

Zeitschrift: Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 47 (1994)
Heft: 2: Archives des Sciences

Artikel: Approche méthodologique pour la définition de l'origine du cadmium dans les sols de Genève
Autor: Celardin, Fredi / Bänninger, Manfred
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-740183>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Archs Sci. Genève	Vol. 47	Fasc. 2	pp. 195-206	Septembre 1994
-------------------	---------	---------	-------------	----------------

Communication présentée à la séance du 21 avril 1994

APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE POUR LA DÉFINITION DE L'ORIGINE DU CADMIUM DANS LES SOLS DE GENEVE¹

PAR

Fredi CELARDIN* & Manfred BÄNNINGER *

ABSTRACT

Methodological approach to the origin of cadmium in the soils of Geneva. - A detailed study of heavy metal distribution in the soil horizons of three forest sites in the neighbourhood of Geneva, has led to the hypothesis according to which a relation between the concentrations and the distribution coefficients (K_d) indicates a "natural" situation; the contrary being related to external input of recent origin.

Key-words: Soil, heavy metals, distribution coefficients.

INTRODUCTION

Les résultats de la répartition en profondeur des métaux lourds (ML) dans les sols genevois ont montré clairement que le nickel est d'origine géogène. La distribution du cadmium a révélé que cet élément pourrait aussi avoir une composante naturelle importante (CELARDIN *et al.*).

Afin de mieux cerner cette question, trois sites forestiers n'ayant subi aucune intervention agronomique par le passé, ont été étudiés de façon approfondie. Le présent rapport fait état de ces observations qui débouchent sur une hypothèse de travail permettant d'apporter, en complément à d'autres méthodes, une indication de l'époque à laquelle le ML serait intégré à la dynamique du sol et définir ainsi son origine probable.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Préparation des échantillons

Les échantillons de terre séchés à 40°C ont été broyés et tamisés à 2 mm.

¹ Une partie de ce travail a été présentée aux 4èmes Journées Nationales d'Etude des Sols (AFES) - 18/21 avril 1994 - Lille (France).

* Laboratoire cantonal d'Agronomie, C.P. 7, CH-1254 Jussy
Année du centenaire (1894-1994)

Texture

Après oxydation de la matière organique par de l'eau oxygénée, la texture a été déterminée par la méthode de prélèvement par pipette à des temps de sédimentation correspondant aux catégories de particules de diamètre différents. Les résultats ont été exprimés en pourcentage d'argile, de silt et de sable.

Densité

La densité apparente de l'échantillon tamisé a été déterminé par comparaison avec le poids d'un volume égal d'eau.

pH

Le pH relatif a été mesuré par électrode de verre, dans une suspension de terre dans l'eau déminéralisée (rapport solide:liquide 1:2.5) après équilibration pendant 2 heures.

Carbone organique

Après oxydation de la matière organique par une solution de bichromate de potassium (0.1 M) dans l'acide sulfurique concentré sans apport d'énergie externe (méthode WALKLEY & BLACK), le chrome réduit est dosé par colorimétrie à 610 nm.

Métaux lourds

La teneur dite "totale" de métaux lourds a été déterminée par extraction avec l'acide nitrique (2M) (rapport poids de solide: volume d'acide 1:10) pendant 2 heures au bain-marie bouillant (Méthode Osol). Les éléments (Cu, Ni, Pb, Zn) dans le filtrat ont été dosés par absorption atomique à flamme et le Cd par absorption atomique à four de graphite sur appareil Perkin-Elmer 2100.

Isothermes d'absorption

Une prise de 0.5 g de terre dans 50 ml d'une solution de chlorure de calcium (0.02 M) est additionnée de quantités croissantes d'une solution contenant l'élément dont l'absorption est à déterminer. Après agitation pendant 16 heures la concentration de l'élément restant en solution est mesurée par spectrophotométrie d'absorption atomique.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Trois sites de forêt de feuillus ont été choisis pour une étude approfondie:

1. Chancy. Site GEOS

Cet emplacement se trouve à environ 10 km de l'usine d'incinération des Cheneviers.

2. Jussy. Site GEOS

Ce lieu est à proximité d'une aire utilisée occasionnellement pour des exercices de tir au pigeon d'argile.

3. Collex-Bossy. Site GEOS

Situation dans l'axe de la piste d'aéroport de Genève-Cointrin, à une distance de 10 km.

D'après les informations à disposition, aucun de ces emplacements n'a été l'objet d'interventions agronomiques (labour, engrais, traitements phytosanitaires) dans un passé récent.

Analyses préliminaires

Dans un premier temps, l'homogénéité de la distribution du cadmium en profondeur, dans les trois sites, a été déterminée en prélevant sur chaque site suivant les axes cardinaux dans un rayon de 10 m et à quatre profondeurs (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm). Les teneurs de Cd sont faibles, avec des gradients croissants en profondeur excepté le site à Collex-Bossy où la tendance est inverse; la raison de ceci apparaîtra à l'étude des teneurs suivant les horizons pédologiques.

	Chancy		Jussy		Collex-Bossy	
	(Cd)	σ	(Cd)	σ	(Cd)	σ
0-20 cm	0.09	0.03	0.11	0.03	0.08	0.04
20-40 cm	0.10	0.04	0.11	0.04	0.06	0.02
40-60 cm	0.21	0.04	0.14	0.05	0.04	0.01
60-80 cm	0.19	0.03	0.17	0.04	0.05	0.02

Profils pédologiques

Les horizons pédologiques observés sont schématisés sur la Figure 1.

Il s'agit de profils de type ABC avec des différences d'épaisseurs de A et de B selon les emplacements: 42 cm à Chancy, 60 cm à Jussy et 130 cm à Collex-Bossy. Dans tous les cas ce sont des sols bruns sur calcaire (moraine pou marne) caractéristiques des sols développés sur l'ancien lit du glacier du Rhône. On relève des traces d'hydromorphie à Chancy; les deux autres sites présentent un horizon d'éluviation (E) sur un horizon illuvial à pseudo-gley. Sur tous les sites la couche organique de surface (Ah) est d'une épaisseur de 2 à 3 cm.

Paramètres chimiques

Sur les figures 2a, b, c on a représenté l'ensemble des résultats obtenus pour chaque horizon analysé. Les résultats quantitatifs sont exprimés en mg par litre d'échantillon solide afin de réduire les erreurs d'estimation provenant des différences de densité. Pour les horizons intermédiaires (B et E) le pH augmente systématiquement en profondeur.

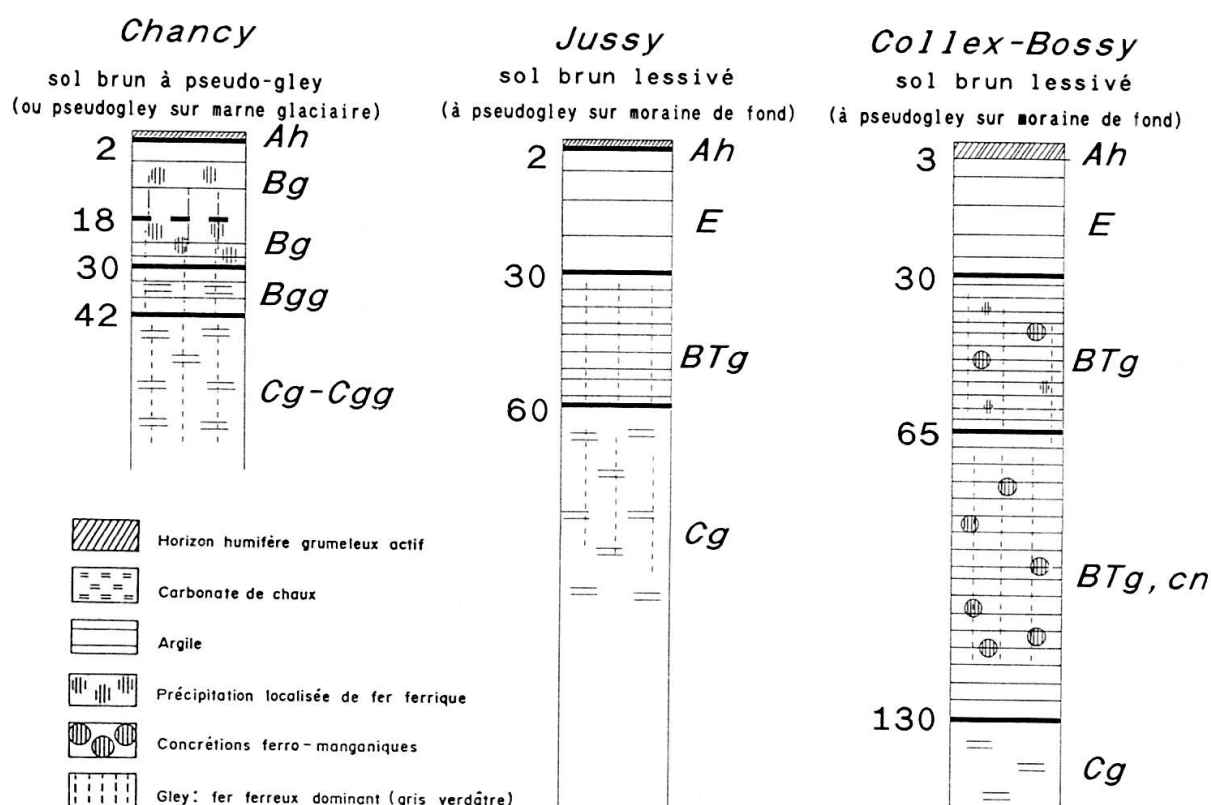
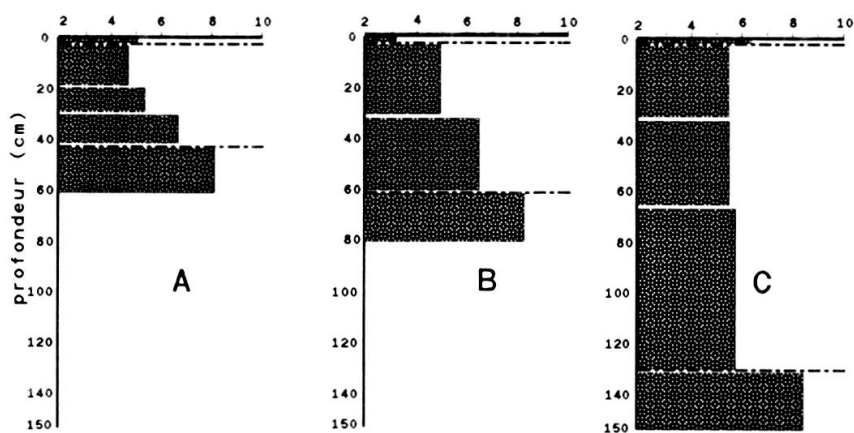


FIG. 1.

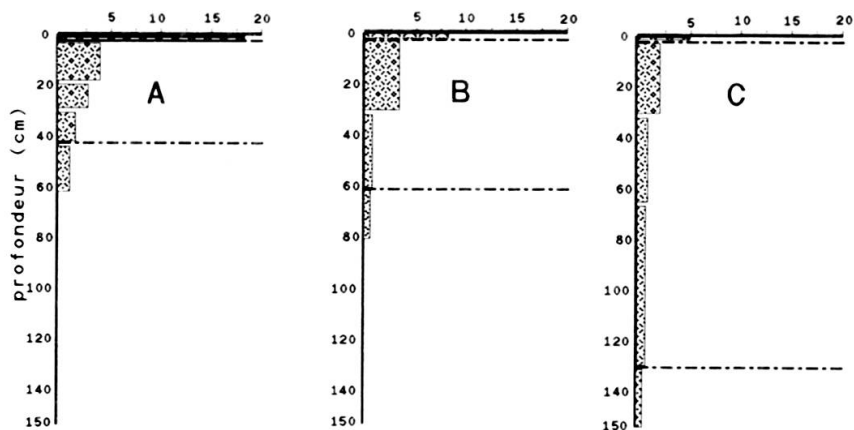
Profils pédologiques.

On observe une diminution parallèle de la matière organique. Les profils de Cd, Cu, Ni et Zn suivent ceux du pH excepté l'horizon A pour lesquels on relève des teneurs en Cd plus élevées que dans les horizons sous-jacents. A l'exception du Pb, la distribution des ML en profondeur paraît assez bien liée à la matière organique dans les horizons A, au pH et à l'argile dans les horizons B et C. Des corrélations similaires ont été signalées par *HALEN et al.* Une caractéristique importante des distributions observées est la concentration plus élevée des ML à l'interface des horizons B et C; en termes qualitatifs cette particularité peut être attribuée à la barrière de pH qui ralentit le transfert biogéochimique des éléments. Ceci est particulièrement bien illustré par le Ni dont l'origine géogène dans les sols genevois est bien établi. Dans les trois profils étudiés, les concentrations des ML selon les horizons sont, à l'exception du Pb, de l'ordre de ou inférieures aux teneurs mesurées dans l'horizon C. L'analyse de cet horizon sur le site de Chancy depuis son commencement à 40 cm jusqu'à 150 cm, à raison d'un prélèvement tous les 20 cm, montre une constance représentative des teneurs naturelles de ces éléments. La distribution du Pb dans les profils Chancy et Collex-Bossy comparée à ceux des autres ML se distingue par sa faible différenciation, ce qui peut refléter l'influence d'un apport externe de longue durée. Pour le site de Jussy, les fortes teneurs

pH



MO %



Argile %

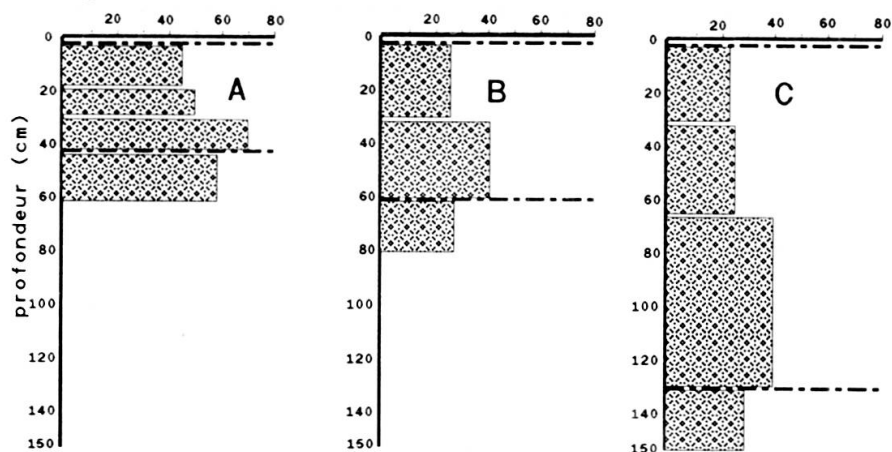


FIG. 2 a

Résultats expérimentaux. Les concentrations sont exprimées en mg/dm^3 de sol.

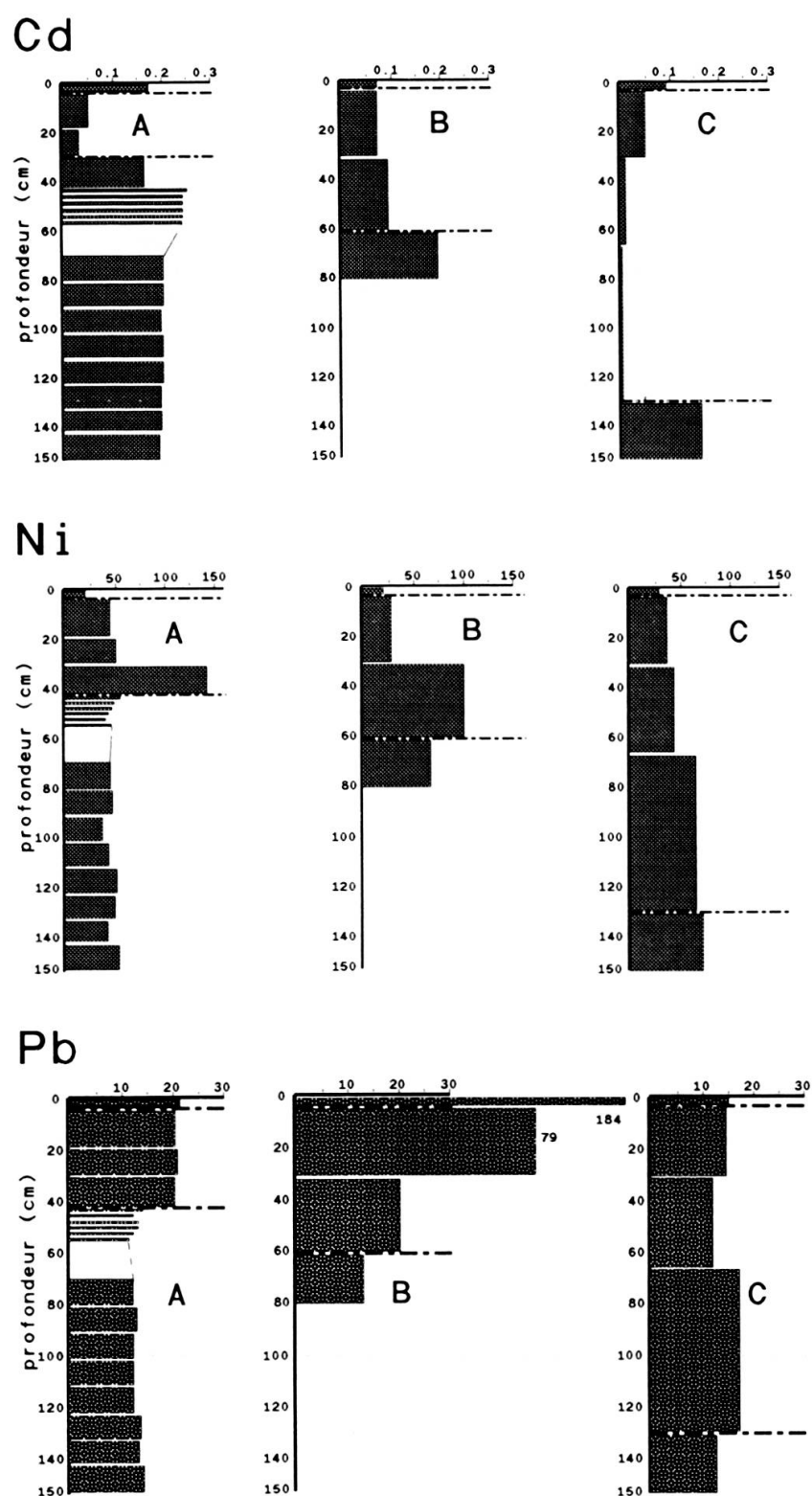


FIG. 2 b

Résultats expérimentaux. Les concentrations sont exprimées en mg/dm³ de sol.

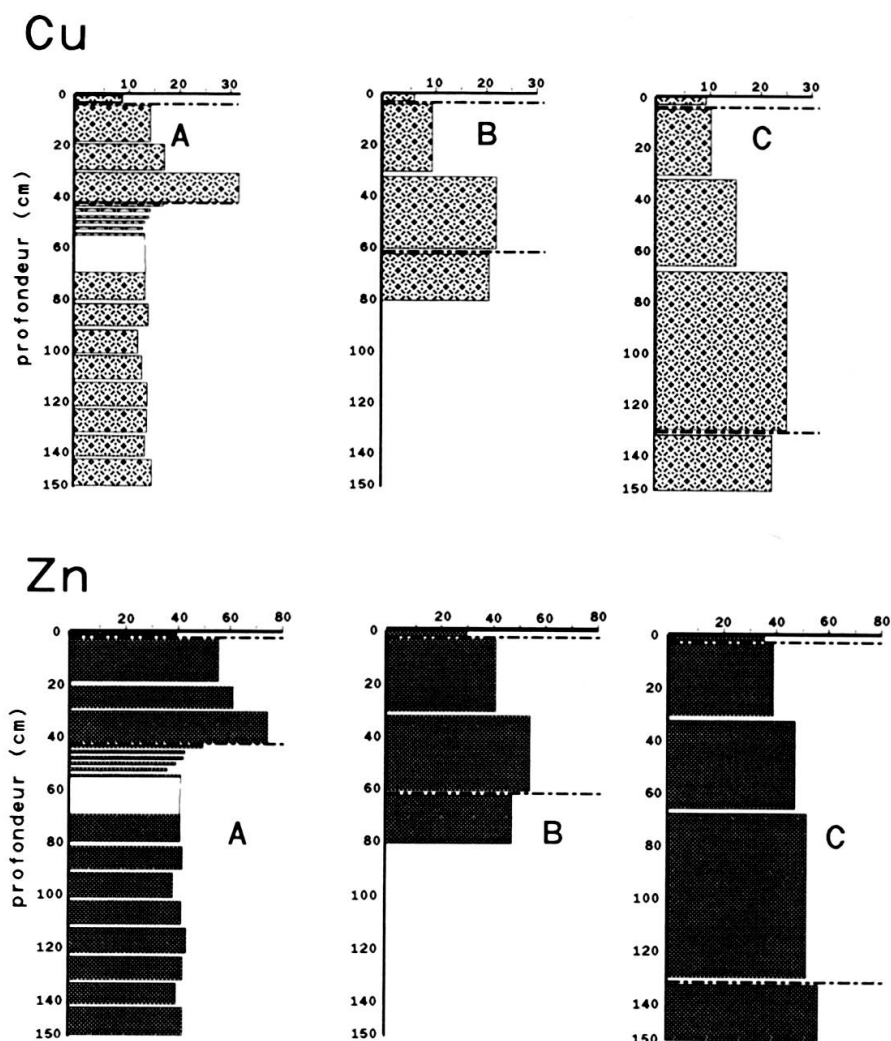


FIG. 2 c

Résultats expérimentaux. Les concentrations sont exprimées en mg/dm^3 de sol.

de Pb en surface sont indicatrices de l'impact des exercices de tir qui se déroulent occasionnellement à proximité. A Chancy, les retombées de Cd évaluées à partir des mesures du réseau d'observation des polluants de l'air (ROPAG) sont de 0.02 mg/dm^3 de litière de surface pour l'année 1992. On se trouve donc, pour cet élément en particulier, devant une situation où les intrants cumulés durant les dix dernières années sont de l'ordre des teneurs géochimiques. Bien que les profils de distribution de ML par rapport aux valeurs mesurées dans l'horizon C ou bien dans la roche-mère, constituent de bons estimateurs des apports par d'autres voies, dans les cas où les intrants sont de l'ordre des teneurs naturelles, des paramètres quantitatifs complémentaires sont d'un secours appréciable pour la définition de l'origine.

Coefficients de distribution K_d

Dans ce but, les isothermes d'absorption du Cd ont été établis pour chaque horizon. L'analyse des résultats dans le domaine de concentration de 1 à 1000 ppm selon la relation de FREUNDLICH linéarisée (log-log) montre bien deux segments de droite entre 1-10 ppm et 50-1000 ppm, ceci pouvant être interprété comme existence de deux mécanismes d'absorption principaux (HALEN et al.). Dans le domaine de concentrations qui nous concerne ici on peut représenter le phénomène avec une approximation suffisante par une relation linéaire directe entre la quantité absorbée et la concentration de la solution à l'équilibre (Fig. 3). La pente définie comme coefficient de distribution (K_d) peut servir de critère de mobilité relative dans les différents horizons (ANDERSON & CHRISTENSEN) (Fig.4).

$$K_d = \frac{\text{(ML) sol à l'équilibre}}{\text{(ML) solution à l'équilibre}}$$

Bien que l'utilisation des K_d pour l'étude du transport d'un élément dans le sol ait fait l'objet de critiques fondées (BOURG, REARDON) il a été néanmoins reconnu que dans le domaine de faibles concentrations, ce paramètre décrit assez bien la dynamique observée (BOURG & SAUTY). Si l'on compare les K_d aux teneurs effectives de Cd, on relève un parallélisme. Ceci est encore plus marqué pour le Ni dont l'origine naturelle dans les sols genevois est bien établi. Par contre, le Pb dont l'origine exogène, surtout pour le site à Jussy, est bien claire, montre une corrélation inverse avec les K_d .

Hypothèse

Ces constatations nous induisent à formuler l'hypothèse suivante:

Si l'on considère:

1) le sol sans apport exogène de ML comme un système fermé en état stationnaire par rapport à l'élément ciblé;

2) qu'en cas de perturbation, l'établissement de l'état stationnaire est très long par rapport aux intervalles d'observation;

on peut présumer que pour un sol "naturel" la distribution du ML serait proportionnelle à un paramètre d'équilibre, tel le coefficient de distribution K_d . Une distribution spatiale qui ne suivrait pas ce paramètre serait indicatrice d'un apport exogène récent.

Cette approche, si vérifiée plus amplement, peut constituer une méthode de réalisation relativement facile, complémentaire aux méthodes géostatistiques ou aux méthodes de bilan (RUPPERT) qui sont d'une application plus laborieuse. On pourra disposer ainsi d'un "test" permettant de diagnostiquer une situation où l'origine d'un contaminant demande à être élucidée.

L'origine essentiellement naturelle du cadmium observée dans les sites qui ont fait l'objet de cette étude ne constitue pas un phénomène isolé. Des teneurs fortes en cadmium ont été observées dans des régions forestières des versants du Jura (NABO).

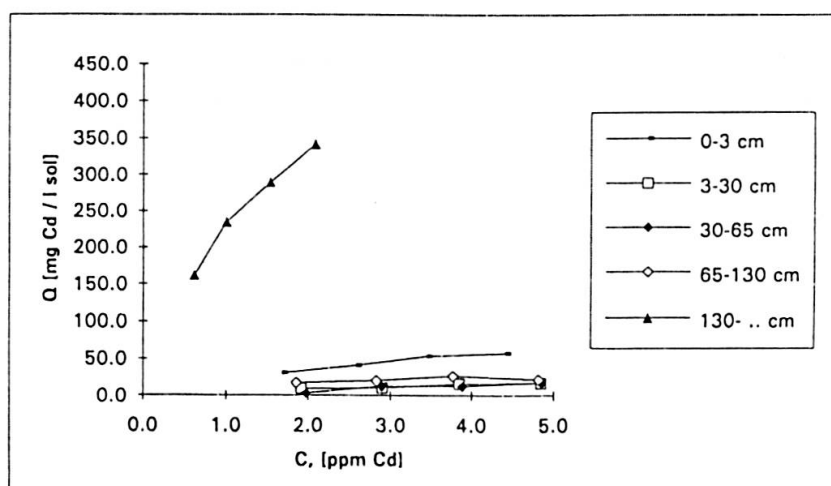
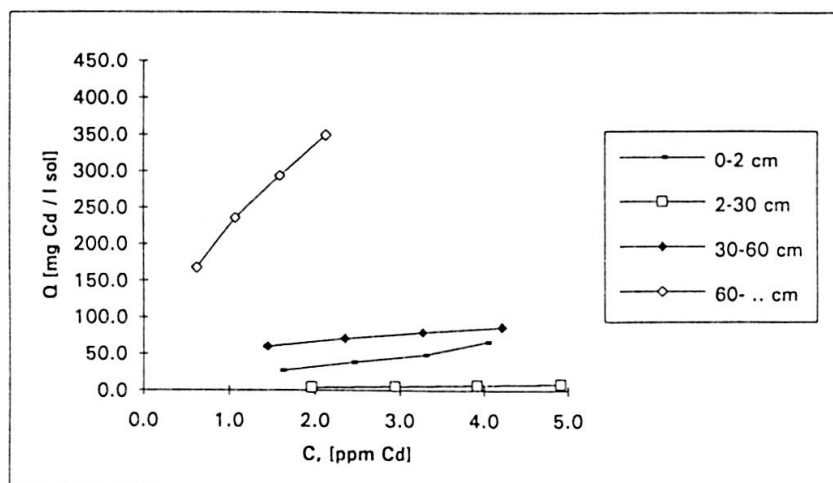
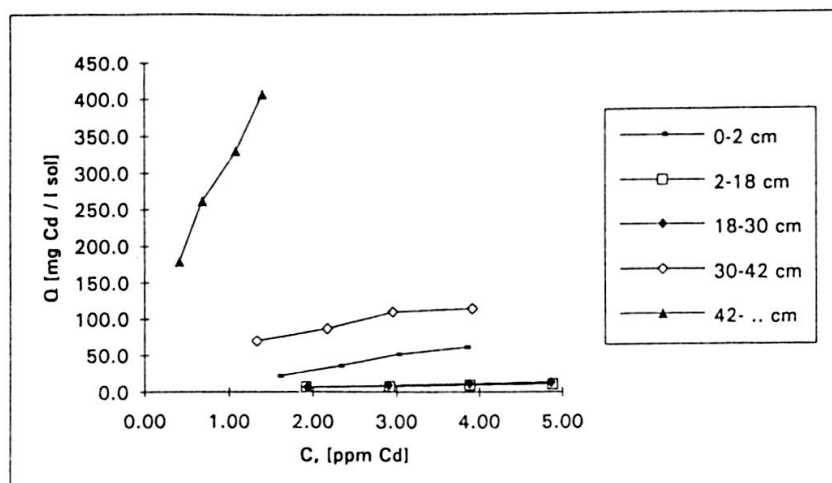


FIG. 3.

Courbes d'adsorption du cadmium. Q: quantité adsorbée; C: concentration en solution à l'équilibre.

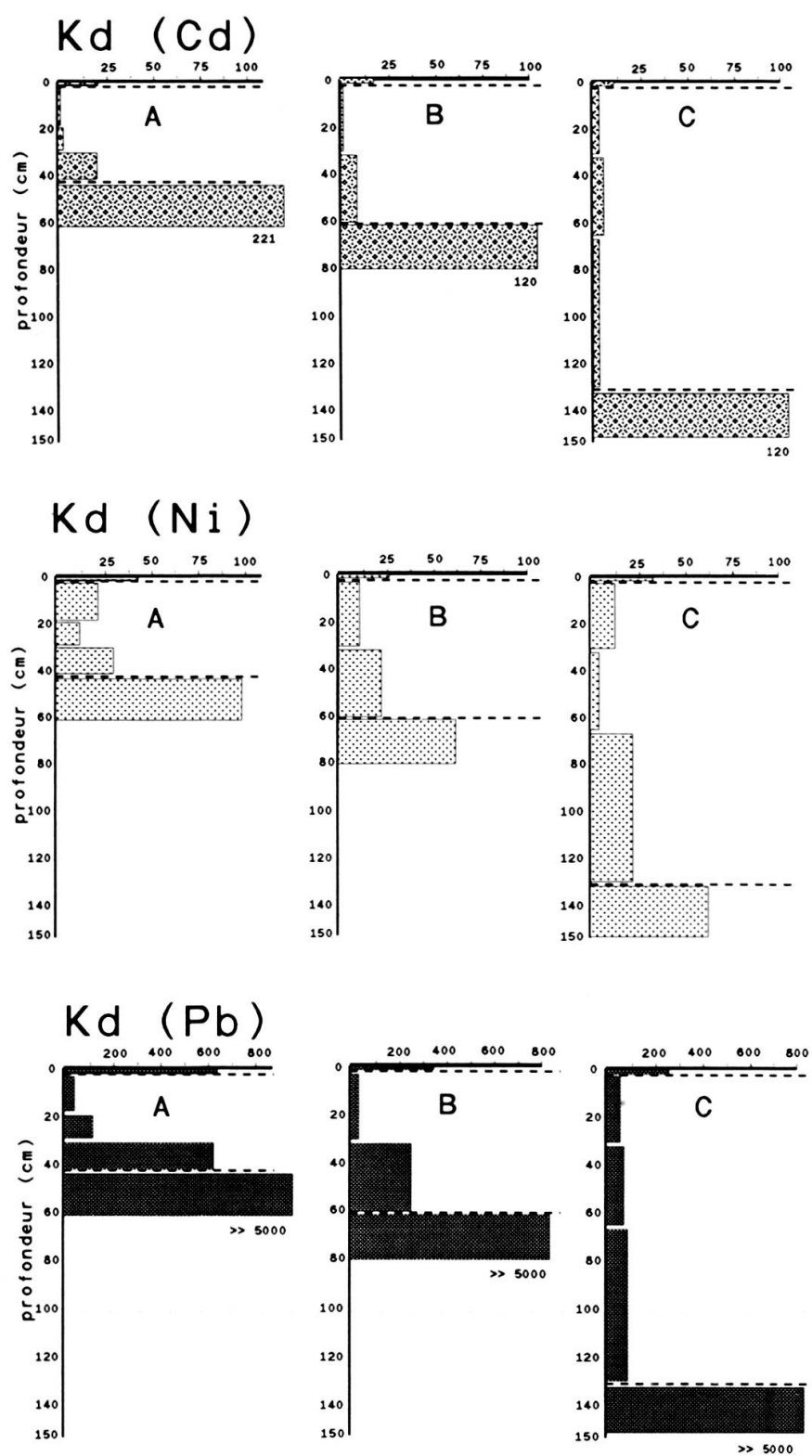


FIG. 4.

Les coefficients de distribution (K_d) des différents horizons.

L'origine du cadmium peut être reliée avec les retombées de cendres volcaniques du quaternaire provenant du Laachersee, dans l'Eifel et de la chaîne des Puys, dans l'Auvergne, qui ont été mis en évidence dans les sédiments post-glaciaires récents des environs de Genève (DURET), (MARTINI). Cette explication est étayée par les très fortes teneurs en cadmium mesurées dans le Morvan (BAIZE). Des études futures devraient permettre l'évaluation de l'importance de cet impact.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé avec le soutien financier de l'Office fédéral pour la Protection de l'Environnement des Forêts et du Paysage.

Les auteurs remercient M. GRATIER (Aménagement du territoire, canton de Vaud) pour l'interprétation des profils pédologiques et L. CHATENOUX pour son assistance technique.

RÉSUMÉ

L'étude détaillée de la distribution des métaux lourds (ML) dans les horizons pédologiques de trois sites forestiers des environs de Genève, a permis d'élaborer l'hypothèse selon laquelle, une relation directe entre les teneurs et les coefficients de distribution (K_d) serait indicatrice d'une situation "naturelle"; dans le cas contraire il y aurait un déséquilibre révélateur d'apports externes d'origine récente.

MOTS CLÉS

Sol, métaux lourds, coefficients de distribution.

RÉFÉRENCES

- ANDERSON P.R. & CHRISTENSEN T.H. (1988). Distribution coefficients of Cd, Co, Ni, and Zn in soils. *J. Soil Science*, 39, 15-22.
- BAIZE D. (1994). Les teneurs totales en métaux lourds dans les sols de France: variabilité du fond pédogéochimique naturel. *Communication aux 4èmes Journées Nationales d'Étude des Sols — 18/21 Avril 1994 — Lille — France*.
- BOURG A.C.M. (1982). Un modèle d'adsorption des métaux traces par les matières en suspension et les sédiments des systèmes aquatiques naturels. *C. R Acad. Sc. Paris*, 294 (Série II), 1091-1094.
- BOURG A.C.M. & SAUTY J.P. (1987). Can the distribution coefficient (K_d) concept account successfully for the absorption of pollutants in hydrodynamic mass transfer models? in *Vulnerability of soil and groundwater to pollutants: proceedings of the International Conference on March 30-April 3, 1987 at Noordwijk aan Zee* /ed. by W. van Duijvenbooden and H.G. van Waegeningh - The Hague: TNO Committee on Hydrological Research.

- CELARDIN F., CHATENOUX L. et D'ERSU PH. (1989). Métaux lourds dans les sols du bassin genevois: état de la question (II). *Archs. Sci. Genève*, 42, 493-498.
- CELARDIN F. et CHATENOUX L. (1990). Répartition en profondeur des métaux lourds dans les sols genevois. *Archs. Sci. Genève*, 43, 265-272.
- CELARDIN F., CHATENOUX L. et MEYLAN G. (1992). Réseau genevois d'observation du sol (GEOS). *Archs. Sci. Genève*, 45, 171-187.
- DURET J.J. & MARTINI J. (1965). Un niveau de cendres volcaniques dans la craie lacustre du lac de Châlain (Jura français). *Archs. Sci. Genève*, 18, 679-686.
- HALEN H. & VAN BLADEL R. (1990). Etude des facteurs contrôlant l'adsorption du cadmium dans une série de sols belges. *Revue de l'Agriculture - Landbouwtijdschrift* 43, 933-948.
- HALEN H. (1993). Distribution et cinétique de mobilisation du cadmium dans le sol. *Thèse. Université catholique de Louvain, Faculté des Sciences agronomiques, Unité des Sciences du Sol*.
- MARTINI J. & DURET J.J. (1965). Etude du niveau des cendres volcaniques des sédiments post-glaciaires récents des environs de Genève. *Archs. Sci. Genève*, 18, 563-575.
- NABO (1992). Réseau National d'observation des Sols (1985-1991). *Cahier de l'Environnement No. 200, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) Berne, Suisse*.
- REARDON E.J. (1981). K_d 's - Can they be used to describe reversible ion sorption reactions in contaminant migration? *Ground Water*, 19, 279-286.
- ROPAG (1992). Réseau d'observation des polluants atmosphériques de Genève. *Rapport annuel AIR. Service de l'Ecotoxicologie cantonal, Genève*.
- RUPPERT H. (1991). Zur Problematik der Abschätzung anthropogener Stoffgehalte in Böden am Beispiel von Schwermetallen. *GLA Fachberichte*, 6, 36-61. *Bayerisches Geologischer Landesamt, München*.