

<b>Zeitschrift:</b>	Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société
<b>Herausgeber:</b>	Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
<b>Band:</b>	44 (1991)
<b>Heft:</b>	2: Archives des Sciences
 <b>Artikel:</b>	Les feuilles de chêne : bioindicateur des immissions en cadmium application au voisinage d'usines d'incinération d'ordures
<b>Autor:</b>	Robin, D. / Martin, M. / Haerdi, W.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-740201">https://doi.org/10.5169/seals-740201</a>

#### **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:** 01.02.2026

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

Archs. Sci. Genève	Vol. 44	Fasc. 2	pp. 253-264	Genève, juin 1991
--------------------	---------	---------	-------------	-------------------

# LES FEUILLES DE CHÊNE, BIOINDICATEUR DES IMMISSIONS EN CADMIUM APPLICATION AU VOISINAGE D'USINES D'INCINÉRATION D'ORDURES

PAR

**D. ROBIN, M. MARTIN, W. HAERDI \***

## ABSTRACT

Investigation of cadmium fallout and its accumulation on oak leaves over a period of several years have demonstrated that they may be used as bio-indicators.

A simple, rapid analytical technique allowing analysis of a large number of samples has been developed. In this method the usual long mineralisation step has been replaced by a single extraction step.

## RÉSUMÉ

Plusieurs années d'observations et de mesures des immissions du cadmium et de sa concentration dans les feuilles de chêne nous permettent de proposer leur utilisation comme bioindicateur.

Ce travail a été rendu possible grâce à une simplification de la technique analytique utilisée, en remplaçant la minéralisation des échantillons par une simple extraction, permettant d'effectuer de grandes séries d'analyses.

## INTRODUCTION

Nos études sur les feuilles de chêne [1,2] nous ont permis de mettre en évidence leur utilisation en tant que bioindicateur vis-à-vis du cadmium: elles accumulent ce métal lorsqu'elles sont sèches et celui-ci y demeure bien fixé. Plusieurs années d'observations et de mesures de concentrations en cadmium dans ces feuilles nous permettent de conclure à leur utilisation en tant que bioindicateur de manière quantitative.

## I. MÉTHODE DE PRÉLÈVEMENT ET DE TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

### 1. Feuilles de chêne

Les feuilles sont prélevées à une hauteur de 2 m environ, lyophilisées puis broyées dans un mortier en présence d'azote liquide.

\* Département de chimie minérale, analytique et appliquée, Université de Genève, 30, quai Ernest-Ansermet, 1211, Genève 4.

Devant le nombre important d'échantillons, nous avons été amenés à modifier notre technique de mise en solution proposée ultérieurement [2].

Nous avons testé des extractions avec des solutions complexantes telles que: cystéine, valine, tartrate, malonate, NTA; EDTA, et cyanure entre autres. Le complexant le plus efficace est le cyanure avec une constante de complexation  $\log \beta = 18,8$  [3].

Ce dernier complexant est donc choisi plutôt qu'une longue minéralisation donnant d'ailleurs les mêmes résultats. En effet, nous avons obtenu après minéralisation avec  $\text{HNO}_3$  2M une concentration de 2,44 ppm, par extraction avec les cyanures le même échantillon a donné la teneur de 2,42 ppm.

Nous avons adopté la marche à suivre suivante:

Une prise de 50 mg de poudre de feuille est pesée dans un tube en polystyrène gradué de 10 ml. On ajoute 1 ml d'une solution de KCN 1 M, on agite puis complète à 10 ml avec une solution de sels modificateurs de matrice ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  10 g/1 et  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  2g/1). Le tube est agité puis centrifugé, la solution surnageante est analysée par absorption atomique sans flamme en utilisant des tubes pyrolytiques avec plateforme de l'Vov [4]. Pour un standard «végétal Kale» de BOWEN garanti:  $\text{Cd} = 0,874 + 0,156$  ppm, nous avons trouvé:  $\text{Cd} = 0,9 + 0,1$  ppm.

## 2. Pluviomètre

Nous avons disposé en deux points des pluviomètres (diamètre intérieur 8 cm), aux environs de l'usine d'incinération des Cheneviers [2] soit:

- dans les axes des vents dominants: à 1 Km au Nord-Est de l'usine (Peney) et à 0,5 Km au sud-Ouest (Verbois);
- en situation non exposée aux émissions de l'usine (Les Baillelets).

Le contenu des pluviomètres (eaux de pluie et poussières) est acidifié ( $\text{HNO}_3$ ), puis le cadmium est dosé par spectrométrie d'absorption atomique.

## II. RÉSULTATS

### 1. Les feuilles

Des feuilles ont été prélevées régulièrement du 3.11.88 au 10.4.89, sur un arbre situé à Verbois et analysées. L'évolution de la concentration en cadmium en fonction du temps est présentée sur la figure 1. En interprétant cette figure, deux questions peuvent se poser:

- La limite de saturation en cadmium des feuilles est-elle atteinte?
- Quelle est la nature de la liaison cadmium – feuille?

Nous avons effectué des expériences en laboratoire pour mettre en évidence la faculté d'accumulation du cadmium par les feuilles. D'une part, un échantillon de celles-

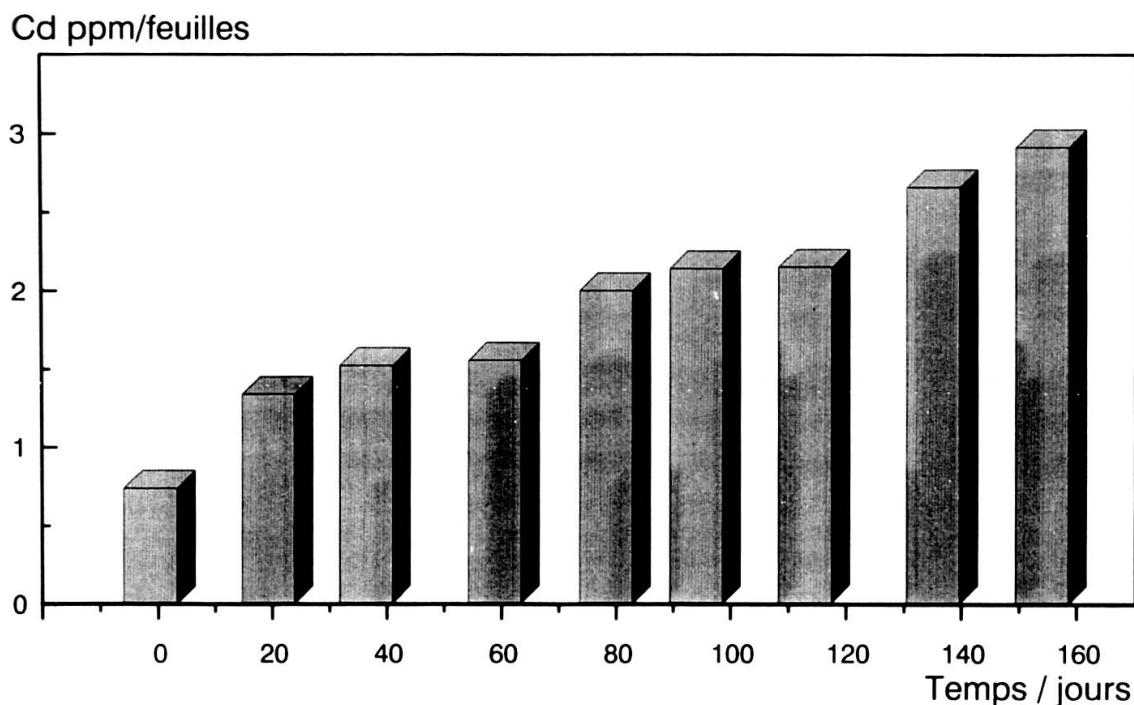


FIG. 1.

Evolution de la concentration en cadmium dans les feuilles d'un chêne situé à Verbois, durant la période où les feuilles sont naturellement sèches (PFNS), soit du 3.11.88 au 10.4.89.

ci a été mis en contact pendant une nuit avec des solutions de cadmium permettant d'obtenir théoriquement, des concentrations de 1 à  $10^6$  ppm, dans un rapport poids entre les feuilles et la solution 1/50. D'autre part, en analysant les feuilles et les solutions de contact, on constate que tout le cadmium est fixé jusqu'à une concentration de  $10^4$  ppm (figure 2), valeur très supérieure aux quelques ppm observés dans les situations naturelles.

Pour répondre à la seconde question, nous avons réalisé des extractions d'un même échantillon de feuille, avec du nitrate de sodium à trois concentrations différentes et ceci

	NaNO <sub>3</sub> 0,1 M Cd ppm	NaNO <sub>3</sub> 0,33 M Cd ppm	NaNO <sub>3</sub> 1 M Cd ppm
Température 25° C	1,36	1,76	1,92
Température 50° C	1,36	1,76	1,80

TABLEAU I.

Résultats d'analyses effectuées par extraction avec différentes concentrations de NaNO<sub>3</sub> et pour différentes températures. Cet échantillon de feuille traité par la méthode d'extraction au cyanure, présente une concentration en cadmium de 2,42 ppm.

respectivement à deux températures 25° et 50°C. Les résultats sont donnés dans le tableau 1: on remarque que l'extraction du cadmium augmente avec la force ionique et surtout ne dépend pas de la température, ce qui nous laisse supposer que le cadmium n'est pas absorbé mais fixé par certains composés organiques constituant la surface de la feuille.

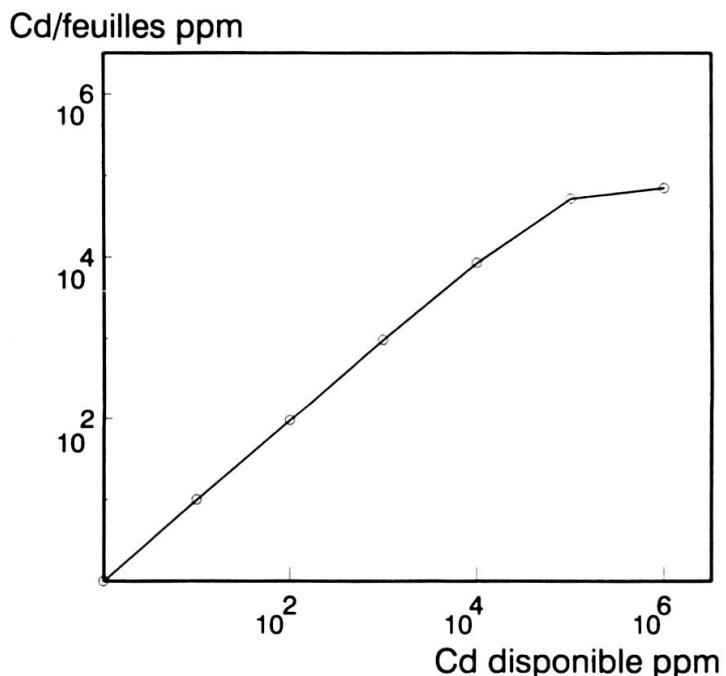


FIG. 2.

Possibilité de fixation du cadmium dans les feuilles de chêne.

## 2. Pluviomètres

Parmi les nombreuses campagnes effectuées, nous avons choisi de montrer, sur la figure 3, les résultats obtenus durant la période 1988-1989. L'ordonnance fédérale sur la protection de l'air (OPair) [5] fixe comme valeur limite d'immissions du cadmium en moyenne annuelle: 2 µg/m<sup>2</sup>. jour. Les ruptures dans l'histogramme proviennent de la fréquence des prélèvements où les retombées en cadmium sont moyennées sur des périodes de 2 à 4 semaines. On constate sur le tableau 2, que le pluviomètre le plus proche de l'usine (Verbois), est le plus exposé aux retombées en cadmium.

Situation des pluviomètres	1987 - 1988 Cd µg/m <sup>2</sup> .jour	1988 - 1989 Cd µg/m <sup>2</sup> .jour	1989 - 1990 Cd µg/m <sup>2</sup> .jour
Les Baillets	0,5	0,3	0,2
Peney	3,0	1,5	1,0
Verbois	3,3	3,0	1,8

TABLEAU 2.

Valeurs moyennes des immissions (µg/m<sup>2</sup>.jour) pour les 3 pluviomètres, calculées selon l'ordonnance fédérale OPair, entre le 1er septembre et le 31 août, depuis 1987 à 1990.

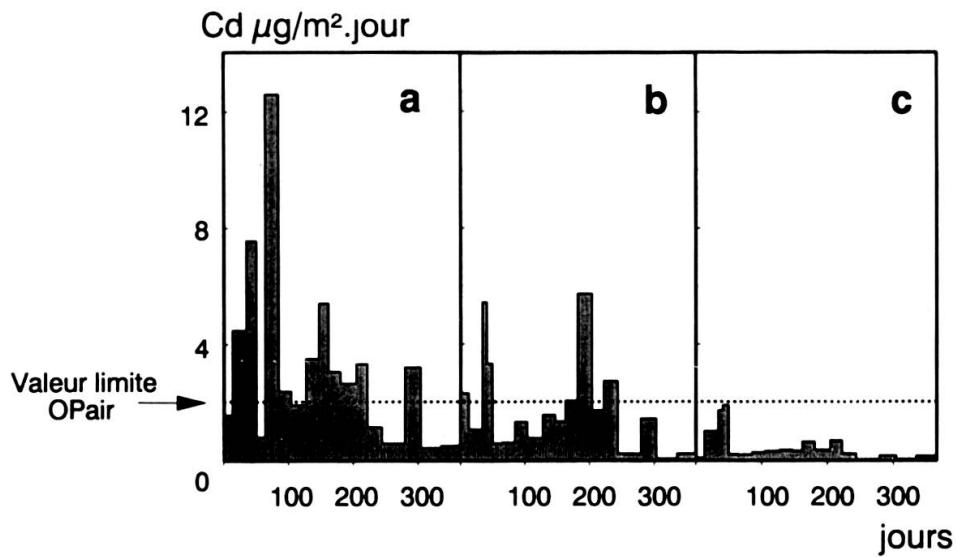


FIG. 3.

Cadmium déposé dans les pluviomètres entre le 1.9.1988 et le 31.8.1989: les situations a et b (Verbois et Peney) sont exposées aux retombées de l'usine, c (Les Baillelets) sert de référence. On remarquera sur ces histogrammes la valeur limite d'immissions OPAIR (2 µg/m<sup>2</sup>.jour).

### 3. Comparaison des résultats «pluviomètres – feuilles».

Les concentrations de cadmium dans les feuilles prélevées à Verbois sont comparées durant la même période (du 3.11.88 au 10.4.89) avec les quantités de cadmium accumulées dans le pluviomètre voisin. Ces concentrations sont portées sur la figure 4. Elles mettent en évidence une relation linéaire: Cd feuilles (ppm) = 0,0029 \* Cd déposé (µg/m<sup>2</sup>), coefficient de régression linéaire: 0,991.

Les mesures effectuées en 1988, 1989 et 1990, à la fin de la période où les feuilles sont naturellement sèches (période variant entre 140 et 160 jours selon les années), permettent de comparer les concentrations en cadmium mesurées dans les feuilles et les immissions (µg/m<sup>2</sup>) (exemple: sur le site de Peney situé à 1 Km de l'usine, sous l'influence des vents de sud-ouest, figure 5).

En utilisant les données des années 1988, 1989 et 1990, provenant d'une part de trois arbres et d'autre part des trois pluviomètres correspondants, nous pouvons généraliser la relation linéaire (déjà établie sur le site de Peney, figure 6). La pente de la droite obtenue est de 0,0041.

En utilisant ces résultats, nous proposons une relation permettant d'estimer les immissions en cadmium en un lieu donné, à l'aide d'une simple analyse du cadmium dans les feuilles:

$$\text{Cd déposé (µg/m}^2\text{)} = 2,7 \cdot 10^2 \cdot [\text{Cd}] \text{ feuilles (ppm)}.$$

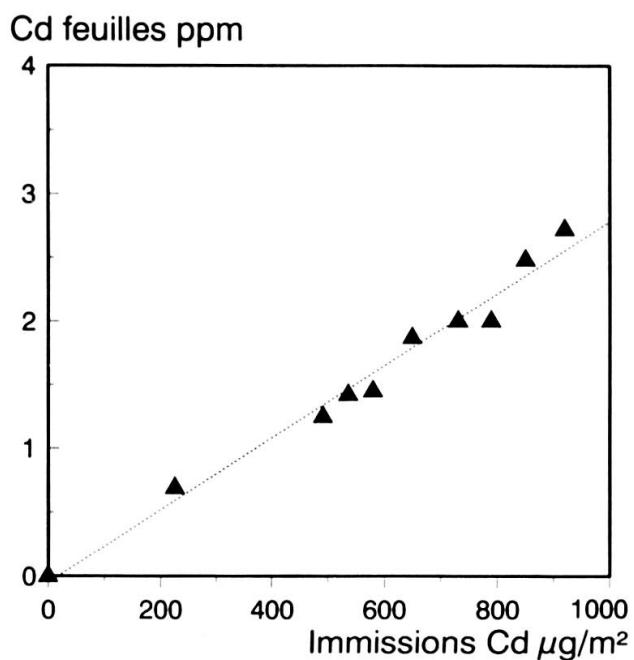


FIG. 4.

Evolution de la concentration en cadmium dans les feuilles du même arbre décrit sur la figure 1, en fonction des immissions cumulées, mesurées dans le pluviomètre voisin.

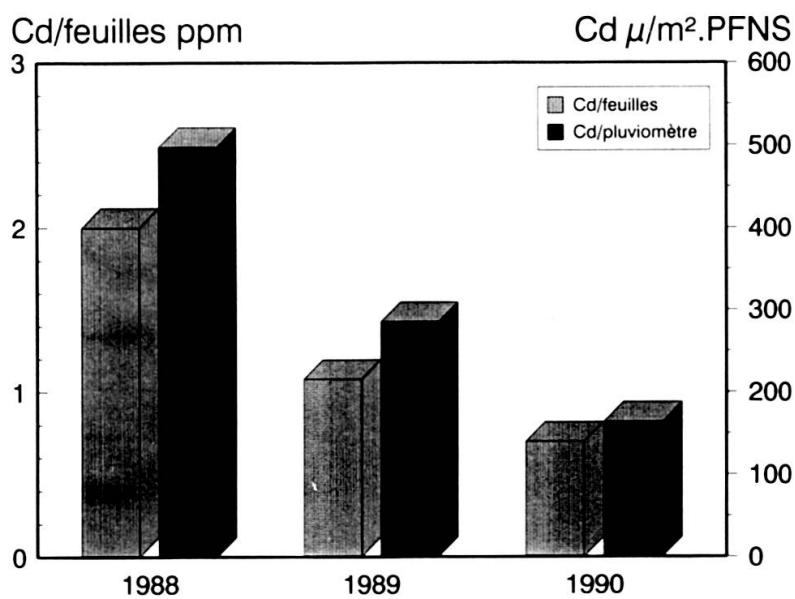


FIG. 5.

Résultats des analyses effectuées avec le pluviomètre et les feuilles du chêne situés à Peney en 1988, 1989 et 1990: l'histogramme fait apparaître la relation entre les concentrations en cadmium atteintes dans les feuilles (ppm) et les immissions en cadmium. Ici, le temps d'exposition aux immissions est toute la période où les feuilles sont naturellement sèches ( $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{PFNS}$ ).

Compte tenu des variations possibles, liées à l'échantillonnage et aux analyses, nous estimons la précision à 26% et avons tracé sur la figure 6, un «cône d'erreur». Seule la partie supérieure de ce cône est utilisée afin d'être sûr que les immissions durant la période où les feuilles sont sèches, dépassent ou non la valeur limite OPair, soit  $2 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{.jour}$ . En utilisant cette valeur limite et la durée moyenne d'exposition des feuilles à 150 jours (correspondant donc à des immissions de  $300 \mu\text{g}/\text{m}^2$ ), on peut faire apparaître la concentration maximum admise dans les feuilles (1,5 ppm) pour respecter cette valeur limite ceci durant la période où les feuilles sont sèches (PFNS).

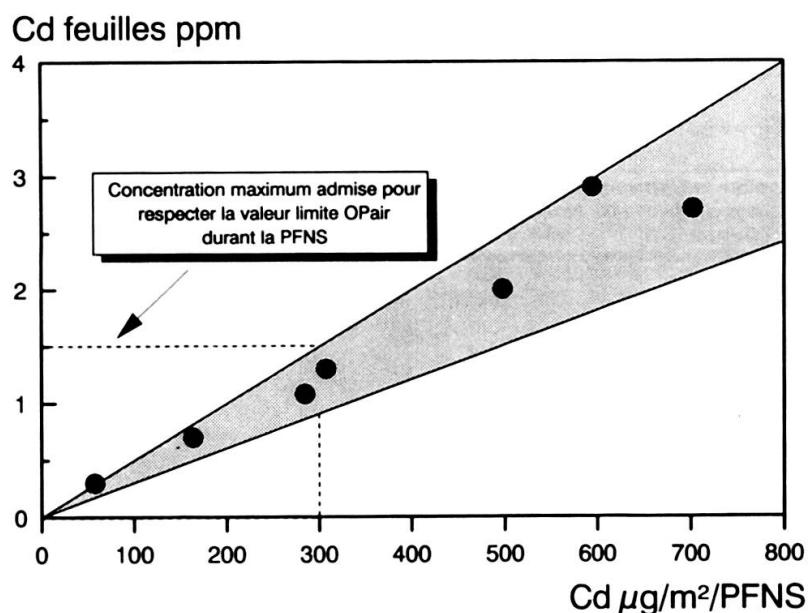


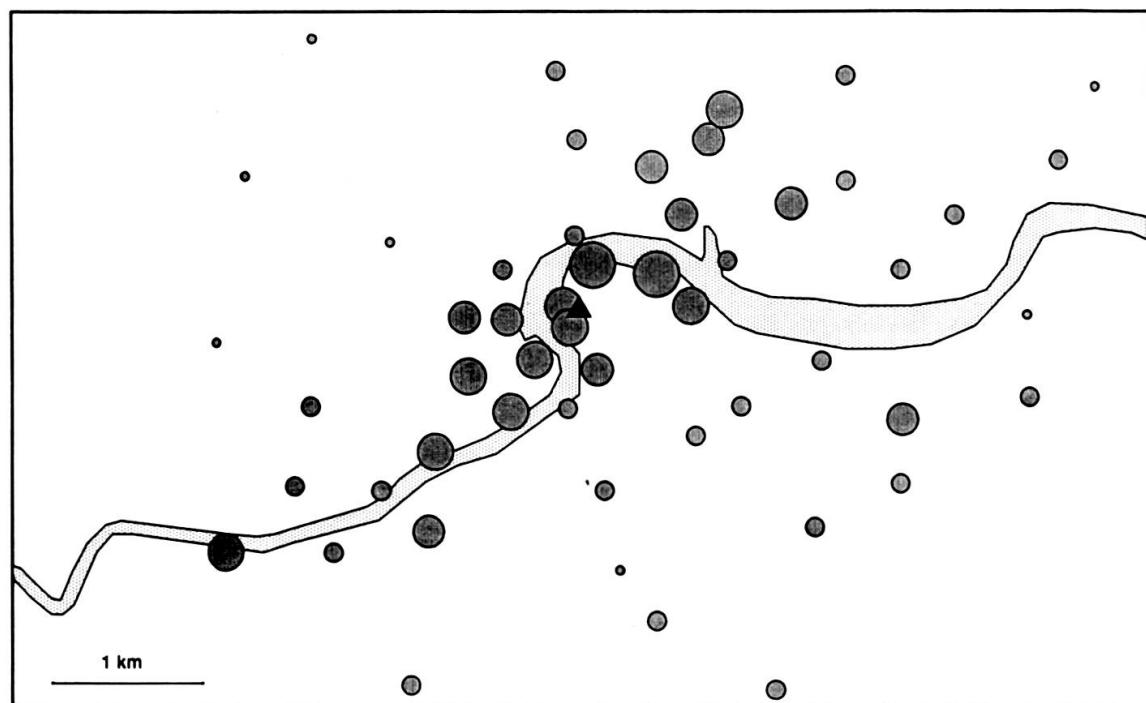
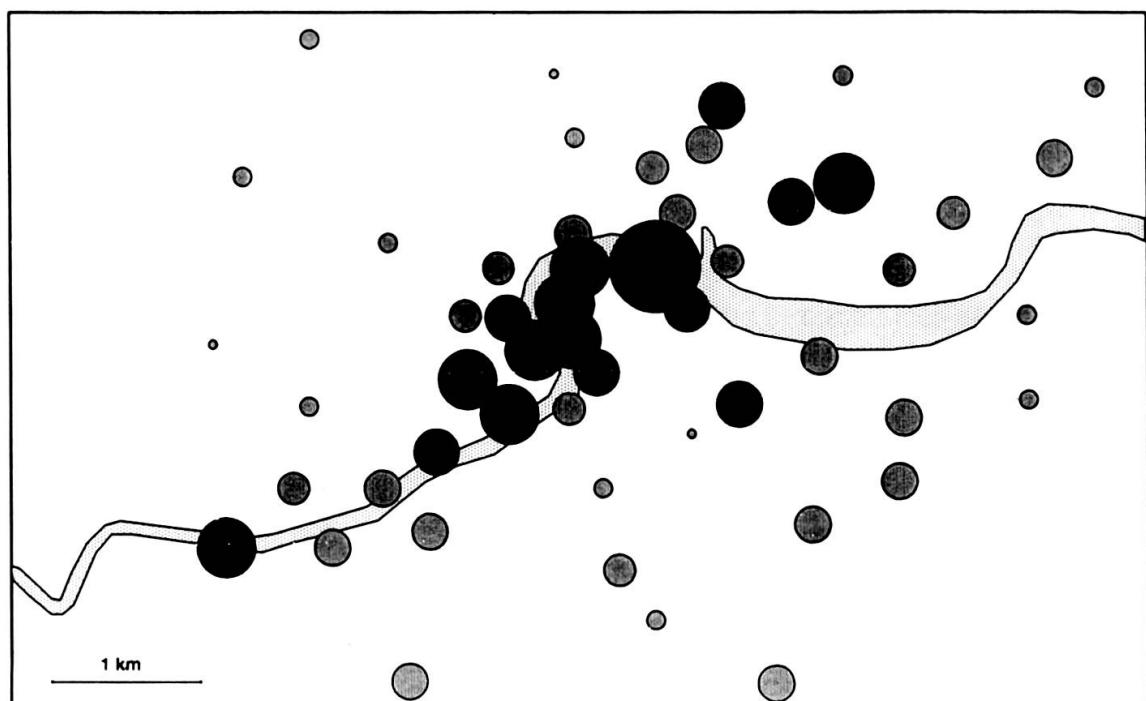
FIG. 6.

Relation entre les résultats obtenus en 1988, 1989 et 1990, pour 3 couples différents «pluviomètres - chênes», exposés aux retombées en cadmium durant toute la période où les feuilles sont naturellement sèches (PFNS).

### III. APPLICATIONS: CARTES D'IMMISSIONS

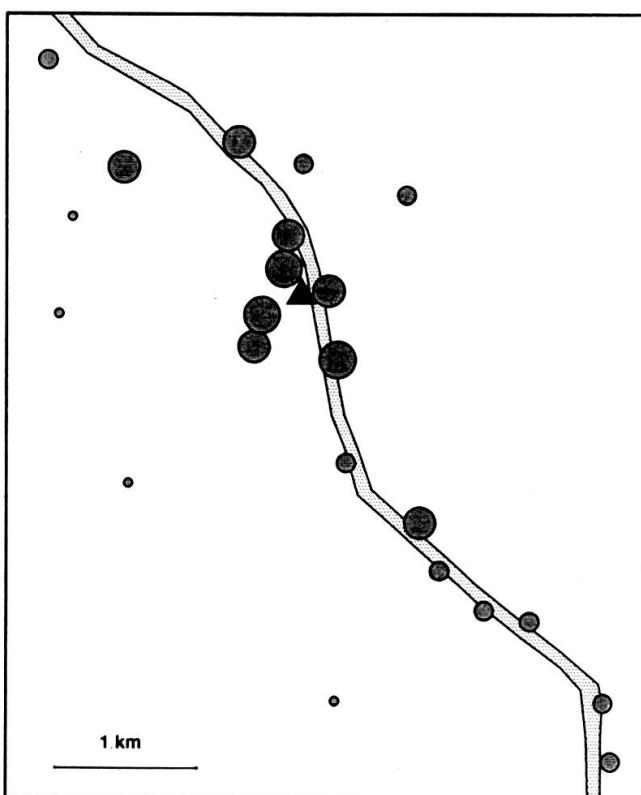
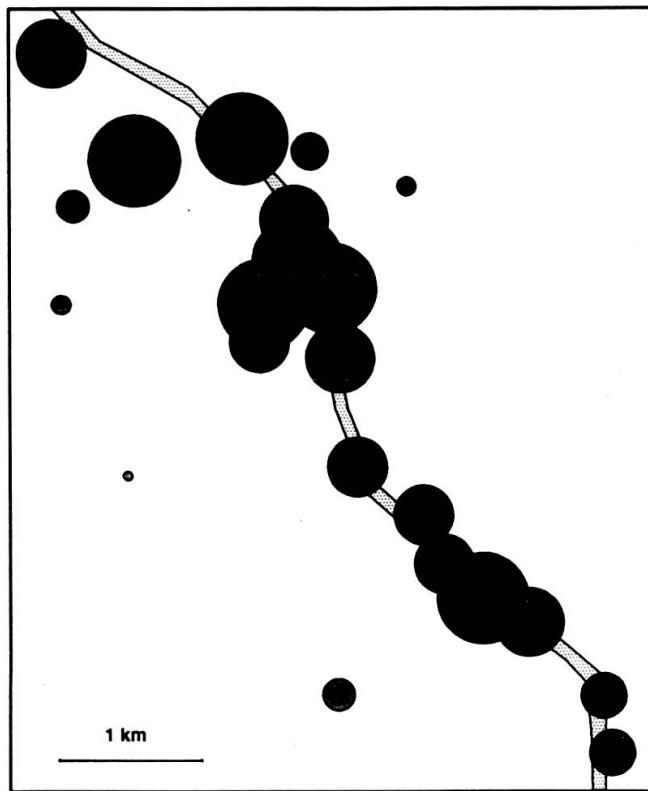
Nous avons échantillonné aux printemps 1989 et 1990, juste avant la chute des feuilles une cinquantaine d'arbres situés dans un rayon de 5 km autour de l'usine des Cheneviers. A titre d'exemple, nous présenterons sur les figures 7 et 8 les cartes de distribution du cadmium établies en 1989 et en 1990. Nous constatons que le maximum des retombées a lieu à proximité de l'usine, avec un étalement le long des directions des vents dominants: Nord-Est et Sud-Ouest, comme nous l'avons observé en 1987, déjà [1]. La comparaison entre les deux cartes met en évidence l'importance des retombées durant l'hiver 1989. En effet, la concentration maximum observée en 1989 est de 4,42 ppm alors qu'en 1990 elle n'est plus que de 1,44 ppm.

Comment expliquer une telle différence?



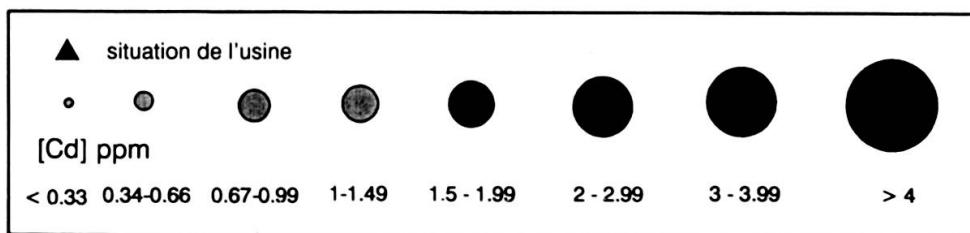
FIGS 7 et 8.

Cartes d'immissions du cadmium établies en 1989 et 1990 au voisinage de l'usine d'incinération des Cheneviers.



FIGS 9 et 10.

Cartes d'immissions en cadmium établies en 1989 et 1990 dans la région de Monthey (Valais).



– La politique de triage des déchets entreprise depuis peu et la faible diminution du tonnage traité depuis 1988 (tableau 3) ne justifie certainement pas une telle diminution, d'ailleurs une étude d'impact [6] sur le nouvel aménagement de l'usine ne prévoit que peu de changement des émissions en cadmium.

– Les facteurs météorologiques réglant la dilution des polluants dans l'atmosphère

	1985	1986	1987	1988	1989
Tonnage traité t	185.143	197.717	211.381	210.900	210.460

TABLEAU 3.

Tonnages de déchets traités par l'usine d'incinération des Cheneviers.

sont certainement essentiels. En observant les résultats des analyses des pluviomètres sur plusieurs années, nous avons pu constater que les retombées les plus importantes ont lieu l'automne et l'hiver. Ces périodes de l'année sont en effet propices à l'installation de conditions climatiques favorisant les retombées proches de l'usine [7].

En février 1989 une période de «smog» a eu lieu sur tout le bassin lémanique. Pendant cette période, après plusieurs jours de brouillard persistant nous avons pu mesurer dans celui-ci, à 0,5 Km au sud de l'usine, des concentrations en cadmium très importantes (320 ppb). A titre de comparaison nous avons mesuré pendant la même période, dans une région peu exposée, une concentration nettement plus faible (65 ppb). Habituellement, les concentrations observées sont inférieures à 5 ppb, pour des brouillards ne durant que quelques heures, et montrant par là l'ampleur de ce «smog».

Cette situation météorologique a également eu lieu, à la même période dans la région de Monthey (Valais), région industrielle où est implantée une importante usine d'incinération. Nous présentons les cartes d'immissions obtenues pour cette région aux figures 9 et 10, elles permettent de formuler pratiquement les mêmes remarques: les valeurs maximum observées sont respectivement pour 1989 6,50 ppm, pour 1990 1,20 ppm.

Remarque:

Ces prélèvements de brouillard ont été effectués à l'aide d'un impacteur rotatif, dérivé de celui présenté par JACOB et al. [8] et modifié par nos soins, permettant d'effectuer l'échantillonnage et l'analyse dans le même collecteur.

#### IV: DISCUSSION

Il est donc possible de quantifier les immissions en cadmium en analysant ce métal dans les feuilles de chêne et en utilisant la relation linéaire proposée. Mais on ne peut utiliser que des feuilles sèches [2]. Ceci pourrait être un facteur limitatif si l'on veut connaître les immissions à une époque de l'année où les feuilles sont vertes, soit entre le début avril et la mi-octobre de chaque année. Néanmoins nous avons pu montrer que les feuilles d'une branche cassée, séchant en quelques jours, vont se comporter de manière analogue aux feuilles sèches exposées pendant la période hivernale. Il faut simplement veiller à ce que la disposition de la branche et des feuilles soit aussi «naturelle» que possible. La comparaison de la pente de la droite obtenue dans ces conditions (0,0036) avec celles obtenues au paragraphe II.3 (0,0041), confirme bien le comportement identique de ces feuilles.

Compte tenu des variations possibles et afin d'éviter toute erreur d'interprétation des cartes d'immissions, nous considérons comme dépassement de la valeur limite OPair, toutes concentrations en cadmium supérieures à 1,5 ppm. Cette valeur apparaît d'ailleurs comme étant la 5ème classe de répartition pour l'échelle des concentrations des figures 7 à 10.

#### V. CONCLUSION

– Les cartes d'immissions sont simples à réaliser dans nos régions où les chênes sont très répandus. Nous avons appliqué avec succès cette technique de détection de la pollution en cadmium à d'autres sites où une usine d'incinération est implantée, afin de démontrer sa facilité d'adaptation.

– Cette méthode est à notre avis, très fiable et permet avec de faibles moyens, de contrôler les immissions de cadmium sur une très grande échelle géographique. Les relations entre les feuilles et les immissions sont indépendantes du temps d'exposition, dans nos conditions d'observation. La concentration en cadmium dans les feuilles ne dépend que de la quantité du cadmium retombé.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] MARTIN, M., ROBIN, D., RAMSEYER, S. et HAERDI, W.: «Etude des immissions autour de l'usine d'incinération des Cheneviers: Métaux lourds dans le sol et le vignoble genevois». *Arch. Sci. Genève* 41(2), 229-244 (1988).
- [2] MARTIN, M., ROBIN, D. et HAERDI, W.: «Les feuilles de chêne, indicateurs de contamination en métaux lourds émis par une usine d'incinération». *Trav. chim. aliment. hyg.* 80, 58-65 (1989).
- [3] MONNIER D., HAERDI W., BUFFLE J. *et al.*: Chimie analytique: Applications aux méthodes instrumentales, radiochimiques et à la chimie de l'environnement, Librairie de l'Université, Georg Genève 1979.
- [4] HINDERBERGER, E.J., KAISER, M.L. and KOIRTYOBANN, S.R.: "Furnace atomic analysis of biological samples usind the L'VOV platform and matrix modification". *Atomic spectroscy* 2, [1, 1-7 (1981).
- [5] ORDONNANCE SUR LES POLLUANTS DE L'AIR (OPair), 1985. Édité par la chancellerie fédérale.
- [6] RAPPORT D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT: ADAPTATION DES INSTALLATIONS CANTONALES DE TRAITEMENT DES RÉSIDUS CHENEVIERS III, Département des Travaux Publics, 1988.
- [7] JEANNET P.: «Aspects météorologiques de la protection de l'air», Bulletin de l'ARPEA, mars-avril 1985.
- [8] JACOB, D.J., WANG, R. and FLAGAN, R.: «Fogwater collector design and characterisation». *Environ. Sci. Technol.*, 18, 11 (1984).