Par ailleurs, dans certains sols tropicaux pour lesquels la couche organique n'est pas très épaisse, l'étain s'accumule en profondeur dans l'horizon argileux. C'est le cas des sols ferrallitiques du Dahomey et du Tchad (PINTA et al., PIAS, 1968).

GALLIUM

On peut mettre le gallium en évidence dans la plupart des roches de l'écorce terrestre. Selon VINOGRADOV (1959) les teneurs en cet élément augmentent des roches éruptives basiques (basalte, gabbro...) : 15-20 p.p.m., aux roches éruptives acides (granite...) : 20 p.p.m. et aux roches métamorphiques (schistes) et sédimentaires (argiles) : 30 p.p.m. Par contre, les teneurs des grès et surtout celles des roches carbonatées sont nettement plus faibles : 12 et 4 p.p.m. respectivement (TUREKIAN et WEDEPOHL, 1961).

La concentration moyenne de la lithosphère est environ 15 p.p.m. (SWAINE, 1955).

Dans les roches, le gallium se trouve, le plus souvent sous forme de minéraux alumino-silicatés et sa teneur varie en fonction de celle de l'aluminium (VINOGRADOV, 1959). On peut le doser facilement par spectrographie d'arc.

TENEUR DES SOLS EN GALLIUM TOTAL

Le gallium a été dosé dans les sols des différentes régions climatiques, Sa concentration varie de moins de 2,6 p.p.m. à 100 p.p.m. VINOGRADOV (1959) indique 30 p.p.m. comme concentration moyenne des sols en cet élément.

EN REGIONS TEMPEREES ET BOREALES

Les teneurs en gallium total des sols de ces régions sont comprises entre 10 et 70 p.p.m.

En U.R.S.S., on a dosé 40 p.p.m. de gallium dans l'horizon tourbeux d'un sol de toundra de montagne de la péninsule de Kola (DOBROVOL'SKIY, 1963).

Dans les podzols d'Ecosse, les concentrations varient en fonction de la roche-mère : 10 et 15 p.p.m. quand ils sont formés sur débris de roches granitiques ou gréseuses, 40 et 70 p.p.m. pour ceux sur débris de micaschistes ou de gneiss, les sols ocres podzoliques sur débris de serpentinite ou de gabbro à olivine ayant des teneurs intermédiaires : 30 et 50 p.p.m. (SWAINE et al., 1960).

Toujours en Ecosse, un sol brun forestier, formé sur moraine à base de galets et débris de roches andésitiques, en renferme 20 p.p.m. (SWAINE et al., 1960).

Les rendzines sont, elles aussi, moyennement pourvues en gallium. Nous avons dosé 12 p.p.m. de cet élément dans la partie supérieure d'une rendzine noire sur calcaire gréseux, à Madagascar, et en Australie (Queensland), les teneurs sont, en moyenne, égales à 22 p.p.m. (NALOVIĆ, 1969 ; OERTEL et al., 1963).

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

Le gallium varie de 3 à 60 p.p.m. dans les sols des zones semi-arides et arides, la moyenne est de l'ordre de 20 à 30 p.p.m.

Les vertisols ont des teneurs variables :

En Nouvelle Calédonie, sur flysch à ciment calcaire, elles sont faibles : 4 p.p.m. (TERCINIER, 1966). Elles sont moyennes en République Centrafricaine, dans des vertisols lithomorphes hydromorphes sur amphibolite : 20 p.p.m.

(BOULVERT, 1966), et légèrement plus fortes à Madagascar sur alluvions : 13 à 39 p.p.m. (NALOVIČ, 1969), ainsi qu'au Queensland : 21 à 28 p.p.m. (OERTEL et al., 1963).

Nous retrouvons ces mêmes valeurs dans les sols bruns isohumiques : au Queensland (Australie) 18 à 22 p.p.m. (OERTEL et al., 1963).

Les sols subdésertiques de la région d'Ustyurt, en U.R.S.S., formés sur dépôt de limon fin, en renferment environ 16 p.p.m. (DOBROVOL'SKIY 1961).

Les sols salés (sols salins, sols salés à alcalis, solonetz) sont, le plus souvent, bien pourvus en gallium.

Ainsi, en U.R.S.S., au Turkménistan, les sols salés à alcalis sont riches : 10 à 60 p.p.m. (GRAZHDAN, 1959).

A Madagascar, dans un sol salin sur alluvions, on a dosé 35 p.p.m. (NALOVIČ, 1969).

Dans les solods du Queensland, en Australie, les teneurs varient de 13 à 24 p.p.m. (OERTEL et al., 1961).

Cependant, dans un solod sur flysch à ciment calcaire, en Nouvelle Calédonie, la concentration en gallium est seulement de 3 p.p.m. (TERCINIER, 1967).

En Nouvelle Calédonie, également, les sols ferrallitiques sur flysch à ciment calcaire sont pauvres : 3 à 4 p.p.m. (TERCINIER, 1966).

Les sols rouges méditerranéens d'Australie (Queensland) ont des teneurs de l'ordre de la moyenne générale : 20 à 24 p.p.m. (OERTEL et al., 1961).

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

Le domaine de variation des concentrations en gallium total des sols des zones tropicales est assez étendu : moins de 2,6 à 100 p.p.m., mais la moyenne est cependant la même que pour les sols des autres zones climatiques : 20 à 30 p.p.m.

C'est le cas des sols bruns eutrophes : au Ghana sur hornblendite et schistes et aux Nouvelles Hébrides sur scories basaltiques, on a dosé de 20 à 30 p.p.m. de gallium (BURRIDGE, 1965 ; TERCINIER, 1964).

Les teneurs des sols ferrugineux tropicaux sont assez variables : au Tchad, ceux formés sur matériau argilo-sableux sont relativement pauvres : au plus 3 p.p.m. (VIZIER, 1965).

En République Centrafricaine, pour une même roche-mère, les teneurs peuvent être, soit faibles, soit moyennes : sur gneiss nous avons dosé aussi bien 3 p.p.m. que 10 à 30 p.p.m. (BOULVERT, 1966).

Au Queensland, en Australie, elles ne dépassent pas 7 p.p.m. (OERTEL et al., 1963).

A Madagascar, les teneurs varient en fonction de la roche-mère : faibles sur roches cristallines basiques, moins de 2,6 p.p.m., un peu plus élevées sur grès et sables et sur certains calcaires, 5 à 10 p.p.m., elles atteignent 18 et 19 p.p.m. sur calcaire ou sur schistes (NALOVIČ, 1969).

Les sols ferrallitiques ont, eux aussi, des teneurs très variables.

Ainsi, en République Centrafricaine, ceux formés sur granite ou sur schistes sont pauvres en cet élément : 2,7 à 9 p.p.m. Les concentrations peuvent, aussi, être très différentes les unes des autres sur une même roche-mère : dans ceux formés sur amphibolite, nous avons dosé 4 à 9 p.p.m. d'une part, et 60 p.p.m. de l'autre ; dans ceux sur gneiss de 9 à 50 p.p.m. (BOULVERT, 1966).

Au Ghana, les sols ferrallitiques plus ou moins désaturés sont mieux pourvus en cet élément lorsqu'ils sont formés sur roche cristalline basique ou sur phyllade, 20 et 40 p.p.m., que lorsqu'ils le sont sur granite : 10 p.p.m. (BURRIDGE, 1965).

Nous avons constaté le même phénomène dans les sols ferrallitiques de Madagascar : sur granite 2,6 p.p.m., sur cendres volcaniques ou basalte ou calcaire 6 à 9 p.p.m., sur cipolin 17 p.p.m. (NALOVIČ, 1969).

De même en Australie, au Queensland, les sols ferrallitiques humifères sont un peu mieux pourvus que les sols de même type mais lessivés : 19 à 30 p.p.m. d'une part, 20 à 22 p.p.m. de l'autre, les krasnozems étant plus riches : 28 à 41 p.p.m. (OERTEL et al., 1963).

En Polynésie, les concentrations des sols ferrallitiques formés sur basalte et basalte andésitique sont très variables : 8 et 100 p.p.m. dans les horizons supérieurs ; lorsque ces sols sont dégradés leur teneur en gallium paraît varier en fonction du degré de dégradation : sols non dégradés 17 p.p.m., très dégradés 7 p.p.m. (TERCINIER, 1963).

Sols hydromorphes à gley ou pseudogley

Au Tchad, les sols de ce type, formés sur matériau argilo-sableux sont très pauvres en cet élément : moins de 3 p.p.m. (VIZIER, 1965).

En République Centrafricaine, par contre, les sols hydromorphes à pseudogley sur alluvions ont des teneurs moyennes : 10 à 20 p.p.m., tout comme un sol noir à hydromorphie temporaire du Dahomey : 10 p.p.m. (BOULVERT, 1966 ; PINTA et al., 1961).

Les sols hydromorphes et hydromorphes à gley sur alluvions, à Madagascar, sont mieux pourvus : 26 et 36 p.p.m. (NALOVIĆ, 1969).

Sols peu évolués d'apport ou d'érosion

Les teneurs en gallium sont faibles dans les sols peu évolués d'érosion sur itabirite ou amphibolite de République Centrafricaine que nous avons étudiés : 4,5 et 8 p.p.m. (BOULVERT, 1966).

En Polynésie et aux Nouvelles Hébrides, elles sont moyennes dans les sols peu évolués d'apport, formés sur alluvions d'origine volcanique ou sur ponces acides recouvrant des scories basiques : 12 à 27 p.p.m. et 20 à 30 p.p.m. (TERCINIER, 1963, 1964).

A Madagascar, elles sont plus élevées dans un sol de terrasse inondable et dans un sol de levée alluviale : 37 et 47 p.p.m. ; la concentration la plus forte correspond à un sol de mangrove : 78 p.p.m. (NALOVIĆ, 1969).

VARIATIONS DES TENEURS DES SOLS EN GALLIUM

Nous constatons, d'après ce qui précède, que la majeure partie des sols des différentes zones climatiques ont des teneurs moyennes en gallium correspondant à celles citées par VINOGRADOV (1959).

Ces teneurs varient, le plus souvent, en fonction de la roche-mère : les sols formés à partir de roches métamorphiques en renferment plus que ceux formés à partir des autres types de roches. C'est le cas des podzols d'Ecosse sur mica-schistes et gneiss ; à l'inverse, les sols ferrugineux tropicaux et les sols hydromorphes à pseudogley du Tchad, sur matériau argilo-sableux, sont très pauvres en cet élément.

Mais des facteurs pédogénétiques secondaires peuvent également intervenir, en particulier dans les régions tropicales : dégradation, lessivage, lixiviation, induration du sol (cas des sols ferrallitiques de Polynésie et d'Australie, TERCINIER, 1963 ; OERTEL et al., 1963).

En ce qui concerne la répartition du gallium entre les horizons des sols, en zones tempérées et boréales, elle est sensiblement uniforme, avec une très légère tendance à une diminution des teneurs quand la profondeur augmente : sols ocres podzoliques et podzols sur serpentinite, grès ou gneiss en Ecosse (SWAINE et al., 1960), rendzine noire sur calcaire gréseux à Madagascar (NALOVIĆ, 1969). Par contre, en zones semi-arides et arides ou en zones tropicales, la concentration en gallium augmente avec la profondeur. Elle varie dans le même sens que celle en argile, sans toutefois lui être proportionnelle. L'accumulation du gallium se produit dans les horizons les plus argileux, comme cela a été bien mis en évidence dans les sols du Dahomey (PINTA et al., 1961) et dans la majeure partie des sols de Madagascar (NALOVIĆ, 1969).

GERMANIUM

Selon VINOGRADOV (1959), les roches éruptives basiques ont en moyenne 1,5 p.p.m. de germanium, les roches éruptives acides en renferment 1,4 p.p.m. et les roches métamorphiques et sédimentaires 2 p.p.m. Les teneurs des grès et des roches carbonatées sont beaucoup plus faibles : 0,8 et 0,2 p.p.m. (TUREKIAN et WEDEPOHL, 1961).

Divers auteurs indiquent 7 p.p.m. comme teneur moyenne de la lithosphère en germanium (SWAINE, 1955 ; KOVDA et al., 1964).

TENEURS DES SOLS EN GERMANIUM TOTAL

Les données bibliographiques concernant le germanium dans les sols sont extrêmement rares. VINOGRADOV (1959) estime que la teneur en germanium des sols d'U.R.S.S. est de l'ordre de 1 p.p.m. SWAINE (1955) cite des sols d'Ecosse dans lesquels on a pu mettre en évidence 10 p.p.m. de cet élément.

Les seuls résultats analytiques dont nous puissions faire état se rapportent à des sols des régions semi-arides et arides ou des régions tropicales que nous avons analysés.

Le germanium est un élément difficile à déceler, pour lequel la méthode spectrographique n'est pas très sensible. Les valeurs obtenues sont le plus souvent très faibles et nous ne pouvons indiquer qu'un ordre de grandeur.

EN REGIONS SEMI-ARIDES ET ARIDES

En République Centrafricaine, les vertisols sur amphibolite en renferment moins de 3 p.p.m. (BOULVERT, 1966).

A Madagascar, les vertisols et les sols salins sur alluvions ont des teneurs qui vont jusqu'à 9 p.p.m. (NALOVIČ, 1969).

EN REGIONS TROPICALES HUMIDES

En République Centrafricaine, au Tchad, au Dahomey, tous les sols que nous avons étudiés : sols ferrugineux tropicaux, sols ferrallitiques, sont très pauvres également : moins de 3 p.p.m. (BOULVERT, 1966 ; VIZIER, 1965 ; PINTA et al., 1961).

Les concentrations les plus fortes correspondent, à Madagascar, à un sol ferrugineux tropical formé sur schistes : 9 p.p.m. et à des sols ferrallitiques formés sur granite : 14 p.p.m., ou sur cipolin : 17 p.p.m. (NALOVIČ, 1969).

Les sols de Nouvelle Calédonie, sur tufs scoriacés basaltiques et calcaire corallien (sols ferrallitiques, sols bruns eutrophes, sols peu évolués d'apport) ont des teneurs inférieures à 2 p.p.m. (TERCINIER, 1966).

10 fiches bibliographiques

300 dosages faits au laboratoire de Spectrographie des Services Scientifiques Centraux de l'O.R.S.T.O.M.

CONCLUSION

Les éléments traces peuvent être mis en évidence dans la majeure partie des roches de l'écorce terrestre et pratiquement dans les sols de tout type des diverses régions climatiques du globe.

Dans les roches, les teneurs en éléments dépendent de la nature de la roche et de celle de l'élément trace considéré.

Les roches éruptives ultra-basiques (dunite, péridotite...) et basiques (basalte, gabbro...) sont riches en cobalt, chrome, cuivre, nickel, vanadium, zinc... et relativement pauvres en lithium, rubidium, césium, baryum, strontium.

Les roches éruptives acides (granite, rhyolite...) sont, par contre, riches en alcalins et alcalino-terreux, en bore, étain... et pauvres en chrome, cobalt, cuivre et nickel.

Les roches métamorphiques (gneiss et schistes) et certaines roches sédimentaires, telles que les argiles, ont des teneurs en les éléments traces cités ci-dessus intermédiaires entre celles des roches éruptives basiques et éruptives acides. En outre, elles sont plus riches en iode, molybdène et plomb, comme le sont aussi les grès et les roches carbonatées. Ces deux derniers types de roches sont en général plus pauvres en éléments traces que les roches cristallines.

Dans diverses roches sédimentaires d'origine marine les concentrations en bore et surtout en iode peuvent être très fortes et atteindre 100 et même parfois 1000 p.p.m.

Les teneurs des sols en ces éléments sont, en moyenne, du même ordre de grandeur que celles des roches sur lesquelles ils se sont formés. Elles varient donc largement, pour un même type de sol, avec la nature de cette roche. Nous avons vu, par exemple, qu'en Ecosse, les podzols sur serpentinite ont des concentrations en cobalt et nickel très supérieures à celles des sols de la même classe formés sur granite et sur schistes. De même au Ghana, les teneurs en cobalt, cuivre, nickel, vanadium, des sols ferrallitiques moyennement désaturés, sont différentes selon les roches, les sols sur granite en étant moins bien pourvus.

Cependant, l'éventail de ces teneurs est le plus souvent plus large dans les sols que dans les roches. Par exemple, les limites, minimale et maximale, y sont respectivement pour le cobalt : des traces et 200 p.p.m. ; pour le chrome : des traces et 3000-4000 p.p.m. ; pour le zinc : des traces et 900 p.p.m.

Pour certains éléments : bore, iode, molybdène, plomb, les concentrations des sols sont très supérieures à celles des roches-mères et peuvent paraître ne pas leur être liées. C'est ainsi que les teneurs en molybdène sont comprises entre des traces et 20-25 p.p.m.

Les teneurs en éléments et la répartition de ceux-ci peuvent dépendre assez nettement des processus qui ont donné naissance au sol, - ferrallitisation, ferruginisation, podzolisation, accumulation, concrétionnement, etc... - , qui sont eux-mêmes fonction des divers facteurs climatiques, biologiques et autres.

On constate que dans les sols, il existe une relation positive entre les teneurs en éléments traces et celles en éléments minéraux fins (argile et argile + limon) et plus encore en humus. Nous avons pu la souligner pour la plupart des éléments, même pour ceux qui ne s'y trouvent qu'en très faible quantité, comme l'iode, le molybdène, le sélénium ; ainsi les teneurs en iode sont maximales dans les sols très humifères et dans ceux à texture lourde. Ceci est vrai, également, pour le molybdène et le sélénium.

De ce fait, la répartition des éléments entre les différents horizons d'un profil suit, le plus souvent, celles de l'humus et de l'argile. Il y a généralement accumulation dans les horizons supérieurs riches en matières organiques, accumulation qui paraît être d'origine biogénétique : les éléments traces, contenus dans les débris laissés par la végétation, dans ou à la surface du sol, sont libérés lors de leur décomposition.

Dans certains sols tropicaux, pour lesquels les horizons humifères sont très peu épais, les concentrations en éléments traces sont plus fortes dans les horizons argileux inférieurs (cas des sols du Dahomey).

Les sols sableux sont très souvent carencés en éléments dans l'ensemble du profil.

Les éléments traces existent dans les sols sous des formes et dans des composés minéraux ou organiques dont la solubilité dépend du pH du sol. Ainsi, ceux du cobalt, cuivre, nickel, manganèse..., sont solubles en milieu acide (pH inférieur à 6), ceux du molybdène le sont en milieu basique.

Les sols qui reçoivent de fortes précipitations atmosphériques sont en général très acides (podzols, sols ferrallitiques) et sont d'autant plus pauvres en éléments du premier type facilement lixivés par les eaux de percolation très abondantes.

Le potentiel d'oxydo-réduction agit, aussi, sur la mobilité des éléments traces. Il dépend de la présence et de la position et, le cas échéant, des mouvements de la nappe phréatique ainsi que des possibilités d'engorgement plus ou moins temporaire de certains horizons du sol. Enfin, il est également fonction de la porosité de celui-ci ainsi que de ses conditions générales d'oxydation et de la présence possible de certains corps réducteurs.

Pour certains éléments - nickel, cobalt - on a observé des variations saisonnières des teneurs, qui paraissent liées à celles du rapport fer ferreux-fer ferrique, expression de l'évolution du potentiel d'oxydo-réduction.

Il résulte de ce qui précède, que les concentrations en éléments traces sont plus fortes dans les sols riches en humus, de texture fine et de pH neutre ou basique. Tel est le cas des chernozems et vertisols des zones semi-arides.

Dans une région donnée, les concentrations en éléments traces des chernozems sont souvent supérieures à celles dosées dans les autres types de sols et la répartition des éléments y est uniforme entre les différents horizons.

Par contre, les teneurs sont souvent très faibles dans les podzols, les sols podzoliques et les sols lessivés, l'accumulation des éléments traces se fait dans les horizons B illuviaux, les horizons supérieurs éluviaux en sont, au contraire, pauvres.

Dans les autres types de sols : sols bruns forestiers, rendzines des régions tempérées, sols bruns isohumiques, sols ferrallitiques, sols salés des régions semi-arides et arides, sols ferrugineux tropicaux et sols ferrallitiques des régions tropicales, sols hydromorphes et alluviaux, sols peu évolués..., les concentrations en éléments dépendent de l'influence plus ou moins prépondérante de l'un ou l'autre des différents facteurs précités. Ainsi, il y a accumulation du cobalt, cuivre, manganèse, nickel, dans les horizons à gley des sols hydromorphes mal drainés d'Ecosse. Les sols tourbeux sont riches en molybdène. Les sols bruns forestiers ont généralement des teneurs suffisantes en tous les éléments.

Les teneurs en bore, cobalt, cuivre, molybdène, zinc, sont fortes dans les solonetz et les sols très salés à alcalis.

D'après les données réunies, il semble que les teneurs en éléments traces des sols tropicaux peuvent dépendre, aussi, de leur degré d'évolution, comme par exemple l'intensité des phénomènes de lessivage qui s'y produisent ; c'est, en particulier, le cas des sols ferrugineux tropicaux et des sols ferrallitiques pour lesquels les teneurs en les divers éléments sont souvent extrêmement variables pour une même roche-mère.

Les éléments traces "totaux" constituent, en quelque sorte, les réserves des sols en ces éléments, mais il est également intéressant de connaître les teneurs en éléments traces "utilisables" par les plantes. Elles dépendent non seulement des concentrations en éléments totaux, mais aussi du pH et du rH des sols ainsi que de leurs teneurs en humus et en matière organique.

Ainsi des sols tourbeux, très riches en cuivre total, sont cependant carencés en cuivre "utilisable" par les plantes, les composés organiques formés avec ce métal étant le plus souvent insolubles dans les conditions physico-chimiques particulières de ces sols.

En résumé, les teneurs en éléments traces des sols sont le résultat de l'influence respective des roches-mères et des divers facteurs pédogénétiques.

Les concentrations en éléments "utilisables" déterminent les phénomènes de carence ou de toxicité des sols.

Les carences sont généralement associées aux podzols et sols podzoliques, aux sols tourbeux, aux sols hydromorphes à gley, aux sols de pH acide subissant un lessivage intensif, aux sols sableux et aux sols sur roches éruptives acides pauvres en éléments traces. Elles se rencontrent aussi dans les sols de pH basique dont les composés minéraux et organiques de ces éléments sont difficilement solubles.

D'autre part, les conditions de culture, tel le chaulage intensif dans le cas du bore et du manganèse, ou l'apport d'engrais au phosphore dans le cas du zinc, peuvent aussi provoquer des carences. On les corrige le plus souvent par des apports d'engrais contenant les éléments nécessaires et par un chaulage contrôlé.

Les toxicités ont souvent les mêmes causes : roches-mères riches en éléments traces, pH acide. Il en est ainsi, par exemple pour le manganèse. Par contre, dans le cas du molybdène elles se produisent dans des sols de réaction basique, dérivés de roches calcaires, le plus souvent de texture lourde et plus ou moins hydromorphes.

Certaines toxicités sont dues à l'action de l'homme, soit directement comme dans le cas de traitements anticryptogamiques trop intenses par le sulfate de cuivre, ce qui a été observé dans les sols du sud-ouest de la France, soit indirectement à la suite, par exemple, d'une acidification culturale très forte (cas du manganèse, dans la vallée du Niari au Congo).

On ne peut juger de la fertilité des sols sans une connaissance suffisante de leurs teneurs en éléments traces totaux et "utilisables" par les plantes et de leur répartition dans les profils, qui se trouve partiellement sous l'influence des principaux facteurs de la pédogénèse.

BIBLIOGRAPHIE

- AGRAWAL H.P., MOTIRAMANI D.P. - 1966 - Copper status in soils of Madhya Pradesh, J. of Ind. Soc. Soil. Sci, 14, 3, pp. 161-171.
- ALBAN L.A., KUBOTA J. - 1960 - A study of extractable soil cobalt of the southeastern United States. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 24, 3, pp. 183-185.
- ANDERSON M.S., LAKIN H.W., BEESON K.C. - 1961 - Selenium in Agriculture. U.S.D.A. Agric. Handb. 200. pp. 65.
- ANJANEYULU B.S.R. - 1964 - Availability of manganese in some Indian Soils growing Sugarcane. J. Ind. Soc. Soil. Sci. 12, 4, pp. 269-273.
- ARCHER F.C. - 1963 - Trace elements in some Welsh upland soils. J. Soil. Sci., 14, 1, pp. 144-148.
- ASLANYAN G.Sh. - 1961 - Effet d'un engrais au bore sur la récolte et la qualité des pommes de terre. (en russe). Agro-biologiya, 3, pp. 452-454.
- ASMUS F. - 1961 - Zur kupfer-und kobaltversorgung einiger Gründlandböden. Roczn. Glebozn, 10, 1, pp. 263-268.
- ASRATYAN G.S., STEPANYAN M.S., SHMAVONYAN D.M. - 1965 - Teneur en iode et présence endémique du goître dans la région de Radzan, Arménie. (en russe). Izv. Akad. Naukarmyan SSR Biol. Nauk. 18, 10, pp; 23-28.
- ATLAVINA S.A. - 1965 - Régularité de la répartition du zinc, cuivre, manganèse, dans les sols de prairie irrigués, le long du cours moyen de l'Amou-Daria. (en russe). Izv. Akad. Nauk Turkmen SSR Ser. Biol. Nauk. 5, pp. 53-59.
- AUBERT G. - 1956 - Les micro éléments dans les sols. Comm. Soc. Géochim. Paris XII, 1956. Bull. Pédo. ORSTOM, 1957, 7, 1,
- AUBERT G. - 1965 - Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols, utilisés par la section de Pédologie de l'ORSTOM. Cah. Pédol. ORSTOM, III, 3, pp. 269-288.
- BADHE N.N., ZENDE G.K. - 1962 - Cobalt status of Konkan soils in relation to pH, organic carbon, lime and iron. Indian, J. Agron. 6, pp. 304-310.
- BĂJESCU I. - 1964 - Etude du manganèse actif et échangeable des sols de la région de Olt. (en roumain). Anal. Inst. Cent. Cerc. Agric. Sect. Pédol. 32, pp. 211-219.
- BĂJESCU N., BĂJESCU I. - 1960 - Teneur en cuivre, zinc, nickel, cobalt des sols de la région à l'est de Olt. (en roumain). Biol. Stünt. agric. Bucuresti. pp. 301-305.
- BĂJESCU I., CHIRIAC A. - 1962 - Quelques aspects de la répartition du cuivre, cobalt, zinc et nickel dans les sols de la Dobrudja. (en roumain). An. Inst. Cent. Cerc. agric. 30 A, 1962, pp. 79-87.
- BĂJESCU I., SALZMAN S. - 1965 - Le bore dans quelques sols et eaux courantes du sud de la Roumanie. (en roumain). Anal. Inst. Cent. Cerc. agric. 33, pp. 111-120.
- BALKS R. - 1961 - Untersuchungen über den Bleigehalt des Bodens. Kalibriefe Fachgeb. 1, 11, Folge, pp. 1-7.

- BANFI G. - 1960 - The influence of zinc on the growth of certain vegetable species. *Trans. 7th Int. Congr. Soil. Sci*, 3, pp. 554-562.
- BARUFKE W. - 1962 - Über die Bedeutung des Kobalts als Spurenelement auf brandenburgischen Grünland böden. *Wiss.Z. Humboldt. Univ. Berlin. math. naturwiss. Reihe.* 11, 1, pp. 135-144.
- BEER K. - 1966 - Untersuchungen über-Vorkommen und Bindungszustand des Mangans in typischen thüringer Böden. *Chemie der Erde.* 25, 4, pp. 282-299.
- BEER K., GRÜNDLER C., PRAUSSE A. et al. - 1966 - Einfluss von Kalkung und Düngung auf die Dynamik der Manganfraktionen in thüringer Buntsandsteinverwitterungsböden und auf die Manganaufnahme von *Solanum tuberosum* L. *Albrecht-Thaer-Arch.* 10, 10, pp. 906-26.
- BENĚS S. - 1964 - Répartition et migration des éléments traces dans les sols et les roches de la région de Flysch, massif Beskydy. (en tchèque). *Sb. vys. sk-Zeměd-Praxe*, 1963, pp. 73-80.
- BENĚS S. - 1964 - Présence et migration du cuivre provenant de différentes roches-mères. (en tchèque). *Pol'nohospodárstvo*, 10, pp. 837-844.
- BERGMANN W., BÜCHEL L., EBELING R., WITTER B. - 1962 - Ein Beitrag zur Ermittlung der Magnesium und Mikro-nährstoff-versorgung der Böden Thüringens. *Z. Landwirtsch. Versuchs-u. Untersuch.-Wes.* ; 8, 1-2, pp. 156-168.
- BERGMANN W., EBELING R., RISSE M. et al. - 1964 - Ein Überblick über die Mangan-Versorgung der thüringer Böden und einige den verfügbaren Mangangehalt des Bodens beeinflussende Faktoren. *Albrecht-Thaer-Arch.*, 8, 4-5, pp. 249-263.
- BERINA D. - 1961 - Formes et dynamique du manganèse dans les sols, teneurs dans les plantes. (en russe). *Mikroélem. Urozh.* 3, pp. 205-231.
- BERGER K.C. et TRUOG E. - 1939 - Boron determination in soils and plants using the quinalizarin reaction. *Ind. Eng. Chem.* 11, 10, pp. 540-545.
- BERTRAND D., VINCHON C. - 1964 - Sur le chrome "assimilable" des terres arables. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 258, pp. 1280-1281.
- BHATNAGAR R.K., GUPTA V.K., MATHUR C.M. - 1966 - Manganese status in medium black soils of Rajasthan, with special reference to Chambal command area. *J. Ind. Soc. Soil. Sci.* 14, 3, p.p. 173-176.
- BHUMBLA D.R., DHINGRA D.R. - 1964 - Micronutrient status of saline and alkali soils of the Punjab. *J. Ind. Soc. Soil. Sci.* 12, 4, pp. 255-260.
- BISWAS T.D., GAWANDE S.P. - 1964 - Relation of manganese in genesis of catenary soils. *J. Ind. Soc. Soil. Sci.* 12, 4, pp. 261-267.
- BONDARENKO G.P. - 1962 - Dynamique saisonnière des formes mobiles des oligo-éléments et du fer dans les sols alluviaux de Ramenskoe, le long de la Moscova. (en russe). *Nauch, Dokl, vŷssh. Shkolŷ. Biol. Nauki.*, pp. 202-207.
- BONIG G., HEIGENER H. - 1965 - Die serienmässige Bestimmung der verfügbaren Mikronährstoffe Kupfer, Zink, Kobalt und Nickel in Böden, unter Anwendung der Papierchromatographie. *Landw. Forsch.* 9, pp. 89-96.
- BOULVERT Y. - 1966 - Sols de République Centrafricaine. Rapport de l'ORSTOM non publié.
- BRLOV A.Ya., ORLOVA L.P. - 1966 - Teneur en oligo-éléments des sols et aiguilles des principaux types de conifères de la taïga du sud. (en russe). *Agrokhimiya*, 4, pp. 86-97.
- BROWN A.L., JURINAK J.J. - 1964 - Effect of liming on the availability of zinc and copper. *Soil. Sci.* 98, 3, pp. 170-173.
- BROWN A.L., KRANTZ B.A., MARTIN P.E. - 1964 - The residual effect of zinc applied to soils. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 28, 2, pp. 236-238.
- BRYAN W.W., THORNE P.M., ANDREW C.S. - 1960 - Cobalt status of the Wallum. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 23, pp. 273-275.

- BÜCHEL L., BERGMANN W. - 1966 - Einige weitere Ergebnisse zur Borversorgung Thüringer Ackerböden. *Albrecht. Thaer. Arch.* 10, 11, pp. 1003-1009.
- BURRIDGE J.C., AHN P.M. - 1965 - A spectrographic survey of representative Ghana soils. *J. Soil. Sci.* 16, 2, pp. 296-309.
- CALTON W.E., VAIL J.W. - 1956 - Micro-nutrient problems in Tanganyika. 6th Congr. Int. Soil. Sci. Paris. Comm. IV, pp. 31-35.
- CARLONI L. - 1960 - Il molibdeno nei terreni toscani provenienti da formazioni del Miocene, del Pliocene et del Quaternario. *Ann. Fac. Agr. Pisa.* 21, pp. 103-113.
- CHABANNES J., TROCMÉ S., BARBIER G. - 1949 - Observations sur la carence zincique du pommier. *C.R. Acad. Ag.* 35, pp. 624-626.
- CHAMBERLAIN G.T. - 1959 - Trace elements in some East african soils and plants. I. cobalt, beryllium, lead, nickel and zinc. *E. afr. agric. For. J.* 25, pp. 121-125.
- CHAMBERLAIN G.T., SEARLE A.J. - 1963 - Trace elements in some East african soils and plants. II. Manganese. *E. afr. agric. For. J.* 29, pp. 114-119.
- CHARPENTIER J.M., MARTIN-PREVEL P. - 1967 - Les carences minérales du bananier. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive. 19-25 novembre 1967. I, pp. 286-293.
- CHATTERJEE R.K., DAKSHINAMURTI C. - 1962 - Available molybdenum status of some Indian soils. *J. Sci. indust. Res.* B 12, pp. 597-598.
- CHEBYĀKINA N.V. - 1965 - Teneur en manganèse mobile des sols podzoliques de l'ASSR Komi. (en russe). *Trudŷ komi Fil. Akad. Nauk. SSSR.* n° 14, pp. 12-20.
- CHUDECKI Z. - 1960 - Etudes sur la teneur en iode et sa répartition dans les sols de l'ouest de la Poméranie. (en polonais). *Roczn. Glebozn.* 9, suppl. pp. 113-117.
- CHUDECKI Z. - 1963 - Quelques facteurs influençant la teneur en iode, cuivre et zinc des types de sols fondamentaux de l'ouest Primor'ie (Pologne). (en polonais). *Zesz. nauk. wyz. szkol. rol. Szczecin.* 10, pp. 187-239.
- COÏC Y., COPPENET M. - 1949 - Détection de carences en manganèse dans les terres humifères de Bretagne. *C.R. Acad. Ag.* 35, pp. 323-328.
- CONRY M.J., RYAN P. - 1965 - Some observations on manganese in west Cork soils. *Irish J. of agric. Research*, 4, 1, pp. 61-66.
- COPPENET M. - 1965 - Observations sur les carences en bore existant en Bretagne. *C.R. Acad. Ag.* 51, pp. 449-456.
- COPPENET M. - 1970 - Rappel chronologique des principaux travaux effectués en France. *Ann. Agr.* 21, 5, numéro spécial "Les oligo-éléments en France". pp. 469-482.
- CZARNOWSKA K. - 1964 - Teneur en cuivre des sols formés à partir de sables d'origines géologiques différentes. (en polonais). *Zesz. Problem. Postep. Nauk. rol.* 50 b, pp. 33-39.
- CZARNOWSKA K. - 1965 - Le titane dans les sols de la province de Lodz. (en polonais). *Roczn. Naukro In.* 90 A, pp. 151-162.
- CZEKALSKI A., KOCIALKOSWKI Z. - 1965 - Teneurs en éléments traces des sols de Wielkopolska. (en polonais). *Roczn. Glebozn.* 15, pp. 273-281.
- CZOPF J. - 1964 - Les éléments traces, manganèse, molybdène, cuivre et cobalt, de quelques sols du sud-est de la Transdanubie. (en hongrois). *Agrokém-Talajt.* 13, pp. 149-156.
- DAKHORE R.C., NAIK M.S., DAS N.B. - 1963 - Effect of copper on the uptake of minerals by wheat plants on Delhi soils. *Indian J. agric. Sci.* 33, pp. 219-225.
- DANIELS R.B., BRASFIELD J.F., RIECKEN F.F. - 1962 - Distribution of sodium hydrosulfite extractable manganese in some Iowa soils profiles. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 26, 1, pp. 75-78.

- DARTIGUES A. - 1964 - Les déficiences en zinc chez les végétaux et leurs causes. *Ann. Agro.* 15, 6, pp. 667-691.
- DARTIGUES A., DELMAS E., LUBET E., ROUTCHENKO W. - 1963 - Premiers résultats sur l'étude de la carence en zinc dans le Sud-Ouest. *C.R. Acad. Ag.* 49, pp. 266-279.
- DATTA N.P. - 1964 - Review of trace-elements studies in India. *J. Ind. Soc. Soil. Sci.* 12, 4, pp. 449-466.
- DAVIES E.B. - 1956 - Factors affecting molybdenum availability in soils. *Soil. Sci.* 81, 3, pp. 209-221.
- DAVĚDOV N.I., STAROBINETS K.S. - 1963 - Teneur en cobalt mobile des principaux types de sols de la région de Ryazan (en russe). *Sborn. nauch. Rabot ryazan.s.-Kh. Inst. n° 8*, pp. 69-76.
- DECAU J., DUCOS J., PERODEAU J., PUJOL B. - 1962 - Nouvelles observations de carence en bore dans la région toulousaine. Carence de la vigne en sols argileux et argilo-calcaires formés sur molasses miocènes. *C.R. Acad. Agric. France.* 48, pp. 733-737.
- DELAS J., DELMAS J., RIVES M., BAUDEL C. - 1959 - Toxicité du cuivre dans les sols viticoles du sud-ouest Atlantique. *C.R. Acad. Agr.* 45, pp. 651-655.
- DELAS J. - 1961 - La toxicité du cuivre en agriculture. *Bull. Ass. franç. Etu. Sol.* 3, pp. 152-165.
- DELMAS H.G. - 1955 - Le dépérissement des cerisiers de la région de Céret (P.O.). *C.R. Acad. Ag.* 41, pp. 333-337.
- DIEKMANN E.C. - 1957 - A boron deficiency in sisal (*Agave Sisalana* Perrine). *E. Af. agric. For. J.* 22, pp. 197-198.
- DIRVEN J.G.P., EHRENCRON V.K.P. - 1964 - Les éléments traces dans les sols de pâturages. (en hollandais). *Surinaamse Landbouw.* 12, pp. 11-21.
- DOBRITSKAYA Yu.I. - 1960 - The titanium content in soils of the Yaroslavl region. *Sov. Soil. Sci.*, 3, pp. 310-318.
- DOBRITSKAYA Yu.I. - 1962 - Molybdenum content un certain soil of the U.R.S.S. *Sov. Soil. Sci.*, 1, pp. 79-86.
- DOBRITSKAYA Yu.I. - 1964 - Molybdenum in the soils of Moscow oblast. *Sov. Soil. Sci.*, 5, pp. 517-525.
- DOBRITSKATA Yu.I. - 1966 - Molybdenum content in different soil-forming parent materials. *Sov. Soil. Sci.* 9, pp. 1068, 1072.
- DOBROLYUBSKIY O.K., KOZULYA T.M. - 1966 - Teneur en cuivre de quelques chernozems et céréales en Ukraine du sud. (en russe). *Agrokimiya*, 3, pp. 80-88.
- DOBROVOL'SKIY V.V. - 1961 - Microelements in the soils and plants of Ustyurt. *Sov. Soil. Sci.* 3, pp. 288-292.
- DOBROVOL'SKIY V.V. - 1963 - Landscape geochemical characteristics of mountain tundras in the Kola peninsula. *Sov. Soil. Sci.* 2, pp. 119-124.
- DOBROVOL'SKIY V.V., ALESHCHUKIN L.V. - 1964 - Some geochemical characteristics of the northern taiga in the Kola peninsula. *Sov. Soil. Sci.* 10, pp. 1036-1041.
- DOBRZAŃSKI B. - 1960 - Action des engrais sur la teneur en bore soluble à l'eau d'un podzol sableux. (en polonais). *Roczn. Glebozn.* 9, suppl. pp. 129-130.
- DOBRZAŃSKI B. - 1963 - Rapport, dans les sols légèrement podzolisés, entre les différentes formes de bore et le type et la durée de la fertilisation. (en polonais). *Zesz. Probl. Postępn. Nauk. rol.* 40 A, pp. 117-123.
- DONCHEV I. - 1959 - Teneur en cuivre des principaux types de sols et quelques sols marécageux et tourbeux de Bulgarie. (en bulgare). *Izv. pochv. Inst. Sofiya*, 6, pp. 63-98.
- DONCHEV I., MIRCHEV S. - 1961 - Le molybdène dans les sols de Bulgarie. (en bulgare). *Izv. nauchnoizsled. Inst. Pochvoznan. Agrotekh. "Nikola Pushkarov"*, 1, pp. 5-27.
- DROUINEAU G., MAZOYER R. - 1962 - Contribution à l'étude de la toxicité du cuivre dans les sols. *Ann. agro.* 13, 1, pp. 31-33.

- DUARTE U.M., LELEY V.K., NARAYAMA N. - 1961 - Micronutrient status of the Bombay state soils. *J. Ind. Soc. Soil. Sci.* 9, 1, pp. 41-53.
- DURING C. - 1962 - Growth response of pasture to molybdenum application as related to soil classification. *Int. Soil. Conf. N.Z.*, pp. 721-725.
- DUVAL L. - 1963 - Existence de graves carences en cuivre dans les sols gréseux de Basse-Normandie et du Bas-Maine. *C.R. Acad. Ag.* 49, pp. 1216-1220.
- DUVAL L., COPPENET M. - 1960 - Existence de carence en cuivre sur grès dans l'est du Massif Armoricaïn. *C.R. des travaux des stations agronomiques*, 12 R-14 R.
- DUVIGNEAUD P., DENAEYER-DE SMET S. - 1960 - Influence des sels toxiques sur la végétation. Action de certains métaux lourds du sol (cuivre, cobalt, manganèse, uranium) sur la végétation dans le Haut-Katanga. in "Rapport du sol et de la végétation", Masson, Paris, 183 p.
- EBELING R., MULLER K.H., WITTER B. et al. - 1966 - Einige ergänzende Ergebnisse zur Molybdänversorgung Thüringer Ackerboden. *Albrecht. Thaer. Arch.* 10, 12, pp. 1081-1086.
- ELEK E. - 1966 - Etude sur la teneur en manganèse dans le bassin de drainage du Lókos. (en hongrois). *Agrokém. Talajt.* 15, pp. 277-282.
- EVANS H.J., - 1956 - Role of molybdenum in plant nutrition. *Soil. Sci.* 81, 3, pp. 199-208.
- FANG C.L., SUNG T.C., YEH BING - 1963 - Eléments traces dans les sols du nord-est de la Chine et de l'est de la Mongolie intérieure. (en chinois). *Acta pedol. sin.* 11, pp. 130-142.
- FLEMING G.A. - 1962 - Selenium in irish soils and plants. *Soil Sci.* 94, 1, pp. 28-35.
- FRANQUIN P. - 1958 - L'estimation du manganèse du sol en rapport avec le phénomène de toxicité. *Coton et Fibres tropicales XIII*, fasc., 3, pp. 1-16.
- FUJIMOTO G., SHERMAN G.D. - 1959 - The copper content of typical soils and plants of the Hawaiian Islands. *Hawaii agric. Exp. sta. Progr. Rep.* 121, pp. 22.
- GALLEGO R., FERNANDEZ E. - 1963 - Oligo-elementos en los suelos de las Vegas Altas del Guadiana. *An. Edafol. Agrobiol.* 22, 7-8, pp. 307-322.
- GALLEGO R., OLIVER S. - 1959 - Estudios sobre yodo en suelos. *An. Edafol. Fisiol. Veg.* 18, pp. 207-238.
- GALLEGO R., OLIVER S. - 1959 - Relaciones entre el contenido en yodo y la composicion de sol suelos. *An. Edafol. Fisiol. Veg.* 18, pp. 275-288.
- GANDHI S.C., MEHTA B.V. - 1960 - Note on the boron content of plants grown in goradu soil. *Indian. J. Agron.* 5, pp. 36-38.
- GARDINER M.R., ARMSTRONG J., FELS H. - 1962 - A preliminary report on selenium and animal health in western Australia. *Aust. J. exp. Agric. Anim. Husb.* 2, pp. 261-269.
- GARDINER M.R., GORMAN R.C. - 1963 - Further observations on plant selenium levels in western Australia. *Aust. J. exp. Agric. Anim. Husb.* 3, pp. 284-289.
- GILES J.B. - 1964 - Trace elements profiles of some grey brown soils of heavy texture with acid substrata from the Briga lowlands, Queensland. *C.S.I.R.O. Div. Soils. divl. Rep.* 12/62, pp. 44.
- GILES J.B., Mc KENZIE R.M., TILLER K.G. - 1962 - Revised data of molybdenum in some Australian soils. *C.S.I.R.O. Div. Soils. divl. Rep.* 12/61 pp. 24.
- GLUSHCHENKO A.V., ZYRIN N.G., IMADI T.Kh. - 1964 - Teneur en iode des sols légers des terrasses de l'ancienne vallée de la Moscova. (en russe). *Vestn. moskov. Univ. Ser. Biol. Pochvoved.* 6, pp. 74-80.
- GOLDSCHMIDT V.M. - 1954 - *Geochemistry*. edit. revue et corrigée 1958 - 1962. Alex. Muir Oxford, 730 p.

- GONZALES GARCIA F., GARCIA GOMEZ A.M. - 1964 - Geoquímica del cobalto en los suelos de Andalucía occidental. I - Contenido en cobalto total y caracteres generales de los suelos del valle del Guadalquivir. An. Edafol. Agrobiol. 23, 5-6, pp. 305-321.
- GONZALES GARCIA E., MAZUELOS VELA C. - 1960-1962 - Geoquímica, formas y ciclo del manganeso en suelos calizos. I - Contenido en manganeso total y caracteres generales de los suelos calizos del valle del Guadalquivir. An. Edafol. Agrobiol. 19, 11, pp. 591-613.
 II - Relación del contenido total de manganeso con la composición granulométrica de los suelos del Valle del Guadalquivir. An. Edafol. Agrobiol. 19, 12, pp. 683-697.
 III - Manganeso total en relación con la composición mineralógica de los suelos del valle del Guadalquivir. An. Edafol. Agrobiol. 21, 1, pp. 1-11.
 IV - Manganeso cambiante y fácilmente reducible en suelos del valle del Guadalquivir. An. Edafol. Agrobiol. 21, 2, pp. 91-107.
- GORLACH E. - 1963 - Teneur en molybdène de quelques sols du sud de la Pologne. (en polonais). Roczn. Glebozn. 13, pp. 213-225.
- GOUNY P., CORNILLON P. - 1970 - Les oligo-éléments en France. Exemples de problèmes régionaux. III - Le Sud-Est. Ann. Agr. 21, 5, pp. 617-628.
- GRAZHDAN P.E. - 1959 - Les éléments traces dans les sols takyrs du delta de Tedzhen. (en russe). Izv. Akad. Nauk. turkmen. SSR, 1, pp. 58-65.
- GRIGG J.L. - 1953 - Determination on the available molybdenum in soils. New Zea. J. Sci. Tech. A 34, pp. 405-414.
- GRIGG J.L. - 1961 - The distribution of molybdenum on the soils of New Zealand. II - Soils of the south Island. N.Z.J. agric. res. 4, pp. 300-308.
- GROSMAN R. - 1966 - Le chrome dans le sol et la plante. Bull. Ass. fr. Etude Sol. 3, pp. 115-124.
- GUPTA U.C., Mc KAY D.C. - 1966 - The relationship of soil properties to exchangeable and water-soluble copper and molybdenum status in podzol soils of eastern Canada. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 30, 3, pp. 373-375.
- GYUROV G., STANCHEV L., STOILOV G. et al. - 1962 - Le cuivre dans les types et sous-types de sols de Bulgarie (en bulgare). Nauch. Trud. Vissh. s-s. Inst. V. Kolarov. 11, 1, pp. 117-134.
- HAGSTROM G.R., BERGER K.C. - 1963 - Molybdenum status of three Wisconsin soils and its effect on four legume crops. Agron. J. 55, 4, pp. 399-401.
- HEIDE F., THIELE A. - 1958 - Zur geochemie des Bors. Chemie d. Erde, 19, pp. 329-337.
- HENKENS C.H. - 1961 - Toxicité du zinc dans les sols arables. (en hollandais). Landb. Tijdschr.'s Grav. 73, pp. 917-926.
- HERVIEU J., NALOVIĆ Lj. - 1965 - Dosage du cobalt, nickel, cuivre, zinc, dans les sols de Madagascar. Cah. Ped. ORSTOM III, 3, pp. 237-267.
- HUTTON C.E., FISKELL J.G.A. - 1963 - Zinc response by soybeans and wheat on heavily limed soils in western Florida. soil. Crop. Sci. Soc. Fla. Proc. 23, pp. 61-70.
- IORDANOV N., POVLOVA M. - 1963 - Géochimie du plomb dans les sols (en bulgare). Izv. Inst. Obshch. neorgan. khim. bulg. Akad. nauk. 1, pp. 5-14.
- IVANOVA N.N. - 1959 - Teneur en molybdène des sols de Lettonie. (en russe). Primen. Mikroelem. sel. Khoz-Medits-Baku. 1958, pp. 99-104.
- JENSEN J. - 1964 - Interaction chaux-bore. (en danois). Tidssk-Planteavl. 68, pp. 135-144.
- JENSEN H.L., LAMM C.G. - 1961 - On the zinc content of Danish soils Acta Agric. Scand. 11, pp. 68-81.
- JHA K.K. - 1964 - Review of work on micronutrient elements in Bihar. J. of Ind. Soc. Soil. Sci. 12, 4, pp. 235-241.
- JOUIS E., LECACHEUX M.Th., CAUCHY F. - 1960 - Influence du pH sur la carence en bore des betteraves et des lins dans les sols de limons du pays de Caux. C.R. Acad. Ag. 46, pp. 248-253.

- JURÁŇ C. - 1966 - Teneur en cuivre des roches-mères de Tchécoslovaquie. (en tchèque). *Pol'nohospodárstvo* 12, pp. 176-182.
- JURÁŇ C. - 1966 - Teneur en zinc des roches-mères de Slovaquie. *Pol'nohospodárstvo* 12, pp. 756-762.
- KABATA-PENDIAS A. - 1965 - Teneur en quelques éléments traces des rendzines de la région de Kielce. (en polonais). *Roczn. Glebozn.* 15, pp. 251-260.
- KABATA-PENDIAS A., BOLIBRZUCH E. - 1964 - Le molybdène dans les sols et les plantes de la plaine côtière. (en polonais). *Roczn. Nauk. rol.* 88 A, pp. 605-617.
- KABATA-PENDIAS A., GALCZYŃSKA B. - 1965 - Répartition des éléments traces dans les sols sableux de la région montagneuse Holy-Cross. (en polonais). *Roczn. Glebozn.* 15, pp. 261-265.
- KAC-KACAS M., RÓZYCKA T., KABATA-PENDIAS A. - 1964 - Etudes sur la fertilisation par le molybdène des sols acides. (en polonais). *Roczn. Nauk. rol.* 88 A, pp. 773-789.
- KAKIE T. - 1961 - A study on boron available in arable soils. *Soil. a. Plant Food* 6, 3, pp. 114-119.
- KALMET R. - 1963 - Teneur en bore des sols de la République d'Estonie. (en estonien). *Sborn. nauch. Trud. éston. nauch. Inst. Zelmed. Melior* 2, pp. 60-74.
- KANEHIRO Y. - 1964 - Status and availability of zinc in Hawaiian soils. *Diss. Abstr.* 25, pp. 2683-2684.
- KANWAR J.S., JOSHI M.D. - 1964 - Zinc deficiency in reddish clay tea soils of the Punjab. *Ind. J. Agron.* 9, pp. 100-103.
- KANWAR J.S., SINGH S.S. - 1961 - Boron in normal and saline-alkali soils of the irrigated areas of the Punjab. *Soil. Sci.* 92, 3, pp. 207-211.
- KARELINA L. - 1961 - L'iode dans les sols de Lettonie et apparition du goître endémique. (en russe). *Mikroélem. Urozh.* 3, pp. 233-255.
- KARELINA L. - 1965 - L'iode total des sols de Lettonie. (en russe). *Mikroélem. Prod. Rast.* pp. 249-270.
- KARIM A.Q.M.B., HUSSAIN M., CHOUDHURY S. - 1960 - Studies on the manganese content and its distribution in some east Pakistan soils. *Soil. Sci.* 90, 2, pp. 129-132.
- KARLSSON N. - 1961 - Le molybdène dans les sols et la végétation de Suède et quelques questions qui s'y rapportent. (en suédois). *St. Lantbrkem Kontrollanst. Medd.* 23, pp. 243.
- KATALYMOV M.V. - 1960 - Causes de la diminution en bore utilisable des sols, dûe au chaulage. (en russe). *Dokl. sovet. Pochovovedov y mezhdunarod. Kongr.* pp. 248-253.
- KATALYMOV M.V. - L'iode en agrochimie. (en russe). *Agrokimiya*, pp. 69-80.
- KAVIMANDAN S.K., BADHE N.N., BALLAL D.K. - 1964 - Available copper and molybdene in Vidarbha soils. *J. Ind. Soc. Sci.* 12, 4, 281-288.
- KERESZTENY B., NAGY LEHEL I. - 1960 - Etude sur la teneur en molybdène des matières organiques de quelques sols (en hongrois). *Agrokém. Talajt.* 9, pp. 495-500.
- KHUDAIRI A.K. - 1961 - Boron toxicity and plant growth. *Salin. Problem. Arid Zones Proc. Teheran Symp.* pp. 175-179.
- KICK H. - 1963 - Über den Nährstoffgehalt ägyptischer Böden unter besonderer Berücksichtigung der Spurennährstoffe Cu, Zn, und B. *Zeit. Pflanzen. Düng. Bodenkunde*, 100/2, pp. 102-114.
- KLEINIG C.R., LOVEDAY J. - 1962 - Responses of pasture legumes to zinc in calcareous soils in the Riverina, New South Wales. *Aust. J. exp. Agric. Anim. Husb.* 2, pp. 228-233.
- KOBIASHVILI V.I. - 1964 - Le vanadium dans quelques formations naturelles. (en russe). *Soobshch. Akad. Nauk. Gruzin SSR*, 34, pp. 67-71.
- KOSANOVIĆ V., HALASI R. - 1962 - Le bore dans les sols de Vojvodine. (en croate). *Letop. nauch. Radova.* 6, pp. 167-176.

- KOVAL'SKII V.V., ANANICHEV A.V., SHAKHOVA I.K. - 1965 - Le bore dans la province du nord-ouest du Kazakstan (en russe). *Agrokhimiya*, 11 pp. 153-169.
- KOVDA V.A., VASIL'EYVSKAYA V.D. - 1958 - A study of the minor element contents in soils of the Amur river area. *Sov. Soil. Sci.* 12, pp. 1369-1377.
- KOVDA V.A., YAKUSHEVSKAYA I.V., TYURYUKANOV A.N. - 1964 - Microelements of the soils in the Union of Soviet Socialist Republics. UNESCO /NS/NR/49 - Paris-Février 1964.
- KRUGLOVA Ye.K. - 1959 - Molybdenum in soils, cotton plants, irrigation and ground waters of the Golodnaya steppe. *Sov. Soil. Sci.* 6, pp. 712-718.
- KRUGLOVA Ye.K. - 1960 - Boron in the soil, cotton, irrigation and ground waters of Golodnaya steppe. *Sov. Soil. Sci.* 9, pp. 979-985.
- KRUGLOVA Ye.K. - 1962 - Copper and its forms in the soils of the Golodnaya steppe and in cotton. *Sov. Soil. Sci.* 5, pp. 516-521.
- KRUGLOVA Ye.K. - 1964 - Zinc and its forms in virgin and old irrigated soils of Golodnaya steppe and in cotton plants. *Sov. Soil. Sci.* 7, pp. 718-722.
- KRUGLOVA Ye.K., BEL'GORSKAYA N.N. - 1962 - Les composés du manganèse dans les sols et les plantes. (en russe). *Khlopkovodstvo* 12, 12, pp. 44-64.
- KRYM I.Ya. - 1964 - Microelements in the soils of the Ural Sakmara interfluve. *Sov. Soil. Sci.* 10, pp. 1069-1073.
- KRYM I.Ya. - 1965 - Forms of microelements in some soils of the Or'-Kumak watershed. *Sov. Soil. Sci.* 6, pp. 490-499.
- KUBOTA J. - 1964 - Cobalt content of New England soils in relation to cobalt levels in forages for ruminant animals. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 28, 2, pp. 246-251.
- KUBOTA J. - 1965 - Distribution of total and extractable forms of cobalt in morphologically different soils of Eastern United States. *Soil. Sci.* 99, 3, pp. 166-174.
- KUBOTA J., ALLAWAY W.H., CARTER D.L. et al. - 1967 - Selenium in crops in the United States in relation to selenium responsive diseases of animals. *J. agric. Fd. chem.* 15, pp. 448-453.
- KUBOTA J., LAZAR V.A. - 1960 - Cobalt-iron relationship in sandy soils. *Trans. 7th int. Congr. Soil. Sci.* 2, pp. 134-141.
- KUBOTA J., LAZAR V.A., LANGAN L.N. et al. - 1961 - The relationship of soils to molybdenum toxicity in cattle in Nevada. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 25, 3, pp. 227-232.
- KULESHOV G.T. - 1959 - Teneur en zinc des sols de la région de Rostov. (en russe). *Nauch. Dokl. vyssh. Shkol' biolog. Nauki* 4, pp. 202-204.
- KURKI M. - 1962 - Teneur en éléments traces des sols tourbescents cultivés, d'après la productivité. (en finnois). *Suo.* 13, pp. 79-82.
- LACROIX A. - 1905 - Les syénites néphéliniques des Iles de Loos, Guinée française. *C.R. Acad. Sci. Paris.* pp. 948-8.
- LÅG J., DEV G. - 1964 - Distribution of exchangeable manganese in some Norwegian podzol profiles. *J. Ind. Soc. Soil. Sci.* 12, 4, pp. 215-219.
- LAL B., SAHU D., DAS N.B. - 1960 - Available zinc status of some indian soils. *Curr. Sci.* 29, pp. 316.
- LAUENKRAPČA E., LIELDIENS R. - 1961 - Teneur en cobalt des sols formés sur dépôts du Dévonien, en Lettonie. (en russe). *Lat. PSR Zināt. Akad. Vestis.* 11, pp. 91-94.
- LEHR J.J., HENKENS C.H. - 1962 - Action du chaulage des sols sableux-humiques sur la solubilité du bore. (en hollandais). *Landbouwk-Tijdschr.* 74, pp. 352-357.
- LE MARE P.H., SAMKI J.K. - 1969 - Prog. Rep. Exp. Stas. Season 1967-68. Tanzania Western cotton growing area. *Cott. Res. Corp. London.*
- LENTSCHIG S., FIEDLER H.J. - 1966 - Zum Spürenelementgehalt von Braunerde-und Podsolprofilen des Mittelgebirges. *Abh. Staatl. Mus. Miner. Geol. Dresden,* 11, pp. 281-306.

- LISOVAL A.P. - 1960 - Action de différentes plantes sur les formes mobiles du manganèse dans les dernopodzols. (en russe). Dopov. ukr. Akad. Sil's'Kogospodars'k Nauk, 1, pp. 18-20.
- LIU C., WANG K.L., CHEN C.F. et al. - 1961 - Teneurs en microéléments des sols à citrons et réponse des citrons à des engrais contenant des microéléments, dans la région de Hwangyen, Tché-Kiang. (en chinois). Act. pedol. sin. 9, pp. 140-156.
- LUKASHEV K.I., PETUKHOVA N.N. - 1962 - Teneur en nickel et cobalt du complexe sol-végétation en Polésie du sud-est. (en russe). Dokl. Akad. Nauk. belorus. SSR, 6, pp. 448-452.
- LUKASHEV K.I., PETUKHOVA N.N. - 1962 - Migration et forme de l'accumulation du manganèse dans les sols et les plantes de la forêt du sud-est. (en russe). Dokl. Akad. Nauk. belorus. SSR, 6, pp. 251-254.
- LUKASHEV K.I., PETUKHOVA N.N. - 1962 - Migration et forme de l'accumulation du cuivre dans les roches, les sols et les plantes de la Polésie du sud-est. (en russe). Dokl. Akad. Nauk. belorus. SSR, 6, pp. 320-322.
- LUPINOVICH I.S. - 1965 - Patterns in the distribution of microelements in the soils of the Belorussian. SSR. Sov. Soil. Sci. 11, pp. 1301-1306.
- LUPINOVICH I.S., DUBIKOWSKI G.P. - 1964 - Teneur en bore, cuivre, cobalt et manganèse échangeables des sols dernopodzoliques de Russie Blanche. (en ukrainien). Izv. Akad. Nauk. BSSR Ser.s.-kh. Nauki. 2, pp. 47-54.
- Mac CRAY W.R., HURWOOD I.S. - 1963 - Selenosis In N.O. Queensland, associated with a marine cretaceous formation. Qd. J. agric. Sci. 20, pp. 475-498.
- Mac KENZIE R.M. - 1959 - Trace elements in some south australian terra rossa and rendzina soils. Aust. J. agric. Res. 10, 1, pp. 52-57.
- Mac KENZIE R.M. - 1960 - Trace elements in some soils from the Todd River area, Central Australia. C.S.I.R.O. Div. Soil. Divl. Rep. 6/60 p. 17.
- MÄKITIE O. - 1962 - On the cobalt/nickel ratio in arable soils. J. Sci. Agric. Soc. Finland. 34, pp. 91-95.
- MAL'GIN M.A. - 1964 - Répartition du manganèse dans les sols de Gorno-Altai. (en russe). Trud' biol. Inst. Sib. Otd. Akad. Nauk. SSSR. 12, pp. 67-80.
- MAMEDOV Z.I. - 1961 - Action du cobalt sur la croissance et le développement du coton. (en russe). Fiziol. rast. 7, pp. 724-726.
- MANSKAYA S.M., DROZDOVA T.V., EMEL'YANOVA M.P. - 1960 - Formes des combinaisons du cuivre avec les matières organiques dans les sols de Biélorussie. (en russe). Trud' biogeokhim. Lab. Inst. Geokhim. analit. khim. 11, pp. 65-69.
- MÄRTIN B., SASUM K. - 1962 - Borgehalt verschiedener Böden in Thüringen. Albrecht-Thaer-Arch. 6, 4, pp. 277-281.
- MASEV N. - 1964 - Le zinc dans les sols carbonatés de Bulgarie. (en bulgare). Nauch. Trud. vissh s.-s-Inst. Kolarov. 13, n° 1.
- MASSEY H.F., LOWE R. - 1961 - High molybdenum content of certain Kentucky soils. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 25, 2, pp. 161-162.
- MAURICE J. - 1966 - Géochimie du bore. Ann. Agro. 17, 4, pp. 367-402.
- MAURICE J., TROCMÉ S. - 1963 - Influence de l'apport d'amendements calcaires sur le bore préexistant ou ajouté dans le sol. Ann. Agr. 14, pp. 579-593.
- MAVLYANOV G.A., MIRZAEVA K.Kh. - 1962 - Teneur en molybdène des sols, roches et nappes phréatiques du Fergan Central. (en russe). Dokl. Akad. Nauk. uzbek. SSR, 19, 6, pp. 35-37.
- MEHTA B.V., REDDY G.R., NAIR G.K., GANDHI S.C. et al. - 1964 - Micronutrient studies on Gujarat soils and plants. J. Ind. Soc. Soil. Sci. 12, 4, pp. 329-342.
- MIKHAÏLOV A.S. - 1959 - Quelques caractéristiques de la géochimie du molybdène des sols du Kazakhstan central. (en russe). Geokhimiya, pp. 432-436.
- MILCHEVA M. - 1959 - Le manganèse des chernozems et sols gris forestiers du nord de la Bulgarie. (en russe). Nauch. Trudy Inst. prochn. Issled. Puskharova. 4, pp. 95-121.

- MIRZAEVA K.Kh. - 1963 - Les éléments traces dans les principaux types de sols de l'Uzbekistan. (en russe). Dokl. Akad. Nauk. uzbek. SSR. 5, pp. 43-46.
- MITAL O.P., ROY S.D. - 1963 - Micronutrient status of soils of white sugar belt of Bihar. I - Distribution of iron and manganese. J. Ind. Soc. Soil. Sci. 11, 1, pp. 17-22.
- MITCHELL R.L. - 1948 - Spectrographic analysis of soils, plants and related materials. Communw. Bur. Soil. Sci. Techn. Comm. 44.
- MOGHE V.B., MATHUR G.M. - 1966 - Status of boron in some arid soils of western Rajasthan. Soil. Sci. and. plant. Nutr. 12, 3, pp. 11-14.
- MOITY M. - 1954 - La carence en zinc du bananier. Fruits. 1954, 9, 8, pp. 354.
- MONNIER-WILLIAMS G.W. - 1950 - Trace elements in Food. Chapman and Hall. London. 511 p.
- MOULINIER H., MAZOYER R. - 1968 - Contribution à l'étude de l'action du chrome sur la croissance des végétaux. Ann. Agr. 19, 5, pp. 553-567.
- MULLER K.H., WUTH E., WITTER B. et al. - 1964 - Die Molybdän versorgung der Thüringer Böden und der Einfluss einer Molybdändüngung auf Ertrag, Roh protein-und Mineralstoff-gehalt von Luzerne. Albrecht-Thaer-Arch. 8, 4-5, pp. 353-373.
- MUSIEROWICZ A., CZARNOWSKA K. - 1960 - Manganèse total, actif et échangeable des principaux types de sols du district de Lodz. (en polonais). Roczn. Glebozn, 9, suppl. pp. 137-141.
- MUSIEROWICZ A., CZARNOWSKA K. - 1961 - Le manganèse des sols les plus importants du district de Lodz. (en polonais). Roczn. Nauk. rol. 84 A pp. 563-592.
- MUSIEROWICZ A., SWIĘCICKI C. - 1963 - Teneur en bore des sols typiques du district de Lodz. (en polonais). Roczn. Nauk. rol. 87 A, pp. 153-181.
- MYSZKA A. - 1960 - Etudes sur la teneur en bore soluble des sols typiques du plateau de Lublin. (en polonais). Ann. Univ. M. Curie. Skłodowska 15 E, pp. 99-131.
- NAIR G.G.K., MEHTA B.V. - 1959 - Status of zinc in soils of western India. Soil. Sci, 87, 3, pp. 155-159.
- NAKAMURA M.T., SHERMAN G.D. - 1961 - The vanadium content of Hawaiian soils. Hawaii agric. Exp. Sta. techn. Bull. 45, p. 20.
- NALOVIĆ Lj. - 1969 - Etude spectrographique des éléments traces et leur distribution dans quelques types de sols de Madagascar. Cah. ORSTOM sec. Pédol. VII n° 2, 1969, pp. 133-181.
- NEELAKANTAN V., MEHTA B.V. - 1961 - Copper status of soils of western India. Soil. Sci. 91, 4, pp. 251-256.
- NEELAKANTAN V., MEHTA B.V. - 1962 - Distribution of copper in typical soil profiles of Gujarat. Ind. J. agric. Sci, 32, pp. 39-46.
- NEMES M., BILAUŠ C. - 1959 - Etudes sur l'importance géochimique de quelques éléments traces des sols de la région de Cluj. (en roumain). Lucrari stiint. Inst. agron. Cluj. 15, pp. 37-43.
- N GO CHAN BANG., OLIVER R., FALAIS M. - 1971 - Mise en évidence d'un cas de toxicité manganique sur sol ferrallitique d'Anketrakabe, Diego Suarez (Madagascar). Agr. Trop. 26, 3, pp. 355-375.
- NICOLLS K.D., HONEYSETT J.L. - 1964 - The cobalt status of Tasmanian soils. I - Total cobalt in soils and cobalt content of subterranean clover grown in pots. Aust. J. Agric. Resear. 13, 3, pp. 368-376.
- NIKITIN B.A. - 1966 - Teneur en éléments traces des sols dernopodzoliques cultivés. (en russe). Agrokhimiya 12, pp. 89-93.
- NORLAND M.A., STAROSTKA R.W. - 1960 - Response of alfalfa to boron fertilization of sundry acid and calcareous soils in a greenhouse study. Agron. J. 52, 1, pp. 33-35.

- NOWOSIELSKI O. - 1961 - Teneurs en éléments traces utilisables des sols polonais, dosés par l'*Aspergillus Niger*. Zinc. (en polonais). *Roczn. Glebozn.*, 10, pp. 345-365.
- OBORINA M.G. - 1965 - Teneur en molybdène et cobalt des sols de la steppe forestière de la zone nord du Transoural. (en russe). *Trudy sverdlovsk. sel'-khoz. Inst.*, 14, pp. 45-47.
- OERTEL A.C., GILES J.B. - 1963 - Trace element contents of some Queensland soils. *Aust. J. soil. Res.*, 1, 2, pp. 215-222.
- OERTLI J.J. - 1960 - The distribution of normal and toxic amounts of boron in leaves of rough lemon. *Agron. J.*, 52, 9, pp. 530-532.
- OERTLI J.J., LUNT O.R., YOUNGNER V.B. - 1961 - Boron toxicity in several turfgrass species. *Agron. J.*, 53, 4, pp. 262-265.
- PAGE E.R. - 1962 - Studies in soil and plant manganese. II - The relationship of soil pH to manganese availability. *Plant and soil.*, 16, 2, pp. 247-257.
- PAVALEYEV T. - 1958 - Boron in chernozems and gray forest soils of northern Bulgaria. *Sov. Soil. Sci.*, 9, pp. 1042-1048.
- PASTERNAK K., GLINSKI J. - 1969 - Some trace elements in mineral soils of the bottom of ponds. *Pol. J. of. Soil. Sci.*, II, n° 1, pp. 15-24.
- PEDRO G., DELMAS A.B. - 1970 - Les principes géochimiques de la distribution des éléments traces dans les sols. *Ann. Agr.*, 21, 5, numéro spécial "Les oligo-éléments en France", pp. 483-518.
- PEN'KOV O.G. - 1962 - Manganèse et bore dans les sols cannelle gris et les solonetz de la steppe de Karabakh, dépression de Kura-Araskin. (en russe). *Dokl.s.-kh-Akad-Timiryazeva*, 76, pp. 113-120.
- PERIGAUD S. - 1970 - Les carences en oligo-éléments chez les ruminants en France. Leur diagnostic. Les problèmes soulevés par l'intensification fourragère. *Ann. Agr.*, 21, 5, numéro spécial "Les oligo-éléments en France", pp. 635-669.
- PERSHINA M.N., PEN'KOV O.G. - 1962 - Teneur en molybdène et cobalt des sols brun-gris et derno solonchaks de la steppe de Karabakh, dépression de Kura-Araskin. (en russe). *Dokl.s.-kh-Akad-Timiryazeva*, 76, pp. 105-111.
- PEYVE Ya.V. - 1958 - Formes des éléments traces utilisables par les plantes dans les sols d'U.R.S.S. (en russe). *Latv. PSR-Zin. Akad. Vestis*, 6, pp. 37-50.
- PEYVE Ya.V. - 1960 - Boron and molybdenum in Latvian soils. *Sov. Soil. Sci.*, 9, pp. 941-947.
- PEYVE Ya.V. - 1963 - Content of trace elements in soils of the savannah zone of the Mali Republic. *Sov. Soil. Sci.*, 11, pp. 1050-1053.
- PEYVE Ya.V. - 1963 - V.I. Vernadskiy and study of microelements in soils (100th Anniversary of V.I. Vernadskiy's birth). *Sov. Soil. Sci.*, 8, pp. 741-752.
- PEYVE Ya.V., ANSPOK P.I., PAKALN G.Zh. - 1964 - Mapping the content of microelements in the soils of a kolkhoz and estimation of effectiveness of applying micronutrient fertilizers. *Sov. Soil. Sci.*, 7, pp. 653-659.
- PEYVE Ya.V., IVANOVA N.N., KARELINA L.V. - Teneur en bore des sols de Lettonie. (en russe). *Izv. Akad. Nauk. Latvia SSR*, 1, pp. 34-37.
- PIAS J. - 1968 - Contribution à l'étude des formations sédimentaires tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et des sols qui en dérivent. Thèse.
- PINES F. - 1963 - Molybdenum in some Israël soils. *Israël. J. agric. Res.*, 13, 1, pp. 3-8.
- PINTA M. - 1962 - Recherche et dosage des éléments traces. *Dunod. Paris.* 726 p.
- PINTA M., OLLAT C. - 1961 - Recherches physicochimiques des éléments traces dans les sols tropicaux. Etude de quelques sols du Dahomey. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 25, 1, pp. 14-23.
- PIOTROWSKA M. - 1965 - Les éléments traces dans quelques sols sur loess de la région d'Opatow-Sandomierz. (en polonais). *Roczn. Glebozn.*, 15, pp. 267-272.

- PRESANT E.W., TUPPER W.M. - 1965 - Trace elements in some New Brunswick soils. *Can. J. Soil. Sci.* 45, 3, pp. 305-310.
- PREVOT P., OLLAGNIER M., AUBERT G., BRUGIERE J.M. - 1955 - Dégradation du sol et toxicité manganique. *Oléagineux*, 10e année, n° 4, pp. 239-243.
- RADOMIROV P., ERMOLAEV I., KOZAROVA M. et al. - 1963 - Le molybdène, élément trace fertilisant, en Bulgarie. (en bulgare). *S. stop Nauka*, 2, pp. 1153-1160.
- RANADIVE S.J., NAIK M.S., DAS N.B. - 1964 - Copper and zinc status of Maharashtra soils. *J. Ind. Soc. Soil. Sci.* 12, 4, pp. 243-248.
- RANDHAWA N.S., KANWAR J.S., NIJHAWAN S.D. - 1961 - Distribution of different forms of manganese in the Punjab soils. *Soil. Sci.* 92, 2, pp. 1061-12.
- RASMUSSEN G.K., HENRY W.H. - 1963 - Effects of lead on the growth of sweet orange seedlings in nutrient solution cultures. *Soil. Crop. Sci. Soc. Fla. Proc.* 23, pp. 70-74.
- RAVIKOVITCH S., MARGOLIN M., NAVROT J. - 1961 - Microelements in soils of Israël. *Soil. Sci.* 92, 2, pp. 85-89.
- RAYCHAUDHURI S.P., DATTA BISWAS N.R. - 1964 - Trace element status of Indian soils. *J. Ind. Soc. Soil. Sci.* 12, 4, pp. 207-214.
- REDDY G.R. - 1964 - Molybdenum status of western India soils. *Ind. J. agric. Sci.* 34, pp. 219-233.
- REDDY K.G., MEHTA B.V. - 1961 - Investigation on the determination of available cobalt in soil of Kaira district in Gujarat. *Ind. J. agric. Sci.* 31, pp. 261-265.
- REDDY K.G., MEHTA B.V. - 1961 - Cobalt investigations on Gujarat (India) soils. *Soil. Sci.* 92, 4, pp. 274-280.
- REDDY K.G., MEHTA B.V. - 1962 - Distribution of cobalt in some typical soil profiles of Gujarat. *J. Ind. Soc. Soil. Sci.* 10, pp. 167-173.
- RIANDEY C. - 1964 - Techniques d'études des carences en molybdène pouvant affecter les cultures en régions tropicales. Thèse. Conservatoire National des Arts et Métiers. Paris.
- RID H., SCHIECKE I. - 1965 - Chemische Untersuchungen an schweren Böden Ostbayerns. *Sonderh. bayer. landw.-Jb.* 42, 5, pp. 57-67.
- RIEHM H., SCHOLL W., MEHNERT K.R. - 1960 - Zur Geochemie des Kobalts in Gesteinen des Schwazwaldes. *N. Jb. Min. Mh.* pp. 160-169.
- RODINA E.M. - 1965 - Teneur et répartition du zinc dans les sols châtaîns de la région de Stavropol. (en russe). *Trudy stavropol'sel' Khoz. Inst.* 14, pp. 65-67.
- ROLT W.F. - 1962 - The copper nutrient status of some soils of the North Island, New Zealand, *Int. Soil. Conf. N.Z.* pp. 842-846.
- ROMANIN M.V. - 1961 - Variazioni stagionali del tenore in molibdeno lungo il profilo di un terreno torboso. *Ann. Sper. agr. Ital.* 15, 1, pp. 77-87.
- RUNGE E.C.A., LEON L. - 1960 - Distribution of manganese in a biotopo sequence of south-eastern Iowa soils. *Proc. Iowa Acad. Sci.* 67, pp. 232-236.
- RYAN P., LEE J., PEEBLES T.F. - 1967 - Trace element problems in relation to soil units in Europe. (Working party on soil classification and Survey of the European Commission on Agriculture). F.A.O. of the United Nations. Rome, *World soil resources Reports* 31.
- SAKHATOV K. - 1961 - Bore soluble à l'eau des sols irrigués de l'oasis de Tedzhen. (en russe). *Sel. Khoz. Turkmenistana*, 4, pp. 69-72.
- SAKHATOV K. - 1962 - Bore soluble à l'eau des sols vierges de l'oasis de Tedzhen. (en russe). *Izv. Akad. Nauk Turkmen SSR Ser. biol. Nauki*, 2, pp. 73-76.

- SAROSIEK J., KLYS B. - 1962 - Remarques sur la teneur en étain des plantes et des sols des montagnes des Sudètes. (en polonais) Acta Soc. Bot. Polon. 31, pp. 737-752.
- SAUCHELLI V. - 1969 - Trace elements in agriculture. Van Nostrand. Reinhold Co. 248 pp.
- SAUKOV A.A. - 1931 - Geochimie. (en russe).
- SAVIČ B. - 1964 - Dynamique du molybdène dans quelques sols de prairie naturelle de Bosnie. (en croate). Rad. poljopriv. Fak. Univ. Saraj. 13, pp. 69-119.
- SAVIČ B. - 1964 - Teneurs en éléments traces et métaux rares des sols de la région montagneuse de Treskavica. (en croate). Rad. poljopriv. Fak. Univ. Saraj. 13, pp. 227-231.
- SCHILLER H. - 1961 - Die Bor, Magnesium und Manganversorgung der Böden in oberösterreichischen Alpenvorland. Bodenkultur, 12 A, pp. 181-189.
- SEMB G., OIEN A. - 1966 - Etude sur la teneur en cuivre des sols norvégiens. (en norvégien). Forsk. Fors. Landbr. 17, pp. 209-226.
- SERGEEVA N.G. - 1965 - Teneur en molybdène des sols à tabac des contreforts de la région de Krasnodar. (en russe). Agrokhimiya. 10, pp. 144-148.
- SERGEEVA N.G. - 1966 - Quelques éléments traces dans les sols et tabacs du Kouban. (en russe). Agrokhimiya. 3, pp. 89-94.
- SHAKURI B.K. - 1964 - Les éléments traces dans les chernozems du Nord-Azov et Cis-Caucasiens, de la région de Rostov. (en russe). Izv. Akad. Nauk azerbaïdžhan. SSR Ser. biol. Nauk. 4, pp. 81-89.
- SHAKURI B.K., AKHUNDOVA G.G. - 1965 - Teneur en formes utilisables des microéléments, au sud-est de la région de Saï'Yansk. (en russe). Izv. Akad. Nauk. azerb. SSR. Ser. biol. Nauk. 2, pp. 82-88.
- SHARMA S.G., MOTIRAMANI D.P. - 1964 - Manganese status of soils of Madhya-Pradesh. J. Ind. Soc. Soil. Sci. 12, 4, pp. 249-254.
- SHAROVA A.S., SKLYAROV G.A., AKSENOVA B.F. et al. - 1960 - Zinc utilisable de quelques sols de la région agricole de la rivière Sim, république autonome de Bashkir. (en russe). Materialy izuch. Pochv. bashkir. SSR. Sborn. 1, pp. 94-99.
- SHAW D.M. - 1964 - Interprétation géochimique des éléments en traces dans les roches cristallines, Masson, Paris, 237 pages.
- SILLANPÄÄ M. - 1962 - On the effect of some soil factors on the solubility of trace elements. Agrogeol. Julk. 81, pp. 24.
- SINHA R.C.P., BANERJEE B.K. - 1965 - A spectrographie study of trace elements in some Indian Soils. Technology, India, 2, pp. 137-139.
- SINGH S., SINGH B. - 1966 - Trace element studies on some alkali and adjoining soils of Uttar-Pradesh. I - Profile distribution of molybdenum. J. Ind. Soc. Soil. Sci. 14, 1, pp. 19-23.
- SINGH S., SINGH B. - 1966 - Trace element studies on some alkali and adjoining soils of Uttar-Pradesh. II - Profile distribution of cobalt. J. Ind. Soc. Soil. Sci. 14, 3, pp. 177-181.
- ŠMELHAUS V., VALĚK B. - 1964 - Présence des microéléments dans les sols de Tchécoslovaquie. (en tchèque). Pol'nohos. podarstvo, 10, pp. 833-836.
- SMELTZER G.G., LANGILLE W.M., Mac LEAN K.S. - 1962 - Effects of some trace elements on grass legume production in Nova Scotia. Canad. J. Plant. Sci. 42, pp. 46-52.
- STANCHEV C., GORBANOV S. - 1964 - Le molybdène dans les sols bruns forestiers de Bulgarie. (en bulgare). Nauch. Trud. vish s-s Inst. Kolarov. 13, 1, pp. 181-187.
- STANCHEV L., GYUROV G., MASHEV N. et al. - 1962 - Le zinc, élément trace des principaux types et sous-types des sols bulgares. (en bulgare). Izv. tsentral-nauch.- izsled-Inst. Pochvozan. Agrotekh. "Puskarov", 4, pp. 133-144.

- STANCHEV L., GYUROV G., STOILOV G. et al. - 1962 - Le cobalt, élément trace des sols bulgares. (en bulgare). Izv. tsentral. nauch-izsled Inst. Pochvozn. Agrotekh. "Pushkarov". 4, pp. 145-154.
- STANCHEV L., STOILOV G. - 1964 - Le cobalt dans les sols bruns forestiers de Bulgarie. (en bulgare). Rast. Nauki- 1, 1, pp. 61-66.
- STANCĚVA P. - 1964 - Le manganèse dans les sols bruns forestiers de Bulgarie. (en bulgare). Nauch. Trud. vissh s.-s. Inst. Kolarov. 13, 1, pp. 189-194.
- STILES W. - 1951 - Trace elements in plants and animals. Cambridge. At the University Press - 189 pages.
- STONE K.L., JENCKS E.M. - 1963 - The available molybdenum status of some west Virginia soils. W. Va agric. Exp. Sta. Bull. 484. pp. 10.
- STOYANOV D.V. - 1963 - Teneurs en formes utilisables des éléments traces cuivre, manganèse, molybdène et cobalt dans différents sols de la vallée des roses. (en bulgare). Izv. Inst. Pochvozn. Agrotekh. "Pushkarov".
- SVANBERG O. - 1965 - Le sélénium dans le sol. (en suédois). Foderfosfat. J. 4, n° 80-82.
- SWAINE D.J. - 1955 - The trace element content of soil. Commonw. Bur. Soil. Sci. Tech. Commun. 48.
- SWAINE D.J., MITCHELL R.L. - 1960 - Trace element distribution in soil profiles. J. Soil. Sci. 11, 2, pp. 347-368.
- ŚWIECICKI C. - 1964 - Boron content in typical soils of Poland. Roczn. Glebozn. 14, suppl. pp. 101-111.
- SZŰCS L., ELEK E. - 1962 - Teneur en éléments traces des chernozems de Hongrie. (en hongrois). Agrokem. Talajt, 11, pp. 311-322.
- TERCINIER G. - 1963 - Sols de Polynésie-Ile Mooréa. Rapport ORSTOM non publié.
- TERCINIER G. - 1964 - Sols des Nouvelles Hébrides. Rapport ORSTOM non publié.
- TERCINIER G. - 1966 - Sols de Nouvelle Calédonie. Rapport ORSTOM non publié.
- TILLER K.G. - 1963 - Weathering and soil formation on the dolerite in Tasmania, with particular reference to several trace elements. Aust. J. Soil. Res. 1, pp. 74-90.
- TIMOSHENKO A.G. - 1959 - Caractéristiques de l'action de quantités croissantes de cuivre sur les récoltes obtenues sur les chernozems. (en russe). Trudŷ kishinev. s.-kh. Inst. 20, pp. 129-144.
- TOIKKA M.A. - 1964 - Les éléments traces dans les plantes sur sols dernopodzoliques et de shungite. (en russe). Uchen. Zap. petrozavodsk. gos. Univ. 12, pp. 57-63.
- TOIKKA M.A., PEREVOZCHIKOVA E.M., LAZAVERA E.A. et al. - 1965 - Teneur en éléments traces des sols du district de Sortaval'sk. Karélie. (en russe). Uchen. Zap. petrozavodsk. gos. Univ. 13, pp. 49-62.
- TOIKKA M.A., TIMOFEEVA V.I., TATTI Z.A. - 1965 - Teneurs en bore et molybdène utilisables des sols des régions de Kondopozhsk et Medvezh'egorsk. (en russe). Uchen. Zap. petrozavodsk. gos. Univ. 13, pp. 76-81.
- TOLLENAR D. - 1966 - Boron deficiency in cacao, bananas and other crops on volcanic soils of Ecuador. Neth. J. Agric. Sci. 14, pp. 138-151.
- TONKONOZHENKO Ye.V. - 1964 - Le cobalt et le cuivre des sols de la région de Krasnodar. (en russe). Nauch, Dokl. vŷssh. Shk. Biol. Nauki. 3, pp. 208-213.
- TONKONOZHENKO Ye.V. - 1964 - Formes mobiles des éléments traces dans les sols des vallées et contreforts de la région de Krasnodar. (en russe). Trudŷ Kuban.s.-Kh. Inst. 9, pp. 180-187.
- TONKONOZHENKO Ye.V. - 1964 - Molybdenum and manganese in the soils fo Kuban'. Sov. Soil. Sci. 1, pp. 59-64.
- TONKONOZHENKO Ye.V. - 1966 - Teneur en bore soluble à l'eau des sols de la région de Krasnodar. (en russe). Agro-khimiya. 7, pp. 111-117.

- TROBISCH S. - 1962 - Deutsch. Akad. Tagungsber. 56, pp. 55-64.
- TUREKIAN K.K., WEDEPOHL K.H. - 1961 - Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. Bull. geol. Soc. Amer. 72, pp. 175.
- TYURYUKANOV A.N., SHAMAEVA G.M. - 1964 - Carte de la teneur en iode des sols de la région de Kaluzha et méthode utilisée pour la tracer. (en russe). Nauch. Dokl. vyssh. Shkoly, Biol. Nauki, 2, pp. 196-198.
- TYURYUKANOV A.N., VASIL'EVSKAYA V.D. - 1964 - Caractéristiques géochimiques des sols de la plaine de Meschov. (en russe). Vestn. moskov. Univ. Ser. Biol. Pochvoved. 4, pp. 64-70.
- UNDERWOOD E.J. - 1956 - Trace elements in human and animal nutrition. Academic Press Inc. New York, 430 p.
- VAIL J.W., CALTON W.E., STRONG R.M. - 1957 - Dieback of wattle, a boron deficiency. E. Afr. agric. For. J. 23, pp. 100-103.
- VAKULIN A.A., MOKIYENKO V.F. - 1966 - Microelement content in the sands of the lower Volga. Sov. Soil. Sci. 4, pp. 428-436.
- VASIL'EVSKAYA V.D. - 1965 - Le nickel et le cuivre des sols de la région de Smolensk. (en russe). Vest. mosk. gos. Univ. Ser. Biol. Pochv. 6, pp. 51-61.
- VASIL'EVSKAYA V.D., KRUTIKOVA V.A. - 1963 - Le molybdène des sols de la région de Kalunga. (en russe). Vest. moskov. Univ. Ser. Biol. Pochvoved. 6, pp. 48-57.
- VEKILOVA F.I., BOROVSAYA Yu.B. - 1960 - Le cobalt et le nickel des sols de quelques régions du Petit Caucase. (en russe). Izv. Akad. Nauk. azerbaïdzhan. SSR. Ser. geol. geogr. 6, pp. 51-64.
- VIL'GUSEVICH I.P. - 1961 - Teneur des sols de Biélorussie en formes mobiles des oligo-éléments. (en russe). Sborn. nauch. Trud. belorus. nauch-issled. Inst. Zemled. 8, pp. 265-274.
- VIL'GUSEVICH I.P., BULGAKOV N.P. - 1960 - Microelement content in the soils of Belorussia. Sov. Soil. Sci. 3, pp. 319-326.
- VINOGRADOV A.P. - 1959 - The geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils. (translated from Russian). Consultants bureau, New York, 209 p.
- VIZIER J.F. - 1965 - Sols du Tchad. Communication personnelle de l'auteur.
- VOLODIN A.M., TOIKKA M.A. - 1965 - Teneur en éléments traces des principales roches-mères de Karélie du sud. (en russe). Uchenzap. petrozavodsk. gos. Univ. 13, pp. 139-145.
- WALLACE T. - 1947 - Soil conditions and mineral deficiencies of plants, with special references to the deficiencies of the trace elements iron, manganese, boron, zinc, copper and molybdenum. Conf. Ped. Med. 1947. Alger-Montpellier, pp. 248-266.
- WALLACE T. - 1961 - The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms. Her Majesty's stationery office. Londres, 125 p., 312 planches.
- WATKINSON J.H. - 1962 - Soil Selenium and animal health. Int. Soil. Conf. N.Z., pp. 149-154.
- WEAR J.U., PATTERSON R.M. - 1962 - Effect of soil pH and texture on the availability of water-soluble boron in the soil. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 26, 4, pp. 344-346.
- WEBB J.S., THORNTON I., FLETCHER K. - 1966 - Seleniferous soils in parts of England and Wales. Nature, Londres, 211, pp. 327-328.
- WELLS N.W. - 1967 - Selenium content of soil forming rocks. N.Z. Jl. Geol. Geophys. 10, pp. 198-208.
- WERKHOVEN C.H.E. - 1964 - Boron in some saline and non saline soils in southeastern Saskatchewan. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 28, 4, pp. 542-550.

- YADAV J.S.P., KALRA K.K. - 1964 - Exchangeable manganese in certain forest soils of India. *J. Ind. Soc. Soil. Sci.* 12, 4, pp. 225-233.
- YAKUBOV A.M., VEL'GORSKAYA N.N. - 1964 - Distribution of manganese and its forms in the soils and waters of Samarkand oasis. *Sov. Soil. Sci.* 6, pp. 604-608.
- YAMAMOTO A., AOKI M. - 1963 - Comportement du molybdène dans les sols et les plantes. 4 - Teneur en molybdène utilisable des horizons de surface des sols de rizières et teneur du riz en molybdène. 5 - Teneur en molybdène utilisable des sols arables et vierges de plateaux. (en japonais). *J. Sci. Soil.* 34, 5, pp. 169-173-174-176.
- YANG T.T. - 1960 - Teneur en bore soluble à l'eau des sols de Taiwan. (en chinois). *Rep. Taiwan Sug. Exp. Sta.* 21, pp. 1-15.
- YATAZAWA M., TANAKA H. - 1965 - Levels of available micronutrient metals in some Japanese soils as measured by *Aspergillus Niger* with special reference to their threshold values. *Soil. Sci. Plant. Nutr.* 11, 4, pp. 17-23.
- YOE J.H., KOCH H.J. - 1957 - Trace Analysis. J. Wiley and Sons, New York, 672 p.
- ZANDHAWA N.S., KANWAR J.I. - 1964 - Zinc, copper and cobalt status of Punjab soils. *Soil. Sci.* 98, 4, pp. 403-407.
- ZIMMERMANN W. - 1961 - Bordüingung bei Mattenkee zur samengewinnung. *Mitt. Scheiwz, Landw.* 9, pp. 49-52.
- ZIMOVETS B.A., ZELENOVA A.I. - 1963 - Iodine content in the soils of the Amur basin. *Sov. Soil. Sci.* 11, pp. 1031-1039.
- ZUL'FUGARLYĀ D.I., ABDULLAEVA M.M., ABDULLAEVA A.I. - 1959 - Répartition du cobalt dans les sols d'Azerbaïdjan. (en russe). *Uchen. Zap. azerbaïdzhan Univ. Fiz. matem. khim. Ser.* 4, pp. 69-72.
- ZUL'FUGARLYĀ D.I., MURSALOVA M. - 1965 - Formes mobiles du cobalt et du manganèse dans les sols de prairie de steppe des basses terres de Tersk-Sulaksk, Dagestan. (en russe). *Trudy dagest. nauchno-issled. Inst. sel.khoz.* 3, pp. 34-41.
- ZŶRIN N.G., BOL'SHAKOV V.A. - 1964 - Teneurs en manganèse, zinc et molybdène des sols de vignobles de Crimée. (en russe). *Agrokimiya.* 7, pp. 80-91.
- ZŶRIN N.G., BŶKOVA L.N. - 1960 - L'iode de quelques sols de la région de Moscou. (en russe). *Vestn. moskov. Univ. Ser. Biol. Pochvoved.* 6, pp. 55-66.
- ZŶRIN N.G., PATSUKEVICH Z.B. - 1964 - Le bore soluble à l'eau des sols de Crimée. (en russe). *Agrokimiya.* 7, pp. 92-95.

ANNEXE

TABLEAUX

TABLEAUX

BORE	1 à 9
CHROME	11 à 14
COBALT	15 à 27
CUIVRE	29 à 40
IODE	41 & 42
MANGANESE	43 à 53
MOLYBDENE	55 à 67
NICKEL	69 à 74
PLOMB	75 à 78
SELENIUM	79
TITANE	81 à 83
VANADIUM	85 à 88
ZINC	89 à 98

BORE 1

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN BORE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN BORE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU BORE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Finlande		sols tourbescents sols sableux et argileux	sols hydromorphes, à gley de surface, humifères			très faible) bore soluble à l'eau teneurs plus) fortes)				KURKI (M.), 1962
Danemark							le chaulage réduit le bore disponible		le borax à faible dose ne provoque pas de toxicité	JENSEN (J.), 1964
Pays-Bas		sols sableux humiques	sols humiques sur matériau sableux				l'action du chaulage sur le bore disponible dépend de la teneur en matière organique et du pH			LEHR (J.J.) et al., 1962
France Gascogne	molasses du miocène	sols calcaires (9 à 18 %) riches en argile (29 à 43 %) sols non calcaires (0-0,8 %) de pH 8 et riches en argile (18-45 %)	) ) ) ) ) sols bruns calcaires)))		dans le sol dans sous-sol	0,31-0,91 0,08-0,51	le bore utilisable diminue quand le pH augmente	limite de carence dans la vigne : 0,75 de bore utilisable, pour les sols alcalins ou calcaires	l'apport de borax concentré a une action favorable	DECAU (J.) et al., 1962
France		Etude du bore dans les sols en fonction de la géochimie de cet élément								MAURICE (R.), 1961
Italie								carence dans la vigne, provoque maladie des "petites baies"	le borax corrige la maladie	CIFERRI (R.), 1961
Suisse									le borax semé n'est pas toxique pour le trèfle, pulvérisé il est toxique	ZIMMERMANN (W.), 1961
Allemagne	différents calcaires: 8 roches calcaires du Muschelkalk rouge: 80 schistes paléozoïques: 80-100									HEIDE (F.) et al., 1958
Allemagne Thuringe	grès bigarré et ardoise désagrégée	sols calcaires et loess sols formés sur ces matériaux				- bore soluble dans l'eau chaude : assez fort) 1,2) à - bore soluble dans l'eau chaude : plus faible) 0,4)	le bore soluble dans l'eau chaude augmente en même temps que la matière organique			MÄRTIN (B.) et al., 1962
Allemagne Thuringe		Etude du bore dans les sols de Thuringe								BERGMANN (W.) et al., 1962
Allemagne Thuringe			sols cultivés			bore soluble dans l'eau chaude : 0,4-0,87	la teneur en bore varie avec le pH, la teneur en argile, la riche-mère. Elle subit des variations saisonnières			BUCHSEL (L.) et al., 1966

BORE 3

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN BORE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN BORE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU BORE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Pologne Lodz	argiles glaciaires	podzols terres brunes terres noires sols de marais tourbeux	podzols sols bruns forestiers chernozems sols tourbeux		0-20 cm	0,05) de bore soluble à l'eau soit 0,6 à 1,02) 3,5% du bore total et 1,2 à 55% du bore soluble dans l'acide chlorhydrique N	les couches profondes des sols tourbeux sont plus riches en bore soluble à l'eau : 2,85			MUSIEROWICZ (A.) et al., 1963
			mêmes sols		couches profondes	0,04) de bore soluble à l'eau soit 0,1 à 0,56) 3,3% du bore total et 0,5 à 38% du bore soluble dans l'acide				
Hongrie		chernozems	chernozems			bore soluble à l'eau : teneur convenable	la teneur en bore varie en raison inverse de la profondeur. Relation positive avec le complexe argile-humus. pH élevé sans action sur la teneur en bore			SZÜCS (L.) et al., 1962
Bulgarie Nord	argiles du pliocène, d'origine marine : riches loess : riche	chernozems sols forestiers gris solonchaks salés vierges sols de prairies alluviaux chernozems carbonatés chernozems lessivés et podzolisés	chernozems sols lessivés sols salés à alcalis	28-53 33 160	) ) A1)	0,7-1) 0,3-0,5) 2,2)) bore soluble à l'eau) 0,7-1)) 0,5-0,7))	la teneur en bore soluble à l'eau varie en raison inverse de la profondeur dans les sols lessivés et les chernozems	pas de carence ni de toxicité		PALAVEYEV (T.), 1958
Roumanie Sud		chernozems calcaires sols podzoliques solonetz-solonchaks	chernozems sols lessivés sols très salés à alcalis	faible teneur forte teneur		faible teneur) bore soluble à l'eau forte teneur)	la teneur en bore diminue des sols de steppe aux sols forestiers. Relation positive avec la teneur en humus, argile. pH élevé sans action sur la teneur en bore mobile			BĂJESCU (I.) et al.
U.R.S.S. Lettonie	argiles de moraine	sols sableux du littoral podzols de prairies sols tourbeux des dépressions marécageuses	sols sableux podzols hydromorphes sols tourbeux	5 15-35		0,04)) bore soluble à l'eau 0,2-2)	la teneur en bore dépend de la texture du sol, elle est plus forte dans les argiles et limons que dans les sables			PEYVE (Ya. V.) et al., 1959
U.R.S.S. Lettonie		podzols gazonnés faiblement podzolisés podzols gazonnés moyennement podzolisés sols à gley gazonnés sols à gley gazonnés humiques sols gazonnés carbonatés lessivés sols à gley podzolisés podzols gazonnés	sols lessivés faiblement dernopodzoliques sols lessivés dernopodzoliques sols à gley sols humiques à gley sols bruns calcaires sols podzoliques à gley podzols			0,17-0,28))) 0,16)) bore soluble à l'eau 0,32) 0,70)) 0,23)) 0,41)))		augmentation importante des récoltes par apport de bore à des sols ayant 0,8 à 0,15 ppm. de bore soluble à l'eau		PEYVE (Ya. V.) et al., 1964
U.R.S.S. Estonie	calcaires sibériens	sols sur ces roches-mères podzols	podzols	45-25 (riche) 1,3-6,5 (pauvre)		0,6 (riches)) bore soluble à l'eau 0,4-0,6 (moyens))) 0,1-0,2 (insuffisants)) 0,4 (carencés))				KALMET (R.), 1963

BORE 4

ORIGINE	RÖCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN BORE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN BORE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU BORE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S.		Etudes et références bibliographiques sur le bore dans les sols d'U.R.S.S.								PEYVE (Ya. V.), 1963
U.R.S.S.		Etudes et références bibliographiques sur le bore dans les sols d'U.R.S.S.								KOVDA (V.A.) et al., 1964
U.R.S.S.	shungite	sols sur ce matériau sols dernopodzoliques	sols lessivés faiblement podzoliques			) bore utilisable plus) fort que dans les sols) sur shungite				TOIKKA (M.A.), 1964
U.R.S.S. Karélie	argiles glaciaires lacustres moraines	limons sableux sols podzolisés et lessivés	sols lessivés et podzolisés			très faible	la teneur en bore utilisable varie en raison inverse de la profondeur			TOIKKA (M.A.) et al., 1965
U.R.S.S. Karélie	moraine	lehms faiblement podzolisés sous forêts sols dernopodzoliques sols tourbeux	sols forestiers lessivés faiblement podzoliques sols lessivés faiblement podzoliques sols tourbeux		) ) ) ) ) supérieur	0,42)) teneurs plus faibles))	relation positive entre la teneur en bore utilisable et l'acidité du sol			TOIKKA (M.A.) et al., 1965
	argiles lacustres	sols à gley fortement podzolisés sur prairies	sols podzoliques à gley hydromorphes		) ) )	0,18				
U.R.S.S. Biélorussie	limon argileux de moraine argiles lacustres limons argileux limons argileux	sols podzoliques gazonnés sols podzoliques gazonnés sols podzoliques gazonnés sols podzoliques gazonnés hydromorphes humifères	sols lessivés faiblement podzoliques sols lessivés faiblement podzoliques sols lessivés faiblement podzoliques sols lessivés faiblement podzoliques hydromorphes humifères	2,5 3,4-4,3 2-3,4 2,6-3,6						VIL'GUSEVICH (I.F.) et al., 1960
U.R.S.S. Biélorussie	sables fluvioglaciaires et alluviaux anciens	sols podzoliques gazonnés sols dernopodzoliques	sols lessivés faiblement podzoliques	assez pauvre		traces-0,43	teneurs plus fortes dans les sols les plus lourds			LUPINOVICH (I.S.) et al., 1964
U.R.S.S. Biélorussie	sables alluviaux anciens et fluvioglaciaires : 2,5 limon argileux morainique : 9 limon argileux loessique et type loessique : 9,2	sols podzoliques gazonnés sols de marais tourbeux	sols lessivés faiblement podzoliques sols tourbeux	assez pauvre assez pauvre		plus riche	la teneur en bore dépend de celle de la roche-mère, de la texture du sol. La répartition dans le profil dépend du processus de formation du sol et de l'accumulation biologique. La teneur augmente avec la culture du sol	) ) ) ) apport d'engrais au bore utile))))		LUPINOVICH (I.S.), 1965
U.R.S.S. Crimée		sols de steppe sols côtiers du sud solonetz solonchaks	solonetz sols salés à alcalis			2-2,57) 0,1 à) + faible) 7,8 %) bore du bore) soluble total) à) 65% du bore) l'eau total)				ZYRIN (N.G.) et al., 1964

BORE 6

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN BORE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN BORE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU BORE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S. Région de l'Amour	granite : 9 alluvions lacustres : 35 sables plus graviers : 10 alluvions sableuses tertiaires : 9 dépôts stratifiés de plaine inondable : 72	sol brun forestier	sol brun forestier	65 21 11 23	A1 A/B B C					KOVDA (V.A.) et al., 1958
U.R.S.S.		sol de prairie sol de prairie inondable sol à gley podzolique sol brun podzolique chernozem	sol hydromorphe sol hydromorphe sol podzolique à gley sol brun forestier lessivé chernozem	55 84 46 24 12			le bore utilisable est lié à la matière organique		par chaulage le bore lié à la matière organique est moins facilement utilisé par les plantes. Le bore minéral ne varie pas	KATALYMOV (M.V.), 1960
Canada Nouvelle Ecosse		sables limoneux limons graveleux				0,4) bore soluble à) à l'eau 1,06)			la pulvérisation de borate de soude augmente la teneur en bore des herbages	SMELTZER (G.G.) et al., 1962
Canada Saskatchewan		chernozems salés	chernozems			0,1-2 de bore soluble à l'eau			par apports croissants de bore pas de toxicité observée. Action variable du calcium, magnésium et sodium, sur la teneur en bore de la luzerne et du blé	WERKHOVEN (C.H.E.), 1964
U.S.A.		Essais de culture sur sable						toxicité pour citronniers	apport de borax (de 0-20 ppm)	OERTLI (J.J.), 1960
U.S.A.		Essais de culture en serre					quand le pH augmente, diminution de la teneur en bore dans les plantes	carence en bore de la luzerne sur sols acides	par apport de borax augmentation de la récolte (quand la plante a moins de 13 ppm)	NORDLAND (N.A.) et al., 1960
U.S.A.		Essais de culture sur solution nutritive						10 ppm. de bore : toxicité pour le gazon		OERTLI (J.J.) et al., 1961
U.S.A.		Essais en serre	sables limoneux argiles limoneuses				le bore soluble à l'eau est plus fortement fixé par la luzerne cultivée sur sols à texture grossière. Il diminue quand le pH passe de 5 à 7, pour tous les sols			WEAR (J.I.) et al., 1962
Chine T'ai Wan	argilolite grès, ardoise, calcaires cristallins	sols côtiers sur ce matériau sols latéritiques sols sur ces matériaux	sols ferrallitiques			) bore soluble à l'eau) fort) bore soluble à l'eau) faible (< 0,2)	le bore soluble à l'eau est plus fort en surface qu'en profondeur et dans les sols neutres ou alcalins que dans les sols acides	carence dans la batave quand la teneur en bore est < 0,2	les engrais basiques et le manque d'engrais organiques sont nuisibles à la nutrition en bore	YANG (T.T.), 1960

CHROME 2

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN CHROME TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN CHROME UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU CHROME	REFERENCES
U.R.S.S. Oasis de Tedzhen		sols takyrs sableux non structurés	sols salés à alcalis des régions désertiques	70-100				GRAZHDAN (P.E.), 1959
U.R.S.S. Région de l'Amour	granite : 35 alluvions lacustres : 300 sables et graviers : 140 alluvions sableuses tertiaires : 79 dépôts stratifiés de plaine inondable : 150	sol brun forestier sol brun podzologique sol à gley podzologique sol de prairie sol de prairie inondable chernozems	sol brun forestier sol brun forestier lessivé sol à gley lessivé sol hydromorphe sol hydromorphe chernozems	100 230 130 170 130 400	A1		accumulation dans l'horizon humique	KOVDA (V.A.), 1958
Dahomey			sol faiblement ferrallitique beige-clair, argileux sol faiblement ferrallitique beige sol ferrugineux tropical sol "terre de barre" faiblement ferrallitique sol noir tropical	90-160 35-210 60-108 35-120 103-160			en général, augmentation de la teneur en chrome quand la profondeur augmente. Cette variation suit celle des argiles; dans le sol faiblement ferrallitique beige-clair argileux, accumulation dans la couche 40-100	PINTA (M.) et al., 1961
Ghana	phyllite granite pegmatite matériau sableux hornblende, schistes matériau basique	) sols ferrallitiques faiblement désaturés lithosol sol ferrallitique désaturé sol brun eutrophe tropical sol ferrallitique faiblement désaturé	) sols ferrallitiques faiblement désaturés lithosol sol ferrallitique désaturé sol brun eutrophe tropical sol ferrallitique faiblement désaturé	100-250 20-80 30-50 10-50 100-200 30	) ) ) selon les différents horizons))		le chrome augmente avec la profondeur	BURRIDGE (J.C.) et al., 1965
Côte d'Ivoire	amphibolite granites schistes schistes amphiboliques charnockite		ferrisol terre brune sol rouge de plateau sols ferrallitiques plus ou moins lessivés sols ferrallitiques sols hydromorphes à pseudo-gley de profondeur ferrisol rouge ranker d'érosion humifère sol ferrallitique très lessivé	100 300 200 150 (moyenne) 50-300 30-80 100 20 10-50	) ) ) ) ) horizon supérieur))))))))		peu de variation du chrome le long du profil, légère augmentation quand la profondeur augmente	RIANDEY (C.), 1964
République Centrafricaine	quartzites, micaschistes, migmatite, amphibolite, granite, gneiss, charnockite amphibolite, granite, gneiss, migmatite amphibolite, itabirite quartzite alluvions récentes		sols faiblement ferrallitiques sols ferrugineux tropicaux lessivés, hydromorphes sols peu évolués d'érosion ferrisol intergrade ferrugineux rouge sol hydromorphe minéral à pseudo-gley	10-60 10-60 25 60 25	) ) ) ) ) différents horizons)))))			BOULVERT (Y.), 1966

CHROME 3

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN CHROME TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN CHROME UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU CHROME	REFERENCES
République Centrafricaine	gneiss, amphibolite, charnockite, migmatite		sols faiblement ferrallitiques	80-175 100-500)))			BOULVERT (Y.), 1966
			gneiss	sol ocre rouge très peu lessivé	100			
	charnockite, gneiss, amphibolite		sols ferrugineux tropicaux	80-200 100-500))			
			alluvions récentes	sol hydromorphe minéral à pseudo-gley	100			
	amphibolites		vertisols lithomorphes hydromorphes	300-1 000	)				) différents horizons
		sols peu évolués d'érosion	100-200)				
Tchad	gneiss amphibole		sol peu évolué d'apport, hydromorphe	60)))		peu de variations du chrome le long du profil; légère augmentation quand la profondeur augmente	VIZIER (J.F.), 1965
	matériau argilo-sableux		sols ferrugineux tropicaux et hydromorphes à pseudo-gley de profondeur	30)			
			sols ferrugineux tropicaux sol hydromorphe peu humifère, à gley de surface	60-80 50))			
Tchad	sédiments argileux		sols salins, sols à alcalis non lessivés, sols humiques à gley	25-80)))		peu de variations du chrome le long du profil; légère augmentation de la teneur quand la profondeur augmente	PIAS (J.), 1968
	arkose, grès-arkosique, argilite sédiments argileux et sableux sédiments sableux		sols ferrallitiques	100-280))			
			sols ferrugineux tropicaux sols isohumiques subarides sols ferrugineux tropicaux à pseudo-gley	100-150 4-80 100-200)))			
	sédiments limono-argileux		sols alluviaux hydromorphes halomorphes	100-300))			
	sédiments argilo-sableux sédiments argileux		vertisols topomorphes sols hydromorphes à gley	180-300))			
	Madagascar	sables et limons sableux sédiments argilo-sableux		sol de terrasse inondable peu évolué	110				) )		la teneur en chrome varie peu le long du profil, très légère diminution quand la profondeur augmente	NALOVIĆ (Lj.), 1969
sol de levée alluviale peu évolué				190))			
sables argileux sur alluvions schistes grès granite cipolin			sol de mangrove vertisol	520 190))			
			sol ferrugineux tropical	95)			
			sol ferrugineux tropical sol rouge ferrallitique sol brun-rouge ferrallitique humifère	78 185 165)))			
gneiss			sol rouge faiblement ferrallitique lessivé	130))			
calcaire gréseux			rendzine noire	95))			
Madagascar		alluvions		sols hydromorphes et hydromorphes à gley	210-220))		la teneur en chrome varie peu le long du profil, elle dépend de la roche-mère du type de sol et de la teneur en argile. La teneur en matière organique a peu d'action sur celle du chrome	NALOVIĆ (Lj.), 1969
	sol salin vertisols			200-540 70))			
	marnes basaltes granite calcaire, basaltes, cendres volcaniques roche métamorphique acide roche basique, calcaire matériau gréseux, sable		sol ferrallitique sol ferrallitique	190-430))			
			sol faiblement ferrallitique	185))			
			sols ferrugineux tropicaux	80-165))			

COBALT 2

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN COBALT TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN COBALT UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU COBALT	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Espagne Vallée du Guadalquivir	craies tertiaires pures : 4-5 craies tertiaires dégradées : 10-12 roches granitiques : 8 ardoises paléozoïques : 12-14 granite	xérorendzines et serozems terres noires limons rouges sols d'alluvions rouges terra rossa et solonchaks calcaires terres brunes	rendzines serozems vertisols sols rouges méditerranéens alluvions sols rouges méditerranéens et sols salés à alcalis sols bruns forestiers	) 11,2) 10,6 8,2 < 6) 6,2) 4,2			sauf dans les vertisols, la teneur en cobalt diminue quand la profondeur augmente. Dans les différents horizons, elle varie comme le pH.			GONZALEZ-GARCIA (F.), et al., 1964
Yougoslavie Treskavica		sols de prairie	sols hydromorphes				la teneur en cobalt augmente en même temps que la teneur en humus			SAVIĆ (B.), 1964
Pologne Opatow-Sandomiez		chernozems sols bruns pseudopodzols	chernozems sols bruns forestiers podzols	accumulation accumulation accumulation	horizon de surface B/C B/C					PIOTROWSKA (M.), 1965
Pologne Kielce		rendzines	rendzines	accumulation	(B)/C		l'accumulation du cobalt et la solubilité dépendent des minéraux argileux			KABATA-PENDIAS (A.), 1965
Pologne Wielkopolska		sols alluviaux chernozems podzols sols tourbeux	sols alluviaux chernozems podzols sols tourbeux			teneurs fortes)cobalt soluble dans teneurs fortes)l'acide teneurs faibles)chlorhydrique N teneurs faibles)				CZEKALSKI (A.) et al., 1965
Pologne		sols sableux			horizon supérieur		le processus de formation du sol entraîne une teneur plus forte dans le sol que dans la roche-mère			KABATA-PENDIAS (A.) et al., 1965
Tchécoslovaquie Région de Flysch	schistes grès	sols limoneux sols sableux acides		dans les sols limoneux teneurs plus fortes que dans les sols sableux			dans les sols limoneux sur schistes, accumulation dans l'horizon B. Pour les sols sableux arides, lessivage dans l'horizon B			BENĚŠ (S.), 1964
Tchécoslovaquie	serpentinite	48 profils sur cette roche-mère					la teneur dépend de celle de la roche-mère mais aussi du processus de formation du sol			ŠMELHAUS (V.) et al., 1964
Hongrie		15 chernozems	chernozems				la teneur décroît avec la profondeur, elle suit les variations du complexe argille-humus. Le pH fort est sans action sur la teneur en cobalt total, mais abaisse le cobalt utilisable			SZÜCS (L.) et al., 1962

COBALT 4

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN COBALT TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN COBALT UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU COBALT..	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S. Karélie (sud)	moraines argiles dépôts glaciaires lacustres	sols sur ces roches-mères sols sur ces roches-mères sols sur ces roches-mères		dans les sols sur moraines teneur plus forte que dans les sols sur argiles			les roches-mères sont plus riches en cobalt que l'horizon humique des sols			VOLODIN (A.M.) et al., 1965
U.R.S.S. Péninsule de Kola	roches-mères, néphéline prédomine, recouvertes de dépôts surtout éluviaux	sols de toundra de montagne		10-22	selon les horizons		pas de grandes variations du cobalt le long du profil			DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1963
U.R.S.S. Péninsule de Kola Taiga du Nord	schistes cristallins (rubis, granulites) avec intrusion de norite manteau de moraine sablo-argileuse gris-vert	sols podzolisés sols de marais tourbeux	sols lessivés faiblement podzotiques sols tourbeux	) ) ) concentrations faibles ) )	) ) ) horizon A0))		le cobalt s'accumule dans les minéraux de la fraction lourde; la moraine est plus pauvre que les roches la répartition du cobalt dans le profil dépend du processus de formation du sol			DOBROVOL'SKIY (V.V.) et al., 1964
U.R.S.S. Taiga du Sud	manteau de limons	sols de limons					la répartition du cobalt total et utilisable dépend du degré de podzolisation; le cobalt s'accumule pendant la période de culture.			NIKITIN (B.A.), 1966
U.R.S.S. Taiga du Sud		sols sableux très podzolisés sols à gley tourbeux sols podzoliques légèrement derno	sols sur matériaux sableux sols tourbeux sols lessivés faiblement podzotiques	très pauvre accumulation faible absent	A2)) horizon éluvial)					BRLOV (A. Ya.), 1966
U.R.S.S.		Etudes et références bibliographiques sur le cobalt dans les sols			d'U.R.S.S.					KOVDA (V.A.) et al., 1964
U.R.S.S. Rives de la Moskova		sols alluviaux		26-34	horizon humique	0,6-12,7	les variations saisonnières des teneurs dépendent du rapport Fe ² /Fe ³ . Le cobalt est plus mobile quand ce rapport = 1			BONDARENKO (G.P.), 1962
U.R.S.S. Plaine de Meshchov		sols forestiers gris sols de transition entre dernopodzols et forestiers gris	sols lessivés sols de transition entre sols lessivés faiblement podzotiques et sols lessivés	) ) ) 10))	horizon 0-20 cm					TYURYUKANOV (A.N.) et al., 1964
U.R.S.S. Biélorussie	limon argileux de moraine : 1,2-4,8 limon argileux type loessique: 1,3-8,5 argiles lacustres limon argileux sables fluvio-glaciaires et alluviaux anciens limon argileux	sols podzotiques gazonnés) sols podzotiques) gazonnés) sols podzotiques gazonnés hydromorphes humifères rendzines sols de marais tourbeux	sols lessivés faiblement podzotiques sols lessivés faiblement podzotiques sols lessivés faiblement podzotiques, hydromorphes, humifères rendzines sols tourbeux	0,4-10) 1,06-13) 0,6-6) 0,2-1,8.) 1,4-5,1) 1,1-2,4						VIL'GUSEVICH (I.P.) et al., 1960

COBALT 5

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN COBALT TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN COBALT UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU COBALT	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S. Biélorussie (Polésie)		dernopodzols et sols moyennement podzolisés sols à gley tourbeux sols à gley humiques	sols lessivés faiblement podzoliques et podzoliques sols tourbeux sols humiques à gley	) ) forte) varie)) de) 0,11) pas de) à 6) cobalt)			la teneur en cobalt est plus forte dans les fractions fines			LUKASHEV (K.I.) et al., 1962
U.R.S.S. Biélorussie	argiles loessiques sableux légers	podzols gazonnés podzols gazonnés très podzolisés	sols podzoliques podzols	teneur assez) forte) 1,70 teneur plus) à faible) 0,05		cobalt échangeable cobalt total varie de 0,08 à 0,85				VIL'GUSEVICH (I.P.), 1961
U.R.S.S. Biélorussie	sables alluviaux anciens et fluvio-glaciaires : 3 limon argileux morainique : 8 limon argileux loessique et type loessique : 7,7 argiles glaciaires lacustres : 13	sols podzoliques gazonnés limoneux sableux sols podzoliques gazonnés sols podzoliques gazonnés argileux fins	) sols lessivés faiblement podzoliques) ques) sols lessivés faiblement podzoliques) ques) sols lessivés faiblement podzoliques) ques	3-3,9 3,2-6,1 3-10	) ) ) ) couche cultivée))	0,05-0,50) 7,6))))) % du 0,20-0,80) 7,4) cobalt)) total)) 0,2-0,9))	la teneur en cobalt dépend de celle de la roche-mère, de la texture du sol. La répartition dans le profil dépend du processus de formation. Les sols à texture fine ont un horizon éluvial pauvre en cobalt			LUPINOVICH (I.S.), 1965
U.R.S.S. Biélorussie		sols dernopodzoliques	sols lessivés faiblement podzoliques			0,05-1	la teneur en cobalt dépend de la texture du sol. Sols assez pauvres			LUPINOVICH (I.S.), et al., 1964
U.R.S.S. Région de Ryazan		sols de marais tourbeux drainés dermo sols de prairie chernozems lessivés sols forestiers gris dermo-podzols	sols humiques à gley sols lessivés faiblement podzoliques hydromorphes chernozems lessivés sols lessivés sols lessivés faiblement podzoliques			) ) teneur assez) cobalt) forte) soluble)) dans)) l'acide) teneur faible) nitrique) N pas de cobalt				DAVYDOV (N.I.) et al., 1963
U.R.S.S.	shungite	sols dernopodzoliques sols sur cette roche-mère	sols lessivés faiblement podzoliques	) ) teneur forte ) )	) ) dans les horizons supérieurs)		le cobalt diminue avec la profondeur			TOIKKA (M.A.), 1964
U.R.S.S. Bassin Oural-Sakamra	sédiments du jurassique, crétacé, tertiaire déluvium de serpentine éluvio-déluvium de tuf	chernozems et chernozems solonetziformes sols forestiers gris foncé chernozems peu développés	chernozems solonetz sols gris forestiers chernozems	4)) 26)			relation nette entre la teneur des sols en cobalt et celle de la roche-mère; sols à caractère éluvial			KRYM (I. Ya.), 1964
U.R.S.S. Ustyurt	dépôt de limon argileux fin, du quaternaire	sols brun-gris	sols subdésertiques	5-7	accumulation dans l'horizon de surface et humique sous-jacent	cobalt soluble à l'eau 5-10				DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1961

COBALT 6

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN COBALT TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN COBALT UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU COBALT	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S. Bassin Or' - Kumak	croûte d'altération de roches basiques	solonetz-solonchak	sol très salé à alcalis	140 140 60 50-100	) A) B1) B2 carb.) C	26) 36) 24) 4-14)	le cobalt mobile s'accumule biologiquement dans les horizons humique et illuvial et est adsorbé par les minéraux argileux			KRYM (I. Ya.), 1965
		solonetz de croûte	solonetz	80 80 72 72-100	) A) B1) B2) C	18) 18) 14) soluble dans l'acide chlorhydrique N 7-10)				
		sol châtain foncé solodisé	sol châtain alcalisé à B textural	80 100 72 76 60-120	) A) A2B) B1) B2 carb.) C carb.	16-13) 12) 11) 8) 5-8)				
		limons éluviaux - déluviaux recouvrant la couche altérée	sol châtain érodé calcaire érodé	) A) B1) B2) C	6) 7) 5) 3)					
U.R.S.S. Kouban Krasnodar		chernozems sols forestiers gris sols de prairie. chernozéiformes solonetz solonchaks	chernozems sols lessivés chernozems hydromorphes solonetz sols salés à alcalis		) ) ) ) horizons supérieurs) supérieurs ) )	) ) 1,5-2,8)) 3)				TONKONDOZHENKO (E.V.), 1964
		sols châtaîns sols carbohumiques	sols châtaîns rendzines		) ) )	) ) ) pauvres				
U.R.S.S. Kouban Krasnodar		chernozems carbonatés	sols châtaîns intergrade de chernozems	10	0-20 cm	2,6				TONKONO ZHENKO (E.V.), 1964
		sols bruns forestiers montagneux	sols bruns forestiers	18,3	0-20 cm	4,8				
		sols carbohumiques	rendzines	10,2	0-20 cm	1,1				
U.R.S.S. Azerbaïdjan dépression de Kura-Araskin		sols brun gris	sols subdésertiques	) 17,2) 3,2	A2 vierge B vierge					PERSHINA (M.N.) et al., 1962
		derné-solonchaks	sols salés à alcalis lessivés	) 3,2-3,5) 7-10	A2 irrigué B irrigué					
U.R.S.S. Azerbaïdjan petit Caucase			19 échantillons de sols	4-16			la teneur en cobalt varie en même temps que la teneur en fer			VEKILOVA (F.I.) et al., 1960
U.R.S.S. Azerbaïdjan		sols forestiers de montagne sols de prairie de montagne sols châtaîns	sols forestiers sols hydromorphes sols châtaîns	) ) en moyenne 10))						ZUL'FUGARLY (D.I.) et al., 1959
U.R.S.S. Azerbaïdjan Caucase, Rostov		chernozems du Nord-Azov	chernozems	12	horizon humique		le cobalt s'accumule dans les horizons supérieurs			SHAKURI (B.K.), 1964
		chernozems cis-caucasiens	chernozems	12-99	horizon humique					
U.R.S.S. Azerbaïdjan Sai' Yansk		serozems de prairie solonchaks	sols hydromorphes subdésertiques sols salés à alcalis			) ) 0,008-1,6)				SHAKURI (B.K.) et al., 1965

COBALT 7

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN COBALT TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN COBALT UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU COBALT	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S. Azerbaïdjan									action bénéfique du cobalt, sous forme de nitrate, sur le développement du coton	MAMEDOV (Z.I.), 1961
U.R.S.S. Daghestan		soils de prairie de steppe solonetz soils de prairie type solonchaks solonchaks	soils hydromorphes subdésertiques solonetz soils salés à alcalis hydromorphes soils salés à alcalis			5,8 6,15 3-8 3,5-4,1 3,5-4,1				ZUL'FUGARLY (D.I.) et al., 1965
U.R.S.S. Ouzbékistan		sérozems pâles irrigués sérozems noirs non irrigués	soils subdésertiques soils bruns isohumiques	très faible) 5) à très forte) 16,7						MIRZAEVA (K. Kh.), 1963
U.R.S.S. Turkménistan Oasis de Tedzhen		soils takyrs sableux non structurés	soils salés à alcalis des régions désertiques	10-30						GRAZHDAN (P.E.), 1959
U.R.S.S. Région de l'Amour	alluvions lacustres : 6,9 sables et graviers : 20 alluvions sableuses tertiaires : 12 dépôts stratifiés de plaine inondable : 5,8	chernozems sol brun forestier sol brun podzolique sol à gley podzolique sol de prairie sol de prairie inondable	chernozems sol brun forestier sol brun forestier sol podzolique à gley sol hydromorphe sol hydromorphe	6,1 1,7 7,2 6,5 5,7 5,6			accumulation biogénétique du cobalt dans l'horizon humique et diminution dans l'horizon A2			KOVDA (V.A.) et al., 1958
U.R.S.S. Transoural (steppe forestière du Nord)		chernozem podzolisé sol podzolique gris chernozem de prairie sol de prairie	brunizem lessivé sol lessivé chernozem hydromorphe sol hydromorphe	75 80 30 27		1,55 4,5 2,03 2,30				OBORINA (M.G.), 1965
Canada Nouvelle Ecosse		sables limoneux limons graveleux	soils plus ou moins évolués soils lessivés	3,9-9,3					un apport de cobalt, sous forme de sulfate pulvérisé, augmente la teneur des herbages en cobalt	SMELTZER (G.G.) et al., 1962
U.S.A. Etats du Sud-Est		71 soils soils podzoliques à nappe phréatique soils humiques à gley soils à gley peu humifères régosols bien drainés soils podzoliques rouges et jaunes	soils hydromorphes podzoliques à gley soils humiques à gley soils hydromorphes à gley régosols soils rouges et jaunes blanchis		horizons 0-15 cm 15-30 cm	) ) ) ) cobalt soluble dans) 0,008-0,394) l'acide)))) acétique)) 2,5% plus)) dithizone 0,06-3,74)	la teneur en cobalt utilisable est plus faible dans les sols mal drainés que dans les sols bien drainés	selon les types de sols on constate, chez les ruminants des carences en cobalt quand les teneurs sont inférieures à 0,02, 0,03, 0,05	ALBAN (L.A.) et al., 1960	
U.S.A. Sud-Est et Nord-Est	roche-mère sableuse désagrégée (Sud-Est) moraine glaciaire non désagrégée (Nord-Est)	soils sableux et sableux argileux, de la plaine côtière soils podzoliques soils humiques à gley régosols soils podzoliques soils humiques à gley soils alluviaux	soils lessivés soils humiques à gley régosols soils lessivés soils humiques à gley soils alluviaux	0,39 1,19 1,71 1,57-2,23 4,42 5,97			les variations des teneurs en cobalt entre les sols du Sud-Est et ceux du Nord-Est sont dues à la désagrégation de la roche-mère et au rapport Co / Fe		KUBOTA (J.) et al., 1960	

COBALT 8

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN COBALT TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN COBALT UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU COBALT	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.S.A. Nouvelle-Angleterre	dépôts glaciaires dérivés roches granitiques et granodiorite	podzols podzols bruns	podzols sols ocres podzoli-ques) 1-4	) ) )	) A1 et A2 ont des teneurs plus fai-) bles que B sous-) jacent ) )	) ) )	il y a lessivage du cobalt de l'horizon A vers l'horizon B	) zones carencées) pour le bétail		KUBOTA (J.), 1964
	dépôts marins	podzols bruns et sols humiques à gley sur loess	sols ocres podzoli-ques et humiques à gley sur loess	) ) 7-14 )	) ) Ap))))				
U.S.A. Est		podzols à texture grossière podzols jaune-rouge	podzols sols rouges et jaunes blanchis	0,63 1,86	A dans horizon A co- balt plus fort que dans horizon B	0,09)) soluble dans l'acide acétique 2,5% pH 2,5 15) 0,20))) 11))) 3,2))) 46)	le cobalt est faci- le à extraire, sur- tout dans les hori- zons de surface	) ) carence dans le) bétail		KUBOTA (J.), 1965
Surinam (Guyane Hollandaise)		42 sols	sols lessivés	6,95	horizon de surface	0,1-90) soluble dans) l'acide acétique) 2,5% pH 2,5	la teneur en cobalt dépend de la teneur en argile			DIRVEN (J.G.F.) et al., 1964
Israël	calcaire dur grès calcaire marnes terra rossa alluvions de terra rossa et dépôts éo-liens	terres rouges sols sableux brun-rouge rendzines sols alluviaux sols bruns des ré-gions semi-arides sols salés déserti-ques sols de loess et limons	sols rouges méditer-ranéens sols brun-rouge isohumiques des ré-gions subtropicales rendzines sols alluviaux sols bruns subtropi-caux isohumiques sur matériaux rubéfiés sols salés déserti-ques sols de limons	10 3,3 5,9-6,7 6,0-6,9 8,1-8,8 1,7-2,1 8,1-8,3	horizons : 0-30 cm 30-60 cm 60-90 cm	2,1-2,3)) 21,6)) 0,2-0,8)) 7,4-24))) 1,1-1,3)) soluble dans l'acide nitrique N 18,6-21,8) 0,8-1,5)) 13,3-21,8) 0,9-1,7)) 10,7-19,4)))) 0,4-0,65) soluble dans l'acide nitrique N 26-27)) 9-17))) 0,95-1,1))) 26-28)	sols carencés		RAVIKOVITCH (S.) et al., 1961	
Mali Savane	roches noires	limons argileux brun-rouge alluvions brun-clair sols brun-rouge sur roches noires	sols ferrugineux tropicaux peu lessivés sols alluviaux sols ferrugineux tropicaux lessivés	3,4-4,5 3,3-6,3 1,3-3,8	) ) horizon cultivé))	0,42-0,70)) cobalt solu- 0,12-1,12) ble dans l'a- 0,04-0,60) cide nitrique) N				PEYVE (Ya. V.), 1963
Dahomey			sol faiblement fer-rallitique beige clair argileux	23-11	) ) ) )	) ) ) )	) accumulation du cobalt en surface			PINTA (M.) et al., 1961
			sol faiblement fer-rallitique beige sol ferrugineux tropical	< 3-30 2-16	) ) selon les horizons ) )	) ) ) )	) augmentation de la teneur avec la profondeur; la te-) neur varie comme) celle de l'argile			
	sédiments tertiaires		sol "terre de barre" faiblement ferralli-tique	< 3-6))))))))				
			sol noir tropical	10-60))))))))				
Ghana	phyllite granite pegmatite G1 matériau sableux hornblende, schistes matériau basique	) sols ferralliti-ques faiblement désaturés lithosol sol ferrallitique désaturé sol brun eutrophe tropical sol ferrallitique faiblement désaturé	sols ferrallitiques faiblement désaturés lithosol sol ferrallitique désaturé sol brun eutrophe tropical sol ferrallitique faiblement désaturé	< 10 10 10-30 < 10 100-200 50-100	) ) ) selon les horizons ) ) ) )	) ) ) ) ) ) )				BURRIDGE (J. C.) et al., 1965

COBALT 9

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN COBALT TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN COBALT UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU COBALT	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Côte d'Ivoire	granite, schistes		soils ferrallitiques plus ou moins lessivés	traces - 25)))			RIANDEY (C.), 1964
	charnockite		soils ferrallitiques plus ou moins lessivés	1-10)))			
	schistes		sol hydromorphe peu humifère à pseudogley de profondeur	3-20)))			
	charnockite		ranker d'érosion humifère, noir	1	)	) différents horizons	)	) accumulation du cobalt dans l'horizon argileux	
	schistes amphibolites		ferrisol rouge faiblement ferrallitique	30-60))))		
	amphibolite (		ferrisol	30))))		
			terre brune	80)))			
			sol rouge de plateau	3)))			
République Centrafricaine	quartz, micaschistes migmatite, gneiss, granite		soils ferrallitiques peu désaturés))))			BOULVERT (Y.), 1966
	granite, gneiss		soils ferrugineux tropicaux, lessivés, hydromorphes	) traces - 3)))			
	itabirite		sol peu évolué d'érosion	)	)	) différents horizons)			
	alluvions récentes		sol hydromorphe minéral à pseudogley	8)))			
	amphibolite		sol peu évolué d'érosion	8)))			
	gneiss, charnockite granite		soils ferrallitiques peu désaturés	3-9)))			
République Centrafricaine	alluvions récentes		sol hydromorphe minéral à pseudogley	40)))			BOULVERT (Y.), 1966
	quartzite		ferrisol intergrade ferrugineux rouge	30)))			
	gneiss		soils faiblement ferrallitiques	30)))			
	migmatite		soils faiblement ferrallitiques	80)))			
	amphibolite, charnockite		soils faiblement ferrallitiques	30-60	)	) différents horizons)			
	migmatite, gneiss		soils ferrugineux tropicaux lessivés	30-60)))			
			soils ferrugineux tropicaux lessivés	20-100)))			
	amphibolite (		sol peu évolué d'érosion	30-40)))			
			vertisols lithomorphes hydromorphes	100-300)))			
	gneiss (		sol ocre rouge très peu lessivé	60)))			
Tchad	gneiss amphibole		sol peu évolué d'apport hydromorphe	10)))			VIZIER (J.F.), 1965
			soils hydromorphes peu humifères à pseudogley de profondeur,	)	)	) horizon supérieur	)	) augmentation de la teneur en cobalt quand la profondeur augmente	
			soils ferrugineux tropicaux	) 3-10))))		
	matériau argilo-sableux ()))))		
			soils ferrugineux tropicaux à pseudogley de profondeur	) 3))))		

COBALT 10

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN COBALT TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN COBALT UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU COBALT	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Tchad	sédiments argileux		sols salins, sols à alcalis non lessivés, sols humiques à gley)) 10-20)))))))) la teneur en cobalt varie peu le long des profils;			PIAS (J.), 1968
	sédiments argileux et sableux		sols ferrugineux tropicaux, sols iso-humiques subarides	) ) traces - 3 )	) ) )	) ) )	) elle augmente très légèrement avec la profondeur		
	sédiments sableux		sols ferrugineux tropicaux à pseudogley	) ) traces - 30 )	) ) horizon supérieur)))))			
	arkose, grès arkosique		sols ferrallitiques))))))))			
	sédiments argileux		sols hydromorphes à gley, vertisols topomorphes	) ) 10-20))))))))			
	sédiments limono-argileux		sols alluviaux, hydromorphes halomorphes	) ) 10-30))))))))			
Afrique Orientale	sédiments argilo-sableux		vertisols topomorphes)) 20-95))))))))			CHAMBERLAIN (G.T.), 1959
		131 sols		< 0,02-9	) horizon de surface		la teneur en cobalt ne diminue pas toujours quand la profondeur augmente		
Madagascar	alluvions argilo-sableuses		sol de terrasse inondable peu évolué	3-21))	le pH et la teneur en matière organique n'ont pas d'action nette sur la teneur en cobalt			HERVIEU (J.) et al., 1966
	alluvions argilo-sableuses		sol de levée alluviale peu évolué	8-18	)	)	mais un milieu réducteur favorise la concentration en cobalt		
	alluvions argilo-sableuses schistes		sol de mangrove vertisol	19-25 12-25	) )	) )	Teneurs plus fortes dans les sols évolués.	) pas de carence nette	
	granite		sols ferrugineux tropical	5-12	)	)	Diminution de la teneur en cobalt quand la profondeur augmente dans les sols évolués sur place		
	grès		sol rouge ferrallitique	15-18	) 3 à 5 horizons par profil)				
	cipolin		sol ferrugineux tropical	15))				
	cipolin		sol brun-rouge ferrallitique humifié	14-39))				
	calcaire gréseux		sol rouge faiblement ferrallitique lessivé	18-53))				
Madagascar	calcaire gréseux		rendzine noire	1-10))				NALOVIČ (LJ.), 1969
	alluvions		sol hydromorphe à gley, sol hydromorphe, sol salin, vertisols	) ) 15-30 )	) ) )	) ) )	accumulation du cobalt dans l'horizon argileux; la teneur en cobalt dépend du processus de formation du sol.		
	marnes, basalte		vertisols	)	)	)	Le pH et la teneur en matière organique n'ont pas d'action sur la teneur en cobalt		
	matériau gréseux carapace sableuse		sols ferrugineux tropicaux	traces - 3	) horizon supérieur)				
	roche basique, calcaire, granite, calcaire cendres volcaniques		sols ferrugineux tropicaux	15-30))				
China (Nord-Est) & Mongolie intérieure	basaltes		sols ferrallitiques	15-20))				FANG (G.L.) et al., 1963
	basaltes	111 profils de sols	sols ferrallitiques	3))				
	basaltes	sols bruns forestiers	sols bruns forestiers	en moyenne 23 teneurs plus fortes que pour les sols nord-américains et européens	accumulation dans horizon A					

COBALT 11

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN COBALT TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN COBALT UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU COBALT	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Inde Uttar Pradesh		soils alluviaux alcalins salés soils alluviaux non salés cultivés	soils alluviaux salés à alcalis soils alluviaux	4,6-29,1 5,6-28,6	) ) ) selon les horizons)	0,06-0,56) soluble) dans l'acide acétique 0,09-0,48) à 2,5%,) pH 2,5	il existe une relation entre le cobalt total et la texture du sol dans les sols salés et entre le cobalt total et le fer total dans tous les sols. Dans tous les sols, le cobalt utilisable augmente quand le pH diminue. Pas de relation entre le cobalt utilisable et la teneur en matière organique ou en carbonate de chaux			SINGH (S.) et al., 1966
Inde Bombay	granite alluvions basaltes	1000 échantillons de sols sableux, sableux-limoneux, argileux, et de lehm sur ces matériaux	soils sableux, limoneux, argileux et de lehms			le cobalt utilisable, soluble dans les acides, est très faible dans les sols sableux et dans les sols sur basaltes; la teneur dépend du degré d'évolution du sol.				DUARTE (U.M.) et al., 1961
Inde Maharashtra Konkan		8 profils de Konkan soils moyennement noirs de Poona	soils vertiques	38-68 26-28	) ) accumulation dans horizon B )	) cobalt soluble dans l'acide acétique à 2,5%) pH 2,5 : 0,056-0,46	la teneur en cobalt échangeable est liée à celle en carbone organique			BADHE (N.N.) et al., 1962
Inde Punjab	quartz feldspath mica hornblende tourmaline, magnésite	soils alluviaux	soils alluviaux	) ) ) 6,6-36,4))			le cobalt augmente quand la texture du sol devient plus fine			ZANDHAWA (N.S.) et al., 1964
Inde Gujarat		Etude sur le cobalt utilisable des sols								REDDY (K.G.) et al., 1961
Inde Gujarat		49 sols				cobalt soluble dans l'acide acétique à 2,5%, pH 2,5 : 0,12-2,1 16 sols ont moins de 0,25	pas de relation entre le cobalt utilisable, le pH, la matière organique, l'argile, ou le carbonate de chaux, mais relation entre le cobalt total et la teneur en argile - relation entre cobalt total et fer total	carence pour les ruminants quand les sols ont moins de 0,25		REDDY (K.G.) et al., 1961
Inde Gujarat		6 sols : goradu (sable limoneux jaune brunâtre) sols calcaires	soils calcaires	12,4 à 47,9	) ) différents horizons)	cobalt soluble dans l'acide acétique à 2,5%, pH 2,5 : 0,1-0,8	le cobalt total est plus faible en surface qu'en profondeur - le cobalt utilisable diminue avec la profondeur - le cobalt utilisable n'est lié ni au pH ni à la matière organique - le cobalt total est lié à la matière organique et au fer total			REDDY (K.G.) et al., 1962

COBALT 13

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN COBALT TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN COBALT UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU COBALT	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Australie Tasmanie	basaltes et dolérite	104 sols kranozems kranozems latéritiques terres brunes terres noires sols de prairies podzols latéritiques podzols latéritiques	sols ferrallitiques sols ferrallitiques à cuirasse sols bruns forestiers vertisols sols hydromorphes à pseudo-gley sols ferrallitiques lessivés sols ferrallitiques lessivés	) 4-82 (teneur moyenne à forte)))) 11 à 94) (teneur forte))) teneur moyenne : 10-12 teneur faible : < 3	) ) ) ) horizon de surface ) )			) carence en cobalt pour les moutons et les ruminants) carence en cobalt pour les moutons et ruminants, car la teneur des pâturages est faible		NICOLLS (K.D.) et al., 1964
Nouvelles Hébrides	ponces acides sur scories basiques scories basiques		sols peu évolués d'apport sols brun-rouge sols bruns eutrophes sols brun-rouge	) ) ) 20-35 )	) ) ) différents horizons)		la teneur en cobalt varie peu le long des profils			TERCINIER (G.), 1964
Nouvelle Calédonie	quartz et débris de roches diverses flysch à ciment calcaire		sol peu évolué d'origine fluviomarine humifère sols peu évolués d'apport vertisol topomorphe sol brun intergrade à hydromorphe à pseudo-gley sol brun-rouge méditerranéen, solonetz solodisé, sol brun eutrophe	27))) 7-9))) 18 )	) ) ) horizon supérieur))))					TERCINIER (G.), 1966
Nouvelle Calédonie	tuf scoriacé basaltique et dolérite sédiments basaltiques sables calcaires calcaire corallien calcaire corallien et ponces volcaniques		sols bruns, sols brun-rouge, sols ferrallitiques plus ou moins dégradés, sols peu évolués d'érosion, sols peu évolués d'apport, sols colluvio-alluviaux sols rendziniiformes sol semi-tourbeux, alluvion grise sols humocarbonatés hydromorphes, plus ou moins humifères	) ) ) ) ) 70-240)))))) 20-75))) 1-4 )	) ) ) ) ) horizon supérieur)))))) horizon supérieur)))					TERCINIER (G.), 1966
Polynésie Ile Mooréa	alluvions d'origine volcanique marécage de bord de plaine basaltes et basaltes andésitiques éboulis basaltiques éboulis basaltiques anciens		sols alluviaux, plus ou moins hydromorphes humifères sol hydromorphe semi-tourbeux sols ferrallitiques indurés en sous-sol sols ferrallitiques plus ou moins dégradés sols juvéniles brun-gris pierreux, très humifères sol ferrallitique rouge non dégradé	) ) 26-75)) 11) 8-23) 5-13)) 20-120)) 15 )	) ) ) ) ) horizon supérieur ) ) ) ) ) )		) ) ) ) la répartition du cobalt le long des profils dépend du type de sol; elle suit la variation de la teneur en humus))))			TERCINIER (G.), 1963

CUIVRE 1

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN CUIVRE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN CUIVRE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU CUIVRE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S. Lettonie	limons argileux de moraine grossiers, contenant de la dolomite	sols gazonnés faiblement podzolisés sols gazonnés moyennement podzolisés sols à gley gazonnés sols à gley gazonnés humiques sols gazonnés carbonatés lessivés sols à gley podzolisés podzols gazonnés cultivés	sols lessivés faiblement dernopodzoliques sols lessivés dernopodzoliques sols à gley sols humiques à gley sols bruns calcaires sols podzoliques à gley sols podzoliques			0,01-1,10))) 0,76)) 1,72) 3,35) 1,08) 0,90) 0,41))				par apport de cuivre augmentation importante des récoltes sur les sols ayant jusqu'à 80 p.p.m. de cuivre total PEYVE (Ya. V.) et al., 1964
U.R.S.S. Péninsule de Kola	roches-mères: la néphéline prédomine, recouvertes de débris de désagrégation	sols de toundra de montagne		60 (en moyenne) 80 (en moyenne)	A tourbeux B	1-1,45))) environ du) cuivre to-) drique N tal)	le cuivre extrait par l'acide chlorhydrique N diminue quand la profondeur augmente. Il est accumulé par les végétaux dans l'horizon tourbeux			DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1963
U.R.S.S. Péninsule de Kola	schistes cristallins (rubis, granulite) avec intrusion de norites : 1 000 moraine argilo-sableuse gris verdâtre : 95	sols de taiga : sols podzolisés du Centre sols podzolisés du Nord-Ouest sols de marais tourbeux du Nord-Ouest	sols lessivés faiblement podzoliques sols lessivés faiblement podzoliques sols tourbeux	) 200) 20) 55) 100) 50) 40) 60) 50) 75) 30) 50) 100	Ao A2 B C Ao A2 B C Ap P1 P2 C Ap P1 P2 C	120) 2,1) 3,2) 0,8) 5,4) 1,1) 3,7) 3,1) 9,5) 4,4) 4,0) 4,7) 20,4) 23,4) 8,1) 0,5)				DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1964
U.R.S.S. Taiga du Sud		sols sableux très podzolisés sols à gley tourbeux sols podzoliques légèrement derno	sols sableux podzoliques sols tourbeux sols lessivés faiblement podzoliques	pauvre accumulation assez pauvre cuivre absent	A2 horizon illuvial horizon éluvial horizon éluvial		la répartition du cuivre dans le profil dépend du degré de podzollisation			BRLOV (A. Ya.) et al., 1966
U.R.S.S.	sables glaciaires sables fluviatiles et éoliens	10 sols		plus fort dans sols sur sables glaciaires que fluviatiles - traces-9	horizon de surface	cuivre soluble dans le complexe varie de traces à 1,3 et est plus fort dans A1 que dans A2	le cuivre utilisable diminue quand la profondeur augmente			CZARNOWSKA (K.), 1964
U.R.S.S.		Etudes et références bibliographiques sur le cuivre dans les sols d'U.R.S.S.								KOVDA (V.A.) et al., 1964
U.R.S.S. Ustyurt	dépôt de limon argileux fin, du quaternaire	sols bruns gris	sols subdésertiques	15-38 accumulation	horizon de surface horizon humique	14-60 (soluble dans l'eau) accumulation du cuivre soluble à l'eau				DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1961
U.R.S.S. Rives de la Moskova		sols de prairie	sols hydromorphes	69-72	horizon humique	4-32	variations saisonnières avec le potentiel d'oxydo-réduction			BONDARENKO (G.P.), 1962

CUIVRE 2

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN CUIVRE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN CUIVRE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU CUIVRE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S. Plaine de Meshchov		sols forestiers gris et de transition entre derno-podzols et forestiers gris	sols lessivés et de transition entre sols lessivés faiblement podzoliques et faiblement lessivés	40	0-20 cm					TYURYUKANOV (A.N.) et al., 1964
U.R.S.S. Smolensk		5 types de sols		10-20						VASIL'EVSKAYA (V.D.), 1965
U.R.S.S. Basse-Volga	sables alluviaux anciens sables fluvio-glaciaires sables marins anciens sables marins quaternaires			faible : traces-5 faible : 5-8 2-56 6-120	horizon 0-20 cm		la teneur depend de la teneur en humus, du processus de formation du sol			VAKULIN (A.A.) et al., 1966
U.R.S.S. Ukraine du Sud		chernozems d'Odessa chernozem chernozem limono-sableux	chernozem chernozem chernozem sur matériau limono-sableux	10-43 2,8-35,7 1,8-8,4		0,9-10,7) 0,66-6,6) 10 à 25 % du 0,33-3,2) cuivre total	la teneur en cuivre diminue quand la profondeur augmente			DOBROLYUBSKII (O.K.) et al., 1966
U.R.S.S. Biélorussie	moraines et lehms loessiques argiles marines argiles loessiques : 8,8	podzols de prairies sols à gley sols sur argiles loessiques	podzols hydromorphes sols à gley sols évolués plus ou moins hydromorphes	assez pauvre très pauvre plus riche plus riche plus riche 16	A1 A2 B1 B2 A1					VIL'GUSEVICH (I.P.) et al., 1960
U.R.S.S. Biélorussie		sols tourbeux non cultivés	sols tourbeux	1-5	horizon humifié plus riche		à pH 2,5 et 6, les acides humiques et fulviques donnent avec le cuivre des composés insolubles			MANSKAYA (S.M.) et al., 1960
U.R.S.S. Biélorussie		sols organiques tourbeux dépôts argilleux lacustres	sols tourbeux sols podzoliques			cuiivre échangeable cuiivre total = 0,04-0,65 cuiivre mobile : 1,37-27				VIL'GUSEVICH (I.P.), 1961
U.R.S.S. Biélorussie (Polésie)	roches-mères pauvres	podzols tourbeux assez podzolisés podzols sableux peu podzolisés sols à gley tourbeux sols marécageux tourbeux	podzols tourbeux sols podzoliques sur matériaux sableux sols tourbeux	2-10)) pauvre) 4 à 20) (moyenne) 12))	horizons inférieurs pauvres					LUKASHEV (K.I.) et al., 1963
U.R.S.S. Biélorussie		sols derno-podzoliques	sols lessivés faiblement podzoliques	assez pauvre		0,2-3,6	la teneur en cuivre est plus forte dans les sols les plus lourds	carence fréquente dans les plantes		LUPINOVICH (I.S.) et al., 1964

CUIVRE 3

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN CUIVRE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN CUIVRE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU CUIVRE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S. Biélorussie	sables alluviaux anciens et fluvio-glaciaires : 3,6 limon argileux loessique : 11,3 limon argileux morainique : 17,4 argiles glaciaires lacustres : 26,2	limons sableux podzologiques gazonnés limons argileux fins podzologiques gazonnés limon sableux podzologique gazonné	sols lessivés podzologiques sols lessivés podzologiques sols lessivés podzologiques	4,2-7,4 10,8 8,8-10,6	accumulation du cuivre dans l'horizon humique; horizon éluvial pauvre	0,4-1 (0,65) 0,6-1,8 (0,83) 0,7-2 (1,3) 0,4-2,8 (1,20)	la teneur varie avec la texture du sol, elle augmente des sols sableux aux sols limoneux		l'action des engrais est bénéfique	LUPINOVICH (I.S.), 1965
U.R.S.S. Bassin Oural Sakmara	sédiments du jurassique, crétacé, tertiaire déluvium de serpentine éluvio-déluvium de tuf	chernozems ordinaires et solonetziformes sols forestiers gris foncé chernozems peu développés	chernozems et solonetz sols gris forestiers chernozems	60 très fort 67	horizon de surface horizon illuvial		réparti uniformément dans le profil			KRYM (I. Ya.), 1964
U.R.S.S. Krasnodar (Kouban)		chernozems sols forestiers gris et de prairies chernozéiformes	chernozems sols lessivés et chernozems hydromorphes		horizon supérieur	3,8-4,8				TONKONozHENKO (E.V.), 1964
U.R.S.S. Krasnodar (Kouban)		chernozems carbonatés sols bruns forestiers sols carbonatés humiques	sols châtaîns (intergrade de chernozems) sols bruns forestiers rendzines	28,8 63 32	0-20 cm 0-20 cm 0-20 cm	4,8) soluble dans 21,4) l'acide chlorhydrique N 2,5)				TONKONozHENKO (E.V.), 1964
U.R.S.S. Bassin Or'-Kumak	croûte d'altération de roches basiques	solonetz solonchak solonetz de croûte	sol très salé à alcalis solonetz	164 168 190 228-292 64 70 64 46-60	A B1 B2 carb. C A1 B1 B2 carb. C	32,6) 31,8) 16) 4,8-6,6) 12) 19,2) 13,6) soluble dans 6,4-12) l'acide chlorhydrique N	le cuivre mobile s'accumule biologiquement dans les horizons humique et illuvial et est adsorbé par les minéraux argileux			KRYM (I. Ya.), 1965
	limon éluvial-déluvial de la croûte d'altération de roches basiques	sol châtaîns foncés solodisés sols châtaîns calcaires, érodés	sol châtaîns alcalisés à B textural	88-96 92 80 60 64-200	A A2-B B1 B2 carb. C carb.	18) 11,6) 10,4) 12,4) 7,2-13,6)				
U.R.S.S. Caucase		chernozems	chernozems	21-22,5	horizon supérieur	teneurs faibles				SHAKURI (B.K.), 1964
U.R.S.S. Moldavie		chernozems	chernozems sols vignes et vergers	35-44 et jusqu'à 80 par pulvérisation de longue durée		cuivre soluble représente 1/2 ou 3/4 du cuivre total		plus de 25 ou 30 ppm sont toxiques pour maïs et avoine	l'addition de fumier, d'engrais minéraux et une forte teneur en matière organique diminuent la toxicité	TIMOSHENKO (A.G.), 1959
U.R.S.S. Azerbaïdjan		serozems de prairies et solonchaks	serozems hydromorphes et sols salés à alcalis			0,03-5				SHAKURI (B.K.) et al., 1965

CUIVRE 4

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN CUIVRE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN CUIVRE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU CUIVRE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S. Uzbekistan		serozems pâles irrigués serozems noirs non irrigués burozems serozems foncés serozems pâles et solonchaks	sols subdésertiques sols bruns isohumiques sols bruns isohumiques sols subdésertiques et sols salés à alcalis	teneur moyenne)) teneur forte)) 16) -) 36,6)))						MIRZAEVA (K. Kh.), 1963
U.R.S.S. Uzbekistan Steppe de Golodnaya		serozems pâles, vierges et cultivés	sols subdésertiques	18-22	0-30 cm	9,8-16 soluble dans l'acide chlorhydrique N, soit 36,6-55% du cuivre total			par irrigation augmentation du cuivre total (100 p.p.m.)	KRUGLOVA (Ye. K.), 1964
U.R.S.S. Oasis de Tedzhen		sols takyrs sableux non structurés	sols salés à alcalis	7-30						GRAZHDAN (P.E.), 1959
Pologne Primor'ie		sols alluviaux sols hydromorphes sols sableux et sablo-argileux chernozems	sols alluviaux sols hydromorphes sols sableux chernozems			teneurs suffisantes en cuivre soluble dans l'acide chlorhydrique 20 % (au moins 1 p.p.m.)	le pH a une légère action sur la mobilité du cuivre			CHUDECKI (Z.), 1963
Tchécoslovaquie	paragneiss micacés : 94,6 grès glauconitiques : 66,3 roches argileuses : 48,9 dolomite : 36,3 argiles et limons des flancs de collines : 35 calcites : 27 grès : 26,6 loess et limons loessiques : 23,8									JURÁN (C.), 1966
Tchécoslovaquie	basaltes et argiles ferropermo-carboniques limons loessiques, marnes, granodiorite, biolite, quartzite marnes sableuses	terres brunes) sols sur ces roches-mères) sols sur ces roches-mères) sols sur ces roches-mères rendzines	sols bruns forestiers rendzines	teneurs fortes) teneurs assez) fortes)) 50-59) 36-) 100)) 23)) teneurs faibles)			cuivre bien réparti le long du profil - la plus forte teneur se trouve dans les roches-mères	pas de carence ou toxicité, teneurs suffisantes pour les récoltes		BEŇES (S.), 1964
Tchécoslovaquie		48 profils de sols		10 à 35			la teneur dépend de la roche-mère et du type de sol, ainsi que du processus de formation du sol	pas de toxicité		SMELHAUS (V.) et al., 1964
Yougoslavie Treskavica		sols de prairie	sols hydromorphes				la teneur augmente en même temps que l'horizon humique			SAVIĆ (B.), 1964

CUIVRE 5

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN CUIVRE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN CUIVRE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU CUIVRE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Hongrie Transdanubie		sols forestiers bruns sols alluviaux de prairies chernozems	sols bruns forestiers sols alluviaux hydromorphes chernozems	cuivre assez fort	le cuivre s'accumule dans l'horizon B					CZOPF (J.), 1964
Bulgarie	éluvions andésitiques dépôts du pliocène			5-140 teneur plus faible			sols enrichis par accumulation biologique			GYUROV (G.) et al., 1962
Bulgarie	basaltes andésite gabbro granite et sables	chernozems chernozems sols bruns forestiers sols sur ces roches-mères sols tourbescents de prairies sols de tourbière	chernozems chernozems sols bruns forestiers sols hydromorphes tourbeux sols tourbeux	) ) 15-68) 1,5-11,2 teneur assez forte 4-40	horizon illuvial plus riche	dans tous les sols rapport direct entre le cuivre total et le cuivre soluble dans l'acide chlorhydrique N	variations le long du profil selon le mode de formation du sol			DONTSHEV (I.I.), 1960
Roumanie Cluj		chernozems dégradés sols bruns forestiers podzols	chernozems dégradés sols bruns forestiers podzols	25,8-44,6 10,8 10						NEMES (M.) et al., 1959
Roumanie Olt		chernozems sols forestiers brun-rouge et rouges podzols	chernozems sols bruns forestiers podzols	très forte) moyenne) varie faible) de 11,2 à 23,8						BĂJESCU (N.) et al., 1960
Roumanie Dobrudja	loess rochers éruptives schistes et calcaires	sols zonaux rendzines et sols formés sur ces roches-mères	chernozems rendzines sols à tendance châtain	26,1		6,3 (soluble dans l'acide chlorhydrique N)) pauvre : 1 à 3,5 (soluble dans l'acide chlorhydrique N)				BĂJESCU (I.) et al., 1962
Norvège		sols sableux, limoneux, tourbeux sols argileux		teneur faible teneur plus forte			le cuivre augmente avec la matière organique	carence quand le cuivre est inférieur à 1 p.p.m.		SEMB (G.) et al., 1966
Allemagne de l'Est		sols de prairie	sols hydromorphes			21% des sols : assez forte : plus de 7,5 46% des sols : moyenne : 5-7,5 33% des sols : faible : moins de 5				ASMUS (F.), 1961
Allemagne Bavière		terres brunes pararendzines sols à pseudo-gley	sols bruns forestiers sols bruns calcaires sols hydromorphes à pseudo-gley			cuivre extrait pas l'acide chlorhydrique N				RID (H.) et al., 1965
Pays de Galles	rhyolite apports mélangés dolérite tuf de pierre ponce apports mélangés	) ) ) sols sur ces roches-mères ) )	) ) ) ) ) )	) 3-10) 150)) 20) 8-12) 10-150	) ) ) différents horizons))	les sols sur rhyolite sont moins riches en cuivre extrait pas l'acide acétique à 2,5% que les sols sur les autres roches-mères				ARCHER (F.C.), 1963

CUIVRE 6

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN CUIVRE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN CUIVRE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU CUIVRE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Ecosse	dépôt de serpentinite dépôt olivine-gabbro moraine andésitique dépôt granitique dépôt de gneiss granitique dépôt de micaschistes dépôt ardoisé du silurien dépôt de grès	podzol brun bien drainé podzol brun mal drainé sol brun forestier bien drainé podzol tourbeux gleyifié à horizon ferrugineux durci podzol bien drainé	sol ocre podzologique sol ocre podzologique sol brun forestier podzol hydromorphe à alios podzol podzol sol hydromorphe à gley podzol à alios à horizon Ao tourbeux durci	7-15-25 30-40 25-30-20 3 et 5 25-30-50 25-30-40 5-20-40 inférieur à 5	suivant horizon B et C gleyifiés suivant horizon))) suivant horizon)))	0,06 à 30, dans acide acétique à 2,5%, pH 2,5 0,10 à 0,27, dans acide acétique à 2,5%, pH 2,5				SWAINE (D.J.) et al., 1960
France Sud-Ouest				850		cuivre utilisable extrait par l'acétate d'ammoniac N : 200		toxicité		DELAS (J.), 1961
France		soils de vignobles et vergers			couche superficielle	la teneur en cuivre échangeable atteint et dépasse : 100		toxicité quand, pour un pH inférieur à 6, la teneur atteint 100 p.p.m.	engrais alcalins et chaulage, de même que matière organique et pH croissant diminuent la toxicité	DROUINEAU (G.) et al., 1962
Espagne Hautes-Plaines du Guadiana	sédiments du pliocène	soils à concrétions latéritiques	sol peu évolué d'érosion sur ancien sol latéritique	1-18,7 (moyenne 5,3)			le cuivre est plus fort quand la matière organique augmente			GALLEGO (R.) et al., 1963
Canada Nouvelle-Ecosse		sables limoneux limons graveleux	soils plus ou moins évolués soils lessivés	) ) 16,8-21,9)					par pulvérisation de sulfate de cuivre, augmentation significative du cuivre dans les herbages	SMELTZER (G.G.) et al., 1962
Canada Est	schistes du Devonian grès carbonifère et schistes grès permocarbonifère et schistes grès du Triasique alluvions, dépôts marins et alluvions récentes	) ) ) ) podzols ) ) ) ) ) )	) ) ) ) podzols))))))	18,7 3,8-7 1,20-4,23 3,74 1,06-19,3			pas de rapport constant entre teneur en cuivre et en matière organique, ou avec le pH			GUPTA (U.C.) et al., 1966
Canada Nouveau Brunswick	roches non sulfurées	) 53 profils de soils)))) podzols bien drainés)))))	podzols	11) 7) 10) 16) 26) (valeur moyenne) 61) 32) 103) 108) 223)	L - H Ae B1 B2 C L - H Ae B1 B2 C					PRESANT (E.W.) et al., 1965
Guyane Hollandaise	roches sulfurées	) 18 profils de soils	podzols	223)						
		42 échantillons de soils de pâturages soils sableux		1-22 faibles teneurs			relation positive entre la teneur en argile et la teneur en cuivre			DIRVEN (J.G.P.) et al., 1964

CUIVRE 8

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN CUIVRE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN CUIVRE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU CUIVRE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Côte d'Ivoire	granites charnockites schistes charnockites schistes schistes amphibolites amphibolites) sols ferralliti-	1-30)		la teneur en cuivre varie très peu avec la profondeur. Le cuivre s'accumule dans l'horizon argileux			RIANDEY (C.), 1964
			) ques plus ou moins	2-5)		
			) lessivés	10-50)		
			ranker d'érosion humifère noir	1)					
			sol hydromorphe peu humifère à pseudogley de profondeur	)	) horizon supérieur			
			) 3)			
			)	100)		
			ferrisol rouge	100)					
			ferrisol	100)					
			terre brune	100)					
sol rouge de plateau	1)								
République Centrafricaine	quartzite, micaschistes, migmatite, micaschistes à deux micas, amphibolite, granite, gneiss, itabirite		sols ferrallitiques peu désaturés, sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes, sol peu évolué d'érosion))) traces - 1))))) différents horizons))					BOULVERT (Y.), 1966
			sols hydromorphes minéraux à pseudogley	15-20))					
			ferrisol	30)					
			sol ferrugineux tropical lessivé hydromorphe	30)					
			) sol faiblement ferrallitique	30)		
République Centrafricaine	alluvions récentes quartzite migmatite amphibolite gneiss charnockite) sols peu évolués d'érosion	15-30)					BOULVERT (Y.), 1966
			) sol faiblement ferrallitique	)	) différents horizons
			) sols ferrugineux tropical lessivé hydromorphe))		
			) sol ferrugineux	10-30)		
			) tropical lessivé))		
			) hydromorphe))		
			) sols faiblement ferrallitiques))		
			) sol ferrugineux tropical lessivé hydromorphe	20-30)		
			) sol ferrugineux	10)		
			) tropical lessivé))		
) hydromorphe))								
République Centrafricaine	migmatite charnockite amphibolite gneiss		sol faiblement ferrallitique	150)					BOULVERT (Y.), 1966
			) sol faiblement ferrallitique	60)		
			) sol faiblement ferrallitique	100)		
			) sol peu évolué d'érosion	100)		
			) vertisols lithomorphes hydromorphes	)	) différents horizons
			) sols ferrugineux tropicaux lessivés	100-200)		
			) sols ferrugineux tropicaux lessivés	100-150)		
			) sol ferrugineux tropical lessivé	150)		
			) sol ocre rouge peu lessivé	100)		
			) lessivé))		

CUIVRE 12

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN CUIVRE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN CUIVRE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU CUIVRE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Inde Gujarat		sol goradu (sable limoneux jaune brunâtre) sol noir à coton sol noir moyen	vertisol sol vertique	) 11 à 176))) teneurs maximales	couche superficielle	) ) ) 0,03-1,93))	le cuivre utilisable s'accumule dans horizon superficiel et diminue quand la profondeur augmente			MEHTA (B.V.) et al., 1964
Inde Gujarat	laves et calcaires sédiments dérivés de granites basaltes dérivés de basaltes volcaniques	noirs alluviaux noir moyen	vertisols alluviaux sols vertiques	82-156 24-62 28		0,62-0,70) soluble dans l'acétate) 0,35-1,08) d'ammoniaque 0,38) N				RAYCHAUDHURI (S.P.) et al., 1964
Inde de l'Ouest Gujarat et Saurashtra		64 sols tous les intermédiaires entre les sables et les argiles		varie de 11 à 175 5 sols ont - de 20 35 sols ont 20-50 17 sols ont 50-100 7 sols ont + de 100		le cuivre soluble dans l'acétate d'ammoniaque varie de 0,03 à 1,93 38 sols ont de 0,1 à 0,5 25 sols ont plus de 0,5	relation positive entre le cuivre total et utilisable; relation négative entre pH et cuivre utilisable; relation positive entre cuivre total et argile plus limon; pas de relation nette entre cuivre utilisable et matière organique ou carbonate de chaux			NEELAKANTAN (V.) et al., 1961
Inde Vidarbha	laves roches diverses	sols noirs à coton sols à riz (argiles sableuses)	vertisols sols à pseudo-gley			0,852-1,167 0,720-0,921	le cuivre diminue quand la profondeur augmente, il augmente quand le pH augmente			KAVIMANDAN (S.K.) et al., 1964
Inde Maharashtra		2 limons sableux rouges 3 limons rouges 1 argile latéritique 10 argiles noires 2 limons argileux 1 limon salé 2 limons alluvionnaires	) sols ferrugineux tropicaux) sol faiblement ferrallitique argileux vertisols limons sol halomorphe sur argile sols alluviaux sur limons	44-87 103-125 205 77-234 100-112 55 114-160	) ) ) ) ) horizon de surface)))					RANADIVE (S.J.) et al., 1964

IODE 1

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN IODE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	VARIATIONS DE L'IODE	REFERENCES
U.R.S.S. Lettonie		sols marécageux des dépressions tourbeuses sols sableux sols sablo-limoneux sols limoneux dernopodzols sablo-limoneux dermo-lehms carbonatés	sols à pseudo-gley sols sableux sols sablo-limoneux sols limoneux sols lessivés faiblement podzoliques sols bruns calcaires	0,83-7,83 (3,07)) 0,23-0,98 (0,62)) 0,23-1,86 (0,92)) 0,38-3,47		la teneur augmente quand la matière organique augmente, et avec la proximité de la mer	KARELINA (L.), 1961
U.R.S.S. Lettonie		sols marécageux tourbescents sols sableux dernopodzoliques sols sur dépôts sableux fluviaux	sols humiques à gley sols lessivés faiblement podzoliques sur matériau sableux sols sur matériau sableux	3,6-25,38 (9,61) en moyenne 0,81 très faible			KARELINA (L.), 1965
U.R.S.S. Région de Moscou		sols dernopodzoliques sols faiblement dernopodzoliques sols à gley humiques sols humifiés des terrasses	sols lessivés faiblement podzoliques sols lessivés très peu podzoliques sols humiques à gley sols humifiés	1,55 1,10 18,02 22,73	A1 A1	) la teneur diminue dans l'horizon éluvial; les sols lourds, riches en matière organique, ont de fortes teneurs en iode	ZYRIN (N.G.) et al., 1960
U.R.S.S.		Etudes et références bibliographiques sur l'iode dans les sols d'U.R.S.S.					KOVDA (V.A.) et al., 1964
U.R.S.S. Vallée de la Moskova	sables fluvio-glaciaires	(sols forestiers ((sols de fonds de vallées	sols forestiers sols hydromorphes	teneur plus forte dans que dans plus riches	litière et horizon humique partie inférieure du profil	la teneur en iode est liée à la teneur en humus et matière organique	GLUSHCHENKO (A.V.) et al., 1964
U.R.S.S. Biélorussie	limon argileux de moraine limon argileux de moraine limon argileux de moraine argiles lacustres sables fluvio-glaciaires et sables anciens	sols podzoliques gazonnés sols podzoliques gazonnés sols podzoliques gazonnés hydromorphes humifères sols podzoliques gazonnés sols podzoliques gazonnés rendzines et sols de marais tourbeux	sols lessivés faiblement podzoliques sols lessivés faiblement podzoliques sols lessivés faiblement podzoliques hydromorphes humifères sols lessivés faiblement podzoliques sols lessivés faiblement podzoliques rendzines et sols tourbeux	2,3 2,1-2,7 1,2-3 2,2 1,6-2,1 1,8-3,8	) ) ) ) A1)))		VIL'GUSEVICH (I.P.) et al., 1960
U.R.S.S. Région de Kaluzha	dépôts de moraines	sols sablo-argileux sols dernopodzoliques sableux sols dernopodzoliques sols cultivés anciens sols gazonnés de prairies sols marécageux de vallées	sols sur matériau sablo-argileux sols lessivés faiblement podzoliques sols lessivés faiblement podzoliques sols cultivés sols hydromorphes sols à pseudo-gley	) inférieur à 0,4) 0,4-0,8 0,8-1) 0,4-1)			TYURYUKANOV (A.N.) et al., 1964
U.R.S.S. Arménie (Radzan)		30 échantillons de sols 39 échantillons de sols sols de prairies de steppe sols forestiers montagneux sols subalpins	sols hydromorphes sols forestiers	2,2 0,5-9,9 (2,5) 1,92 1,68 1,36			ASRATYAN (G.S.) et al., 1965
U.R.S.S. Bassin de l'Amour		sol podzolique à gley sol brun forestier sol brun podzolique sol de prairie sol de prairie inondable	sol à gley lessivé sol brun forestier sol brun forestier lessivé sol hydromorphe de prairie sol hydromorphe de prairie	0,21-0,59 0,35-1,04 0,21-1,46 0,52-0,94 0,4-1,6	) ) ) suivant les différents horizons)	Il y a généralement accumulation biogénétique dans l'horizon humique et diminution dans l'horizon A2. Certains sols sont carencés.	KOVDA (V.A.) et al., 1958
U.R.S.S. Bassin de l'Amour	andésites, diorite : 0,3 limons argileux et argiles : 0,6-2 dépôts de plaine inondable : 1-2 limons sableux et sables : 0,2-0,4 limons argileux et argiles : 0,1-0,5	sols bruns forestiers sols bruns forestiers sableux sols bruns forestiers sableux podzolisés sols forestiers et de prairie à horizons blanchâtres	sols bruns forestiers sols bruns forestiers sableux sols bruns forestiers sableux, lessivés sols forestiers et de prairies hydromorphes, à horizons blanchâtres argileux	1-12 0,7-2,4 0,8-1,2 0,67-4,6	horizon supérieur	la teneur en iode dépend de la teneur en matière organique dans les solonetz, solonchak, sols de prairie hydromorphes et sols forestiers bruns sableux. Dans les sols bruns forestiers sur roches compactes, la teneur en iode dépend de la teneur en argile	ZIMOVETS (B.A.) et al., 1963

IODE 2

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN IODE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	VARIATIONS DE L'IODE	REFERENCES
U.R.S.S. Bassin de l'Amour		sols de prairie sableux sols de prairie sur limons argileux sols de prairie sur argiles lacustres et marnes sols à gley de prairie sur dépôts lacustres chernozems sols châtain foncé solonetziformes sols châtaains sur dépôts sableux solonetz sur dépôts lacustres solonchak	sols de prairie hydromorphes sableux sols de prairie hydromorphes argileux sols de prairie hydromorphes sols à gley hydromorphes sur dépôts lacustres chernozems sol châtain foncé sols châtaains sableux solonetz sol salé à alcalis	0,9 1,9 5,1 1,4 2,6 2,5 1,7 3,8 0,8			ZIMOVETS (B.A.) et al., 1963
U.R.S.S.		chernozems sols châtaains sols tourbeux podzols sols forestiers gris terres grises terres brunes solonetz	chernozems sols châtaains sols tourbeux podzols sols lessivés sols lessivés sols bruns forestiers solonetz	) ) fortes teneurs))) teneurs faibles		la teneur en iode diminue par chaulage	KATALYMOV (M.W.), 1964
Pologne Poméranie de l'Ouest				0,19-10,4	horizon humique teneur plus forte	variations avec la composition mécanique, le pH, la teneur en chaux et la distance de la mer	CHUDECKI (Z.), 1960
Pologne Primor'e		sols alluviaux sols hydromorphes sols sableux et sablo-argileux	sols alluviaux sols hydromorphes sols sur matériau sableux et argileux	2,4 2-7,5 pauvres		le pH a très peu d'action sur la mobilité de l'iode	CHUDECKI (Z.), 1963
Espagne	roches calcaires plus riches que roches silicieuses	19 séries de sols		de 0,4 à 52 56 % des sols ont moins de 3		la teneur en iode augmente avec la teneur en argile et en matière organique	GALLEGO (R.) et al., 1959
Espagne	roches calcaires plus riches que roches silicieuses	sols sableux sols argileux	sols sableux sols argileux	0,45-9,4 (moyenne 2,87) 0,5-4,05 (moyenne 1,37) 1-8,90 (moyenne 2,88)		les colloïdes du sol accumulent l'iode qui est associé au carbonate de chaux	GALLEGO (R.) et al., 1959
Israël	calcaire grès calcaire marne terra rossa terra rossa alluvionnaire dépôts éoliens restes de papyrus	terra rossa sol rouge-brun sableux rendzines de vallées sols alluviaux sol brun des régions semi-arides sol salé humique alluvial désertique loess sol tourbeux	sols rouges méditerranéens sol brun-rouge isohumique des régions subtropicales rendzines sols alluviaux sol brun subtropical isohumique sur matériaux rubéfiés sol alluvial salé désertique loess sol tourbeux	7,8 0,3-0,4 4,1-4,9 10,5-11,6 6,4-7,3 4,4-5,8 3,3-3,7			RAYIKOVITCH (S.) et al., 1961
Mali Savane		limon argileux brun-rouge alluvions brun-clair sols brun-rouge	sol ferrugineux tropical peu lessivé sols alluviaux sols ferrugineux tropicaux peu lessivés	0,14-0,21 0,14 0,07-0,21	horizon cultivé		PEYVE (Ya. V.), 1963

MANGANESE 2

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MANGANESE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MANGANESE SOLUBLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE ECHANGEABLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE REDUCTIBLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE ACTIF (p.p.m.)	VARIATIONS DU MANGANESE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Allemagne Thuringe	alluvions keuper grès bigarré calcaire coquillé	sols sur ces roches-mères								le manganèse varie en raison inverse du pH - Relation positive entre la teneur en manganèse et celle en argile, si les sols sont très riches en argile le pH élevé n'a pas d'action sur la teneur en manganèse			BERGMANN (W.) et al., 1964
Allemagne Thuringe	phyllite micacée grès bigarré	sols sur ces roches-mères		1800 520		manganèse soluble à l'eau et manganèse échangeable : moins de 10 % du manganèse total		le manganèse réductible représente 58 à 75 % du manganèse total		le manganèse actif varie en raison inverse du pH du sol; la teneur en manganèse total et difficilement réductible dépend de la teneur de la roche-mère			BEER (K.), 1966
Allemagne Thuringe	grès bigarré	sol eluvial sur cette roche-mère								le manganèse actif diminue par chaulage et varie en raison inverse du pH	toxicité dans les plantes quand elles ont 200 à 260 ppm		BEER (K.) et al., 1966
Autriche Préalpes									15 - 70		pas de carence		SCHILLER (H.), 1961
Yougoslavie Treskavica		sols de prairie	sols hydromorphes							la teneur en manganèse augmente en même temps que la couche humique			SAVIČ (B.), 1964
Hongrie		chernozems	chernozems							le manganèse varie en raison inverse du pH et de la profondeur			SZUCS (L.) et al., 1962
Hongrie Transdanubie		sols forestiers bruns sols de prairie alluviaux chernozems	sols bruns forestiers sols hydromorphes chernozems	accumulation - -	A horizons inférieurs B								CZOPF (J.), 1964
Hongrie Bassin du Lo ^s Kos		sols bruns forestiers	sols bruns forestiers	120-300				50-120) extrait <50 (dans) par les sols) SO ₃ Na ₂ + à textu-) MgSO ₄ re sa-) bleuse)		la teneur en manganèse varie en raison inverse du pH et de la teneur en carbonate de chaux			ELEK (E.), 1966
Roumanie Cluj		podzols chernozems sols bruns forestiers	podzols chernozems sols bruns forestiers	) teneurs conve-) nables									NEMES (M.) et al., 1959
Roumanie Olt							forte		forte	le manganèse actif et échangeable varie en raison inverse du pH. Le manganèse échangeable diminue avec la profondeur; le manganèse actif varie comme le manganèse total			BĂJESCU (I.), 1964
Bulgarie Nord		chernozems sols gris forestiers chernozems carbonatés chernozems podzolisés sols forestiers gris foncé sols forestiers gris	chernozems sols lessivés sols chatains, intergrade de chernozems brunizems lessivés sols gris forestiers sols lessivés	520-840 740-1720)) accumulation))	horizons supérieurs) horizons humiques )	) le manganèse mobile, soluble dans) l'acide sulfurique 0,1 N augmente) des sols chatains aux sols gris) forestiers manganèse mobile soluble dans l'acide sulfurique 0,1 N : faible							MILCHEVA (M.), 1959
Bulgarie Vallée des Roses		différents types de sols				le manganèse utilisable est fort					toxicité en manganèse quand le pH est faible		STOYANOV (D.V.), 1963

MANGANESE 3

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MANGANESE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MANGANESE SOLUBLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE ECHANGEABLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE REDUCTIBLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE ACTIF (p.p.m.)	VARIATIONS DU MANGANESE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Bulgarie		sols forestiers bruns	sols bruns forestiers	260-1380	surface	le manganèse mobile, soluble dans l'acide: 40 à 50 % du manganèse total	manganèse échangeable: 16-88, soit 1,5 - 13 % du manganèse total						STANCEVA (P.), 1964
Pologne Lodz		podzols sableux sols alluviaux sols bruns	podzols sols sur alluvions sols forestiers bruns	traces 4 000			traces 85		traces 420	le manganèse total, actif, échangeable, varie en raison inverse de la profondeur sauf pour les sols noirs			MUSIEROWICZ (A.) et al., 1960
Pologne Lodz		podzols terres brunes chernozems rendzines sols alluviaux sols tourbescents	podzols sols bruns forestiers chernozems rendzines sols alluviaux sols hydromorphes à gley de surface, humifères	) ) ) ) ) 50,5-800 ) ) )	) ) ) horizon 0-35 cm ) ) )	) ) ) ) 2,5-50 ) ) )	) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) )	) ) ) 16-334)))	le manganèse varie en raison inverse de la profondeur			MUSIEROWICZ (A.) et al., 1961
Pologne Région de Kielce		rendzines	rendzines	accumulation	A ₁ (B) ₁ C					le manganèse soluble diminue avec la profondeur (la solubilité est liée à la matière organique); accumulation dans les horizons supérieurs par suite de l'accumulation biologique			KABATA-PENDIAS (A.), 1965
Pologne		sols sableux			horizons supérieurs		accumulation						KABATA-PENDIAS (A.), et al., 1965
Pologne Région Opatów- Sandomierz		chernozems sols bruns pseudopodzols	chernozems sols bruns forestiers podzols	accumulation)) accumulation	horizon de surface B								PIOTROWSKA (M.), 1965
Pologne Wielkopolska		chernozems sols alluviaux podzols sols tourbeux	chernozems sols sur matériau alluvial podzols sols tourbeux			) fort) manganèse soluble dans l'acide) faible) chlorhydrique							CZEKALSKI (A.) et al., 1965
U.R.S.S.		Etude du manganèse dans	les sols d'U.R.S.S.										PEYVE (Ya.V.), 1963
U.R.S.S.		Etude du manganèse dans	les sols d'U.R.S.S.										KOVDA (V.A.), et al., 1964
U.R.S.S. Péninsule de Kola	nepheline recouverte de débris de décomposition	sols de toundra de montagne		960 (en moyenne)	A tourbeux					pas de variations du manganèse le long du profil peu différencié			DOBROVOL'SKIY (V.V.) 1963
U.R.S.S. Péninsule de Kola taïga du nord	schistes cristallins (rubis, amphiboles, granulites) avec intrusion de norites: 1.000 moraine sable-argileuse gris vert: 1.000	sols podzolisés (nord-ouest et centre) sols de marais tourbeux (nord-ouest)	sols lessivés faiblement podzoliques sols tourbeux							le manganèse s'accumule dans les minéraux lourds			DOBROVOL'SKIY (V.V.) et al., 1964
U.R.S.S. taïga du sud	limons	sols sur limons podzolisés	sols lessivés sur matériaux limoneux			le manganèse mobile s'accumule pendant la période de culture				la répartition du manganèse total et mobile dépend du degré de podzolisation. La culture diminue le manganèse dans la couche cultivée			NIKITIN (B.A.), 1966
U.R.S.S. Karélie (sud)	moraine argiles déposés de lacs glaciaires	) ) sols sur ces roches-mères)		teneurs fortes teneurs + faibles accumulation	horizon humique								VOLODIN (A.M.) et al., 1965

MANGANESE 5

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MANGANESE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MANGANESE SOLUBLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE ECHANGEABLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE REDUCTIBLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE ACTIF (p.p.m.)	VARIATIONS DU MANGANESE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES		
U.R.S.S. Biélorussie	limon argileux loessique et type loessique: 384 limon argileux morainique : 388 sables alluviaux anciens et fluvio-glaciaires : 124 argiles glaciaires lacustres : 505	sols podzoliques gazonnés limono-argileux fins sols podzoliques gazonnés limono-argilo-sableux sols podzoliques gazonnés limono-sableux très sableux	sols lessivés faiblement podzoliques sur matériau limono-argileux sols lessivés faiblement podzoliques sur matériau limono-argilo-sableux sols lessivés faiblement podzoliques sur matériau sableux	) 500-1 000(770))) 360-1 000(650))) 280-750 (500) )	) ) ) accumulation dans l'horizon humique ) )	) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) )	le manganèse actif représente environ 10% du manganèse total		) ) ) ) engrais non nécessaires))))	LUPINOVI CH (I.S.), 1965	
U.R.S.S. République de Komis		podzols et podzols ferrugineux cultivés et forestiers	podzols podzols ferrugineux arables podzols ferrugineux forestiers		horizon cultivé litière				la teneur en manganèse mobile est plus forte que dans les autres podzols				CHEBŦKINA (N.V.), 1965		
U.R.S.S. Kouban Krasnodar		sols gris foncé sols gris sols gris pâle sols forestiers montagneux bruns sols carbohumiques chernozems carbonatés chernozems de prairie	sols gris forestiers sols lessivés sols bruns forestiers sols bruns forestiers de montagne rendzines sols châtaîns (intergrade de chernozems) chernozems hydromorphes	670-1 350 500 400-900 900-2 400 450-1 000 550-600 660-1 000 660-1 000	) ) ) horizon A ₁ humique ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )				les sols lourds sont plus riches que les sols légers. Le manganèse total et utilisable s'accumule dans les horizons supérieurs humiques des sols	TONKONOZHENKO (E.V.) 1964
U.R.S.S. Kouban Krasnodar		chernozems sols forestiers gris sols de prairie solonetz solonchaks sols châtaîns sols forestiers bruns montagneux	chernozems sols lessivés sols hydromorphes solonetz sols salés à alcalis sols châtaîns sols bruns forestiers		) ) ) horizons supérieurs ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	manganèse mobile : 25-70				TONKONOZHENKO (E.V.) 1964
U.R.S.S. Kouban Krasnodar	schistes argileux	sols forestiers gris pâle sols forestiers gris sols forestiers gris foncé sols forestiers bruns rendzines sols de prairie carbonatés alluviaux chernozems compacts	sols bruns forestiers sols lessivés sols gris forestiers sols bruns forestiers rendzines sols hydromorphes peu évolués sur alluvions calcaires chernozems	) teneurs les plus fortes))))) teneurs beaucoup plus faibles )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )				la teneur en manganèse dépend de la teneur de la roche-mère, du pH, de la teneur en argile et limon, de la teneur en humus, du processus de formation du sol	SERGEVA (N.G.), 1968
U.R.S.S. Caucase		chernozems de la région de Rostov chernozems du Nord Azov	chernozems chernozems	670-720 teneurs un peu plus faibles	) ) horizons supérieurs ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	manganèse mobile : très fort			le manganèse s'accumule en général dans les horizons humiques	SHAKURI (B.K.), 1964
U.R.S.S. Azerbaïdjan Kura-Araksin		sols cannelle gris solonetz	sols châtaîns subtropicaux solonetz	) ) accumulation )	) ) horizon humique )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )				forte accumulation biologique dans l'horizon humique - les sols vierges sont plus riches que les sols irrigués et cultivés	PEN'KOV (D.G.), 1962
U.R.S.S. Azerbaïdjan Sal' Yansk		serozems de prairie solonchaks	sols subdésertiques hydromorphes sols salés à alcalis))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))					SHAKURI (B.K.), 1965
U.R.S.S. Ouzbékistan		serozems pâles irrigués serozems foncés solonchaks cultivés	sols subdésertiques sols bruns isohumiques sols salés à alcalis	teneur très faible) 400) à)) 1 000	) ) ) horizon humique )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) ) ) )				MIRZAEVA (K.Kh.), 1963

MANGANESE 8

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MANGANESE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MANGANESE SOLUBLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE ECHANGEABLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE REDUCTIBLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE ACTIF (p.p.m.)	VARIATIONS DU MANGANESE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Tchad	gneiss amphibole		sol peu évolué d'apport, hydromorphe	2 000	)					la teneur en manganèse diminue très légèrement quand la profondeur augmente mais la variation le long du profil est très faible			VIZIER (J.F.) 1965
	matériau argilo-sableux		)sols ferrugineux tropicaux)sols ferrugineux tropicaux lessivés à pseudogley de profondeur)sols hydromorphes peu humifères à gley de surface)sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de profondeur	800-1 000 500-600 200 100-1 000	) horizon) supérieur								
Tchad	arkose et grès arkosique, argilite sédiments argileux et sableux sédiments sableux sédiments limoneux-argileux sédiments argilo-sableux		sols ferrallitiques sols ferrugineux tropicaux sols isohumiques subarides sols ferrugineux tropicaux à pseudogley sols alluviaux hydromorphes, halomorphes vertisols topomorphes)sols hydromorphes à gley)vertisols topomorphes	200-800 100-300 60-180 180-1 000 300-1 000 750-900 250-350 300-750	) ) ) ) horizon) supérieur					le manganèse varie peu le long du profil, il diminue très légèrement quand la profondeur augmente			PIAS (J.), 1968
Mali (savane)	roches noires	limons argileux, brun-rouge alluvions brun-clair	sols ferrugineux, tropicaux peu lessivés sols alluviaux	75-600 165-250	) horizon) cultivé	9, 1-45) manganèse soluble 14-30) dans l'acide sulfurique 0,1 N.							PEYVE (Ya.V.) et al., 1963
Kenya		différents types de sols		5-300									CHAMBERLAIN (G.T.) et al., 1969
Madagascar	granite, calcaire, basalte, cendres volcaniques gneiss, roche métamorphique acide roche basique, calcaire, matériau gréseux, sables alluvions marnes, basaltes		sols ferrallitiques sols faiblement ferrallitiques sols ferrugineux tropicaux)sols hydromorphes à gley et hydromorphes)sol salin vertisols	850-3 400 950-1 100 680-3 500 900-2 650 850 700-2 400	) ) ) horizon) supérieur					en général accumulation en surface. La teneur en manganèse dépend de la roche-mère, du processus de formation du sol; elle augmente avec la fraction argileuse - pas d'action de la matière organique ni du pH			NALOVIC (Lj.), 1969
Chine Tche-Kiang		alluvions terres rouges et jaunes	sols alluviaux sols faiblement ferrallitiques	5,6-260	)							action bénéfique pour les citronniers de pulvérisations de manganèse avant et après la floraison	LIU (C.) et al., 1961
Chine (Nord-Est) Mongolie Intérieure	basaltes	111 profils sols forestiers bruns	sols bruns forestiers	840	) horizon) supérieur						accumulation dans l'horizon supérieur		FANG (C.L.) et al., 1963
Pakistan oriental		sols alluviaux sols salés côtiers sols latéritiques	sols sur alluvions sols salins sols ferrallitiques		) horizon) de surface		31 à 36 98-101			la teneur en manganèse varie en raison inverse de la profondeur; elle dépend de la teneur en matière organique			KARIM (A.O.M.B.) et al., 1960
Inde Bombay	granite alluvions basalte	1.000 échantillons sols sableux sols sableux limoneux sols argileux								la teneur en manganèse dépend du degré d'évolution du sol	carence		DUARTE (U.M.) et al., 1961

MANGANESE 10

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MANGANESE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MANGANESE SOLUBLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE ECHANGEABLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE REDUCTIBLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE ACTIF (p.p.m.)	VARIATIONS DU MANGANESE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Inde		différents types de sols dont les sols noirs à coton	vertisols	447-1 253 teneurs les plus fortes									SINHA (R.C.P.) et al., 1965
Inde Madhya-Pradesh		sols alluviaux sol noir moyen sol noir superficiel sol noir profond sols noirs et rouges mélangés sols jaunes et rouges	sols sur alluvions sols vertiques vertisols et sols faiblement ferrallitiques sols faiblement ferrallitiques			manganèse soluble à l'eau plus manganèse échangeable : 1,2-28 1-95 1,8-52,4 2-12 4-54 2,6-170		49-352 48-750 42-570 132-330 68-149 7-780		la teneur en manganèse soluble à l'eau + manganèse échangeable varie en raison inverse du pH, et en général en raison inverse de la teneur en carbonate de chaux. Pas de relation nette entre la teneur en manganèse réductible et le pH ou la teneur en carbonate de chaux	les sols ayant moins de 3 p.p.m. de manganèse soluble à l'eau plus manganèse échangeable, sont carencés		SHARMA (S.G.) et al., 1964
Inde Madhya-Pradesh	roches du quaternaire	terre rouge terre rouge cultivée terre jaune terre jaune cultivée terre brune terre noire	sol faiblement ferrallitique horizon supérieur sol à tendance vertisol vertisol	1 982 914 924 2 065 2 617 2 949		1 traces) manganèse soluble à l'eau 0) 0) 0)	9,5 7,9 7,6 4,9 8 3,4	277 220 229 692 730 640	287 227 236 696 736 643	le manganèse actif augmente avec la profondeur. Le manganèse total varie le long du profil en raison inverse du pH et de la texture du sol. Les autres formes de manganèse varient en raison inverse du pH. Influence de la culture sur la teneur en manganèse			BISWAS (T.D.) et al., 1964
Inde Rajasthan		sols salés sols salés alcalins sols alcalins sols normaux	sols salés sols salés à alcalis sols à alcalis	224 240 384 320	horizon supérieur	2,20) manganèse soluble à l'eau 1,20) 0,96) 0,16)	1,29 1,61 1,61 1,24	7,70 4,61 18,80 20,55	11,2) 2 à 6,8 % 7,4) du manganèse total 21,4) 21,9)	les différentes formes du manganèse varient, en général, en raison inverse de la profondeur, de la teneur en carbonate de chaux. Le manganèse total augmente avec la teneur en argile. Il se trouve à des teneurs plus faibles dans les sols salés. Le manganèse échangeable est plus fort dans les sols à alcalis. Le manganèse réductible et actif varie en raison inverse du pH dans les sols alcalins	les sols alcalins ayant moins de 3 p.p.m. de manganèse échangeable et moins de 100 p.p.m. de manganèse réductible peuvent provoquer une carence dans différentes cultures		VINAYAK (C.P.) et al., 1964
Inde Rajasthan		sol noir moyen normal sol noir moyen normal moyennement calcaire sol noir moyen alcalin fortement calcaire sol noir moyen alcalin très fortement calcaire	sol vertique sol vertique sol vertique sol vertique	875-687 687-600 934-500 1 250-562	la profondeur varie de 0 à 160 cm	2,6-0,6) traces - 0) 0,8-2,4) 1-3)	17-5,6 7,6-2 1,6-3 10-3	268-190 140-106 110-18 90-27	287-196) 147-108) 0,04 112-23) à 0,34 % 101-33) du manganèse total	toutes les formes de manganèse varient en raison inverse de la profondeur. Le manganèse échangeable, réductible et actif varie en raison inverse de la teneur en carbonate de chaux - le manganèse échangeable et actif varient en raison inverse du pH. Le manganèse actif augmente en même temps que la teneur en argile et limons	il faut : 3 p.p.m. de manganèse échangeable et 100 p.p.m. de manganèse réductible pour éviter la carence dans différentes cultures		BHATNAGAR (R.K.) et al., 1966
Australie Queensland	sédiments argileux, grès, calcaires diorite, basaltes, alluvions, roches basiques, alluvions roches granitiques, alluvions granodiorites basaltes calcaire grès	sols gris et bruns à texture lourde terres noires terres brun-rouge solonetz solodisés krasnozems terres rouges sols podzoliques latéritiques terra rossa rendzine sol podzologique rouge	sols bruns isohumiques vertisols sols ferrallitiques humifiés solods sols ferrallitiques sols rouges méditerranéens sols ferrallitiques lessivés sol rouge méditerranéen rendzine sol ferrugineux lessivé type subtropical	550-1 670 1 250-2 570 480-1 050 60-990 190-1 630 140-220 20-54 1 110 340 160	plusieurs horizons par profil					la variation de la teneur en manganèse dans le profil dépend de la morphologie du profil			DERTEL (A.C.) et al., 1963
Australie Queensland (Brigalowlands)		sols brun gris à texture lourde à substrats acides	sols bruns isohumiques							la teneur en manganèse diminue dans les substrats acides, mais reste normale dans les substrats alcalins			GILES (J.B.), 1964

MANGANESE 11

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MANGANESE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MANGANESE SOLUBLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE ECHANGEABLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE REDUCTIBLE (p.p.m.)	TENEUR EN MANGANESE ACTIF (p.p.m.)	VARIATIONS DU MANGANESE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Australie Centrale Rivière Todd		Etude du manganèse dans différents types de sols											KENZIE Mc. (R.M.), 1960
Australie Tasmanie	dolérite 1 300-16 500 dolérite 1 100-1 350 dolérite 1 150-1 400 dolérite 1 200-1 400	krasnozems sols podzoliques terres brunes terres noires	sols ferrallitiques sols lessivés sols bruns forestiers vertisols	1 350-4 250 900-1 000 850-3 150 1 200-1 900	) les deux) horizons) supérieurs					la teneur en manganèse est souvent plus faible dans la fraction argileuse que dans les sables			TILLER (K.G.), 1963
Australie Adélaïde		terra rossa rendzines	sols rouges méditerranéens rendzines	520-1 400 130-330 400-550 53-180	horizon de surface horizon calcaire sous-jacent horizon de surface horizon calcaire sous-jacent					la teneur en manganèse varie en raison inverse de la profondeur			KENZIE Mc. (R.M.), 1959
Sud-Est		terra rossa rendzines	sols rouges méditerranéens rendzines	180-1 200 180-1 100	horizon de surface								
Nouvelles-Hébrides	ponces acides sur scories basiques scories basaltiques		sols peu évolués d'apport sols brun-rouge) sols bruns eutrophes) sols brun-rouge	) 1 600-2 250) 1 900-2 150	) horizon supérieur					peu de variations du manganèse en fonction de la profondeur			TERCINIER (G.), 1964
Nouvelle-Calédonie	quartz et débris de roches altérées diverses flysch à ciment calcaire		sol peu évolué d'origine fluviomarine à horizon humifère important) sols peu évolués d'apport colluvio-alluvial) sols bruns eutrophes et brun-rouge) vertisols topomorphes) solonetz solodisé	900 720-900 850-2 500 800 270	) ) ) horizon supérieur								TERCINIER (G.), 1966
Nouvelle-Calédonie	tufs scoriacés basaltiques et dolérite sédiments basaltiques, sable calcaire et calcaire corallien calcaire corallien et ponces volcaniques		sols bruns et brun-rouge vertiques, sols ferrallitiques, sols d'érosion, sols peu évolués d'apport sols colluvio-alluviaux sols rendziniiformes, alluvion grise sols humocarbonatés hydromorphes	800-2 400 700-2 100 20-70	) ) ) horizon supérieur					peu de variations du manganèse en fonction de la profondeur			TERCINIER (G.), 1966
Polynésie Française	alluvions volcaniques		sol hydromorphe peu humifère sol alluvial très humifère	) ) 250-950 )	) ) ) horizon supérieur		53			peu de variations du manganèse en fonction de la profondeur			TERCINIER (G.), 1963
Ile de Moorea	marécage de bord de plaine basaltes et basaltes andésitiques éboulis basaltiques anciens éboulis basaltiques		sol hydromorphe permanent, semi-tourbeux) sols ferrallitiques à sous-sol induré)) sols ferrallitiques plus ou moins dégradés sol ferrallitique non dégradé sols juvéniles bruns pierreux	) ) 280) 900-1 450)) 680-850)) 640) 1 360-3 600	) ) ) horizon supérieur))))		50 traces-120 traces-47 4						

soluble dans l'acétate d'ammoniaque N à pH 7

MOLYBDENE 1

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MOLYBDENE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MOLYBDENE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU MOLYBDENE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Suède		Etude du molybdène dans les sols de Suède								KARLSSON (N.), 1961
Ecosse	dépôt de serpentinite dépôt olivine gabbro moraine andésitique dépôt granitique dépôt de gneiss granitique dépôt de micaschistes dépôt ardoisé du silurien dépôt de grès	podzol brun bien drainé podzol brun mal drainé sol forestier brun bien drainé podzol tourbeux gleyifié à horizon ferrugineux durci podzol bien drainé podzol bien drainé sol à gley non calcaire mal drainé podzol tourbeux à horizon ferrugineux durci	sol ocre podzolique sol ocre podzolique sol brun forestier podzol hydromorphe à alios podzol podzol sol hydromorphe à gley podzol à alios à horizon Ao tourbeux	1-7 < 1 < 1 < 1 5 < 1 < 1	B et C gleyifiés	< 0,02 (soluble dans l'acide de acétique) < 0,03-0,14 (2,5%, pH 2,5)				SWAINE (D.J.) et al., 1960
Pays de Galles	rhyolite apports mélangés dolérite tuf de pierre ponce apports mélangés	) ) sols sur ces roches-mères )	) ) sols sur ces roches-mères)	1 2-3 1 1 2,3	) ) ) 0 à 60 cm))	< 0,03 soluble dans l'acide acétique 2,5%, pH 2,5	pas d'augmentation importante avec la profondeur			ARCHER (F.C.), 1963
Espagne Plaine du Guadiana	sédiments du pliocène	sol à concrétions latéritiques	sol peu évolué d'érosion sur ancien sol latéritique	0,07-0,63 (moyenne 0,27)			la teneur en molybdène augmente avec celle de la matière organique			GALLEGO (R.) et al., 1963
Italie Toscane	miocène pliocène quaternaire	) 84 échantillons) sols alluviaux et) sur sédiments	) ) )	teneurs très faibles teneurs fortes teneurs faibles	) ) ) en moyenne 0,1))					CARLONI (L.), 1960
Italie		sol tourbeux	sol tourbeux	4 (forte) accumulation	30-60 cm couche argileuse sous la tourbe (90-120 cm)	0,8 soluble dans l'oxalate d'ammoniaque + acide oxalique	le molybdène total varie comme la teneur en acide humique.			ROMANIN (M.V.), 1961
Allemagne Bavière (est)		terres brunes pararendzines sols à pseudogley	sols bruns forestiers sols bruns calcaires sols hydromorphes à pseudogley			résultats donnés pour le molybdène soluble dans l'acide chlorhydrique				RID (H.) et al., 1965
Allemagne Thuringe		Etude du molybdène dans les sols de Thuringe					le molybdène augmente en même temps que le pH des sols			BERGMANN (W.) et al., 1962
Allemagne Thuringe	diorite ardoise Keuper évaporite triasique grès loess	) sols sur ces roches-mères)) sols sur ces roches-mères )	) ) )	) assez riches)) pauvres)						TROBISCH (S.), 1962
Allemagne Thuringe	alluvions Keuper grès bigarré calcaire coquillé	1500 échantillons de sols				36 % des sols ont moins de 0,12	le molybdène utilisable augmente en même temps que le pH des sols	action positive du molybdate de soude sur la luzerne		MÜLLER (K.H.) et al., 1964

MOLYBDENE 2

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MOLYBDENE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MOLYBDENE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU MOLYBDENE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Allemagne Thuringe		soils arables						carences fréquentes		EBELING (R.) et al., 1966
Allemagne Mittegebirge	olivine-nephelinite diabase granodiorite gneiss phyllite quartz porphyre	) ) ) terres brunes) podzols ) )	) ) ) sols bruns fores-) tiers, podzols))				la teneur en molybdène varie avec les différentes roches-mères			LENTSCHIG (S.), 1966
Yougoslavie Treskavica		soils de prairie	soils hydromorphes				la teneur en molybdène augmente avec l'épaisseur de la couche humique			SAVIČ (B.), 1964
Yougoslavie Bosnie		soils de prairie bruns calcaires soils de prairie à pseudogley soils de prairie al- luviaux brun-rouge podzols	soils hydromorphes bruns calcaires soils hydromorphes à pseudogley soils hydromorphes alluviaux podzols	0,76-1,03 0,52-0,74 0,35-0,52 0,17-0,51		0,025-0,053 0,14-0,23	la teneur en molybdène total et utilisable augmente en même temps que le pH			SAVIČ (B.), 1964
Tchécoslo- vaquie Région de Flysch	schistes grès	soils limoneux soils sableux acides		teneurs plus fortes et accumulation teneurs plus faibles et lessivage	B B			) ) carences fréquen-) tes		BENEŠ (S.), 1964
Hongrie Transdanubie du Nord		8 soils de type varié		0,36-1,36		0,05-0,8 (molybdène de la matière organique) soit 3 à 80% (et parfois 100%) du molybdène total	rapport assez cons- tant entre la teneur en molybdène et celle en matière organique, ce rap- port varie avec la texture du sol			KERESZTENY (B.) et al., 1960
Hongrie Transdanubie (S.E.)		soils forestiers bruns soils de prairie al- luviaux chernozems soils de steppe	soils bruns forestiers soils alluviaux hy- dromorphes chernozems	accumulation accumulation	A horizon inférieur					CZOPF (J.), 1964
Hongrie		15 chernozems	chernozems				la teneur décroît avec la profondeur, elle suit les varia- tions du complexe argile-humus.			SZÜCS (L.) et al., 1962
Pologne Sud		soils alluviaux soils bruns rendzines podzols pseudopodzols terres noires	soils alluviaux soils bruns forestiers rendzines podzols pseudopodzols chernozems	1,5-3,4 0,7-3,7 0,4-2,9 (en moyenne) 1,5 - 0,9 - 0,5 - 1 - 0,5	horizon supérieur horizon inférieur horizon supérieur horizon intermédiaire horizon profond tout le profil		la matière organique et le pH sont sans action sur la teneur en molybdène mais la teneur est plus for- te dans les sols ayant beaucoup d'ar- gile et de limons que dans les sols sableux			GDRLACH (E.), 1963
Pologne Plaine côtière		soils humifiés soils bruns podzols terres noires	soils humifiés soils bruns forestiers podzols chernozems	4,9 3,76 3,36 3,36	horizon supérieur horizon supérieur horizon supérieur horizon A	0,45) soluble dans 0,24) l'oxalate 0,2) d'ammoniaque 0,2)	la teneur en molyb- dène soluble n'est pas liée à celle de molybdène total			KABATA-PENDIAS (A.) et al., 1964

MOLYBDENE 3

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MOLYBDENE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MOLYBDENE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU MOLYBDENE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Pologne		podzols cultivés et forestiers acides	podzols					sols carencés en molybdène utilisable	après chaulage les plantes fixent plus de molybdène sous forme molybdate de soude, que sans chaulage	KAC-KAKAS (M.) et al., 1964
Pologne Région de Kielce		rendzines	rendzines	accumulation	A.		la répartition des minéraux argileux a une action sur la teneur en molybdène des horizons inférieurs; la solubilité diminue avec la profondeur			KABATA-PENDIAS (A.) et al., 1965
Pologne		sols sableux	sols sur matériau sableux		horizon supérieur	le molybdène soluble est plus fort	les sols sont plus riches que les roches-mères par suite de la dégradation et du processus de formation des sols			KABATA-PENDIAS (A.) et al., 1965
Pologne Région Opatow-Sandomierz		chernozems sols bruns pseudopodzols	chernozems sols bruns forestiers pseudopodzols	accumulation)) accumulation	horizon de surface)) (B), B					PIOTROWSKA (M.), 1965
Pologne		sols alluviaux chernozems podzols sols tourbeux	sols sur alluvions chernozems podzols sols tourbeux			)teneurs plus) soluble)fortes) dans l'a-)) cide)teneurs plus) chlorhy-)faibles) drique N				CZEKALSKI (A.) et al., 1965
Bulgarie	roches granitiques	sols forestiers gris pâle sols forestiers cannelle sols forestiers bruns	sols bruns forestiers sols châtaîns sols bruns forestiers	) ) ) 0,33-0,62 ) )	) ) ) horizons) supérieurs)	0,07-0,42))) 0,03-0,23)) soluble 0,06-0,28) dans l'oxa-) late d'am-) moniaque				DONCHEV (I.) et al., 1961
	loess andésite et gisements argileux du pliocène	chernozems du nord chernozems smonitzas du sud	chernozems sols châtaîns vertiques	) teneurs à peu) près identiques teneur moyenne pour les différents sols: 0,33-1,61 101	) ) tout le profil)	0,06-0,10) 0,19-0,29))				
		sol tourbeux de Varana	sol tourbeux							
Bulgarie Vallée des Roses		différents sols				le molybdène utilisable est faible				STOYANOV (D.V.), 1963
Bulgarie		103 échantillons de sols : neutres légèrement alcalins acides							action bénéfique des engrais contenant du molybdène surtout pour les légumineuses	RADOMIROV (P.) et al., 1963
Bulgarie	granite gneiss marbre schistes	) sols forestiers) bruns ) )	) sols bruns forestiers ) ) )	) ) 1,6-4,5))) sol plus pauvre) que la roche-mère	) ) ) ) )	0,04-0,66)) 0,03-) 0,12,) soluble) dans (soluble dans l'oxala- l'acétate d'am-) te d'am- moniaque) moniaque	) accumulation dans) l'horizon de surface, plus riche) que la roche-mère			STANCHEV (L.) et al., 1964

MOLYBDENE 4

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MOLYBDENE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MOLYBDENE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU MOLYBDENE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES	
U.R.S.S. Lettonie		sols sableux podzoli- ques côtiers sols marécageux tourbeux des pla- teaux sols marécageux tourbeux des vallées sols calcaires ga- zonnés	sols lessivés fai- blement podzoli- ques sur matériau sableux sols à pseudogley sols à pseudogley sols peu évolués sur alluvions cal- caires	) ) ) ) ) en moyenne)) 0,4) varie)) en mo-)) yenne) de 0,2) à 2) fort, peut) atteindre)) 2 ) ) )		) 3 à 8% du mo-)) lybdène total)) est utilisable)) : 0,02-0,03))) varie)) en mo-)) yenne) 25 à 100% du) de tra-) molybdène to-) ces à) tal est solu-) 1,3) ble dans l'a-)) cide oxalique)))	la disponibilité du molybdène dépend de la teneur en calcium et en B humates (sols tourbeux des dépressions riches en B humates)		l'apport de molybdène est nécessaire aux légumineuses	IVANOVA (N.N.), 1959
U.R.S.S. Lettonie		sols minéraux sols tourbeux sols podzoli-ques ga- zonnés sols à gley sableux gazonnés	sols peu évolués sols tourbeux sols lessivés fai- blement podzoli-ques sols à gley sur ma- tériau sableux	0,25-2 7,5))) 0,2-0,6) accumu-)) lation ) )	) ) ) horizon humique) et illuvial))	le molybdène soluble dans l'acide oxalique repré- sente 5 à 10% du molybdène total des sols miné- raux et des sols tourbeux des plateaux et environ 20% du molybdène total des sols tourbeux des dépressions	la solubilité du mo- lybdène varie comme le pH; le chaulage et l'apport d'en- grais phosphorés l'accroissent			PEYVE (Ya. V.), 1960
U.R.S.S. Lettonie	limons argileux de moraine à texture grossière contenant de la dolomite	podzols gazonnés plus ou moins podzo- lisés sols à gley gazonnés sols à gley humiques podzols gazonnés hu- mifiés sols gazonnés carbo- natés lessivés sols à gley gazonnés podzolisés podzols gazonnés cul- tivés	sols lessivés fai- blement podzoli-ques sols à gley) sols humiques) à gley) sols bruns calcaires sols podzoli-ques à gley podzols	) 0,072-0,086 0,046 0,12 0,09 0,03 0,03				l'apport de molybdène a une action plus nette sur les sols acides que sur les sols neutres ou peu acides		PEYVE (Ya. V.) et al., 1964
U.R.S.S.		Etudes et références	bibliographiques sur	le molybdène dans les sols d'U.R.S.S.						PEYVE (Ya. V.), 1963	
U.R.S.S.		Etudes et références	bibliographiques sur	le molybdène dans les sols d'U.R.S.S.						KOVDA (V.A.) et al., 1964	
U.R.S.S.	shungite	sols sur ce minéral sols dermopodzoli- ques	sols lessivés fai- blement podzoli-ques	teneur assez forte teneur faible						TOIKKA (M.A.), 1964	
U.R.S.S. Karélie	argiles glaciaires lacustres et moraine	sols légèrement pod- zolisés limons sableux	sols lessivés peu podzolisés)) teneurs faibles)							TOIKKA (M.A.) et al., 1965	
U.R.S.S. Karélie	moraine argiles lacustres	lehm faiblement pod- zolisés forestiers sols dermopodzoli- ques sols tourbeux sols à gley forte- ment podzolisés sur prairie	sols forestiers les- sivés peu podzolisés sur lehm sols lessivés fai- blement podzoli-ques sols tourbeux podzols à gley hy- dromorphes		horizon supérieur	0,47 0,015			la teneur en molyb- dène utilisable va- rie en raison inver- se de l'acidité du sol		TOIKKA (M.A.) et al., 1965
U.R.S.S. Karélie (sud)	moraine argiles dépôts lacustres gla- ciaires	) sols sur ces) roches-mères)		teneurs fortes teneurs faibles accumulation	horizon humique					VOLODIN (A.M.) et al., 1965

MOLYBDENE 6

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MOLYBDENE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MOLYBDENE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU MOLYBDENE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U. R. S. S. Région de Kalunga		podzols sableux à sablo-argileux sols forestiers gris sols de vallée	podzols sols lessivés sols hydromorphes	accumulation	horizon illuvial	faible) le molybdène) utilisable re- très) présente 10 à fort) 20% du molyb- -) dène total. La) teneur la plus) forte se trou-) ve dans l'ho-) rizon humique	relation positive entre la teneur en molybdène et celle en argiles et limons			VASIL'EVSKAYA (V.D.) et al., 1963
U. R. S. S. Biélorussie	limon argileux type loessique : 1,8-4,9 limon argileux de moraine : 1,3-35 argiles lacustres sables fluvioglaciaires et alluviaux anciens limon argileux limon argileux	) ) ) sols podzoliques gazonnés))) sols podzoliques gazonnés hydromorphes humifères rendzines sols de marais tourbeux	) ) ) sols lessivés faiblement podzoliques))) sols lessivés faiblement podzoliques humifères rendzines sols tourbeux	2,2-4,8 0,7-1,9 0,2-1,9 0,25-3,3 0,45-1,60) 0,12-1,54						VIL'GU SEVICH (I.P.) et al., 1960
U. R. S. S. Biélorussie	argiles loessiques de moraine dépôts argileux lacustres sables légers	podzols gazonnés podzols gazonnés très podzolisés	sols podzoliques	) ) ) 0,12-0,35)		<u>molybdène mobile</u> molybdène total : 0,28-0,50				VIL'GU SEVICH (I.P.), 1961
U. R. S. S. Biélorussie	sables alluviaux anciens et fluvioglaciaires : 0,36 limon argileux morainique : 0,92 limon argileux loessique et type loessique : 1,1 argiles glaciaires lacustres : 1,9	) sols podzoliques gazonnés sableux) ou limono-argileux)) sols tourbeux ) ) ) )	) sols lessivés faiblement podzoliques))) sols tourbeux ) ) ) )	) dans tous les) sols accumulation)))) teneurs plus fortes que dans les autres sols))	horizon humique	le molybdène utilisable représente 10 à 15% du molybdène total	la teneur en molybdène dépend de la teneur de la roche-mère, de la texture du sol; de l'accumulation biologique et du processus de formation du sol; elle augmente avec la culture du sol	sols plus ou moins carencés	engrais contenant du molybdène utiles	LUPINOVICH (I.S.), 1965
U. R. S. S. Kouban	limon argileux limon argileux loessique et argile	sols gris foncé sols gris sols gris pâle sols carbo-humiques chernozems chernozems de prairie	sols gris forestiers sols lessivés sols bruns forestiers rendzines chernozems chernozems hydromorphes	1,3-11 1,5 1-24 1-2,9 1-2,7 1,3-5		0,09-0,14 0,33 0,10-2,44 0,10-0,23) 9-12% du 0,10-0,28) molybdène 0,10-0,40) total	le molybdène s'accumule dans la partie supérieure de l'horizon humique ou dans la partie basse du profil. La teneur varie avec la texture du sol			TONKONOVICHENKO (E.V.), 1964
U. R. S. S. Kouban Krasnodar		sols cultivés en tabac		1-4	couche cultivée	0,08-0,38	la teneur en molybdène diminue avec la profondeur, elle augmente avec la teneur en argiles et limons			SERGEEVA (N.G.), 1965
U. R. S. S. Kouban Krasnodar	schistes argileux	sols forestiers gris pâle sols forestiers gris sols forestiers gris foncé sols bruns forestiers rendzines sols de prairie carbonatés alluviaux chernozems de vallée sols bruns forestiers montagneux limoneux	sols bruns forestiers))) sols lessivés) sols gris forestiers))) sols bruns forestiers rendzines) sols hydromorphes peu évolués sur alluvions calcaires) chernozems) sols bruns forestiers sur limons	) ) ) teneurs assez fortes)))) teneurs plus faibles))))		0,14 et moins))) assez fort))) molybdène) dène) mobile))) 0,14 et moins)))))	la teneur en molybdène dépend de la teneur de la roche-mère, du pH, de la teneur en humus, en argiles et limons, du processus de formation du sol			SERGEEVA (N.G.), 1966

MOLYBDENE 7

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MOLYBDENE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MOLYBDENE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU MOLYBDENE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S. Crimée	dépôts carbonatés déluviaux-proluviaux roches carbonatées marnes loess	chernozems carbonatés sols cannelle chernozems carbonatés chernozems légèrement humiques sols châtain, foncé solonetziformes	sols châtain (intergrade de chernozems) sols châtain (intergrade de chernozems) chernozems sols châtain et solonetz		) ) ) ) ) horizon 0-50 cm))))))	teneur faible))) molybdène mobile teneur assez forte)	relation nette entre la teneur de la roche-mère et celle des sols (horizon 0-50)			ZYRIN (N.G.) et al., 1964
U.R.S.S. Caucase		chernozems du Nord-Azov chernozems de la région de Rostov	chernozems chernozems	4,2-5 3-5	horizon humique		Il y a accumulation du molybdène dans les horizons A2 et B			SHAKURI (B.K.), 1964
U.R.S.S. Ustyurt	dépôt de limon argileux fin, du quaternaire	sols bruns gris	sols subdésertiques	0-5		0-20, molybdène soluble à l'eau	le molybdène soluble dans l'eau s'accumule dans l'horizon sous-jacent à l'horizon humique			DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1961
U.R.S.S. Azerbaïdjan Kura-Araksin		sols bruns gris solonchaks	sols subdésertiques sols salés à alcalis	3 (sols vierges) 0,42 (sols cultivés) 8	horizon de surface horizon de surface horizon humique					PERSHINA (M.N.) et al., 1962
U.R.S.S. Azerbaïdjan Sal' Yansk		sérozems de prairie solonchaks	sols subdésertiques hydromorphes sols salés à alcalis			0,01-1	moins de 5% de molybdène soluble dans l'eau			SHAKURI (B.K.) et al., 1965
U.R.S.S. Kazakhstan central		sols peu évolués des plateaux et des vallées		en moyenne :) 30 (1955))) 7 (1956)			la teneur en molybdène varie avec les précipitations (135 mm en 1955, 233 mm en 1956). Diminution plus forte dans les sols des dépressions que dans les sols des plateaux car le molybdène est à près de 100% sous forme soluble dans l'eau (moins de 5% pour les sols des plateaux)			MIKHAYLOV (A.S.), 1959
U.R.S.S. Ouzbékistan steppe de Golodnaya	limon argileux type loessique	sérozems légers salés vierges sérozems légers non salés cultivés depuis plus de 50 ans	sols subdésertiques à alcalis sols subdésertiques	4,5 2,6 légère accumulation	A	) molybdène utilisable :) 0,1-0,4, soit 3,7-) 10,6% du molybdène total) molybdène soluble dans l'eau : 0,01-0,1 soit) 1-4% du molybdène total	la teneur en molybdène total, utilisable, soluble dans l'eau, est plus faible dans les sols cultivés depuis plus de 50 ans		l'apport de molybdène aux sérozems légers non salés, irrigués, augmente la récolte de coton	KRUGLOVA (Ye. K.), 1959
U.R.S.S. Ouzbékistan Fergan Central		différents types de sols		1-4	surface					MAVLYANOV (G.) et al., 1962

MOLYBDENE 9

ORIGINE	RÔCHE-MÈRE ET TENEUR DE LA RÔCHE-MÈRE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANÇAISE	TENEUR EN MOLYBDÈNE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MOLYBDÈNE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU MOLYBDÈNE	CARENCE OU TOXICITÉ	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES	
Côte d'Ivoire	granite		sols plus ou moins ferrallitiques lessivés, jaunes, ocre-rouge, rouges	0,40-2,73)	0,032-0,115	1,2-16,6	les sols ocre-rouge ont des teneurs supérieures à la moyenne; les sols jaunes ont des teneurs faibles. La teneur en molybdène varie comme la teneur en matière organique; la répartition du molybdène dans le profil suit celle des argiles et limons. Le molybdène assimilable se trouve seulement dans les sols de pH neutre ou alcalin	soils pour la plupart carencés en molybdène assimilable, sauf les ferrisols et les sols hydromorphes	RIANDEY (C.), 1964	
			sols ferrallitiques, lessivés jaunes, ocre-rouge, rouges	0,48	)	0,020-0,076	2,1-15,7			
	schistes		sol hydromorphe peu humifère à pseudogley de profondeur jaune	0,18	)	0,040	21,7			
			ferrisol rouge	0,75	) horizon supérieur	0,083				
	schistes amphiboliques			sols ferrallitiques rouges et ocres	1,04-1,15)	0,052-0,072				5-6,2
				ranker d'érosion humifère noir	0,40)	0,038				9
	amphibolite			ferrisol	1,07)	0,14				10,8
				terre brune	0,6)	0,07				12,6
				sol rouge de plateau	10)	1,39				13,3
République Centrafricaine	alluvions récentes		sols hydromorphes minéraux à pseudogley	traces - 1)			pas de variations de la teneur en molybdène le long des profils; la matière organique est sans influence sur la teneur en molybdène		BOULVERT (Y.), 1966	
			sols faiblement ferrallitiques)						
	gneiss		sols faiblement ferrallitiques	traces - 3)						
			sols faiblement ferrallitiques	3	) selon les horizons					
	charnockite, amphibolite, migmatite, quartzite		sols faiblement ferrallitiques	3)						
			sols peu évolués d'érosion	traces - 1)						
	granite, micaschistes à deux micas		sols peu évolués d'érosion	4-5)						
			sols ferrugineux tropicaux	traces - 1)						
	amphibolite		sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes	traces - 3)						
			vertisols lithomorphes hydromorphes	traces - 6)						
Tchad	gneiss amphibole		sol peu évolué d'apport))			pas de variations de la teneur en molybdène le long des profils; la matière organique est sans influence sur la teneur en molybdène		VIZIER (J.F.), 1965	
			sol hydromorphe peu humifère à gley	) 3)					
	matériau argilo-sableux		sols ferrugineux tropicaux, sols ferrugineux tropicaux lessivés à pseudogley; sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de profondeur	)	) horizon supérieur				
))						
				) traces)			
))						
Madagascar	sables et limons sableux		sol de terrasse inondable peu évolué))			variations faibles de la teneur en molybdène le long des profils. Légère augmentation dans le sol sur schistes quand la profondeur augmente		NALOVIĆ (L.J.), 1969	
			sol de levée alluviale peu évolué	) traces)					
	sables argileux sur alluvions		sol de mangrove	17)						
			vertisol	traces)						
	schistes		sol ferrugineux tropical	9	) horizon supérieur					
			sol ferrugineux tropical	traces)						
	grès		sol rouge ferrallitique	14)						
			sol brun-rouge ferrallitique humifère	17)						
	granite		sol rouge faiblement ferrallitique lessivé	9)						
			rendzine noire	traces)						

MOLYBDENE 10

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MOLYBDENE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MOLYBDENE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU MOLYBDENE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Madagascar	basaltes, cendres volcaniques granite, calcaire calcaire roche basique matériau gréseux carapace sableuse alluvions marnes, basaltes		sols ferrallitiques sols ferrallitiques sol ferrugineux tropical sols ferrugineux tropicaux sols hydromorphes à gley, sols hydromorphes, sol salin vertisols	2,5-3 traces 2,6 traces traces	) ) ) ) ) horizon supérieur))))					NALOVIČ (LJ.), 1969
Canada Nouvelle Ecosse		sables limoneux limons graveleux	sols plus ou moins évolués sols lessivés	) ) 1-4,5)					la pulvérisation de molybdate de soude augmente la teneur des herbages en molybdène	SMELTZER (G.G.) et al., 1962
Canada Est	argiles glaciaires : schistes du Dévonien grès carbonifère et schistes grès permocarbonifères et schistes grès du Triasique alluvions : alluvions (sables et graviers) dépôts marins et alluvions récents	) ) ) ) ) podzols ) ) ) ) ) ) )	) ) ) ) ) podzols)))))))			0,018) 0,022-0,107)) 0,024-0,40) 0,020))) 0,056-0,22)))	molybdène échangeable	la teneur en molybdène augmente dans les sols de pH supérieur à 6 et dans les sols à texture fine (limons argileux fins)		GUPTA (U.C.) et al., 1966
U.S.A. Kentucky	argile noire schisteuse du Dévonien	lithosols sols jaunes sur roches à intergrade podzoliques brun-gris sols podzoliques brun-gris	lithosols sols intergrade entre sols très lessivés et jaunes sur rouges sols fortement lessivés		) ) ) ) Horizons Ap et A2)))	5,8-26,8) molybdène ex- 4,3-4,8) trait par le) mélange acide) oxalique -) oxalate d'am- 2,5-3,9) moniaque à) pH 3,3			par chaulage amélioration des récoltes de luzerne mais teneurs en molybdène utilisable, proches de la toxicité dans le fourrage	MASSEY (H.F.) et al., 1961
U.S.A. Virginie (Ouest)	calcaires grès non calcaire et schistes	30 séries de sols : limon très fin schisteux limon fin terres bien drainées terres mal drainées	) ) limons)			0,021) dosé par Asper-) gilus Niger 1) teneurs plus) fortes) que la teneurs plus) moyenne faibles) teneurs fortes teneurs faibles		pas de relation nette entre le molybdène total et utilisable		STONE (K.L.) et al., 1963
U.S.A. Néevada		Etude des teneurs en molybdène des sols, en liaison avec la toxicité								KUBOTA (J.) et al., 1961
U.S.A. Wisconsin		2 sols sableux 1 sol sablo-limoneux		) ) 0,26-0,47 )		) 0,09-0,12 molybdène) soluble dans l'oxalate) d'ammoniaque 0,35 N			augmentation des récoltes de trèfle rouge par le molybdate de soude	HAGSTROM (G.R.) et al., 1963
Guyane Hollandaise		42 échantillons de sols			0-5 cm	0,02-0,36				DIRVEN (J.G.P.) et al., 1964
Chine Tché-Kiang		alluvions terres rouges et jaunes	sols alluviaux sols faiblement ferrallitiques	) ) 0,02 à 0,08)				sols carencés	le molybdène pulvérisé après la floraison des citronniers augmente la récolte	LIU (C.) et al., 1961

MOLYBDENE 11

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MOLYBDENE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MOLYBDENE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU MOLYBDENE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Chine (Nord-Est) et Mongolie intérieure		111 profils sols bruns forestiers	sols bruns forestiers	2,2 teneurs beaucoup plus fortes que pour les sols euro- péens et nord-amé- ricains	horizon A					FANG (C.L.) et al., 1963
Japon	cendres volcaniques déluvium	25 sols arables 8 sols vierges				0,05-0,82 (en moyenne 0,1-0,4) 0,08-0,52			correction de la carence par action sur le pH (pH > 6)	YAMAMOTO (A.) et al., 1963
Japon		sols de rizières sols de rizières dé- dragés	sols à pseudo gley sols à pseudo gley			0,05-1,08 (en moyenne 0,1-0,2) 0,05-0,07		sols bien drainés : carence		YAMAMOTO (A.) et al., 1963
Japon	cendres volcaniques roches tertiaires alluvions serpentine	) ) 43 sols sur ces) roches-mères )				) 0,01 à 0,13) (en moyenne 0,10)) dosé par Aspergillus) Niger	la teneur en molyb- dène augmente quand le pH augmente	la carence est fonc- tion du pH, quand il est inférieur à 7,5		YATAZAWA (M.) et al., 1965
Australie Adélaïde		terra rossa rendzines	sols rouges méditer- ranéens rendzines	4,8-8,5 < 2-18 5,1-7,1 < 2-16	horizon de surface horizon calcaire sous jacent horizon de surface horizon calcaire sous jacent					KENZIE MC (R.M.), 1959
Sud-Est		terra rossa rendzines	sols rouges méditer- ranéens rendzines	2-5,5 < 2 3,6-4,5 < 2	horizon de surface horizon calcaire sous jacent horizon de surface horizon calcaire sous jacent					
Australie		Etude du molybdène dans les sols d'Australie								GILES (J.B.) et al., 1962
Australie Centrale		Etude du molybdène dans les sols d'Australie Centrale								KENZIE MC (R.M.), 1960
Australie Tasmanie	dolérite : 4,4-5 dolérite : 3,3-5,1 dolérite : 4,5-5,1 dolérite : 4,2-5,6	krasnozems sols podzoliques terres brunes terres noires	sols ferrallitiques sols lessivés sols bruns forestiers vertisols	3,5-6,9 2,6-3,7 3,9-5,1 2,5-3,5	) ) horizons) supérieurs)		il y a accumulation du molybdène dans les horizons infé- rieurs des vertisols par suite du pH élevé			TILLER (K.G.), 1963
Australie Queensland	sédiments argileux sédiments, grès, cal- caire, diorite, basal- tes, alluvions, roches ignées, alluvions roches granitiques, alluvions granodiorite, basaltes	sols gris et bruns à texture lourde terres noires -terres brun-rouge solonetz solodisés krasnozems terres rouges sols podzoliques la- téritiques terra rossa rendzine sol podzologique rouge	sols bruns isohumi- ques sur argiles vertisols sols ferrallitiques humifères solods sols ferrallitiques sols rouges méditer- ranéens sols ferrallitiques lessivés sols rouges méditer- ranéens rendzine sol ferrugineux less- ivé (type subtropi- cal)	3-12 2,6-3,6 3,3-4,9 2,3-4,3 4,1-6,3 4,4-4,9 4,1-4,8 2 2 4,5	5 horizons par profil		la répartition du molybdène dans le profil dépend du pro- cessus de formation et de l'évolution du profil			ORTEL (A.C.), 1963

MOLYBDENE 13

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN MOLYBDENE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN MOLYBDENE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU MOLYBDENE	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Polynésie Ile Moorea	alluvions d'origine volcanique marécage de bord de plaine basaltes, basaltes andésitiques éboulis basaltiques éboulis basaltiques anciens		sols alluviaux hydromorphes plus ou moins humifères sol hydromorphe semi-tourbeux sols ferrallitiques indurés en sous-sol, sols ferrallitiques plus ou moins dégradés sols juvéniles brun-gris pierreux sol ferrallitique non dégradé	traces 2 traces 2	) ) ) ) ) horizon supérieur)))))))))		la teneur en molybdène varie peu le long des profils; elle diminue légèrement avec la profondeur			TERCINIER (G.), 1963
Inde		sols alluviaux sols régur et latéritiques	sols alluviaux vertisols et sols faiblement ferrallitiques	1,5-5,6)) 1,5)		5-9,6%)) du molybdène total) 1,3-2,3%))	la forte teneur en argile et oxydes de fer et d'aluminium rend le molybdène moins disponible			CHATTERJEE (R.K.) et al., 1962
Inde Bombay	granite alluvions basaltes	sols sableux sols sableux limoneux sols de lehms (1.000 échantillons)	sols sur matériau sableux sols plus ou moins évolués sols sur lehms	pauvres			) ) molybdène) 0,02-0,5) ne échan-) geable)			DUARTE (U.M.) et al., 1961
Inde		Etude du molybdène dans les sols indiens								DATTA (N.P.), 1964
Inde Ouest		46 sols de types différents		0,5-4,1		0,012-0,26		sols carencés, d'où carence dans le riz, le tabac, les pois	apport d'engrais, contenant du molybdène, utile	REDDY (G.R.), 1964
Inde Vidarbha	laves roches diverses	sols noirs à coton sols à riz (argilles sableuses)	vertisols sols à pseudo-gley			0,188-0,578 0,180-0,251	la teneur en molybdène diminue quand la teneur en matière organique et la profondeur augmentent; cette teneur augmente en même temps que le pH			KAVIMANDAN (S.K.) et al., 1964
Inde Gujarat	alluvions dérivées de lave et calcaire sédiments dérivés de granites, basaltes sédiments dérivés de basaltes volcaniques	sols noirs sols alluviaux sols noirs moyens	vertisols sols alluviaux sols vertiques	1,5-1,8 1,5-3,1 1,28		0,07-0,09)) molybdène 0,04-0,13) extrait par) l'acide acé- 0,05) tique 2,5%) pH 2,5				RAYCHAUDHURI (S.P.) et al., 1964
Inde Gujarat		sol goradu jaune-brunâtre sol noir moyen sols à coton noirs	sable limoneux sols vertiques vertisols	) ) 0,5-4,1 )		) ) 0,012-0,26)				MEHTA (B.V.) et al., 1966
Inde Uttar Pradesh		sols alluviaux alcalins et salés vierges sols alluviaux alcalins, salés cultivés	sols alluviaux sols alluviaux	0,40-2,78 (moyenne 1,62) 0,60-3,13 (moyenne 1,56)		0,15-1,36 (moyenne 0,80) soit 29,4-65% du molybdène total 0,18-0,59 (moyenne 0,40) soit 16,8-50% du molybdène total	le molybdène total diminue quand la profondeur et la teneur en sesquioxydes augmentent - le molybdène utilisable est plus fort quand le pH augmente			SINGH (S.) et al., 1966

NICKEL 1

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN NICKEL TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN NICKEL UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU NICKEL	REFERENCES
Finlande		Etude du nickel dans les	soils de Finlande					SILLANPÄÄ (M.), 1962
Finlande		375 échantillons de sols sols sableux sols argileux sols limoneux lacustres sols tourbeux bruts	) sols minéraux peu évolués sols tourbeux	teneurs peu élevées teneurs plus fortes teneurs faibles			la teneur en nickel augmente avec la teneur en argile	MÄKITIE (D.), 1962
Ecosse	dépôt de serpentinite dépôt olivine gabbro moraine andésitique dépôt granitique dépôt de gneiss granitique dépôt de micaschistes dépôt ardoisé du silurien dépôt de grès	podzol brun bien drainé podzol brun mal drainé sol forestier brun bien drainé podzol tourbeux gleyifié à horizon ferrugineux durci podzol bien drainé podzol bien drainé sol à gley non calcaire mal drainé podzol tourbeux à horizon ferrugineux durci	sol ocre podzologique sol ocre podzologique sol brun forestier podzol hydromorphe à alios podzol podzol sol hydromorphe à gley podzol à alios à horizon Ao tourbeux	600-5.000 70 25-15 4-15 40-80 80-150 40-100 8-20	B & C gleyifiés)))) selon les horizons))	104-61) soluble dans) l'acide acé-) tique à 2,5 %) pH 2.5 0,09-0,33	la teneur en nickel soluble dépend de celle de la roche-mère et des facteurs pédologiques - les horizons à gley sont riches	SWAINE (D.J.), 1960
Allemagne Mittelgebirge	olivine-néphéline diabase granodiorite gneiss phyllite quartz porphyré	terres brunes et podzols	sols bruns forestiers et podzols		) ) ) A, B, C))		la teneur en nickel varie avec celle de la roche-mère et avec la teneur en Fe ₂ O ₃	LENTSCHIG (S.) et al., 1966
Yougoslavie		sols de prairie	sols hydromorphes				la teneur en nickel augmente avec l'épaisseur de la couche humique	SAVIĆ (B.), 1964
Pologne Wielkopolska		sols alluviaux chernozems podzols sols tourbeux	sols alluviaux chernozems podzols sols tourbeux			teneurs fortes (soluble dans l'a- teneurs fortes (cide chlo- (rhydrique teneurs faibles teneurs faibles		CZEKALSKI (A.) et al., 1965
Pologne		sols sableux				les teneurs en nickel soluble sont plus fortes dans les horizons supérieurs	les sols sont plus riches que les roches-mères par suite du processus de formation du sol	KABATA-PENDIAS (A.) et al., 1965
Pologne Kielce		rendzines	rendzines	accumulation	(B) / C		la teneur en nickel soluble diminue avec la profondeur, elle dépend aussi de la teneur en matière organique et en minéraux argileux	KABATA-PENDIAS (A.), 1965
Tchécoslovaquie	serpentinite	48 profils de sols de différents types sols sur cette roche-mère		varie de traces à 40 (existe dans 80% des sols) plus forte teneur			la teneur en nickel dépend de la roche-mère, du type de sol et du processus de formation	ŠMELHAUS (V.) et al., 1964
Roumanie Transylvanie		chernozems dégradés sols forestiers bruns podzols	chernozems sols bruns forestiers podzols	forte moyenne faible				NEMES (M.) et al., 1959
Roumanie Région de Olt		chernozems sols forestiers bruns rouges et rouges podzols	chernozems sols bruns forestiers podzols	forte) moyenne) 2,7) à faible) 17	couche arable			BAJESCU (N.) et al., 1960

NICKEL 2

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN NICKEL TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN NICKEL UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU NICKEL	REFERENCES
Roumanie Dobrudja	loess schistes et calcaires (	sols zonaux sols squelettiques rendzines	chernozems sols squelettiques rendzines	30,8			les teneurs en nickel des sols sur schistes et calcaire varient avec la roche-mère	YAJESCU (I.) et al., 1962
U.R.S.S. Péninsule de Kola	roche-mères : néphéline prédomine recouvertes de dépôts surtout éluviaux	sols de toundra de montagne		12-27	selon les horizons		pas de grandes variations du nickel le long du profil. Accumulation biogénétique	DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1963
U.R.S.S. Péninsule de Kola	schistes cristallins (rubis, granulites) avec intrusion de norites: 300 recouverts d'une moraine sablo-argileuse gris verdâtre : 85	sols podzolisés du centre sols podzolisés du N.O.	) ) ) sols lessivés faiblement podzoliques	50 - 300 10 - 30	) ) ) selon les horizons)))	traces 60))) 0,2,1) nickel, soluble dans l'acide chlorhydrique N	accumulation du nickel dans la fraction argileuse et dans l'horizon A ₀ des sols podzoliques. Accumulation biogénétique. La teneur dépend de celle de la roche-mère et de l'épaisseur de la moraine	DOBROVOL'SKIY (V.V.) et al., 1964
U.R.S.S. Région d'Ustyurt	dépôt de limon argileux fin, du quaternaire	sols de marais tourbeux du N.O.	sols tourbeux	10 - 50		4,2-4,9)		
U.R.S.S. Région d'Ustyurt		sols bruns gris	sols subdésertiques	5 - 10	selon les horizons	7-20 nickel soluble à l'eau	le nickel total et soluble à l'eau s'accumule dans l'horizon de surface et humique	DOBROVOL'SKIY (V.V.) 1961
U.R.S.S.		Etudes et références bibliographiques sur le nickel dans les sols d'U.R.S.S.						KOVDA (V.A.) et al., 1964
U.R.S.S. Rives de la Moscova		sols de prairie	sols hydromorphes	69-112	horizon humique	4-30	variations saisonnières avec le potentiel d'oxydo-réduction qui dépend de Fe ²⁺ /Fe ²⁰³ , nickel plus mobile quand ce rapport=1	BONDARENKO (G.P.), 1962
U.R.S.S. Plaine de Meshchov		sols forestiers gris et de transition entre der-no-podzols et forestiers gris	sols lessivés et de transition entre sols lessivés faiblement podzoliques et lessivés	30	0-20 cm			TYURYUKANOV (A.N.), 1964
U.R.S.S. Smolensk		5 types de sols		9-26				VASIL'EVSKAYA (V.D.), 1965
U.R.S.S. Basse Volga	sables alluviaux anciens sables marins anciens sables fluvio-glaciaires sables marins quaternaires	sols sur ces roches-mères		traces traces - 12			la répartition le long du profil dépend de la teneur en humus, du processus de formation du sol	VAKULIN et al., 1966
U.R.S.S. Biélorussie	moraine et lehms loessiques argiles marines argiles loessiques : 30	podzols de prairie sols à gley sols sur ces roches-mères	podzols hydromorphes sols à gley	assez pauvres plus riches plus riches 7,1	A1-A2 B1-B2 A1 (25-30 cms)			VIL'GUSEVICH (I.P.) et al., 1960
U.R.S.S. Biélorussie	argiles loessiques de moraine dépôt argileux lacustres, sables	podzols gazonnés podzols gazonnés podzols gazonnés très podzolisés	sols podzoliques sols podzoliques podzols			nickel utilisable varie de 0,37 à 3,47 nickel utilisable varie de nickel total 0,22 à 0,38		VIL'GUSEVICH (I.P.), 1961

NICKEL 3

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN NICKEL TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN NICKEL UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU NICKEL	REFERENCES
U. R. S. S. Biélorussie Pologne		dernopodzols sols moyennement podzolisés sols à gley tourbeux sols à gley humiques	sols lessivés faiblement podzoliques sols podzoliques sols tourbeux sols humiques à gley	) ) 0,7-20)) pas de nickel			le nickel se concentre dans les fractions fines	LUKASHEV (K.I.) et al., 1962
U. R. S. S. Biélorussie	sables alluviaux anciens fluvio-glaciaires : 26 limon argileux morainique : 22 limon argileux loessique et type loessique : 24 argiles glaciaires lacustres : 40	sols podzoliques gazonnés de différentes textures	sols lessivés faiblement podzoliques, sur matériaux argileux ou sableux	accumulation	horizon humique		la teneur dépend de la teneur de la roche-mère, du processus de formation du sol, et de l'accumulation biologique	LUPINOVICH (I.S.), 1965
U. R. S. S. Bassin Dural-Sakmara	sédiments du jurassique, crétacé, tertiaire déluvium de serpentinite éluvio-déluvium de tuf	chernozems ordinaires chernozems solonetziformes sols forestiers gris foncé) chernozems	chernozems solonetz sols gris forestiers chernozems	) 86 en moyenne) 133 en moyenne	horizon illuvial plus riche			KRYM (I. Ya.), 1964
U. R. S. S. Bassin Or'-Kumak		solonetz-solonchak solonetz sol châtain foncé solodisé sols châtaîns	sol très salé à alcalis solonetz sol châtain alcalisé à B textural sols châtaîns	76 76 76 56-92 52 64 64 80-86 64-68 72 64 56 44-56	A) B1) B2 car.) C) A) B1) B2 car.) C) A) A2B) B1) B2 car.) C car.)	14 15 8 2,5-4 9,2 20 14 7-10 8,4 6,4 8,4 9,2 2,4-10,8	accumulation du nickel mobile dans les horizons humique et illuvial	KRYM (I. Ya.), 1965
U. R. S. S. Azerbaïdjan Petit Caucase				19 échantillons de sols				VEKILOVA (F.I.) et al., 1960
U. R. S. S. Turkmenistan Tédzhen		sols takyrs sableux non structurés	sols salés à alcalis des régions désertiques	40-100				GRAZ HDAN (P.I.), 1959
U. R. S. S. Région de l'Amour	granite : moins de 5 alluvions lacustres : 30 alluvions sableuses tertiaires : 12 dépôts stratifiés de plaine inondable : 20	sol brun forestier chernozem sol brun podzolique sol à gley podzolique sols de prairie sols de prairie inondable	sol brun forestier chernozem sol brun forestier lessivé sol à gley lessivé sol hydromorphe sol hydromorphe	5 5 14 49 18 29 42 23	A1 A/B-B C			KOVDA (V.A.) et al., 1958

NICKEL 4

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN NICKEL TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN NICKEL UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU NICKEL	REFERENCES
Ghana	phyllite granite pegmatite G1 matériau parental sableux hornblende, schiste matériau basique	sols ferrallitiques faiblement désaturés lithosols sol ferrallitique désaturé sol brun eutrophe tropical sol ferrallitique faiblement désaturé	sols ferrallitiques faiblement désaturés lithosols sol ferrallitique désaturé sol brun eutrophe tropical sol ferrallitique faiblement désaturé	) 25-50) 10-20 20 < 10-20 100-200 100	) ) ) ) 6 horizons par profil))))			BURRIDGE (J.C.) et al., 1965
Dahomey	 sédiments tertiaires		sol faiblement ferrallitique beige clair argileux sol faiblement ferrallitique beige sol ferrugineux tropical sol "terre de barre" faiblement ferrallitique sol noir tropical	60-100 40-100 18-47 26-60 33-56	) ) ) selon les horizons)))		augmentation du nickel quand la profondeur augmente. Cette variation suit celle des argiles	PINTA (M.) et al., 1961
Côte d'Ivoire	amphibole granites schistes schistes amphiboliques charnockite		(ferrisol (terre brune (sol rouge de plateau sols ferrallitiques plus ou moins lessivés (sol ferrallitique (sol hydromorphe peu humifère à pseudo-gley ferrisol rouge faiblement ferrallitique (ranker d'érosion, noir, humifère (sol ferrallitique très lessivé	56 100 20 20 10-30 5-50 20-30 3 3-30	) ) ) ) ) différents horizons)))))		accumulation dans l'horizon argileux; le plus souvent l'horizon profond est pauvre	RIANDEY (C.), 1964
République Centrafricaine	quartz, micaschistes migmatite, granite granite itabirite gneiss		sols ferrallitiques faiblement désaturés sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes sol peu évolué d'érosion sols faiblement ferrallitiques	2-10)) traces - 3) 3-15	) ) ) différents horizons))			BOULVERT (Y.), 1966
République Centrafricaine	alluvions récentes amphibole gneiss amphibole, migmatite, charnockite		sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley sols peu évolués d'érosion sols faiblement ferrallitiques sols ferrugineux tropicaux	20-25 25-30 25 10-60	) ) ) différents horizons))			BOULVERT (Y.), 1966
République Centrafricaine	gneiss amphibole, charnockite gneiss, amphibole amphibole migmatite		sols faiblement ferrallitiques sols ferrugineux tropicaux lessivés vertisols lithomorphes hydromorphes sol faiblement ferrallitique	60-100 100-300 60-300 300	) ) ) différents horizons)))			BOULVERT (Y.) 1966
Tchad	gneiss amphibole matériau argilo-sableux		sol peu évolué d'apport hydromorphe (sols ferrugineux tropicaux et ferrugineux tropicaux à pseudo-gley (sol hydromorphe peu humifère à gley de surface	10 10-20 30	) ) ) horizon supérieur))		la teneur en nickel augmente en même temps que la profondeur	VIZIER (J.F.), 1965

ICKEL 5

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN NICKEL TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN NICKEL UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU NICKEL	REFERENCES
Tchad	sédiments argileux		sols salins, sols à alcalis non lessivés, sols humiques à gley	10-50	)		la teneur en nickel varie peu le long du profil. Très légère augmentation avec la profondeur	PIAS (J.), 1968
	sédiments argileux et sableux		sols ferrugineux tropicaux	3-30)			
	sédiments sableux		sols isohumiques subarides	traces - 35)			
	sédiments limono-argileux		sols ferrugineux tropicaux à pseudo-gley	3-50	) horizon supérieur			
	sédiments argileux		sols alluviaux hydromorphes halomorphes	20-95)			
	sédiments argilo-sableux		sols hydromorphes à gley	25)			
			vertisols topomorphes	30-75)			
			vertisols topomorphes	60-90)			
Afrique Orientale		111 sols différents		0,32-2,5			la concentration diminue avec la profondeur	CHAMBERLAIN (G.T.), 1959
Madagascar	sables et limons sableux		sol de terrasse inondable peu évolué	28-170	)		la teneur en nickel varie avec la teneur en argile plus limons	HERVIEU (J.) et al., 1965
	sédiments argilo-sableux		sol de levée alluviale peu évolué	108-146)			
	sable argileux sur alluvions		sol de mangrove	253-345	)		dans tous les sols pas d'action nette du pH et de la teneur en matière organique sur la teneur en nickel.	
	schistes		vertisol	74-115	) trois à cinq horizons par profil			
	grès		sol ferrugineux tropical	37-81	)		dans tous les sols évolués diminution de la teneur quand la profondeur augmente mais pas d'action nette de la teneur en argile plus limons	
	granite		sol ferrugineux tropical	47-63)			
	cipolin		sol rouge ferrallitique	67-105)			
	gneiss		sol brun rouge ferrallitique humifère	108-235)			
	calcaire gréseux		sol rouge faiblement ferrallitique lessivé.	95-250)			
			rendzine noire	38-80)			
Madagascar	alluvions		sols hydromorphes, hydromorphes à gley, sol salin	30-80	)		accumulation du nickel dans l'horizon argileux; la teneur en matière organique et le pH n'ont pas d'action sur la teneur en nickel des sols qui dépend de celle de la roche-mère et du processus de formation du sol	NALOVIC (L.J.), 1969
	marnes, basaltes		vertisols)			
	matériau gréseux		sols ferrugineux tropicaux	20)			
	carapace sableuse		sols ferrugineux tropicaux	60-90	) horizon supérieur			
	roche basique, calcaire		sols faiblement ferrallitiques	20-30)			
	gneiss, roche métamorphique acide		sols ferrallitiques	15-85)			
	granite, calcaire, basaltes, cendres volcaniques)			
Chine (Nord-Est) et Mongolie intérieure	basaltes	111 profils	sols bruns forestiers	en moyenne 51				FANG (C.L.) et al., 1963
			sols bruns forestiers	teneur plus forte que pour les sols européens et nord-américains	accumulation dans horizon A			
Inde		sols noirs à coton	vertisols	30-82				SINHA (R.C.P.) et al., 1965
Australie		terra rossa	sol rouge méditerranéen	19-50	horizon de surface		le nickel varie peu le long du profil. Il diminue légèrement quand la profondeur augmente - relation positive entre la teneur en nickel et les fractions acides insolubles du sous-sol calcaire	KENZIE Mc. (R.N.), 1959
Adélaïde et Sud-Est		rendzines	rendzine	9,6-21	horizon calcaire s/jacent			
		terra rossa	sol rouge méditerranéen	23-38	horizon de surface			
		rendzines	rendzine	5,3-42	horizon calcaire s/jacent			
				4,7-46	horizon de surface			
				< 2-6,1	horizon calcaire s/jacent			
				12-31	horizon de surface			
				2-10	horizon calcaire s/jacent			

PLOMB 1

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN PLOMB TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN PLOMB UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU PLOMB	TOXICITE	REFERENCES
Finlande		Etude du plomb dans les sols de Finlande							SILLANPÄÄ (M.), 1962
Ecosse	dépôt de serpentinite dépôt olivine-gabbro moraine andésitique dépôt granitique dépôt de gneiss granitique dépôt de micaschistes dépôt ardoisé du silurien dépôt de grès	podzol brun bien drainé podzol brun mal drainé sol forestier brun bien drainé podzol tourbeux gleyifié à horizon ferrugineux durci podzol bien drainé podzol bien drainé sol à gley non calcaire mal drainé podzol tourbeux à horizon ferrugineux durci	sol ocre podzologique sol ocre podzologique sol brun forestier podzol hydromorphe à alios podzol podzol sol hydromorphe à gley podzol à alios à horizon Ao tourbeux	20-10 20-10 40-20 50-15 70-20 40-10 40-10	B & C gleyifiés selon les horizons	< 0,4-0,24)))) soluble dans l'acide acétique à 2,5%, pH 2,5))))))))	la teneur dépend de celle de la roche-mère; le plomb est fortement mobilisé dans les sols imperméables; les horizons à gley sont riches, les horizons illuviaux des podzols sont assez pauvres		SWAINE (D.J.) et al., 1960
Pays de Galles	rhyolite apports mélangés dolérite tuf de pierre ponce apports mélangés	) ) sols sur ces roches-mères ) )		) 180) 200) 150) 80) 150	) ) ) horizon de surface)	1,8) 3,2) soluble dans l'acide de acétique à 2,5%, 4,3) pH 2,5 3,5) 5,6)	la teneur en plomb diminue quand la profondeur augmente		ARCHER (F.C.), 1963
Allemagne Westphalie- ippe		champs cultivés prairies		14,8-68 11,5-79,3			le plomb augmente avec la teneur en argile	toxicité pour les animaux quand la teneur est trop forte	BALKS (R.), 1961
Allemagne Aittelgebirge	olivine, néphéline, granodiorite, gneiss phyllite, quartz	terres brunes podzols	sols bruns forestiers podzols				les teneurs en plomb des différents types de sols dépendent des roches-mères		LENTSCHIG (S.), 1966
Yougoslavie reskavica		sols de prairie	sols hydromorphes				la teneur augmente avec l'épaisseur de l'horizon humique		SAVIČ (B.), 1964
J.R.S.S. Péninsule de Cala	roches-mères : néphéline prédomine recouvertes de débris de désagrégation	sols de toundra de montagne		50	Ao tourbeux		profils peu différenciés peu de variations le long des profils		DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1963
J.R.S.S. Péninsule de Cala	schistes cristallins (rubis, granulite) avec intrusion de norite : 50 recouverts d'une moraine argilo-sableuse : 50	dans le Nord : sols pod- zolisés sols de marais tourbeux	sols lessivés faiblement podzologiques sols tourbeux	faible	Ao		le plomb s'accumule dans la fraction argileuse		DOBROVOL'SKIY (V.V.) et al., 1964
J.R.S.S. massin Oural- Jakmara	sédiments du jurassique, crétacé, tertiaire déluvium de serpentinite éluvio-déluvium de tuf	chernozems ordinaires et solonetziformes sols forestiers gris foncé chernozems	chernozems solonetz sols gris forestiers chernozems	) 25)) 11 )			) le plomb est réparti ré-) gulièrement le long du) profil) le plomb augmente dans) l'horizon supérieur		KRYM (I. Ya), 1964
U.R.S.S. Ustyurt	dépôt de limon argileux fin, du quaternaire	sols brun-gris	sols subdésertiques	42-80		0-100 (soluble à l'eau)	le plomb total s'accumule dans l'horizon de surface; le plomb soluble à l'eau s'accumule dans l'horizon humique		DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1961
Bulgarie		12 types de sols		teneur 2 à 3 fois supérieure à celle de la croûte terrestre			accumulation dans les horizons supérieurs		IORDANOV (N.) et al., 1963

PLOMB 2

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN PLOMB TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN PLOMB UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU PLOMB	TOXICITE	REFERENCES
Canada	roches sulfurées	)	)	teneur moyenne 752-1.431	)	)	accumulation dans horizon B		PRESANT (E.W.) et al., 1965
Nouveau Brunswick	roches non sulfurées	) podzols 53	) podzols	13-73	)	)	accumulation dans horizon L-H		
U S A			études sur solutions nutritives	0-31			à pH 4,5-5,5, teneurs moyennes de plomb sans action sur orangers, teneurs fortes : toxiques; à pH 6,5, seules, les teneurs très faibles ne sont pas toxiques		RASMUSSEN (G.K.), 1963
Dahomey			sol faiblement ferrallitique beige-clair, argileux	23-27	)	)	accumulation du plomb en surface		PINTA (M.) et al., 1961
	sédiments tertiaires		sol faiblement ferrallitique beige	3-30	)	)	) augmentation du plomb		
			sol ferrugineux tropical	9-14	)	)	) quand la profondeur augmente; la variation suit		
			sol "terre de barre" faiblement ferrallitique	15-22	)	)	) celle des argiles		
			sol noir tropical	9-22	)	)	accumulation dans horizon 60-80 cm		
République Centrafricaine	granite, gneiss, charnockite, amphibolite, alluvions récentes, migmatite, itabirite, micaschistes		sols ferrallitiques, sols ferrugineux tropicaux lessivés, hydromorphes, sols hydromorphes minéraux à pseudogley, sols peu évolués d'érosion	) ) ) traces - 3 ) )	) ) ) différents horizons ) )	) ) ) )			BOULVERT (Y.), 1966
République Centrafricaine	gneiss, amphibolite, charnockite, migmatite		sols faiblement ferrallitiques, sols ferrugineux tropicaux, plus ou moins lessivés, vertisols lithomorphes, sols peu évolués d'érosion	) ) ) 3-20 ) ) )	) ) ) différents horizons ) ) )	) ) ) )			BOULVERT (Y.), 1966
	alluvions récentes		sol hydromorphe minéral à pseudogley	) 30)))))			
Tchad	sédiments argileux		sols salins, sols à alcalis non lessivés, sols humiques à gley	traces - 10	) ) )	) ) )	la teneur en plomb varie peu le long du profil; elle augmente légèrement avec la profondeur		PIAS (J.), 1968
	sédiments limono-argileux		sols alluviaux hydromorphes halomorphes	30-50))))))			
	sédiments argileux		sols hydromorphes à gley	20-25))))))			
	sédiments argileux et argilo-sableux		vertisols topomorphes	20-45))))			
	arkose, grès arkosique		sols ferrallitiques)))))))))			
	sédiments sableux		sols ferrugineux tropicaux à pseudogley	) 10-30))))))))			
	sédiments argileux et sableux		sols ferrugineux tropicaux)))))))))			
	sédiments argileux et sableux		sols isohumiques subarides	traces - 15))))))			

PLOMB 4

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN PLOMB TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN PLOMB UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU PLOMB	TOXICITE	REFERENCES
Nouvelle Calédonie	quartz tuf scoriacé basaltique, flysch à ciment calcaire		sols d'érosion, sols peu évolués d'apport, sols bruns et brun-rouge vertiques, sols ferrallitiques, vertisol topomorphes, solonetz solodisé	) ) ) ) traces - 2 ) ) )	) ) ) ) ) ) )		peu de variations le long du profil		TERCINIER (G.), 1963
	sédiments basaltiques sable calcaire, calcaire corallien		sols rendziniiformes alluvion grise, sol semi-tourbeux	) ) 6-18 ) )	) horizon supérieur)))				
	calcaire corallien et ponces volcaniques		sols humocarbonatés hydromorphes, plus ou moins humifères	) ) traces - 2))))				
Polynésie Ile Moorea	alluvions d'origine volcanique, basaltes basaltes andésitiques éboulis basaltiques		sols alluviaux, sols hydromorphes, sols ferrallitiques plus ou moins dégradés, sols juvéniles brun-gris pierreux	) ) ) traces - 1 ) )	) ) ) horizon supérieur))				TERCINIER (G.), 1963

TITANE 1

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN TITANE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN TITANE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU TITANE	REFERENCES
Pays de Galles	rhyolite apports mélangés dolerite tuf de pierre ponce apports mélangés	) ) ) sols sur ces roches- mères))		500 6 000 5 000 5 000 1 500	) ) ) horizon supérieur))	0,03) 0,03) soluble dans 0,6) l'acide acétique 0,7) 2,5% pH 2,5 0,5)	sur la rhyolite moins de titane que dans les autres sols pas d'augmentation avec la profondeur	ARCHER (F.C.), 1963
Ecosse	dépôt de serpentinite dépôt olivine-gabbro moraine andésitique dépôt granitique dépôt de gneiss granitique dépôt de micaschistes dépôt ardoisé du silurien dépôt de grès	podzol brun bien drainé podzol brun mal drainé sol brun forestier bien drainé podzol tourbeux gleyifié à horizon ferrugineux durci podzol bien drainé podzol bien drainé sol à gley non calcaire mal drainé podzol tourbeux à horizon ferrugineux durci	sol ocre podzologique sol ocre podzologique sol brun forestier podzol hydromorphe à alios podzol podzol sol hydromorphe à gley podzol à alios à horizon Ao tourbeux	12 000-4 500 25 000-12 500 10 000-12 000 1 000-3 000 7 000-5 000 9 000-12 000 8 000 4 000-1 000	) ) B et G gleyifiés)))) selon les horizons))))	0,70-0,10)) 0,12-1,2))) soluble dans) acide acéti-) que 2,5%	la teneur en titane solu- ble dépend de la roche- mère horizons à gley : riches	SWAINE (D.S.) et al., 1960
U.R.S.S. Péninsule de Kola	roches-mères : la népheli- ne prédomine - recouvertes de débris de désagrégation	sols de toundra de monta- gne		4 400 2 200	A tourbeux B		profils peu différenciés, peu de variations le long des différents profils	DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1963
U.R.S.S.		Etudes bibliographiques sur	le titane dans les sols d'U.R.S.S.					KOVDA (V.A.) et al., 1964
U.R.S.S. Basse-Volga	sables alluviaux anciens sables marins anciens sables fluvio-glaciaires sables marins quaternaires	) ) sols sur ces roches- mères)		200-980 350-3 200 320-1 900 1 000-3 200			la répartition le long du profil dépend de la teneur en humus, du processus de formation du sol	VAKULIN (A.A.) et al., 1966
U.R.S.S. Biélorussie	sables alluviaux anciens et fluvio-glaciaires : 880 limon argileux moraini- que : 3.800 limon argileux loessique et type loessique : 4.400 argiles glaciaires lacus- tres : 4.600	) ) ) ) ) sols podzoliques) gazonnés ) ) ) ) )	) ) ) ) ) sols lessivés faiblement) podzoliques ) ) ) )	) ) ) ) ) teneur forte))))	accumulation dans horizon humique des sols à textu- re grossière		la teneur dépend de la ro- che-mère et de la texture du sol, elle est plus for- te dans les sols argileux et limoneux	LUPINOVICH (J.S.), 1965
U.R.S.S. Ustyurt	dépôt de limon argileux fin, du quaternaire	sols brun-gris	sols subdésertiques	167-900	horizon de surface	4-410 (soluble à l'eau)		DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1961
U.R.S.S. Turkménistan Tadzhen		sols takyrs sableux non structurés	sols salés à alcalis des régions désertiques	1 000-6 000				GRAZHDAN (P.E.), 1959
Pologne Région de Lodz	argiles lourdes et limons sables	sols formés sur ces maté- riaux sols formés sur ces maté- riaux sols tourbescents sols marécageux tourbes- cents	sols hydromorphes à gley de surface, humifères	la teneur varie de 150 à 4 600 pauvres			la teneur augmente avec les argiles et les limons	CZARNOWSKA (K.), 1965
Pologne Province de Jaroslaw	lehm de couverture lehm avec colluvions et sables	) ) podzols gazonnés culti-) vés et forestiers )	) ) podzols)	2 160-5 940 (3 260) 1.960-3 680 (2 820) 720-2 300 (1 590)	augmentation de A vers C		la teneur varie avec celle de la roche-mère et avec le type de sol	DOBROVITSKAYA (Yu. I.), 1960

TITANE 2

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN TITANE TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN TITANE UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU TITANE	REFERENCES
Yougoslavie Treskavica		soils de prairie	soils hydromorphes					SAVIČ, 1964
République Centrafricaine	gneiss, charnockite, amphibole, granite, itabirite, quartz, migmatite, alluvions récentes		soils ferrallitiques plus ou moins désaturés, soils ferrugineux tropicaux, soils hydromorphes minéraux à pseudo-gley, soils peu évolués d'érosion	) ) ) 1 000-4 000 ) )	) ) ) différents horizons))		la teneur en titane augmente avec la profondeur	BOULVERT (Y.), 1966
République Centrafricaine	gneiss, amphibole, charnockite, migmatite, alluvions récentes		soils faiblement ferrallitiques, soils ferrugineux tropicaux, vertisols lithomorphes, soils peu évolués d'érosion, soils hydromorphes minéraux	) ) ) 10 000-20 000 ) )	) ) ) différents horizons))		la teneur en titane augmente avec la profondeur	BOULVERT (Y.), 1966
Tchad	gneiss à amphibole matériau argilo-sableux		sol peu évolué d'apport, hydromorphe sol hydromorphe peu humifère à gley de surface soils hydromorphes peu humifères à pseudo-gley de profondeur soils ferrugineux tropicaux à pseudo-gley de profondeur soils ferrugineux tropicaux	15 000 10 000)) 1 000-2 000) 800-2.000) 2 000-10 000	) ) ) ) horizon supérieur)))		la teneur en titane augmente avec la profondeur	VIZIER (J.F.), 1965
Madagascar	granite, calcaire, basaltes, cendres volcaniques, gneiss, roche métamorphique acide alluvions, marnes, basaltes roche basique, calcaire, matériau gréseux carapace sableuse		soils ferrallitiques soils faiblement ferrallitiques soils hydromorphes, hydromorphes à gley, sol salin, vertisols soils ferrugineux tropicaux soils ferrugineux tropicaux	7 500-21 000 7 000)) 5 000-10 000) 3 000-10 000 650	) ) ) horizon supérieur)))		la teneur en titane dépend de celle de la roche-mère et de la texture du sol	NALOVIČ (LJ.), 1969
Madagascar	sables et limons sableux sédiments argilo-sableux sables argileux sur alluvions schistes grès granite cipolin gneiss calcaire gréseux		sol de terrasse inondable peu évolué sol de levée alluviale peu évolué sol de mangrove vertisol sol ferrugineux tropical sol ferrugineux tropical sol rouge ferrallitique sol brun-rouge ferrallitique humifère sol rouge faiblement ferrallitique lessivé rendzine noire	6 000 5.000 4 300 6 000 2 800 3 000 4 700 3 300 5 300 9 350	) ) ) ) ) horizon supérieur))))))		la teneur diminue quand la profondeur augmente teneur constante le long du profil la teneur augmente en même temps que la profondeur la teneur diminue quand la profondeur augmente	NALOVIČ (LJ.), 1969
Chine du Nord-Est et Mongolie Intérieure	basaltes	111 profils soils forestiers bruns	soils bruns forestiers	6 500 (moyenne)			accumulation dans l'horizon supérieur	FANG (G.L.), 1963
Australie Queensland Brigalowlands		Etude analytique du titane dans 13 profils de sols						GILES (J.B.), 1964

VANADIUM 1

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN VANADIUM TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN VANADIUM UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU VANADIUM	REFERENCES
Pays de Galles	rhyolite apports mélangés dolérite tuf de pierre ponce apports mélangés	) ) ) sols sur ces roches-) mères)		15 100 80 150 75	) ) ) horizon supérieur))	< 0,03) < 0,03) soluble dans 0,1) l'acide acétique < 0,03) à 2,5%, pH 2,5 < 0,03)	dans les sols sur rhyolite teneur en vanadium plus faible que sur les autres roches-mères. Pas d'aug- mentation importante quand la profondeur augmente	ARCHER (F.C.), 1963
Ecosse	dépôt de serpentinite dépôt olivine-gabbro moraine andésitique dépôt granitique dépôt de gneiss granitique dépôt de micaschistes dépôt ardoisé du silurien dépôt de grès	podzol brun bien drainé podzol brun mal drainé sol forestier brun bien drainé podzol tourbeux gleyifié à horizon ferrugineux durci podzol bien drainé podzol bien drainé sol à gley non calcaire mal drainé podzol tourbeux à horizon ferrugineux durci	sol ocre podzologique sol ocre podzologique sol brun forestier podzol hydromorphe à alios podzol podzol sol hydromorphe à gley podzol à alios à horizon Ao tourbeux	70-100 200-300 150-200 15-80 250-150 200-150 200 60-40	) ) B et C gleyifiés))) suivant les) différents) horizons))))	0,02-0,21)))) 0,06-0,49) suivant les) différents) horizons dans) acide acéti-) que 2,5%,) pH 2,5)))		SWAINE (D.J.) et al., 1960
Allemagne Mittelgebirge	olivine, népheline, dia- base, granodiorite, gneiss phyllite, quartz	terres brunes et podzols	sols bruns forestiers et podzols		A, B, C		les variations des teneurs en vanadium dépendent des roches-mères. Les teneurs sont proportionnelles à celles de Fe ₂ O ₃	LENTSCHIG (S.), 1966
Yougoslavie Treskavica		sols de prairie	sols de prairie hydro- morphes				la teneur augmente avec l'épaisseur de l'horizon humique	SAVIĆ (B.), 1964
U.R.S.S. Péninsule de Kola	roches-mères : népheline prédomine, recouvertes de débris de désagrégation	sols de toundra de monta- gne		80	A tourbeux		les profils sont peu dif- férenciés et les varia- tions le long des profils sont peu importantes	DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1963
U.R.S.S. Péninsule de Kola	schistes cristallins re- couverts d'une moraine sablo-argileuse	sols podzolisés sols de marais tourbeux	sols lessivés faiblement podzoliques sols tourbeux				le vanadium s'accumule dans les minéraux de la fraction lourde. La répar- tition le long du profil dépend du processus de formation du sol	DOBROVOL'SKIY (V.V.) et al., 1964
U.R.S.S. Plaine de Meshchov		sols forestiers gris et de transition entre derno- podzols et forestiers gris	sols lessivés et de tran- sition entre sols lessivés faiblement podzoliques et lessivés	100	horizon 0-20 cm			TYURYUKANOV (A.N.) et al., 1964
U.R.S.S. Basse Volga	sable alluvial ancien sables marins anciens sables fluvio-glaciaires sables marins quaternaires	) ) sols sur ces roches-) mères)		traces traces-12 traces 7-29	horizon 0-20 cm		la répartition le long du profil dépend du processus de formation du sol, de la teneur en humus	VAKULIN (A.A.) et al., 1966
U.R.S.S. Biélorussie	sables alluviaux anciens et fluvio-glaciaires : 12 limon argileux moraini- que : 77 limon argileux loessique et type loessique : 77 argiles glaciaires lacus- tres : 159	) ) ) ) sols podzoliques) gazonnés, sableux,) limoneux, argileux ) )	) ) ) ) sols lessivés faiblement) podzoliques de différen-) tes textures))	accumulation	horizon humique		la teneur dépend de la ro- che-mère, de la texture du sol; la répartition le long du profil dépend du processus de formation du sol et de l'accumulation biologique	LUPINOVICH (I.S.), 1965

VANADIUM 2

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN VANADIUM TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN VANADIUM UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU VANADIUM	REFERENCES
U.R.S.S. Géorgie		sols rouges sols argileux rouges	sols rouges méditerranéens sols rouges méditerranéens sur matériau argileux	moyenne 100 - varie de) 70-180) fortes teneurs)				KOBIASHVILI (V.I.), 1964
U.R.S.S. Ustyurt	dépôt de limon argileux fin, du quaternaire	sols brun-gris	sols subdésertiques	16-170		5-45 (soluble à l'eau)	accumulation du vanadium dans horizon supérieur à horizon gypseux	DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1961
U.R.S.S. Turkménistan - Tedzhen		sols takyrs sableux non structurés	sols salés à alcalis des régions désertiques	40-100				GRAZHDAN (P.E.), 1959
U.R.S.S. Région de l'Amour	granite	sol brun forestier	sol brun forestier	120 72 24 89	A1 A/B B C		accumulation dans horizon humique et diminution en A2, en général	KOVDA (V.A.) et al., 1958
	alluvions lacustres : 600 sables et graviers : 200 alluvions sableuses tertiaires : 100 dépôts stratifiés de plaine inondable : 200	chernozems sol brun podzolique sol à gley podzolique	chernozems sol brun forestier lessivé sol à gley lessivé	290 130 160				
	sol de prairie sol de prairie inondable	sol hydromorphe sol hydromorphe		310 140				
Ghana	phyllite granite pegmatite G1 matériau sableux hornblende-schiste matériau basique	sol ferrallitique faiblement désaturé sol ferrallitique faiblement désaturé lithosol sol ferrallitique désaturé sol brun eutrophe tropical sol ferrallitique faiblement désaturé	sol ferrallitique faiblement désaturé sol ferrallitique faiblement désaturé lithosol sol ferrallitique désaturé sol brun eutrophe tropical sol ferrallitique faiblement désaturé	50-200 5-60 100-200 10-30 20-100 200-300	) ) ) selon les différents horizons))))			BURRIDGE (J.C.) et al., 1966
Dahomey	sédiments tertiaires		sol faiblement ferrallitique beige-clair argileux sol faiblement ferrallitique beige sol ferrugineux tropical sol "terre de barre" faiblement ferrallitique sol noir tropical	60-125 10-150 15-86 46-120	) ) ) selon les différents horizons)))		en général augmentation du vanadium quand la profondeur augmente. Cette variation suit celle des argiles. Dans le sol faiblement ferrallitique beige-clair argileux, accumulation en-dessous de 100 cm	PINTA (M.) et al., 1961
Côte d'Ivoire	amphibolite schistes amphibolites schistes granite charnockite		ferrisol terre brune ferrisol rouge faiblement ferrallitique sol hydromorphe peu humifère à pseudo-gley sols ferrallitiques plus ou moins lessivés sols ferrallitiques plus ou moins lessivés sols ferrallitiques très lessivés ranker d'érosion, humifère, noir	100 80 60-100 20-80 30-100 20-100 30-50 30	) ) ) ) ) différents horizons))))		en général il y a accumulation du vanadium dans l'horizon argileux l'horizon profond est pauvre	RIANDEY (C.), 1964
République Centrafricaine	granite itabirite quartzites, micaschistes, migmatite, amphibolite, gneiss, granite		sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes sol peu évolué d'érosion sols ferrallitiques peu désaturés	3-10 10 10-40	) ) ) différents horizons))			BOULVERT (Y.), 1966

VANADIUM 3

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN VANADIUM TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN VANADIUM UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU VANADIUM	REFERENCES
République Centrafricaine	alluvions récentes charnockite, gneiss, migmatite, amphibolite charnockite, gneiss, amphibolite, migmatite amphibolite		sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley sols faiblement ferrallitiques sols ferrugineux tropicaux lessivés sols peu évolués d'érosion vertisols lithomorphes hydromorphes	60-85 60-150 30-200 100-300 200-300	) ) ) ) différents horizons)))			BOULVERT (Y.), 1966
Tchad	sédiments argileux arkose, grès arkosique sédiments argileux et sableux sédiments sableux sédiments argileux et sableux sédiments limoneux-argileux sédiments argilo-sableux sédiments argileux		sols salins, sols à alcalis non lessivés, sols humiques à gley sols ferrallitiques sols ferrugineux tropicaux sols ferrugineux tropicaux à pseudo-gley sols isohumiques subarides sols alluviaux hydromorphes halomorphes vertisols topomorphes vertisols topomorphes sols hydromorphes à gley	55-120 20-250 15-50 20-100 traces-25 100-250 90-200 30-95 25	) ) ) ) ) horizon supérieur))))))		augmentation de la teneur en vanadium avec la profondeur dans tous les types de sols	PIAS (J.), 1968
Tchad	grès à amphibole matériau argilo-sableux		sol peu évolué d'apport, hydromorphe sols hydromorphes peu humifères à gley de surface sols hydromorphes peu humifères à pseudo-gley de profondeur sols ferrugineux tropicaux sols ferrugineux tropicaux à pseudo-gley de profondeur	60 60)) 6-10 ) ) )	) ) ) horizon supérieur))))		augmentation de la teneur en vanadium avec la profondeur dans tous les types de sols	VIZIER (J.F.), 1965
Madagascar	sables et limons sableux sédiments argilo-sableux sables argileux sur alluvions schistes grès granite cipolin gneiss calcaire gréseux		sol de terrasse inondable peu évolué sol de levée alluviale peu évolué sol de mangrove vertisol sol ferrugineux tropical sol ferrugineux tropical sol rouge ferrallitique sol brun rouge ferrallitique humifère sol rouge faiblement ferrallitique lessivé rendzine noire	75 95 130 95 47 18 28 125 170 390	) ) ) ) ) horizon supérieur)))))))		la teneur en vanadium augmente quand la profondeur augmente	NALOVIC (Lj.), 1969
Madagascar	marnes, basaltes alluvions carapace sableuse, matériau gréseux, calcaire, roche basique, calcaire gneiss, roche métamorphique acide granite, calcaire, basaltes, cendres volcaniques		vertisols sol salin et sol hydromorphe à gley, sol hydromorphe sols ferrugineux tropicaux sols ferrugineux tropicaux sols faiblement ferrallitiques sols ferrallitiques	70-180 90 30-60 100-300 90-110 70-130	) ) ) ) horizon supérieur))))		augmentation de la teneur en vanadium avec la profondeur	NALOVIC (Lj.), 1969
Chine du Nord-Est et Mongolie Intérieure	basaltes	111 profils sols forestiers bruns	sols bruns forestiers	en moyenne 92, teneur plus forte que pour les sols européens et nord-américains	accumulation dans l'horizon A			FANG (C.L.) et al., 1963

VANADIUM 4

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN VANADIUM TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN VANADIUM UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU VANADIUM	REFERENCES
Inde		différents types de sols		58-346				SINHA (R.C.P.) et al., 1965
Australie Queensland		5 sols gris et bruns à texture lourde 5 terres noires 4 terres brun-rouge 4 solonetz solodisés 3 krasnozems 2 terres rouges 2 sols podzoliques latéritiques 1 terra rossa 1 rendzine	sols bruns isohumiques vertisols sols ferrallitiques humifères solods sols ferrallitiques sols rouges méditerranéens sols ferrallitiques lessivés sol rouge méditerranéen rendzine	140-180 140-200 120-130 86-130 120-270 160-170 120-200 220 160	) ) ) ) ) suivant les horizons)) (5 par profil)))))			OERTEL (A.C.) et al., 1963
Australie Queensland (Brigalowlands)		13 profils de sols brun-gris de texture lourde à substrats acides	sols bruns isohumiques				la concentration reste constante dans les substrats acides	GILES (J.B.), 1964
Australie Adélaïde		terra rossa rendzines	sols rouges méditerranéens rendzines	120-320 130-250 170-290 140-220	horizon de surface horizon calcaire sous-jacent horizon de surface horizon calcaire sous-jacent		augmentation de la teneur avec la profondeur; la teneur dépend de celle de la roche-mère	Mc. KENZIE (R.M.), 1959
Sud-Est		terra rossa rendzines	sols rouges méditerranéens rendzines	82-160 190-270 26-110 200-280	horizon de surface horizon calcaire sous-jacent horizon de surface horizon calcaire sous-jacent			
Nouvelles Hébrides	ponces acides sur scories basiques scories basaltiques		sols peu évolués d'apport, sols brun-rouge sols brun-rouge et bruns eutrophes	) ) 40-80))			la teneur en vanadium varie peu avec la profondeur	TERCINIER (G.), 1964
Nouvelle Calédonie	quartz, flysch à ciment calcaire, tufs scoriacés basaltiques sédiments basaltiques, sable calcaire, calcaire corallien calcaire corallien et ponce volcanique		sols peu évolués d'apport, sols bruns eutrophes, solod, vertisols, sols bruns et brun-rouge vertiques, sols ferrallitiques, plus ou moins dégradés, sols d'érosion sols rendziniiformes, sols semi-tourbeux, alluvion grise sols humocarbonatés hydromorphes plus ou moins humifères	) ) ) ) 70-90)))))) 2-7)))) traces à 2 )	) ) ) ) ) ) horizon supérieur))))))			TERCINIER (G.), 1966
Polynésie Française Ile Moorea	alluvions d'origine volcanique marécage de bord de plaine basaltes et basaltes andésitiques éboulis basaltiques		sols alluviaux hydromorphes plus ou moins humifères sol hydromorphe semi-tourbeux sols ferrallitiques indurés en sous-sol sols ferrallitiques plus ou moins dégradés sols juvéniles brun-gris, pierreux	35-110 15 30-105 80-120 50-100	) ) ) horizon supérieur)))		la variation de la teneur en vanadium le long du profil dépend du type de sol, de la teneur en humus	TERCINIER (G.), 1963
Iles Hawaï		différents types de sols sols latéritiques ferrugineux bruns	sols ferrallitiques humifères, peu désaturés	190-1520 moyenne : 450 très forte concentration	) ) surface)		la teneur dépend de la roche-mère et du processus de désagrégation	NAKAMURA (M.T.) et al., 1961

ZINC 1

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN ZINC TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN ZINC UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU ZINC	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Finlande		Etude du zinc dans	les sols de Finlande							SILLANPÄÄ (M.), 1962
Ecosse	dépôt de serpentinite dépôt granitique	podzol brun bien drainé podzol tourbeux gleyifié à horizon ferrugineux durci	sol ocre podzolique podzol hydromorphe à alios			< 5-18 (soluble dans (acide acétique < 5-26) à 2,5%, pH 2,5				SWAINE (D.J.) et al., 1960
Danemark		240 sols lehms sables	limons sables	plus fort dans les lehms que dans les sables		) 0,4 (soluble à) à (l'E.D.T.A.) 41 (l'E.D.T.A.	le zinc soluble à l'E.D.T.A. augmente en même temps que la matière organique; le pH est sans action			JENSEN (H.L.) et al., 1961
France		Etude de la carence en zinc des plantes								DARTIGUES (A.), 1964
Italie		Essais de cultures en serre							le zinc, surtout sous forme de sulfate, est utile aux plantes	BANFI (G.), 1960
Pays-Bas						zinc soluble dans l'acide acétique à 2,5%: très fort		toxicité dans avoine et betteraves	le chaulage diminue la toxicité	HENKENS (C.H.), 1961
Allemagne Bavière		terres brunes pararendzines sols à pseudo-gley	sols bruns forestiers sols bruns calcaires sols hydromorphes à gley			zinc soluble dans l'acide chlorhydrique N				RID (H.) et al., 1965
Pologne		sables argileux sols alluviaux sols tourbescents terres noires	sols alluviaux sols hydromorphes à gley de surface humifère chernozems			2,7 (zinc dosé par 7,2 (l'aspergillus 8,8 (niger (9,3 (	la teneur en zinc diminue quand la profondeur augmente; elle augmente en même temps que la teneur en matière organique; elle est plus forte dans les sols lourds que dans les sols légers			NOWOSIELSKI (O.), 1961
Pologne Wielkopolska		sols alluviaux chernozems podzols sols tourbeux	sols alluviaux chernozems podzols sols tourbeux			teneurs fortes (zinc soluble teneurs fortes (soluble teneurs faibles (dans l'acide teneurs faibles (chlorhydrique N				CZEKALSKI (A.) et al., 1965
Pologne		sols sableux							le zinc soluble est plus fort dans les horizons supérieurs; les sols sont plus riches que les roches-mères	KABATA-PENDIAS (A.) et al., 1965
Pologne Kielce		rendzines	rendzines	accumulation	A (B)				l'accumulation biologique et la répartition des minéraux argileux sont responsables de l'accumulation de zinc en A et (B); la solubilité diminue quand la profondeur augmente, elle est liée à la matière organique	KABATA-PENDIAS (A.), 1965

ZINC 2

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN ZINC TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN ZINC UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU ZINC	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Tchécoslovaquie			48 profils de sols	traces - 25 (dans 45% des sols)			la teneur dépend de la roche-mère et du processus de formation du sol	pas de toxicité		SMELHAUS (V.) et al., 1964
Tchécoslovaquie	schistes	sols limoneux		accumulation	B		la teneur en zinc dépend de la teneur en argile et en matière organique	sols carencés		BENEŠ (S.), 1964
région de Flysch	grès	sols sableux acides		lessivage	B					
Tchécoslovaquie (Slovaquie)	63 échantillons schistes (+ fortes) argiles (teneurs) dolomites) 23 loess) à grès) 13 calcaires) sables)									JURÁN (C.), 1966
Roumanie Cluj		chernozems érodés riches en humus podzols sols bruns forestiers	chernozems érodés très humifères podzols sols bruns forestiers	très forte : peut atteindre 103 assez faible : 28 moyenne						NEMES (M.) et al., 1959
Roumanie Olt		chernozems sols forestiers brun-rouge et rouge podzols	chernozems sols bruns forestiers podzols	très forte) 84 moyenne) à faible) 46,5	) couche arable					BAJESCU (N.) et al., 1960
Roumanie Dobrudja	loess roches éruptives, schistes calcaires	sols zonaux sols squelettiques	chernozems sols squelettiques	73			variation avec la teneur de la roche-mère			BAJESCU (I.) et al., 1962
Hongrie		15 chernozems	chernozems				la teneur en zinc total varie comme le complexe argile-humus mais ne dépend pas du pH ni de la teneur en CO ₂ Ca, elle diminue avec la profondeur. Les pH forts agissent de façon négative sur le zinc utilisable			SZÜCS (L.) et al.,
Bulgarie		smornitza - chernozems sols cannelle de prairies sols forestiers gris sols forestiers cannelle sols salins sols tourbeux sols alluviaux de prairies podzols zelthozems	sols châtaîns vertiques, chernozems sols châtaîns hydromorphes sols lessivés sols châtaîns sols salés à alcalis sols tourbeux sols alluviaux hydromorphes sols lessivés	63-97 88-98 35-78 42-106 39-63 80 62 32	) horizon supérieur	varie de traces à 3,8) extrait par l'acétate d'ammoniaque N) < 1))) 4,6) 3,5)) 4,9) 1,7) 2,3) 8,3) % du zinc total	pas de relation nette entre la teneur en zinc de la roche-mère et celle des sols			STANCHEV (L.) et al., 1962
Bulgarie	roches-mères calcaires et loess	chernozems calcaires sols alluviaux de prairies sols de prairies marécageux rendzines	chernozems calcaires sols alluviaux hydromorphes sols hydromorphes rendzines	) 30-80) les sols sur loess sont plus pauvres en zinc		pas de zinc soluble à l'eau, le zinc échangeable est très faible (teneur convenable en zinc soluble dans l'acétate d'ammoniaque)				MASEV (N.), 1964

ZINC 3

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN ZINC TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN ZINC UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU ZINC	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S. Lettonie	limons argileux de moraine à texture grossière contenant de la dolomite	podzols gazonnés peu podzolisés podzols gazonnés assez podzolisés sols à gley gazonnés sols à gley humiques gazonnés humifiés sols gazonnés carbonatés lessivés sols à gley podzolisés gazonnés podzols gazonnés très cultivés	sols lessivés peu podzoliques sols dernopodzoliques sols à gley sols humiques à gley sols bruns calcaires sols podzoliques à gley podzols			0,28-0,31)) 0,47)) 0,03) soluble dans 0,16) l'acide) chlorhydrique N) 0,09)) 0,18)) 0,13))				PEYVE (Ya. V.) et al., 1964
J.R.S.S. Péninsule de Kola	roches-mères : néphéline prédomine, recouvertes de dépôts surtout éluviaux	sols de toundra de montagne		50-160	) ) selon les) horizons)		pas de grandes variations du zinc le long du profil - accumulation biogénétique			DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1963
J.R.S.S. Péninsule de Kola	schistes cristallins (rubis granulites) à intrusion de norite : 100, recouverts d'une moraine sablo-argileuse gris-verdâtre : 50	sols podzolisés sols de marais tourbeux (sols de taïga)	sols lessivés podzoliques sols tourbeux	faible	Ao		la teneur en zinc dépend du processus de formation du sol. Accumulation dans les minéraux de la fraction lourde			DOBROVOL'SKIY (V.V.) et al., 1964
J.R.S.S. Taïga du Sud		sols sableux très podzolisés sols à gley tourbeux sols podzoliques légèrement dermo	sols sableux podzoliques sols tourbeux sols lessivés faiblement podzoliques	pauvre pauvre pas de zinc	A2 horizon éluvial					BRLOV (A. Ya.) et al., 1966
J.R.S.S. Taïga du Sud	couverture de limon	sols limoneux dernopodzoliques	sols lessivés faiblement podzoliques sur matériaux limoneux				la répartition du zinc le long du profil dépend du degré de podzolisation, elle suit la répartition de l'humus, elle augmente dans la couche cultivée; le zinc mobile s'accumule pendant la période de culture			NIKITIN (B.A.), 1966
J.R.S.S. Carélie	argiles glaciaires lacustres moraine	sols légèrement podzolisés et limons sableux	sols lessivés sols sur matériaux limoneux	) ) 7,79-66,7 )	) ) horizon supérieur)					TOIKKA (M.A.) et al., 1965
J.R.S.S. Carélie du Sud	argiles moraines dépôts glaciaires lacustres	sols cultivés sur ces roches-mères		plus fort que dans sols sur moraine accumulation	horizon humique					VOLODIN (A.M.) et al., 1965
J.R.S.S.		Etudes et références bibliographiques	bibliographiques sur le zinc dans les sols d'U.R.S.S.							KOYVA (V.A.) et al., 1964
J.R.S.S. Lijes de la Moscova		sols alluviaux de prairie	sols alluviaux hydromorphes	82-130	horizon humique	0,2-27, extrait par l'acétate d'ammoniaque N	variations saisonnières avec le potentiel d'oxydo-réduction qui dépend de Fe_2/Fe_3			BONDARENKO (G.P.), 1962

ZINC 4

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN ZINC TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN ZINC UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU ZINC	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S. Biélorussie	limon argileux de moraine : 8-23 limon argileux type loessique : 5-45 argiles lacustres limon argileux sables fluvioglaciaux et alluviaux anciens	sols podzoliques gazonnés sols podzoliques gazonnés sols podzoliques gazonnés sols podzoliques gazonnés hydromorphes humifères sols podzoliques gazonnés rendzines sols de marais tourbeux	sols lessivés faiblement podzoliques sols lessivés faiblement podzoliques sols lessivés faiblement podzoliques sols lessivés faiblement podzoliques hydromorphes humifères sols lessivés faiblement podzoliques rendzines sols tourbeux	2,1-13 8,3-20,4 0,84-8,5 4,7-14 4,4-9,3 3,8-11,9	) ) ) ) ) horizon A1)))))))))					VIL'GUSEVICH (I.P.) et al., 1960
U.R.S.S. Biélorussie	argiles loessiques de moraine argiles lacustres	podzols gazonnés podzols gazonnés sols organiques tourbeux	sols podzoliques sols podzoliques sols tourbeux	) ) 0,65-1,95)		zinc échangeable zinc total : 0,049-0,92				VIL'GUSEVICH (I.P.), 1961
U.R.S.S. Crimée	dépôts carbonatés déluviaux-proluviaux roches carbonatées	chernozems carbonatés sol cannelle chernozems légèrement humiques	sols châtains (intergrade de chernozem) sols châtains chernozems	) ) ) horizon 0-50 cm)))		teneur en zinc mobile : faible teneur en zinc mobile : moyenne	relation très nette entre la teneur en zinc et celle de la roche-mère			ZYRIN (N.G.) et al., 1964
U.R.S.S. Bassin Oural-Sakmara	sédiments du jurassique, crétacé, tertiaires, dans l'Est à l'Ouest : déluvium de serpentine et éluvium-déluvium de Tuf	chernozems, chernozems solonetziformes sols forestiers gris foncé chernozems chernozems	chernozems solonetz sols gris forestiers chernozems chernozems	45 fortes teneurs	horizon supérieur plus riche horizon illuvial		le zinc augmente avec la profondeur; relation nette entre la teneur en zinc des sols et celle de la roche-mère; augmentation du zinc dans la partie supérieure du profil			KRYM (I. Ya.), 1964
U.R.S.S. Bachkir		sols gris forestiers derno-podzols sols à gley gazonnés sols à gley de forêts sols à gley tourbeux sols chernoziformes de prairie chernozems à forte teneur en humus	sols lessivés sols lessivés faiblement podzoliques sols à gley sols lessivés à gley sols tourbeux chernozems hydromorphes chernozems très humifiés			très forte) -) -) zinc soluble dans plus faible) l'acide -) chlorhydrique N -))				SHAROVA (A.S.) et al., 1960
U.R.S.S. Ustyurt	dépôt de limon argileux fin, du quaternaire	sols brun-gris	sols subdésertiques	traces - 40	horizon de surface et horizon humique	traces - 50) zinc soluble à l'eau	le zinc soluble à l'eau s'accumule dans l'horizon humique			DOBROVOL'SKIY (V.V.), 1961
U.R.S.S.	shungite	sols sur ce minéral sols derno-podzoliques	sols lessivés faiblement podzoliques	teneur plus forte que pour les sols lessivés						TOIKKA (M.A.), 1964

ZINC 5

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN ZINC TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN ZINC UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU ZINC	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S. Rostov (Caucase)		chernozems cis Caucasiens sols châtain solonetz	chernozems sols châtain solonetz	56-680 43-49 teneur des horizons solonetz plus forte que celles des horizons A et C 850 27	A C		les composés du zinc, solubles à l'eau s'accumulent dans les horizons supérieurs			KULESHOV (G.T.), 1959
U.R.S.S. Rostov (Caucase)		sols de prairies du Don inférieur	sols hydromorphes		A horizon marécageux					
U.R.S.S. Rostov (Caucase)		chernozems du Nord Azov chernozems cis Caucasiens	chernozems chernozems	62-66 50-60	) ) horizons supérieurs)	traces de zinc soluble à l'eau	le zinc diminue en même temps que la teneur en humus des différents horizons			SHAKURI (B.K.), 1964
U.R.S.S. Région de Stavropol		sols châtain solonetz	sols châtain solonetz	14,4-71,1 accumulation	A et B B	< 0,09	le zinc total diminue avec la profondeur et une teneur en humus décroissante. Pas de zinc dans horizons calcaires			RODINA (E.M.), 1965
U.R.S.S. Kouban	schistes argileux	sols forestiers gris pâle sols forestiers gris foncé sols forestiers bruns	sols bruns forestiers sols lessivés sols gris forestiers sols bruns forestiers	) ) fortes teneurs))						SERGEEVA (N.G.), 1966
U.R.S.S. Azerbaïdjan Sal'Yansk		rendzines sols de prairies carbonatés alluviaux chernozems	rendzines sols hydromorphes peu évolués sur alluvions calcaires chernozems	) ) teneurs beaucoup plus faibles)						
U.R.S.S. Azerbaïdjan Sal'Yansk		sérozems de prairies solonchaks	sols subdésertiques hydromorphes sols salés à alcalis	) ) 0,5-5,4)						SHAKURI (B.K.) et al., 1965
U.R.S.S. Ouzbékistan		sérozems pâles du centre sérozems pâles du sud sols irrigués sols vierges	) ) ) sols subdésertiques))	60-68 108-112	) ) A) en général la couche arable est plus riche que les couches inférieures	2,7-3,5 2,1-3,3	4,5-5,1 2,3-3	les sols cultivés sont plus riches en zinc utilisable que les sols vierges. Les sols du Sud sont plus riches que ceux du Centre		KRUGLOVA (Ye. K.), 1964
U.R.S.S. Ouzbékistan		sérozems pâles irrigués sérozems noirs non irrigués solonchaks	sols subdésertiques sols bruns isohumiques sols salés à alcalis	très faible)) 44 très forte)) 83 )		) ) ) pas de zinc mobile)				MIRZAEVA (K. Kh.), 1963
U.R.S.S. Turkménistan Tedzhen		sols takyrs sableux non structurés	sols salés à alcalis des régions désertiques	100-900						GRAZHDAN (P.E.), 1959
U.R.S.S. Turkménistan Amou-Daria		sols de prairie irrigués	sols hydromorphes	32-78		5-18,6) soluble dans l'acide nitrique N	la teneur augmente quand la texture devient plus grossière et avec la culture des sols			ATLAVINA (S.A.), 1965

ZINC 6

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN ZINC TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN ZINC UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU ZINC	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
U.R.S.S. Région de l'Amour	granite alluvions lacustres : 5,7 sables et graviers : 12 alluvions sableuses tertiaires : 10 dépôts stratifiés de plaine inondable : 86	sol brun forestier chernozems sols bruns podzoli-ques sols à gley podzoli-ques sols de prairies sols de prairies inondables	sol brun forestier chernozems sols bruns forestiers lessivés sols podzoli-ques à gley sols hydromorphes sols hydromorphes	14 72 43 32 70 97						KOVDA (V.A.) et al., 1958
Canada Nouvelle Ecosse		(sables limoneux 4 (limons graveleux	sols plus ou moins évolués	) ) 247-503)					des pulvérisations de sulfate de zinc augmentent la teneur en oligo-éléments des herbages	SMELTZER (G.G.) et al., 1962
Canada Nouveau Brunswick	roches non sulfurées	53 podzols	podzols	87 59 90 98 98	L-H Ae B1 B2 C					PRESANT (E.W.) et al., 1965
	roches sulfurées	18 podzols	podzols	392 259 604 1 014 1 218	L-H Ae B1 B2 C					
U.S.A. Ouest de la Floride								des apports de chaux provoquent la carence dans le soja	l'oxyde de zinc corrige cette carence	HUTTON (C.E.), 1963
U.S.A.		Etudes en serre sur	l'action du zinc sur les sols carencés							BROWN (A.L.) et al., 1964
U.S.A.		Etudes en serre loess sableux sol argileux				le zinc extrait par la dithizone diminue après chaulage		par apport de chaux pas de carence du maïs par apport de chaux carence du maïs		BROWN (A.L.) et al., 1964
Iles Hawaii	basaltes et cendres volcaniques : 112-148			51-288		0,1-18 : zinc extrait par acide chlorhydrique N	le zinc total ne varie pas avec la profondeur, le zinc utilisable diminue avec la profondeur	carence dans sols acides l'apport important de phosphore diminue la fixation du zinc	carence corrigée par le chaulage et l'apport de sulfate de zinc	KANEHIRO (Y.), 1964
Chine Tche-Kiang		sols alluviaux terres-jaunes et brunes	sols alluviaux sols jaunes et rouges blanchis	1,7-64					le zinc pulvérisé augmente le nombre de fruits (citrons)	LIU (C.) et al., 1961
Chine (N-E) et Mongolie intérieure	basaltes	111 profils de sols sols forestiers bruns	sols bruns forestiers	moyenne : 85 teneur plus forte que pour sols européens et nord-américains	accumulation en A					FANG (C.L.) et al., 1963
Japon	cendres volcaniques roches tertiaires alluvions serpentinite	) ) 43 sols sur ces) roches-mères)				0,4-27 : la plupart entre 1-8		limite de carence : 2,5 ppm de zinc utilisable; sur alluvions limite de carence : 4-5 ppm de zinc utilisable		YATAZAWA (M.) et al., 1965

ZINC 7

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN ZINC TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN ZINC UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU ZINC	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Israël	calcaire	terres rouges	sols rouges méditerranéens	200-214		11-13) 6,2-6,5)	la teneur en zinc dépend de la teneur en matière organique et de la teneur en argiles plus limons	sols carencés		RAVIKOVITCH (S.) et al., 1961
	grès calcaire	sols sableux brun-rouge	sols brun-rouge iso-humiques des régions subtropicales	48	échantillon moyen 0-30 cm	3,3-4,7) 6,9-9,6)				
	marnes "terra-rossa" alluvionnaires et dépôts éoliens	rendzines de vallées arides	rendzines sols bruns tropicaux iso-humiques sur matériaux rubéfiés	100-130 82-88	30-60 cm 60-90 cm	6,1-7,2) 2,8-3,7) 3,4-4,2)				
	restes de papyrus	sols salés désertiques sols de loess sols tourbeux	loess sols tourbeux	100-200 75 70-150		5,5-9,3) 2,2-2,9) 1,9-5,6)				
						soluble à l'E.D.T.A. % du zinc total				
Egypte		sols lourds, ouest du Delta		forte		17-28)	engrais utiles		KICK (H.), 1963	
		sols argileux, nord du Delta	sols argileux	très forte		22-46)				
		sols sableux, sud du Delta	sols sableux	pauvre		1,6-10)				
		pelosols (oasis de Fayoum)	sols à pseudo-gley de surface, très argileux			27,5) zinc soluble dans acide chlorhydrique				
		sols vallée du Nil (Ayat)				51-66) 10 %				
		sols Moyenne Egypte, vallée du Nil				7,6-8)				
		sols Haute Egypte (Kom-Ombo) Oasis de Kargha				25-64) 20-21)				
Mali	roches noires	limon argileux brun-rouge	sols ferrugineux tropicaux peu lessivés	1,9-4,8		0,2-0,9) zinc soluble dans chlorure de potassium N	carence de tous les sols		PEYVE (Ya. V.), 1963	
		alluvions brun-clair	sols alluviaux	2,5						
Dahomey	sédiments tertiaires		sol faiblement ferrallitique beige clair argileux	85-148)	en général augmentation de la teneur en zinc quand la profondeur augmente - cette variation suit celle des argiles			PINTA (M.) et al., 1961	
			sol faiblement ferrallitique beige	55-280)					
			sol ferrugineux tropical	50-65	) selon différents horizons				
			sol "terre de barre" faiblement ferrallitique	40-100)					
			sol noir tropical	80-114)					
République Centrafricaine	quartzite, micaschistes, migmatite, granite, gneiss, amphibolite amphibolite, itabrite alluvions récentes		sols ferrallitiques faiblement désaturés)	différents horizons				BOULVERT (Y.), 1966	
			sols ferrugineux hydromorphes lessivés	) 25-40					
			sols peu évolués d'érosion)						
			sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley)						
Tchad	arkose et grès arkosique sédiments argileux et sableux sédiments sableux sédiments limoneux-argileux sédiments argilo-sableux sédiments argileux		sols ferrallitiques	25-145)	la teneur en zinc, le long du profil, ne varie presque pas, elle tend à diminuer très légèrement avec la profondeur dans tous les types de sols			PIAS (J.), 1968	
			sols ferrugineux tropicaux	25-100)					
			sols iso-humiques subarides	10)					
			sols ferrugineux tropicaux à pseudo-gley	25-300	) horizon supérieur				
			sols alluviaux hydromorphes halomorphes	25-100)					
			vertisols topomorphes	25-90)					
			sols hydromorphes à gley vertisols topomorphes	40 40))					

ZINC 10

ORIGINE	ROCHE-MERE ET TENEUR DE LA ROCHE-MERE (p.p.m.)	TYPE DE SOL	TYPE DE SOL DANS LA CLASSIFICATION FRANCAISE	TENEUR EN ZINC TOTAL (p.p.m.)	HORIZON	TENEUR EN ZINC UTILISABLE PAR LES PLANTES (p.p.m.)	VARIATIONS DU ZINC	CARENCE OU TOXICITE	ACTION DES ENGRAIS	REFERENCES
Inde Ouest		58 types de sols		20-95		0,5-6, soluble dans l'acide chlorhydrique 0,1 N soit 1,4 à 7,3% du zinc total; la plus forte teneur en zinc disponible se trouve en surface	relation positive entre zinc disponible et teneur en matière organique; relation négative entre zinc disponible et pH; pas de relation entre le zinc total ou disponible et la teneur en argile	limite de carence : 1 limite de toxicité : 100	apport de zinc utile pour plantes à racines profondes	NAIR (G.G.R.) et al., 1959
Inde		sols alluviaux sols rouges non cultivés sols noirs (riches en calcium) latérites	sols alluviaux vertisols sols à cuirasse	34-68 74 69-76 24-30		4,5-6,3) 7) zinc soluble dans l'acide 1,1-3,8) chlorhydrique 0,1 N 1,3)				LAL (B.) et al., 1960
Inde		Etude du zinc dans différents sols indiens								DATTA (N.P.), 1964
Inde Bombay	granite alluvions basaltes	1.000 échantillons de sols sableux sols sableux limoneux sols argileux et de lehms	sols sableux sols limoneux sols argileux	assez faible		teneur suffisante en zinc utilisable, dans presque tous les sols	la teneur dépend surtout du degré d'évolution du sol		apport de zinc bénéfique pour certains sols	DUARTE (U.M.) et al., 1961
Inde Punjab	quartz, feldspath, mica, hornblende, tourmaline	7 échantillons de sols alluviaux finement texturés sols sableux	sols alluviaux sols sableux	) 18) à) moyenne 07,5) 54,5			le zinc diminue quand la grosseur des particules augmente			ZANDHAWA (N.S.) et al., 1964
Inde Punjab		sols argileux rougeâtres	sols rouges, type subtropical					carance	le zinc sous forme de sulfate augmente les récoltes de thé	KANWAR (J.J.) et al., 1964
Inde Punjab		7 profils de sols salés alcalins	sols salés à alcalis		horizon supérieur	traces - 0,65 (moyenne 0,30) soluble dans l'acétate d'ammoniaque N				BHUMBLA (D.R.) et al., 1964
Inde Gujarat		sol goradu (sable limoneux jaune brunâtre) sol noir moyen sol à coton noir	sol vertique vertisol	) ) 20-95 ) )		) ) 0,50-6,05))				MEHTA (B.V.) et al., 1964
Inde Gujarat	grès 16 schistes 47 calcaire 24 roches ignées 51	sol noir sol alluvial sol alluvial de Delta sol noir moyen	vertisol sol alluvial sol alluvial sol vertique	59-72 49-63 76-80 66		3,33-3,88) zinc soluble 1,79-2,78) dans l'acide 4,32-4,57) chlorhydrique 1,36) 0,1 N				RAYCHAUDHURI (S.P.) et al., 1964
Inde Maharashtra		24 sols limons rouges sableux limons rouges argile latéritique argiles noires limons argileux salés limon salé argiles salées limons alluvionnaires côtiers	sols ferrugineux tropicaux sols ferrugineux tropicaux sol faiblement ferrallitique argileux vertisols sols halomorphes sur limon argileux sols halomorphes sur limon sols halomorphes sur argiles sol alluviaux sur limons	40-46 35-65 64 30-60 29-30 25 40-51 40-43						RANADIVE (S.J.) et al., 1964

0

Les Editions de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer tendent à constituer une documentation scientifique de base sur les zones intertropicales et méditerranéennes et les problèmes que pose le développement des pays qui s'y trouvent.

CAHIERS ORSTOM

– Séries périodiques :

- **entomologie médicale et parasitologie** : articles relatifs à l'épidémiologie des grandes endémies tropicales transmises par des invertébrés, à la biologie de leurs vecteurs et des parasites, et aux méthodes de lutte.
- **géologie** : études sur les trois thèmes suivants : altération des roches, géologie marine des marges continentales, tectonique de la région andine.
- **hydrobiologie** : études biologiques des eaux à l'intérieur des terres, principalement dans les zones intertropicales.
- **hydrologie** : études, méthodes d'observation et d'exploitation des données concernant les cours d'eau intertropicaux et leurs régimes en Afrique, Madagascar, Amérique du Sud, Nouvelle Calédonie...
- **océanographie** : études d'océanographie physique et biologique dans la zone intertropicale, dont une importante partie résulte des campagnes des navires océanographiques de l'ORSTOM ou utilisés par lui.
- **pédologie** : articles relatifs aux problèmes soulevés par l'étude des sols des régions intertropicales et méditerranéennes (morphologie, caractérisation physico-chimique et minéralogique, classification, relations entre les sols et géomorphologie, problèmes liés aux sels, à l'eau, à l'érosion, à la fertilité des sols) ; résumés des thèses et notes techniques.
- **sciences humaines** : études géographiques, sociologiques, économiques, démographiques et ethnologiques concernant les milieux et les problèmes humains principalement dans les zones intertropicales.

– Séries non périodiques :

- **biologie** : études consacrées à diverses branches de la biologie végétale et animale.
- **géophysique** : données et études concernant la gravimétrie, le magnétisme et la sismologie.

MEMOIRES ORSTOM : consacrés aux études approfondies (synthèses régionales, thèses...) dans les diverses disciplines scientifiques (44 titres parus).

ANNALES HYDROLOGIQUES D'OUTRE-MER : depuis 1959, deux séries sont consacrées : l'une aux Etats africains d'expression française et à Madagascar, l'autre aux Territoires et Départements français d'Outre-Mer.

FAUNE TROPICALE : ouvrages concernant l'Afrique du Nord, l'Afrique tropicale, Madagascar, la Réunion et la partie orientale de l'Atlantique tropical (18 titres parus).

INITIATIONS/DOCUMENTATIONS TECHNIQUES : mises au point et synthèses au niveau, soit de l'enseignement supérieur, soit d'une vulgarisation scientifiquement sûre (15 titres parus).

TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'ORSTOM : cette collection, très souple dans ses aspects et ses possibilités de diffusion, a été conçue pour s'adapter à des textes scientifiques ou techniques très divers par l'origine, la nature, la portée dans le temps ou l'espace, ou par leur degré de spécialisation (6 titres parus).

L'HOMME D'OUTRE-MER : exclusivement consacrée aux sciences de l'homme, cette collection est maintenant réservée à des auteurs n'appartenant pas aux structures de l'ORSTOM (13 ouvrages parus).

De nombreuses **CARTES THÉMATIQUES**, accompagnées de **NOTICES**, sont éditées chaque année, intéressant des domaines scientifiques ou des régions géographiques très variées.

BULLETINS ET INDEX BIBLIOGRAPHIQUES : Bulletin analytique d'entomologie médicale et vétérinaire (mensuel) et index bibliographique de botanique tropicale (trimestriel).

O. R. S. T. O. M.

Direction générale :

24, rue Bayard, PARIS-8^e

Services Scientifiques Centraux :

Service Central de Documentation :

70-74, route d'Aulnay - 93-BONDY
