

# Les éléments-traces dans le sol

S. HENIN

Directeur de recherche honoraire I.N.R.A.  
Secrétariat d'Etat à l'Environnement et à la Qualité de la Vie

---

## SOMMAIRE

*Un certain nombre d'éléments-traces présents dans le sol sont toxiques ; quelques-uns le sont notamment pour l'homme. Les quantités d'éléments arrivant au sol varient suivant leur provenance. Au bilan, elles sont largement supérieures aux quantités exportées par les récoltes et les eaux de drainage.*

Il y a dix ans, le département d'Agronomie de l'I.N.R.A. consacrait un numéro spécial de ses Annales au problème des oligo-éléments en France. L'intérêt porté à ce sujet avait deux origines : la première venait des questions posées par les agriculteurs concernant les accidents observés sur les cultures et qui étaient dus à des carences ; la seconde venait des éleveurs dont les troupeaux souffraient d'une malnutrition minérale, liée également à l'insuffisance de la teneur des fourrages en certains éléments minéraux.

Rappelons qu'en ce qui concerne les plantes, il s'agit de Fe, Mn, Zn, Cu, B, et Mo, et qu'en ce qui concerne les animaux, viennent s'ajouter I, Co, F et Se.

La remise en question de ces problèmes qui datent de 1843 — année où le Français E.Z. GRIS constatait l'influence du fer sur la chlorose — tenait à plusieurs causes.

Tout d'abord, comme le montrait par exemple l'article de G. PEDRO et A.-B. DELMAS paru dans ces Annales, les oligo-éléments sont, par rapport aux besoins des êtres vivants, proportionnellement plus abondants que les éléments majeurs. Toutefois, de l'accroissement des rendements ont résulté des insuffisances de ces éléments, au moins sous leur forme immédiatement disponible. De même, d'après les vétérinaires, l'augmentation de la vitesse de croissance des animaux crée des carences instantanées qui ne se manifestaient pas dans les élevages extensifs.

Par ailleurs, il est apparu, à la suite de la mise en culture des sols qui n'étaient pas considérés comme « à vocation agricole » (Landes de Gascogne, certains terrains de Bretagne ou sols fersiallitiques du Sud-Est), que ces propriétés négatives étaient dues très souvent à des carences en oligo-éléments.

L'attention ayant été attirée sur ces problèmes, les chercheurs ont été conduits également à mettre en évidence des toxicités. Ce fait était prévisible, puisque l'une des particularités des oligo-éléments est de présenter des fonctions de réponse relativement aiguës, c'est-à-dire que les seuils de toxicité sont proches des seuils de carence. D'autre part, du fait des antagonismes existant entre les effets physiologiques de ces éléments, une carence peut induire une toxicité.

Ces problèmes sont loin d'être réglés puisqu'un article du dernier numéro de « Perspective Agricole » est consacré à l'existence de carences et de sub-carences en cuivre sur les céréales (voir l'article de A. LOUE, dans le même numéro).

Mais, curieusement, en 1971, le Centre de Coordination des Etudes sur la Nutrition du C.N.R.S. organisait un colloque intitulé « Oligo-éléments et nutrition ».

On y trouve des préoccupations exprimées par les agronomes, mais les soucis causés par les phénomènes de toxicité y sont beaucoup plus apparents, en particulier en ce qui concerne les conditions de conservation (boîtes étamées), de transport ou de cuisson des aliments (attaque des récipients en faïence).

Si l'on se réfère à cette dernière publication, on peut alors dresser la liste des éléments présentant un risque de toxicité, tant pour les végétaux que pour les animaux et l'homme. On y trouve tous les oligo-éléments nécessaires au végétal, auxquels il faut ajouter des éléments toxiques tels que Cr, Ni ou Cd, Mg, Pb, Sn, Sb, As, et cette énumération n'est probablement pas exhaustive.

Les auteurs qui ont traité de ces sujets ont beaucoup insisté sur l'origine des polluants et leur état chimique. Ces problèmes sont bien connus des agronomes, au moins en ce qui concerne les éléments ayant une action sur les végétaux. Ils se sont efforcés de mettre au point des tests d'extraction qui permettent de mettre en évidence le « potentiel de toxicité » des sols (voir l'article de C. JUSTE dans le même numéro).

En ce qui concerne plus particulièrement les animaux, on retrouve les mêmes problèmes mais avec une composante supplémentaire, la présence de composés alkylés qui sont souvent beaucoup plus toxiques que l'élément lui-même : c'est le cas du mercure et de l'étain, par exemple.

Dans la douzaine d'années qui viennent de s'écouler et dans tous les pays développés, on a vu s'accroître le souci de maintenir un environnement sain pour l'homme, les animaux, et préservant les écosystèmes, en dépit de l'intensification des interventions humaines.

C'est à partir des problèmes posés par les déchets urbains, tels les composts et boues de station d'épuration, qu'a été amorcée cette prise de conscience.

Des organismes scientifiques comme le SCOPE se sont aussi préoccupés de pollution de source diffuse, provenant en particulier des retombées atmosphériques (voir l'article de P. GODIN, dans le même numéro).

Mais, pour se faire une idée de l'importance de ces phénomènes, nous évoquerons dès maintenant le cas du Danemark.

TABLEAU 1. — *Origine des différentes pollutions.*

SOURCES	Cd	Pb
	tonnes/an	tonnes/an
déchets humains	0.045	0.15
boues d'épuration	0.820	37.00
fumier	2.000	15.00
retombées atmosphériques	6.000	720.00
fertilisants	9.000	4.00
dépôt présent dans le sol (couche 0-25 cm pour 3 10 <sup>6</sup> ha	17.865	776.15
stock global dans le sol	1980.00	153.000,00

De nombreux travaux ont été effectués sur les apports par les déchets urbains. Ils ont été présentés dans divers colloques et ont fait l'objet de mises au point en ce qui concerne la France dans deux brochures, sur les boues de station d'épuration et les composts urbains, rédigées par C. JUSTE et B. POMMEL de la Station I.N.R.A. de Bordeaux. L'ensemble des problèmes posés par l'utilisation agronomique de ces déchets y est présenté, mais un chapitre concerne les éléments toxiques qui constituent un obstacle à leur utilisation. On retrouvera les mêmes préoccupations dans l'article de F. LEMAIRE, R. MORICHON, J. MEIGNAN (dans le même numéro).

De nombreux auteurs ont souligné le fait que par rapport à ces sources, les quantités exportées par les récoltes ou transportées par les eaux sont insignifiantes comparées aux quantités qui viennent d'être présentées.

Pour illustrer cette remarque, on trouvera dans le tableau 2 les concentrations limites indiquées par l'O.M.S., en ce qui concerne les eaux de boisson et pour les trois éléments considérés actuellement comme les plus dangereux pour l'homme. Ce sont d'ailleurs ceux qui figurent dans l'Inventaire National de la Qualité des Aliments, récemment publié.

TABLEAU 2

	mg/l Seuil impé- ratif.	Quantité maximale exportable en gr/ha, pour un drainage de	
		150 mm	300 mm
Pb	0.05	75.0	150.0
Cd	0.005	7.5	15.0
Hg	0.0005	0.75	1.5

Voir par ailleurs, dans le tableau 3, les éléments présents dans les sols, les boues de station d'épuration ou les composts.

Si l'on calcule pour les trois éléments les plus dangereux les doses apportées à l'hectare et les doses exportées, on obtient le tableau 4.

Il apparaît donc clairement que les apports sont très supérieurs aux quantités qui peuvent être exportées, compte tenu des seuils fixés pour la santé des hommes et des animaux.

Le calcul des exportations par les récoltes est beaucoup plus difficile à faire, mais on aboutit à des ordres de grandeur voisins de ceux calculés pour les exportations par drainage.

Une conclusion s'impose : les éléments toxiques tendent à s'accumuler dans les sols et la teneur de ceux-ci dépassera, dans un délai plus ou moins long, soit les limites tolérables par les plantes, soit, du fait de l'accroissement de l'absorption par les végétaux, des teneurs prohibitives pour la santé humaine.

Les services responsables sont parfaitement conscients de cette situation pour les déchets urbains, ainsi d'ailleurs que pour d'autres produits à utiliser en agriculture.

Cette réglementation ne constitue toutefois qu'un pis-aller, l'objectif visé étant que les terres n'atteignent les teneurs considérées comme limites que dans un intervalle de 50 ou 100 ans. Les principaux pays européens ont d'ailleurs adopté, pour des raisons pratiques évidentes, les mêmes dispositions.

Devant cette situation, le groupe de travail Sol et Déchets Solides du Ministère de l'Environnement a organisé un séminaire (1982) pour définir les programmes de recherche à long terme à entreprendre sur ce sujet. En voici les grandes lignes :

TABLEAU 3. — Teneurs en éléments-traces.

Eléments	Maximum des teneurs observées dans un sol normal (en mg/kg de sol sec)	teneurs limites dans les boues (mg/kg) Norme AFNOR provisoire (U44-041/1975)	teneurs indicatives dans les composts.
Argent	10	-	
Arsenic	40	-	
Bore	40	-	
Cadmium	0,7	15	7
Chrome	150	200	271
Cobalt	30	20	-
Cuivre	100	1500	250
Etain	10	-	-
Manganèse	2000	500	600
Mercure	0,3	8	4
Molybdène	4	-	-
Nickel	80	100	194
Plomb	100	300	594
Sélénium	10	-	-
Zinc	300	3000	1000
Vanadium	200	-	-

TABLEAU 4

	quantité en gr. apporté par 4 T m.s. boue/ha.	quantité de compost, équivalente en C à 30 T/ha fumier apport en gr.	quantité maximale exportable gr./ha
Pb	1200	7700	75 - 150
Cd	60	91	7,5 - 15
Hg	32	52	0,75 - 1,5

1° Préciser les sources de contaminations, le bilan de ces éléments, les teneurs maximales tolérables pour les sols (à partir de la relation dose-effet sur les plantes, l'homme et les animaux).

Les éléments étudiés en priorité sont :

Cd, Hg, Pb toxiques pour les hommes et les animaux.

Zn, Cu, Ni phytotoxicité.  
Sn, As, Se, Th références à fixer.

2° Les problèmes analytiques qui concernent tout d'abord une définition rationnelle de l'échantillonnage (en particulier la profondeur de prélèvement, les précautions à prendre pour éviter les contaminations), la vérification des dosages des teneurs totales, la mise au point de méthodes pour doser les formes mobiles et/ou assimilables.

3° Les mécanismes de fixation de ces éléments par le sol. En particulier, vérifier s'il peut y avoir piégeage dans des structures organiques ou minérales, rendant ces matériaux inactifs. C'est seulement dans ce cas que les risques de pollution cumulative seraient éliminés ou atténués.

Il a été recommandé, pour préparer cette étape de la recherche, de fractionner les échantillons par des analyses immédiates (par exemple, des séparations granulométriques), pour rechercher dans quelles fractions les éléments se sont accumulés par les dosages des éléments totaux.

4° Etudier le comportement des plantes. Certaines espèces, et même des variétés, peuvent en effet constituer des « indicateurs de pollutions » car elles assimilent mieux certains éléments. D'une façon plus générale, il est essentiel d'établir les conditions d'absorption des éléments toxiques par les plantes, pour mieux apprécier les risques de pollution et peut-être trouver des méthodes pour la freiner.

---

## SUMMARY

### THE TRACE ELEMENTS IN THE SOIL

*Several trace elements are toxic for plants and animals, and some ones particularly for the human life: Cd, Hg, Pb. Different origins of pollution are reviewed: fertilizers, manures, sludges, atmospheric falls.*

*From a comparison between inputs and outputs (i.e. exportations by crops and water drainage) it appears that the amounts of some trace elements are increasing in the soil and will soon reach toxic threshold values.*

---

## Bibliographie

1. Annales Agronomiques (1970). — Vol. 21, I.N.R.A., Paris.
2. Oligo-éléments et Nutrition (1971). — C.N.R.S. Pub. XIX, Paris.
3. B. POMMEL et C. JUSTE (1977). — Le compost urbain. Ministère de l'Environnement (et ppn) et I.N.R.A., 1 vol. Ronéo.
4. B. POMMEL (1979). — Les boues résiduelles urbaines.
5. Colloque Sol et déchets solides, Orléans (1977). — Collection Recherche Environnement, 1 vol., n° 11, Ministère de l'Environnement, Paris.
6. Séminaire E.A.S., Bâle (1980). — G.F.A. Mark 1 D 5205 St-Augustin, Suisse.
7. Valorisation agricole des boues de station d'épuration (1982). — Cahiers techniques de la Direction de la prévention des pollutions, n° 7, Paris.
8. Inventaire du degré de pollution des eaux (1971, 1976, 1980). — 1 vol., Ministère de l'Environnement Paris.
9. Inventaire National de la qualité alimentaire (1982). — Ministère de l'Environnement, 1 vol.
10. Séminaire éléments-traces et pollution des sols (1982). — C.R. Ronéo, Ministère de l'Environnement M.E.R.

