NATIONS UNIES **E**

Conseil Économique et Social

Distr.
GÉNÉRALE
EB.AIR/WG.1/2000/8
2 juin 2000

FRANÇAIS
Original : ANGLAIS

COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE

ORGANE EXÉCUTIF DE LA CONVENTION SUR LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE TRANSFRONTIÈRE À LONGUE DISTANCE
Groupe de travail des effets
(Dix-neuvième session, Genève, 23-25 août 2000)

Point 4 d) de l'ordre du jour provisoire

ÉTAT D'AVANCEMENT DE L'ÉTUDE DES DÉPÔTS DE MÉTAUX LOURDS SUR LA VÉGÉTATION

Rapport de synthèse du Centre de coordination du Programme international concerté relatif aux effets de la pollution atmosphérique sur la végétation naturelle et les cultures (PIC-Végétation)

I. GÉNÉRALITÉS

1. Le premier protocole relatif à la lutte contre les émissions de métaux lourds, adopté à Aarhus (Danemark) en 1998 et signé par 36 Parties à la Convention, dispose qu'une approche fondée sur les effets devrait prendre en compte les informations appropriées aux fins de l'élaboration de futures stratégies de lutte optimisées qui tiennent compte des facteurs

Les documents établis sous les auspices ou à la demande de l'Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance aux fins d'une distribution GÉNÉRALE doivent être considérés comme provisoires tant qu'ils n'ont pas été APPROUVÉS par l'Organe exécutif.

économiques et technologiques (art. 6). Peu avant l'adoption du Protocole, un atelier tenu en 1997 à Bad Harzburg (Allemagne) avait étudié les méthodes applicables à une approche fondée sur les effets (EB.AIR/WG.1/1998/13). L'atelier était parvenu à la conclusion que des recherches supplémentaires étaient nécessaires pour élaborer des méthodes permettant de déterminer des valeurs critiques pour les métaux lourds. Il avait constaté un manque d'information au sujet des dépôts sur la végétation, lacune que le PIC-Végétation a comblée en intégrant les mesures pertinentes dans son programme de travail en 1998. Les résultats ont été présentés lors d'un atelier de suivi consacré aux approches fondées sur les effets pour les métaux lourds qui s'est tenu en 1999 (Schwerin, Allemagne, EB.AIR/WG.1/2000/10). Un deuxième exercice d'échantillonnage et d'analyse est prévu pour cette saison expérimentale du PIC-Végétation. En outre, le PIC-Végétation est en passe d'intégrer dans son programme d'activités un projet en cours portant sur l'étude des dépôts de métaux lourds sur les mousses dans plus de 30 pays.

2. Le Protocole d'Aarhus relatif aux métaux lourds de 1998 vise trois métaux particulièrement nocifs : le cadmium, le plomb et le mercure. Les dépôts de plomb et de cadmium ont été intégrés dans l'analyse des clones de trèfle utilisés dans le cadre de l'expérience sur l'ozone du PIC-Végétation. La teneur en mercure n'a pas été mesurée car, du fait de sa volatilité, la substance présente dans la plante risque d'être une nouvelle fois libérée, ce qui rend les calculs réalisés à partir de la matière sèche difficiles et peu fiables. Par contre, les teneurs en arsenic et en cuivre ont été déterminées car ces deux éléments peuvent également être nocifs s'ils s'accumulent dans l'environnement ou les aliments, et ont fait l'objet de précédentes études dans le cadre des travaux prévus par la Convention.

3. Les données concernant les dépôts sur les plantes sur pied sont indispensables pour valider les cartes des dépôts de métaux lourds qui ont été établies à partir d'informations concernant les dépôts directs dans les pluviomètres ou leur équivalent. Il n'y a pas nécessairement de corrélation entre les valeurs provenant des dépôts de ces pluviomètres et les doses absorbées par la végétation. Tout d'abord, les dépôts doivent être interceptés par les plantes, soit directement par les feuilles soit indirectement par les racines à partir d'un sol récepteur. Ils peuvent être ensuite éliminés par la pluie, le vent ou la rosée, etc. et les métaux éventuellement accumulés disparaissent parfois dans la litière végétale. C'est ainsi que les plantes accumulent les métaux lourds par absorption racinaire et interception par les feuilles de poussières de sources locales ou éloignées. L'accumulation des poussières par les organismes végétaux vivants est un processus dynamique. L'augmentation de la biomasse a un effet diluant sur la concentration des métaux mais en même temps la couverture du sol s'accroît, ce qui favorise l'interception des particules. On peut calculer la partie du flux vertical accumulée par les plantes à partir de la concentration de métaux lourds dans la biomasse végétale, la surface du sol couverte au moment de la récolte et la durée d'exposition. Ce flux peut alors être comparé aux dépôts de poussières mesurés au moyen de pluviomètres.

II. OBJECTIFS

4. Les objectifs de cette étude étaient les suivants :

a) Déterminer s'il est viable d'utiliser des clones de trèfle blanc pour évaluer les dépôts de métaux lourds sur les sites du PIC-Végétation;

b) Analyser des échantillons de trèfle provenant des sites pour établir les concentrations de plomb, de cadmium, de cuivre et d'arsenic;

c) Étudier la manière dont cette approche peut être utilisée pour valider les modèles établis par l'EMEP pour les dépôts de métaux lourds;

d) Entreprendre le transfert du programme d'étude des concentrations de métaux lourds dans les mousses au PIC-Végétation.

III. MÉTHODE EXPÉRIMENTALE ET VALIDATION

5. Des échantillons de la saison expérimentale de 1998 (plus un échantillon provenant de la saison de 1999) du PIC-Végétation ont été utilisés pour évaluer les dépôts de métaux lourds sur 18 des sites expérimentaux. Les participants ont cultivé des clones sensibles à l'ozone (NC-S) et des clones résistants à l'ozone (NC-R) dans des pots de 15 litres en plein air, conformément au protocole standard (CEE-ONU, 1998). Deux échantillons de matière sèche (feuillage et tiges) récoltés sur chaque clone tous les 28 jours étaient envoyés pour analyse au Centre d'étude et de recherches vétérinaires et agrochimiques (CERVA) de Tervuren (Belgique). Les échantillons provenant des premières récoltes ont été exclus de l'analyse car les plants en étaient à un stade précoce de leur croissance en plein air. Le matériel provenant de trois à quatre récoltes successives par site a été analysé pour établir sa teneur en plomb, cadmium, cuivre et arsenic. Le substrat n'a pas été normalisé sur chaque site de sorte que des échantillons provenant des différents emplacements ont aussi été inclus dans l'analyse.

6. L'analyse a été réalisée au CERVA en utilisant une technique fondée sur la méthode du Comité inter-instituts d'études des techniques analytiques, qui consiste à réduire en cendres la matière sèche, à la dissoudre dans de l'acide nitrique et à la mesurer par spectrométrie d'absorption atomique en four à graphite (GF-AAS). La même méthode a été utilisée pour les tourbières. Les minéraux contenus dans les sols ont été extraits à l'acide nitrique/acide chlorhydrique dans une proportion de un pour trois (eau régale) et mesurés par spectrométrie GF-AAS. Les limites de détection étaient de 0,08, 0,025, 1,0 et 0,009 $\mu g\ g^{-1}$ de matière sèche pour le plomb, l'arsenic, le cuivre et le cadmium, respectivement.

7. Il est ressorti de l'analyse des échantillons doubles (deux récipients par clone) que la reproductibilité des mesures était satisfaisante pour les différents éléments. Malgré un rythme de croissance différent pour les clones NC-S et NC-R sur certains des sites, on n'a pas constaté de différence évidente dans la bio-accumulation de l'arsenic, du cadmium, du cuivre et du plomb entre les clones (par exemple le plomb, fig. I). Pour la comparaison des concentrations de métaux lourds dans le trèfle, le stade de croissance ne revêt pas une grande importance car l'augmentation de la biomasse correspond à une augmentation de la surface foliaire et à une meilleure interception des retombées de poussières. Toutefois, à titre de précaution, les données figurant dans le présent rapport ne proviennent que du clone NC-R.

8. Un autre élément qui a été pris en considération a été l'influence de l'absorption racinaire sur les concentrations constatées dans le feuillage compte tenu du fait que différents substrats ont été utilisés sur chaque site. Les substrats organiques et minéraux ont été étudiés séparément (tableau 1). Aucune corrélation nette n'a été constatée entre les teneurs en plomb et en cadmium

des milieux de croissance et du trèfle fourrager, ce qui indique que la teneur en cadmium et en plomb du sol n'est pas la source prédominante de ces éléments dans la biomasse aérienne. Pour le cuivre, on a constaté une corrélation entre les concentrations dans les sols minéraux et le fourrage (fig. II), mais aucune corrélation de ce type pour les sols organiques. Ainsi, à l'exception possible des mesures de la teneur en cuivre du trèfle cultivé sur des sols minéraux, l'apport du substrat était limité et les métaux lourds mesurés peuvent être considérés comme ayant été essentiellement déposés sur le feuillage à partir de l'atmosphère.

IV. TENDANCES DE LA TENEUR EN MÉTAUX LOURDS DU TRÈFLE

9. La teneur moyenne en métaux lourds du trèfle fourrager sur les sites retenus est illustrée à la figure III. La teneur naturelle en métaux lourds, provenant de l'absorption racinaire, était faible dans les feuilles de trèfles et dans quelques cas inférieure à la limite de détection de 0,08, 0,025 et 0,009 $\mu g\ g^{-1}$ de matière sèche pour le plomb, l'arsenic et le cadmium, respectivement. Le cuivre, élément essentiel pour les plantes, était présent en forte concentration dans le fourrage.

Tableau 1 : Corrélation entre la teneur en métaux lourds du substrat et celle du trèfle fourrager obtenue par régression linéaire

Coefficient de corrélation r^2 obtenu par régression linéaire		
	Substrats organiques	Substrats minéraux
Teneur en plomb	0,04	0,01
Teneur en cadmium	-0,2	0,01
Teneur en cuivre	0,32	0,60

Note : cette corrélation n'a pu être étudiée pour l'arsenic car les niveaux étaient inférieurs à la limite de détection sur la plupart des sites.

10. La concentration saisonnière moyenne du plomb dans le trèfle allait de 0,24 $\mu g\ g^{-1}$ de matière sèche dans les régions côtières de la France, du pays de Galles et de l'Allemagne à 2 $\mu g\ g^{-1}$ de matière sèche en Europe centrale. Les dépôts de plomb les plus élevés ont été observés à Cologne (Allemagne), Tervuren (Belgique), Cadenazzo (Suisse) et Rome (Italie) et peuvent dans une certaine mesure être attribués à l'intensité du trafic dans ces régions. Pour le cadmium, les concentrations allaient de 0,019 à 0,12 $\mu g\ g^{-1}$ de matière sèche. Les concentrations de cadmium les plus élevées dans le trèfle ont été observées à Tervuren (Belgique), Cologne (Allemagne) et Trier (Allemagne) et les régions avoisinantes. Les cartes des émissions de cadmium indiquent également des niveaux élevés dans ces régions. La teneur naturelle en arsenic du trèfle, très faible, était inférieure à la limite de détection de 0,025 $\mu g\ g^{-1}$ de matière sèche sur plus de la moitié des sites, ou très proche de cette limite. Les valeurs saisonnières moyennes n'étaient nettement supérieures à la teneur naturelle attendue du fait de l'absorption racinaire que sur les sites suivants : île Serafini (Italie) (0,074 $\mu g\ g^{-1}$), Madrid (Espagne) (0,090 $\mu g\ g^{-1}$), Navarre (Espagne) (0,081 $\mu g\ g^{-1}$) et Rome (Italie) (0,114 $\mu g\ g^{-1}$). Il était difficile de tirer des conclusions des teneurs en cuivre des échantillons de trèfle car l'absorption racinaire a peut-être été déterminante. Néanmoins, les valeurs les plus élevées ont été observées sur des sites proches de grandes villes ou d'axes routiers importants.

11. Pour la plupart des sites expérimentaux, l'accumulation des métaux lourds peut être attribuée à des dépôts de poussières sur les feuilles, provenant du transport à longue ou à moyenne distance de métaux lourds, puisqu'il n'y avait pas d'importantes sources locales connues. Les sites situés dans des grandes villes ou à proximité de régions où le trafic est intense ont pu recevoir des dépôts provenant d'un transport à courte distance.

V. LE PROJET D'ÉTUDE DE LA PRÉSENCE DE MÉTAUX LOURDS DANS LES MOUSSES

12. Il a été décidé à la dix-huitième session du Groupe de travail des effets de confier une nouvelle tâche au PIC-Végétation (EB.AIR/WG.1/1999/2, par. 28 et 30). Compte tenu du succès de l'étude pilote décrite ci-dessus concernant les dépôts de métaux lourds sur le trèfle, le PIC-Végétation a été chargé de coordonner un programme bien établi d'observation des dépôts de métaux lourds sur les mousses. Ce programme, lancé au départ en 1980 dans le cadre d'une initiative conjointe entre le Danemark et la Suède, a été élargi à 30 pays d'Europe lors de la dernière enquête de 1995. Quelque 64 000 mesures ont été réalisées dans le cadre de l'enquête la plus récente, ce qui a permis d'obtenir un tableau complet des dépôts de métaux en Europe (Rühling et Steinnes, 1998). L'utilisation des mousses pour ce type d'étude présente divers avantages par rapport à l'analyse classique des précipitations, car l'échantillonnage, qui ne nécessite pas de matériel coûteux, est plus facile et que les concentrations plus élevées en éléments traces dans les mousses rendent l'analyse plus directe et moins susceptible de contamination. Plusieurs méthodes de régression ont été utilisées pour établir une corrélation entre les études sur les mousses et les données provenant de la surveillance des précipitations (Berg et Steinnes, 1997). Si le Conseil des ministres des pays nordiques appuie actuellement, par l'intermédiaire du Groupe de travail des pays nordiques sur la surveillance et les données, les premières phases de l'étude de 2000, il a pu, comme prévu, développer et harmoniser les méthodologies, d'autant que le programme a largement dépassé le cadre strictement nordique fixé au départ. Le PIC-Végétation a donc été invité à intégrer ce programme dans ses activités afin d'utiliser cette importante source de données pour le Protocole relatif aux métaux lourds. Cela se fera officiellement le 1er avril 2001, en collaboration avec l'EMEP, le Centre de coordination pour les effets, le PIC-Cartographie et le PIC-Surveillance intégrée. Dans l'intervalle, l'enquête sur échantillon de 2000 sera réalisée par le professeur Rühling (Université de Lund, Suède) et le PIC-Végétation entreprendra de rassembler les données.

VI. CONCLUSIONS

13. Les résultats présentés ont montré que les clones de trèfle peuvent servir à déceler les effets de l'ozone, mais aussi à étudier les dépôts de métaux lourds sur les cultures. Les inquiétudes concernant la contribution de l'absorption racinaire n'ont pour la plupart pas été confirmées pour l'arsenic et le plomb car ces éléments ne sont pas facilement absorbés par la plante et qu'aucune corrélation n'est donc apparue entre la teneur du sol et du fourrage. Toutefois, le type et l'acidité du sol étaient déterminants pour l'absorption du cuivre et, dans une moindre mesure, du cadmium. Il serait préférable de disposer dans tous les sites d'une combinaison de sol standard à des fins de comparabilité. Malheureusement, cela n'était pas faisable dans le cadre des précédentes expériences du PIC-Végétation car il n'était pas possible de cultiver les plantes dans des conditions également bonnes sur un substrat standard dans tous les sites vu les différences de

climat. En outre, les substances de base composant le substrat n'étaient pas identiques dans les différents pays.

14. Les données ont permis de dégager certaines tendances. Ainsi, la teneur en plomb, en cuivre et en arsenic était la plus élevée sur le site de Rome (Italie). Comme ce site est proche du centre de Rome, il est probable que les dépôts de poussières provenant de sources locales en soient à l'origine. D'autres sites proches de centres-villes, par exemple ceux de Madrid (Espagne), Trier (Allemagne) et Cologne (Allemagne), figurent dans le groupe à plus forte concentration des différents métaux lourds. Il vaut mieux se fonder sur les teneurs en métaux décelées sur des sites ruraux éloignés de sources locales, telles qu'autoroutes, pour se faire une idée de la contribution du transport à longue distance. Des sites tels que ceux de Seibersdorf (Autriche) et Wageningen (Pays-Bas), qui appartiennent à cette catégorie, présentaient des teneurs en métaux lourds provenant de distances moyennes égales pour les quatre métaux. Par contre, sur un site rural similaire (Deuselbach, Allemagne), les concentrations étaient comparables pour trois des métaux, mais la teneur en cadmium était plus élevée que sur tous les autres sites, alors qu'il n'y avait apparemment pas d'absorption racinaire. Cela semble indiquer que des émissions provenant d'une source locale de cadmium ont peut-être été déposées sur les trèfles de ce site.

15. Si l'on ne tient pas compte des apports des sources locales, les tendances générales des concentrations en plomb et en cadmium constatées sur les sites du PIC-Végétation correspondent dans une large mesure aux prévisions de l'ESQUAD (1994). Par exemple, la teneur en plomb était "élevée" sur certains sites de pays du Benelux, de Suisse et d'Allemagne du nord où les taux de dépôt prévus étaient élevés. De même, les tendances des concentrations de métaux lourds dans les mousses étudiées dans le cadre du projet financé par le Conseil des pays nordiques (Ruhling et Steinnes, 1998) correspondaient en gros à celles qui avaient été définies par le PIC-Végétation. Toutefois, les concentrations dans les mousses du projet du Conseil des pays nordiques étaient environ 10 fois plus élevées que dans les clones de trèfle. Cela pourrait tenir à la durée d'exposition (28 jours contre une période indéfinie correspondant à l'âge de la mousse), à des différences physiologiques entre les récepteurs, à des différences chimiques dans le substrat utilisé (milieux de croissance au lieu de sols forestiers) ou à l'emplacement choisi (plein champ au lieu de clairière).

16. Cette étude préliminaire a indiqué que les clones de trèfle peuvent être utilisés pour observer les dépôts de métaux lourds sur les sites du PIC-Végétation. L'étape suivante consistera à répéter l'exercice en 2000 en utilisant un protocole expérimental révisé. Des mesures supplémentaires seront réalisées, telles que l'indice de surface foliaire, pour permettre le calcul des taux de dépôt. Les résultats, combinés à ceux de l'enquête 2000 sur les mousses, seront finalement utilisés pour valider les cartes des dépôts de l'EMEP et de l'ESQUAD.

VII. TRAVAUX FUTURS

17. Le PIC-Végétation continuera d'étudier les dépôts de métaux lourds sur le trèfle et intégrera le projet d'étude des mousses dans son programme comme suit :

a) Dépôts de métaux lourds sur le trèfle :

i) Un nouveau programme d'échantillonnage sera mené pendant l'été 2000 suivi d'une analyse des concentrations de plomb, de cadmium, d'arsenic et de cuivre;

ii) Les taux de dépôt sur le trèfle seront calculés en tenant compte de la superficie foliaire totale;

iii) Les dépôts sur le trèfle des sites du PIC-Végétation seront comparés aux cartes des dépôts de l'ESQUAD et aux cartes de la teneur en métaux lourds des mousses;

b) Dépôts de métaux lourds sur les mousses :

i) Le Professeur Rühling (Université de Lund, Suède) sera secondé pour la réalisation de l'enquête 2000 sur les concentrations de métaux lourds, ce qui facilitera le transfert du programme au PIC-Végétation le 1er avril 2001;

ii) Les données de l'enquête 2000 seront rassemblées, analysées et présentées dans un rapport en couleurs illustrant les principaux résultats;

iii) Les données des quatre enquêtes précédentes seront converties en un format utilisable pour la cartographie et l'analyse des tendances;

iv) Les moyens d'estimer les dépôts réels de métaux lourds sur les surfaces terrestres à partir des données de l'enquête sur les mousses seront étudiés afin de permettre l'établissement de cartes des dépôts.

VIII. BIBIOGRAPHIE

Berg, T. et Steinnes, E. 1997. Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute deposition values. *Environmental Pollution*, **98**, 61-71.

ESQUAD (1994). The impact of atmospheric deposition of non-acidifying pollutants on the quality of European Forest soils and the North Sea: Main report of the ESQUAD project. Van den Hout, K. D. (ed.), Pays-Bas.

Rühling, A. et Steinnes, E. 1998. *Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe 1995-1996.* Nord 1998:15, Conseil des ministres des pays nordiques, Copenhague.

CEE-ONU (1998). ICP Crops Experimental Protocol. ICP Crops Coordination Centre, Institute of Terrestrial Ecology, Bangor, Royaume-Uni.

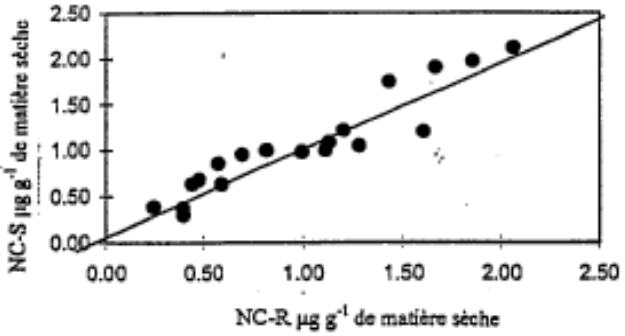
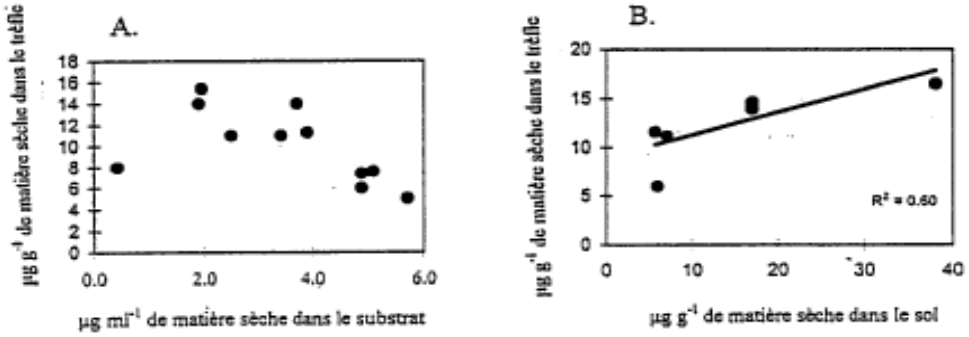


Figure I : Teneur en plomb du clone NC-R par rapport au clone NC-S



.

Figure II : Corrélation entre la teneur en cuivre du trèfle fourrager et celle des substrats organique (A) et minéral (B) utilisés sur les sites

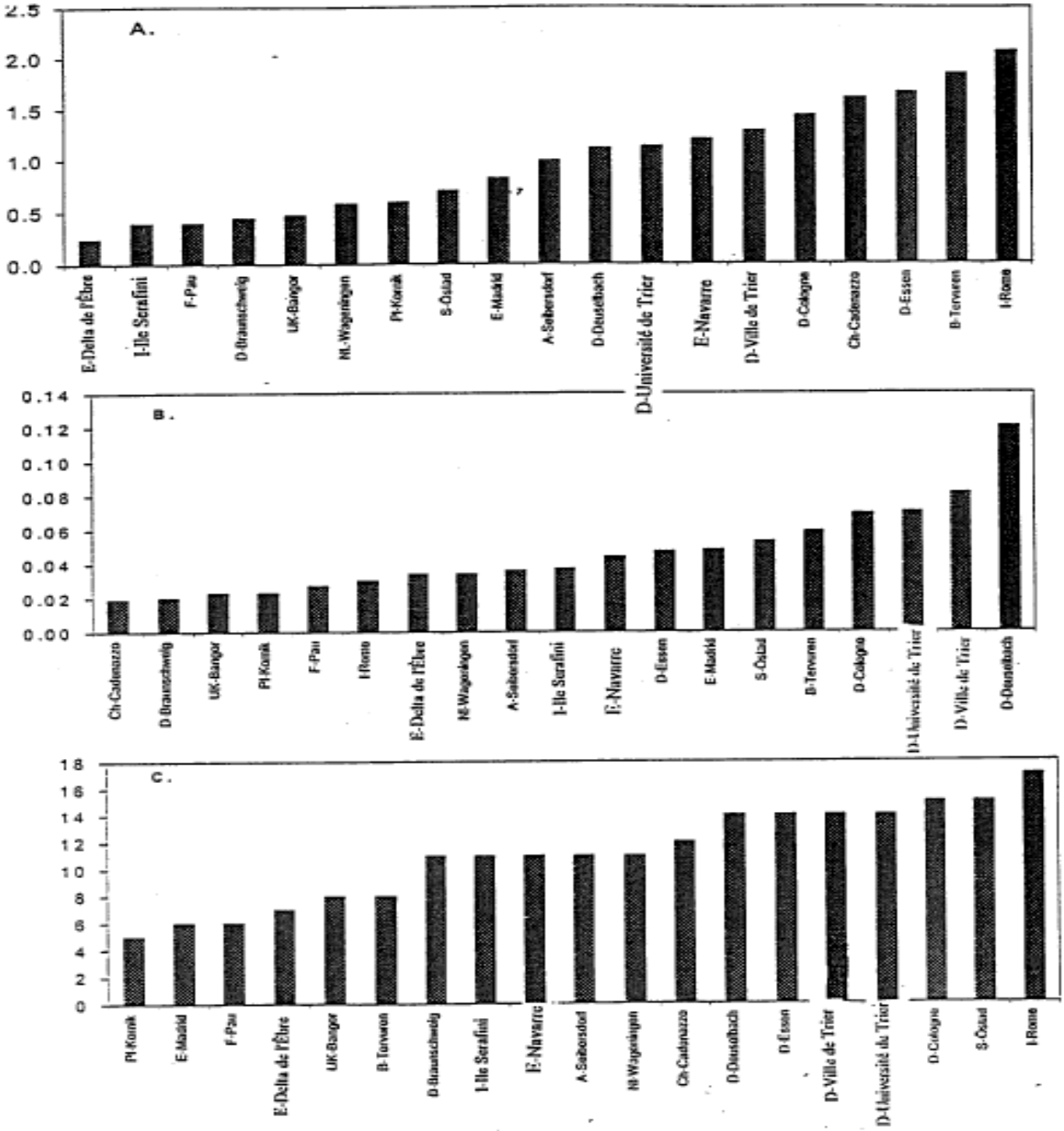


Figure III : Teneur en plomb (A), cadmium (B) et cuivre (C) du clone NC-R de trèfle blanc. Chaque valeur représente la teneur moyenne à intervalles de récolte de 28 jours en $\mu g\ g^{-1}$ de matière sèche. Les sites sont classés par ordre de concentration croissante

---