

R. AMMON,

Universität des Saarlandes, Medizinische Fakultät,  
Homburg (SAAR)  
R. F. A.



## LES OLIGO-ELEMENTS ET LEUR IMPORTANCE POUR LA VIE

Conférence prononcée le 3 Février 1970 à la Faculté des  
Sciences de Lisbonne pour la Société Portugaise de Chimie  
et Physique.

Par analyse d'un corps humain ou animal nous devons constater que 98 % des substances du corps sont constituées par du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène, de l'azote, du calcium et du phosphore. Si l'on en additionne les 6 éléments, potassium, soufre, chlore, sodium, magnésium et fer en ordre descendant, on obtient seulement 99,5 % de la masse totale du corps. Donc il reste toujours un déficit de 0,5 %. La composition chimique de ces 0,5 % de substances sera discutée.

Tableau I

Un homme adulte de 70 kg contient :

O (Oxygène)	44 kg	K (Potassium)	170 g
C (Carbone)	14 kg	S (Soufre)	140 g
H (Hydrogène)	7 kg	Cl (Chlore)	70 g
N (Azote)	2,1 kg	Na (Sodium)	70 g
Ca (Calcium)	1,0 kg	Mg (Magnésium)	30 g
P (Phosphore)	700 g	Fe (Fer)	6 g

D'abord les 12 éléments connus. Le tableau I nous donne une idée des proportions de ces éléments dans l'organisme. C'est ainsi qu'il y a une différence de 44 kg pour l'oxygène et de 6 g pour le fer. Ce sont ces éléments faisant la somme de 99,5 % de la masse du corps que l'on a désigné comme des éléments en grandes quantités. Je ne connais pas le synonyme pour préciser que ces éléments se trouvent en grandes quantités dans l'organisme. Mais une grande partie de ces éléments sera nommée par les chercheurs français comme des «éléments plastiques» — ce nom le dit.

La question sur le nombre et la nature des éléments qui représentent le reste de 0,5 % nous conduit directement à la définition de la notion des «oligo-éléments» (*Spurenelemente* en allemand et *minor elements* en anglais) en sachant que 0,5 % de la masse du corps comprennent 40 éléments environ. La quantité de chaque élément doit donc être extrêmement petite. C'est ainsi que le nom d'oligo-éléments pour ces éléments en quantités infinitésimales est très bien choisi. Ce nombre de 40 n'est pas définitif, parce qu'il est possible de l'augmenter à mesure qu'on améliore les méthodes analytiques. Je reviendrai sur ce problème plus tard.

Il n'est pas besoin de commenter l'importance des éléments plastiques respectivement des éléments en

Tableau II

## Classification des oligo-éléments

bio-oligo-éléments quantités totales resp. valeurs appré- ciées	oligo-éléments d'importance problématique	oligo-éléments d'accompagnement, de civilisation, de obligatoires	
Fe, 6 g	As	Al	éléments radioactifs (naturels) $^{40}\text{K}$ - 20,4 mg - 120 n Ci gaz rares $^{14}\text{C}$ ----- 8 n Ci $^{226}\text{Ra}$ - 10 <sup>-10</sup> g - 0,1 n Ci U au lieu de millimicrocuries (10 <sup>-9</sup> C) sera employé l'ex- pression internationale: nano <sup>9</sup> curies = n Ci
Zn, 1,5-4,5 g	Cr	Br	
F, 3 g	Ni	Cs	
Cu, 150 mg	Se	g	
Mn, (40 mg)	Si (p. e. diatomées, plantes)	Hg	
I, 25 mg	V (ascidies et champignons)	Pb	
Co, (5 mg)	B (végétaux)	Rb	
Mo		Sr	

grandes quantités pour l'organisme mais on doit se demander si les oligo-éléments sont importants pour l'organisme.

Sans doute *tous* les oligo-éléments n'ont pas la même importance. Nous devons classer ces oligo-éléments en 3 groupes. Regardez, s'il vous plait, cette classification au tableau II.

1. Les bio-oligo-éléments, les éléments dont les fonctions sont bien connues.
2. Les oligo-éléments, dont les fonctions sont encore problématiques.
3. Les oligo-éléments, que l'on appelle des éléments d'accompagnements, des éléments de civilisation. Il se peut que ceux-ci ne soient que des impuretés fixées par les organismes, mais constamment présentes.

Tableau III

Un amphithéâtre de 500 mètres cubes contient:

Néon, Ne	8	l
Argon, A	4,5	l
Hélium, He	2	l
Krypton, Kr	0,5	l
Xénon, X	40	ml

Je veux vous démontrer l'exactitude de cette classification à l'aide de quelques exemples dans les trois groupes.

D'abord le dernier groupe. Il contient les gaz rares. Si nous pensons aux gaz rares, qui sont contenus dans l'air respiratoire et en tenant compte de leur inactivité chimique, il est clair que ces éléments se trouvent nécessairement dans notre corps en quantités infinitésimales et sans aucune importance.

Je voudrais vous donner une idée sur les quantités de gaz rares, qui sont contenus dans un amphithéâtre de 500 m<sup>3</sup>. Je répète: Ces gaz rares sont vraiment des oligo-éléments sans aucune importance physiologique (tableau III).

Une autre question se présente ici. Nous savons qu'une grande partie des éléments comme par exemple l'oxygène et le fer, caractérisés par les symboles O respectivement Fe, sont en réalité des mélanges d'isotopes, ayant les mêmes propriétés et le même nombre atomique mais des poids atomiques différents.

Dans le tableau IV vous voyez quelques éléments, qui se sont associés à leurs isotopes dans notre corps.

Vous remarquez que l'hydrogène, élément plastique, respectivement un élément en grandes quantités dont un homme contient 7 kg, contient l'isotope <sup>2</sup>H,

Tableau IV

Le taux des isotopes dans l'organisme humain

Un homme de 70 kg contient	isotopes	taux %	dans l'organisme humain	remarques
H: 7 kg	$^2\text{H}$	0,014	980 mg	
C: 14 kg	$^{13}\text{C}$	1,1	154 g	
N: 2,1 kg	$^{15}\text{N}$	0,38	7,98 g	
O: 44 kg	$^{18}\text{O}$	0,2	88 g	aussi $^{17}\text{O}$
	$^{25}\text{Mg}$	11,5	3,45 g	
Mg: 30 g	$^{26}\text{Mg}$	11,1	3,33 g	
	$^{40}\text{K}$	0,012	20,4 mg	émetteur $\beta$
K: 170 g	$^{41}\text{K}$	6,55	11,1 g	
Fe: 6 g	$^{54}\text{Fe}$	5,84	350 mg	aussi $^{57}\text{Fe}$ et $^{58}\text{Fe}$

le deutérium. Un homme contient donc 980 mg de deutérium. Cet élément comme les autres isotopes des éléments plastiques représentent des impuretés obligatoires qui sont métabolisées parce qu'elles ont des propriétés chimiques équivalentes et se différencient seulement par leurs propriétés physiques.

Vous voyez dans ce tableau encore d'autres chiffres pour le carbone, l'azote, etc. Un cas intéressant est celui du potassium. Il est bien connu que chaque solution d'un sel potassique impressionne un compteur Geiger, que le potassium contient un isotope radioactif, dont le taux est de 0,012 % d'où il résulte que la teneur de l'isotope radioactif  $^{40}\text{K}$  est de 20,4 mg dans l'organisme humain par rapport à la quantité totale de K de 170 g.

Donc le corps humain manifeste comme vous voyez, une radioactivité naturelle minime, qui correspond à la valeur de 120 n Ci. En plus notre organisme contient encore environ 8 n Ci de  $^{14}\text{C}$  et de quantités infinitésimales d'uranium et 0,1 n Ci de Radium.

Vous voyez, que l'on peut déterminer dans notre corps à l'aide de méthodes très sensibles des éléments en quantités extrêmement petites.

Cette radioactivité naturelle menace l'organisme par les oligo-éléments radioactifs désavantageux, qui se sont répandus dans le monde à cause des essais de bombes atomiques. C'est pourquoi on peut les mettre en évidence d'après la durée de leur vie moyenne dans la mer, dans la terre et dans les plantes, dans les animaux et aussi dans l'homme.

Le tableau V résume des recherches faites en République Fédérale Allemande. On a trouvé au voisinage de la ville de Göttingen dans 1 kg de foin les substances exprimées en  $m\mu\text{C}$  (voir tableau II  $\rightarrow m\mu\text{C} = n\text{Ci}$ ).

Vous voyez, les quantités elles-mêmes sont extrêmement petites, mais plusieurs de ces éléments ont une demi-vie assez élevée et ainsi elles nécessitent un long temps pour leur disparition. Ce sont des oligo-éléments radioactifs indésirables.

Voici donc un premier groupe d'oligo-éléments indésirables. Ce n'est pas le seul. Dans la vie citadine nous sommes de plus en plus en contact avec des éléments qui nous influencent progressivement. Par exemple le plomb des tuyaux de conduite.

Déjà à Rome pendant l'époque impériale on a vu nettement que malgré des progrès techniques l'application des canaux en plomb était très dangereuse à cause de l'eau empoisonnée par le plomb, ce que l'on ne savait pas naturellement à cette époque. C'étaient surtout des erreurs d'hygiène dans ce genre et non des causes politiques qui ont abouti au dépeuplement de Rome.

Aujourd'hui on emploie de plus en plus le tétraéthyle de plomb comme carburant pour les automobiles. Par suite l'atmosphère des grandes villes et

Tableau V

Substances radioactives en millimicrocuries ( $10^{-9}\text{C}$ ) par kg de foin sec, RFA, 1959 (citée d'après L. Genevois, Paris, 1964).

isotope	élément	période	ans, jours, an	émetteur	type	taux
$^{137}\text{Cs}$	Césium 137	30	ans,	$\beta, \gamma$		0,4
$^{90}\text{Sr}$	Strontium 90	—	28 ans,	$\beta$		0,5
$^{89}\text{Sr}$	Strontium 89	—	53 jours,	$\beta, \gamma$		1,6
$^{106}\text{Ru}$	Ruthénium 106	—	1 an	$\beta, \gamma$		3
$^{95}\text{Nb}$	Niobium 85	—	35 jours,	$\beta, \gamma$		13
$^{144}\text{Ce}$	Cérium 144	—	285 jours,	$\beta, \gamma$		15
$^{147}\text{Pm}$	Prométhéum 147	—	2,6 ans,	$\beta$		10
$^{95}\text{Zr}$	Zirconium 95	—	63 jours,	$\beta, \gamma$		7

des autoroutes sont fortement enrichies en plomb. Ce plomb est respiré par les hommes et les animaux et il est résorbé par les plantes qui servent à notre alimentation.

D'autres exemples sont le mercure qui est utilisé pour les obturations dentaires. Ce mercure est un oligo-élément dangereux, qui se trouve normalement en quantités minimales dans l'organisme mais il provoque souvent des symptômes pathologiques par l'usage répandu.

Au contraire l'aluminium employé pour les batteries de cuisine est un élément, qui est très répandu à la nature et nous le résorbons toujours en traces sans l'accumuler dans un tissu quelconque. Cet élément est éliminé et n'a donc aucune importance biologique et toxicité.

Vraisemblablement la silice est une véritable élément d'accompagnement parce qu'il apparaît à la 2ème place dans le placement sur la fréquence des éléments de notre terre.

Nous résorbons toujours de très petites quantités de silice par les aliments ou par l'eau et nous les éliminons dans l'urine et dans les matières fécales et on peut toujours trouver des quantités minimales dans les tissus. La question concernant l'importance de la silice pour l'homme et les animaux n'a pas trouvé de réponse satisfaisante.

Mais la silice sera un oligo-élément indésirable lorsqu'elle est respirée en grandes quantités. Les poussières silicieuses causent dans les mines la silicose très dangereuse dans les poumons.

Je ne veux pas oublier l'importance de la silice pour les diatomées. La cellule est entièrement enfermée dans une boîte en silice. Pour ces organismes la silice a une signification comme un élément plastique et on croit que quelques plantes comme le riz ou l'orge ont besoin de silice pour fleurir et fructifier.

Maintenant je veux parler des bio-oligo-éléments.

La classification donnée au tableau II présente le fer entre parenthèse parce que cet élément est déjà décrit à propos des éléments plastiques. Il y a des chercheurs qui considèrent le fer comme élément plastique comme moi-même, d'autres qui considèrent cet élément comme oligo-élément. Le fer se trouve entre les deux grands groupes. C'est vrai.

Un véritable bio-oligo-élément est le zinc. Beaucoup de faits essentiels témoignent de son importance. C'est ainsi que le ferment très important appelé

l'anhydrase carbonique contient le zinc comme élément constituant. Nous savons aussi, que l'insuline contient 0,3 à 0,5 % de Zn. C'est pourquoi les îlots de Langerhans du pancréas qui produisent l'insuline contiennent 10 fois plus de Zn que le tissu pancréatique environnant. Nous savons aussi que le tissu testiculaire, le tissu prostatique ou le liquide spermatique contiennent des quantités de Zn relativement élevées. Vraisemblablement le zinc joue un rôle dans la vision, parce qu'une couche cellulaire spécifique dans les yeux est riche en Zn.

Pour mettre en évidence l'importance du Zn un biochimiste allemand, Mr. WEITZEL à Tübingen, a fait l'expérience suivante.

Si l'on injecte à un lapin du dithizone qui se combine au Zn pour former un complexe défini, on obtient un organisme dépourvu de Zn. Après un tel traitement par la dithizone il se produit des dérangements métaboliques graves qui rappellent le diabète humain.

En plus chez les animaux sans Zn il y a des clivages de la choroïde qui aboutissent à la perte de la vue.

Nous absorbons de 3-20 mg de Zn par jour dans notre alimentation normale. Le Zn est un véritable bio-oligo-élément.

On a pu suivre le chemin de cet élément dans l'organisme animal à l'aide du Zn marqué, le  $^{65}\text{Zn}$ . Le Zn qui est résorbé facilement par le canal gastro-intestinal arrive dans le pancréas par voie sanguine et à partir du pancréas au cholestérol pour être éliminé dans les matières fécales.

D'autres oligo-éléments sont éliminés dans l'urine par voie rénale. Aujourd'hui on peut suivre d'une manière élégante les voies d'élimination à l'aide d'éléments marqués.

Ensuite je veux parler du fluor, qui est accumulé dans les os au cours de notre vie, sous la forme de fluorapatite, un sel double du phosphate calcique et du fluorure calcique de formule suivante:  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$ . L'hydroxylapatite de formule  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$  représente la première phase. Le fait, que la dentine contient aussi du fluor, est lié certainement au problème de la carie dentaire. La fréquence de la carie est augmentée nettement dans les parties du monde où l'eau potable est pauvre en fluor. Inversement la fréquence de la carie est diminuée dans les parties du monde où l'eau

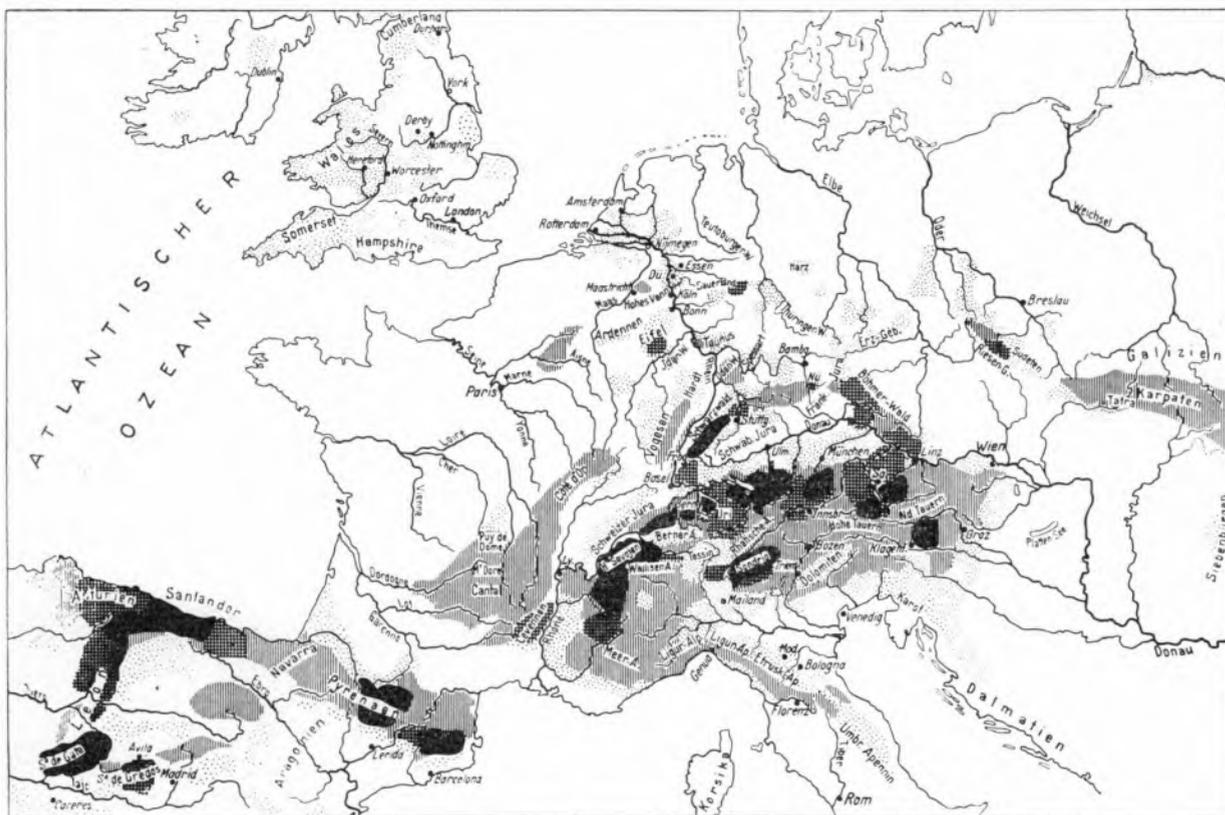


Fig. 1—Les foyers européens de goître par manque de iode (d'après A. Labhart, Berlin 1957).

potable contient assez de F. Je ne peux pas insister ici sur les grands problèmes de la carie mais je crois que nous devons ajouter à l'eau potable du F dans une forme appropriée.

Ce taux du F de l'eau potable ne doit pas dépasser la valeur de 1 mg/l. Parfois la concentration trop grande du F dans l'eau potable détermine des dérangements métaboliques, la fluorose, le F peut être un oligo-élément indésirable.

Un autre halogène, l'iode, est un élément constituant de l'hormone thyroïdienne, la thyroglobuline. L'iode que nous recevons par l'air, par l'eau potable et par les aliments est fixé dans la glande thyroïde où il est incorporé à la molécule d'hormone. Il est bien connu que le manque d'iode aboutit au goître endémique.

Dans la fig. 1 je voudrais vous montrer les foyers de goître en Europe. Ce sont surtout les régions montagneuses. Nous voyons une ligne directe à partir des Pyrénées par les Alpes jusqu'aux Carpathes.

Par l'addition d'iode aux aliments, surtout au sel on a pu supprimer cette privation d'iode. En Suisse en particulier on a fait avec grand succès une telle prophylaxie en ajoutant au sel gemme de petites quantités d'iodure potassique. C'est ainsi que l'on atteint un supplément de 100 gammas d'iode par jour en appliquant 10g de sel de cuisine. L'iode est aussi un bon exemple d'un bio-oligo-élément.

Dans les foyers de goître les animaux en souffrent aussi, comme vous voyez sur la fig. 2. On peut reconnaître nettement les goîtres chez le veau nouveau-né, chez le cochon et chez le mouton. Le dessin indique aussi, qu'une déprivation d'iode cause chute des cheveux.

Enfin le cuivre. Il est connu depuis longtemps, qu'il se développe une anémie grave chez les jeunes rats blancs, nourris seulement de lait après le sevrage. Cette anémie n'est pas curable par le fer. Un autre facteur est nécessaire, que l'on a identifié au cuivre.

Fig. 2 — Carence en iode chez les animaux de ferme.  
 Animaux mort-nés, montrant un goitre déjà bien développé.  
 En haut: veau mort-né; absence de pelage.  
 Au milieu: porc Berkshire, montrant myxodème,  
 absence de pelage.  
 En bas: agneau mort-né, avec goitre prononcé,  
 laine très rare.  
 D'après *Goitre in animal*, publication du Iodine  
 Educational Bureau, Londres. (cité d'après L. Genevois,  
 Paris 1964). ▶

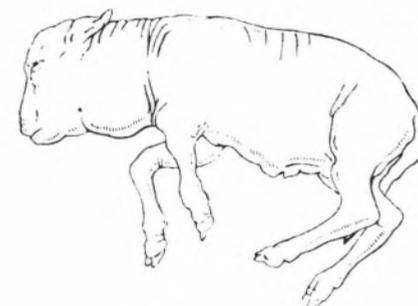
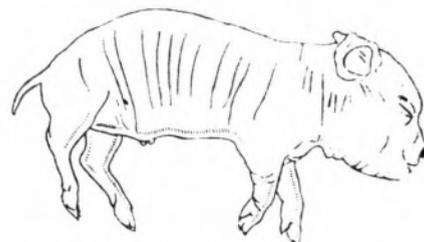
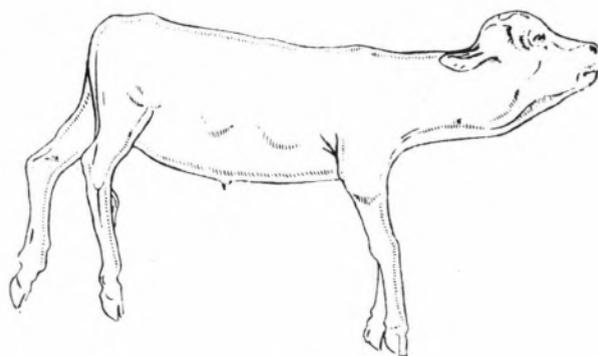


Fig. 3 — Carence en cuivre chez l'orge.  
 A gauche: orge sur solution nutritive contenant  
 400, 10, 2 et 0  $\mu\text{g}$  de Cu.  
 A droite: orge sur un sol naturel carencé en  
 cuivre le pot de gauche a reçu 6 mg de Cu  
 (d'après L. Genevois, Paris 1964). ▼



Si l'on nourrit des rats jeunes de lait supplémenté de fer et de cuivre il n'y a pas d'anémie. Par conséquent des traces de Cu sont absolument nécessaires pour la biosynthèse du pigment rouge du sang. La maladie de Wilson, bien connue comme chez les hommes, représente aussi un dérangement du métabolisme du cuivre. Les hommes atteints de maladie de Wilson n'ont pas la capacité de former dans leur sang la protéine spécifique qui lie du Cu. Il en résulte l'enrichissement en cuivre du cerveau et du foie, ce qui caractérise cette maladie. Mon collègue à Lisbonne, Mr. Gomes da Costa, a beaucoup étudié cette maladie grave et il a aussi amélioré son traitement.



Fig. 4 — Carence en manganèse chez le poulet. Pérose, ou détachement du tendon.  
D'après Carences alimentaires du bétail, F.A.O., 1950. (Citée d'après L. Genevois, Paris 1964).

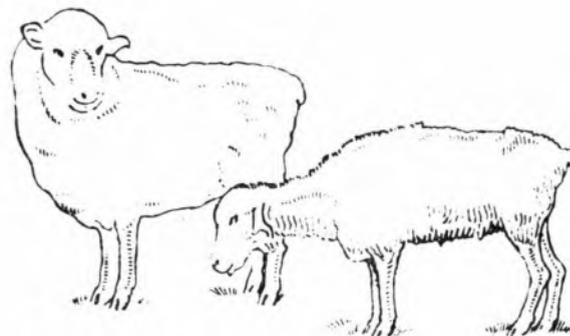


Fig. 5 — Carence en cobalt chez le mouton.  
L'animal de droite a vécu sur un pâturage pauvre en cobalt de Nouvelle-Zélande: anémie, émaciation, langueur; l'animal est moribond.  
L'animal de gauche a vécu sur le même pâturage, mais a reçu 8 mg de cobalt par semaine dans l'eau de boisson. Il est normal.  
D'après ASKEW et DIXON, N. Zealand Journal of Science. (Citée d'après L. Genevois, Paris 1964).

privée de Mn. Chez le poulet il y a des dérangements du développement des os (fig. 4). Nous reconnaissons nettement dans cette figure la pérose par manque de manganèse. Plusieurs ferments ont besoin de Mn comme cofacteur par exemple l'arginase. C'est ainsi que le Mn intervient aussi dans le métabolisme. Dans certains districts d'Australie et de Nouvelle-Zélande on a observé il y a quelques années une maladie inattendue chez des animaux de pâturage, que l'on a désigné comme «bush sickness». La fig. 5 vous montre ceci.

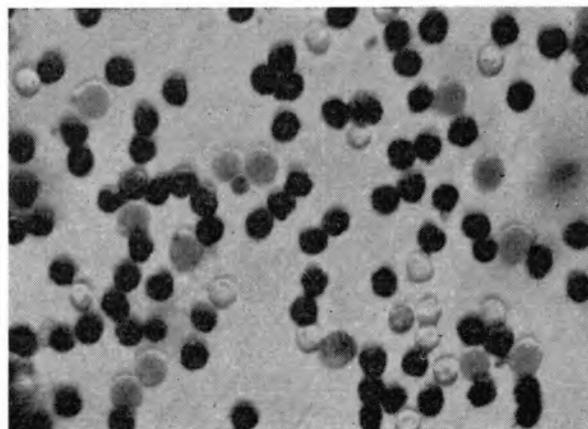


Fig. 6 — Les vanadocytes (les cellules noires).  
(Il me faut remercier le professeur Pflieger — Homburg/Saar de cette figure).

Enfin il me faut mentionner encore les ferments, contenant le Cu tels que la tyrosinase et l'uricase. Le cuivre est aussi important pour les plantes (fig. 3).

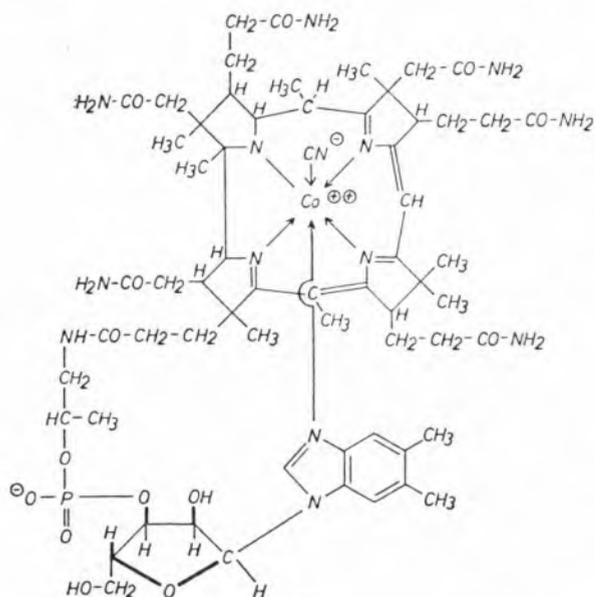
A gauche on a représenté la croissance de l'orge dans les solutions qui contiennent de quantités différentes du Cu. Vous voyez que la croissance est très réduite lorsque les solutions sont privées de Cu. A droite on a montré les expériences de végétation de l'orge dans le sol qui est pauvre en Cu. L'addition au sol accélère la végétation.

Le manganèse est aussi un bio-oligo-élément important. Chez la souris le cycle génital cesse si elle est

L'animal de droite a vécu sur un pâturage pauvre en cobalt de Nouvelle-Zélande: anémie, émaciation, langueur, l'animal est moribond. L'animal de gauche a vécu sur le même pâturage, mais a reçu 8 mg de cobalt par semaine dans l'eau de boisson. Il est normal.

C'est une maladie nettement caractérisée par une déprivation de cobalt.

Sans doute il existe une relation entre cette maladie et la découverte du cobalt dans la molécule de la vitamine B<sub>12</sub> (C<sub>63</sub>H<sub>90</sub>O<sub>14</sub>N<sub>14</sub>PCo).



Voici la structure de cette vitamine. Le cobalt est situé au centre de cette structure. Grâce à la vitamine B<sub>12</sub> on guérit d'une manière spectaculaire l'anémie pernicieuse humaine, anciennement une maladie incurable. La désignation pernicieuse le dit.

Permettez-moi de discuter encore les 3 oligo-éléments suivants: le molybdène, le vanadium et le bore.

Depuis longtemps il est bien connu, que le molybdène a une grande importance pour beaucoup de plantes. La végétation des plantes est déficiente sur les sols ou dans les solutions privées de molybdène. Souvent les feuilles ne verdissent plus et il n'y a pas de fructification.

On a pu démontrer aussi la présence de traces de molybdène dans le sang, dans la bile, dans le lait et dans le foie, pour ne nommer que quelques exemples. Le besoin quotidien en molybdène d'un rat

jeune se monte à 0,5 gamma. Ensuite on a pu démontrer que le molybdène est un cofacteur de certains ferments, par exemple de la xanthinoxydase. C'est la raison pour laquelle vous trouvez le molybdène dans le groupe des bio-oligo-éléments.

On a constaté chez les ruminants de pâturages dans certains régions d'Ecosse qu'un excès de molybdène peut produire un effet toxique.

Les animaux perdent de poids. Il se développe une diarrhée et la production de lait est notablement réduite. Dans les sols de ces pâturages et dans le foin furent trouvées des quantités élevées en molybdène. Il est très intéressant de pouvoir supprimer les effets toxiques du Mo, si l'on donne du cuivre aux animaux, c'est-à-dire 2 g de sulfate cuivrique par vache et par jour. Probablement il se forme une combinaison insoluble de molybdate cuivrique.

Le vanadium est un élément très répandu dans les plantes, chez les animaux et chez l'homme en quantités infinitésimales.

Les ascidies appartenant au groupe des tunicates ayant une longueur de 10 jusqu'à 20 cm. qui vivent dans la mer, sont capables d'accumuler le vanadium dans leur corps (fig. 6).

Les globules de ces animaux contiennent un liquide très acide qui est constitué de 3 % d'acide sulfurique et dont le résidu est composé de 10 % de vanadium. C'est pourquoi on appelle ces globules des vanadocytes. Jusqu'ici on ne connaît pas le rôle du vanadium dans l'organisme de ces animaux. Certains champignons comme amanita muscaria, sont aussi capables d'accumuler le vanadium du sol. La signification de cet élément pour le métabolisme de ces champignons est encore discutée.

Nous savons que le bore est un oligo-élément indispensable pour les plantes. Le manque de bore provoque des affections caractéristiques de la plante (fig. 7).

Le rôle du bore chez l'homme et les animaux est mal connu.

Je vous ai présenté quelques faits et quelques problèmes dans ce contexte compliqué des oligo-éléments. Permettez-moi quelques remarques générales.

La première: la recherche dans ce domaine n'est pas sans difficultés spécifiques.

Nous avons besoin de procédés d'analyse qui permettent la mise en évidence de quantités infinitésimales. C'est ainsi qu'on a besoin d'employer des

réactifs absolument purs. Il faut pouvoir vérifier si le réactif lui-même ne contient pas des traces de l'élément à déterminer. Parfois on peut constater que les produits chimiques utilisés contiennent l'oligo-élément comme impureté en quantités plus grandes que celle que l'on veut doser.

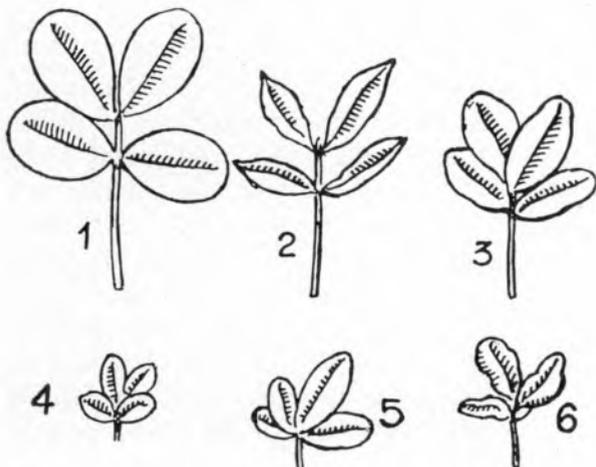


Fig. 7 — Carence en bore chez l'arachide en culture sur solution.

- 1) Milieu à 0,15 mg B par litre;
  - 2) 3) 4) Milieu à 0,005 mg B; début de carence;
  - 5) 6) Carence totale: mutilation des folioles.
- D'après J. MAISTRE, *Agronomie tropicale*, 1956).  
(Cité d'après L. Genevois, Paris 1964).

Dans mon laboratoire en Sarre nous nous occupons déjà depuis plusieurs années de la silice. Nous avons réussi à préparer de l'air respiratoire et de l'eau potable privées de cet élément mais il est impossible de préparer des aliments privés de cet élément pour rats.

Il faut que l'animal reçoive naturellement une diète privée de l'oligo-élément que l'on veut déterminer. Les expériences exigent beaucoup de temps. Il est plus facile de faire des expériences sur des vitamines, qui sont solubles dans l'eau ou non (ayant un caractère lipophile) et par conséquent on peut faire des aliments privés de vitamines en les traitant à l'eau ou par dissolvant de graisses. Si on veut pré-

parer des aliments privés d'un oligo-élément quelconque on risque une perte nutritive provoquée par une altération chimique.

Un autre problème qui n'est pas encore résolu en détail est la possibilité des oligo-éléments de se remplacer mutuellement et on connaît des synergismes et des antagonismes entre eux.

Une méthode compliquée mais élégante pour montrer l'importance biologique d'un oligo-élément est l'expérience sur les fœtus, des tissus d'animaux nouveaux-nés ou sur des embryons. Ces tissus ne contiennent pas de substances de lest dont l'organisme adulte est chargé. Mais on doit considérer des recherches sur les tissus embryonnaires avec une certaine réserve car l'embryon est nourri par la circulation maternelle avec ces oligo-éléments. Parfois on ne peut faire des expériences que dans la 2ème ou 3ème génération d'animaux nourris sans l'oligo-élément concerné.

Les recherches sur des oligo-éléments ont progressé grâce aux éléments marqués. Nous en avons parlé.

Avant de terminer ma conférence, je voudrais remarquer que l'on a appelé des bio-oligo-éléments aussi comme vitamines inorganiques.

Cette comparaison n'est pas mauvaise.

J'aurais été très heureux si j'avais réussi à vous démontrer l'importance primordiale de quelques oligo-éléments dans notre organisme. Je voulais vous montrer aussi que les oligo-éléments peuvent être d'une grande importance pour les animaux et pour les plantes. C'est pourquoi il est absolument nécessaire que la chimie agraire étudie ces questions. Nos engrais artificiels doivent être supplémentés d'oligo-éléments divers pour éviter l'appauvrissement du sol en oligo-éléments essentiels par la suite de la culture intensive. Je suis persuadé que plusieurs oligo-éléments se trouvant actuellement dans la groupe des oligo-éléments d'importance douteuse pourront être classés dans l'avenir dans le groupe des bio-oligo-éléments. Peut-être l'un ou l'autre des oligo-éléments d'accompagnement pourrait subir le même sort.