

JR

analyses des métaux lourds dans les eaux superficielles eau - sediment

Rivières du bassin Rhin-Meuse

B.R.G.M.
11. JAN. 1985
BIBLIOTHÈQUE

Décembre 1984



agence de l'eau rhin-meuse

**Bureau de Recherches Géologiques et Minières
Service Géologique Régional d'Alsace**



agence financière de bassin rhin-meuse

établissement public de l'état - loi du 16 décembre 1964 - décret n°66.700 du 14 septembre 1966

"le longeau" - 57 rozérieulles - tél. (8) 760.48.88. b.p. 36 - 57160 moulins-lès-metz

Service géologique régional ALSACE

204, route de Schirmeck - 67 200 Strasbourg - Tél : (88) 30.12.62

SERVICE GÉOLOGIQUE
RÉGIONAL D'ALSACE

AGENCE DE L'EAU
RHIN-MEUSE

ANALYSES DES METAUX LOURDS
DANS LES EAUX SUPERFICIELLES
EAU - SEDIMENTS

Rivières du Bassin Rhin-Meuse

S G A L

Y. BABOT
G. KREBS
P. JOLY
A. POIREL

A F B R M

F. LANGENFELD
J. L. SALLERON

Décembre 1984

S O M M A I R E

	page
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>1. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</u>	2
1.1. <u>Critères de nocivité des métaux dans les eaux</u>	2
. Fer, manganèse, arsenic, cadmium, zinc, plomb, cuivre, chrome, mercure	2
. Bibliographie - Critères de toxicité des métaux	16
1.2. <u>Les métaux lourds dans les sédiments</u>	17
1.2.1. Origine des métaux lourds	17
1.2.2. Échanges entre eau et sédiments	17
1.2.3. Le sédiment comme indicateur de pollution	23
. Bibliographie - Métaux dans les sédiments	24
1.3. <u>Relations eau - sédiments pour les métaux lourds</u>	25
1.3.1. Métaux dans l'eau : forme dissoute et forme particulaire	25
1.3.2. Métaux dans les matières en suspension et dans les sédiments	27
1.3.3. Essai de synthèse sur les relations eau-sédiments et esquisse de grilles de qualité pour l'eau et les sédiments	33
1.3.3. 1) Relations eaux-sédiments	33
1.3.3. 2) Esquisse de grilles de qualité	33
. Bibliographie	42
<u>2. ANALYSE DES DONNEES DU BASSIN RHIN-MEUSE</u>	43
2.1. <u>Critique des données</u>	43
2.1.1. Méthode	43
2.1.2. Histogrammes point par point	43
2.1.3. Histogrammes élément par élément	43
2.1.4. Contrôle des valeurs fortes	43
2.1.5. Contrôle des faibles valeurs	44
2.1.6. Effet laboratoire	44
2.2. <u>Analyse statistique</u>	57
2.2.1. Généralités	57
2.2.2. Etude par paramètre (MEST, Fe, Mn, As, Cd, Cr, Hg, Pb, Zn, Se)	58
2.2.3. Résultats globaux	68
<u>3. CORRELATIONS</u>	83
3.1. Teneurs eaux-MEST	83
3.2. Teneurs eaux - teneurs sédiment	98
3.3. Les rapports eaux - sédiments - MEST	135
3.4. Conclusion sur la comparaison eaux - sédiments	137

S O M M A I R E (suite)

page

4. EXPLOITATION ET CARTOGRAPHIE DES RESULTATS DISPONIBLES DANS LE		
BASSIN RHIN-MEUSE		144
4.1. Traitement des données		144
4.1.1. Les métaux lourds dans les eaux superficielles		144
4.1.2. Les métaux lourds dans les sédiments		144
4.2. Comparaison de l'indice moyen de pollution en métaux lourds dans		
les eaux superficielles et dans les sédiments		152
4.3. Cartographie des métaux lourds dans les eaux superficielles et dans		
les sédiments		152
4.3.1. Le bassin de l'Ill		155
4.3.2. Le bassin de la Moselle		155
4.3.3. Le bassin de la Sarre		155
4.3.4. Le bassin de la Meuse		155
4.4. Conclusions		156
5. REFLEXIONS SUR LA POURSUITE DES CONTROLES DES METAUX LOURDS DANS LE CADRE		
DE L'INP ..		158
CONCLUSIONS GENERALES		158

LISTE DES FIGURES ET ANNEXES

N° figures (correspondant au n° des paragraphes du texte).

- 1.1.a - Dosages du plomb dans l'eau et les poissons
- 1.1.b - Toxicité du Cr⁺⁶ pour le poisson
- 1.1.c - Cycle du mercure
- 1.1.d - Teneur moyenne en mercure de différents tissus de gardons

- 1.2.a - Forme chimique et origine des métaux dans les sédiments
- 1.2.b - Teneurs en métaux lourds et propriétés physiques des alluvions de la rivière OKER
- 1.2.c - Evolution des teneurs de Fe, Mn, par lessivage d'un sédiment
- 1.2.d - Evolution des teneurs de Fe
- 1.2.e - Cas historique de la rivière Rheidol - Plan de situation
- 1.2.f - Cas historique de la rivière Rheidol - Analyses de sédiments

- 1.3.a - Evolution des teneurs en zinc des matières en suspension et des sédiments de la Meuse
- 1.3.b - Evolution des teneurs en cuivre des matières en suspension et des sédiments du Rhin aux Pays-Bas
- 1.3.c - Evolution des teneurs en zinc des matières en suspension et des sédiments du Rhin aux Pays-Bas
- 1.3.d - Evolution des teneurs en plomb des matières en suspension et des sédiments du Rhin aux Pays-Bas

- 2.1.a/c Histogrammes du Cr total en 1971, 76, 81
- 2.1.d/l Profils en long sur la Moselle des différents éléments

- 2.2.a/k Courbes cumulées comparées de 1971/76/81 pour les différents éléments
- 2.2.1/q Courbes évolution sur 1971/81 des valeurs moyennes annuelles

- 3.1.a/i Graphique de corrélation - éléments /MEST
- 3.1.j - Corrélations Fe/MEST/Débit sur Moselle en deux stations
- 3.1.k - Corrélations Mn/MEST, été/hiver, sur Moselle en deux stations

- 3.2.a/k Corrélations teneurs eau - teneurs sédiment pour différents métaux
- 3.2.1/q Corrélation teneurs eau - teneurs sédiment - paramètre physique sédiment pour différents métaux
- 3.2.4 a/i Corrélation médiane élément / concentration élément dans les sédiments MEST
- 3.3.a/q Comparaison médiane élément (M.S.) / élément (sédiments)

- 4.1.a-b Histogrammes du d.90 des teneurs en métaux lourds dans les eaux superficielles - Campagne 1981

- 4.1.2. a-d Tableaux synthétiques des résultats sédiments.

LISTE DES ANNEXES (hors texte)

1. **Carte des points utilisés pour l'étude statistique des analyses d'eau**
2. **Carte des points utilisés pour les corrélations eaux-sédiments**
3. **Répartition du d.90 en 5 classes de pollution**
4. **Cartographie des métaux lourds dans les sédiments**
5. **Cartographie des métaux lourds dans les eaux superficielles.**

INTRODUCTION

Les travaux effectués dans le cadre de l'Inventaire National de la Pollution, ont permis de constituer un fichier de données regroupant les analyses de 1971 à 1981 sur l'ensemble des cours d'eau du Bassin Rhin-Meuse.

Ce fichier contient les analyses des paramètres physico-chimiques, organiques et chimiques pour l'eau et pour les sédiments (1ère campagne en 1981).

La première campagne "Sédiments" sur l'ensemble du bassin, a fait l'objet d'une analyse critique et statistique et d'une cartographie synthétique pour représenter la pollution polymétallique.

Il s'agit maintenant de comparer les teneurs en métaux lourds des eaux et les sédiments des cours d'eau.

Ce travail est complété par une étude bibliographique concernant la toxicité des métaux lourds et les relations eaux-sédiments.

1. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. CRITERES DE NOCIVITE DES METAUX DANS LES EAUX

Introduction

La toxicité n'est pas un paramètre intrinsèque pour un métal. Elle dépend de la forme chimique de l'élément et de l'organisme que le métal affecte.

C'est pourquoi nous nous attacherons, chaque fois que cela est possible, à étudier les critères de toxicité vis à vis de la flore, de la faune, et de l'homme, élément par élément.

Nous nous sommes limités à l'étude des éléments suivants : Fe, Mn, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn, afin de faire une liaison avec les métaux étudiés dans le chapitre 2.

1.1.1. Le fer

La toxicité du fer dépend du pH (équilibre carbonique) et du potentiel d'oxydoréduction qui induisent la précipitation des oxydes ferriques.

- Effet sur la flore aquatique

Le fer stimule à des concentrations même élevées la croissance algale ainsi que la photosynthèse. Cela est particulièrement vrai en milieu nutritif riche surtout en phosphates.

- Effet sur la faune aquatique

Pour un pH 6,5 (le pH peut aller jusqu'à 3 d'après les données de chimie des eaux : P. KAISER) dès que la concentration en fer dépasse 0,9 mg/l, il y a précipitation de Fe (OH)₃ sur les branchies des organismes supérieurs (les organismes inférieurs sont beaucoup plus résistants).

Le facteur de concentration entre l'organisme et l'eau peut atteindre 200. Il est surtout élevé dans les muscles.

Pour la truite "Arc en ciel" on a constaté une mortalité accrue pour des concentrations en fer de 12,25 mg/l.

Concentration de fer	déficit de croissance (% poids)
6 mg/l	0
12 mg/l	25 %
25 mg/l	65 %

La forte concentration en fer réduit la viabilité des oeufs de truites à partir de 0,52 mg/l (CHERNYAEV Doc 2) par fixation sur la membrane.

Le fer est donc très toxique pour les poissons d'eau douce mais à des concentrations élevées.

- Effet sur l'homme

Le fer est essentiel au métabolisme et à la synthèse de l'hémoglobine. Sa toxicité pour l'homme est pratiquement nulle.

Le fer donne à l'eau un mauvais goût et une mauvaise odeur décelable à partir de 0.5 mg/l d'où les normes :

CEE Directive de 1980		OMS Recommandation 1972	
niveau guide	CMA	souhaitable	Impérative
50 μ g/l	200 μ g/l	100 μ g/l	1000 μ g/l

C.E.E. directives de 1980 : Normes de potabilité de la Communauté Européenne.

O.M.S. recommandation de 1972 : Normes de potabilité de l'Organisation Mondiale de la Santé

1.1.2. Le Manganèse

Les facteurs prépondérants pour la précipitation du manganèse sont ici aussi le PH et le potentiel d'oxydoréduction (John D. HEM 1972 - Doc 11)

- Effet sur la flore

Le manganèse affecte la photosynthèse en faible lumière et influence donc la répartition des algues.

Son pouvoir de concentration dans les organismes augmente avec la pollution en Pb-Zn.

- Effet sur la faune

Les facteurs prépondérants sont ici aussi le PH et le potentiel d'oxydoréduction.

Pour les poissons, les doses létales sont de 75 à 1000 mg/l et pour les organismes inférieurs de 15 à 1000 mg/l.

Le manganèse se concentre essentiellement dans le squelette des animaux.

- Effet sur l'homme

Le manganèse est un oligo-élément indispensable, c'est un catalyseur d'oxydoréduction, et de phosphorylation ainsi qu'un activateur d'enzymes et un élément indispensable au métabolisme des lipides.

Les apports par l'eau sont faibles en regard des apports alimentaires et la toxicité dans l'eau est pratiquement nulle. Le manganèse donne cependant à l'eau un mauvais goût, et une mauvaise odeur, et est à l'origine de taches dans les teintureries.

CEE Directive de 1980		OMS Recommandation 1972	
niveau guide	CMA	souhaitable	impératif
20 μ g/l	50 μ g/l	50 μ g/l	500 μ g/l

1.1.3. L'Arsenic

- Effet sur la biomasse

Pour les algues et les bactéries, ce métalloïde est toxique à des concentrations qui dépassent 1 mg/l et atteignent parfois 20 à 30 mg/l.

Pour les organismes inférieurs (*Daphnia magna*) on a trouvé le seuil léthal à 9 mg/l.

Action sur les poissons : Expérience de Thumann

Poisson	Concentration létale mg/l	Durée de l'expérience	Dose encore tolérée	Durée de l'expérience
Sandre	1.1 - 2.2	2 j	0,7 - 1,1	62 et 48 j
Gardon	2 - 2	3 j	1,1 - 1,6	11 et 48 j
Carpe	3 - 1	4 - 6 j	2,2	13 j
Anguille	3 - 1	3 j	2,2	13 j
Ecrevisse	4 - 3	11 j	3,1	90 j
Perche	7 - 6	10 j	6,0	10 j
Vairon	60	16 h	13	1 h

- Effet sur l'homme

Une ingestion de 100 mg est suffisante pour provoquer un empoisonnement grave. L'effet est cumulatif car la vitesse d'excrétion est très lente.

Les symptômes sont très polymorphes en raison du nombre de composés de l'arsenic mais on observe en général un dérèglement digestif, hépatique, rénal cardiaque, névrotique et cutané.

L'arsenic est un inhibiteur des systèmes enzymatiques essentiels.

CIL Directives 1980		OMS Recommandation 1972	
niveau guide	CMA	souhaitable	impératif
-	50 µg/l	-	50 µg/l

1.1.4. Le Cadmium

- Effet sur la flore

Sur les chlorelles on observe en 3 jours une réduction de croissance de 50 % pour une concentration de 1 mg/l. BARLETT 1974 -(Doc 4) donne pour *Sélanastum capricornutum* un seuil léthal de 0.65 mg/l de Cd et une inhibition de la croissance à 0.05 mg/l.

BOVARD 1978 (Doc 3) a pu montrer la répartition du Cd entre les algues filamenteuses, les sédiments, les daphnies et les anguilles. Les algues filamenteuses sont (avec les sédiments) les meilleurs marqueurs du Cadmium dans l'eau : elles fixent environ 88 % du Cd mais à 100 µg/l on observe une altération de ces algues par le Cd.

Sur les invertébrés, les résultats sont assez variables. Mais des doses de 0.5 mg/l sont en général fatales et pour certaines espèces des doses de 50 µg/l sont déjà très toxiques.

Les facteurs de concentration sont moins forts que pour les algues : 1400 à 200 pour les daphnies (eau à 10 µg/l).

Pour les poissons qui sont les plus sensibles à la pollution par le cadmium on peut donner les ordres de grandeur suivants (eau de dureté 250 mg/l)

- Brème : concentration létale 0.5 mg/l
- Perche : concentration létale 0.5 mg/l
- Truite "Arc en ciel" : concentration létale 0.01 mg/l

Ce sont en fait les œufs et les alevins qui sont les plus affectés. Brige et Just donnent les résultats suivants sur des embryons de poisson chat J.R. FELKEY, D.E. REECE, C.H. WAI, 1978 (Doc 5)

cd en mg/l	1	0.1	0.01	0.001
Survivants à 8 jours	1 %	41 %	80 %	100 %

et sur les embryons de truites

cd en mg/l	0.1	0.05	0.01
Survivants à 8 jours	59 %	91 %	98 %

Pour les anguilles, Bovard 1978 (Doc 3), on a pu mettre en évidence une phase de fixation rapide suivie d'un palier et une décontamination très lente. Il semble que l'apport par la nourriture soit prépondérant par rapport à celui de l'eau.

On peut observer une synergie importante avec la température, le cuivre, les cyanures et un antagonisme avec le zinc. La toxicité dépend, par ailleurs, de la dureté de l'eau et de son oxygénation.

Les effets toxiques sont les suivants : diminution du poids, élévation des rythmes respiratoires, perturbation du rythme d'activité et de la reproduction, lésion des branchies et lésions de la colonne vertébrale (bon indicateur d'une pollution Cd-Zn)...

- Effet sur l'homme

L'apport par l'eau est faible en regard de l'apport par l'air et les aliments. Il inhibe de nombreuses enzymes, cause des lésions rénales, une anémie et a un effet carcinogène et mutagène.

Normes en vigueur pour l'eau potable :

U.S.A. : CMA = 50 µg/l

CEE Directives 1980		OMS Recommandation 1972	
niveau guide	CMA	souhaitable	impératif
	5 µg/l		10 µg/l

Normes pour les rejets aux U.S.A. pour les rivières à faible débit : <10 µg/l pour les lacs ou les rivières à fort débit <40 µg/l

1.1.5. Le Zinc

Le zinc et le cadmium ont des propriétés chimiques voisines et les effets sur les organismes sont souvent analogues mais pour des concentrations nettement supérieures en zinc (rapport 1 à 1000 pour la potabilité).

- Effet biologique sur la flore

Sur la microflore : JACK EDWARD Mc KEE, HAROLD W. WOLF -1973- (Doc 6) ont relevé une réduction de l'activité hétérotrophique dès 0.05 mg/l ; à 60 mg/l : diminution de la DBO5 de 50 %.

- . Seuil létal pour *Sélanastrum* : 0.7 mg/l
- . Réduction de la croissance pour les chlorelles : 7 mg/l

- Effet biologique sur la faune

REISH sur un polychète a obtenu 0,2 % de larves anormales avec 0,1 mg/l de zinc. BOYDEN sur une huître donne les résultats suivants :

- . Pour 0.125 mg/l de zinc, mort de 16 % des œufs et de 14 % de larves
 - . Pour 0.250 mg/l de zinc, mort de 48 % des œufs et de 28 % de larves
- Concentration maximale sans effet sur le gardon rouge : 5 mg/l.

On note une synergie importante du Cu, de la température, et un antagonisme de l' O_2 dissout et de la dureté (doc. 12).

- . 8 mg/l de zinc tolérée 8 heures
- . 1 mg/l de zinc } sublétal en 8 heures
- . 0.025 mg/l de cuivre }

Les effets toxiques sont les mêmes que ceux du cadmium avec en plus un blocage des mouvements de la bouche et des ouïes. Un poisson test est le vairon qui présente des lésions caudales à 0.2 mg/l.

- Effet sur l'homme

On n'a observé aucun trouble pour des personnes ayant bu de l'eau entre 25 et 40 mg/l ni même pour des populations utilisant de l'eau à 15 mg/l.

Le zinc donne cependant un goût désagréable à l'eau pour de fortes teneurs d'où les valeurs élevées des normes.

CII Directives 1980		OMS Recommandations 1972	
niveau guide	CMA	souhaitable	impératif
	5 mg/l	5 mg/l	15 mg/l

1.1.6. Le Plomb

- Effet sur la flore

Les micro-organismes résistent souvent assez bien au plomb : croissance inhibée entre 1 et 20 mg/l.

Pour les algues, le facteur de concentration varie de 1 à 5. La concentration en plomb dans l'eau et le facteur de concentration sont prépondérants pour la survie des espèces avec des teneurs toxiques variant généralement entre 0.5 et 1 mg/l. Une concentration létale (C.L. 50 - 12h.) de 5 µg/l est citée pour *Vorticella Concavaria* sous forme de Pb (NO₃)₂ (SARTORY et LLOYD - 1976 - Doc. 13).

- Effet sur la faune aquatique

Les bactéries aérobies et les flagellés présentent des seuils létaux à respectivement 1 et 0.5 mg/l.

Pour les invertébrés, les résultats suivants sont donnés pour Biomphalaria globata :

Pb (NO ₃) ₂	% éclosion	temps de développement
Contrôle	80 %	14 j
0.1 ppm	40 %	50 j
0.5 ppm	0	-
1 ppm	0	-

Pour les poissons, il existe un cas de pollution très bien connu au Pays de Galles : dans des rivières minières, à des concentrations de 0,5 mg/l toutes les espèces de poissons ont disparu en quelques années.

Une étude du CEA de Pierrelatte AFBRMC -1973- (Doc 7) donne comme limite admissible pour le plomb dans les poissons de 6 mg/kg. Cette limite est rarement atteinte. (Voir fig. 1.1.a).

On trouve dans les paramètres de qualité des eaux -1973- (Doc 8) le tableau suivant :

Concentration en plomb en mg/l	Type d'eau	Espèce testée	Effets observés
0.34	Minéralisation totale : 1 000-3 000 mg/l	Épinoche et Saumon Coho	Tolérance limite médiane en 48 h
0.40	Eau distillée	Vairon	Survie 26 à 48 h.
1.40	Eau douce	Truite arc-en-ciel	Survie de 18 à 48 h
1.60	Eau douce 18°5	Truite arc-en-ciel	Tolérance limite médiane en 18-24 h
2.40	Eau douce	Vairon	Tolérance limite médiane en 96 h
4.0	Eau douce	Truite arc-en-ciel	Tolérance limite médiane en 10 à 12 h

L'accumulation se fait essentiellement dans les tissus durs et la mort survient par asphyxie : un film de mucus se dépose sur les branchies puis sur le corps. On constate aussi une diminution des fonctions hépatiques, rénales et hématopoïétiques.

Le plomb n'est donc pas un agent toxique rapide mais il cause de sérieux troubles métaboliques. Sa toxicité est fonction du sel mais aussi de la dureté de l'eau (action antagoniste) (Doc. 12).

DOSAGES DU PLOMB

ÉCHANTILLON	LIEUX DE PRELEVEMENTS									
	MILIEU POLLUÉ							MILIEU SUPPOSÉ SAIN		
	Rhône Saint-Etienne Sorts .1.	Rhône Valence Sud .2.	Saône Dracé .3.	Rhône Beaucaire Sud .4.	Rhône Grigny .5.	Rhône Limony .6.	Rhône Lyon Pt-Poincaré .7.	Drôme Saillans .8.	Ardèche Pont d'Arc .9.	Ardèche Saint-Just .10-11.
E A U en ug / l	2,5	3	< 2	3	7,5	8,5	< 2	< 2	< 2	< 2
<u>POISSONS</u> en ug/g frais										
Ablettes					-	0,15	-	-	0,25	-
Barbeaux					0,4	-	-	-	0,15	0,2
Blageons					-	-	-	< 0,1	-	-
Brèmes	0,4	0,3	0,1	0,2	0,4	0,3	< 0,1	-	-	0,3
Chevesnes	0,45	0,35	0,25	0,15	-	0,25	-	< 0,1	0,2	-
Gardons	0,2	0,3	0,45	0,3	0,5	0,2	< 0,1	< 0,1	-	-
Hotus	0,3	-	-	0,3	-	0,9	< 0,1	-	0,25	0,15

METHODES D'ANALYSE

- Eau : Absorption atomique après formation préalable du complexe avec l'APDC puis extraction par l'hexane.
- Poissons : Minéralisation par voie sèche, mise en solution acide et absorption atomique sans flamme (technique du four).

- Effet sur l'homme

L'apport par l'eau est faible :

Apport quotidien	.Aliments	0.31 mg
	.Eau	0.02 mg
	.Air	0.02 mg

Concentration : essentiellement dans les os (90 % cf le métabolisme du calcium)

Toxicologie : le plomb est à l'origine du saturnisme : dérèglement de l'appareil digestif, syndrome neuromusculaire, encéphalopathie.

Normes	CEE directive de 1980		OMS Recommandation 1972	
	niveau guide	CMA	souhaitable	impératif
	-	50 µg/l	-	100 µg/l

1.1.7. Le Cuivre

- Effet biologique sur la flore

Le cuivre se concentre 1000 à 5000 fois dans les algues. Il contrôle la croissance vasculaire et est donc à peine moins毒ique que le mercure : 0.1 mg/l. Il réduit la photosynthèse de moitié en 2 jours et augmente la perméabilité des membranes cellulaires.

C'est cependant un oligoélément bénéfique à 30 - 40 µg/l. C'est en ion libre qu'il est毒ique. Lié à un complexe ou à un ligand, il l'est beaucoup moins.

- Effet biologique sur la faune aquatique

Le cuivre est毒ique pour les bactéries aux environs de 0.1 et 0.5 mg/l et à 0.5 mg/l, il inhibe l'autoépuration des cours d'eau.

Pour les poissons, le cuivre est d'une toxicité très variable comprise entre 0.015 et 5 mg/l.

Truite "Arc en Ciel" : LC 50 = 0.8 mg/l en 10 jours
Perche : LC 50 = 0.13 mg/l en 10 jours
(LC = Létal concentration)

C'est dissous que le cuivre est le plus毒ique ; les doses létales pour le vairon sont les suivantes :

- . Cu dissous : 0.98 mg/l
- . Cu total 1.6 à 21 mg/l

Il se concentre dans les ouïes (lésions), le foie, les muscles (effet cardiaque = bradycardie) et perturbe la respiration.

Il y a synergie avec les détergents anioniques, le chlore, le zinc, le cadmium et le mercure alors qu'il y a antagonisme avec la matière organique, la dureté et les cyanures.

Le principal apport de cuivre est d'origine alimentaire. Il entre dans le métabolisme du fer et dans la composition des protéines spécifiques.

Sa toxicité est rare chez l'homme (ingestion d'au moins 10 mg d'ions cuivriques) où il cause des troubles du foie, du système nerveux, des yeux.

Les normes sont définies en fonction du goût désagréable qu'il donne à l'eau dès 2 à 3 mg/l.

CEE directives 1980		OMS recommandation 1972	
niveau guide	CMA	souhaitable	impératif
0.1 - 3 mg/l		0.05 mg/l	1,5 mg/l

1.1.8. Le Chrome

- Effet sur la flore

Le chrome se concentre 100 à 500 fois dans les algues et ce sont les ions Cr⁶⁺ qui jouent le rôle d'inhibiteurs de la photosynthèse : 5 mg/l réduit la photosynthèse de 50 % en 4 jours.

La toxicité à court terme croît très rapidement avec la température (alors que c'est le contraire à long terme).

- Effet sur la faune

Pour les organismes inférieurs, la toxicité est très variable selon les espèces, la valence du chrome, la matière organique, la quantité d'oxygène dissous : La croissance des ciliées est réduite de 50 % entre 0.5 et 12 mg/l selon les espèces.

D'après Mc KEE, J.L. WOLF, H.W.-1972- (Doc 6), il semble que les poissons soient plus résistants : pour la truite Arc en Ciel, les concentrations létales sont de 20 mg/l et en moyenne pour les poissons on admet que le seuil à ne pas dépasser est de 1 mg/l de chrome total : (Voir fig. 1.1.b)

Le chrome s'accumule dans le foie, les reins, et agit sur la respiration. Les jeunes y sont beaucoup plus sensibles.

- Effet sur l'homme

Les effets toxiques du chrome se font sentir pour des concentrations qui dépassent 10 mg/l pendant plusieurs années. Il entraîne alors des lésions rénales, hépatiques et un mauvais métabolisme des lipides.

Normes CEE directives 1980 : CMA = 50 µg/l de chrome total.

CEE Directives 1980		OMS Recommandation 1972	
niveau guide	CMA	souhaitable	impératif
-	50 µg/l	-	-

TOXICITY OF HEXAVALENT CHROMIUM TO FISH

Fish	Time of Exposure	TL ₅₀ Values in ppm Cr ⁶⁺				Reference
		Soft Water		Hard Water		
		Dichromate	Chromate	Dichromate	Chromate	
Bluegill	24 hr	284		228		Pickering and Henderson 1966
		260				Turnbull <i>et al.</i> 1954
		260				Dowden and Bennett 1965
		175	225			Trama and Benoit 1960
				290	300	Abegg 1950, as cited by Trama and Benoit 1960
	48 hr	171		180		Pickering and Henderson 1966
		213				Turnbull <i>et al.</i> 1954
	96 hr	118		133		Pickering and Henderson 1966
		103		135		Cairns and Scheier 1958, as cited by McKee and Wolf 1963
		113	170			Trama and Benoit 1960
		113	169			Patrick <i>et al.</i> 1968
Fathead minnow	96 hr	18	46	27		Pickering and Henderson 1966
Largemouth bass	48 hr			195		Fromm and Schiffman 1958
Rainbow trout	24 hr			100		Schiffman and Fromm 1959
Mosquitofish	24 hr	130	190			Wallen <i>et al.</i> 1957
	48	113	130			
	96	100	107			
	144	50	-			

1.1.9. Le Mercure

C'est sans doute le métal le plus toxique parmi ceux qui sont étudiés. Sa toxicité est très variable et dépend de nombreux paramètres.

- Concentration dans la biomasse

La rétention du mercure se fait à travers la peau, à travers les membranes des branchies et par ingestion de proies contaminées.

Le phytoplancton concentre le mercure 1000 fois environ et, étant à la base de la chaîne alimentaire, il est un agent de contamination.

Pour les organismes plus évolués les mécanismes sont complexes et font intervenir le temps d'exposition, l'âge, la taille, le métabolisme...

- Influence du temps d'exposition : on observe une augmentation rapide de la concentration pendant 4 jours puis on atteint un palier.
- Influence du degré de pollution : 1 μ g/l : facteur de concentration = 250
10 μ g/l : facteur de concentration = 50
100 μ g/l : facteur de concentration = 40
- Influence de l'espèce : la capacité de rétention varie de 1 à 10 entre le poisson chat et le guppy.
- Influence de l'individu : la concentration est fonction croissante du poids.
- Influence de l'eau : synergie avec la température (10°C \rightarrow toxicité multipliée par 3) et antagonisme avec la dureté.
- Ingestion des proies contaminées: (Voir fig. 1.1.c)

Organisme	Rivière polluée	Rivière peu polluée
Brochet	5.8 mg/kg	1.2 mg/kg
Poissons proies	5.1 mg/kg	0.6 mg/kg
Faune benthique	0.5 mg/kg	0.05 mg/kg

Le mercure se concentre essentiellement dans les muscles et surtout le muscle cardiaque, dans le foie et dans les reins. (Voir fig. 1.1.d). Cette concentration maximale dans les muscles est très dangereuse pour l'homme.

- Effet toxique des composés mercuriels

Sur la flore, on observe une inhibition de la photosynthèse et de la croissance dès 1 μ g/l. Le plus toxique est le méthylmercure : 3 ppm de Hg^{2+} = $\begin{cases} \text{Baisse de 98\%} \\ 2 \text{ ppm de } \text{CH}_3\text{Hg}^+ \end{cases}$ de la photosynthèse

Sur les poissons, on distingue la toxicité aiguë qui cause une mort par asphyxie et la toxicité chronique qui correspond à une accumulation lente. Il y a synergie avec le cuivre et antagonisme avec arsénic, cadmium, et sélénium.

Plus petites concentrations létales du méthylmercure :

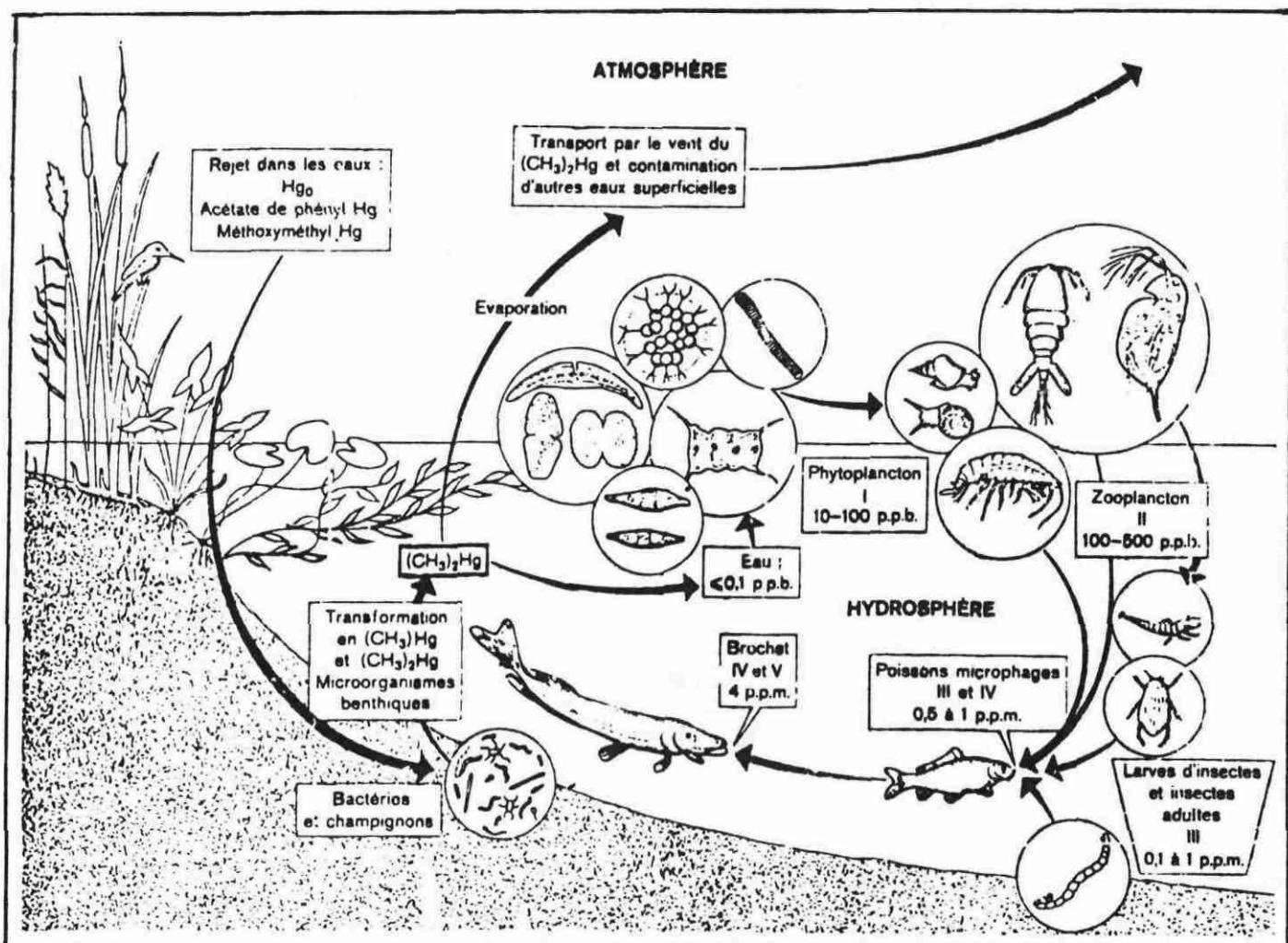
Vairon	0.2 μ g/l
Brochet	0.1 μ g/l
Plancton	0.05 μ g/l

Norme pour les poissons : 0.5 mg/kg de poisson

Pour la protection du consommateur tolérance de 0.7 mg/kg pour certaines espèces.

Fig. 1.1.c

(Doc. 1)



TENEUR MOYENNE EN METAUX DE DIFFERENTS TISSUS DE GARDONS DE PROVENANCE DIVERSE
(n = 122)

N. I	ORIGINE	Nombre d'échantillons	Poids moyen	TENEUR MOYENNE (ppm)			
				Muscle	Foie	Reins	Branchies
1	DOUBS — Fretterans	2	44	0,06			0,06
2	PARIS — Canal de l'Ourcq	1	102	0,07	0,03		
3	SAONE — Amont St. Symphorien	6	55	0,06	0,11	0,11	0,06
4	CHARENTE	4	46	0,10			0,06
5	ORLY — Danse	1	163	0,14	0,06		0,04
6	LAC LEMAN — Thonon	20	60	0,23	0,18	0,18	0,11
7	DOUBS — 24 km. Amont Dôle	2	54	0,26	0,11	0,14	0,10
8	SAUER — Münchhausen	2	207	0,27	0,20	0,18	0,10
9	DOUBS — Saunières	3	81	0,33		0,15	0,09
10	DOUBS — Petit-Noir	2	147	0,34	0,13	0,13	0,09
11	ALSACE — Canal Rhône au Rhin	10	15	0,37	0,18	0,26	0,10
12	SAONE — Mont les Seurres	3	168	0,38			
13	DOUBS — 16 km. Amont Dôle	1	126	0,40	0,15	0,14	0,13
14	RHIN — Neuf-Brisach	7	57	0,48	0,21	0,24	0,15
15	DOUBS — Gevry	1	205	0,50	0,24		0,12
16	SAONE — Alleray	2	467	0,54	0,43	0,48	0,17
17	RHIN — Vogelgrün 01-74	10	307	0,66	0,46	0,42	0,21
18	ILL — Wantzenau	3	212	0,76	0,44	0,47	0,25
19	SAONE — Avril	2	96	0,91	2,70	3,50	1,63
20	SAONE — St. Loup de Varennes	3	204	0,96	0,57	0,60	
21	RHIN — Vogelgrün 03-73	4	113	0,99	0,47	0,42	0,38
22	SAONE — Crêches sur Saône	1	692	1,00	1,19	1,24	0,40
23	RHIN — Geisswasser	4	295	1,32	1,57	1,66	0,65
24	RHIN — Vogelgrün 04-73	21	132	1,37	0,85	0,88	0,79
25	RHIN — Fessenheim 04-73	2	232	1,38	0,77	1,27	0,70
26	RHIN — Vogelgrün 01-73	4	297	1,44	1,46	1,13	1,15
27	RHIN — Fessenheim 03-73	1	244	1,50	1,66		0,82

L'empoisonnement au mercure se caractérise par une perturbation sensorielle, une hypercrinie, une ataxie locomotrice.

Le méthylmercure traverse les membranes placentaires et peut se concentrer dans le foetus où il entraîne une paralysie cérébrale.

Il altère les membranes cellulaires et l'ADN.

Il existe des cas d'empoisonnement au Japon (Mina Mata et Niigata) où il y a eu 51 décès sur 166 cas : l'absorption quotidienne de mercure était de 1.5 mg/jour. L'intoxication commence à 20 mg/kg.

CEL Directives 1980		OMS Recommandations 1972	
Niveau guide	CMA	souhaitable	impératif
-	1 µg/l	-	1 µg/l

Conclusion

Pour pouvoir définir la toxicité d'une eau naturelle, il faut arriver à prendre en compte tous les paramètres ainsi que les synergies et antagonismes.

Par exemple, la truite tolère pendant 8 h une concentration de 8 mg/l de zinc alors que 1 mg/l de zinc + 0.025 mg/l de cuivre, sont sublétiaux en 8 h.

Cependant, une étude sur un protozoaire a conduit à déterminer un ordre de toxicité Cd-Hg-Cu-Zn-Pb. Au vu des résultats sur d'autres organismes, il semble que cet ordre soit critiquable pour les autres espèces.

Une bonne méthode d'évaluation de la pollution globale consiste sans doute à étudier la répartition d'organismes tests dans les cours d'eau (en tenant compte de leur écologie.). Par exemple, le vairon est un bon indicateur de la pollution par le zinc :

- dose létale pour le zinc = 0.2 mg/l
- dose létale pour l'arsénic = 35 mg/l !

Les seuils létaux varient énormément selon les espèces, les composés de l'élément, et les autres paramètres de l'eau. Il est donc très difficile de donner un critère de toxicité par élément. Un bon indicateur est cependant donné par les normes de potabilité, bien que les seuils pour Fe et Mn soient bas pour d'autres raisons que la toxicologie. Ainsi, à part ces 2 éléments l'ordre de toxicité décroissante suivant les CMA ou niveaux guide est : Hg, Cd, As-Cr-Pb, Cu-Zn.

Si l'on prend un indice de toxicité 1000 pour le mercure, celui du cadmium serait 200, celui de l'arsenic, chrome et plomb 20, celui du cuivre et zinc de l'ordre de 1.

Un essai de synthèse est présenté après l'étude des relations eaux-sédiments (§ 1.3.3.2).

BIBLIOGRAPHIE : Critères de toxicité des métaux.

- Doc 1 : Association Française pour l'Etude des Eaux -1976-
Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales.
Synthèse bibliographique sous contrat du BNIST.
Rapports 1, 2, 3, 4 et 5.
- Doc 2 : MEINCK, STOUFF, KOHLSHUTTER -1970-
Les eaux résiduaires industrielles.
Tableau par Thumann p. 728
- Doc 3 : BOVARD P., L. FOULQUIER et Monique PALLY -1978-
Transfert du cadmium dans les eaux douces.
Revue du BIST, Commissariat à l'Energie Atomique -Juillet-Octobre 1978-
N° 230-231, p. 141-144.
- Doc 4 : BARTLETT L., RABE F.W., FUNK W.H. -1974-
Effects of Copper, zinc and cadmium on Selanastrium Capricornutum.
Water Research-1974- Vol. 8 n° 3 (p. 179-185)
- Doc 5 : BRIGE et JUST -1974-1975-
Sensitivity of vertebrate embryos to heavy metals as criterion of water quality.
University of Kentucky Water Resources Research Institute
- Doc 6 : Mc KEE J.E., WOLF H.W. -1972-
Water quality criteria
Mars 1973 (594 pages)
- Doc 7 : AFBRMC -1975-
Etude de la pollution accumulée par les organismes vivants dans le Rhône et ses affluents.
N° 6 Déc 1975 p. 55-11
- Doc 8 : BREMOND R. et R. VICHARD - 1973 -
Paramètres de qualité des eaux.
Documentation Française Paris 1973
- Doc 9 : Congress Internacional del Mercurio -1974-
Barcelone Mai 1974
- Doc 10 : F. RAMADL -1972-
Le mercure qui tue.
Science - Progrès - Découverte
Septembre 1972.
- Doc 11 : JOHN D. HEM -1972-
Géological Society of América Bulletin
V. 85, p. 443-450, 8 Fig Février 1982.
- Doc 12 : G. LANDRAGIN, J.C. PIHAN, G. SALLET - 1983 -
Modèle de prévision de la toxicité aiguë pour le poisson.
- Doc 13 : R.H. DEKKER 1982 (Riza). Proposition en vue de la fixation d'objectifs communs
pour la qualité des eaux du Rhin pour Ni, Cu, Zn et Pb (inédit).
- Doc 14 : BIORON -1979- (cf. Biblio 1 du document 13).

1.2. LES METAUX LOURDS DANS LES SEDIMENTS

La correspondance entre la teneur dans l'eau et la teneur dans les sédiments des cours d'eau est encore assez mal connue sur un plan général. Cependant des études ponctuelles ont été réalisées, mais leur applicabilité à d'autres conditions reste à prouver. De plus, le nombre de paramètres qui interviennent est très élevé : paramètres relatifs à l'eau, au sédiment, aux matières en suspension, historique des pollutions ...

Nous nous sommes attachés à étudier tout d'abord l'origine des métaux lourds en tenant compte des apports humains et à mettre en évidence leurs rapports avec les sédiments et sols. Ensuite, nous avons étudié les interactions chimiques entre l'eau et les sédiments et enfin nous avons donné quelques considérations sur les sédiments comme indicateur de pollution. Dans le chapitre 1.3. on a essayé, malgré la complexité du problème et le peu de données disponibles, de quantifier les relations eau-sédiment.

1.2.1. Origine des métaux lourds

1.2.1.1. Lessivage des sols et sédiments

L'eau de ruissellement à pH légèrement acide a la propriété de lessiver les terrains, c'est-à-dire de se charger en ions métalliques et autres. De plus, elle entraîne des matières en suspension qui pourront s'accumuler pour former les sédiments. On voit donc immédiatement l'influence de la géologie sur les teneurs dans les eaux et dans les sédiments. Si on considère le sédiment comme n phases minérales, et l'eau comme une phase (au sens thermodynamique), il existe pour chaque métal n + 1 constantes d'équilibre ; si on fait intervenir la cinétique des réactions (c'est-à-dire l'influence de tous les autres éléments chimiques et de tous les paramètres physiques), on se rend compte qu'il est utopique de vouloir trouver une règle générale donnant la composition de l'eau en fonction du sol ou du sédiment sur lequel elle coule.

De plus, il faut ajouter les apports humains qui sont issus de concentrations artificielles plus ou moins locales en métaux (engrais, terrils) et d'eaux usées (Williams et al - 1974 - doc 1).

1.2.1.2. Apports humains (voir fig.1.2.a)

Directs : Ces apports sont issus de deux origines essentielles qui sont l'industrie et l'urbanisme. Ces rejets se font directement dans la rivière ou avec un traitement (prétraitement, station d'épuration, bassin de décantation). Ces rejets peuvent contenir de fortes concentrations métalliques soit sous forme soluble soit sous forme solide.

Indirects : Ce sont essentiellement les apports par les poussières de l'atmosphère issues des cheminées et des combustions diverses. Ces poussières sont ensuite entraînées dans le processus de formation des précipitations et sont donc entraînées dans les cours d'eau. De même, le ruissellement sur les surfaces agricoles peut constituer un apport indirect.

1.2.2. Echanges des métaux entre l'eau et les sédiments

1.2.2.1. Fixation sur le sédiment

- Influence de la nature du Sédiment

La nature ainsi que les dimensions des grains du sédiment interviennent dans la fixation des ions métalliques. Ramamoorthy et Rust (1978) distinguent quatre

Forme chimique et origine
des métaux dans les sédiments.

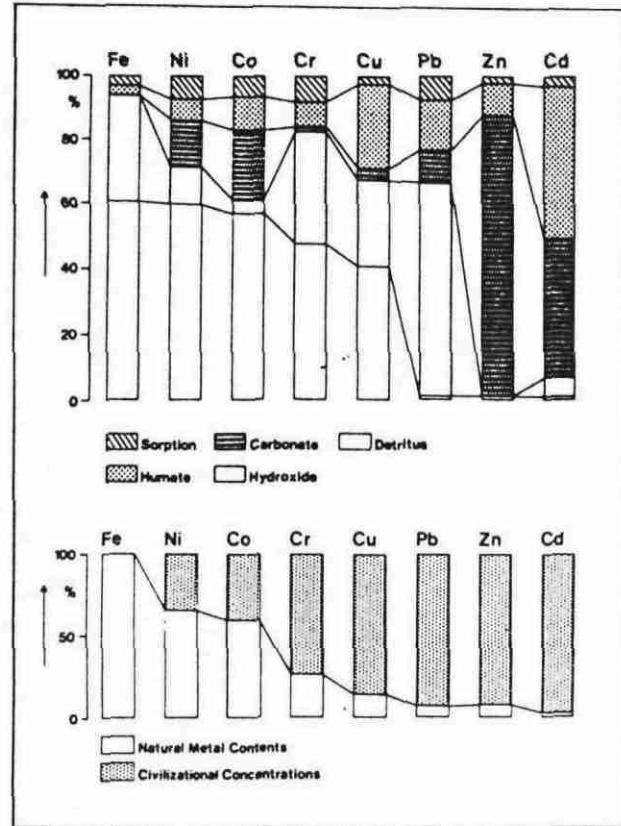


Fig. 1.2.a

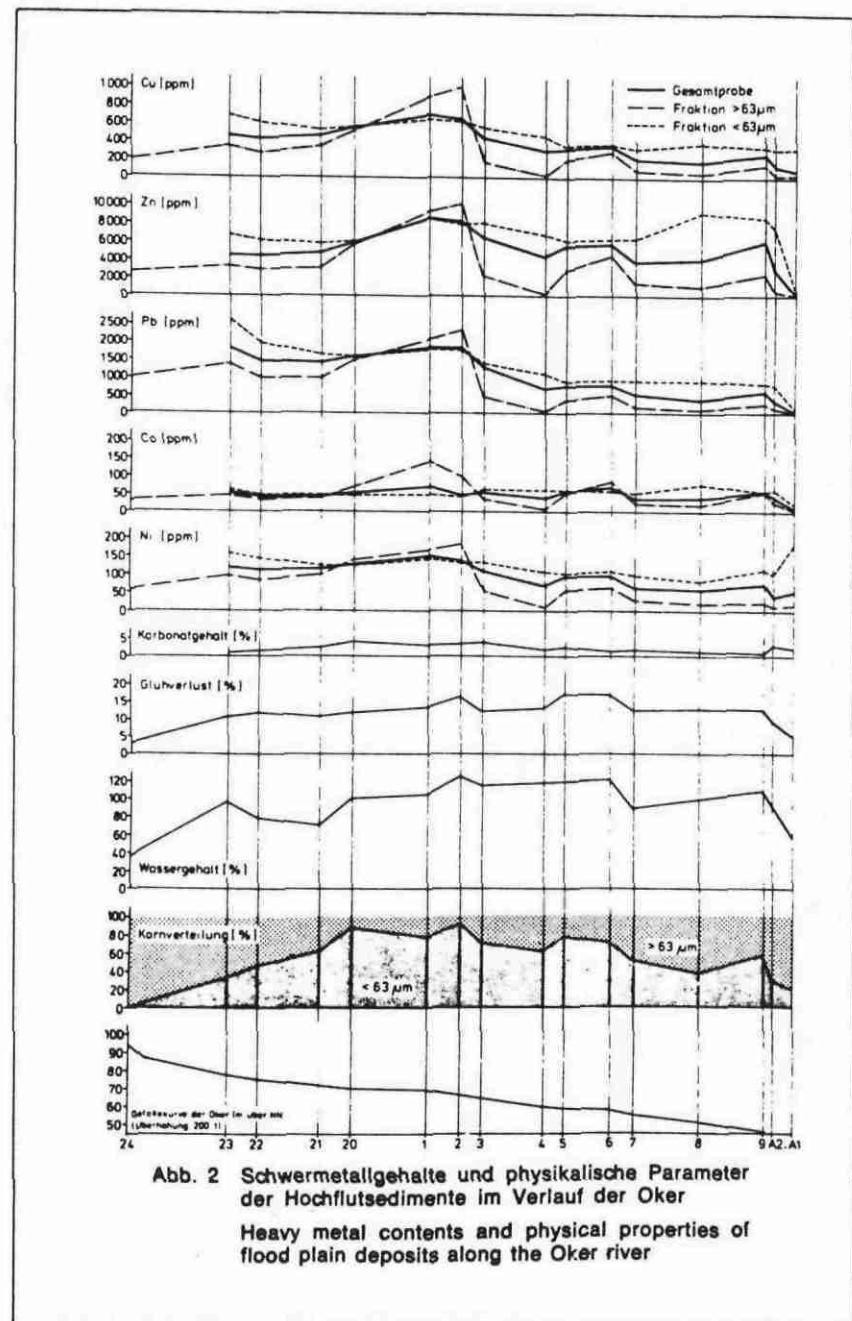


Abb. 2 Schwermetallgehalte und physikalische Parameter
der Hochflutsedimente im Verlauf der Oker
Heavy metal contents and physical properties of
flood plain deposits along the Oker river

Fig. 1.2.b

types de composants: les silicates (et tous les minéraux silicatés), les argiles, la matière organique, et les oxydes de fer et de manganèse. Il faut y ajouter les carbonates.

Ces cinq composants du sédiment se distinguent par leur surface spécifique (surface capable de fixer des ions/g de matière) et leur activité (c'est à dire leur capacité d'établir des liaisons).

La taille des minéraux intervient dans la définition de la surface spécifique.

- Types de liaison

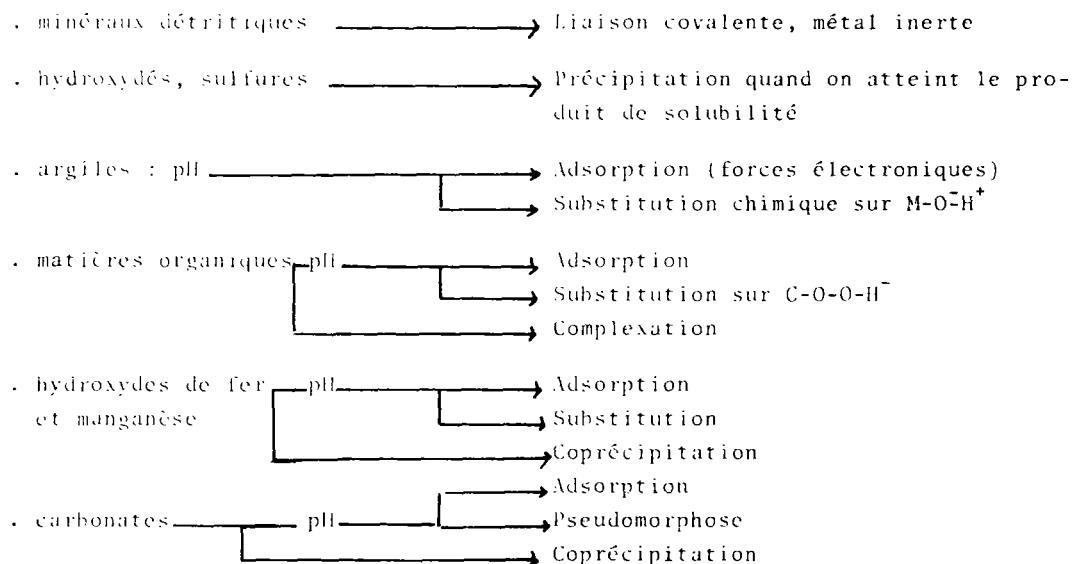
Il existe essentiellement trois comportements des métaux lourds : en ions solubles, en association avec des colloïdes, et liés à des matières en suspension d'origine organique ou non (Ramamoorthy et Rust -1978- doc 2)

Les liaisons entre sédiment et métal lourd vont de la simple liaison de type Van des Waals à la liaison covalente, la précipitation chimique (avec les carbonates ou les oxydes) ou la substitution dans les sites intracristallins.

Par exemple, la précipitation de CaCO_3 due à une augmentation du pH peut entraîner une coprécipitation de ZnCO_3 et CuCO_3 . (Voir fig.1.2.a)

- Paramètres contrôlant la fixation

On distingue les paramètres liés au sédiment et les paramètres liés à l'eau. (U. TORSINER -1977- Doc 3) (Voir fig. 1.2.b)



Le potentiel d'oxydo-réduction joue un grand rôle sur la forme chimique $\text{Fe}^{2+} = \text{Fe}^{3+}$. La teneur et la composition de la matière organique sont des paramètres essentiels dans la fixation des métaux lourds. La majorité des complexes et chélates de métaux sont des composés de poids moléculaire élevé (selon Chau et Al -1970- Doc 4) de 1000 à 10 000. L'acide humique et l'acide fulvique très communs dans les eaux sont les deux agents complexant des métaux.

La biomasse peut jouer un rôle fixateur soit indirect (changement dans le pH et Eh) soit direct. Comme nous l'avons vu au chapitre 1, les organismes sont de grands concentrateurs de métaux qui peuvent être fixés dans des carapaces, tests, frustules... Insolubles, ces derniers seront mêlés aux sédiments (surtout vrai pour le Zn, le Fe, le Mn, le Cu et le Ni). Le rôle fixateur du sédiment et celui de la biomasse sont approximativement comparables.

- Etude chimique de l'adsorption

D'après Ramamoorthy et Rust -1978- (Doc 2) l'adsorption d'un métal sur un sédiment suit la forme linéaire de l'équation de Langmuir :

$$\frac{C_m}{x} = \frac{1}{kb} + \frac{C}{b} \quad \text{avec}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C = \text{Concentration à l'équilibre du métal adsorbé} \\ x/m = \text{Quantité de métal par unité de masse de l'adsorbant} \\ k = \text{Constante = énergie de liaison sédiment-métal} \\ b = \text{Taux d'adsorption maximum} \end{array} \right.$$

Ces études ont montré que les paramètres b et k corrélerent directement avec la concentration en matière organique et la granulométrie moyenne. En effet, avec la matière organique l'énergie de liaison du métal est forte et donc le taux d'adsorption est élevé. D'autre part, plus la taille du grain est élevée, plus le métal a des chances de trouver des liaisons à caractère covalent ou des substitutions métal à métal, donc plus sa réactivité diminue une fois fixée.

1.2.2.2. Libération des métaux par les sédiments

- Processus chimiques

Nous avons vu que les sédiments peuvent constituer un piège pour les métaux lourds en les concentrant d'autant plus que certains paramètres sont optimaux. Cependant cet effet de réservoir représente un grand danger potentiel : certains polluants ont le pouvoir de libérer ces métaux dans un temps très court : c'est par exemple le cas du chlorure de sodium et du nitrilotriacétate. Leur action sur un sédiment pollué par du mercure conduit à la libération presque totale du mercure en 6 heures ! On a pu mettre en évidence que l'ordre d'échange des cations du sédiment vers l'eau était le suivant : $\text{Mg} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Cd}$. Le sédiment est donc un bon réservoir pour le cadmium mais un mauvais fixateur du mercure. Cette action du chlorure de sodium sur la concentration des sédiments en métaux est confirmée par le fait que cette concentration baisse nettement lorsqu'on arrive en environnement marin.

Reece et al -1978- (Doc 5) ont montré les processus de libération des métaux en étudiant des sédiments de la rivière Coeur d'Alène (Idaho). Ces sédiments placés dans l'eau distillée à pH 6,7 libère les métaux, atteignent l'équilibre en 10 jours environ selon une loi du type $\log(C - C_0) = -a t + b$ avec $C = \text{Concentration à l'instant } t$

$C_0 = \text{Concentration à l'équilibre}$

$t = \text{Temps}$

a et b = Constantes fonction du métal.

La cinétique est donc une cinétique du premier ordre.

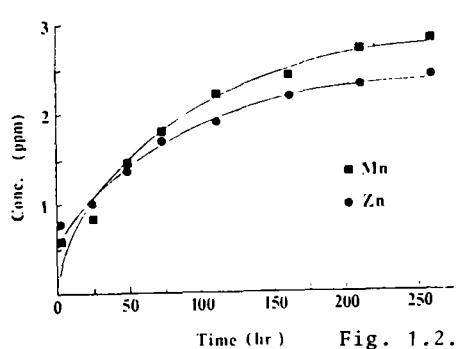


Fig. 1.2.c

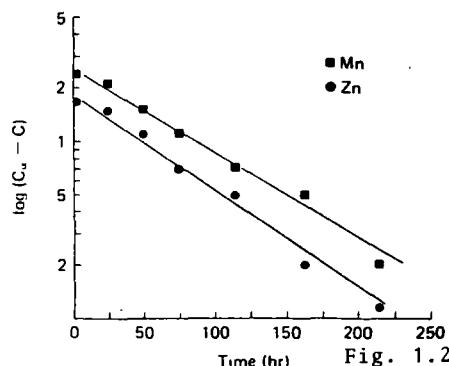


Fig. 1.2.d

- Etude d'un cas de pollution historique

Il nous paraît opportun dans cette étude de donner un exemple bien connu de fixation puis de libération d'un stock métallique. Nous avons choisi l'exemple des pollutions par le plomb au Cardiganshire (Pays de Galles) étudié par B.E. DAVIES et J. LEWIN -1974- (Doc 6).

L'exploitation des métaux au Cardiganshire a commencé avec les Romains et s'est vraiment développé vers 1800. Les mines situées près de la rivière Rheidol ont cessé leur activité vers 1900. Jusqu'à cette époque, les minerais riches en plomb zinc étaient lavés à l'eau et les eaux polluées étaient rejetées dans la rivière (pollution Pb-Zn-Cd-Cu).

La zone étudiée est un méandre de la Rheidol qui a progressé d'environ 400 m vers l'aval depuis 1800. (Voir carte fig. 1.2.e) Les échantillons prélevés dans les sols d'âge différent montrent bien la capacité de stockage du métal puis sa libération soit par remaniement du sédiment soit par désorption (fig. 1.2.f).

	Années	Plomb	Zinc	Cadmium
Libération du stock métal des sédiments	1972	568	243	0.09
	1951 - 71	505	324	0.10
	1904 - 50	785	368	0.28
Arrêt des rejets	1886 - 1903	1011	364	0.9
Exploitation maximale	1845 - 1886	1500	585	2.5

Teneur en mg/kg de sédiment sec

Les analyses sont faites sur des sols anciens différenciés par l'évolution du méandre. Ce sont des analyses de 1972.

Ce tableau montre bien l'évolution plus lente du zinc par rapport au plomb et au cadmium, et les teneurs en sédiments sont encore quatre fois plus élevées qu'en amont des rejets de la mine. De même pour les eaux, on observe à l'échelle de la rivière, le rééquilibrage des eaux au contact des sédiments pollués.

$$\begin{aligned}
 \text{Pb} &= 0,7 \mu\text{g/l} & \} & \text{Rivières non polluées proches} \\
 \text{Zn} &= 11 \mu\text{g/l} & \} & \\
 \text{Pb} &= 1,3 \text{ à } 2,4 \mu\text{g/l} & \} & \text{Rheidol} \\
 \text{Zn} &= 50 \text{ à } 130 \mu\text{g/l} & \} &
 \end{aligned}$$

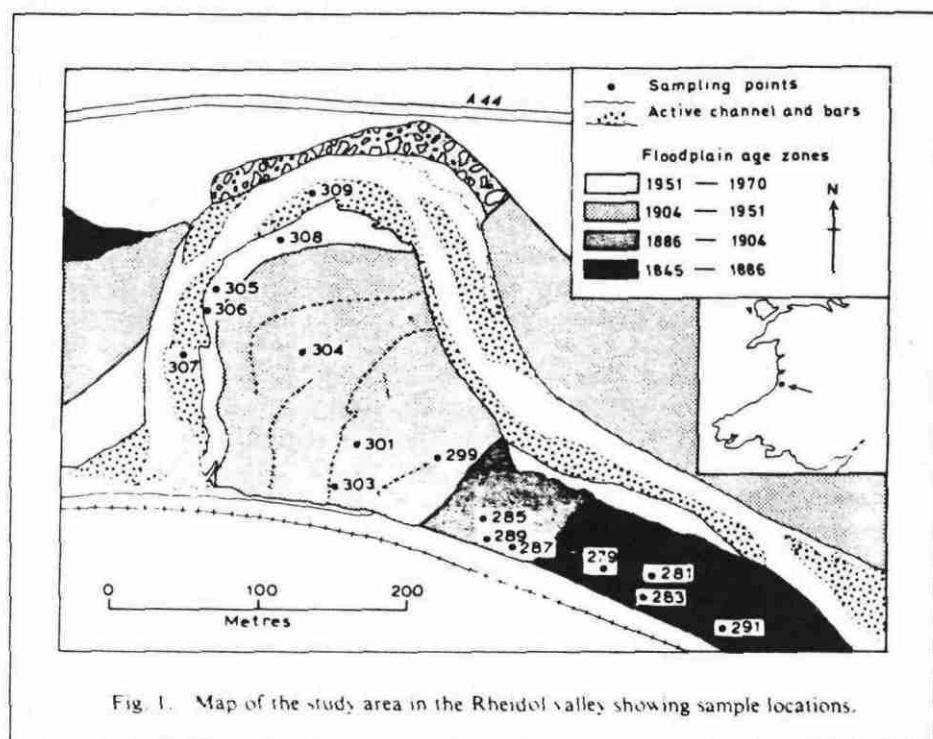


Fig. 1. Map of the study area in the Rheidol valley showing sample locations.

Fig. 1.2. e

TABLE I
ANALYTICAL DATA FOR SOILS FROM EACH AGE ZONE IN A DEVELOPING MEANDER LOOP

Age Zone	Sample No.	pH's	0-15 cm				50 cm									
			Ignition loss	%	Trace metals: ppm dry soil		Sample No.	pH's	Ignition loss	%	Trace metals: ppm dry soil					
					Pb	Zn	Cu	Cd			Pb	Zn	Cu	Cd		
1972	307	4.8	1.2	0.06	291	242	21	0.09								
	309	4.8	1.6	0.09	444	244	24	0.08								
1951-1971	(MEAN)	—	(1.4)	(0.08)	(368)	(243)	(23)	(0.09)								
	305	4.7	2.8	0.11	537	333	26	0.10								
	306	5.0	1.5	0.14	433	318	27	0.11								
	308	4.6	2.4	0.09	540	320	27	0.09								
	(MEAN)	—	(2.2)	(0.11)	(503)	(324)	(27)	(0.10)								
1904-1951	299	4.3	0.2	0.20	683	293	37	0.32	302	4.4	2.4	0.14	397	199	36	0.11
	301	4.3	9.1	0.34	970	485	55	0.48	300	4.7	1.8	0.14	617	340	37	0.30
	303	4.4	7.0	0.34	729	389	51	0.19								
	304	4.6	5.5	0.32	757	303	35	0.15								
	(MEAN)	—	(6.5)	(0.30)	(785)	(368)	(45)	(0.28)								
1886-1904	285	4.5	4.1	0.26	1,829	346	37	0.80	286	4.3	2.8	0.34	1,021	378	46	1.5
	287	4.7	5.1	0.40	522	383	33	1.00	288	4.3	5.7	0.52	1,076	646	54	3.2
	289	4.6	4.7	0.37	683	364	47	0.80	290	4.2	5.2	0.37	1,172	694	50	1.7
	(MEAN)	—	(4.6)	(0.34)	(1,011)	(364)	(39)	(0.90)								
	279	4.3	6.0	0.29	1,133	405	63	1.6	280	4.5	1.6	0.49	819	491	38	2.7
1845-1886	291	4.4	8.0	0.66	1,610	322	85	1.1	282	4.9	7.1	0.54	758	3,084	117	7.6
	283	4.3	6.9	0.83	2,098	630	74	2.8	284	4.7	5.6	0.46	7,643	955	94	2.5
	281	4.4	7.8	0.69	1,161	581	65	3.5	292	4.3	7.3	0.57	4,718	1,464	80	2.2
	(MEAN)	—	(7.2)	(0.62)	(1,500)	(485)	(72)	(2.3)								
													(3,485)	(1,499)	(83)	(3.8)

Fig. 1.2. f

Cette étude montre l'impact des sédiments pollués sur les eaux. De plus la pollution des eaux n'est pas due seulement à une cause actuelle mais c'est une pollution "historique". Cet exemple constitue la preuve qu'une pollution de l'eau n'est pas nécessairement due à un rejet récent. Il confirme aussi le rôle de "tampon" assuré par le sédiment qui fixe les métaux de base quand les concentrations dans l'eau sont fortes pour les libérer lorsque la dépollution commence.

1.2.3. Le sédiment comme indicateur de pollution

1.2.3.1. Choix du sédiment

Un sédiment devient un bon indicateur de la pollution lorsque ses concentrations en métaux sont en équilibre avec les concentrations moyennes de la rivière sur une certaine période de temps.

Cela implique que sa durée de séjour dans l'eau soit grande et qu'il ait été bien brassé d'une part et que d'autre part, sa composition soit essentiellement argileuse ou organique (les silicates se rééquilibrent beaucoup plus lentement.)

La plupart des études de sédiment ont été faites sur des sédiments fins : vase... en sélectionnant les fractions fines ($< 2\mu\text{m}$ ou $< 50\mu\text{m}$ selon les études). Les résultats sur les fractions $< 2\mu\text{m}$ semblent de loin les plus réguliers.

1.2.3.2. Évaluation du bruit de fond naturel

Il existe deux méthodes pour évaluer l'importance du bruit de fond naturel dans les teneurs en sédiments :

- L'analyse d'échantillons tests en amont de la source potentielle,
- L'analyse de carottages par tranches successives et donc par chronologie des teneurs.

Ces deux méthodes ont des inconvénients qui rendent difficile toute évaluation : la prise d'échantillon en amont n'assure pas l'identité des sédiments alors que l'analyse de carottages ne permet pas de connaître les paramètres physico-chimiques de l'eau lors du dépôt.

1.2.3.3. Représentativité du sédiment

Le problème est aussi de savoir, lorsqu'on prélève un sédiment, de quelle période de temps il est représentatif. Pour cela il faut soit avoir une idée de la vitesse de sédimentation, soit avoir un niveau repère, soit déposer des prêges à sédiments qui captent uniquement des sédiments au moins partiellement rééquilibrés avec l'eau.

De plus il ne faut pas croire qu'un sédiment est une image immuable d'un état de l'eau passé. Il existe à l'intérieur du sédiment des circulations fluides épigénétiques qui ont tendance à homogénéiser les concentrations.

BIBLIOGRAPHIE : Métaux dans les sédiments

- Doc 1 : W.L. WILLIAMS, D.B. AULENBACH, N.L. CLESCHERI
Sources and distribution of Trace metals in aquatic environments
AQUEOUS ENVIRONMENTAL CHEMISTRY OF METALS
1974
- Doc 2 : S. RAMAMOORTHY and B.R. RUST
Heavy Metal Exchange Processes in Sediment Water Systems
Environmental Geology Vol. 2 n° 3 p. 165-172
- Doc 3 : U. FORSTNER
Metal concentration in Fresh Water sediments
PROCEEDINGS OF AN INTERNATIONAL SYMPOSIUM HELD AT AMSTERDAM
1977
- Doc 4 : T.K. CHAU, V.K. CHAWLA, H.F. NICOLSON, R.A. VOLLENWEIDER
Proc. Great Lakes Res. Conference
1970
- Doc 5 : D.E. REECL, J.R. ELKLEY, CM. WAI
Heavy Metal Pollution in the Sediments of the "Coeur d'Alène" River
Environmental Geology Vol. 2. n° 5 p. 289-295
- Doc 6 : B.E. DAVIES et J. LEWIN
Chronoséquences in alluvial soils with special reference to historic Lead Pollution
in Cardiganshire (Wales)
Environmental Pollution n° 6 p. 49-57
1974
- Doc 7 : P. BENLS, L.F. GJESSING, E. STEINNES
Interactions between Humus and Trace Elements in Fresh Water.
Water Research Vol. 10 p. 711-716
1976
- Doc 8 : N.E. WARD, R.R. BROOKS, R.D. RILEY
Copper, cadmium, lead and zinc in soils, stream sediments, Waters, and natural vegetation
around the Tui Mine, Te Aroha, New Zealand
New Zealand Journal of Science
1975
- Doc 9 : R.J. ALLAN
Heavy Metals in Bottom Sediments of Great Slave Lake : a Reconnaissance
Environmental Geology n° 5 p. 49-58
1979

1.3. RELATIONS EAU-SEDIMENTS POUR LES METAUX LOURDS

La mesure systématique sur eau brute et sur eau filtrée permet d'évaluer la part des métaux liée aux matières en suspension.

La mesure simultanée des quantités de matières en suspension fournit la possibilité d'estimer la teneur en métaux des matières en suspension dont on peut examiner l'évolution en fonction de différents paramètres.

Ces résultats peuvent enfin être comparés aux concentrations observées dans les sédiments eux-mêmes.

De tels travaux doivent être menés d'une manière quasi-continue pendant de longues années pour donner des résultats représentatifs.

A notre connaissance, seules les autorités néerlandaises disposent de telles données recueillies sur le cours aval du Rhin et de la Meuse. En effet, l'entretien des zones portuaires de Rotterdam nécessite l'extraction annuelle de millions de tonnes de sédiments, déposés sur des terres à usage agricole. Cet épandage est devenu de plus en plus problématique en raison de concentrations excessives de certains métaux dans les productions agricoles, soit pour l'alimentation du bétail (Cd et Cu), soit pour l'alimentation humaine (Cd et Pb) (cf. doc 2).

On examinera successivement les aspects suivants :

- 1.3.1. Les métaux dans l'eau : forme dissoute, forme particulaire,
- 1.3.2. Les métaux dans les matières en suspension et dans les sédiments,
- 1.3.3. Essai de synthèse sur les relations eau-sédiments et esquisse de grilles de qualité pour l'eau et les sédiments.

1.3.1. Métaux dans l'eau : forme dissoute et forme particulaire

Les résultats de très nombreuses mesures recueillies dans le bassin du Rhin et de la Meuse, essentiellement par des organismes néerlandais sont résumés dans le tableau page suivante.

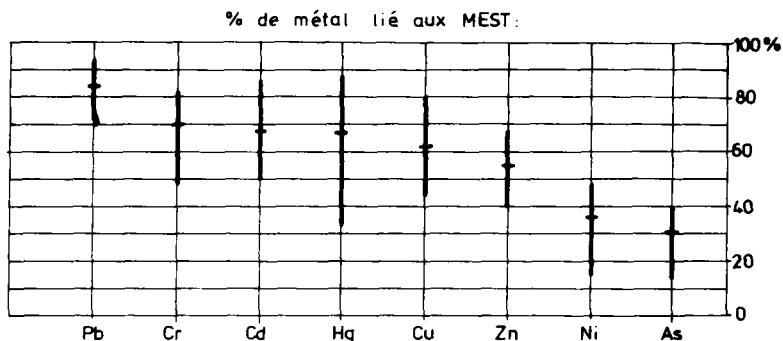
Stations de mesure	Années	Nbre de mesures	MEST mg/l	% de métal lié aux MEST (teneur moyenne totale en ug/l)								Réf. bibl. p.23
				Pb	Cu	Zn	Cr total	Ni	Cd	Hg	As	
RHIN MAASLUIS	1977-81	16	20	74(9)	45(10)	47(65)		16(9)				1
RHIN VREESWIJK	1977-81	40	32	83(16)	61(13)	62(100)		34(10)				1
RHIN OCHTEN	1972-75	35	40	72(25)	55(24)	42(165)	63(32)		51(2,4)	70(0,7)		5
RHIN LOBITH	1973-76	30	50	84(32)	71(26)	50(200)	80(52)	31(13)	54(3,3)	71(0,8)		2
RHIN LOBITH	1977-81	40	42	90(18)	65(14)	59(110)		40(11)				1
RHIN LOBITH	1978-82	40	32	92(14)	64(13)	63(100)	79(20)	48(10)	64(1,6)	79(0,17)		3
RHIN LOBITH	1979	13 à 23	47	84		54(120)			51	34		10
RHIN BIMMEN-LOBITH	1978	26	-					48(11)			40(4)	4
RHIN BIMMEN-LOBITH	1979	26	-					41(10)				4
Rhin COBLENCE	1979	26	-	81(7)	64(8)	44(45)	64(10)	38(4)	74(0,4)	56(0,22)	34(1,4)	4
Moselle COBLENCE	1979	26	-	85(14)	58(6)	51(70)	49(9)	36(4)	71(0,3)	45(0,20)	23(1,7)	4
Meuse KEIZERSVEER	1977-80	26	24	78(12)	50(8)	57(120)	68(6)	28(9)	69(0,8)	61(0,12)		6
Meuse KEIZERSVEER	1980	14	18	85(13)	60(5)	49(136)	75(4)		75(1,2)	70(0,12)	14(7)	7
Meuse LITH	1977-80	52	32	91(20)	59(9)	65(146)	82(8)	29(8)	86(1,8)	82(0,20)		6
Meuse EIJSDEN	1977-80	104	28	93(24)	58(10)	57(254)	72(12)	41(8)	81(3,1)	88(0,34)		6
Meuse EIJSDEN	1980	17	39	81(26)	79(13)	68(553)	73(6)		76(3,4)	80(0,4)	37(7,5)	7
mini				72	45	42	49	16	51	34	14	
moy.				84(6,4)	61(8,6)	55(8,0)	70(9,9)	36(9,0)	68(12)	67(16,6)	30(10,8)	
max.				93	79	68	82	48	86	88	40	

Remarques sur les données du tableau

Les données de base n'étant pas publiées en totalité, il y a des doubles-comptes pour certains ensembles (station - année - élément). D'autre part, le nombre d'analyses simultanées sur eau brute et eau filtrée n'est pas toujours indiqué.

Le recours à des publications diverses concernant les mêmes stations a été rendu nécessaire par le fait que certains éléments (en particulier l'arsenic) ne sont pas traités dans toutes les synthèses.

L'examen global de ces données montre que la répartition des métaux entre les matières en suspension et l'eau filtrée est très différente selon les éléments comme le montre le schéma ci-dessous :



La dispersion des résultats, qui sont déjà des moyennes d'un nombre appréciable de mesures, autour de la moyenne est importante.

Un écart-type a été calculé pour la dispersion de ces moyennes et rapporté à la moyenne générale afin d'évaluer un ordre de grandeur de la dispersion :

plomb	8 %
chrome, cuivre, zinc	14-15 %
cadmium	18 %
mercure, nickel	25 %
arsenic	36 %.

La dispersion est relativement modérée pour le plomb. Elle est, par contre, très importante pour le mercure, le nickel et surtout l'arsenic, ces deux derniers éléments étant d'ailleurs prépondérants sous forme soluble.

Il se peut que la dispersion des coefficients pour le mercure et le cadmium soit due en partie à des problèmes analytiques.

1.3.2. Les métaux dans les matières en suspension et dans les sédiments

Les teneurs en métaux dans les matières en suspension peuvent être calculées à partir de la teneur en matières en suspension (en mg/l) et du dosage :

- . des métaux dans l'eau brute (b) (en ug/l)
 - . des métaux dans l'eau filtrée (f) (en ug/l)
- conc. en mg/kg = $\frac{b - f}{MEST} \times 10^3$.

De telles données sont publiées par les Pays-Bas, de même que des analyses de sédiments. Les deux tableaux ci-après donnent une vue d'ensemble de ces données, tous les résultats étant exprimés en mg/kg.

MEUSE

Concentrations en mg/kg

	Année	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cr	Réf. bibl. (p.23)
analyses sédiments Meuse à GEERTRUIDENBERG	1977	158	62,6	2345	437	40,4	263	(6)p.51
analyses MEST Meuse à GEERTRUIDENBERG moyennes 1977-1978		166	65,4	2947	484	35,5	246	(6)p.50
analyses MEST Meuse à KEISERSVEER (5km amont GEERTRUIDENBERG)	1975 1976 1977 1978 1979 1980	381	111 132 144	2521 2676 3437 4304 4512 4687	571 716 634 620 484 478	42 59 122 43 34 51	274 260 321 346 201 201	(6)p.55 à 65
analyses MEST Meuse à LITH	1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980	265 429 241 257 269 215 214 187 195	68 67 170 103 165 135 137 100 107	4134 4896 3328 2819 3378 3609 3215 3308 3668	974 532 687 711 587 537 726 646	81 89 64 38 60 58 50 48 57	606 666 572 276 279 259 197 210 247	(6)p.55 à 65
analyses MEST Meuse à EIJSDEN (frontière B/NL)	1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980	446 656 551 581 379 319 408 237 333	115 144 226 144 125 166 159 128 146	9808 12969 11534 12141 6588 5760 7593 6229 7253	3150 1507 1792 932 858 1123 860 764 849	176 233 210 146 242 153 135 88 125	414 750 419 529 365 524 396 257 321	(6)p.55 à 65

RHIN

Concentrations en mg/kg

	année	Cu	Ni	Zn	Pb	Cd	Cr	Hg	Réf. bibl. (p.23)
<u>dans sédiments</u>									
Nieuwe Merwede	1970	323	62	1855	447				
à BIESBOCH	1975	325	81	1905	399	31	820	10,1	(1)p.13 et (2)p.51
= Rhin + Meuse	1977	287	76	1663	388	37,4	827		
	1980	285	74	1697	360				
Hollands Diep	1970	176	61	1577	318				
= aval point	1975	253	69	1841	421				
précédent	1977	208	55	1366	322				
	1981	126	49	1317	259				
ROTTERDAM Est	1972	280		1185	285				
	1977	220	60	1419	313				
	1979	200	58	1501	307				
	1981	165	53	1099	319				
ROTTERDAM Est moyennes	1981	242	69	1508	422	26	365	5,52	(8)p.54
KETELMEER aval KAMPEN sur IJssel	1972	297		2115	363				
	1974	201		1650	242	24	458	7	(1)p.13 et (2)p.51
	1977	249	67	1962	321				
	1982	188		1833	277				
sédiments du Rhin 15-16 siècle									
		21	33	93	31	0,5	77	0,14	(2)p.51
Concentrations matières en sus- pension	1973	590		3540	840	45	1360	27	(3)p.16
LOBITH	1974	590		3680	1070	49	1610	12	
(= frontière NL/D)	1975	400		1920	590	37	800	9	
	1976	490		2260	640	65	1070	11	
	1977	310		1640	580	44	710	8	
	1978	300		1700	470	43	570	5	
	1979	260		2270	460	36	550	4	
	1980	270		1820	390	31	450	5	
	1981	190		1430	310	20	340	3	
	1982	200		2120	220	20	303	4	
Sédiments KEEKEN-BIMMEN	1978/ 79	200		1500	400	17	470	/	
PK 863,80 (= frontière D/NL)	1982/ 83	160		1100	290	11	330	/	11 p.20,21

L'examen du tableau relatif à la Meuse montre qu'il y a peu d'analyses de sédiments, par contre d'excellents historiques pour les matières en suspension.

Ces dernières montrent que pour les six éléments analysés, les concentrations diminuent fortement d'amont en aval et que pour la majorité de ces éléments il y a une tendance à la diminution dans le temps à la station amont d'EIJSDEN. A l'aval, cette tendance est moins évidente, où il y a même une augmentation.

Globalement, les situations sont donc très variables dans le temps et dans l'espace. La figure ci-dessous illustre ce constat pour le zinc (n. 31).

Néanmoins, les résultats sédiment - matières en suspension à GEERTRUIDENBERG sont très comparables pour les six éléments analysés.

L'écart le plus important est observé pour le zinc : les teneurs dans les sédiments sont inférieures d'environ 20 % aux teneurs dans les matières en suspension. L'historique de la station KEIZERSVEER, située à 5 km à l'amont du point d'analyses de sédiments, montre cependant qu'en 1976-1978, on était encore en pleine augmentation de la pollution. L'écart observé entre les sédiments et les matières en suspension peut donc s'interpréter comme un retard des sédiments par rapport à l'évolution de la situation dans l'eau.

Les données relatives au Rhin comportent une bonne série chronologique de concentrations dans les matières en suspension à la frontière germano-néerlandaise et plusieurs séries chronologiques sur les sédiments pour quelques éléments, mais en des emplacements très éloignés du point de mesure sur l'eau.

La Nieuwe Merwede et le Hollands Dien sont d'ailleurs alimentés simultanément par la Meuse et le Rhin et ont aussi pu être influencés par l'eau de mer (dilution).

Ces séries d'analyses sont donc difficilement comparables et on ne retiendra que les mesures des zones portuaires de Rotterdam Est et celles sur l'Ijssel. Par ailleurs, des données sur les teneurs en métaux des matières en suspension viennent d'être publiées récemment (mars 1984, réf. bibl. 8) par l'IAWR, qui a exploité les résultats des mesures effectuées de 1973 à 1982 sur le Waal à Ochten, donc plus près des points de mesure dans les sédiments. On peut noter les faits suivants :

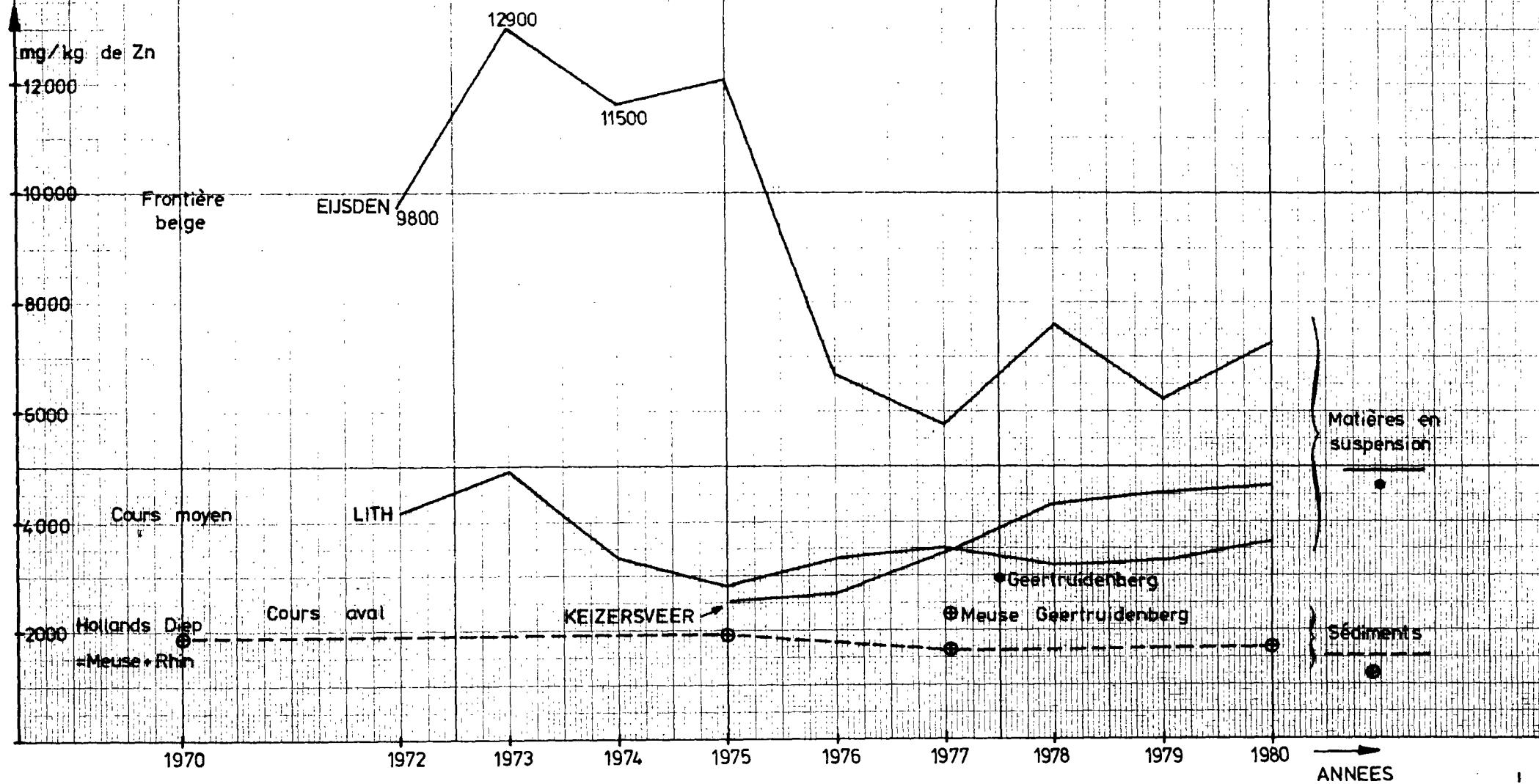
- les concentrations dans les MEST montrent une très forte baisse au cours des 10 années d'analyses (cf. figures 1.3.b.c.d.) pour Cu, Zn et Pb),
- dans les sédiments, la diminution des concentrations apparaît pour la majorité des points, mais elle semble plus lente,
- au début des années 70, les concentrations dans les MEST apportées par le Rhin étaient systématiquement supérieures à celles des sédiments,
- les écarts tendent à diminuer avec le temps ou même à s'inverser en cas de diminution très importante des teneurs dans les MEST, notamment pour le plomb, (fig. p.37).

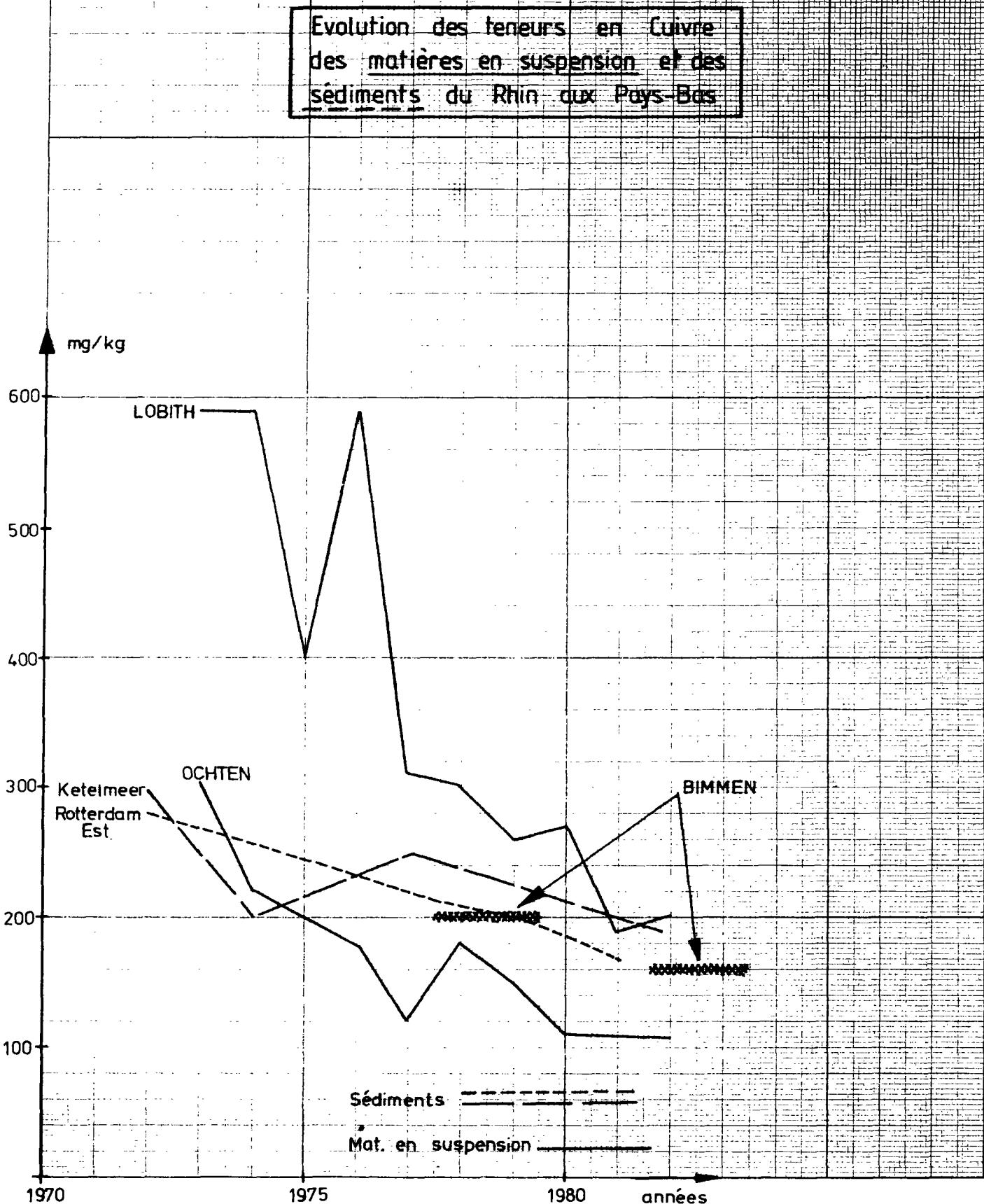
Les écarts observés pourraient donc s'interpréter comme dans le cas de la Meuse par un retard dans l'évolution du sédiment par rapport à celle des MEST.

Une preuve formelle ne peut pas être apportée en raison de l'absence de données antérieures aux années 1970.

Une publication récente du Landesamt für Wasser u. Abfall de Nordrhein-Westfalen (réf. bibl.11), donne des résultats de mesures dans les sédiments du Rhin depuis 1978 à Binnen, c'est-à-dire tout près du point de Lobith. Ces résultats sont très proches des mesures néerlandaises à Rotterdam Est.

Evolution des teneurs en zinc
des matières en suspension et des sédiments de la Meuse





1.3.3. Essai de synthèse sur les relations eau-sédiments et esquisse de grilles de qualité pour l'eau et les sédiments

1.3.3.1) Relations eaux-sédiments

Les très nombreuses mesures réalisées dans le delta du Rhin et de la Meuse sur les matières en suspension et les sédiments permettent de penser que pour les zones à sédimentation intense, il y a tendance à l'équilibre à plus ou moins long terme entre les concentrations en métaux dans les matières en suspension d'une part et celles dans les sédiments d'autre part.

Les conditions restrictives signalées ci-dessus font supposer que d'une manière générale, il sera illusoire de vouloir mettre en évidence une relation eau - sédiments à partir d'un échantillonnage simultané en des points choisis de manière aléatoire :

- dans les zones où la sédimentation est faible, et en particulier dans les hauts bassins, les analyses de sédiments renseigneront essentiellement sur le fonds géochimique et donneront peu d'indication sur la pollution de l'eau ;
- dans des zones soumises à une pollution récente, les sédiments seront encore peu contaminés par rapport à l'eau ;
- dans des zones où la pollution a fortement régressé, les sédiments devraient être plus pollués que les matières en suspension, mais la remise en suspension occasionnelle pourra entraîner des variations importantes pour les concentrations dans l'eau.

Il en résulte qu'une surveillance de la pollution par les métaux au moyen d'analyses de sédiments sera surtout efficace dans les zones à sédimentation intense.

1.3.3.2) Esquisse de grilles de qualité

Des grilles de qualité ont été établies de manière indépendante pour les eaux et pour les sédiments, celles-ci étant basées sur des critères d'usage ou sur des critères purement descriptifs.

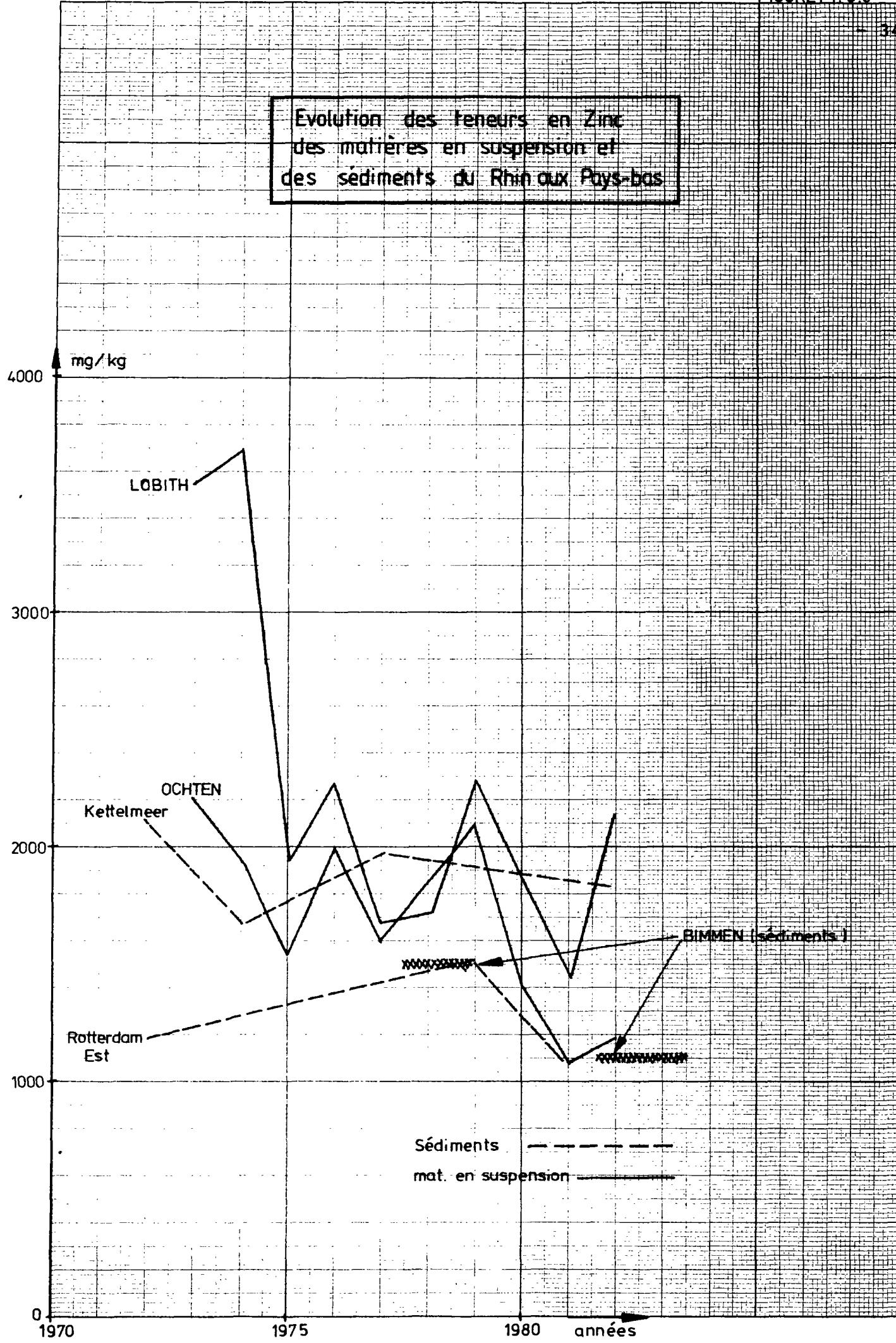
a) - métaux dans l'eau -

Les directives européennes contiennent différents seuils pour l'eau potable, l'eau "potabilisable" et aussi pour la protection du poisson en ce qui concerne le cuivre et le zinc. Ces seuils sont, soit des valeurs guide, à respecter par au moins 90 % des échantillons, soit des valeurs impératives à respecter par au moins 95 % des échantillons.

Il faut souligner que la majorité des programmes de mesure ne comportent pas un échantillonnage suffisant pour préciser la valeur correspondant à 95 %. On retiendra une fréquence de dépassement uniforme de 90 %, ce qui revient pour une série de 12 analyses par an, à retenir la onzième valeur.

Des valeurs impératives ou des "concentrations maximales admissibles" pour l'eau potable ayant été définies pour tous les éléments, ces seuils constitueront la base de la grille. En choisissant 5 niveaux de pollution (identifiés niveau 0 à 4), on prendra les seuils ci-dessus comme niveau maximum du niveau 3. De telles concentrations ne présentent pas de toxicité aiguë pour le poisson, à l'exception du zinc (3 mg/l) qui est 3 à 10 fois trop élevée : le niveau impératif pour les cyprinidés est de 1 000 µg/l et celui pour les salmonidés de 300 µg/l, compte tenu de la teneur minimale en calcium généralement observée dans ces eaux.

Retenons la concentration de 300 µg/l pour le niveau 3. En s'imposant une progression géométrique à raison de 2 à 2,5, on obtient la grille suivante pour les eaux :



Concentration 90 % en $\mu\text{g/l}$

niveau	0	1	2	3	4
Hg	< 0,1	$\leq 0,2$	$\leq 0,5$	< 1	> 1
Cd	< 0,5	< 1	≤ 2	≤ 5	> 5
Zn	< 30	≤ 70	≤ 150	≤ 300	> 300
Cu	{}				
Ni					
Cr					
Pb		< 5	≤ 10	≤ 20	≤ 50
As					

Les valeurs guide des différentes directives correspondent aux niveaux 1 ou 2 selon les paramètres et l'usage concerné.

Le niveau 0 correspondrait donc à une qualité nettement meilleure que ne l'exigerait la majorité des usages de l'eau.

Cependant, plusieurs aspects importants ne sont pas pris en compte :

- les effets immédiats sur les autres organismes aquatiques et les chaînes alimentaires,
- les risques d'accumulation à long terme.

Des "principes directeurs" pour la protection de la vie aquatique ont été définis par le Ministère Fédéral de l'Environnement Canadien (doc.9). Ils correspondent aux niveaux suivants pour les métaux et sont à comparer aux niveaux définis précédemment (en $\mu\text{g/l}$) :

	Principes directeurs canadiens	Niveaux définis a priori			
		0	1	2	3
Hg	$\leq 0,1-0,2$	$< 0,1$	$\leq 0,2$	$\leq 0,5$	> 1
Cd	$\leq 0,2$	$< 0,2$	$\leq 0,5$	< 1	≤ 2
Zn	≤ 30	≤ 30	≤ 70	≤ 150	≤ 300
Cu	≤ 5	< 5	≤ 10	≤ 20	≤ 50
Ni	≤ 25 (2 risque minime en mer 100 dangereux)	< 5	≤ 10	≤ 20	≤ 50
Cr	≤ 40 (≤ 10 pour les huîtres en mer)	< 5	≤ 10	≤ 20	≤ 50
Pb	5 à 30 svt TH	≤ 5	≤ 10	≤ 20	≤ 50
As	10 risque minime 50 dangereux	< 5	≤ 10	≤ 20	≤ 50

Les niveaux canadiens basés en grande partie sur des travaux de l'E.P.A. sont comparables aux niveaux 0 ou 1 en ce qui concerne Hg, Zn, Cu, Pb et As, ils sont plus tolérants pour Ni et Cr. Ils le sont nettement moins pour le cadmium. Il convient donc d'abaisser les seuils pour cet élément, la correction est signalée dans le tableau ci-dessus.

Le niveau 3 peut être considéré a priori comme un maximum tolérable en cas d'absence d'usage contraignant de l'eau.

b) - métaux dans les sédiments -

Dans le cadre de l'interprétation des résultats d'analyses de sédiments effectuées en 1981 dans le bassin Rhin-Meuse, la grille suivante avait été utilisée (rapport SGAL 1982) :

Concentrations en mg/kg

Hg	< 0,2	< 0,4	< 0,8	< 1,6	> 1,6
Cd	< 2	< 4	< 8	< 16	> 16
Zn	< 200	< 400	< 800	< 1600	> 1600
Cu	< 30	< 60	< 120	< 240	> 240
Cr	< 40	< 80	< 160	< 320	> 320
Pb	< 40	< 80	< 160	< 320	> 320
As	< 15	< 30	< 60	< 120	> 120

Le nickel n'ayant pas été recherché en 1981, cet élément ne figure pas dans la grille. Cette grille, essentiellement descriptive, ne tient pas compte des "usages" ni de l'impact sur l'environnement. Dans la pratique, la contrainte majeure semble être celle de l'épandage des vases sur des terrains agricoles.

Un projet de directive européenne (10.09.1982) prévoit les seuils suivants (en mg/kg) pour les concentrations de sols agricoles susceptibles de recevoir des boues de stations d'épuration :

	Niveau guide	Niveau impératif
Hg	2	-
Cd	1	3
Zn	150	300
Cu	50	100
Ni	30	50
Cr	50	-
Pb	50	100
As	20	-

La comparaison avec la grille descriptive précédente montre que :

. les niveaux de la deuxième colonne de la grille sont compatibles avec les seuils du projet de directive pour le cuivre, le chrome, le ploom et l'arsenic,

. les niveaux de cette colonne sont un peu trop élevés en ce qui concerne le cadmium et le zinc,

. le niveau (guide) indiqué pour le mercure est supérieur à la limite du niveau le plus élevé,

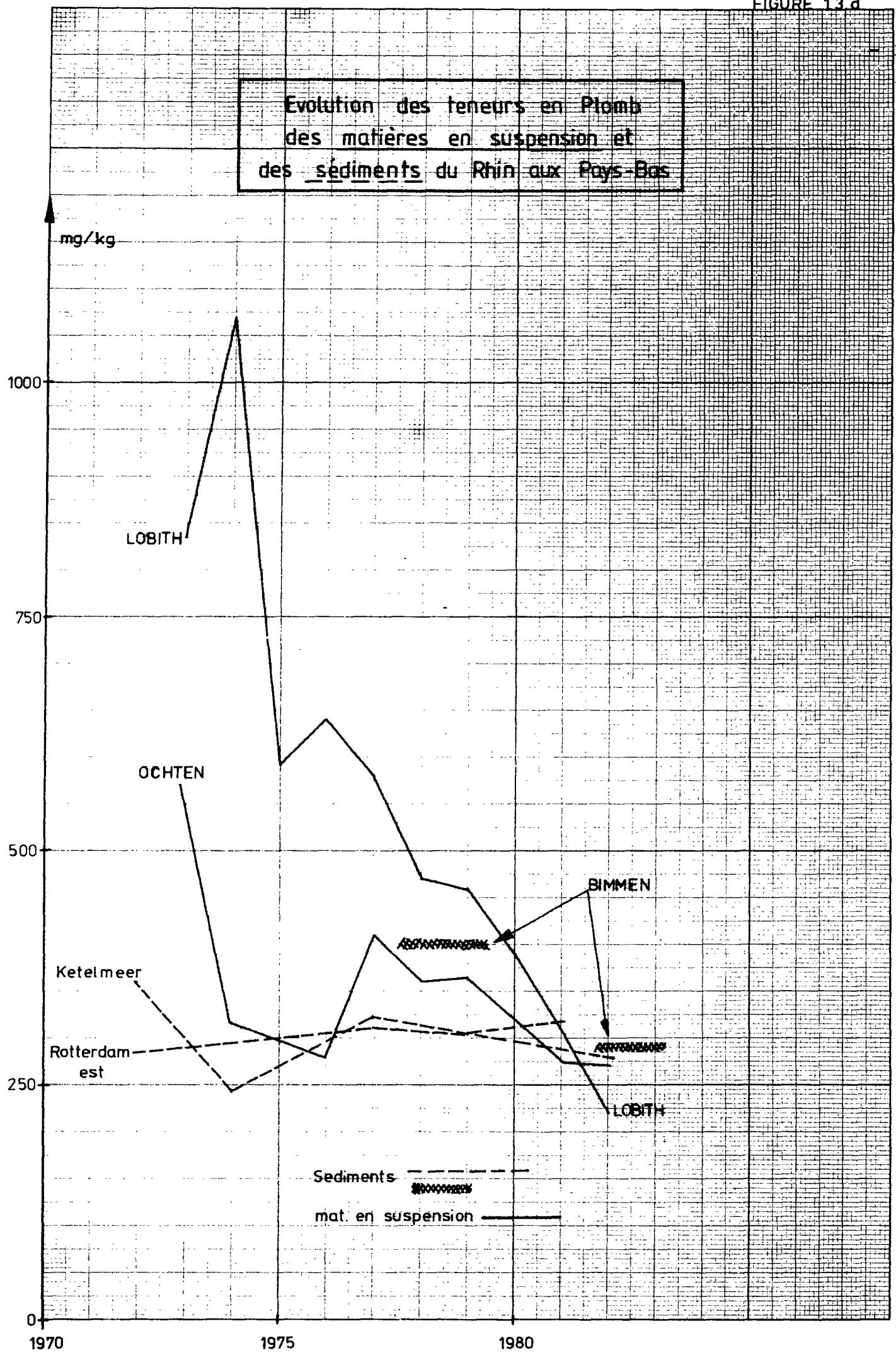
. pour le nickel, les contraintes sont un peu plus sévères que pour le cuivre, le chrome et le plomb.

Si on veut donner un caractère plus utilitaire à la grille descriptive, il faudrait abaisser les seuils pour le cadmium et le zinc et introduire le nickel.

On peut d'ailleurs remarquer que les "valeurs standard" retenues pour définir la grille sont généralement un peu inférieures à celles résultant de l'étude bibliographique (rapport SGAL - 12/32, page 36), à l'exception justement du cadmium et du zinc :

Teneurs en mg/kg

	Cd	Zn
Points amont	1,2	63
Histogrammes	0,75	100
Bibliographie	0,6	88
Standard	1	100



Retenons des standards légèrement inférieurs à ceux résultant de l'étude bibliographique comme pour les autres éléments, soit 0,5 mg/kg pour le Cd et 75 mg/kg pour le Zn. Dans ces conditions, la grille complétée par le nickel devient (seuils en mg/kg) :

Niveau de pollution	0	1	2	3	4
Hg	< 0,2	< 0,4	< 0,8	< 1,6	> 1,6
Cd	< 1	< 2	< 4	< 8	> 8
Zn	< 150	< 300	< 600	< 1200	> 1200
Cu	< 30	< 60	< 120	< 240	> 240
Ni	< 25	< 50	< 100	< 200	> 200
Cr, Pb	< 40	< 80	< 160	< 320	> 320
As	< 15	< 30	< 60	< 120	> 120

c) - essai de comparaison des grilles eau - sédiments -

1. fixation d'un objectif eau à partir d'un objectif sédiments -

La grille relative aux concentrations dans l'eau s'applique aux valeurs à respecter par 90 % des échantillons, alors que celle relative aux sédiments s'applique plutôt au résultat moyen, celui-ci subissant d'ailleurs peu de variations dans le temps.

Les concentrations dans l'eau sont par contre généralement très variables dans le temps et on observe souvent pour les concentrations les plus fréquentes, des valeurs de l'ordre de la moitié de la teneur à 90 %.

Les concentrations en matières en suspension sont elles aussi très variables, mais en raisonnant dans l'esprit des objectifs de qualité on ne devrait pas dépasser 30 mg/l par temps sec. Dans la pratique, les concentrations sont le plus souvent inférieures à 30 mg/l par temps sec à l'exception de quelques rivières très polluées, mais par temps de pluie beaucoup de cours d'eau montrent des concentrations largement supérieures. Retenons cette valeur de 30 mg/l comme hypothèse de travail.

Pour la répartition entre fraction soluble et fraction particulaire, on utilisera les résultats déduits des mesures néerlandaises.

Soit k la proportion de métaux liée aux matières en suspension :

Hg	: 67 %
Cd	: 68 %
Zn	: 55 %
Cu	: 61 %
Ni	: 36 %
Cr	: 70 %
Pb	: 84 %
As	: 30 %.

Avec les hypothèses précédentes, on peut hiérarchiser les grilles de qualité eau - sédiments ou plus simplement comparer les niveaux de qualité eau avec les seuils impératifs du projet de directive sur les sols à usage agricole.

Cette dernière ne comportant pas de valeur impérative pour tous les éléments, on prendra comme référence le double de la valeur guide.

La relation eau - sédiment s'écrit :

$$\text{SED mg/kg} = \frac{k \times 0,5 \text{ EAU ug/l}}{\text{MEST mg/l}} \times 10^3$$

$$\text{EAU ug/l} = \frac{2 \times \text{SED mg/kg} \times \text{MEST mg/l}}{k \times 10^3}$$

avec k = fraction de métaux liée aux MEST.

En se basant sur un objectif sédiments conforme au projet de directive, on obtient une concentration maximale (90 %) pour l'eau. Les résultats du calcul sont regroupés dans le tableau ci-dessous qui donne également les résultats de calculs analogues réalisés par d'autres organismes.

	Objectif sédiment en mg/kg	Objectif eau 90 % en µg/l		
		selon hypothèses définies ci-dessus	calculs néerlandais (1)	Calculs allemands (2)
Hg	4	0,36		(0,09)
Cd	3	0,26		0,14
Zn	300	33	20	14
Cu	100	10	10	4,7
Ni	50	8	5	(2,3)
Cr	100	9		4,7
Pb	100	7	5	4,7
As	40	8		(0,47)

(1) réf. bibl. 1 page 19

(2) correspondance Institut Fédéral d'Hydrologie, Agence de l'Eau Rhin-Meuse (10-83)

2. Discussion des résultats obtenus par d'autres organismes -

Les résultats néerlandais sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus par la méthode décrite. Les calculs sont basés sur des concentrations en MEST un peu supérieures à 30 mg/l, ce qui conduit à des teneurs dans l'eau un peu plus élevées, mais d'autre part, les calculs ne prennent pas en compte l'écart entre une valeur moyenne et la valeur maximale (90 ou 95 %) ce qui minore le résultat.

Les calculs allemands sont basés sur une hypothèse de 35 mg/l de MEST et sur une hypothèse de fraction particulaire uniforme de 75 %, ce qui ne change pas l'ordre de grandeur du résultat en ce qui concerne le Cd, le Cr et le Pb à l'exception de l'écart entre valeur à 90 % et valeur moyenne non prise en compte.

Les résultats pour ces trois éléments sont donc dans un rapport de 2 à 1. Par contre, pour les éléments qui se présentent en grande partie sous forme dissoute (Cu, Zn et surtout Ni et As), la méthode allemande donne des valeurs nettement trop sévères.

En outre, des objectifs plus sévères pour les sédiments ont été utilisés pour certains éléments :

Hg : 2 mg/kg (= valeur guide) au lieu de 4 mg/kg

As : 10 mg/kg au lieu de 40 mg/kg (valeur guide = 20).

Lorsque les hypothèses de fraction particulaire ou les objectifs sédiments sont nettement différents, les résultats des calculs allemands ont été placés entre parenthèses dans le tableau. Les autres valeurs se situent dans un rapport de 1 à 2 essentiellement en raison de la non prise en compte de l'écart entre la valeur moyenne et la teneur à 90 % pour l'eau.

Les objectifs eau calculés à partir d'un objectif sédiments paraissent donc cohérents, compte tenu de l'examen critique des hypothèses de calcul.

3. Comparaison des contraintes sédiments avec les contraintes eau -

Les objectifs eau déduits des contraintes de protection des sédiments, supposent que les boues de dragage sont constituées uniquement de matières en suspension déposées récemment

et ne sont pas diluées par des sédiments antérieurs non pollués ou par des alluvions saines.

Une telle hypothèse peut paraître pessimiste pour beaucoup de cours d'eau, mais elle est susceptible de se rencontrer dans les zones à sédimentation intense, c'est-à-dire justement dans les secteurs où des curages peuvent s'avérer nécessaires. Il convient donc de s'assurer qu'au minimum la meilleure qualité de la grille eau (niveau de pollution 0) réponde à cet objectif de protection des sédiments.

Le tableau ci-dessous permet cette comparaison, tous les résultats s'appliquant aux concentrations dans l'eau brute en $\mu\text{g/l}$.

	Contraintes sédiments	Grille		
		Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2
Hg	< 0,36	< 0,1	< 0,2	< 0,5
Cd	< 0,26	< 0,2	< 0,4	
Zn	< 33	< 30	< 70	
Cu	< 10			
Ni	< 8			
Cr	< 9	< 5	< 10	
Pb	< 7			
As	< 8			

On constate que le niveau de qualité 0 satisfait aux contraintes sédiments pour tous les éléments et le niveau 1 pour certains d'entre eux (Hg, Cuivre).

Résumé et conclusion

Une première grille des niveaux de pollution des sédiments par les métaux lourds et l'arsenic avait été définie à l'occasion de l'interprétation des résultats obtenus dans le bassin Rhin-Meuse en 1981.

Cette grille a été complétée par le nickel et les seuils ont été modifiés pour le zinc et le cadmium de sorte que les niveaux de pollution 0 et 1 soient compatibles avec le projet de directive européenne sur l'utilisation agricole des boues des stations d'épuration. En effet, le curage des cours d'eau peut entraîner un problème de stockage ou d'épandage des sédiments si leur niveau de contamination par les métaux est trop élevé.

La grille révisée est la suivante, tous les résultats étant exprimés en mg/kg de matières sèches :

	Degré de pollution des sédiments					Projet de directive sols agricoles	
	0	1	2	3	4	Valeur guide	Valeur impérative
Hg	< 0,2	< 0,4	< 0,8	< 1,6	< 1,6	2	-
Cd	1	2	4	8	8	1	3
Zn	< 150	< 300	< 600	< 1200	< 1200	150	300
Cu	< 30	< 60	< 120	< 240	< 240	50	100
Ni	25	50	100	< 200	< 200	30	50
Cr	< 40	< 80	< 160	< 320	< 320	50	-
Pb	< 40	< 80	< 160	< 320	< 320	50	100
As	< 15	< 30	< 60	< 120	< 120	20	-

Une grille des niveaux de pollution des eaux brutes par les métaux lourds et l'arsenic a été définie de manière indépendante en tenant compte :

- de la directive sur les eaux potabilisables
- des contraintes pour la vie piscicole
- de niveaux à effet négligeable sur la vie aquatique.

Il s'avère que ces trois types de contraintes présentent des exigences très différentes, la préparation d'eau potable étant de loin la moins exigeante.

Les résultats sont les suivants, exprimés en µg/l sur eau non filtrée et s'appliquant à une fréquence de non dépassement de 90 % (par exemple onzième valeur sur 12 mesures au cours d'une année) :

	0	1	2	3	4
Hg	< 0,1	< 0,2	< 0,5	< 1	> 1
Cd	< 0,2	< 0,5	< 1	< 2	> 2
Zn	< 30	< 70	< 150	< 300	> 300
Cu					
Ni					
Cr	< 5	< 10	< 20	< 50	> 50
Pb					
As					

Un essai de hiérarchisation de ces deux grilles, basé sur un certain nombre d'hypothèses, conduit à penser que :

- . dans le cas où les sédiments accumulés résultent essentiellement d'un dépôt des matières en suspension présentes dans l'eau, le degré de pollution 0 et éventuellement le degré 1 ne devraient pas entraîner de problèmes de contamination grave des sédiments,
- . dans le cas où les sédiments sont constitués en partie de sédiments anciens d'origine naturelle, ceux-ci pourraient être relativement moins contaminés que les matières en suspension dans l'eau,
- . en cas de pollution historique ou d'anomalie géochimique locale, les sédiments peuvent présenter une contamination non corrélable directement avec la qualité actuelle de l'eau.

BIBLIOGRAPHIE

1. R.M. DEKKER, 1982 (RIZA, Rejkswaterstaat)
Proposition en vue de la fixation d'objectifs communs pour la qualité des eaux du Rhin en ce qui concerne le nickel, le cuivre, le zinc et le plomb (document dactylographié).
2. RIJKSWATERSTAAT, 1980, rapport n° 80-032
Qualité de l'eau du Rhin aux Pays-Bas de 1972 à 1979 (en allemand) (p. 49-52).
3. RIJKSWATERSTAAT, 1983, rapport n° 83-080
La qualité de l'eau du Rhin en 1982, supplément (en néerlandais) (p. 10-16).
4. Commission internationale pour la protection du Rhin contre la pollution - Tableaux numériques des analyses physico-chimiques, années 1978-1979.
5. I.A.W.R. (Association internationale des distributeurs d'eau du bassin du Rhin) - Rapport annuel 1975, page 45 (+ données numériques des rapports 1973 à 1975) (en allemand).
6. A. DIJKZEUL, RIJKSWATERSTAAT, 1981, n° 81-048
La qualité de l'eau de la Meuse aux Pays-Bas de 1953 à 1980 (p. 49-53) (en néerlandais).
7. RIWA (Association des distributeurs d'eau du bassin du Rhin)
La composition de l'eau de la Meuse en 1980, annexes 5-7 (en néerlandais).
8. I.A.W.R. - Rapport annuel 1981/82, n. 53-57 (en Allemand).
9. Environnement Canada, références sur la qualité des eaux OTTAWA 1980.
10. HELLMANN H. Zum Begriff der Anreicherung in der Umweltschutzbewegung
D.G.M. 27, 1983 II 5/6 p. 146-152.
11. LANDESAMT FÜR WASSER u. ABFALL N.R.W.
Gewässergüte - Bericht 83 - Düsseldorf 1984.

2. ANALYSE DES DONNEES DU BASSIN RHIN-MEUSE

- 43 -

2.1. CRITIQUE DES DONNEES

2.1.1. Méthode

- Sélection de 20 points représentatifs géographiquement et possédant un bon historique des données.
- Tracé des histogrammes des moyennes annuelles point par point, élément par élément. permet de définir des années "homogènes" pour chaque élément.
- Tracé des histogrammes élément par élément pour les années 1971-76-81 avec moyenne, écart type et médiane.
- Contrôle des valeurs supérieures à la moyenne plus 3 fois l'écart type.
- Etude de l'influence des seuils de détection.
- Influence de l'effet laboratoire.

2.1.2. Histogrammes_point_par_point, élément_par_elément

- Définition des années homogènes : pour l'ensemble du bassin Rhin-Meuse, les données semblent relativement homogènes entre elles sauf pour :
 - . Cd en 1971-72-73
 - . Cu en 1971 (30 x plus élevé)
 - . Pb en 1971-72-73 (?)
 - . Se en 1971 (20 x plus élevé)
 - . Zn en 1971 (?)

2.1.3. Histogrammes_elément_par_elément

- Calcul des moyennes et écarts types, valeurs minimales et maximales.
- Répartition des données.
- Evolution des fortes et faibles teneurs.

2.1.4. Contrôle_des_valeurs_fortes

- Listing des valeurs supérieures à la teneur moyenne + 3 fois l'écart-type :

Année	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
Nombre de fortes teneurs	154	52	59	21	2	2 ⁺	5	16	9	6	24
Nombre de fortes teneurs ≠ Cu-Cd	22	8	4	7	1	2 ⁺	1	12	9	6	20

En conclusions, on constate que jusqu'en 1974, l'essentiel des fortes valeurs est dû au Cu et au Cd (problèmes analytiques). Ensuite, les fortes teneurs sont plus liées à des points particuliers : par exemple, pollution en Pb-Zn de l'Orne à Richemont (point BC7140) et pollution en Mn de la Bist à Creutzwald (point BB 6050). Il semble donc que les valeurs erronées anormalement élevées soient rarissimes après 1974. On constate aussi une augmentation du nombre de fortes teneurs les années sèches (1976) et en période de crue importante (1981).

2.1.5. Contrôle des faibles valeurs

- Si l'étude des fortes teneurs semble plus importante dans l'étude de l'état de pollution, il est pratiquement aussi indispensable de connaître les faibles valeurs car elles influencent tous les paramètres statistiques.

- Les seuils de détection d'une concentration quelconque sont fonction du temps et du laboratoire d'analyse. Or, ces seuils évoluent brusquement en étant divisé par 10 ou 100 d'une année sur l'autre. Les valeurs des moyennes et écart-types sont fortement influencées par ces variations.

- Les évolutions de ces seuils de détection sont nettement visibles pour le Cr total (Voir fig. 2.1.a à c).

- Le seuil est aussi fonction du laboratoire : ex du cuivre :

Labo 206	20.05.1981	point AA0580	cu = 0.0001 mg/l	code 0
Labo 205	16.03.1981	point AA1140	cu = 0.0005 mg/l	code 2
Labo 247	14.01.1981	point AA0595	cu = 0.0005 mg/l	code 0

ex du mercure :

Labo 247	11.02.1981	point AA0595	hg = 0.0010 mg/l	code 2
Labo 206	09.06.1981	point AA040	hg = 0.0001 mg/l	code 2

On imagine aisément l'influence d'un seuil de détection de 1 micro g/l lorsque la moyenne est de 0.2 micro g/l.

- De plus, on constate que le code seuil de détection du fichier n'est utilisé que pour certains éléments : Cu, Cd, As, Hg et pas pour les autres alors que l'influence du seuil apparaît dans tous les histogrammes.

- Au niveau des faibles teneurs supérieures au seuil, il y a un phénomène d'arrondissement à 1 fois, 2 fois, ... le seuil de détection.

2.1.6. L'effet laboratoire

Cet effet est assez délicat à isoler surtout de l'effet station. Néanmoins, il apparaît que le laboratoire 204 (analyses en 1971 uniquement) est incohérent par rapport aux autres surtout en ce qui concerne le Cu et le Cd. Il est pratiquement impossible de comparer les labos 205 et 247 avec le labo 206 car les analyses portent sur des bassins différents.

Pour les laboratoires 205 et 247, nous avons fait des profils en long avec les données 81 (sauf pour la station 40 (données 72-80)) sur la Moselle entre Epinal et Thionville en signalant les principaux apports polluants : (Voir fig. 2.1.d à 2.1.1) Les résultats semblent assez cohérents entre-eux sauf pour le mercure . labo 247 $> 0.4 \mu\text{g/l}$ (Fig. 2.1. 1) labo 205 $< 0.2 \mu\text{g/l}$ (seuil de détection plus faible) et peut être le manganèse où le labo 247 donne des résultats plus faibles que le 205. (Fig. 2.1.f)

L'effet laboratoire semble donc moins important que pour les sédiments (Inventaire du degré de pollution des sédiments des cours d'eau. AFBRM. Déc. 82)

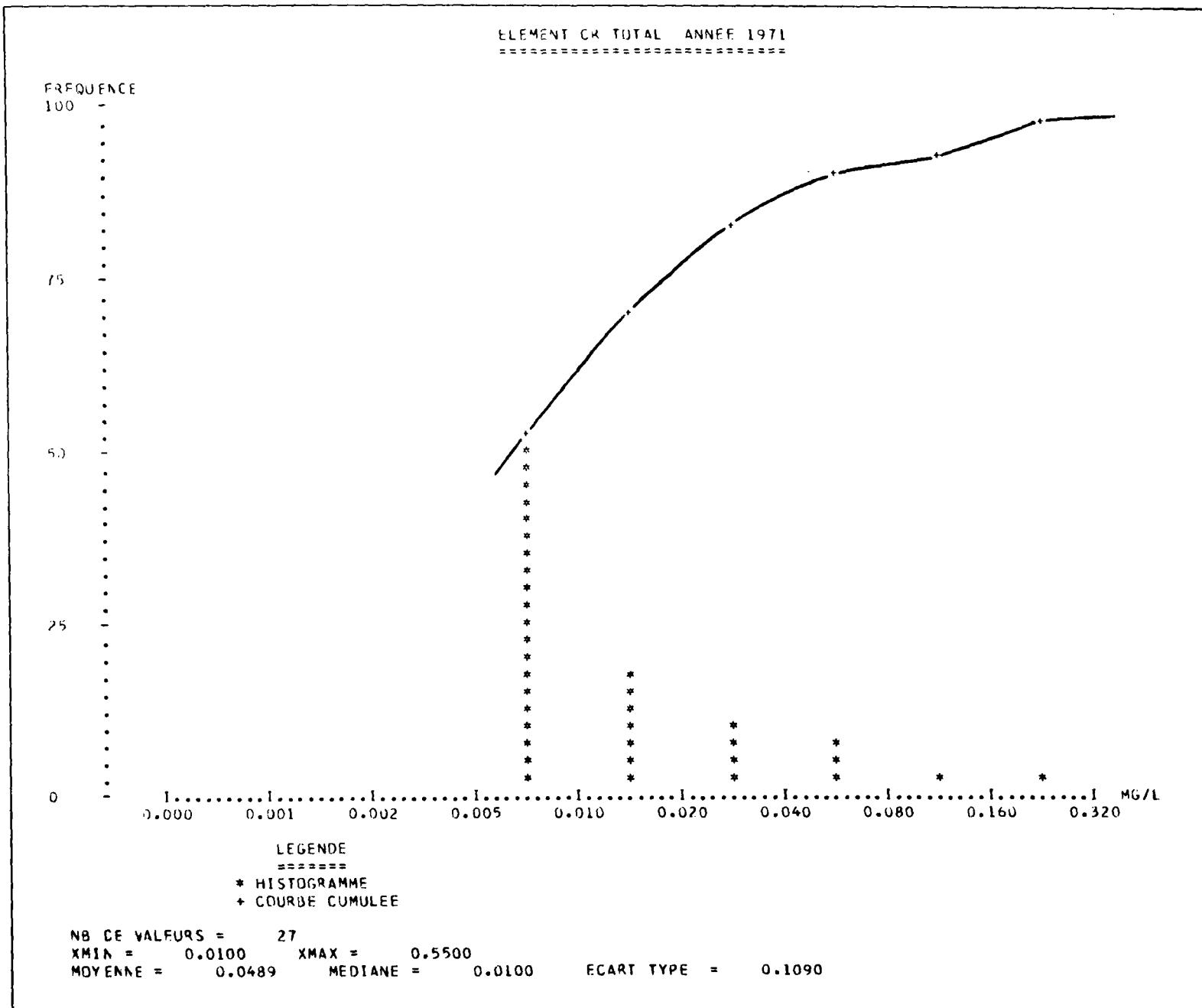


Fig. 2.1.a

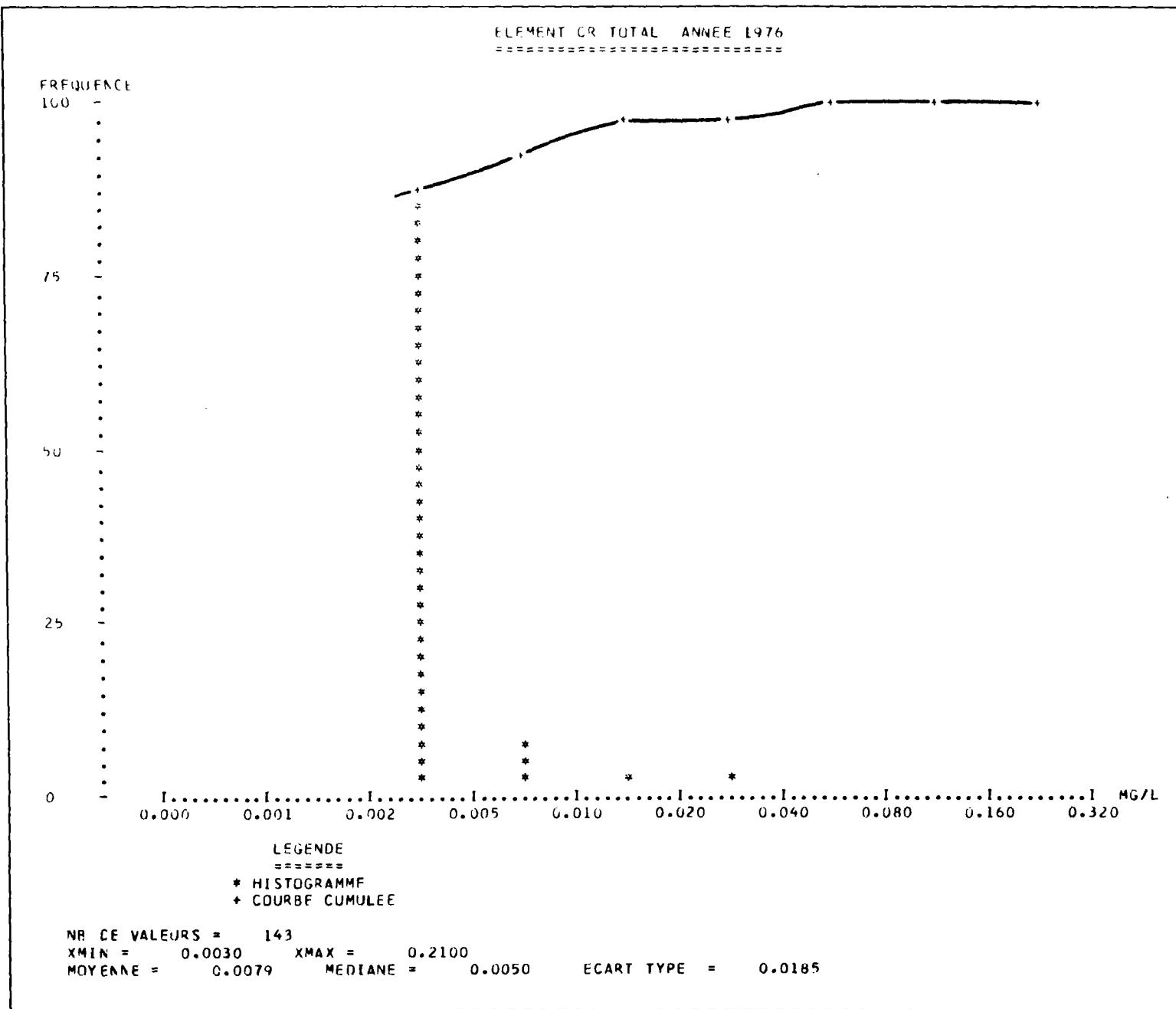


Fig. 2.1.b

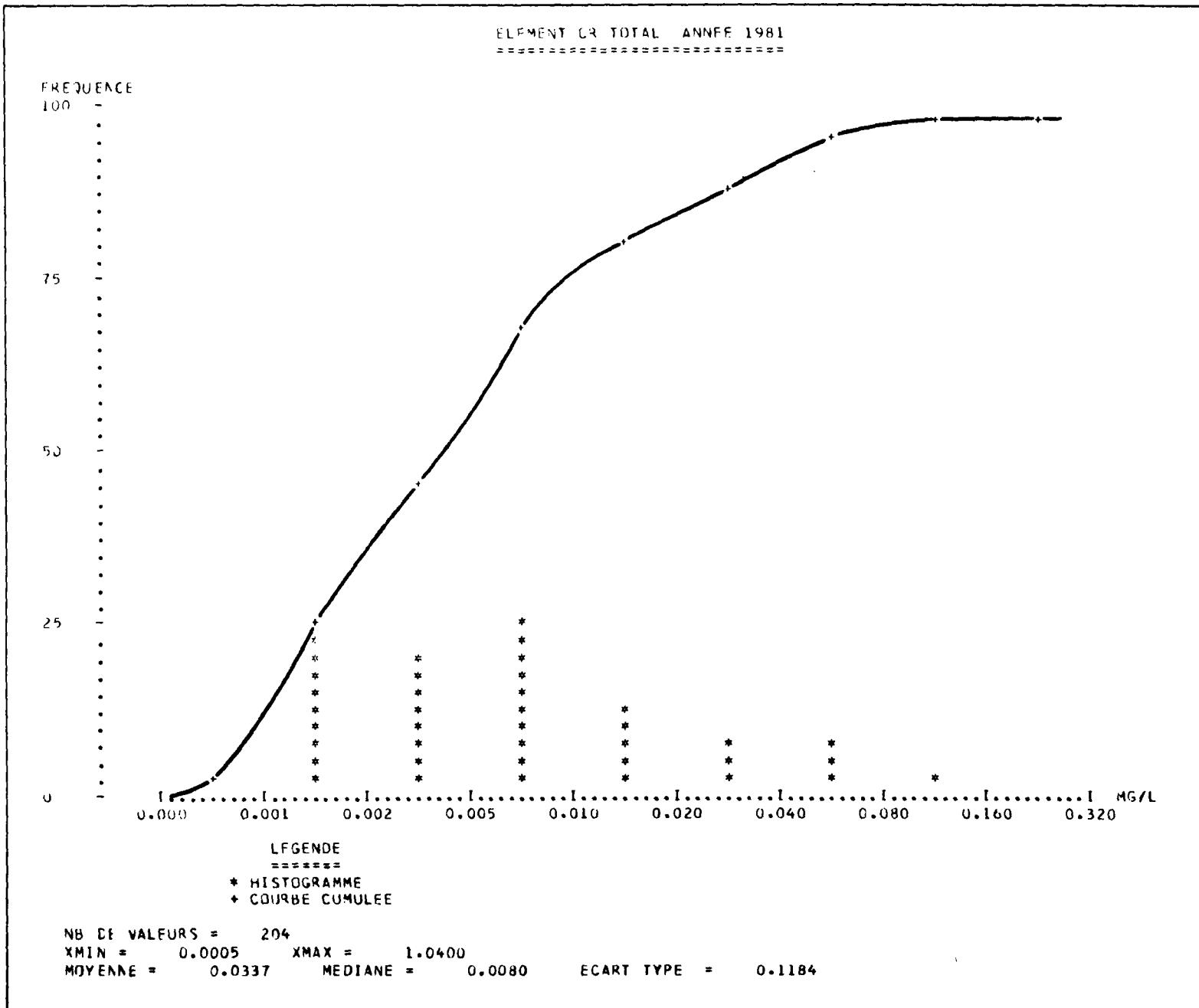
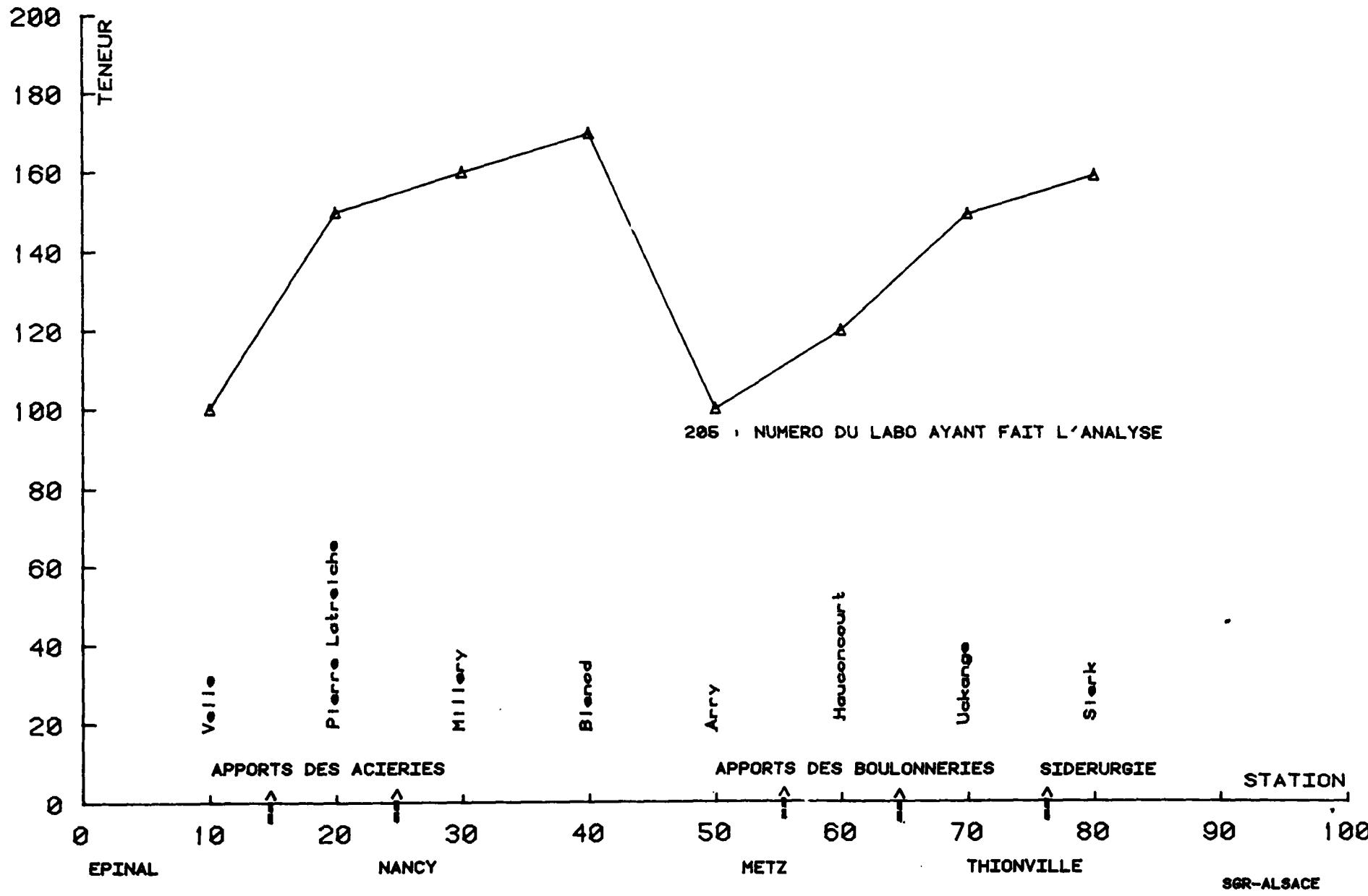


Fig. 2.1.c

PROFIL EN LONG SUR LA MOSELLE : LEGENDE



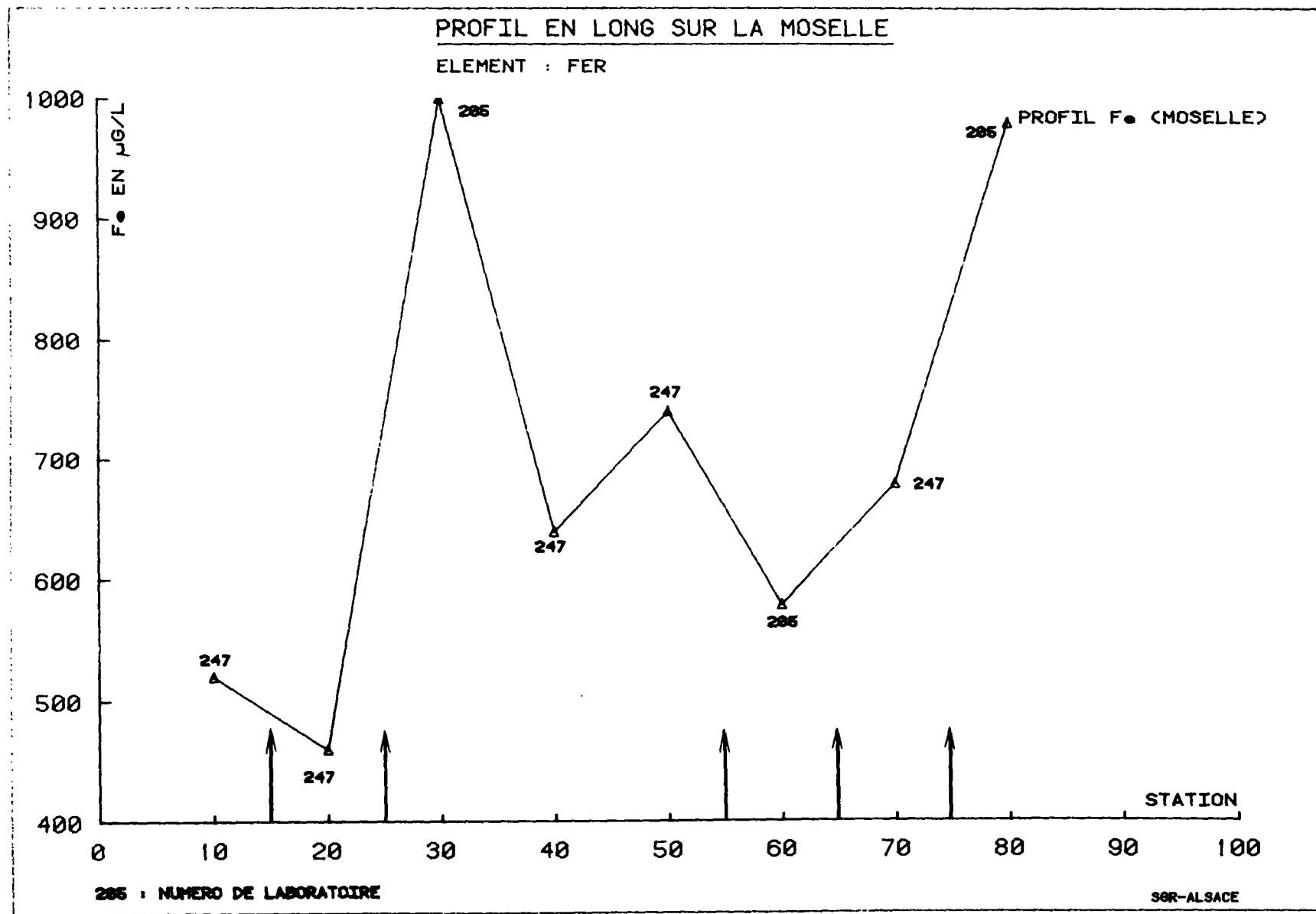
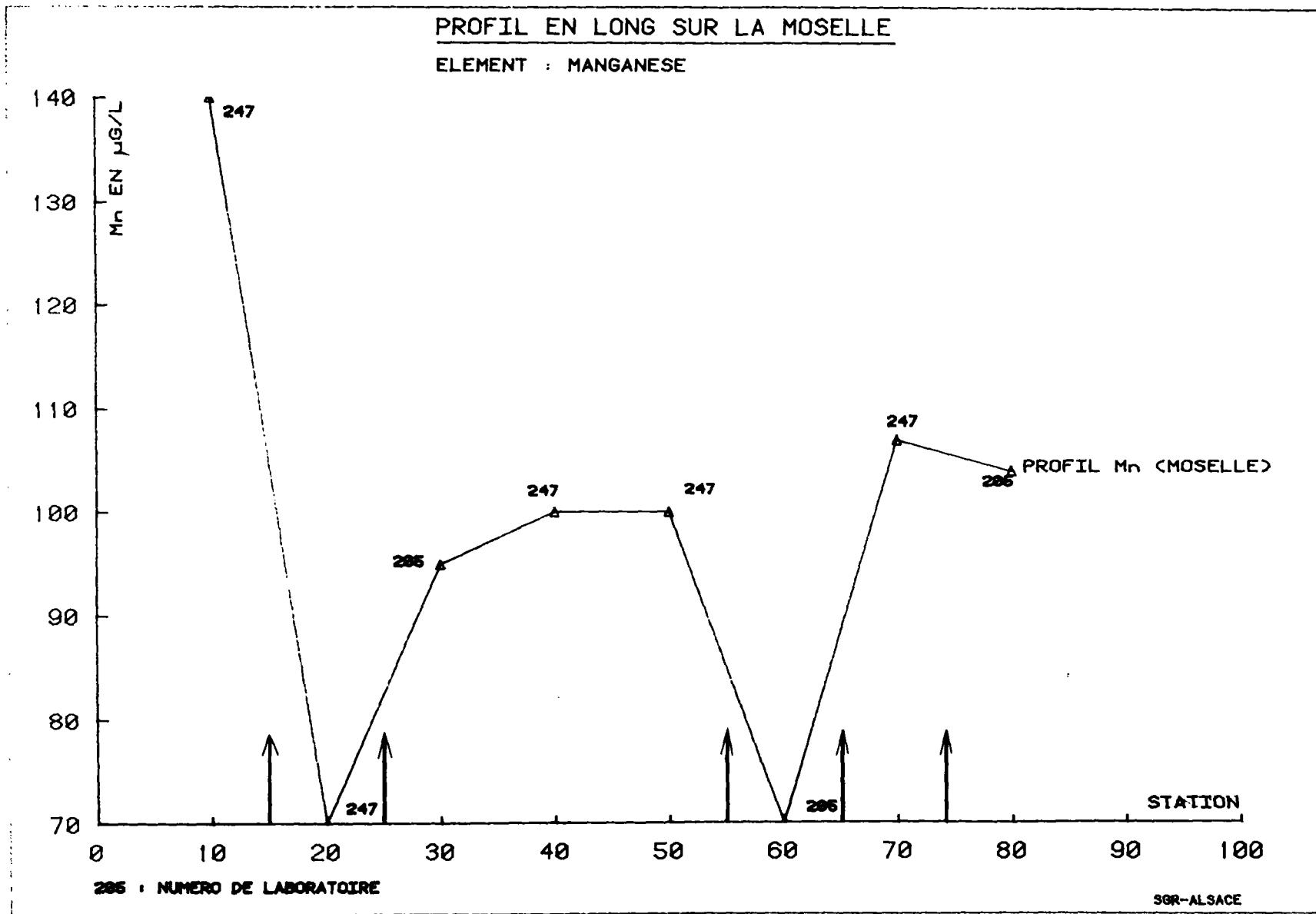


Fig. 2.1.e



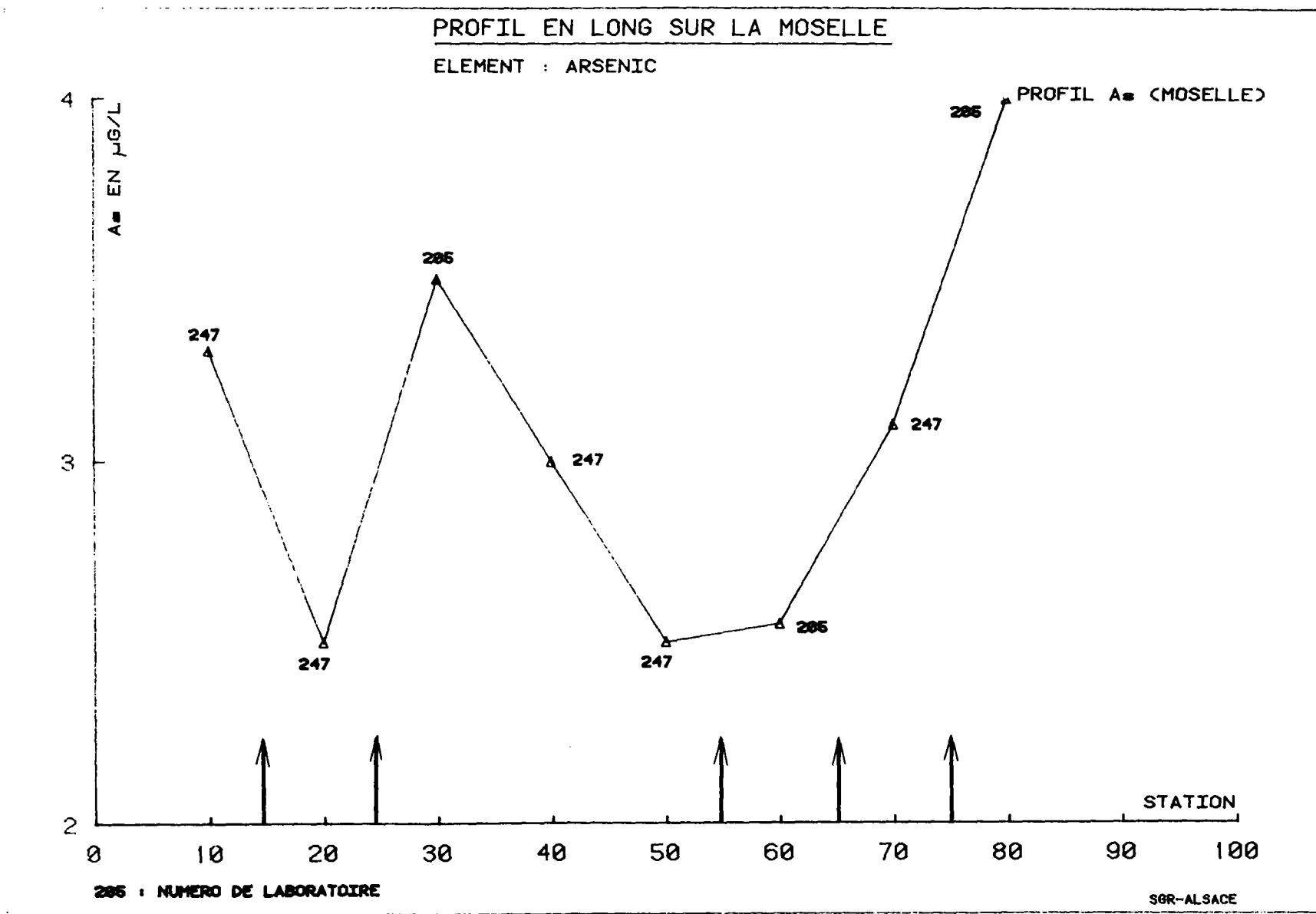


Fig. 2.1.g

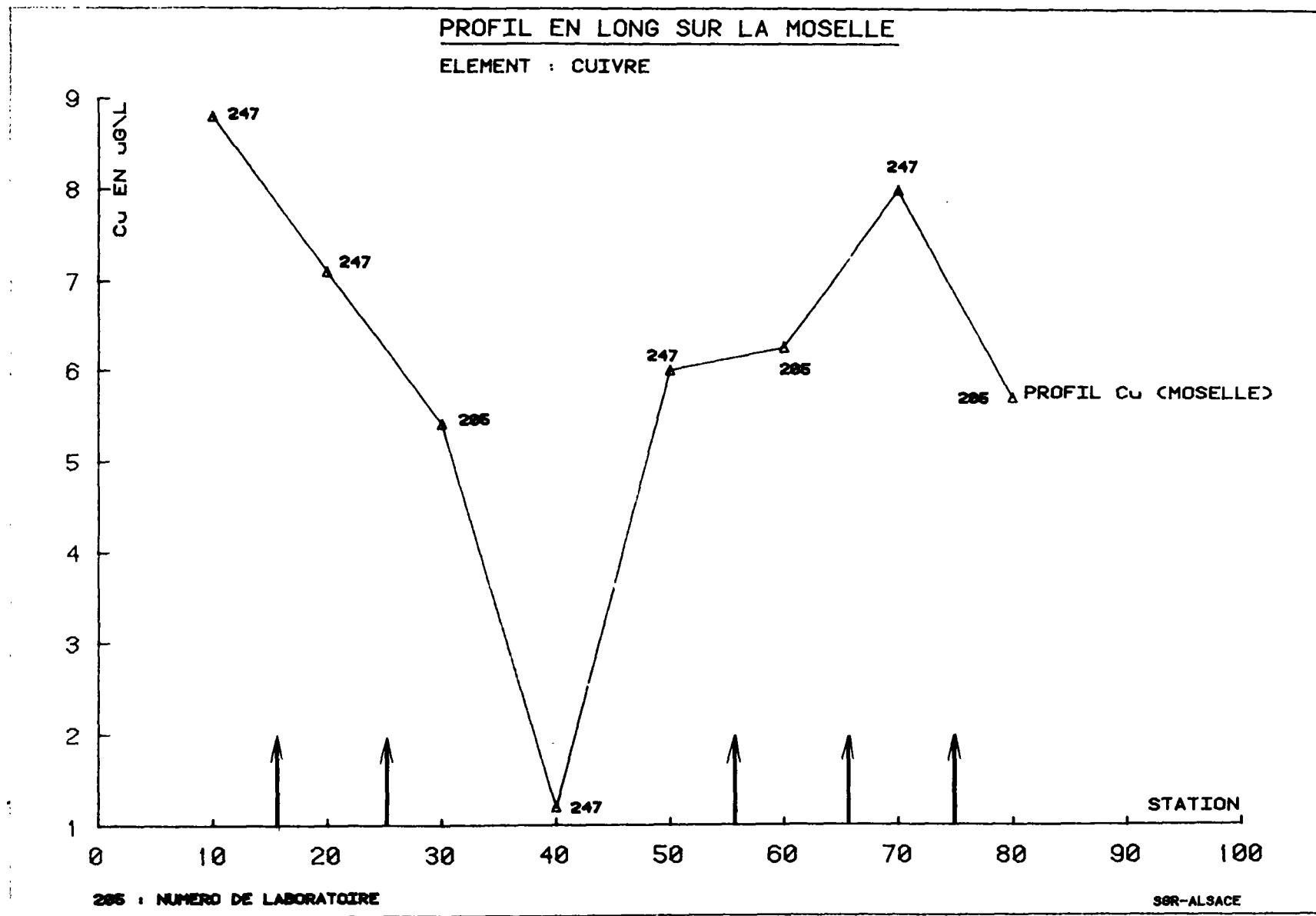
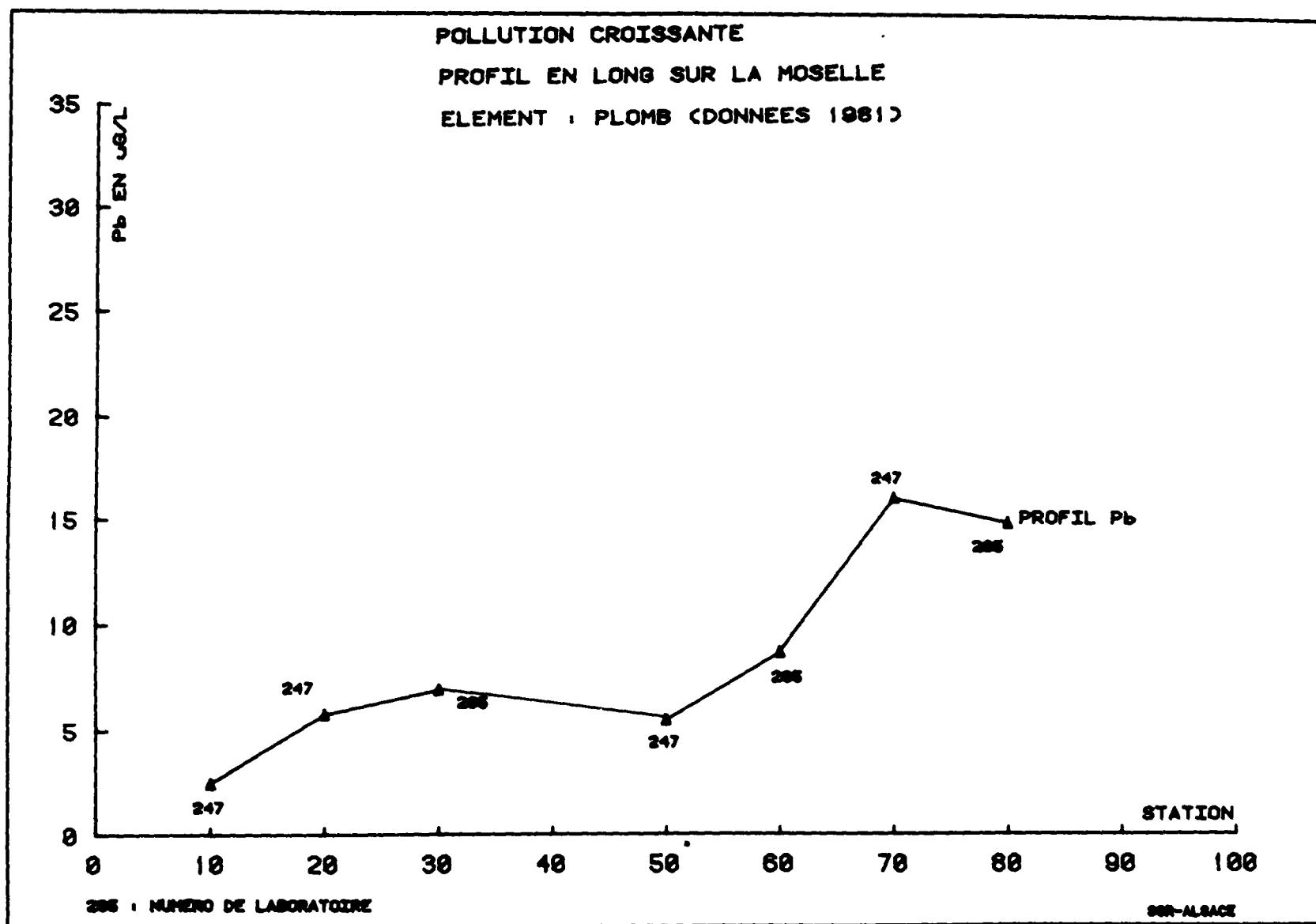


Fig. 2.1.h



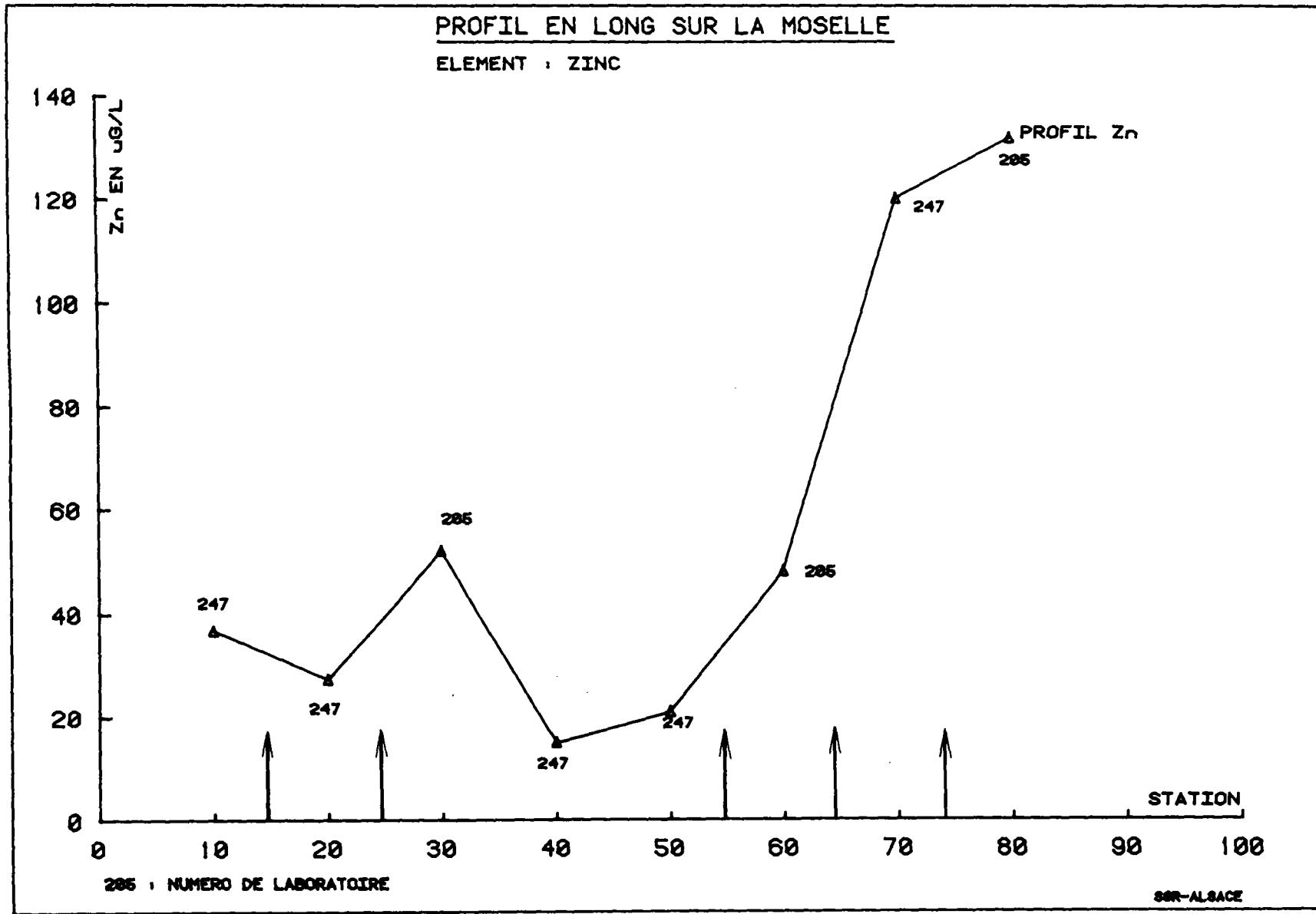
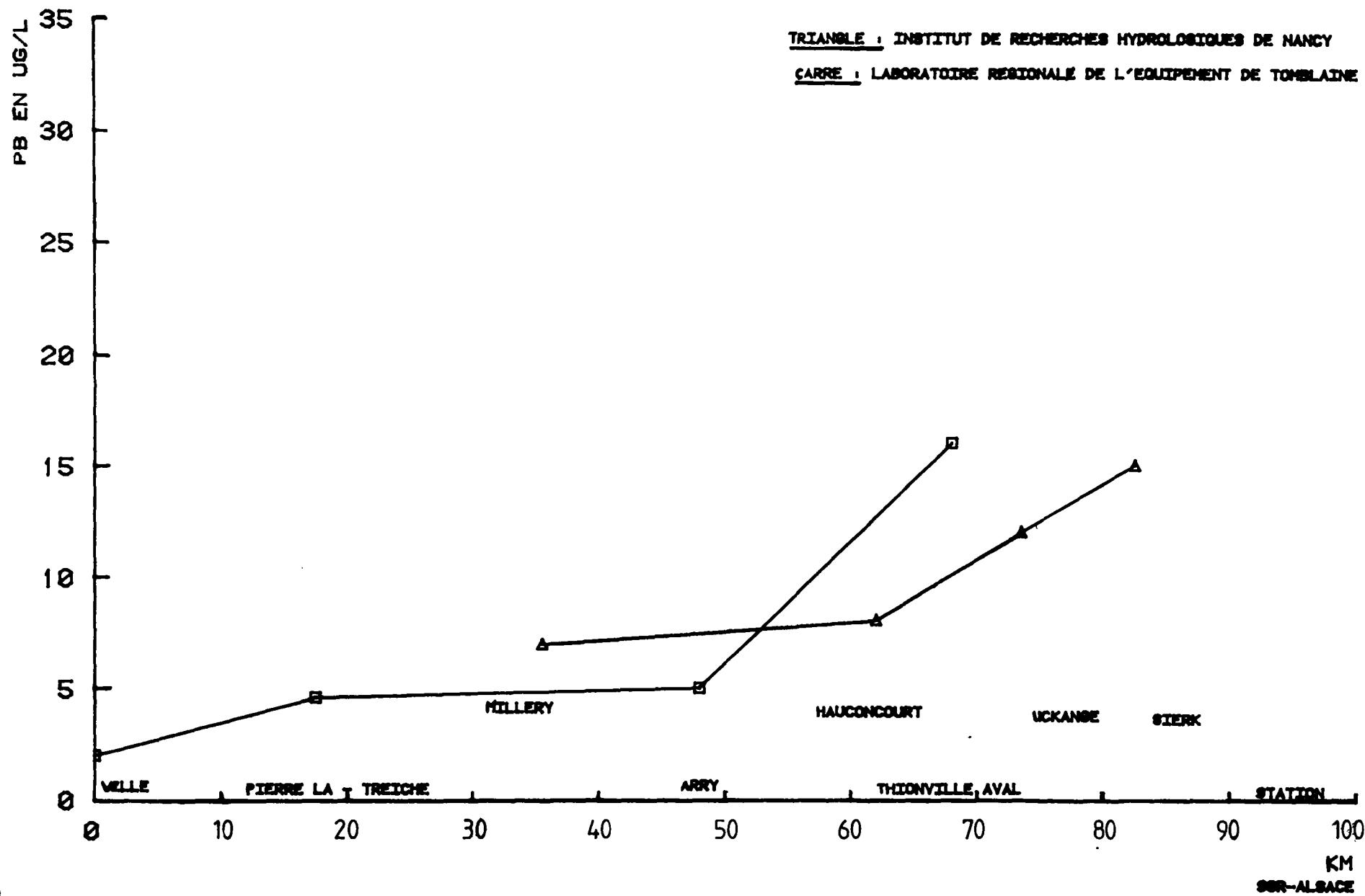


FIG. 2.1.3

POLLUTION AU PLOMB (Donnees 1981)

PROFIL EN LONG SUR LA MOSELLE



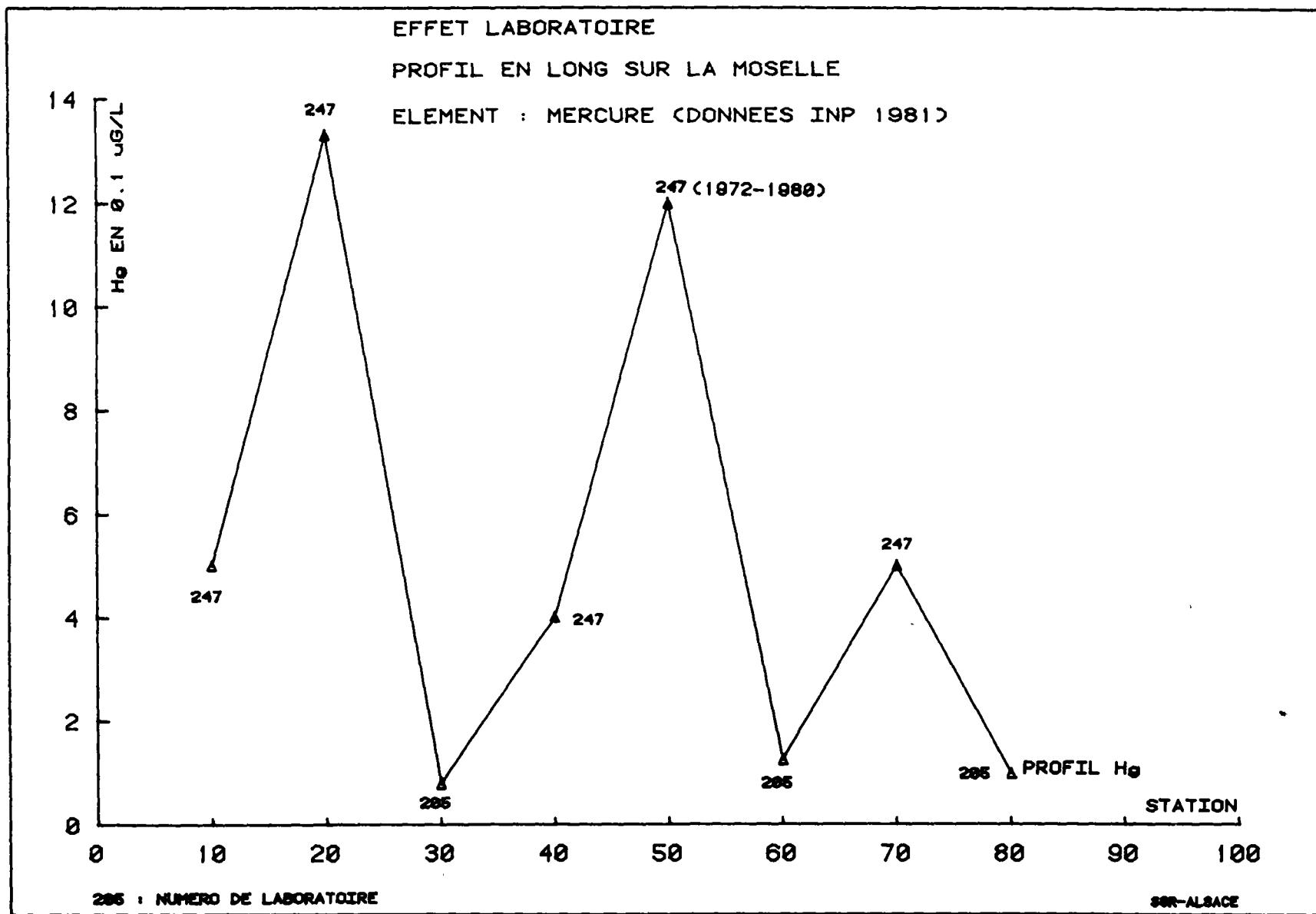


Fig. 2.1.1

2.2. ANALYSE STATISTIQUE

2.2.1. Généralités

2.2.1.1. Echantillon

L'analyse statistique des données a été réalisée sur un échantillon de vingt points représentatifs du bassin Rhin-Meuse tant sur le plan géographique que sur le plan de l'état de pollution. Ont été retenus des points présentant en outre un historique complet des données. Ces points sont reportés sur la carte en annexe 1.

2.2.1.2. Analyse de l'échantillon brut

- Calcul des moyennes point par point, an par an pour chaque paramètre.
- Tracé de la courbe d'évolution des moyennes pour chaque point et pour l'ensemble du bassin.
- Calcul des répartitions : histogrammes, valeurs minimales, médiane, d90 et écart-type pour les années 71-76-81 et pour l'ensemble des données. (10 % des données sont supérieures à d 90).
- Tracé des histogrammes, courbes cumulées, et superposition des courbes cumulées.

2.2.1.3. Gamme de valeurs

Les écarts-types sont compris entre 1 et 50 fois la moyenne attestant d'une très grande dispersion des valeurs (surtout pour le Fe et le Hg). Les valeurs maximales sont généralement peu significatives car elles représentent souvent une erreur d'analyse, soit des erreurs d'entrée des données, soit des teneurs accidentelles. De même les valeurs minimales sont souvent égales au seuil de détection.

2.2.1.4. Choix des paramètres

- La moyenne : elle donne sans doute la meilleure image de l'évolution d'un paramètre, mais du fait de la dispersion des données, elle privilégie les fortes teneurs et donne une idée pessimiste de l'état général du bassin.

- La médiane : elle est moins significative au point de vue évolution car pour les métaux peu représentés, elle bute sur le seuil de détection. Elle donne cependant une meilleure idée de l'état de pollution général du bassin Rhin-Meuse.

- Le d 90 : il offre tous les avantages de la médiane sans avoir l'inconvénient du seuil de détection (sauf pour le Cd).

- Conclusions : les paramètres retenus pour l'étude seront la moyenne ou la médiane pour suivre l'évolution et le d 90 pour donner une idée de l'état de pollution.

2.2.2. Etude paramètre par paramètre (résultats voir tableau synoptique)
réf. bibliographique doc. 1 page 24.

2.2.2.1. Les matières en suspension totale (MEST)

- Résultats en mg/l

Année	d90	moyenne	écart-type	
1971	40	42	150	
1976	40	26	60	Moyenne 31 mg/l sur 2070 données
1981	60	43	68	

- Evolution (voir fig. 2.2.a)

On constate sur les 3 années une augmentation de la teneur en MEST avec en 1976 une augmentation des valeurs moyennes mais une diminution des très fortes valeurs (sans doute liée à la diminution des débits). En 1981, par contre, on observe un net déplacement de la courbe cumulée vers les fortes valeurs (surtout entre 16 et 128 mg/l) ce qui est confirmé par l'évolution des d90.

Année par année on constate cette même évolution des moyennes vers les fortes valeurs (excepté pour l'année 1971).

Cette évolution est à mettre en parallèle avec l'évolution des débits bien que les coefficients de corrélation ne soient pas toujours très significatifs : 0.049 pour l'Ill à Ohnheim, 0.022 pour l'Orne (BC7140) et 0.506 pour l'Ill à Brunstatt. Il semble que moins la rivière soit polluée, meilleure est la corrélation entre MEST et débit.

2.2.2.2. Le Fer

- Résultats en mg/l

Année	d90	moyenne	écart-type	
1971	0.55	0.7	20	
1976	1.15	0.9	8	
1981	1.85	1.1	2.1	Moyenne 1 mg/l sur 2350 données.

- Evolution (voir fig. 2.2.b)

On constate une évolution vers les fortes valeurs mais une moindre dispersion des données. Cela est dû à une meilleure homogénéité des résultats analytiques et à une sensible diminution des très fortes valeurs.

Année par année on n'observe aucune évolution sensible des moyennes (plus faible valeur = 1980 : 0.42 ; plus forte valeur = 1974 : 2.24).

- Corrélations

Sur l'ensemble des données 80-81, on n'observe aucune corrélation significative du Fe avec les autres métaux. Il y a seulement une tendance à la linéarité avec le Cr total ($r=0.561$), le Pb ($r=0.52$) et le Zn ($r=0.5$).

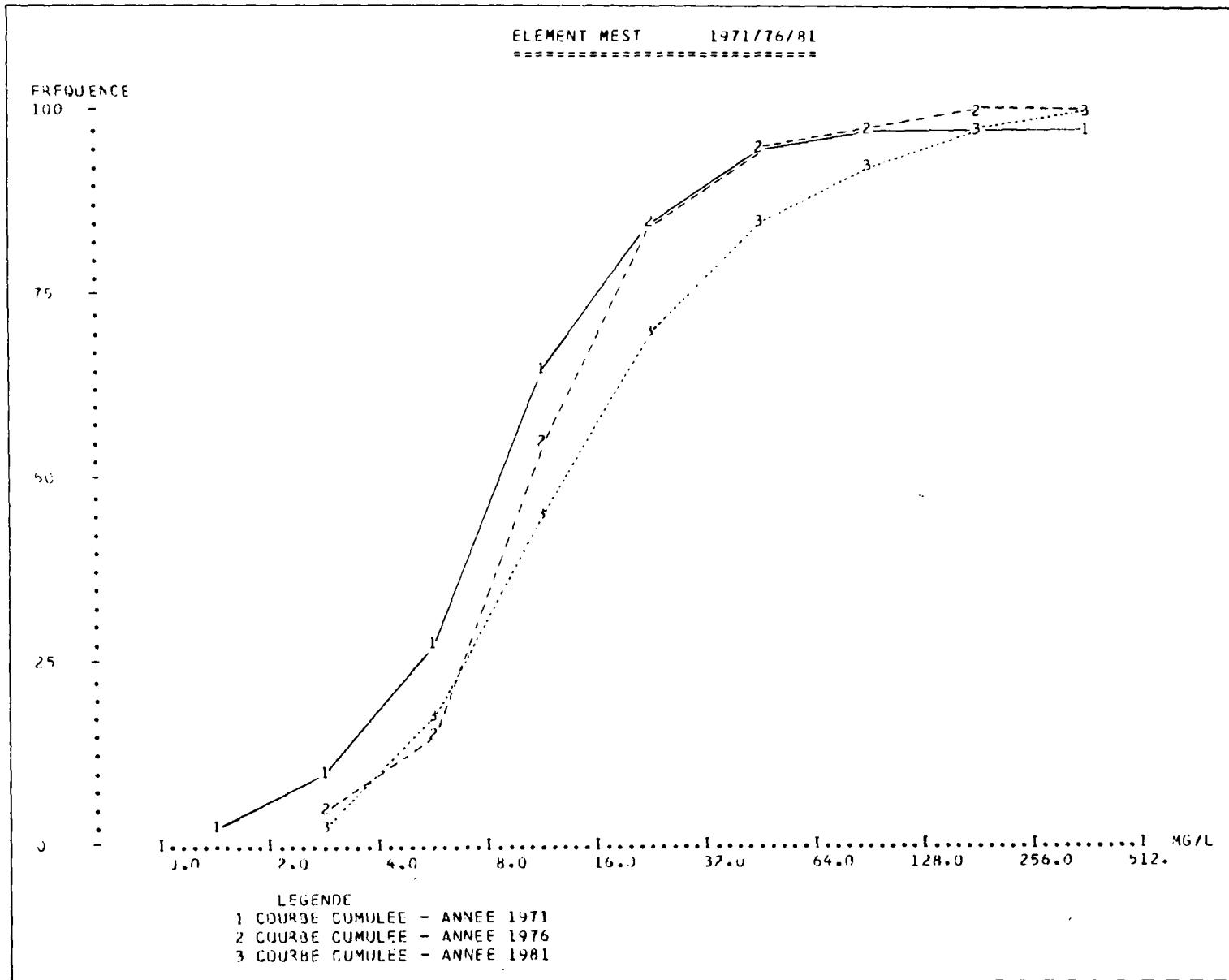


Fig. 2.2.a

TABLEAU SYNOPTIQUE DES RESULTATS STATISTIQUES

Element	Fe	Mn	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	Cr
Moyenne mondiale des eaux non polluées	0,04	0,008	0,001 [*]	-	0,01	10 ⁻⁶	0,001	0,030	0,001
C.M.A. (C.E.)	0,2	0,05	0,05	0,005	1	0,001	0,050	5	0,050
Moyenne I.N.P.	1,08	0,082	0,0088	0,0016	0,0114	0,0003	0,026	0,209	0,017
Écart type I.N.P.	12	0,25	0,0401	0,002 [*]	0,0110	0,0030	0,061	0,66	0,055
XMIN 1971	0	0	0,01	-	-	-	0,01	0,01	0,01
X (90 %) 1971	0,55	0,09	-	-	-	-	0,18 *	0,55	0,05 *
XMAX 1971	59	0,86	0,59	-	-	-	1,60	19	0,55
XMIN 1976	0	0	0,001	0,0005	0,002	0,0001	0,002	0,006	0,003
X (50 %) = médiane 76	0,26	0,020	0,0025	0,0005 *	0,005	0,0002	0,006	0,06	0,005 *
X (90 %) 1976	1,15	0,12	0,015	0,0005 *	0,008	0,0004	0,07	0,48	0,005 *
XMAX 1976	31	6,8	1,25	0,01	0,04	0,10	0,34	8,3	0,210
XMIN 1981	0	0	0,0005	-	0,002	0,0001	0,0005	0,004	0,0005
X (50 %) = médiane 81	0,61	0,072	0,0025	-	0,005	0,0002	0,010	0,06	0,0080
X (90 %) 1981	1,85	0,25	0,0065	-	0,009	0,00033	0,035	0,25	0,030
XMAX 1981	12	1,28	0,15	-	0,06	0,0011	0,42	2,5	1,04
Médiane moyenne	0,35	0,46	0,005	0,0005	0,005	0,00015	0,019	0,077	0,0076

* effet de seuil prépondérant - unité : mg/l

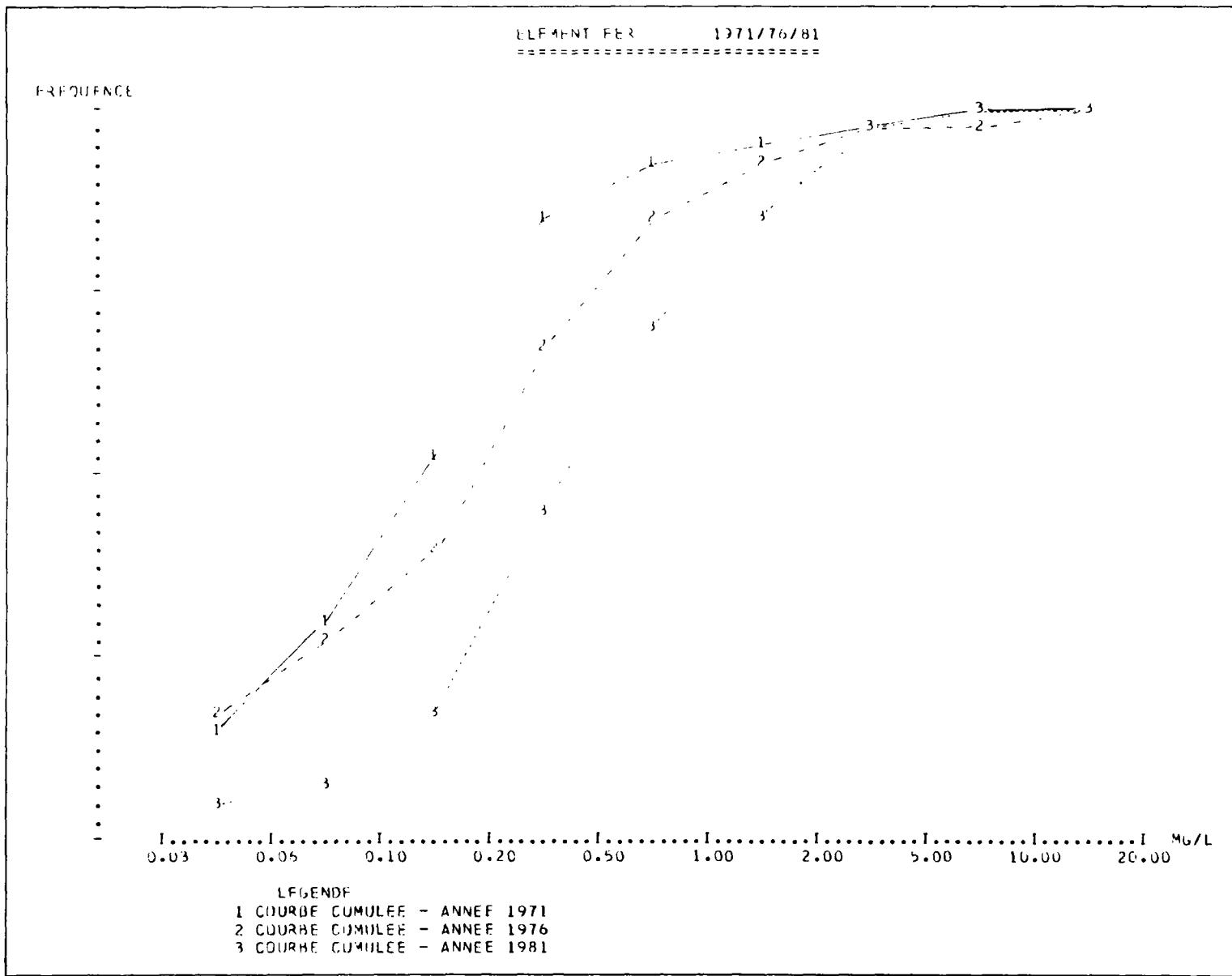


Fig. 2.2.b

Sur un point non pollué comme l'Ill à Brunstatt le seul coefficient significatif est le coefficient Fe-Mn : ($r = 0.76$). Cela s'explique par le comportement assez voisin de ces deux métaux dans le "bruit de fond" naturel.

Sur un point pollué comme l'Orne à Richemont la corrélation Cr totale ($r = 0.88$) est la seule significative.

2.2.2.3. Le Manganèse

- Résultats en mg/l

Année	d90	moyenne	écart-type
1971	0.09	0.05	0.09
1976	0.12	0.09	0.4
1981	0.25	0.15	0.18

- Evolution (voir fig. 2.2.c)

L'augmentation des teneurs en Mn est sensible tant en moyenne qu'en d90, surtout pour les teneurs comprises entre 0.04 et 0.50 mg/l. La dispersion des données est en général plus faible que pour les autres métaux.

Année par année, les teneurs moyennes en manganèse augmentent mais de façon irrégulière.

- Corrélations

Avec le Fe, on n'observe une corrélation que pour l'Ill à Brunstatt ($r=0.76$) et une légère relation ($r=0.56$ et $r=0.4$) pour l'Ill à Ohnheim et l'Orne à Richemont. Pour ce dernier point, il existe aussi une corrélation entre Mn et paramètres organiques (DBO 5 : $r=0.62$; DCO : $r=0.70$; KMnO4 : $r=0.86$).

2.2.2.4. L'Arsenic

- Résultats en mg/l

Année	d90	moyenne	écart-type
1971	-	0.007	0.05
1976	0.015	0.02	0.10
1981	0.0063	0.0065	0.015

Moyenne sur 1267 données :
0.0088 mg/l

- Evolution (voir fig. 2.2.d)

L'évolution en ce qui concerne l'As se traduit par une diminution de la fréquence des fortes teneurs et par une augmentation de celles des faibles teneurs (peut être due à une cause analytique). Cela se traduit par une moins grande dispersion des données en 1981.

Au vu des moyennes annuelles, il semble qu'il y ait eu une augmentation régulière (à part 1976) jusqu'en 1978 puis une sensible diminution jusqu'en 1981.

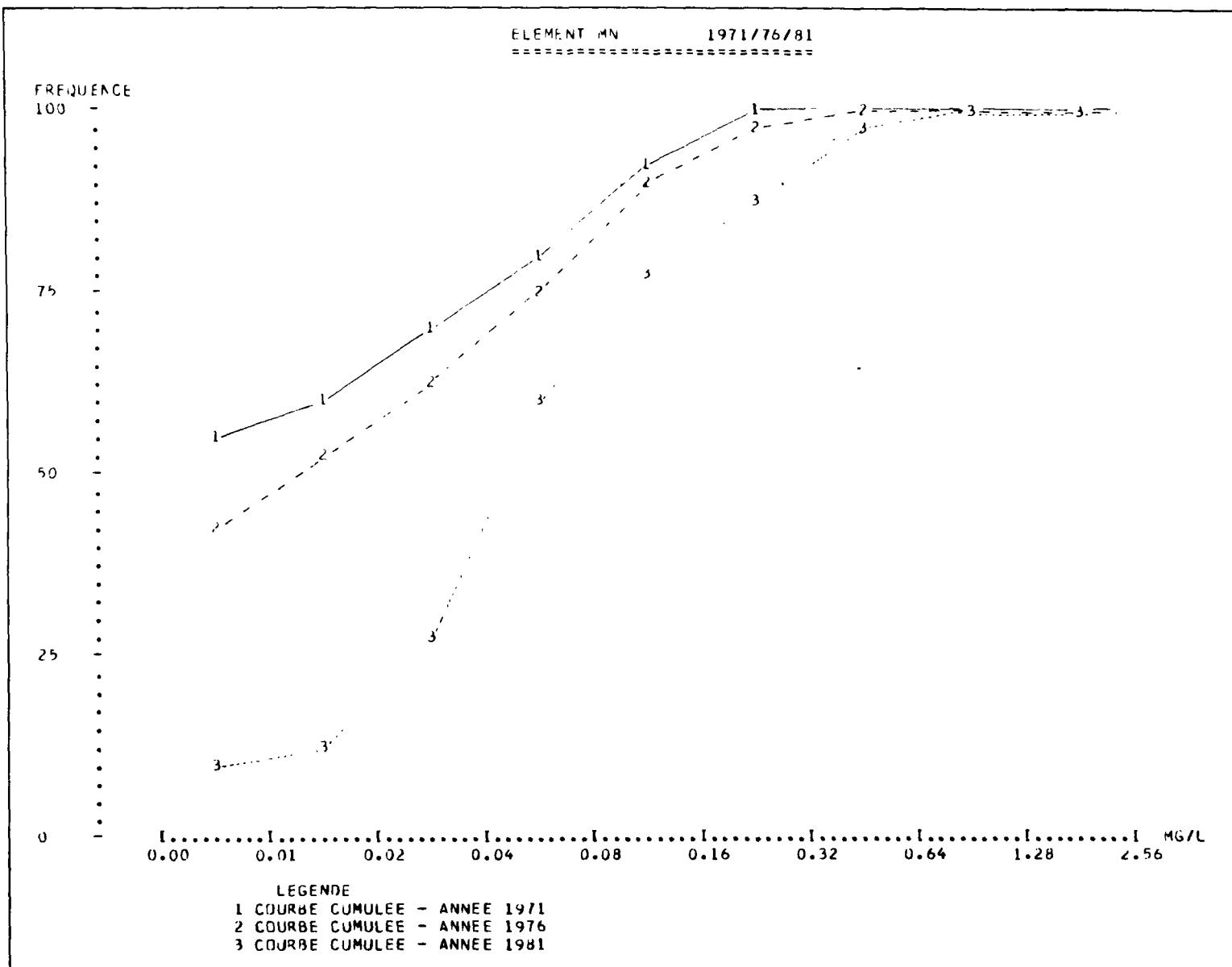


Fig. 2.2.C

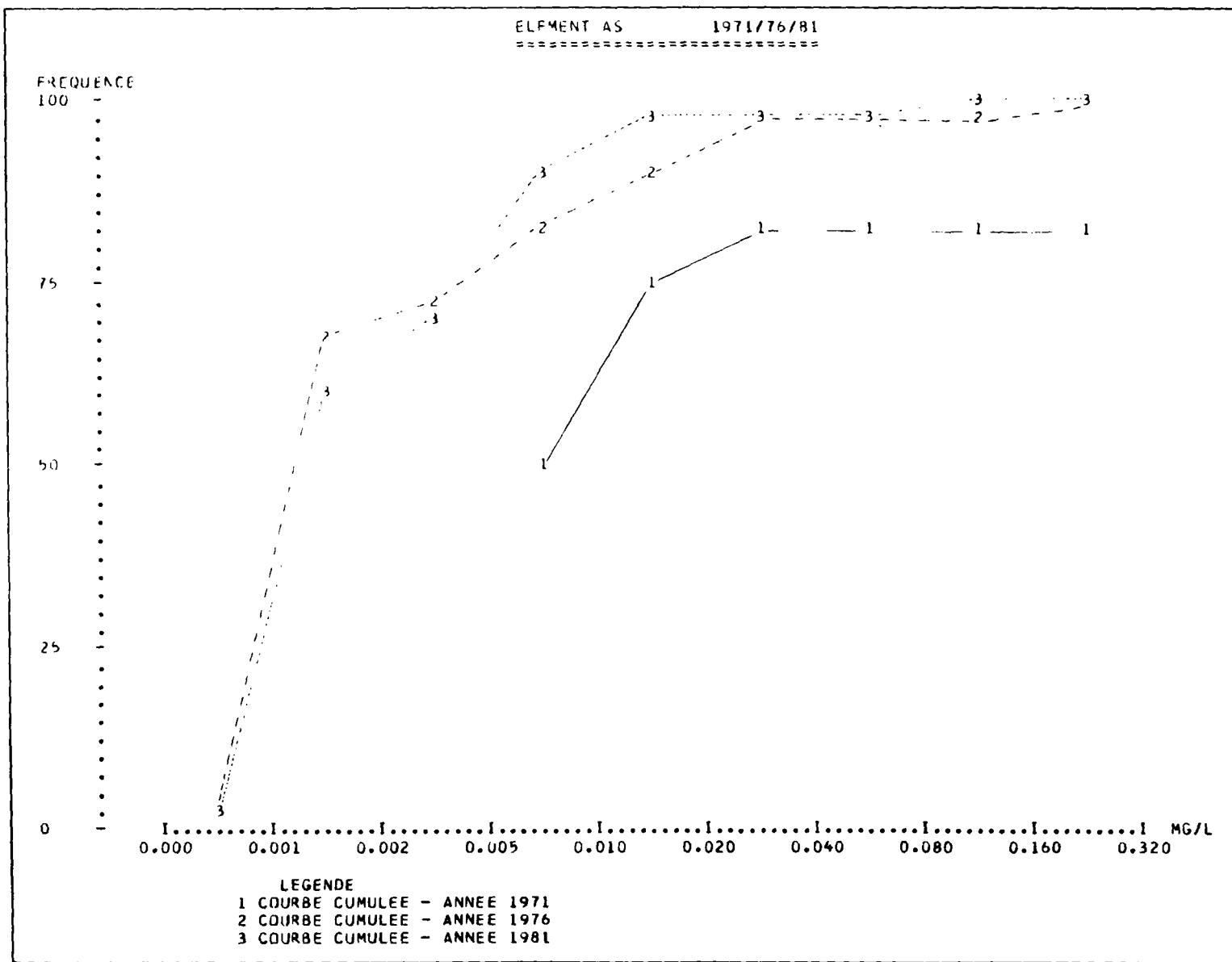


Fig. 2.2.d

- Corrélations

L'As semble un élément bien individualisé en ce sens qu'il corrèle toujours très mal avec tous les autres paramètres (excepté avec le Hg dans l'Orne à Richemont $r=0.68$)

2.2.2.5. Le Cadmium

Pour cet élément assez peu représenté, il est difficile de définir des paramètres statistiques suffisamment homogènes dans le temps sans doute pour des raisons analytiques.

Au niveau des moyennes annuelles on observe une progression régulière au cours du temps (si on élimine les trois premières années totalement inhomogènes avec les suivantes). La moyenne 1981, la plus élevée, est de 0.0019 mg/l et la moyenne générale s'établit autour de 0.0016 mg/l. Le d90 n'a aucune signification car il bute sur le seuil de détection ; il est donc inférieur à 0.0005 mg/l.

Il n'y a aucune corrélation significative entre le Cd et un autre paramètre sinon avec le Cu à Ohnheim ($r=0.60$) et à Brunstatt ($r=0.85$) sur l'Ill.

2.2.2.6. Le Cuivre

- Résultats en mg/l

Année	d90	moyenne	écart-type
1976	0.008	0.008	0.005
1981	0.009	0.008	0.009

- Evolution (voir fig. 2.2.e)

Le cuivre est un élément remarquablement constant dans le temps et dont la dispersion des données est faible. Le seul facteur sensible est l'écart-type qui a tendance à augmenter avec le temps. Cependant, il reste toujours inférieur ou égal à la moyenne.

Depuis 1972 on observe une dépollution jusqu'en 1976 et une stabilisation aux alentours de 0.0075 mg/l ce qui est légèrement inférieur à la moyenne mondiale des eaux non polluées.

- Corrélations

Les corrélations quelques peu significatives sont sur l'Ill, celles avec le Pb ($r=0.52$), le Zn ($r=0.63$), l'As ($r=0.55$) et le Cd ($r=0.6$) à Ohnheim et avec le Zn ($r=0.69$), le Cd ($r=0.85$) et le Cr total ($r=0.65$) à Brunstatt.

2.2.2.7. Le Mercure

- Résultats en mg/l

Année	d90	moyenne	écart-type
1976	0.0004	0.0009	0.0079
1981	0.0003	0.0002	0.0002

- Evolution (voir fig. 2.2.f)

Il semble qu'après les fortes valeurs enregistrées en 1976 la dépollution se soit stabilisée à un d90 de 0.0003 mg/l et une moyenne de 0.0002 mg/l. Par rapport à 1976, on constate donc une très forte diminution des valeurs supérieures à 0.0005 mg/l dans un rapport de 1 à 5.

- Corrélations

Aucune corrélation significative sinon celle avec l'As dans l'Orne, à Richemont ($r=0.68$).

2.2.2.8. Le Plomb

- Résultats en mg/l

Année	d90	moyenne	écart-type
1971	0.18	0.12	0.23
1976	0.070	0.03	0.06
1981	0.035	0.02	0.05

- Evolution (voir fig. 2.2.g)

L'évolution des moyennes et des d90 montre une baisse assez générale des teneurs dans le bassin Rhin-Meuse, la dispersion des données restant approximativement constante.

L'étude des moyennes annuelles montre cette dépollution à part pour l'année 1981 qui est en nette hausse par rapport aux années 1977 à 1980.

- Corrélations

Le Pb présente une assez bonne corrélation avec le Zn en général ($r=0.86$ pour l'ensemble des données 80-81 ; $r=0.57$ pour l'Orne ; $r=0.52$ pour l'Ill à Ohnheim). A part cela on a une légère liaison Pb-Fe ($r=0.52$ pour les données 80-81) et Pb-Cu ($r=0.52$ sur l'Ill à Ohnheim).

2.2.2.9. Le Zinc

- Résultats en mg/l

Année	d90	moyenne	écart-type
1971	0.55	0.52	1.99
1976	0.48	0.40	1.05
1981	0.25	0.17	0.35

Moyenne sur 1727 données : 0.21

- Evolution (voir fig. 2.2.h)

L'évolution constatée en moyenne et en d90 montre une dépollution assez nette depuis 1971 surtout dans la gamme de teneur 0.08-0.64 mg/l. Mais même pour les teneurs plus élevées cette dépollution est sensible.

La dispersion des valeurs diminue elle aussi avec le temps ce qui traduit la meilleure homogénéité des données et la raréfaction des très fortes valeurs (supérieures à 2.5 mg/l).

Les histogrammes sont assez nettement bimodaux avec un mode qui représente l'ensemble des rivières peu et moyennement polluées et un mode qui représente les rivières polluées : Orne - Fensch - Bassin de la Sarre.

- Corrélations

Le Zinc est un élément intéressant du point de vue des corrélations; en effet, il corrèle toujours assez bien avec le Pb (année 80-81 : $r=0.86$; Orne $r=0.52$; III à Ohnheim $r=0.52$; exception I'III à Brunstatt : $r=0.25$)

Avec le Cr les corrélations sont meilleures dans les rivières non polluées (à Brunstatt : $r=0.64$) et la corrélation devient de plus en plus médiocre lorsque l'état de pollution augmente (à Ohnheim : $r=0.40$; à Richemont : $r=0.5$).

Avec le Cu il existe aussi une tendance à la corrélation linéaire dans les rivières non polluées (à Brunstatt $r=0.69$) et moyennement polluées (à Ohnheim $r=0.63$).

2.2.2.10 Le Chrome total (voir fig. 2.2.i)

- Résultats en mg/l

Année	d90	moyenne	écart-type
1971	0.050*	0.049*	0.11
1976	0.007*	0.0089*	0.02
1981	0.030	0.030	0.11

*dû à l'effet de seuil
Moyenne sur 1297 données : 0.016 mg/l

- Evolution

Il est assez délicat de voir une évolution dans le temps des teneurs en Cr total du fait de l'effet de seuil qui est prépondérant en 71 et 76. Cependant on peut noter une augmentation importante en 81 par rapport aux années précédentes.

La dispersion des données est relativement plus importante en 1981 du fait de meilleurs procédés analytiques.

- Corrélations

Les corrélations sont assez peu importantes avec les autres paramètres sinon avec le Fe ($r=0.88$: Orne à Richemont, $r=0.56$ pour l'ensemble des données 80-81) et les paramètres organo-chimiques (Cr - Oxydabilité au KMnO4 : $r=0.65$ à Richemont ; Cr-DCO : $r=0.75$ pour les données 80-81).

2.2.2.11 Le Sélénium

- Résultats en mg/l

Année	d90	moyenne	écart-type
1976	0.020	0.017	0.017
1981	0.005	0.0045	0.0012

Moyenne sur 1401 données : 0.026 mg/l

- Evolution

Il est assez difficile à cerner car il existe une évolution analytique prépondérante qui masque complètement toute évolution naturelle. Cependant, il semble que cet élément soit un polluant peu représenté car dans la majorité des analyses, sa teneur est inférieure au seuil de détection.

2.2.3. Résultats globaux2.2.3.1. Distribution des données

Les données sont réparties selon une loi approximativement log-normale (ex Fe 81 fig. 2.2.j) à laquelle se superposent des impulsions : seuil de détection, seuil de détection $\times 2$, arrondi à des valeurs entières (1, 5, 10...) dans les faibles teneurs. De plus toutes les valeurs inférieures au seuil de détection sont tronquées.

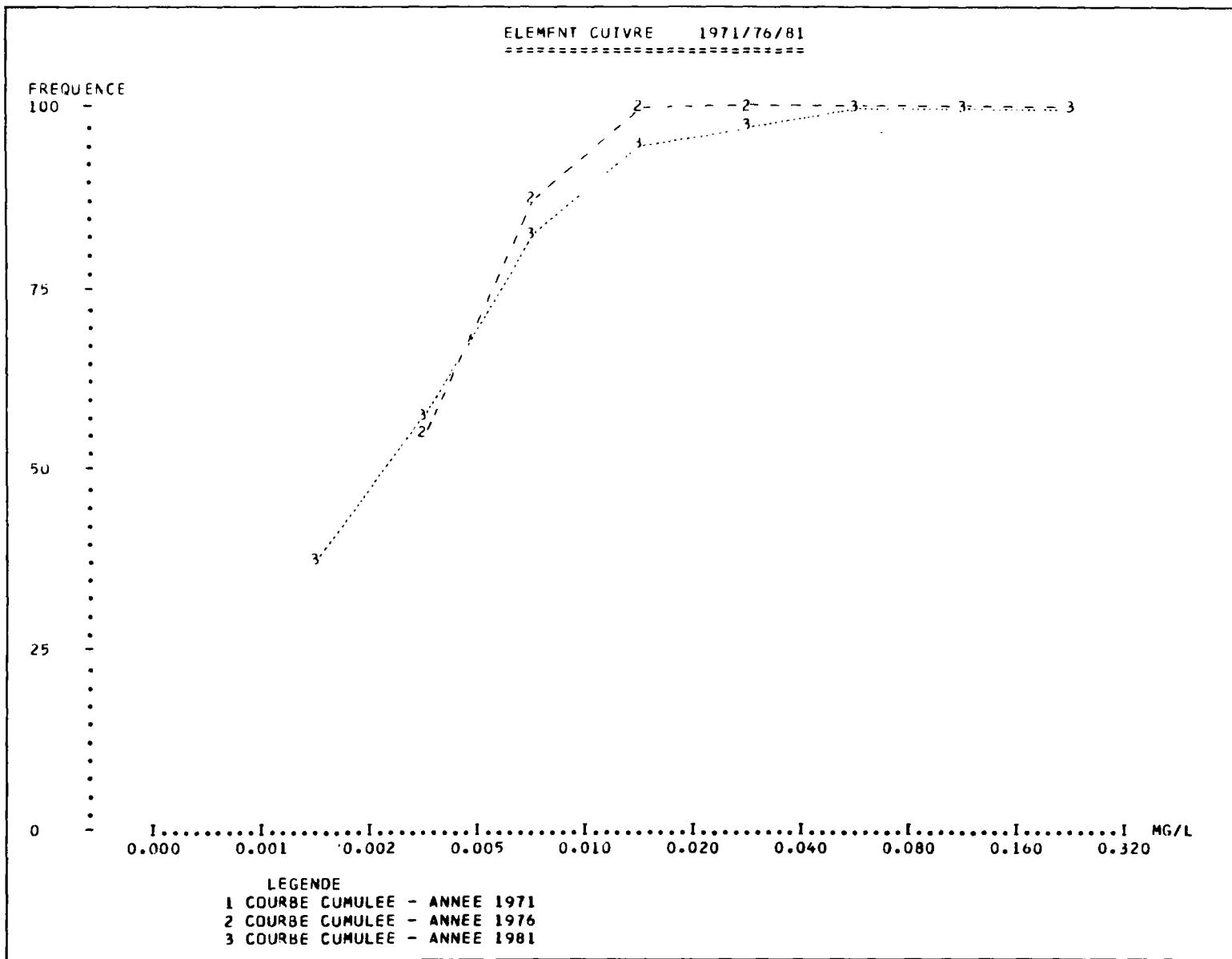


Fig. 2.2.e

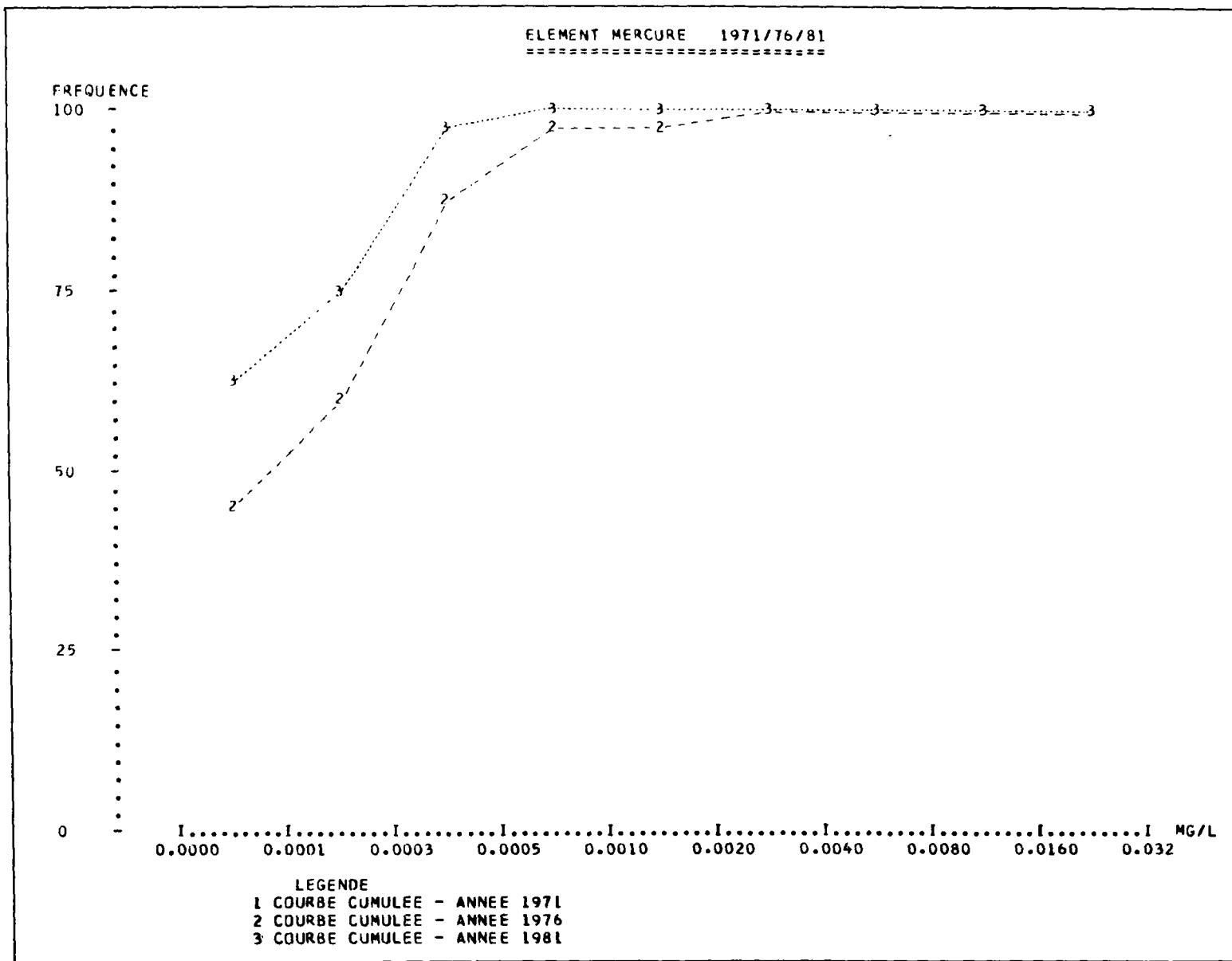


Fig. 2.2.f

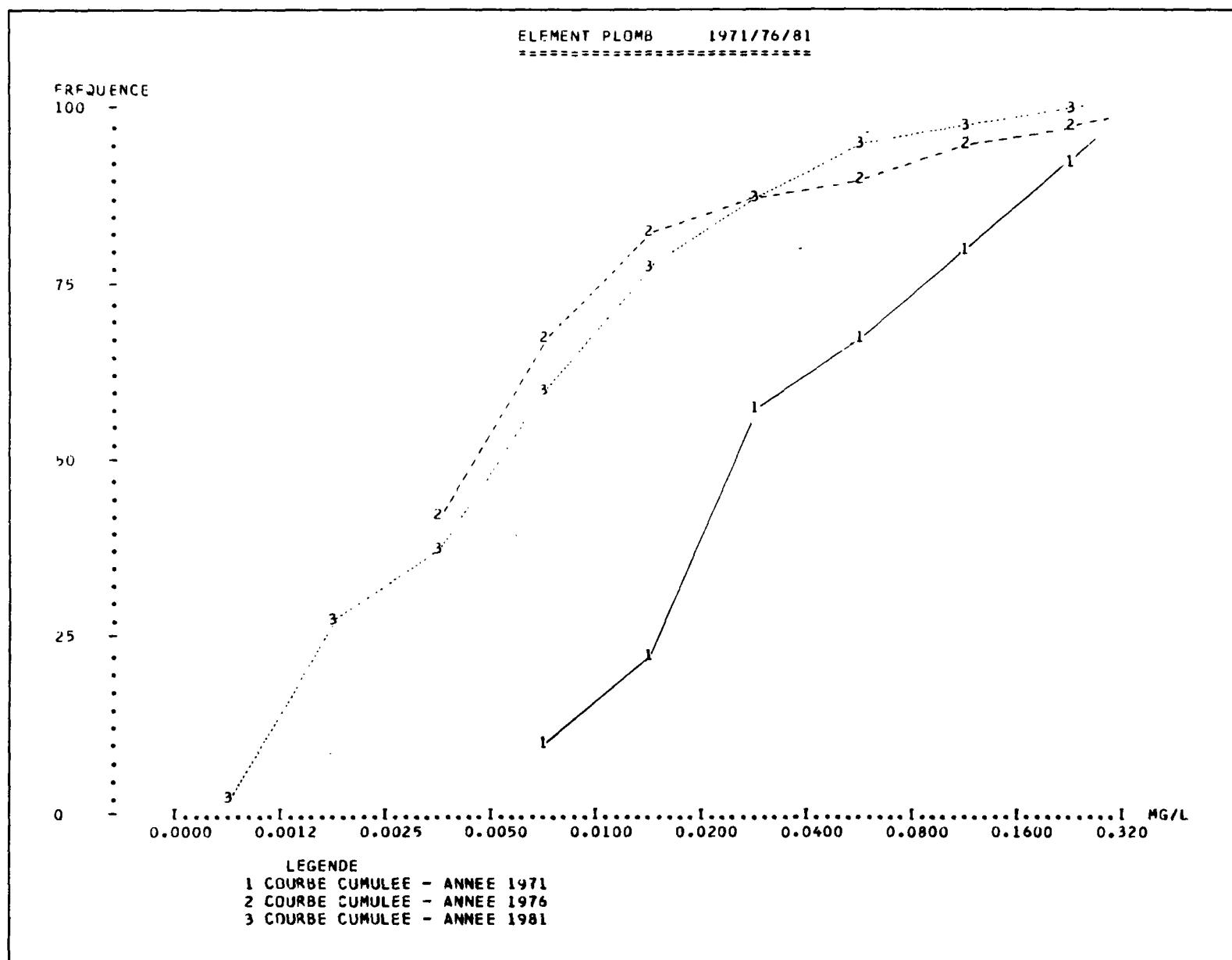


Fig. 2.2.8

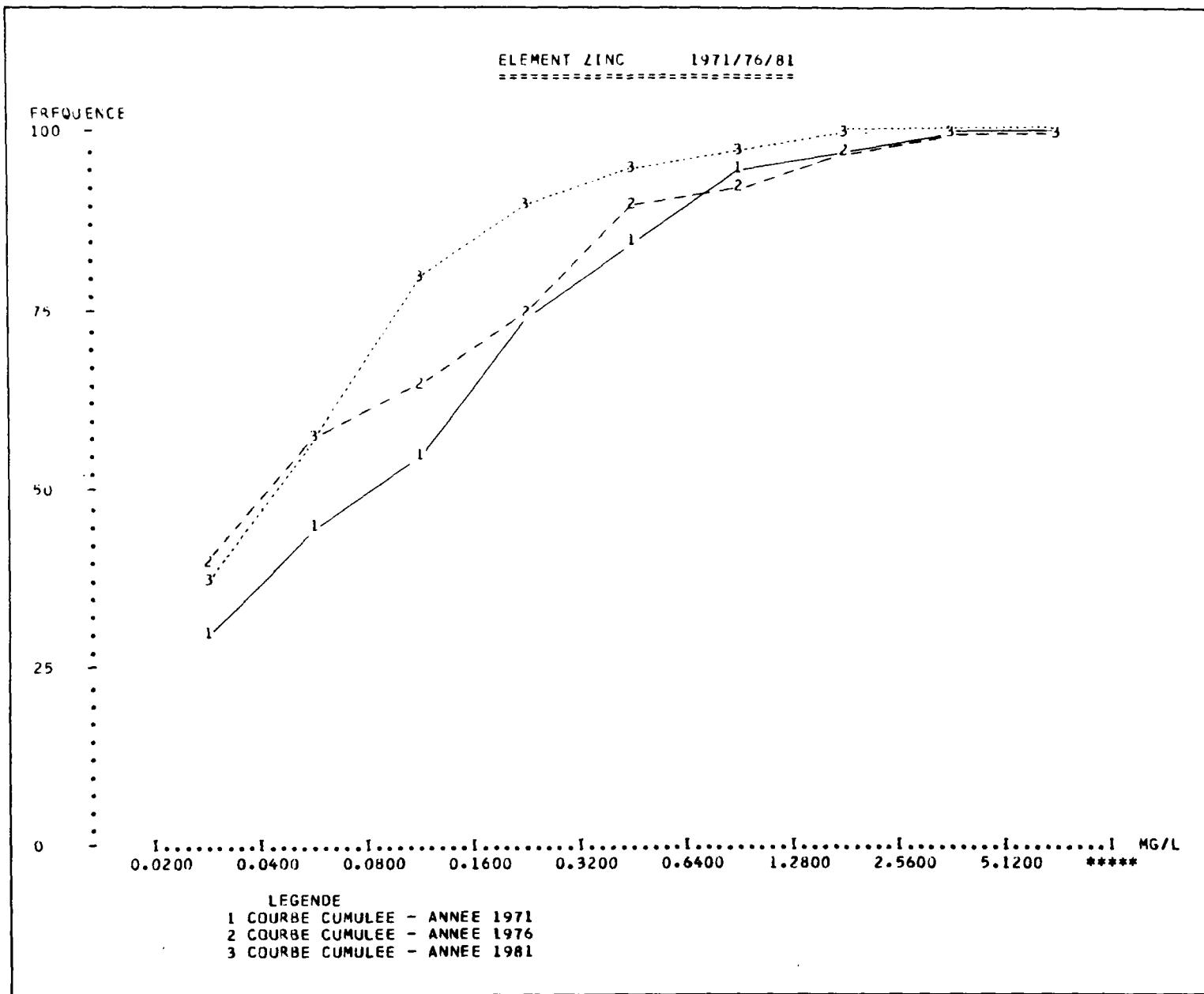


Fig. 2.2.-h

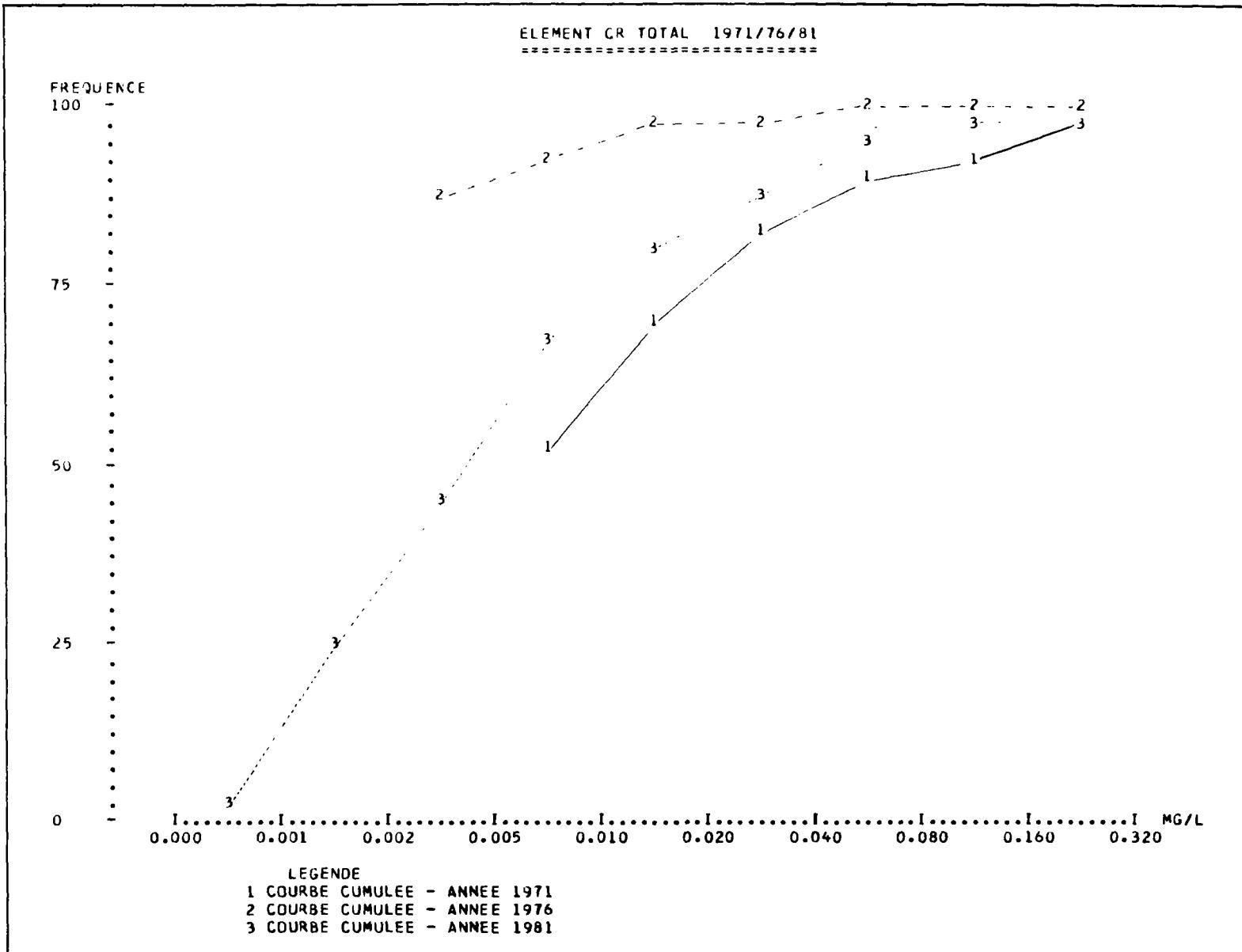


Fig. 2.2.i

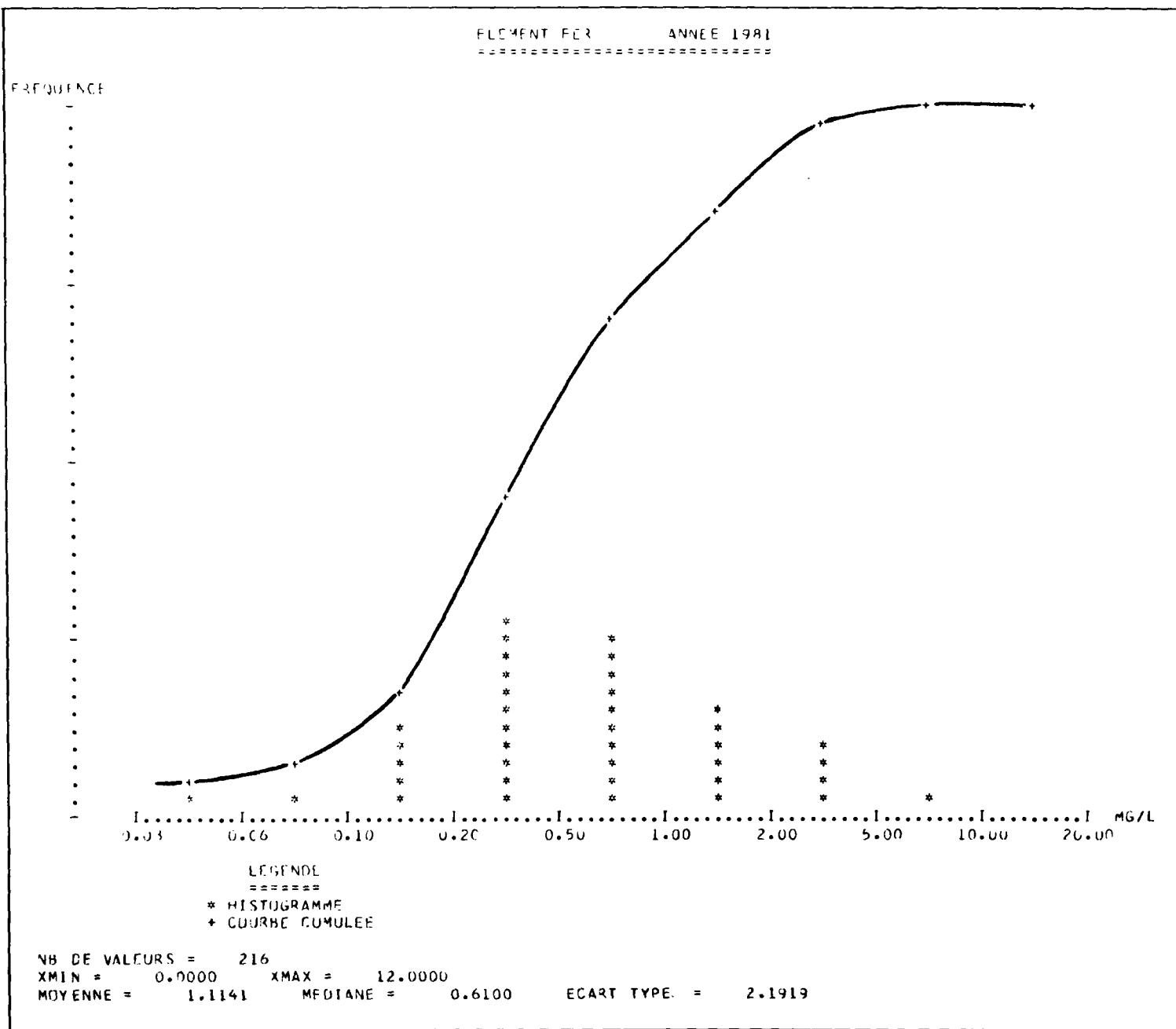


Fig. 2.2.1

Pour certains éléments il semble que la densité de probabilité corresponde à la somme de plusieurs lois log normales de paramètres différents (ex Zn en 1976)(fig. 2.2.k). La dispersion des données par rapport à l'approximation log normale est très importante.

2.2.3.2. Evolution des valeurs moyennes annuelles (fig. 2.2.l à 2.2.q)

- L'augmentation des débits est très sensible et est à mettre en parallèle avec celle de la M.E.S.T.
- Les pH et les températures restent sensiblement constants.
- Les paramètres organiques sont très fluctuants à part l'oxygène dissous mais semblent en légère augmentation (sauf pour la DB05).
- Pour les métaux, il semble qu'il y ait stagnation ou légère dépollution depuis 1977 avec une reprise de la pollution en 1981. Seul échappe à cette règle, le Cd, qui semble en progression assez régulière.
- On constate en moyenne une bonne corrélation (positive ou négative) entre débits et métaux ou paramètres organiques. Cela est surtout sensible lors des années sèches ('71 et '76).

Par exemple en 1976, on constate un pic positif accentué pour la DCO, la DB05, l'As, le Pb, le Hg, le Zn et moins accentué pour le Mn. Par contre le Cd semble suivre l'évolution des débits (ainsi que le Fe mais de façon moins nette).

Il semble logique de dire que les métaux à pic positif accentué correspondent à un apport polluant non naturel constant et qu'à faible débit, ils sont moins dilués. A l'inverse, les pics négatifs correspondent sans doute à un apport naturel ou un apport par lessivage.

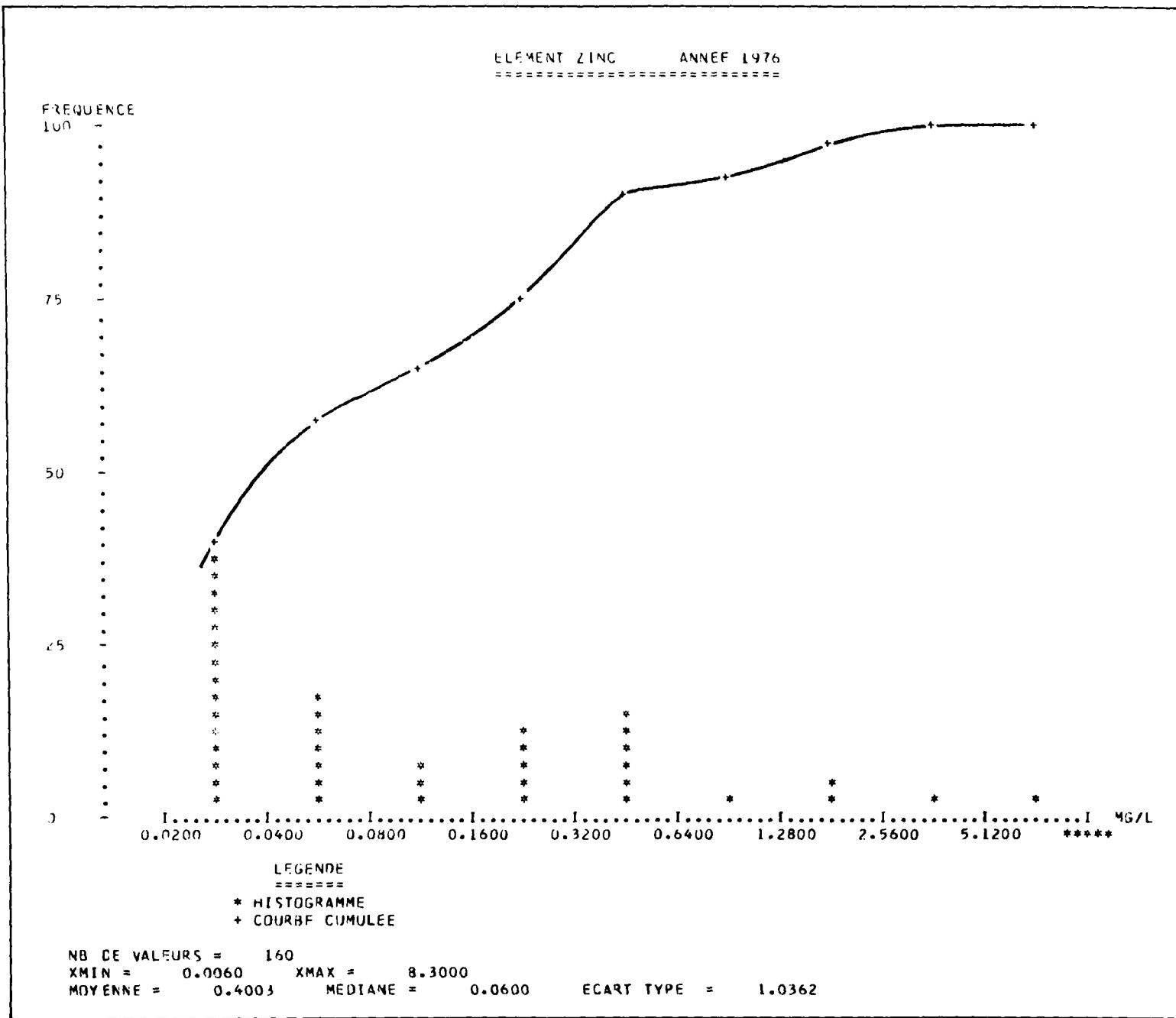
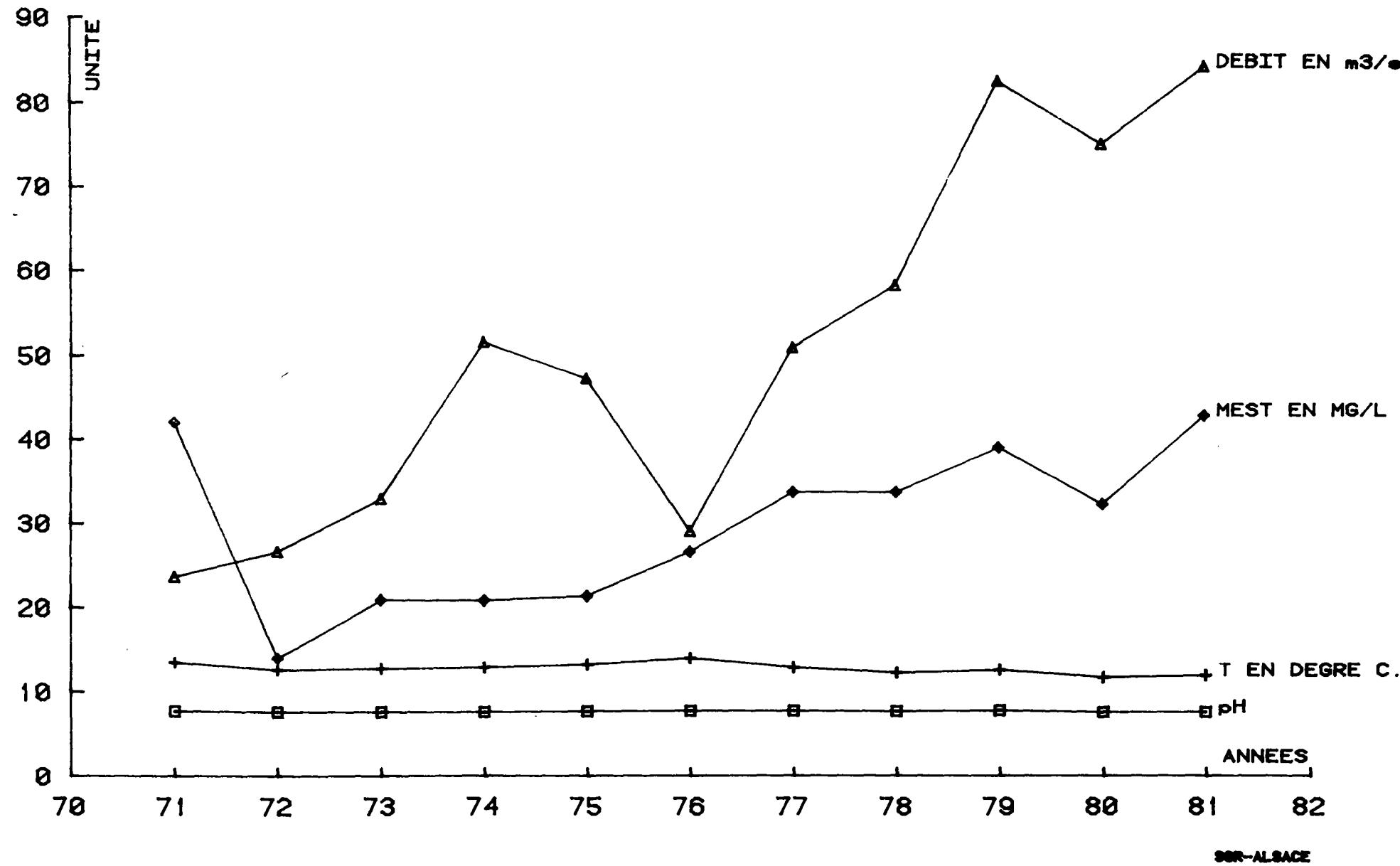


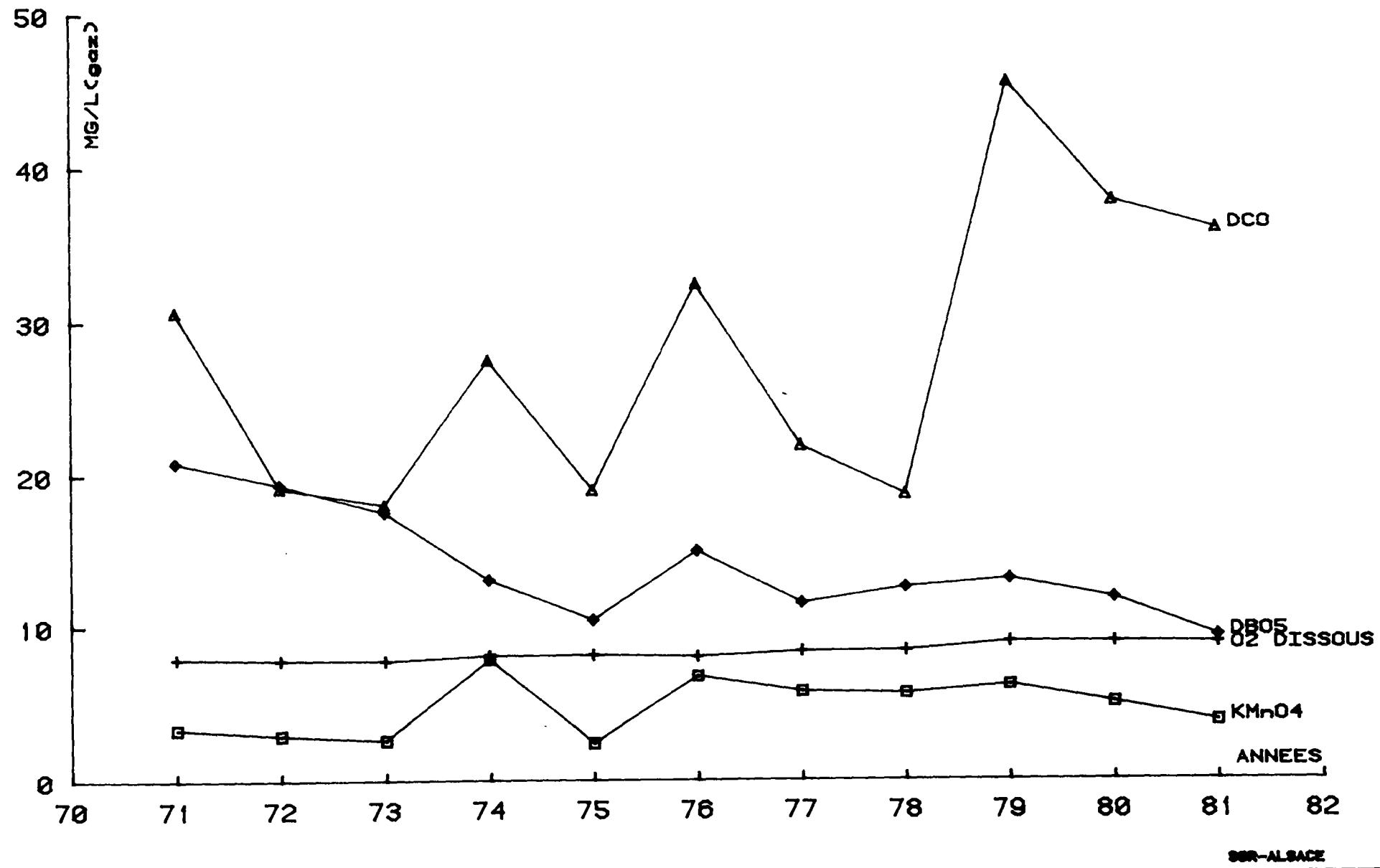
Fig. 2.2.k

EVOLUTION DES VALEURS MOYENNES ANNUELLES

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

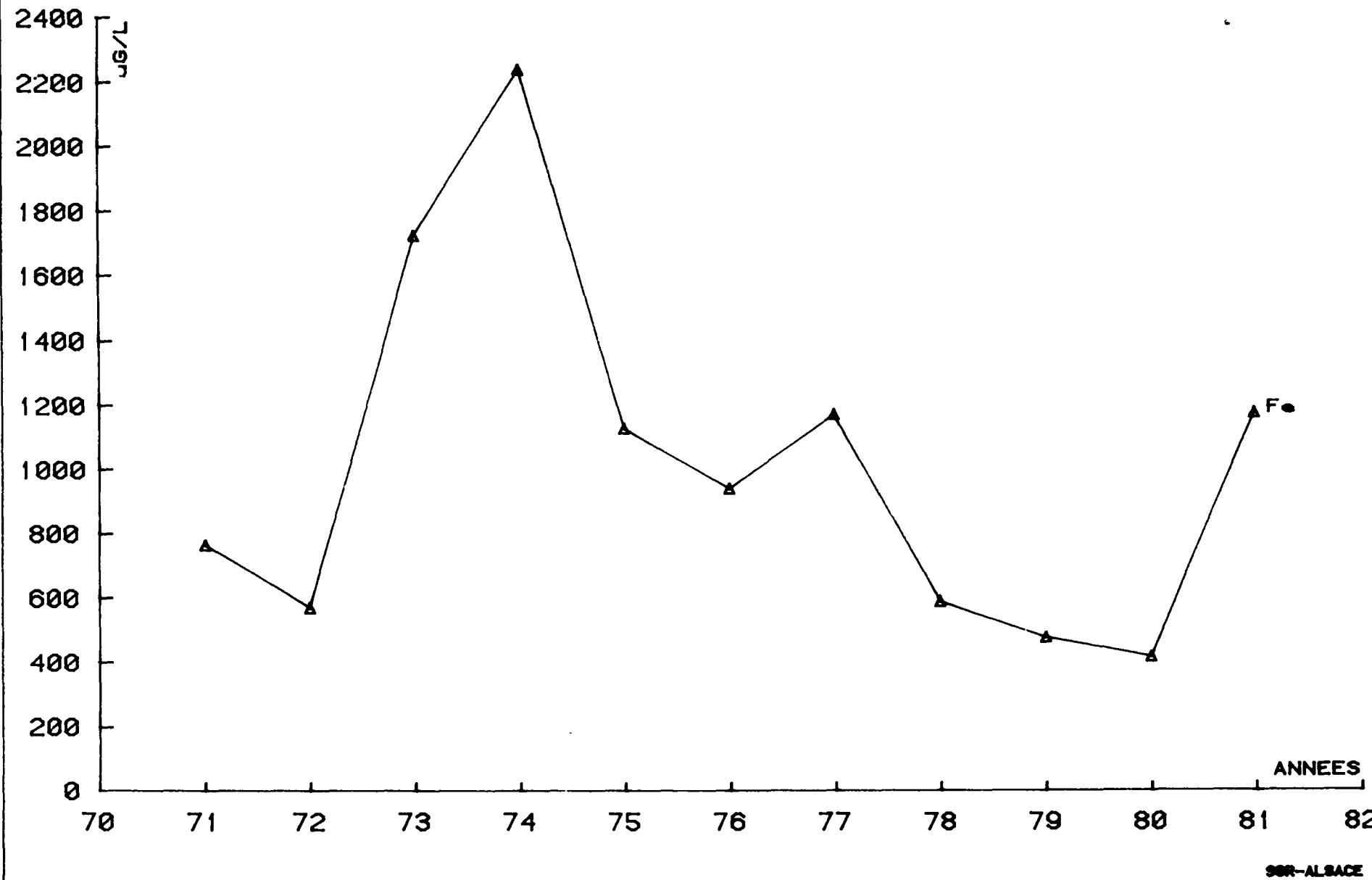


EVOLUTION DES VALEURS MOYENNES ANNUELLES
PARAMETRES ORGANO-CHIMIQUES



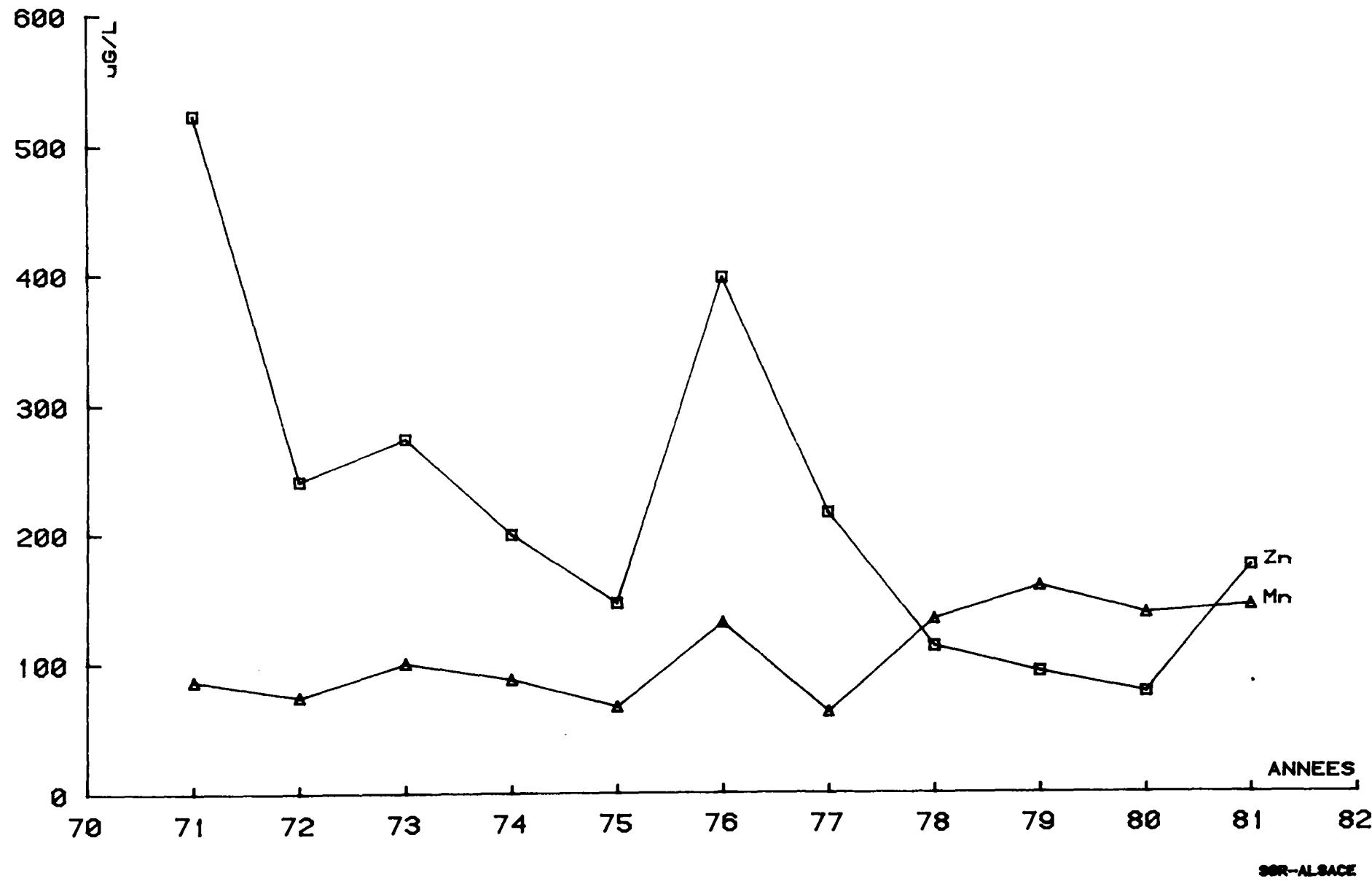
EVOLUTION DES VALEURS MOYENNES ANNUELLES

METAUX PEU TOXIQUES



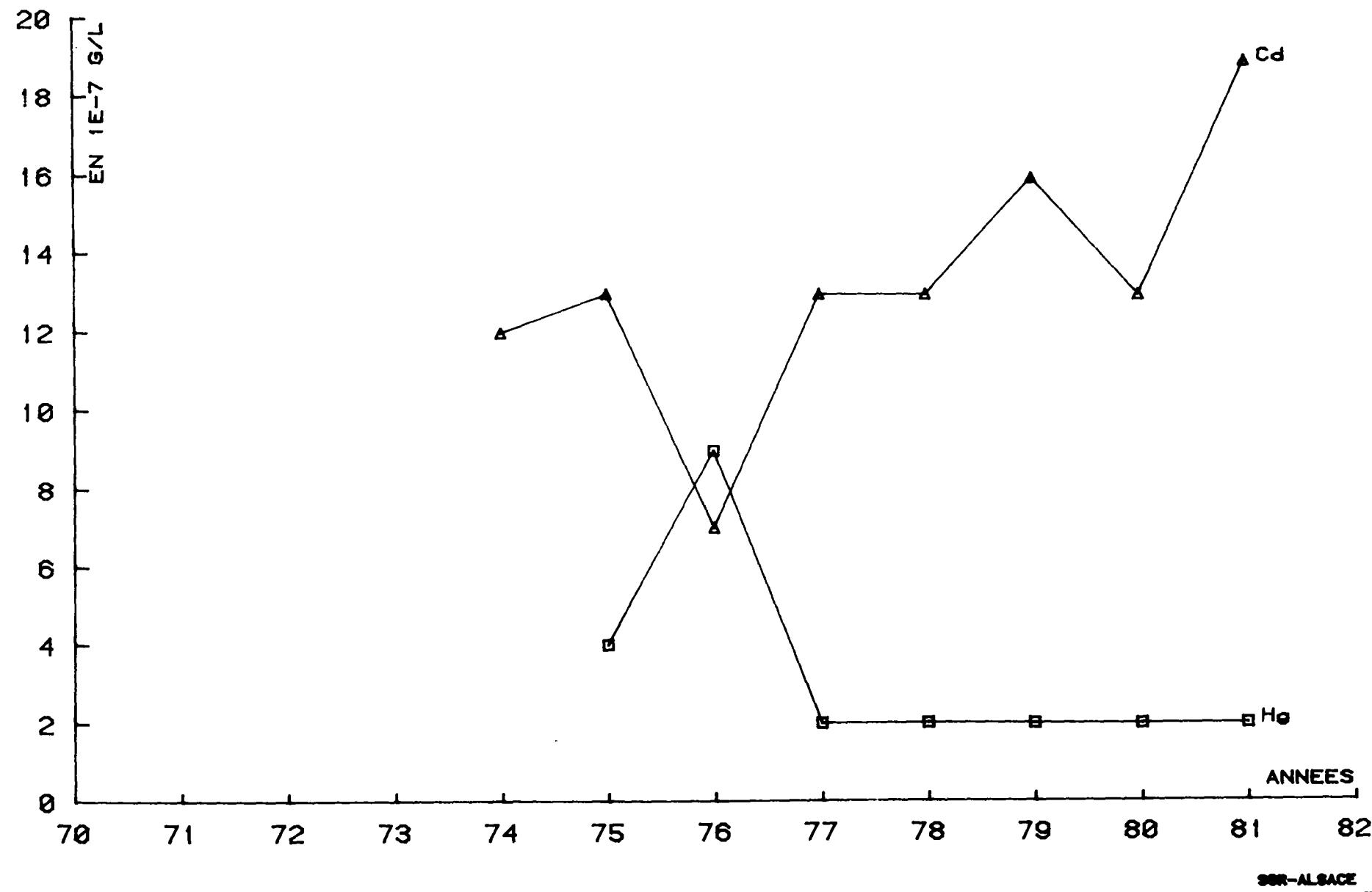
EVOLUTION DES VALEURS MOYENNES ANNUELLES

METAUX PEU TOXIQUES



EVOLUTION DES VALEURS MOYENNES ANNUELLES

METAUX TOXIQUES



EVOLUTION DES VALEURS MOYENNES ANNUELLES

METAUX TOXIQUES

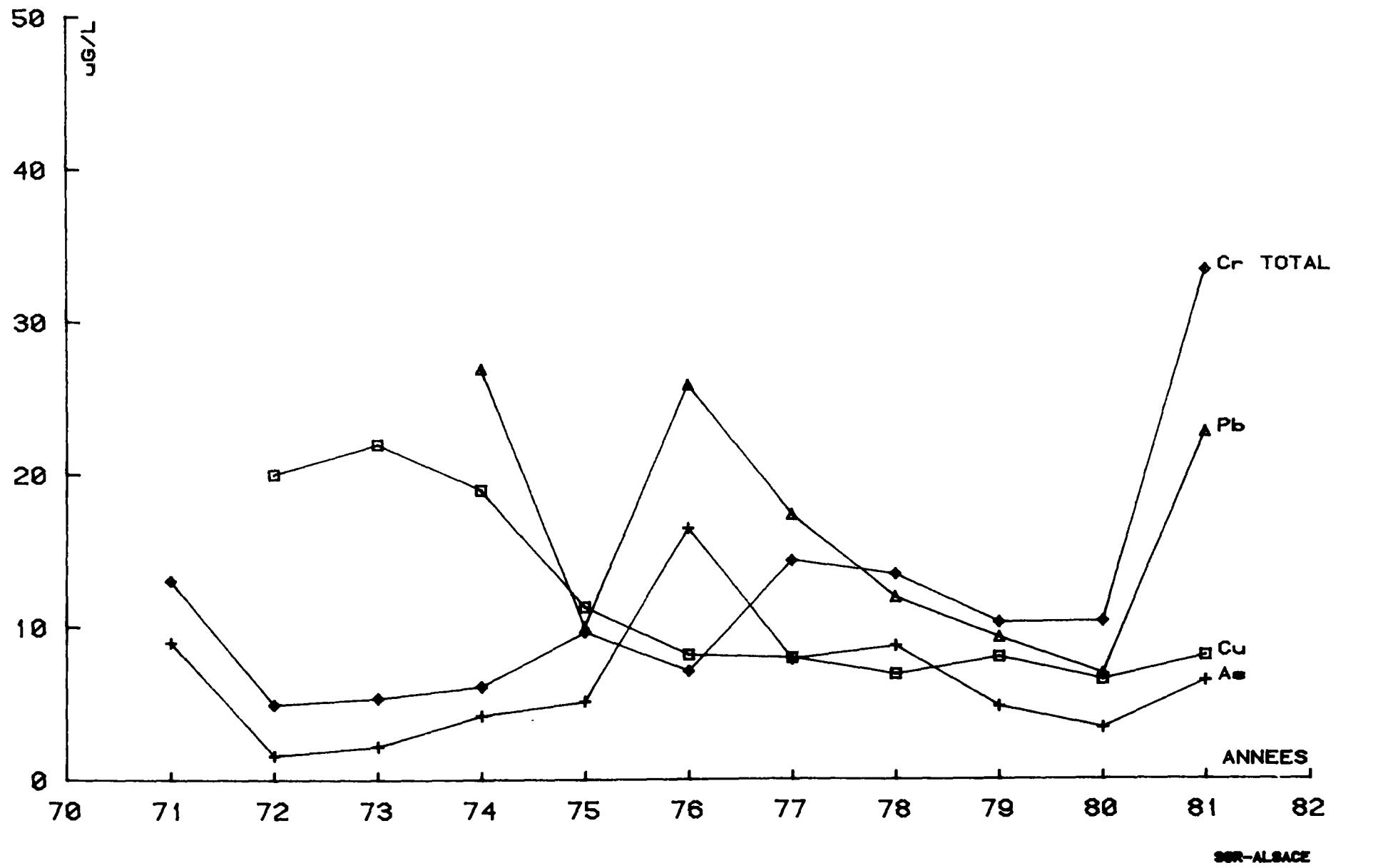


Fig. 2.2.9

3. CORRELATIONS

=====

3.1. Corrélations_teneurs_eaux-matières_en_suspension

L'analyse des teneurs eaux étant faite sur l'ensemble eau plus matière en suspension, et les matières en suspension étant des concentrateurs des métaux lourds, on pourrait s'attendre à une corrélation entre teneurs et matières en suspension du moins pour les métaux fortement liés aux matières en suspension (cf. § 1.3.1), soit dans l'ordre de croissance Pb, Cd, Cr, Hg, Cu, Zn, As.

3.1.1. Méthode

Ayant fait l'analyse des corrélations eaux-sédiments (voir 3.2.) sur les 23 points sédiments, nous avons repris ces points pour l'étude des corrélations avec la M.E.S.T. (matières en suspension totales).

Nous avons fait les graphiques de corrélation sur les moyennes de l'année 1981 pour atténuer les effets des fortes valeurs. Par contre, les coefficients de corrélation ont été calculés analyse/analyse sur des populations plus importantes.

Les résultats globaux (sur tout l'historique et tous les points) ne donnant aucune corrélation significative, nous avons dû faire les calculs sur quelques points individuellement. De plus, nous avons essayé de faire intervenir d'autres paramètres tels que le débit, le pH, la température ... afin de voir leur influence.

3.1.2. Résultats et conclusions

- Graphiques de corrélation

L'indice des points correspond à une station, la liste de ces stations se trouve dans le tableau page suivante.

Ces graphiques montrent une tendance à la corrélation positive. Cependant, à part pour le fer, cette tendance demeure floue. De plus, pour les éléments toxiques on bute souvent sur des seuils de détection et sur un effet de bassin.

. Le fer : bonne corrélation excepté le point 23 teneur plus faible dans le bassin de l'Ill et de la Meuse (fig. 3.1.a et 3.1.b).

. L'arsenic, le cuivre, le zinc : corrélation très moyenne avec une esquisse de droite et des points épars. Pour l'arsenic, il semble y avoir deux populations (fig. 3.1.c et 3.1. d). Apparemment, il n'y a aucun lien entre les points de chaque population.

On retrouve cette tendance pour le zinc (fig. 3.1.e et 3.1.f) mais pas pour le cuivre (fig. 3.1.g).

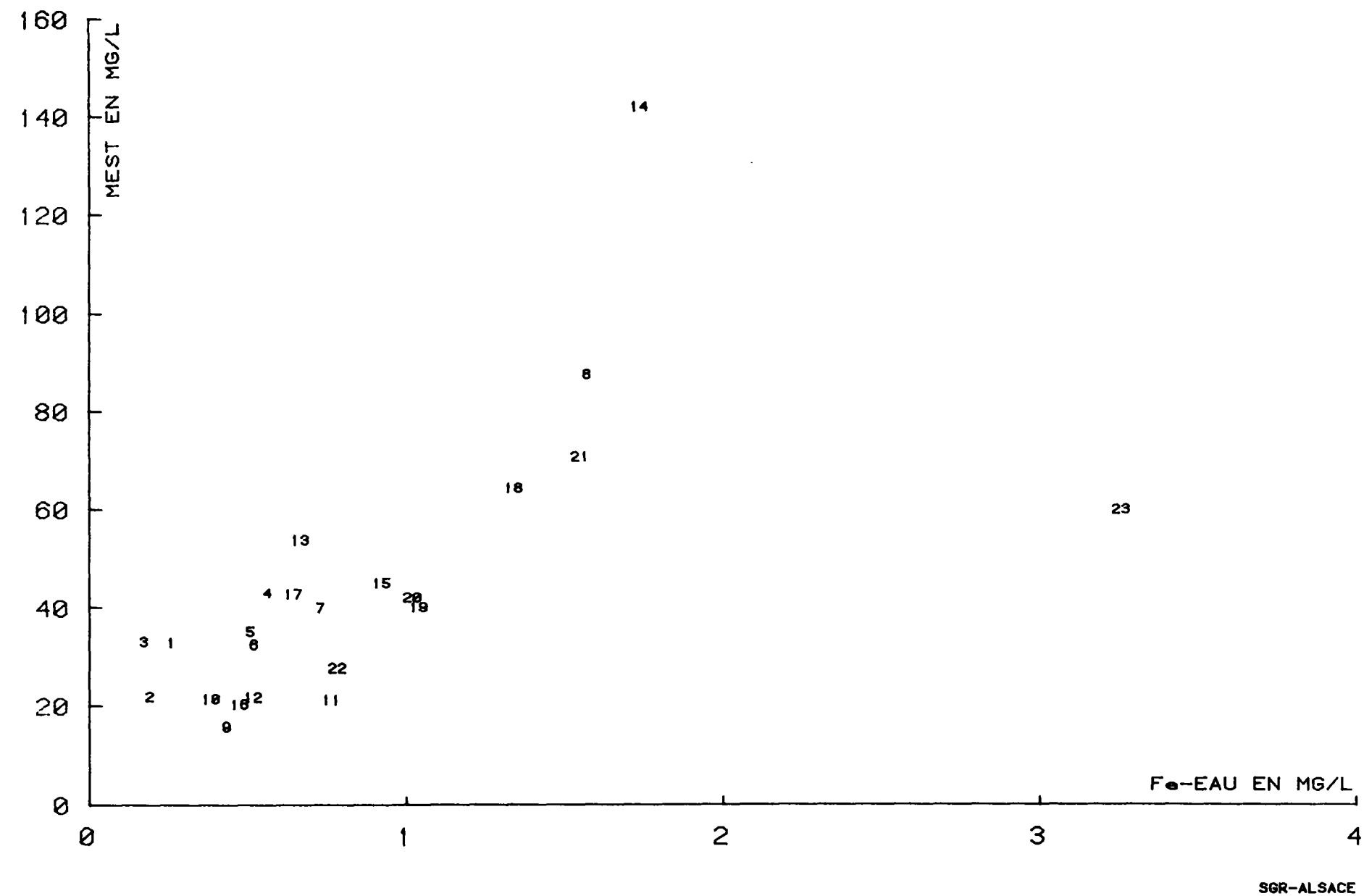
. Le manganèse et le plomb : corrélation très faible (fig. 3.1. h et 3.1. i).

. Le mercure, le cadmium, et le chrome : les graphiques ne montrent rien sinon les seuils de détection.

Points utilisés pour les corrélations eau-sédiment

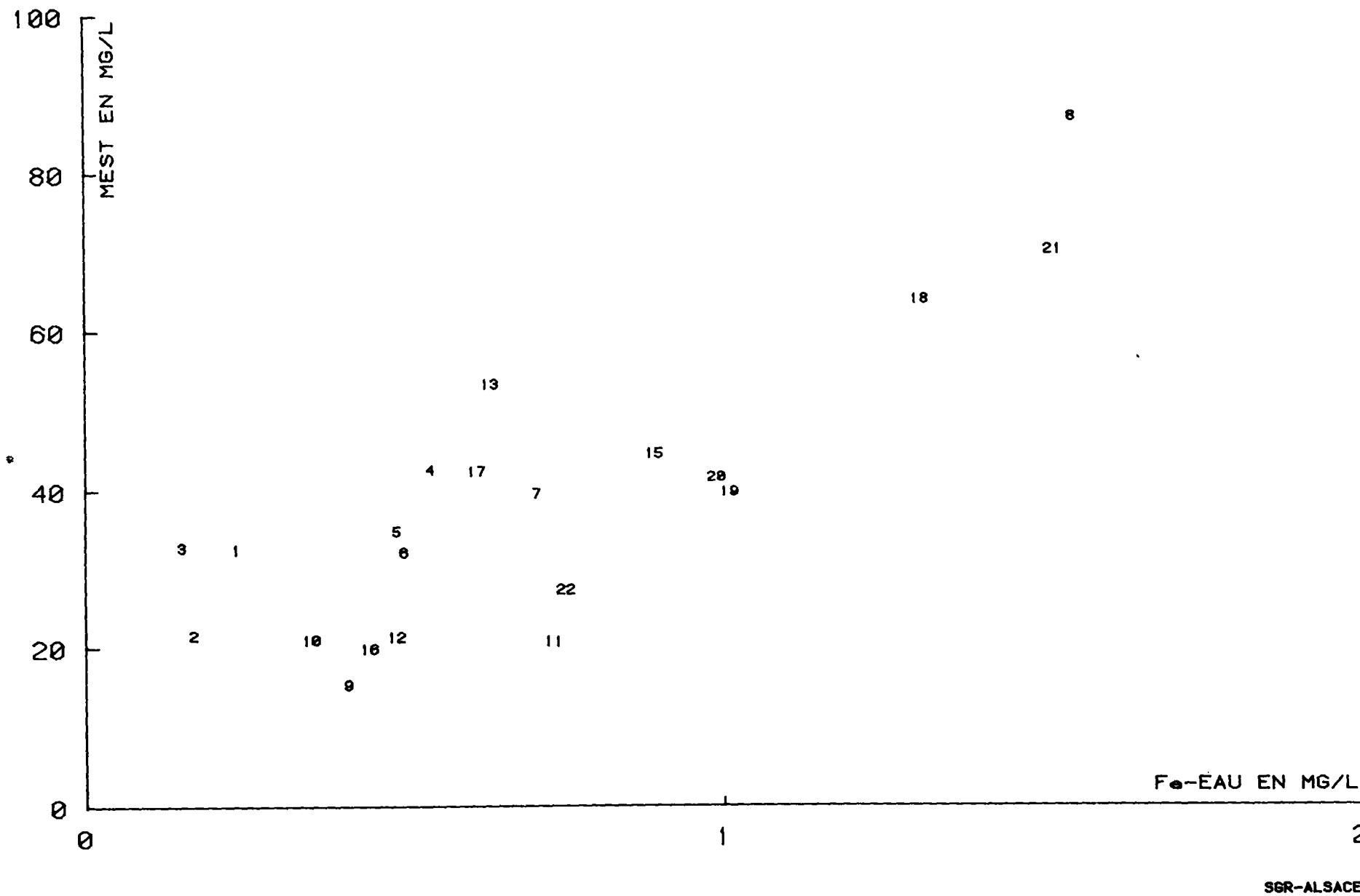
Bassin	Station	Indice	N° du point	Laboratoire	
				Eau	Sédiment
ILL	Ill à Oberhergheim	1	AA 0130	206	206
	Ill à Ohnheim	2	AA 0270	206	206
	Ill à La Wantzenau	3	AA 0380	206	206
MOSELLE	Moselle à Velle	4	AA 0560	247	205
	Moselle à Pierre Latreiche	5	AA 0595	247	247
	Moselle à Liverdun	16	BC 7020	205	247
	Meurthe à Bouxière aux Dames	20	BC 7110	205	205
	Moselle à Arry	6	AA 0770	247	247
	Moselle à Hauconcourt	17	BC 7040	205	247
	Orne à Richemont	21	BC 7140	205	205
	Moselle à Uckange	7	AA 0900	247	205
	Fensch à Florange	23	BC 7150	205	247
	Moselle à Thionville aval	18	BC 7050	205	247
	Moselle à Sierk	19	BC 7060	205	205
SARRE	Bièvre à Sarrebourg	22	CA 2900	247	205
	Sarre à Sarreinsming	13	BB 6020	205	205
	Merle à Merlebach	8	AA 1020	205	205
	Rosselle à Petite Rosselle	14	BB 6040	205	205
	Bist à Creutzwald	15	BB 6050	205	205
Meuse	Meuse à St. Mihiel	9	AA 1090	205	205
	Meuse à Inor	10	AA 1140	205	205
	Chiers à Carignan	11	AA 1160	205	205
	Meuse à Ham sur Meuse	12	AA 1230	205	205

CORRELATION Fe-EAU/MEST
CORRELATION SUR LES MOYENNES 81)

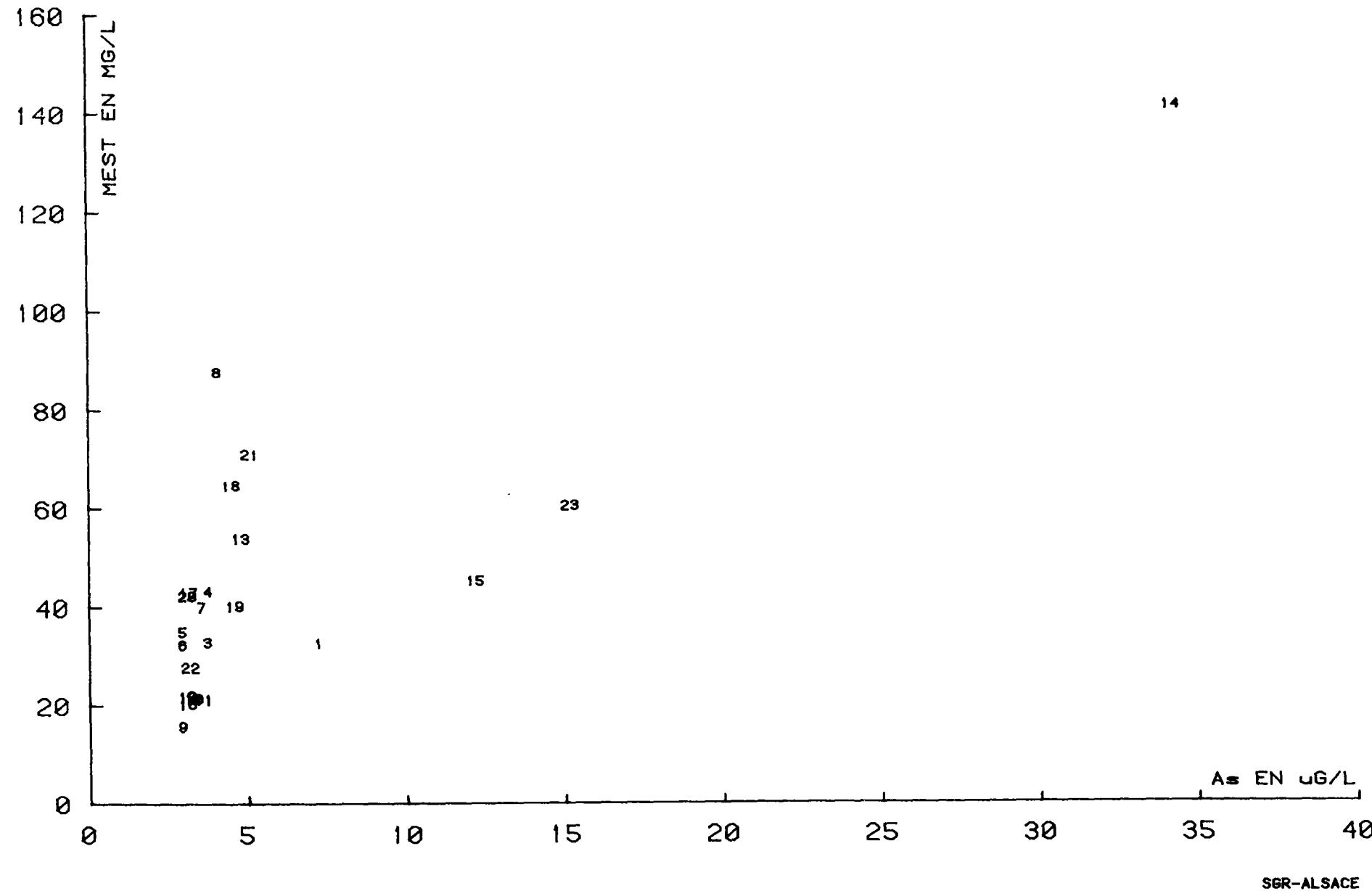


CORRELATION Fe-EAU/MEST

CORRELATION SUR LES MOYENNES 81)

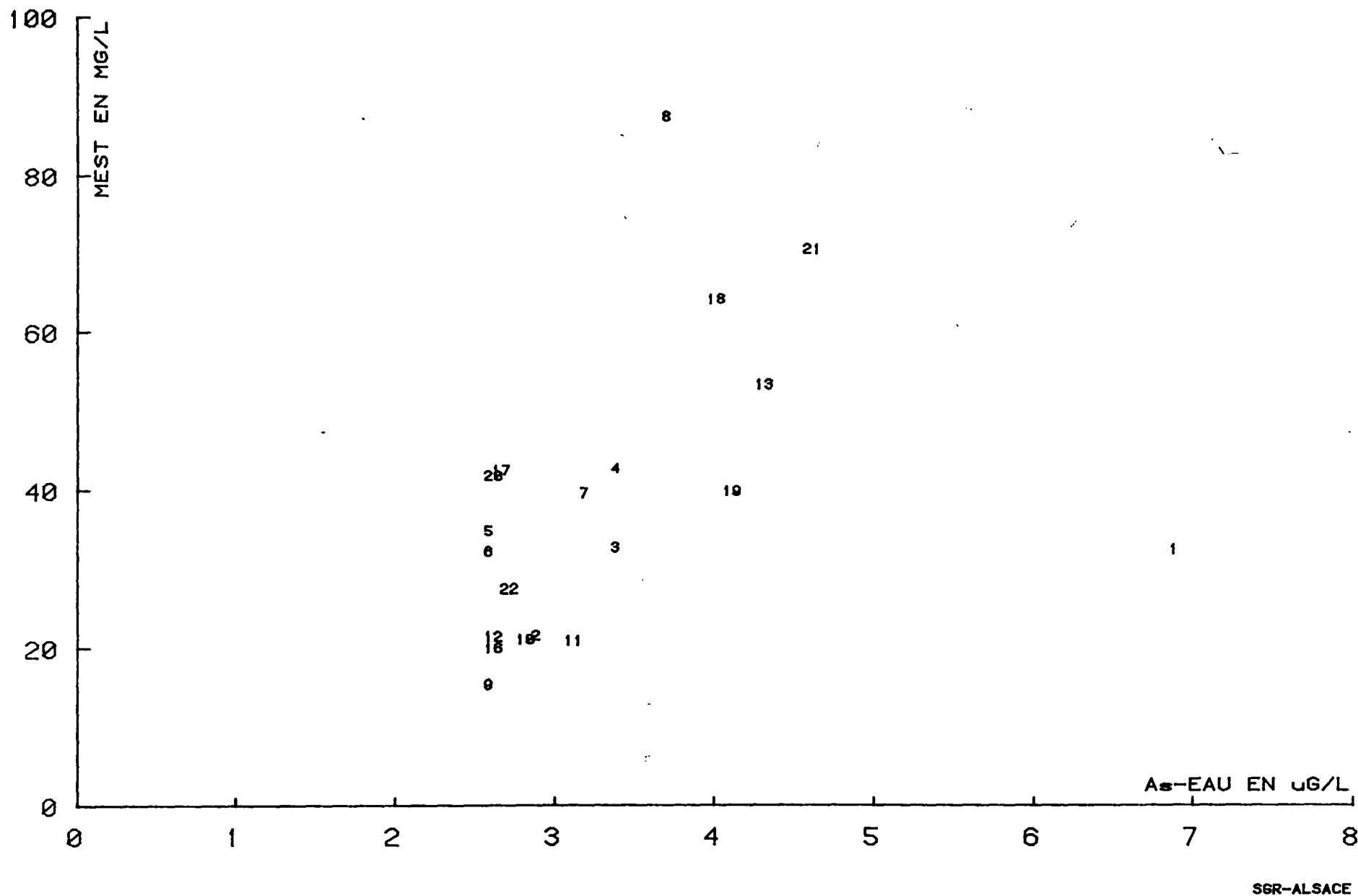


CORRELATION As-EAU/MEST
CORRELATION SUR LES MOYENNES 81)



CORRELATION As-EAU/MEST

CORRELATION SUR LES MOYENNES 81



CORRELATION Zn-EAU/MEST
CORRELATION SUR LES MOYENNES 81

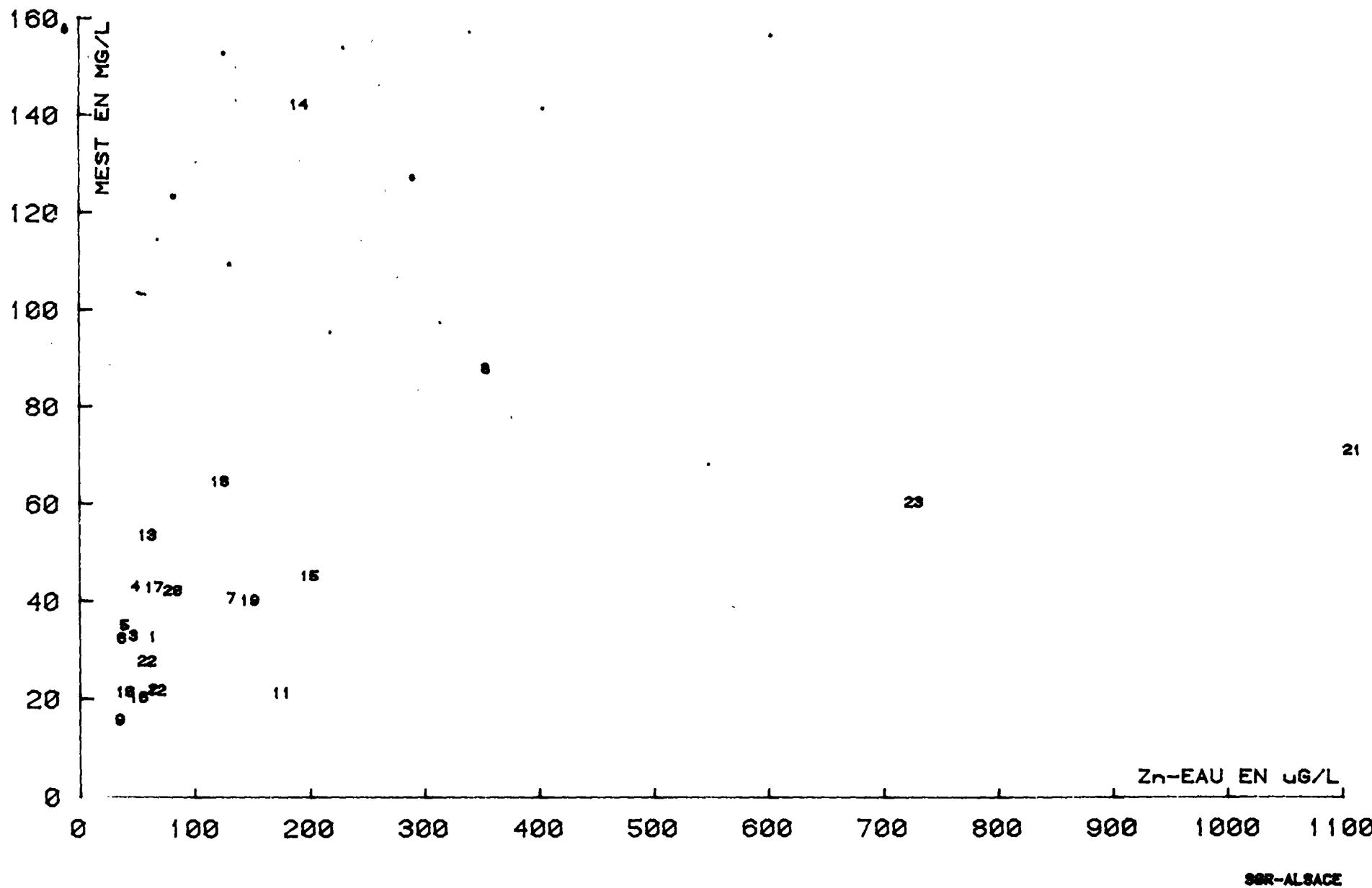


Fig. 3.1.e

CORRELATION Zn-EAU/MEST

CORRELATION SUR LES MOYENNES 81)

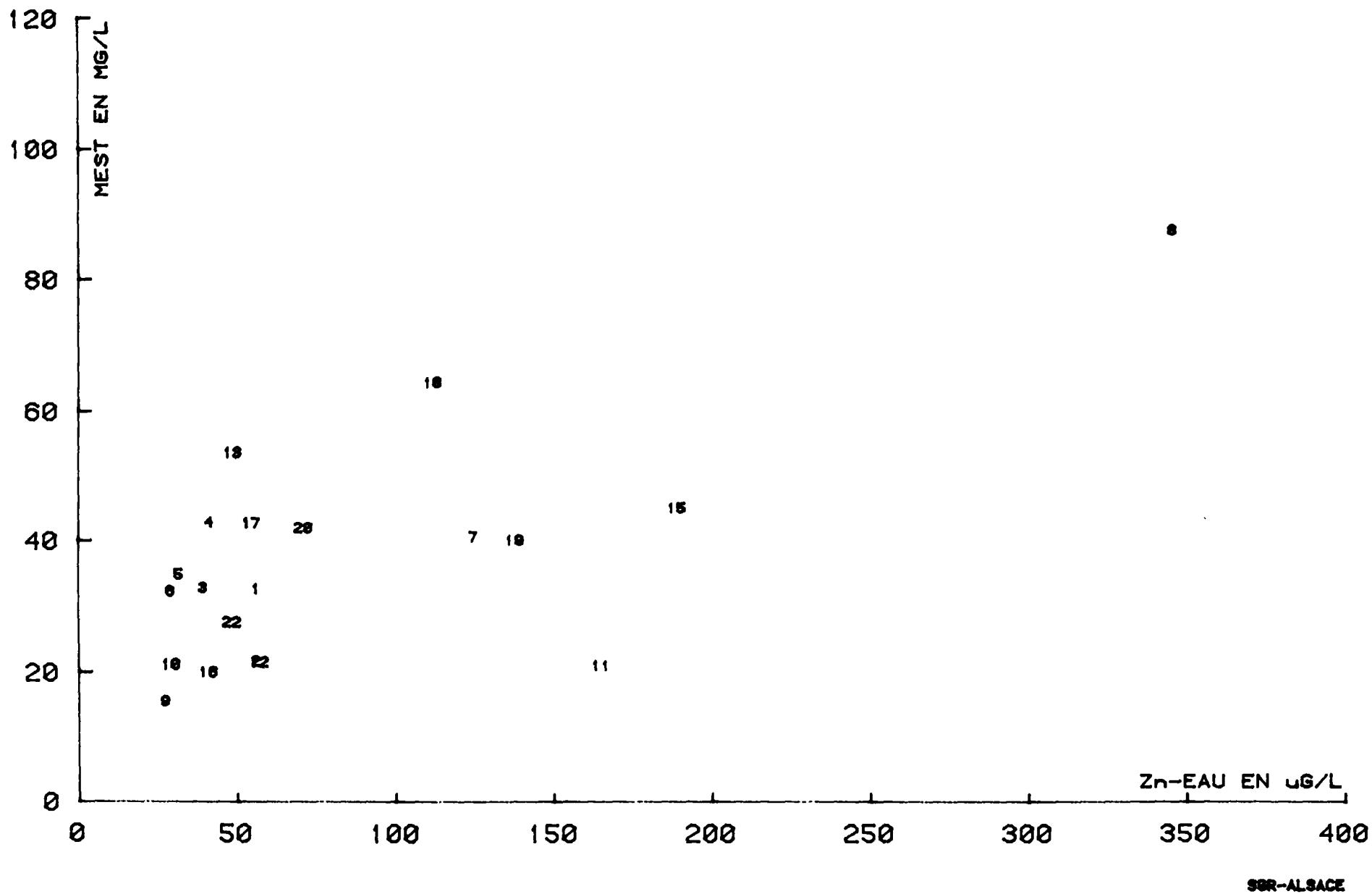


Fig. 3.1.f

CORRELATION Cu-EAU/MEST
CORRELATION SUR LES MOYENNES 81)

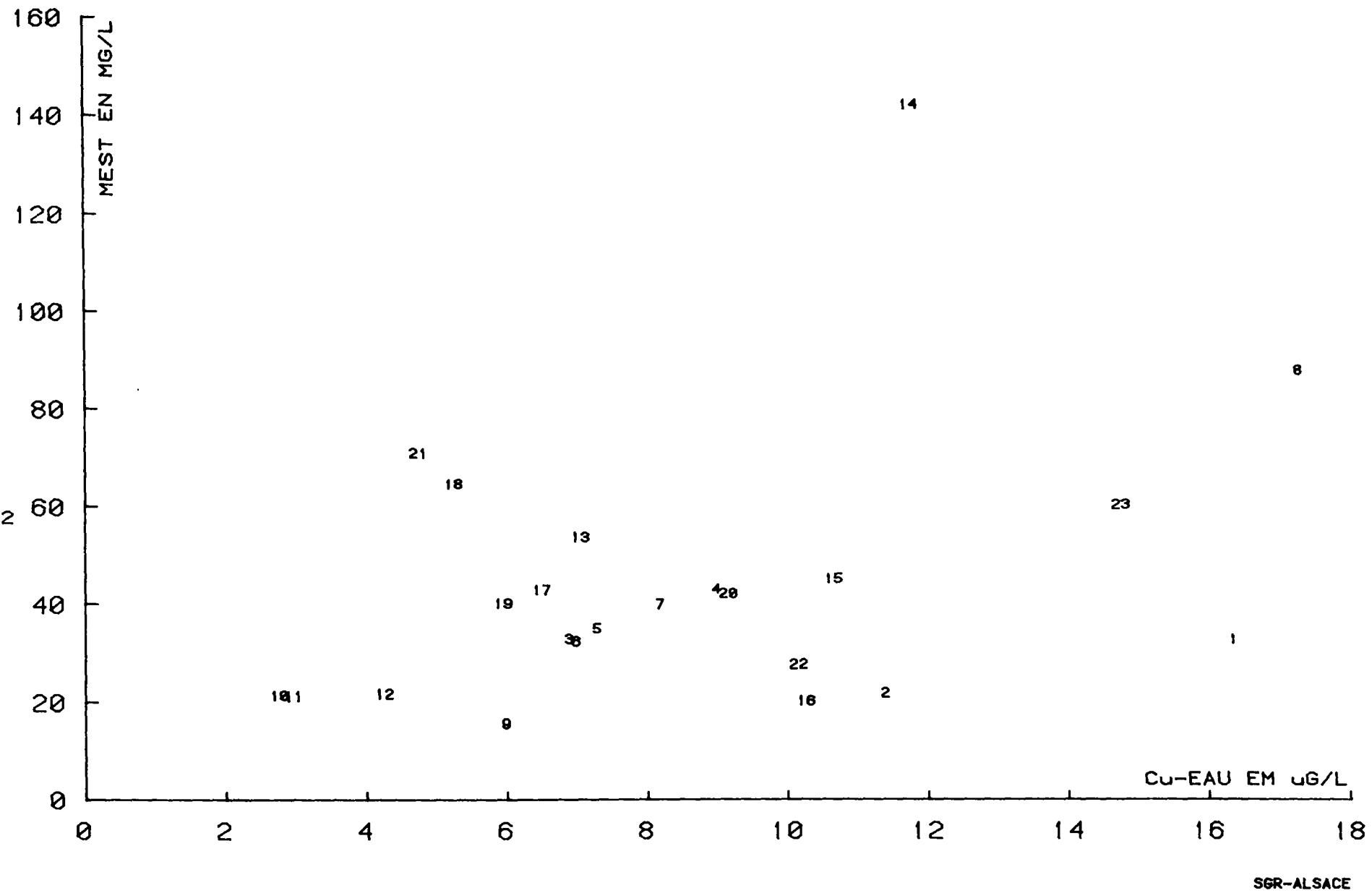
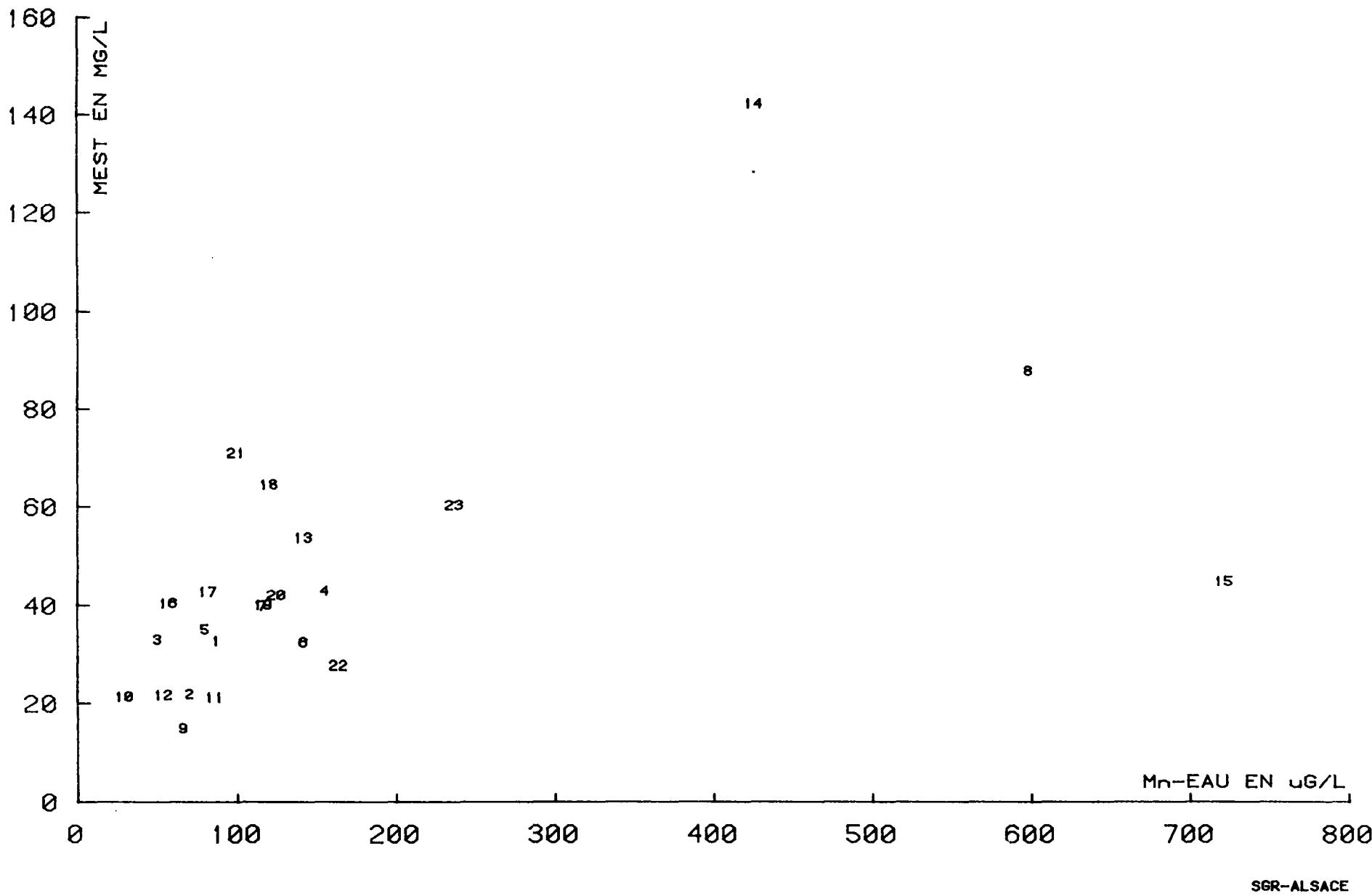
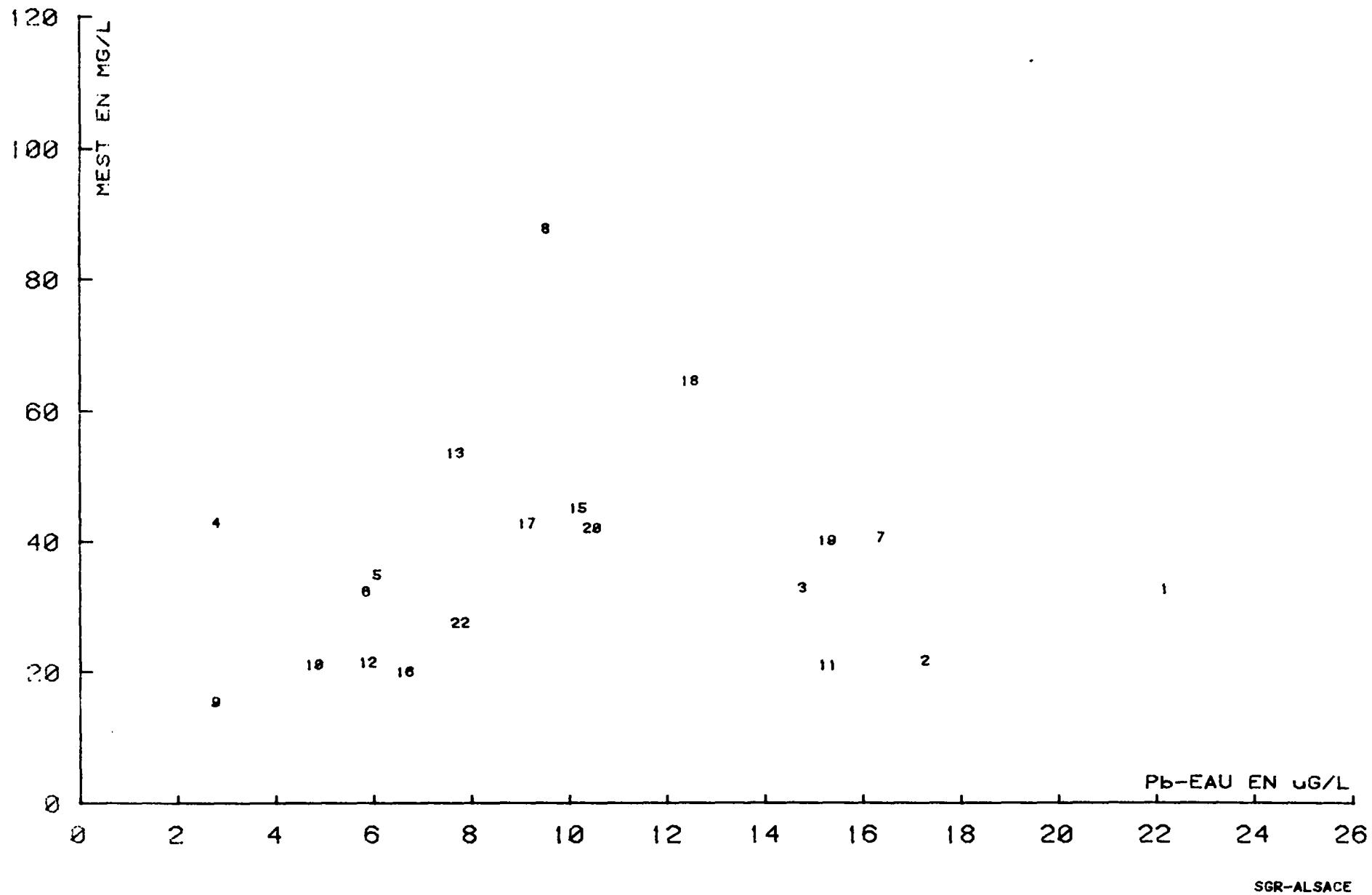


Fig. 3.1.g

CORRELATION Mn-EAU/MEST
 CORRELATION SUR LES MOYENNES 81)



CORRELATION Pb-EAU/MEST
(CORRELATION SUR LES MOYENNES 81)



		<u>Coefficients de corrélation</u>	Coefficient de corrélation sur les données	
			1972 - 1981	1981
Fe/MEST	Ensemble des points	-	0,394	
	Moselle Pierre Latreiche	-	0,950	
	Moselle Millery	-	0,987	
	Moselle Blénod	0,888	-	
	Orne Richemond	0,909	-	
	Ill Brunstatt	0,459	-	
	Ill Ohnheim	0,155	-	
	Meuse Ham	0,626	-	
Mn/MEST	Ensemble des points	-	0,214	
	Moselle Pierre Latreiche	-	0,843	
	Moselle Millery	-	- 0,116	
	Moselle Blénod	0,500	-	
	Meuse Ham	0,711	-	
	Orne Richemond	0,810	-	
As/MEST	Ensemble des points	-	0,324	
Cd/MEST	Ensemble des points	-	0,022	
Cr/MEST	Ensemble des points	-	0,184	
	Orne Richemond	0,845	-	
	Moselle Millery	-	0,902	
Cu/MEST	Ensemble des points	-	0,082	
Hg/MEST	Ensemble des points	-	0,013	
Pb/MEST	Ensemble des points	-	0,255	
Se/MEST	Ensemble des points	-	0,102	
Zn/MEST	Ensemble des points	-	0,187	

Ces résultats montrent la bonne corrélation point par point entre le fer et les matières en suspension. Les résultats sur tous les points pour 1981 ne font que montrer une très légère tendance positive (aucun coefficient négatif et quatre supérieurs à 0.2). Les coefficients supérieurs à 0.5 ont été notés dans le tableau. Ils n'apparaissent que pour le fer, le manganèse et le chrome.

Pour le fer et le manganèse, on constate : - une meilleure corrélation lorsqu'on se limite à 1981. - une corrélation décroissante dans les bassins de la Moselle et de la Meuse et de l'Ill.

Pour le chrome on constate : - une meilleure corrélation à l'aval des principaux apports sidérurgiques.

- Etudes ponctuelles

Les résultats n'étant pas très significatifs nous avons voulu essayer de voir l'influence d'autres paramètres.

Il existe une bonne corrélation entre les matières en suspension et les débits. C'est aux forts débits qu'on a le plus de matières en suspension. Sur un diagramme MEST-Fe nous avons porté les débits des points les plus forts. Le remplacement du paramètre MEST par le débit à Pierre Latreiche donne un moins bon résultat : $r=0.457$ au lieu de 0.950. La prise en compte du débit dans une corrélation double Fe-débit-MEST donne un coefficient de corrélation total ($r=0.962$) à peine supérieur. Voir fig. 3.1.j)

Pour le manganèse, nous avons pu mettre en évidence une différence entre les mois d'été et les mois d'hiver : voir fig. 3.1.k. En été, les teneurs dans l'eau sont plus fortes et les matières en suspension sont faibles. En hiver, c'est le contraire. Il semble en outre que pour une saison donnée on observe bien une corrélation MEST-Mn.

A Millery : coefficient de corrélation été + hiver = - 0.116

été = 0.470

hiver = 0.473

Cela semble expliquer en partie par le pH : $R(Mn/\text{pH}/\text{MEST}) = 0.52$: baisse de la concentration en Mn lorsque le pH monte.

À Pierre Latreiche, on retrouve ce phénomène quoique moins accentué. La prise en compte de la température de l'eau n'explique pas beaucoup mieux la variable Mn (eau) $R = 0.884$ au lieu de 0.843 ; de même la prise en compte du pH donne des résultats négligeables.

Sur les autres éléments, nous n'avons pu mettre en évidence aucun facteur qui explique nettement la corrélation teneur métal-MEST. Il semble donc que ce soient les éléments d'origine essentiellement naturelle qui corréllent le mieux avec les matières en suspension.

- Conclusions et discussions

Les métaux lourds toxiques corréllent mal avec la MEST. Cependant la tendance est toujours à la corrélation positive.

Les éléments d'origine naturelle abondants dans les formations géologiques corréllent mieux avec la MEST. (Fe et Mn)

Les corrélations sont d'autant meilleures qu'on restreint géographiquement le domaine d'étude (par bassin, par point).

Les corrélations sont en général meilleures lorsqu'on se limite à des périodes où les paramètres physicochimiques sont comparables.

Il existe apparemment un paradoxe entre ces conclusions et le fait que les matières en suspension concentrent les métaux lourds. Cela peut s'expliquer de plusieurs manières :

. il y a des problèmes analytiques et les métaux lourds contenus dans la matière en suspension sont incomplètement libérés.

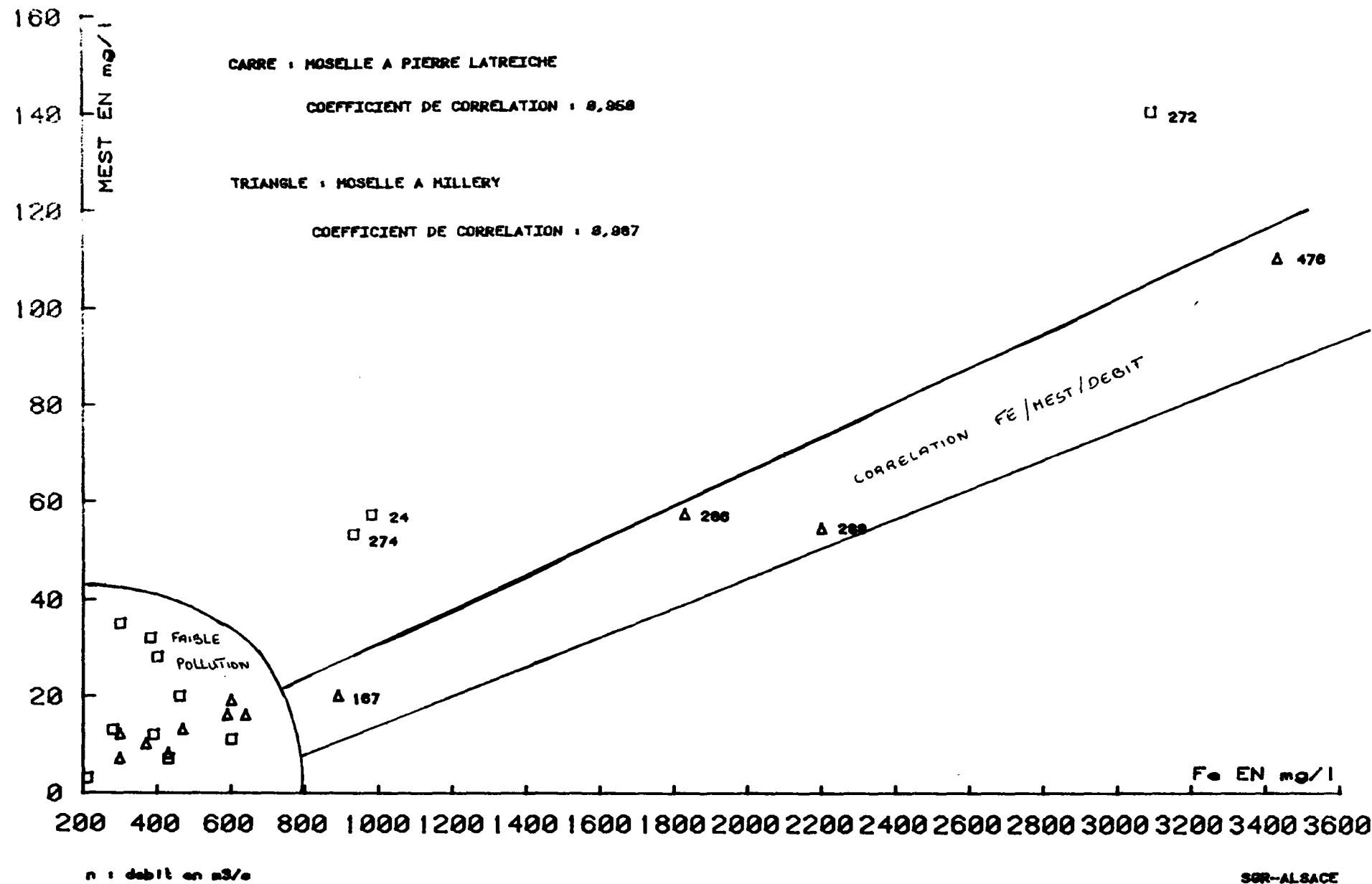
. Les apports de MEST sont dus à des apports de ruissellement et à des remises en suspension. Or, les particules amenées par le ruissellement n'ont pas le temps de se mettre à l'équilibre avec l'eau (donc de fixer les métaux lourds). Cela peut expliquer la différence entre l'été (orages sans grande augmentation du débit mais apport de MEST) et l'hiver (fort débit avec remise en suspension importante).

. L'augmentation de la MEST est assez souvent liée à une augmentation du débit c'est à dire (si on suppose les apports humains constants) à une dilution des métaux lourds.

. Les métaux ayant des concentrations importantes dans les sols et sédiments ont un comportement différent car ils sont présents dans les particules apportées par ruissellement.

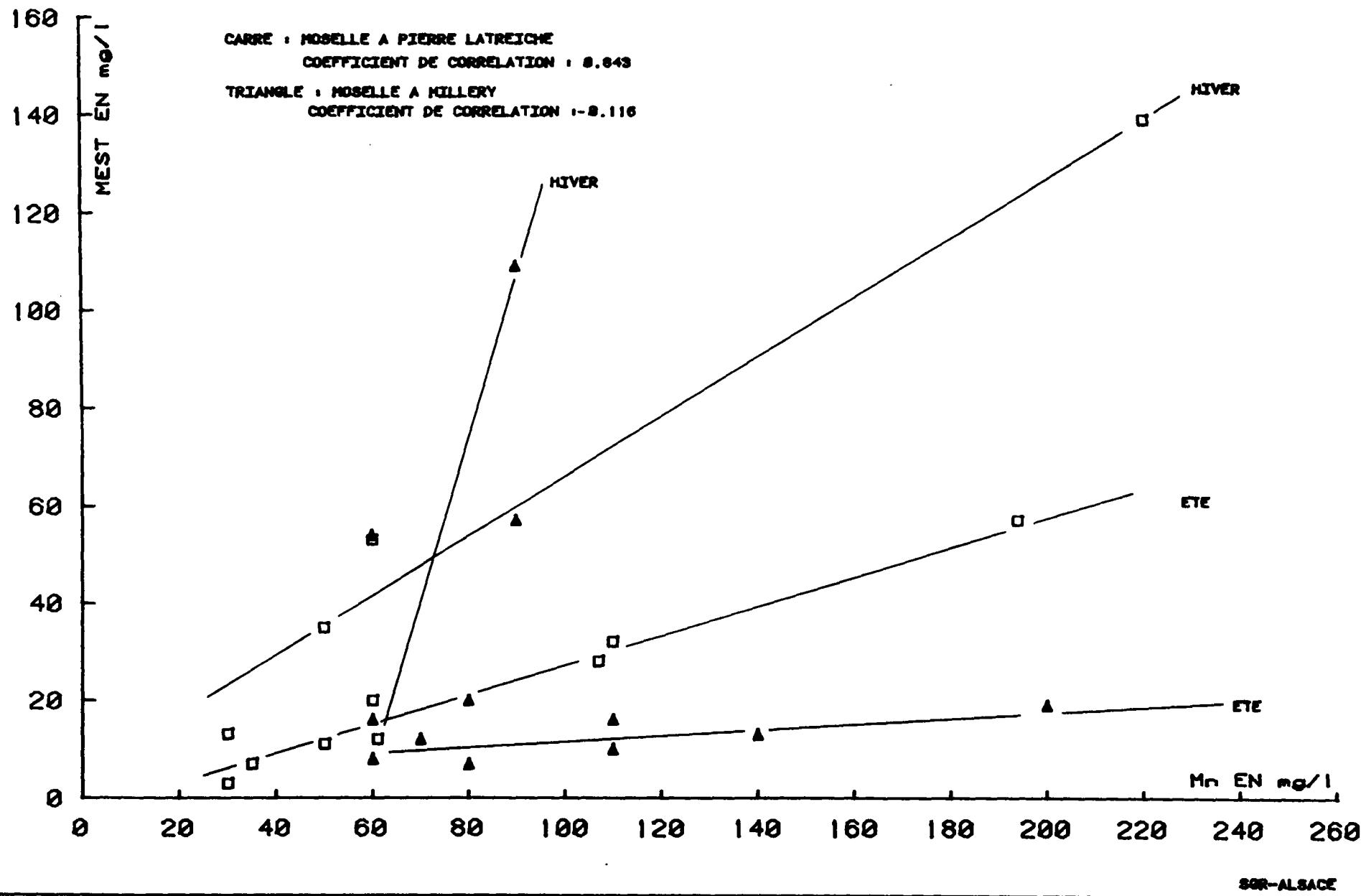
CORRELATION Fe/MEST/DEBIT

MILLERY ET PIERRE- LATREICHE (1981)



CORRELATION Mn/MEST

MILLERY ET PIERRE LATREICHE (1981)



3.2. Corrélations_teneurs_eaux-teneurs_sédiments

Pour évaluer ces corrélations nous avons travaillé sur les points où étaient disponibles simultanément les analyses d'eaux complètes (au minimum pour l'année 1981) et les analyses de sédiments de l'année 1981 (la liste est fournie dans le tableau page 84, les résultats page 94).

3.2.1. Méthode

Nous avons calculé les coefficients de corrélation pour tous les couples métal-eau / métal-sédiment pour les métaux suivants : Fe-Mn-As-Cu-Cd-Hg-Pb-Zn. Ensuite nous avons établi des graphiques de corrélation, puis nous avons essayé de voir l'influence d'autres paramètres (en particulier les paramètres du sédiment) (sur les moyennes 1981 pour l'eau).

Nous avons enfin tenté de dégager une relation entre la médiane du rapport teneur eau sur matières en suspension, avec la concentration de cet élément dans les sédiments ; les corrélations ont été réalisées sur la série complète des analyses de la période 1976-1981.

3.2.2. Graphiques et coefficients de corrélation

- Coefficients de corrélation

Coefficients de corrélation		teneurs dans les sédiments						
		Fe	Mn	As	Cd	Cu	Hg	Pb
Teneurs dans les eaux	Fe	0.34						
	Mn	-0.19	0.18					
	As	-0.06	0.06	0.06				
	Cd	-0.01	0.69	-0.44	0.62			
	Cu	-0.09	0.38	-0.01	0.10	0.86		
	Hg	0.05	-0.03	-0.22	-0.05	0.06	-0.18	
	Pb	-0.05	-0.15	-0.05	-0.17	-0.14	-0.08	-0.04
	Zn	0.70	0.45	0.11	0.50	0.00	-0.15	0.90

(Analyse eau et sédiment du même mois)

- Graphiques de corrélation (voir fig. 3.2.a à 3.2.k)

Ces graphiques montrent la mauvaise relation linéaire entre les teneurs eaux et les teneurs sédiments. Certains bons coefficients de corrélation sont dus à l'effet d'un point isolé très pollué : l'Orne à Richemont (point 21).

Globalement, il n'apparaît aucune corrélation entre les moyennes 1981 des teneurs eaux-sédiment. La prise en compte des teneurs moyennes 1972-1981 à la place des moyennes 1981 ne change rien.

Si l'analyse globale de ces graphiques ne montre rien sinon une tendance à la corrélation positive, l'analyse bassin par bassin donne des résultats plus intéressants.

Le bassin de la Moselle est toujours représenté par un nuage très dispersé si on excepte le point 21 très élevé en teneurs qui fausse les corrélations.

Le bassin de l'Ill par contre présente une meilleure corrélation : pour les éléments d'origine essentiellement naturelle, il est très groupé (points 1.2.1.) alors que pour les métaux lourds, il montre un bon alignement des points (Arsenic, Cuivre, Plomb) avec une pollution décroissante de Oberhergheim à la Wantzenau.

CORRELATION Fe-EAU/Fe-SEDIMENT

(Fe-EAU : MOYENNE 1981)

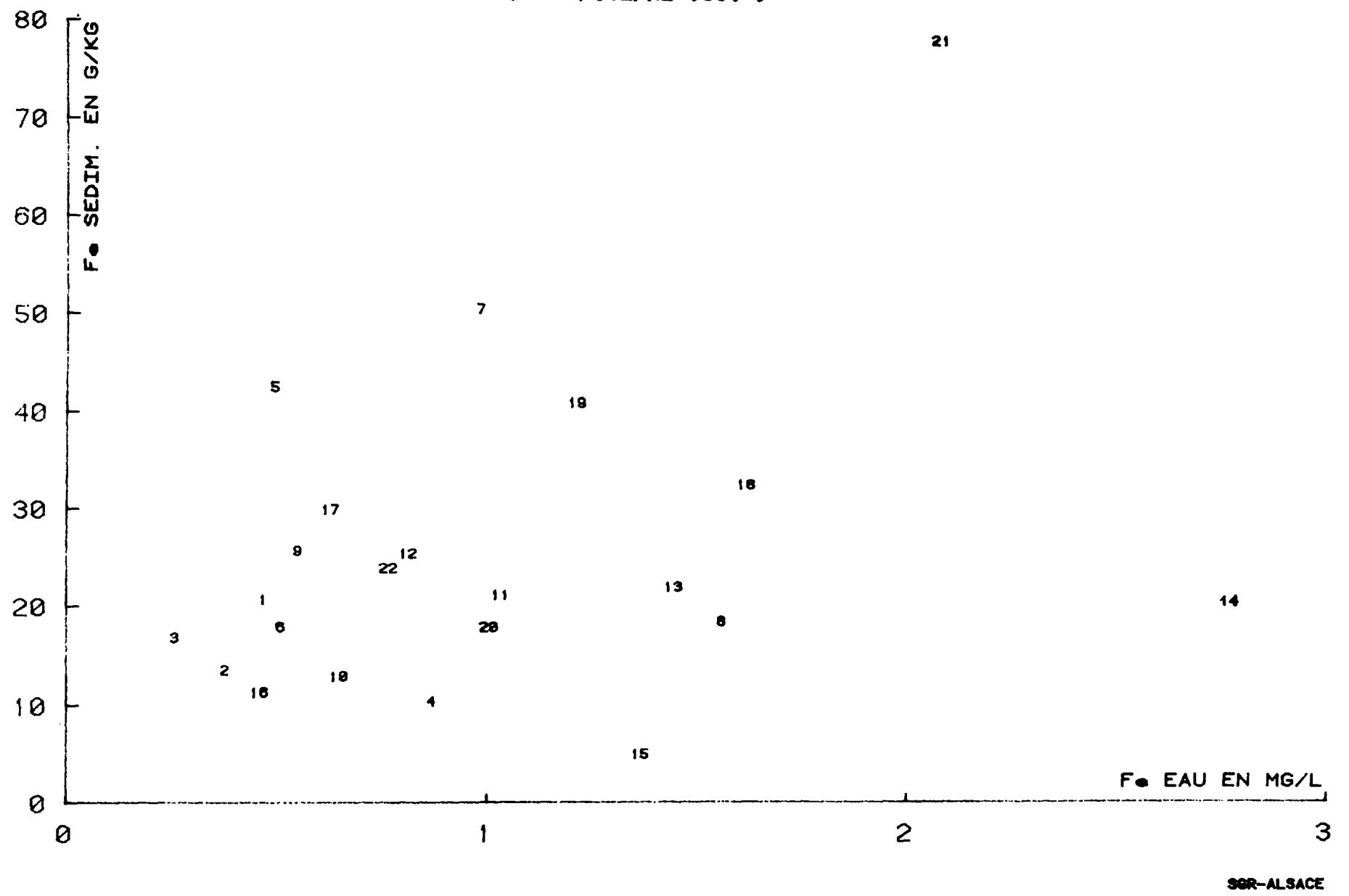


Fig.3.2.a

CORRELATION Fe-EAU/Fe-SEDIMENT

(Fe-EAU : MOYENNE DES DONNEES 76-81)

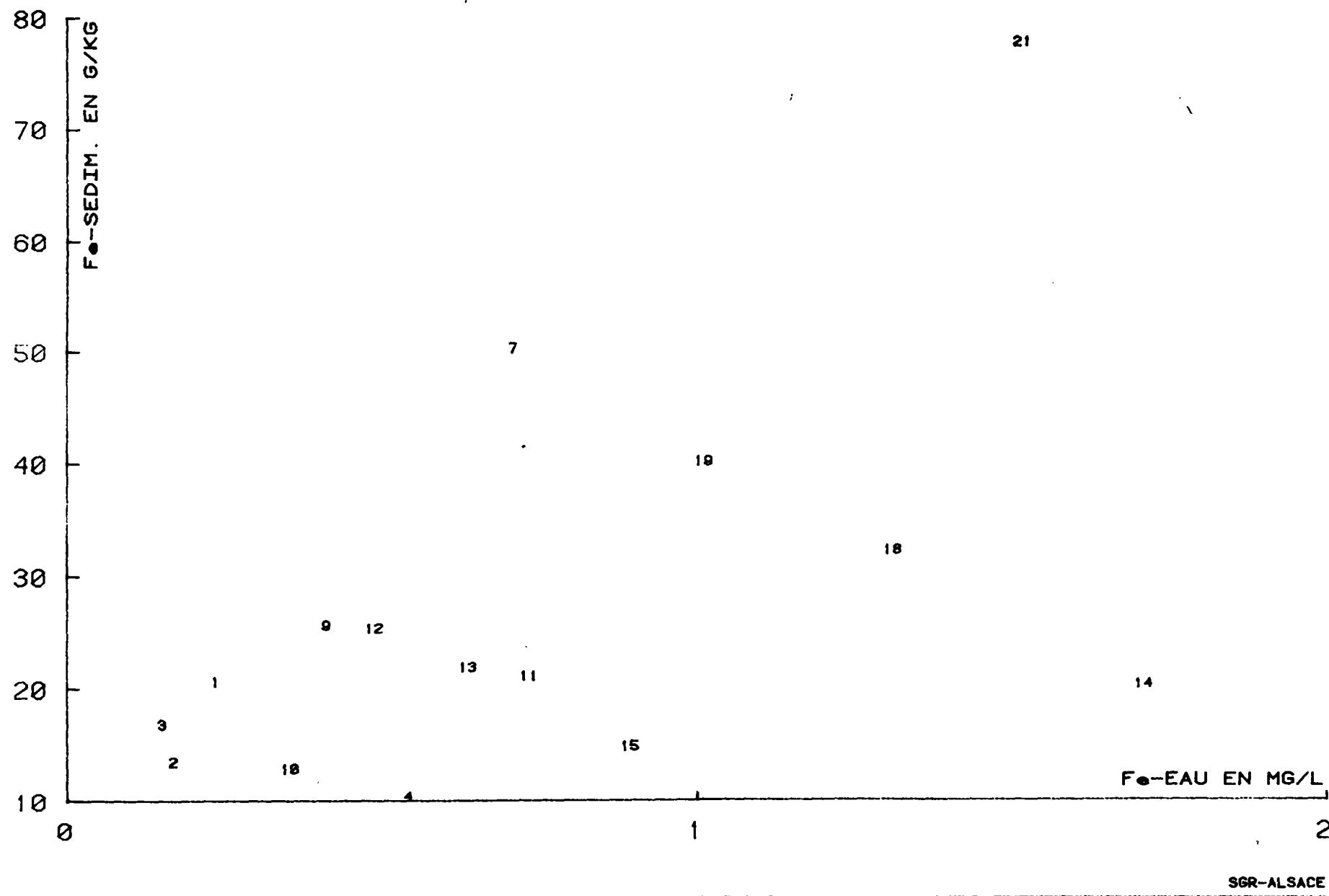


Fig. 3.2.b

CORRELATION Mn-EAU/Mn-SEDIMENT

(Mn-EAU : MOYENNE DE L'ANNEE 81)

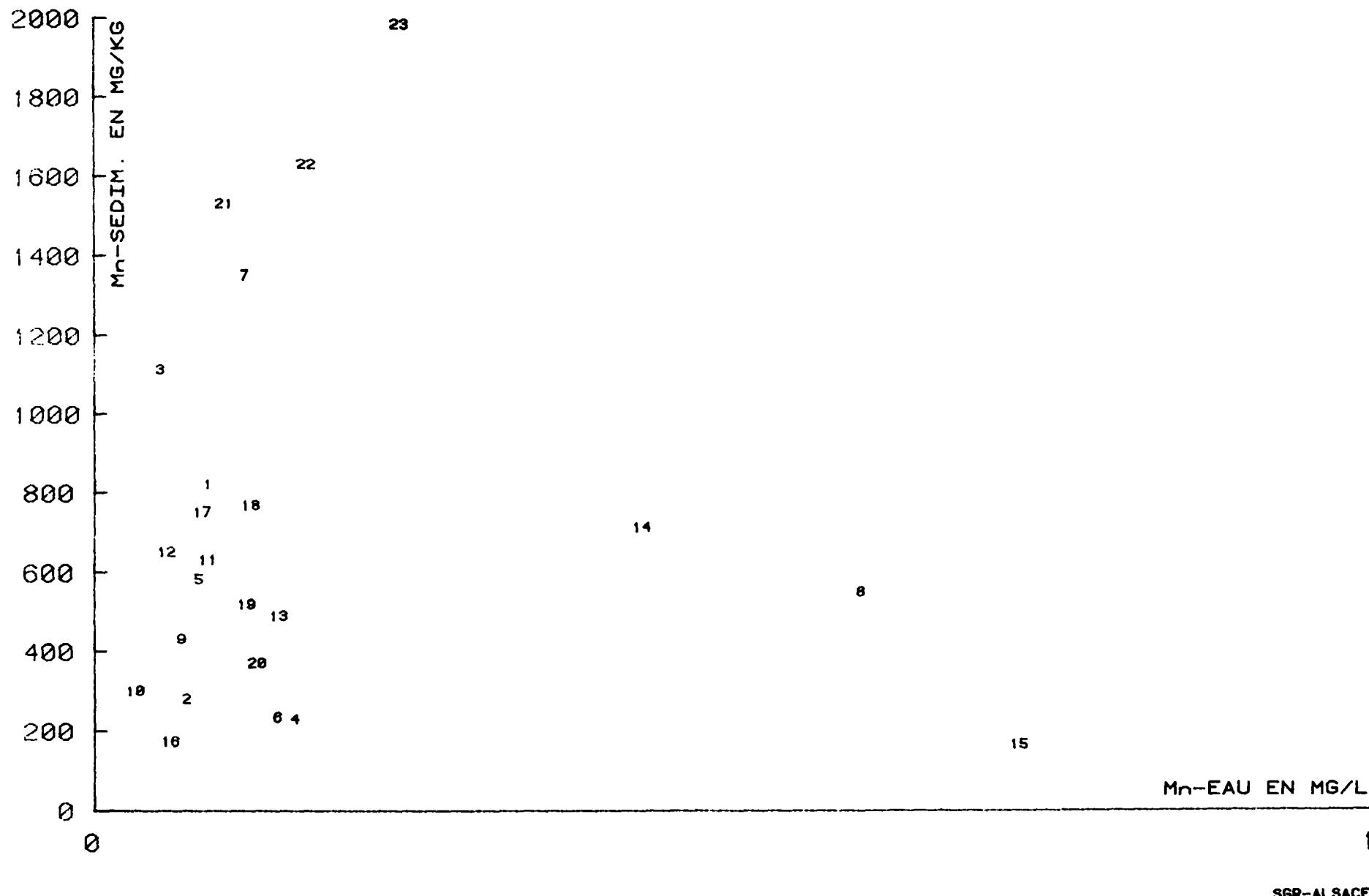
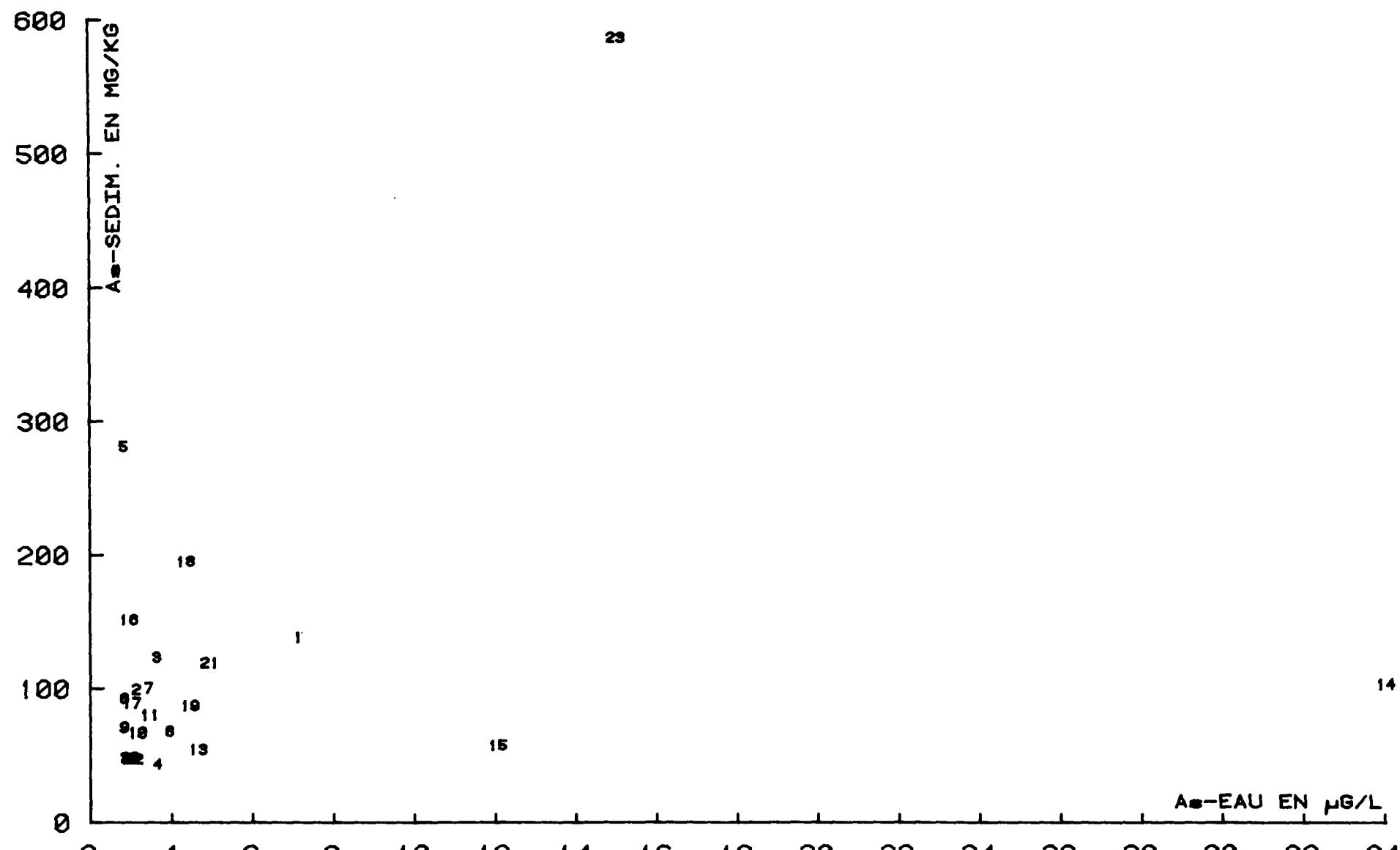


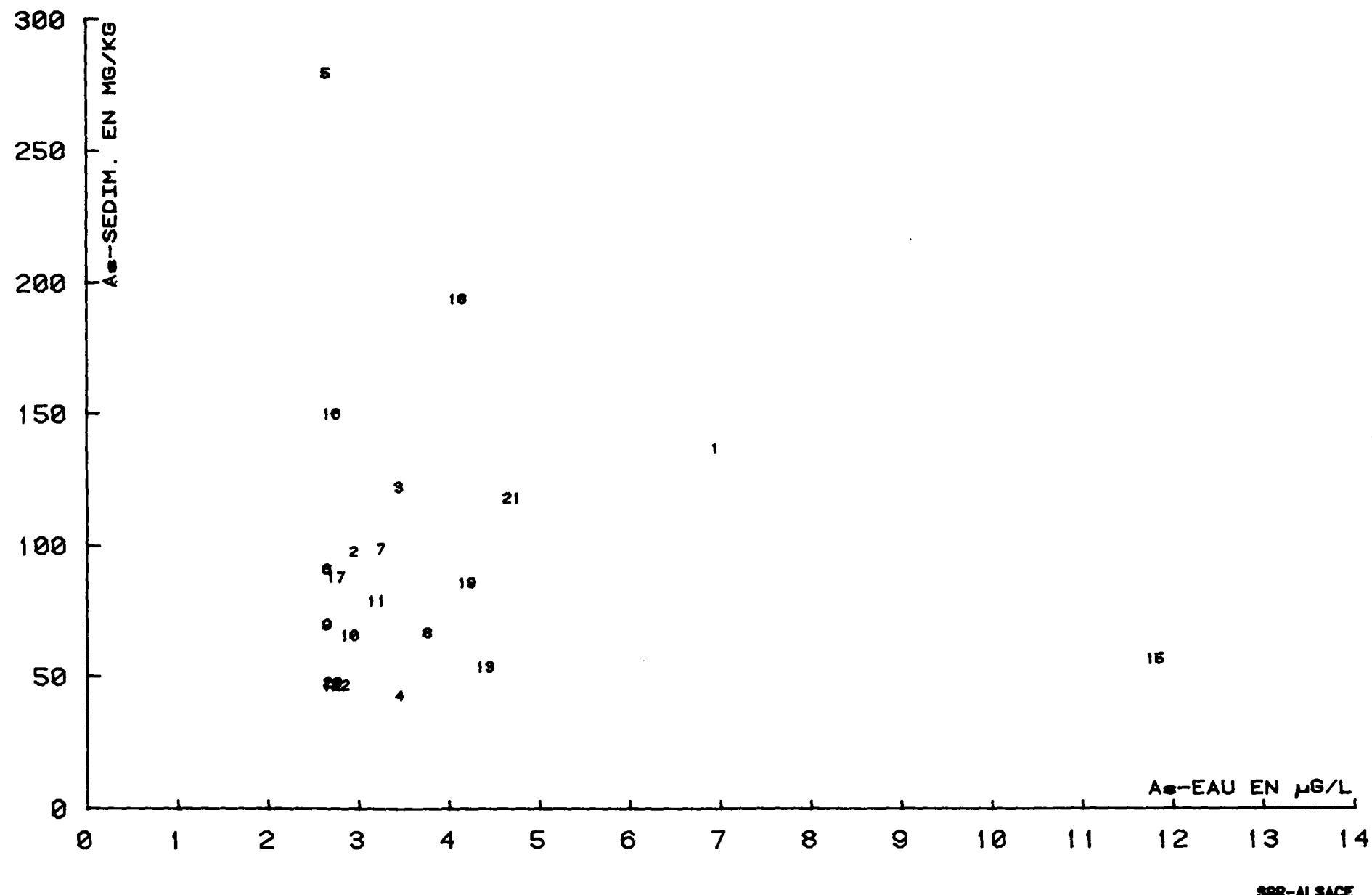
Fig.3.2.c

CORRELATION As-EAU/As-SEDIMENT
(As-EAU : MOYENNE DE L'ANNEE 81)



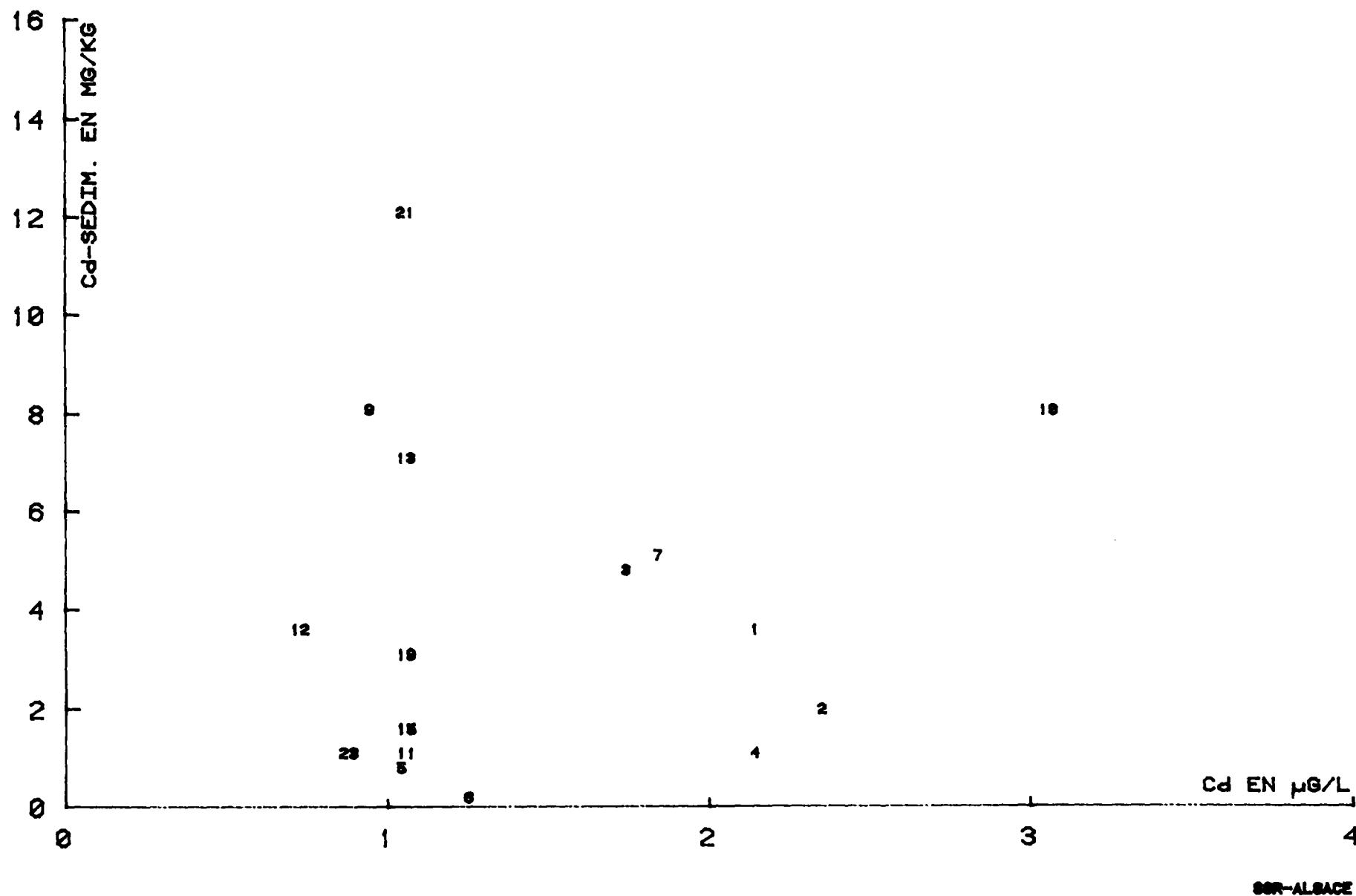
CORRELATION As-EAU/As-SEDIMENT

As-EAU : MOYENNE DE L'ANNEE 81



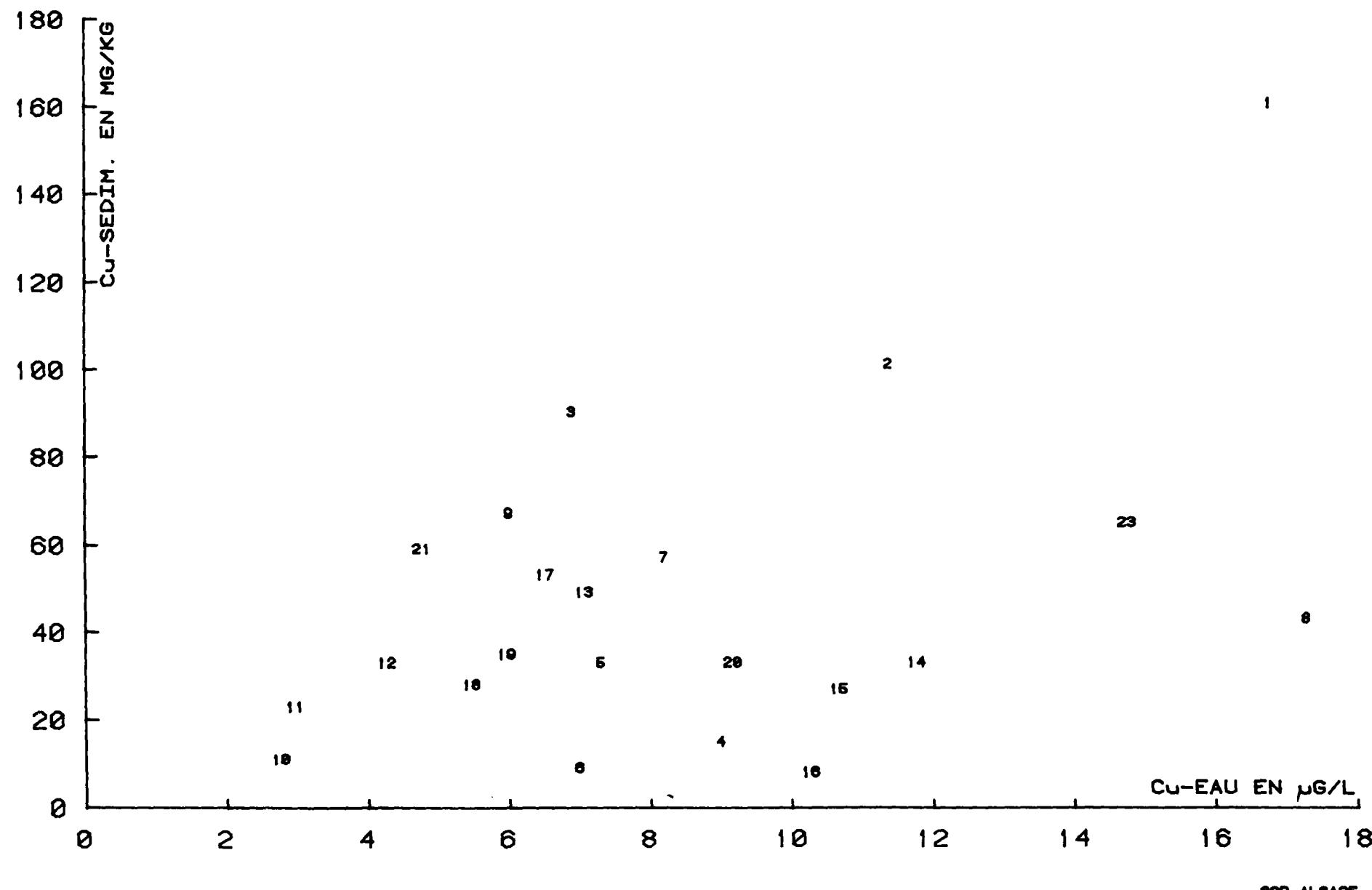
CORRELATION Cd-EAU/Cd-SEDIMENT

< Cd-EAU : MOYENNE 1981 >



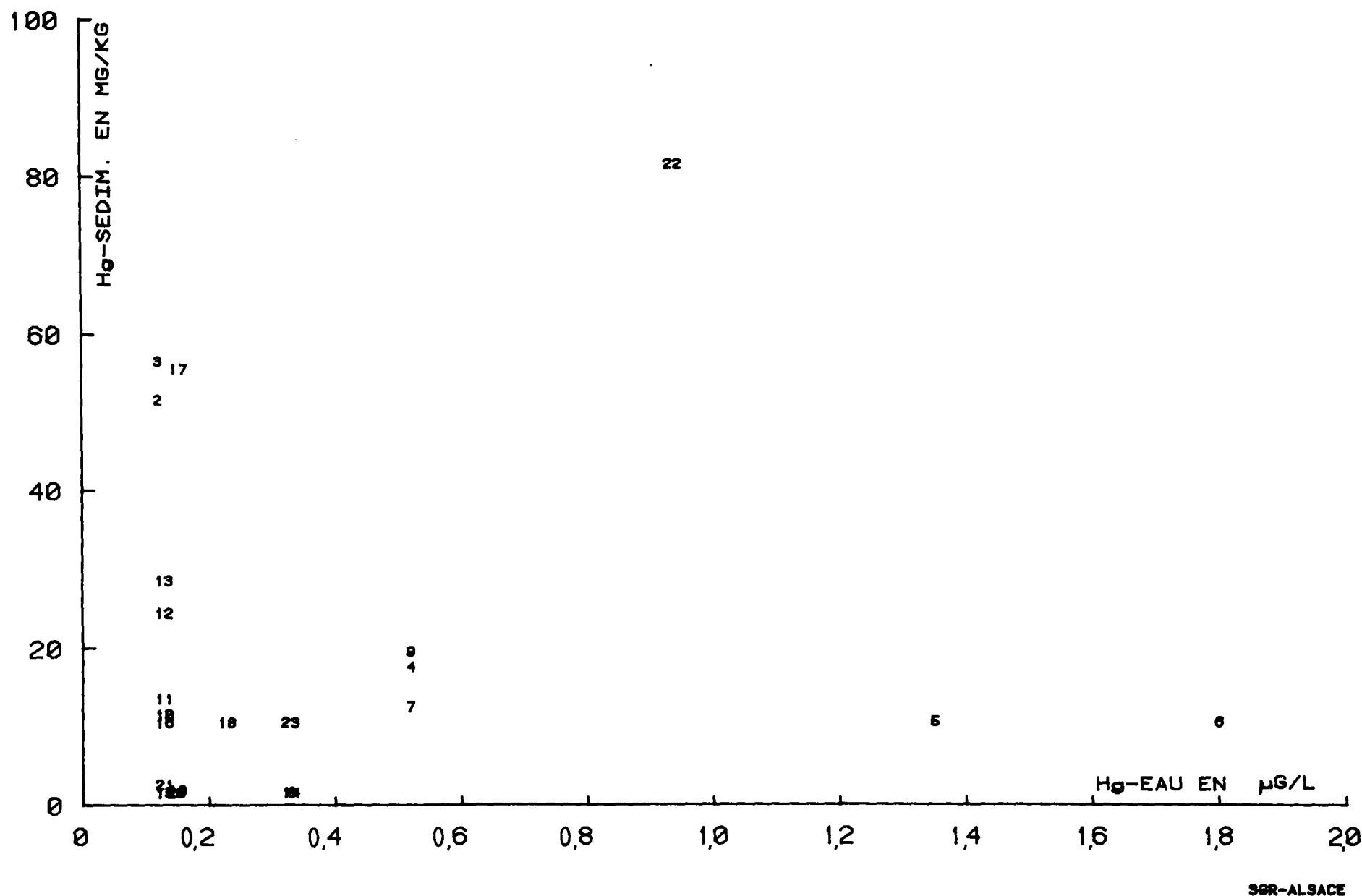
CORRELATION Cu-EAU/Cu-SEDIMENT

(Cu-EAU : MOYENNE DE L'ANNEE 81)



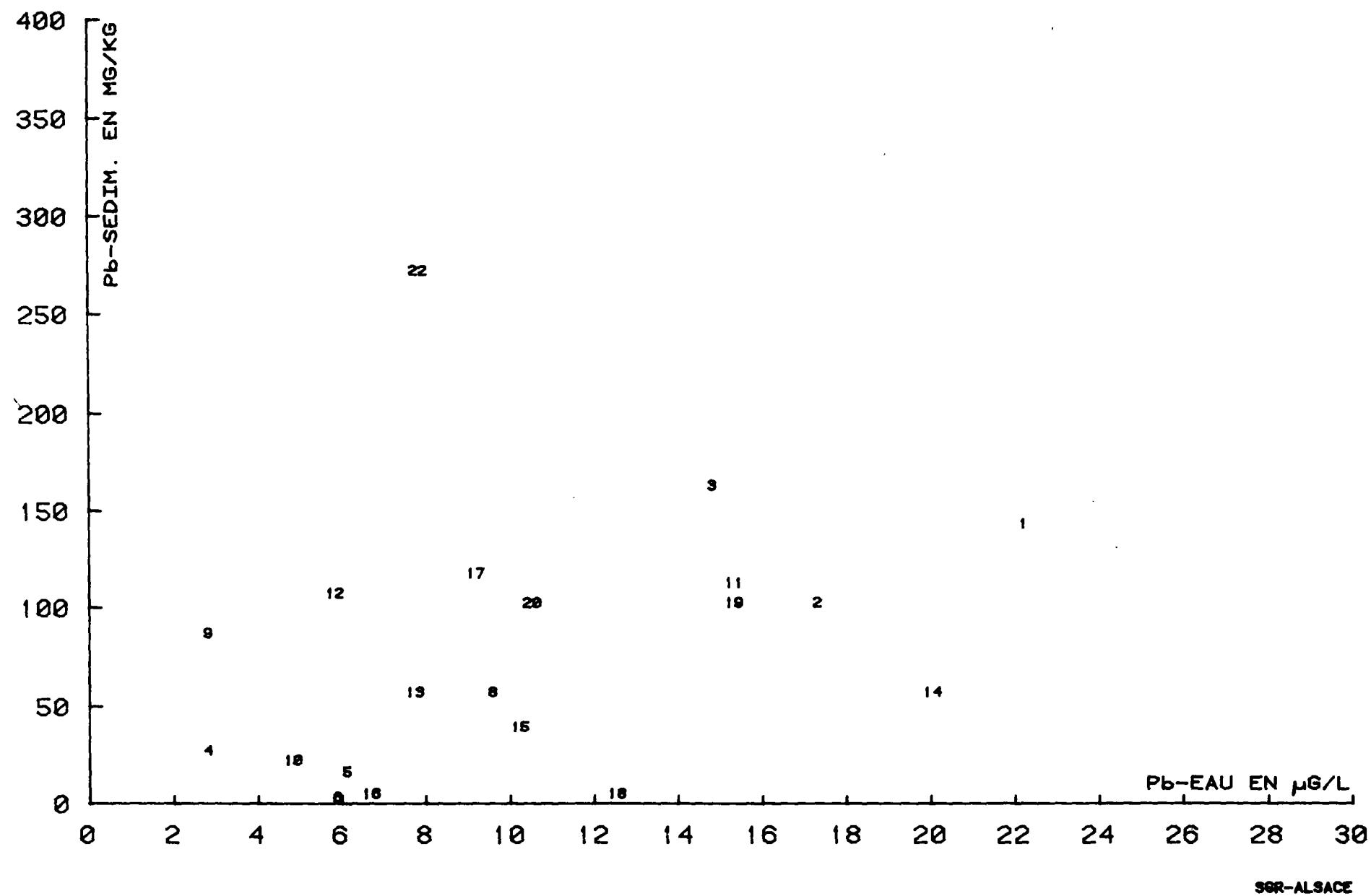
CORRELATION Hg-EAU/Hg-SEDIMENT

CHg-EAU : MOYENNE DE L'ANNEE 81



CORRELATION Pb-EAU/Pb-SEDIMENT

(Pb-EAU : MOYENNE DE L'ANNEE 81)



CORRELATION Zn-EAU/Zn-SEDIMENT

(Zn-EAU : MOYENNE DE L'ANNEE 81)

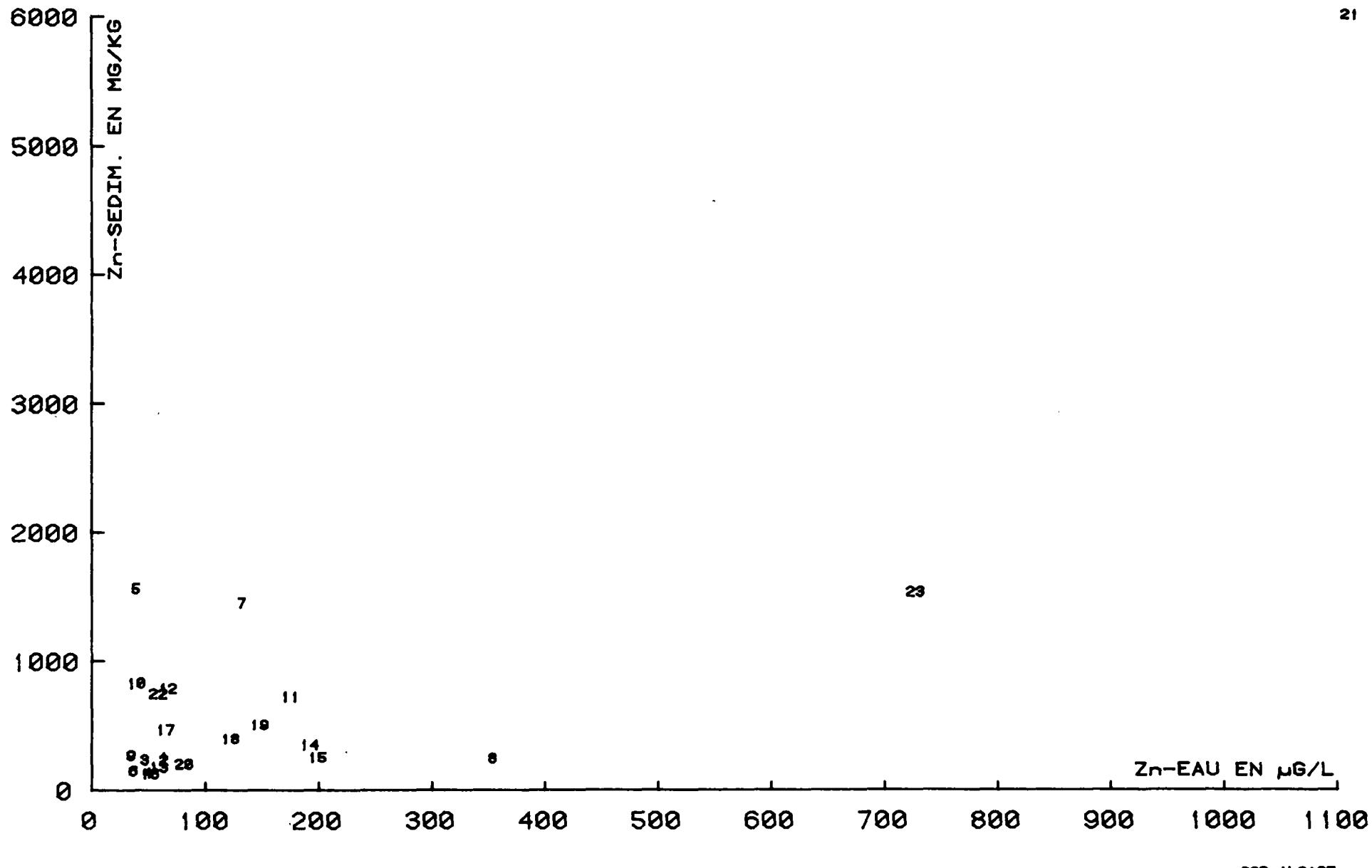
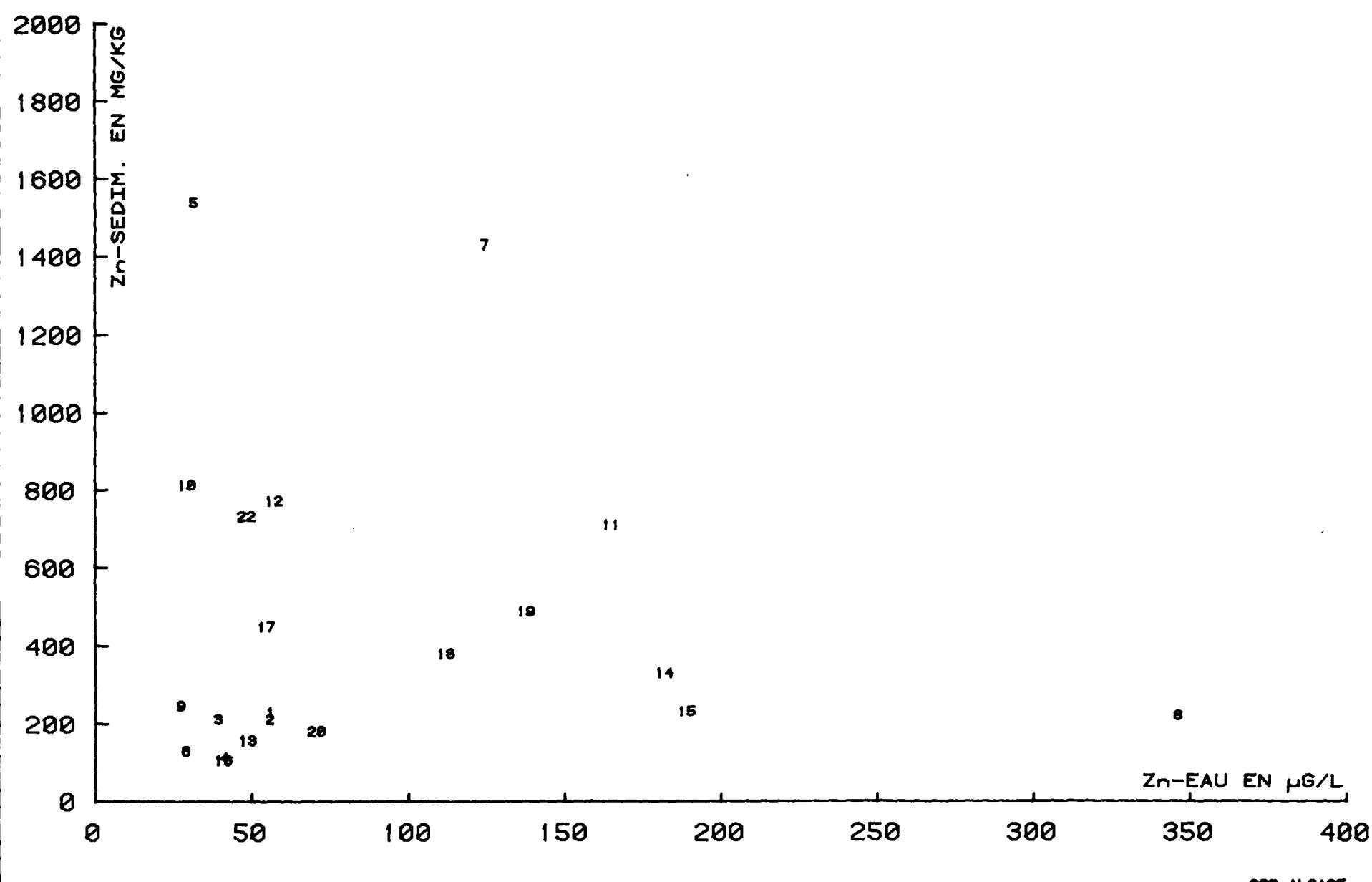


Fig. 3.2.j

CORRELATION Zn-EAU/Zn-SEDIMENT

(Zn-EAU : MOYENNE DE L'ANNEE 81)



Le bassin de la Meuse est assez semblable à celui de l'Ill mais il est souvent plus regroupé au point de vue valeurs, si bien que la tendance est difficile à définir.

Le bassin de la Sarre s'individualise assez nettement par ses fortes teneurs dans l'eau et ses faibles teneurs dans le sédiment. (points 8-13-14-15-22). De plus (si on excepte la Bièvre à Sarrebourg) la teneur sédiment semble constante et indépendante des teneurs eaux (Fer, Arsenic, Cuivre, Plomb, Zinc).

3.2.3. Influence des autres paramètres

- La fraction inférieure à 50 microns

L'analyse un peu plus poussée de ces résultats conduit à la conclusion que des paramètres, tels que le pourcentage de la fraction inférieure à 50 microns, le pourcentage d'insolubles et la perte au feu jouent un rôle important. La fraction inférieure à 50 microns semble avoir une influence sur les résultats. Les métaux lourds se concentrent essentiellement dans les fractions fines, dans les argiles ; lorsque la fraction inférieure à 50 microns est trop faible (< 15 %) les teneurs sédiments sont le plus souvent sous-estimées (fig. 3.2.1, m, n, o,) par rapport aux teneurs eau.

Par contre, lorsque le pourcentage de fines devient supérieur à 15 %, le paramètre perd de son importance et la limite < 50 % / > 50 % est très difficile à établir. (Fig. 3.2.1)

Amélioration des résultats : si on excepte les points très fortement pollués, on obtient :

• pour le fer

$$R(\text{eau, sédiment, 1/fraction} < 50\mu) = 0.47 \\ \text{au lieu de } r(\text{eau, sédiment}) = 0.52$$

• pour le zinc

$$R(\text{eau, sédiment, 1/fraction} < 50\mu) = + 0.46 \\ \text{au lieu de } r(\text{eau, sédiment}) = - 0.06$$

• pour le cuivre

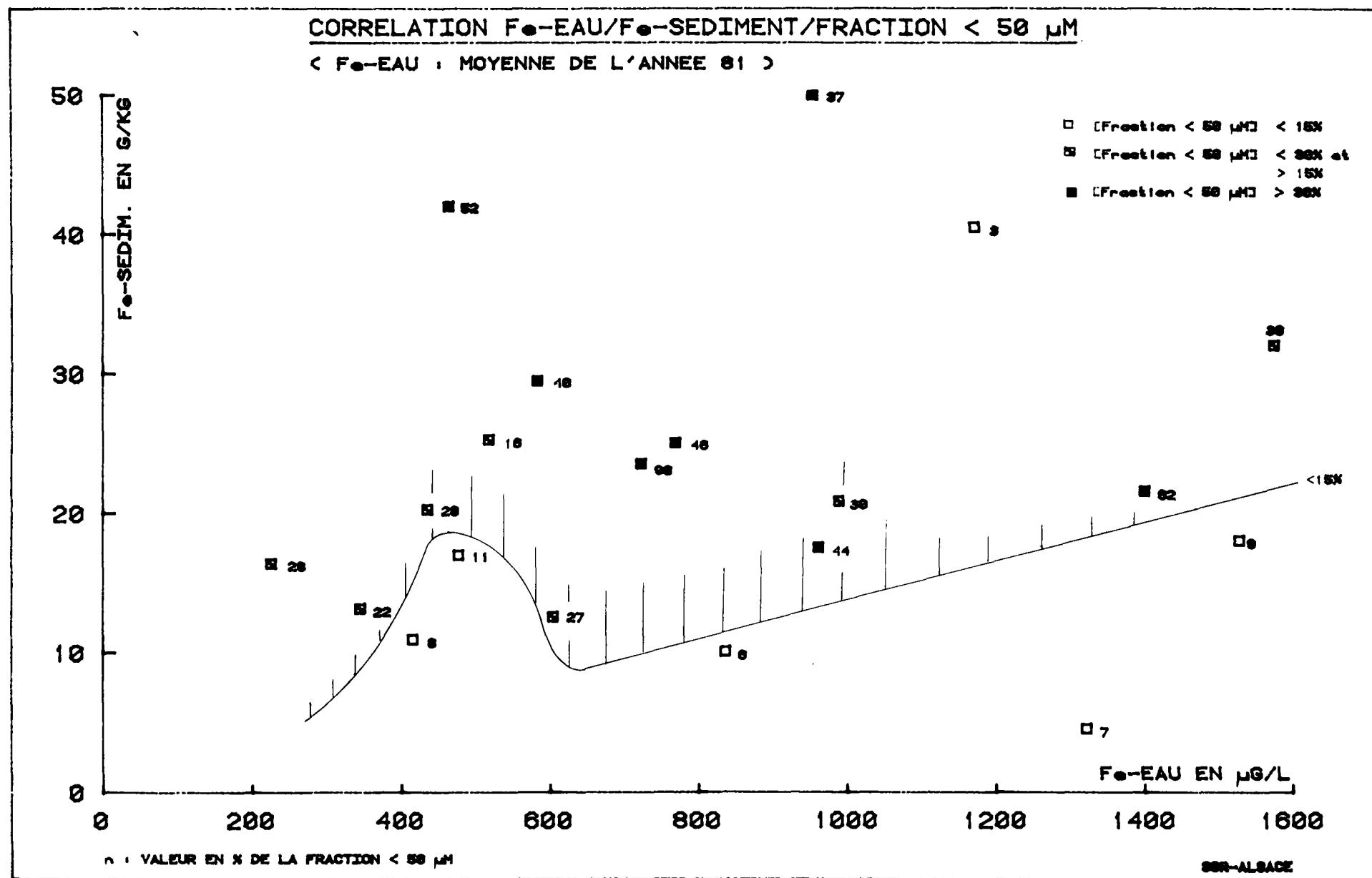
$$R(\text{eau, sédiment, 1/fraction} < 50\mu) = 0.55 \\ \text{au lieu de } r(\text{eau, sédiment}) = 0.46$$

• pour le plomb

$$R(\text{eau, sédiment, 1/fraction} < 50\mu) = 0.59 \\ \text{au lieu de } r(\text{eau, sédiment}) = 0.50$$

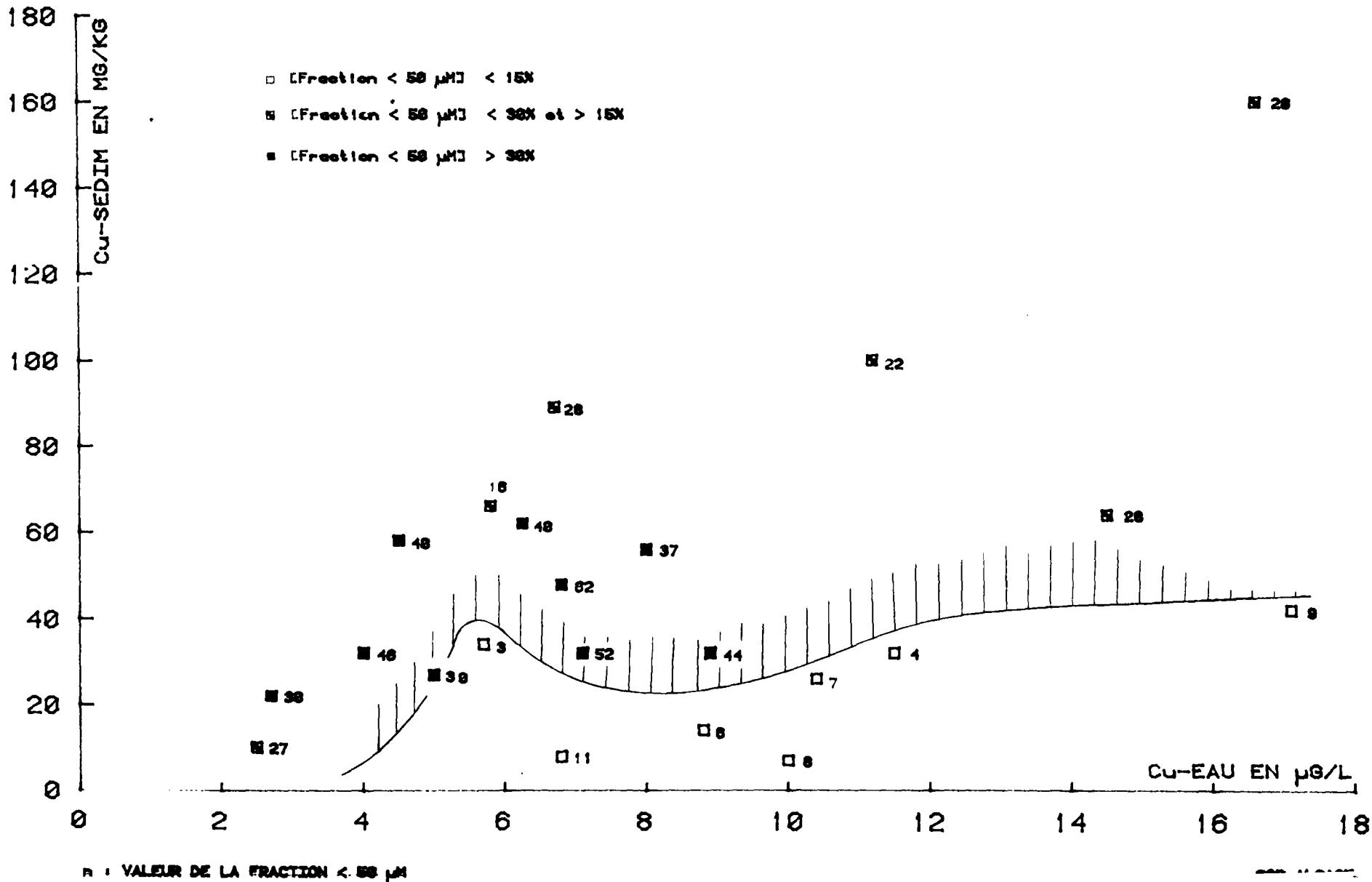
- Les insolubles et la perte au feu

Les insolubles sont des minéraux silicatés, (quartz,...) qui sont en général assez inertes vis à vis des métaux lourds. Ils constituent donc une phase diluante. Aux fortes teneurs en insolubles (> 75 %), on observe bien pour le zinc des teneurs-sédiments faibles par rapport aux teneurs eaux. De même, les faibles teneurs en insolubles (< 50 %) sont regroupées avec de fortes teneurs sédiments (fig. 3.2.f, g,) par rapport aux teneurs eaux.



CORRELATION Cu-EAU/Cu-SEDIMENT/FRACTION < 50 μ M

(Cu-EAU : MOYENNE DE L'ANNEE 1981)



CORRELATION Pb-EAU/Pb-SEDIMENT/FRACTION < 50 μ

(Pb-EAU : MOYENNE DE L'ANNEE 81)

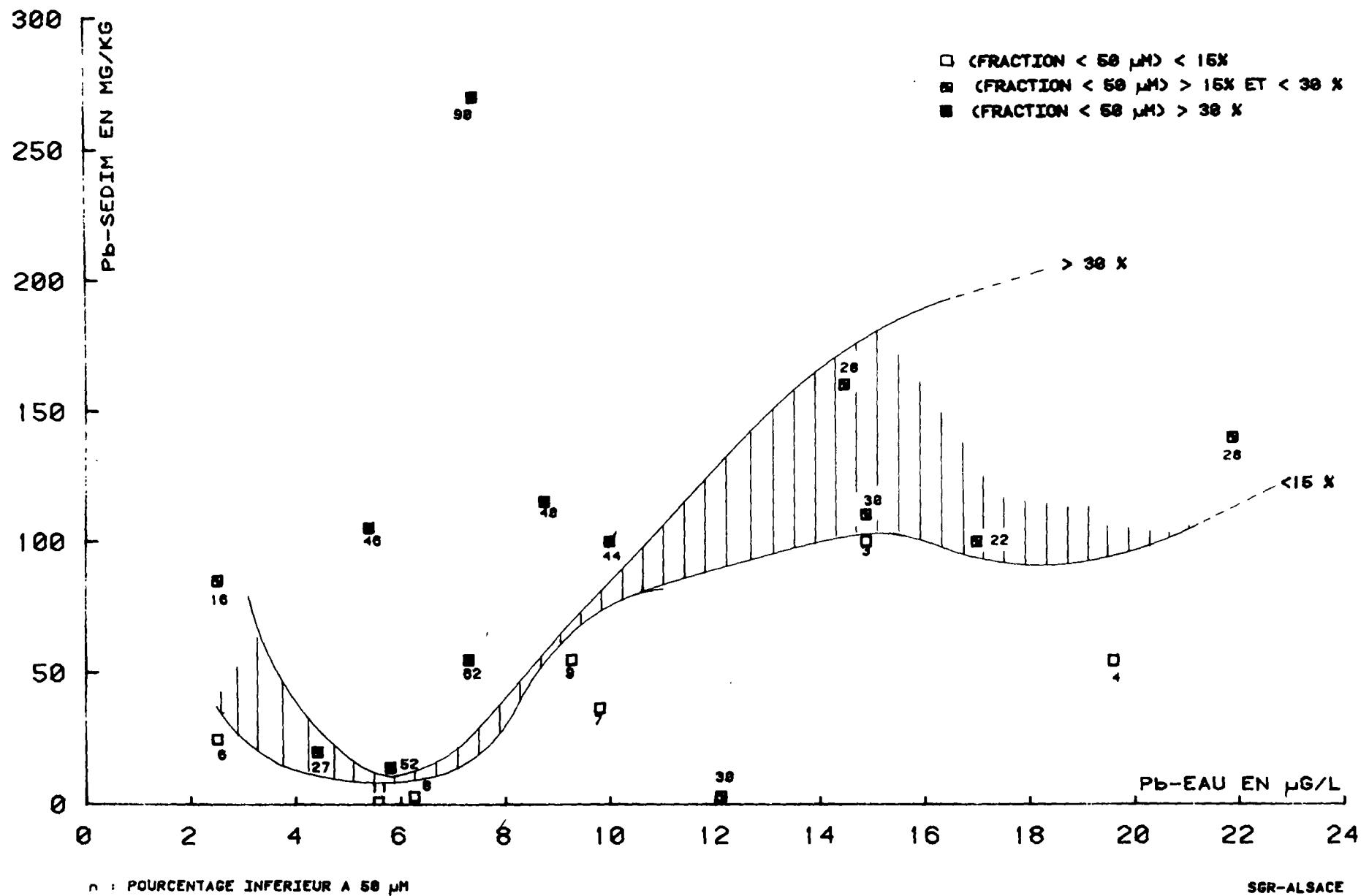
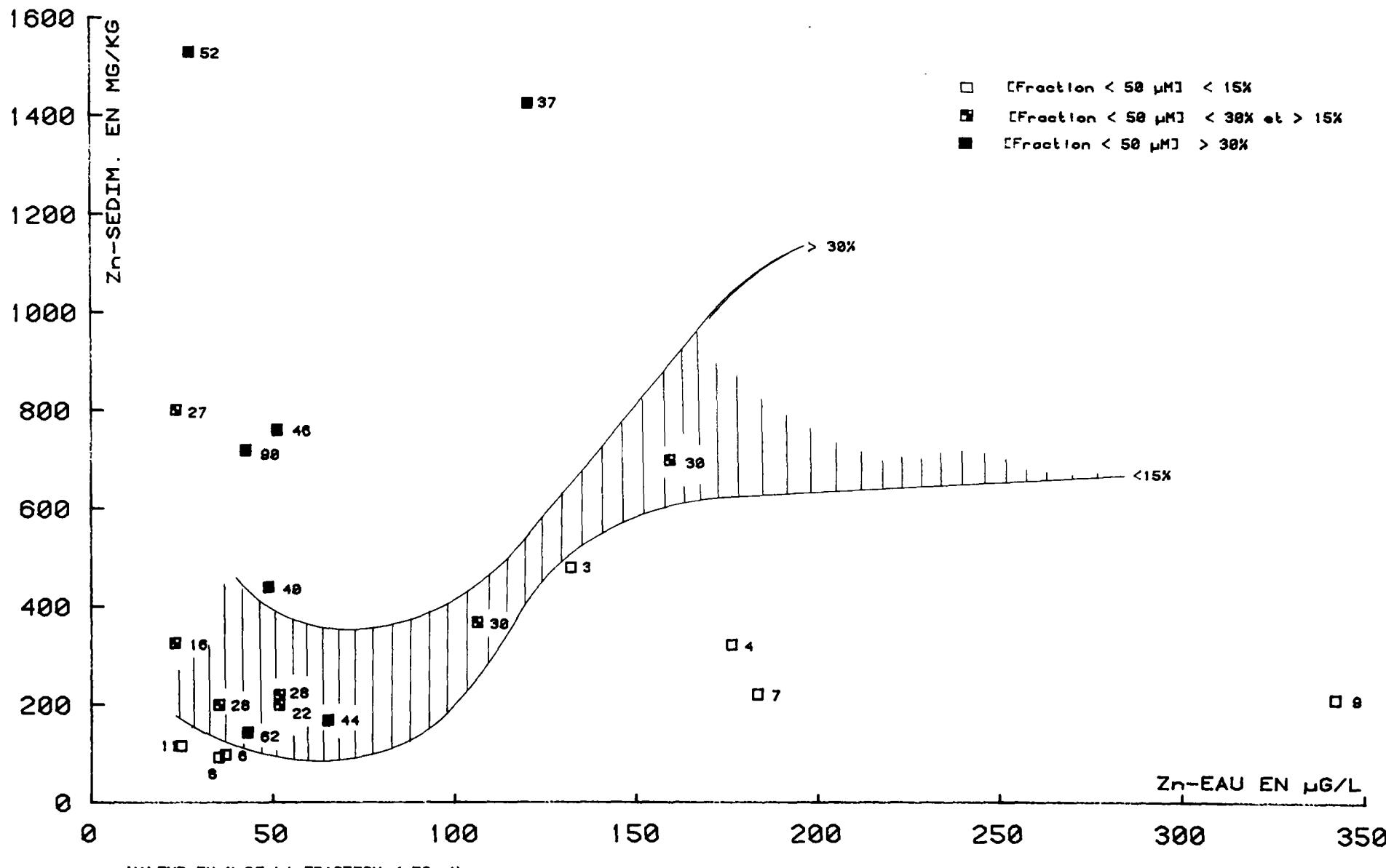


Fig.3.2.n

CORRELATION Zn-EAU/Zn-SEDIMENT/FRACTION < 50 μ M

(Zn-EAU : MOYENNE DE L'ANNEE 81)



CORRELATION Zn-EAU/Zn-SEDIMENT/INSOLUBLES

< Zn-EAU : MOYENNE 81 >

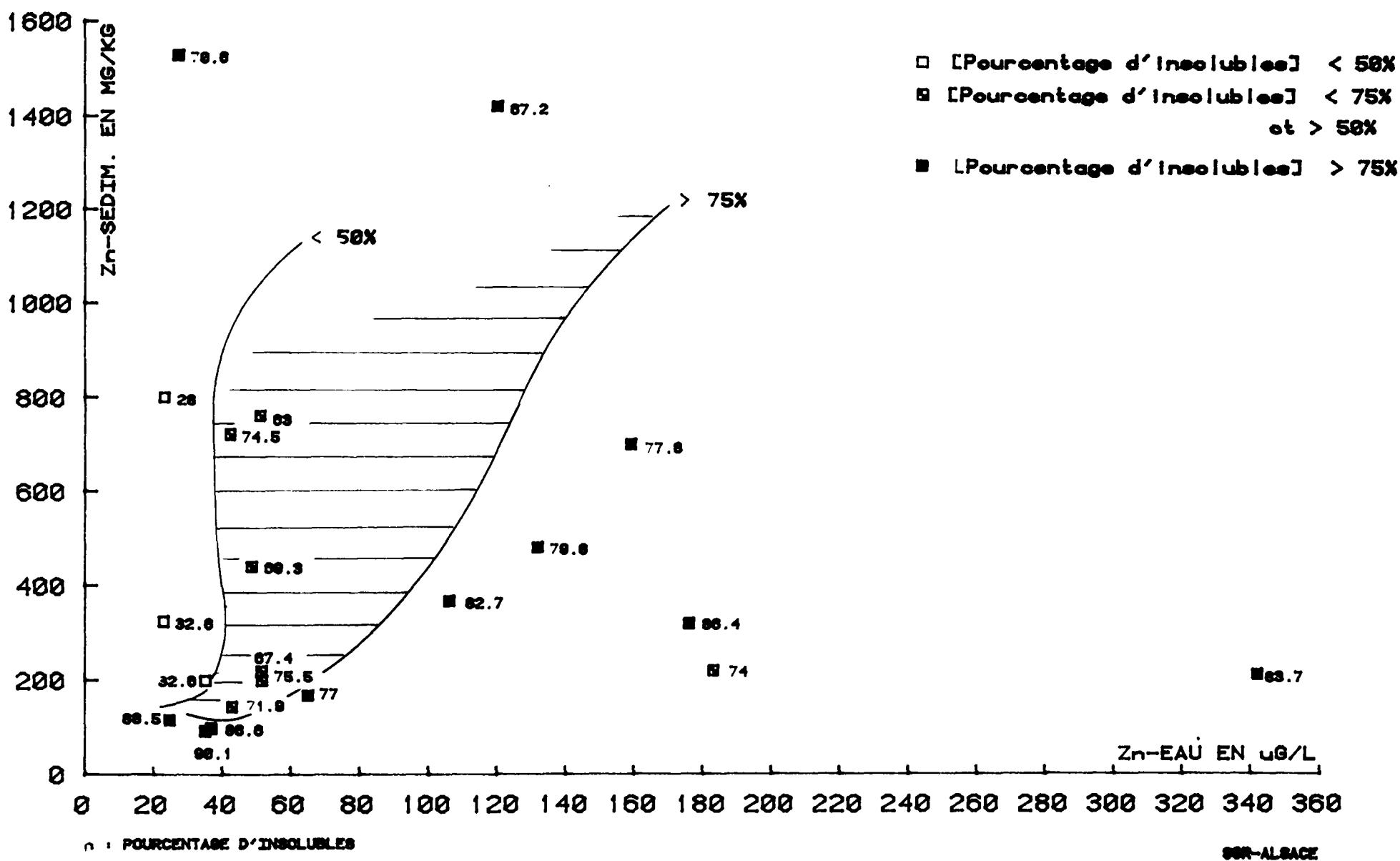


Fig. 3.2.p

CORRELATION Zn-EAU/Zn-SEDIMENT/PERTE AU FEU

< Zn-EAU : MOYENNE 81 >

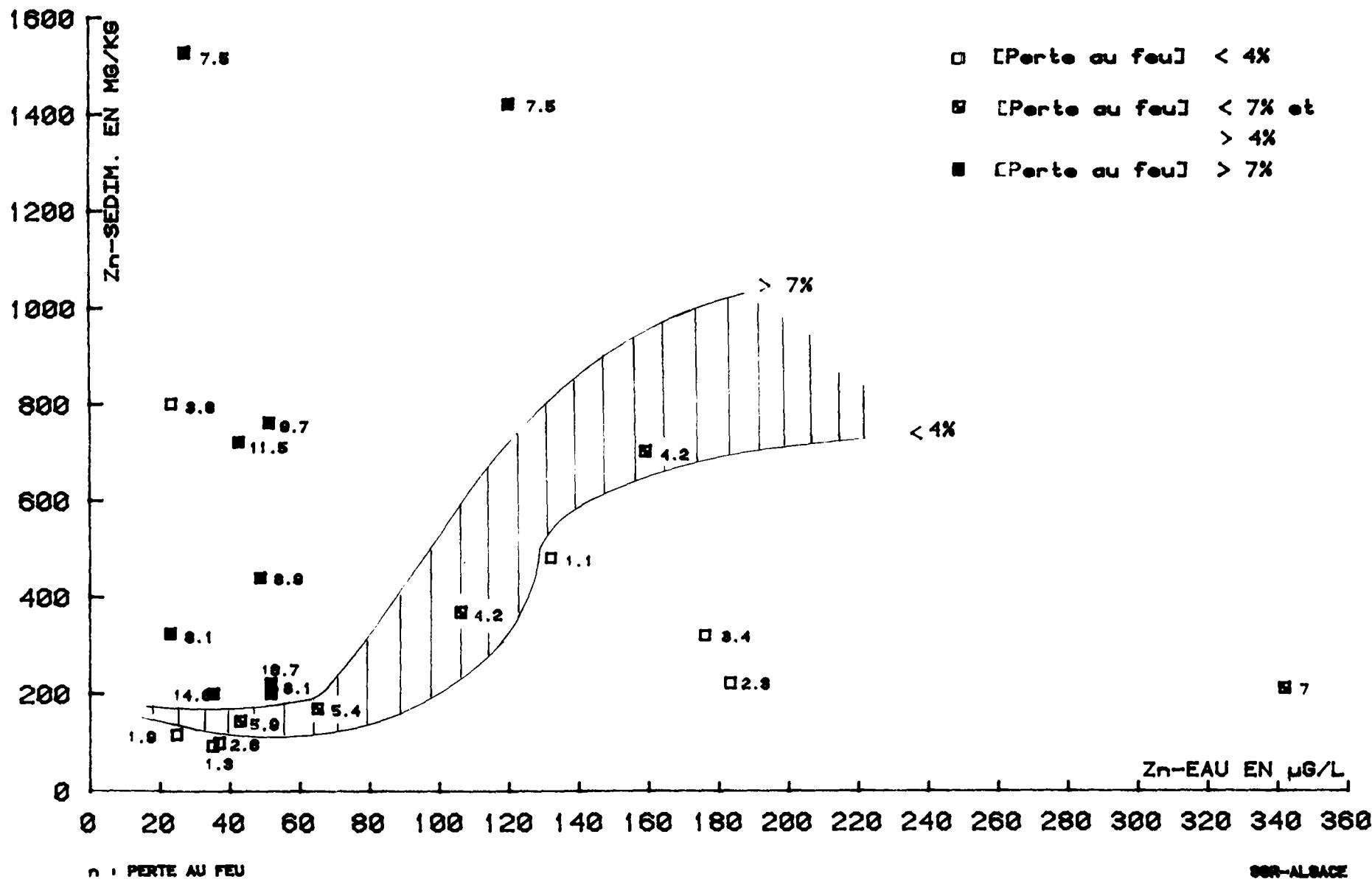


Fig. 3.2.9

Amélioration des résultats pour le zinc.

R (eau, sédiment, insolubles) = 0.44 au lieu de r (eau, sédiment) = 0.06.

Cette amélioration de la corrélation est pratiquement équivalente à celle due à la fraction inférieure à 50 μ . Cela est logique dans la mesure où les deux paramètres sont assez liés par une relation inverse.

La perte au feu caractérise la teneur en matière organique qui est un excellent concentrateur des métaux lourds. Nous avons donc porté sur un graphique Zn eau / Zn sédiment la valeur perte au feu à côté du point : fig. 3.2.q. Pour des pertes au feu inférieures à 4 %, on constate une tendance à des valeurs sédiments sous-estimées par rapport aux valeurs eaux, tandis que pour des pertes au feu supérieures à 7 %, on observe de plus fortes valeurs dans les sédiments. Cependant, ce paramètre semble moins influent que les deux précédents, ce qui est confirmé par le coefficient de corrélation double.

Application des résultats pour le zinc

R (eau, sédiment, 1/perte au feu) = 0,27 au lieu r (eau, sédiment) = -0.06.

3.2.4. Corrélations médiane élément concentration élément dans les sédiments

Les corrélations ont été établies

- pour l'ensemble des valeurs (fig. 3.2.4a à 3.2.4i),
- uniquement pour les valeurs supérieures du seuil de détermination analytique précédemment défini (fig. 3.2.4j à 3.2.4q).

a) ensemble des valeurs

Les graphiques obtenus traduisent une grande dispersion des valeurs. Aucune relation eau sédiment ne peut être dégagée si ce n'est une tendance à la linéarité dans le cas de l'arsenic, du cuivre et du manganèse au-delà de 20, 80 et 800 mg/kg. Deux stations se démarquent sur les graphiques :

- la station 1 : l'Ill à Oberhergheim pour le mercure et d'un degré inférieur pour le cuivre
- la station 21: l'Orne à Richemont qui est nettement en dehors de l'épure en ce qui concerne le plomb et le zinc.

Tant pour les sédiments que pour les eaux superficielles, ces stations présentent un indice moyen de pollution en métaux lourds supérieur à 3 (cf. § 4.4.).

b) valeurs supérieures au seuil de la détermination analytique

Les graphiques obtenus traduisent toujours une grande dispersion des valeurs. On continue d'observer une tendance à la linéarité pour l'arsenic, le cuivre et le manganèse au-delà des valeurs indiquées dans le paragraphe ci-dessus. En plus de ces éléments, le cadmium semble, lui aussi, marquer une tendance à la linéarité au-delà de 4 mg/kg.

La station 21, l'Orne à Richemont subsiste en tant que point particulier. Elle est nettement en dehors de l'épure en ce qui concerne la représentation du plomb et du zinc.

- Conclusions

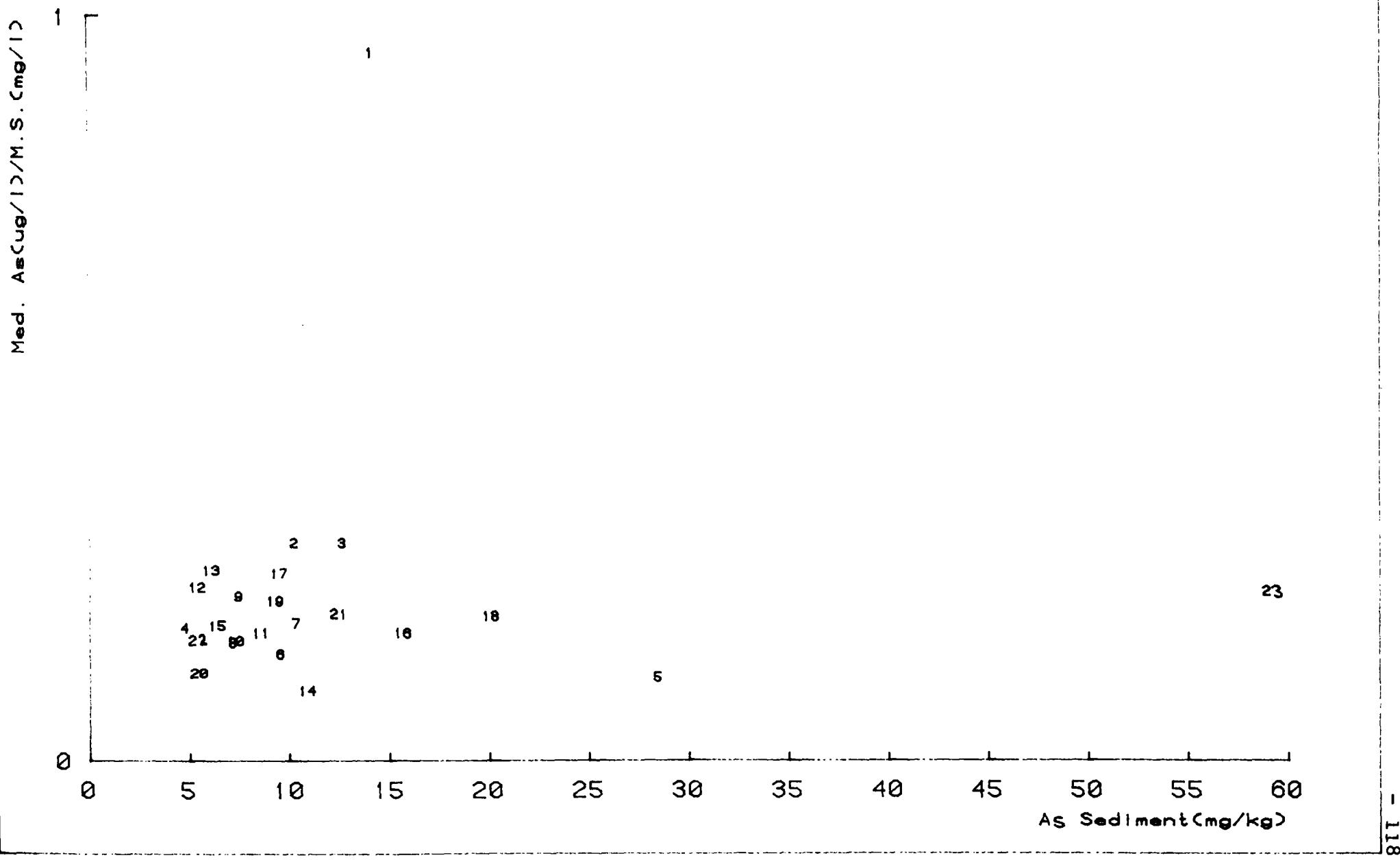
Les corrélations teneurs eaux - teneurs sédiments sont mauvaises pour valeurs brutes. Cependant, il existe une tendance plus ou moins nette à la corrélation positive.

La prise en compte des paramètres du sédiment explique mieux la relation entre eau et sédiment. Une correction due aux paramètres du sédiment semble donc nécessaire.

Cependant, ces corrélations n'expliquent pas tout et il existe peu de coefficients de corrélation même corrigés qui soient supérieurs à 0.5 (en faisant abstraction des points très pollués).

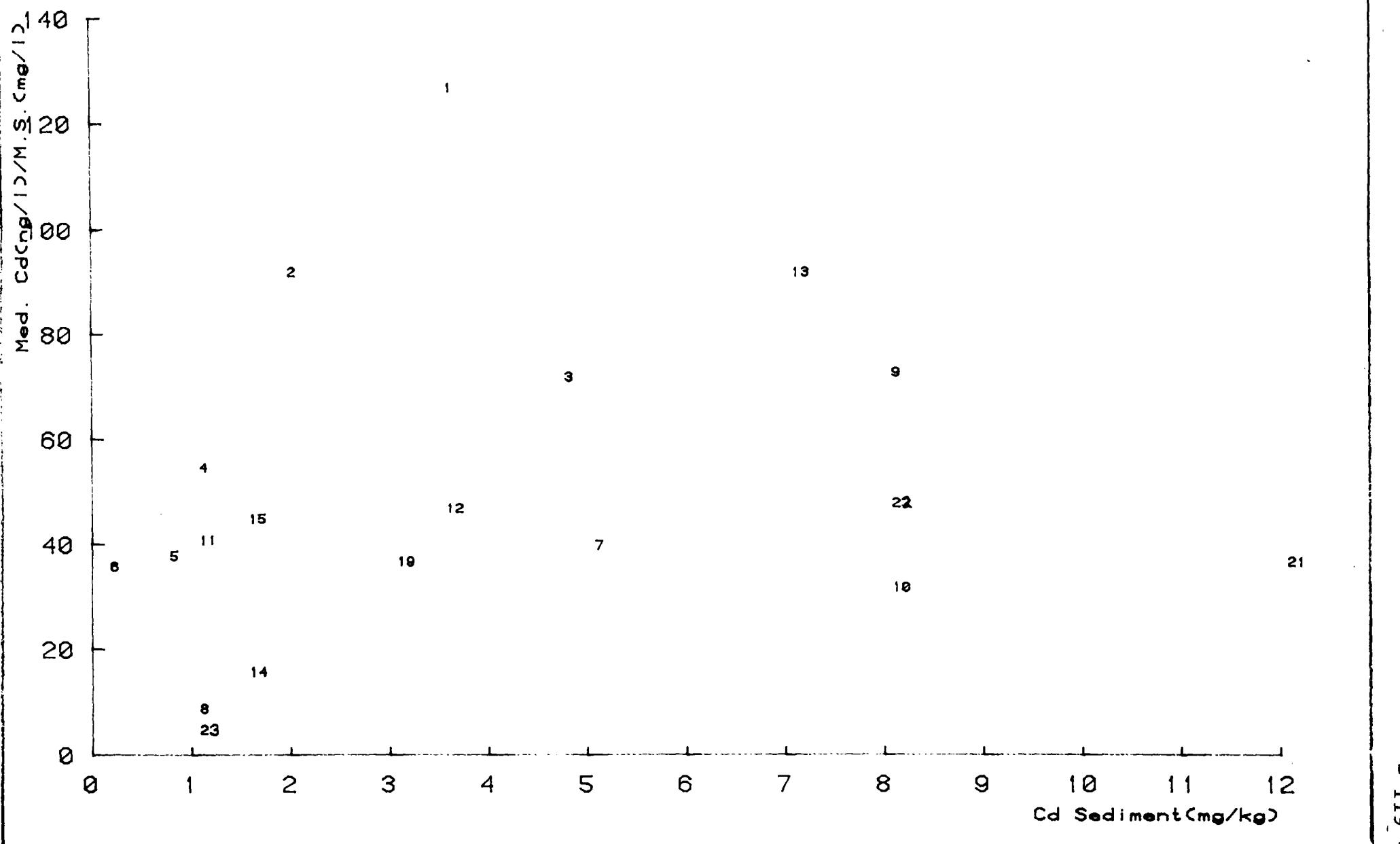
CORRELATION Med. As/M.S. / As (sediments)

Periode 1976-1981 (serie complete)



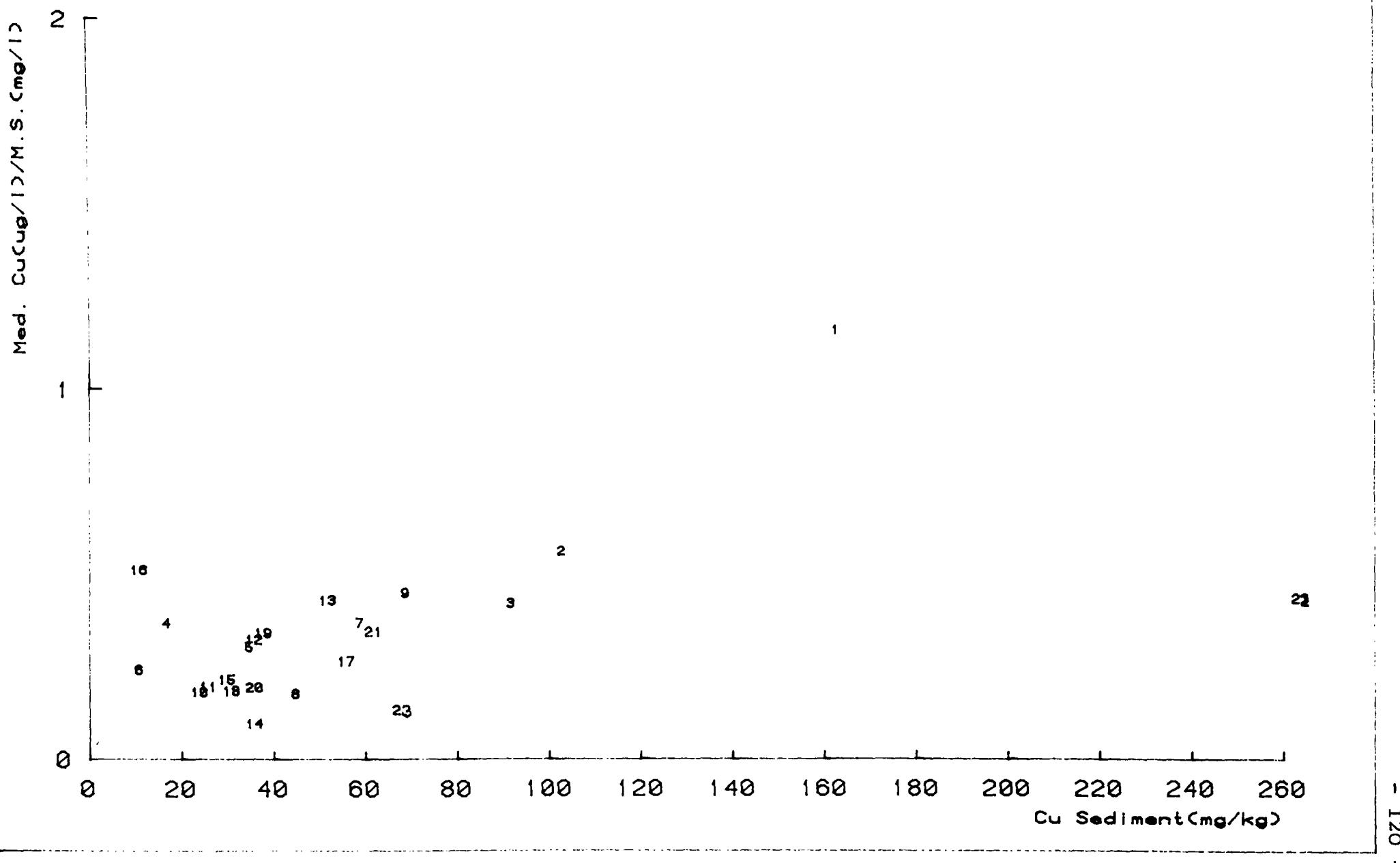
CORRELATION Med. Cd/M.S. / Cd (sediments)

Periode 1976-1981 (serie complete)



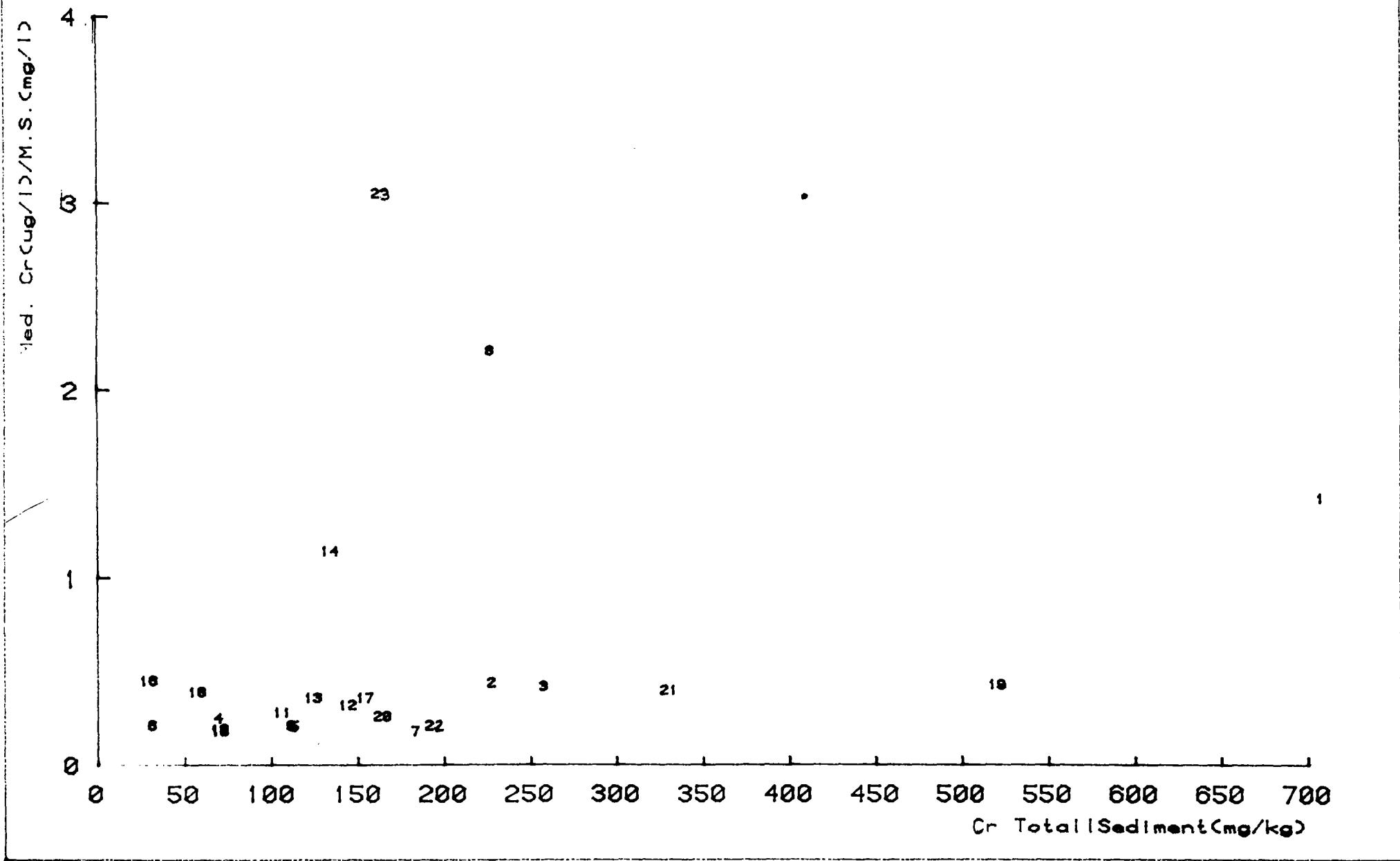
CORRELATION Med. Cu/M.S. / Cu (sediments)

Periode 1976-1981 (serie complète)



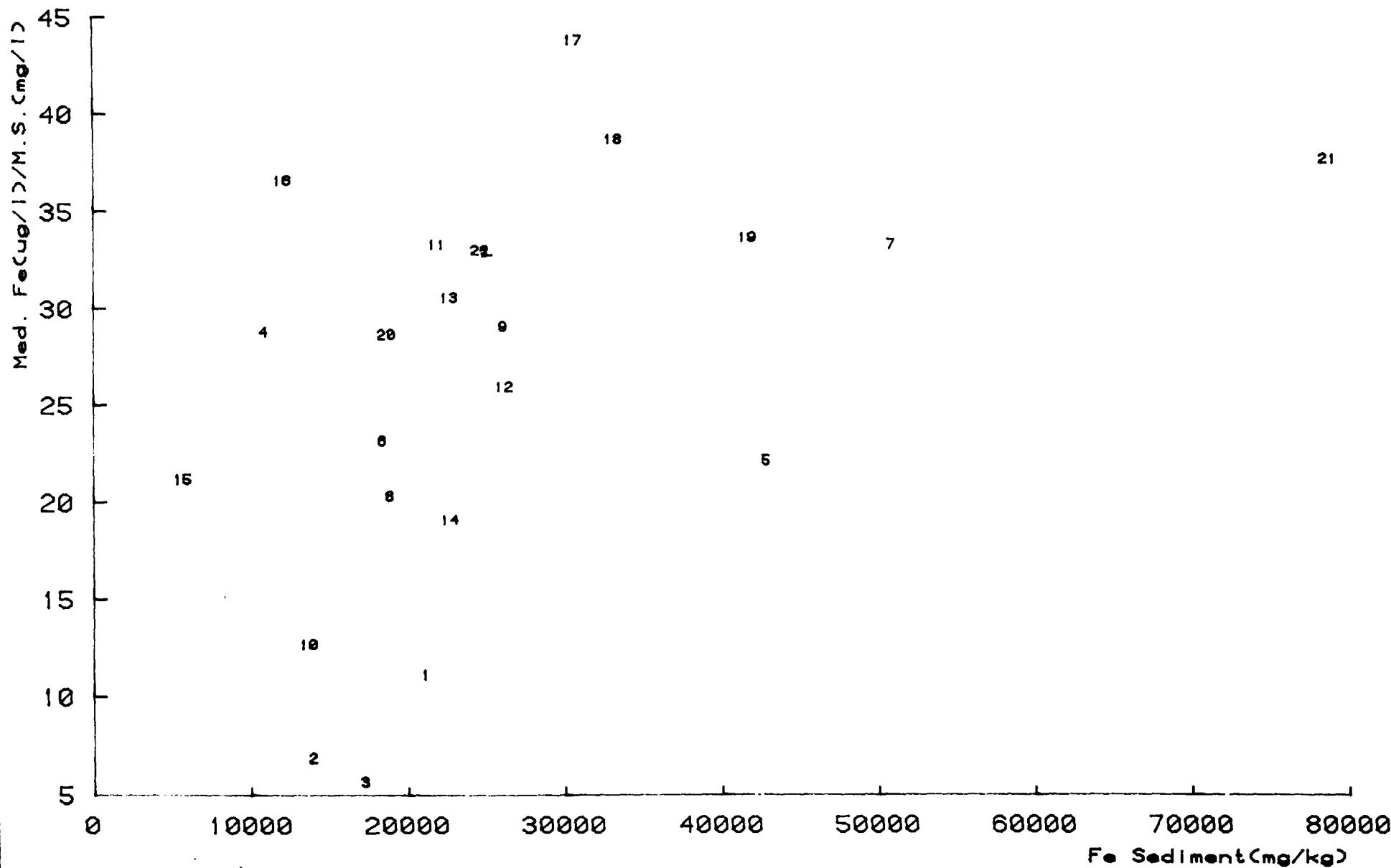
CORRELATION Med.Cr Total/M.S. / Cr Total(sediments)

Periode 1976-1981 (serie complète)



CORRELATION Med. Fe/M.S. / Fe(sediments)

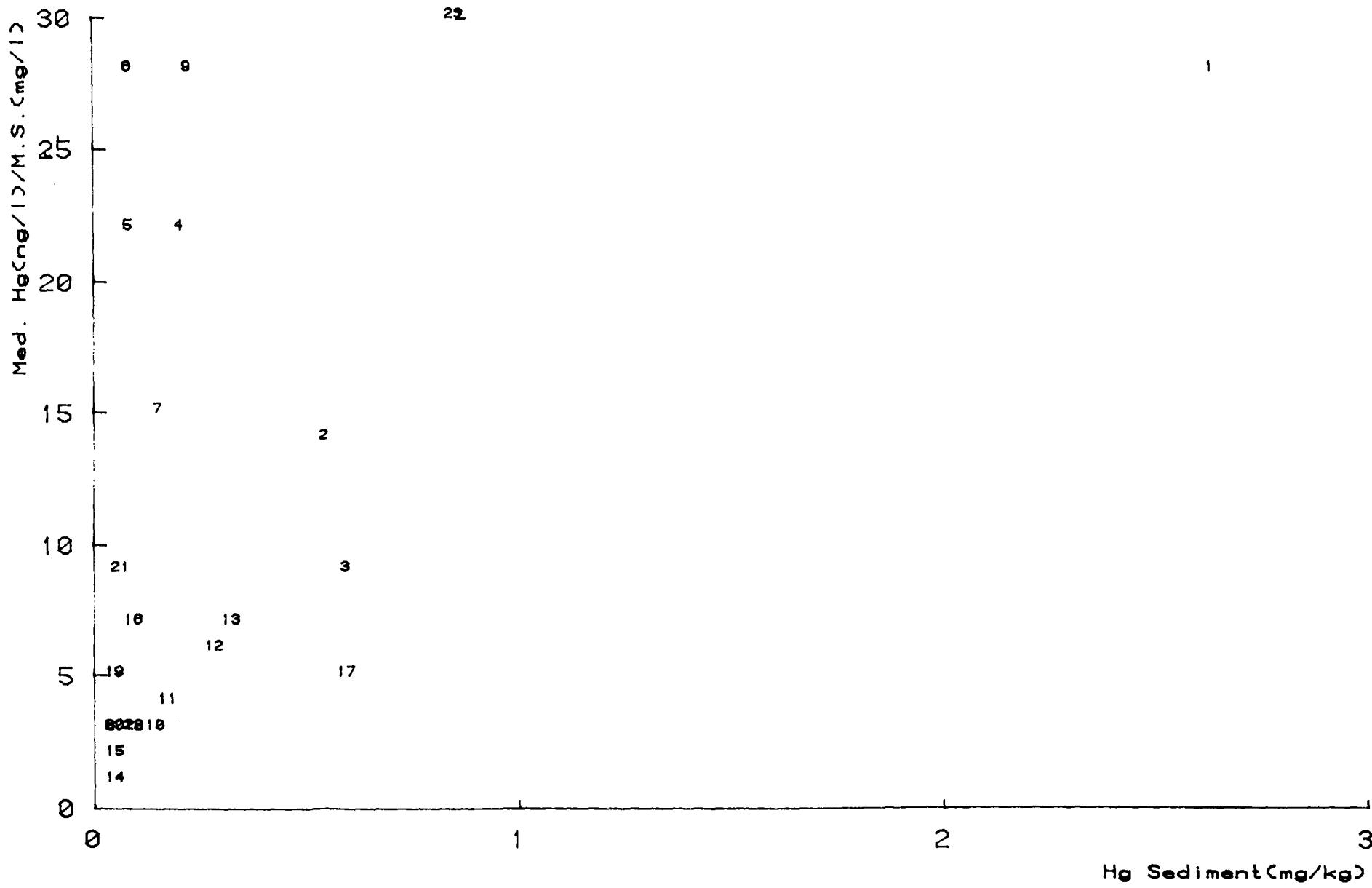
Periode 1976-1981 (serie complète)



CORRELATION Med. Hg/M.S. / Hg (Sediments)

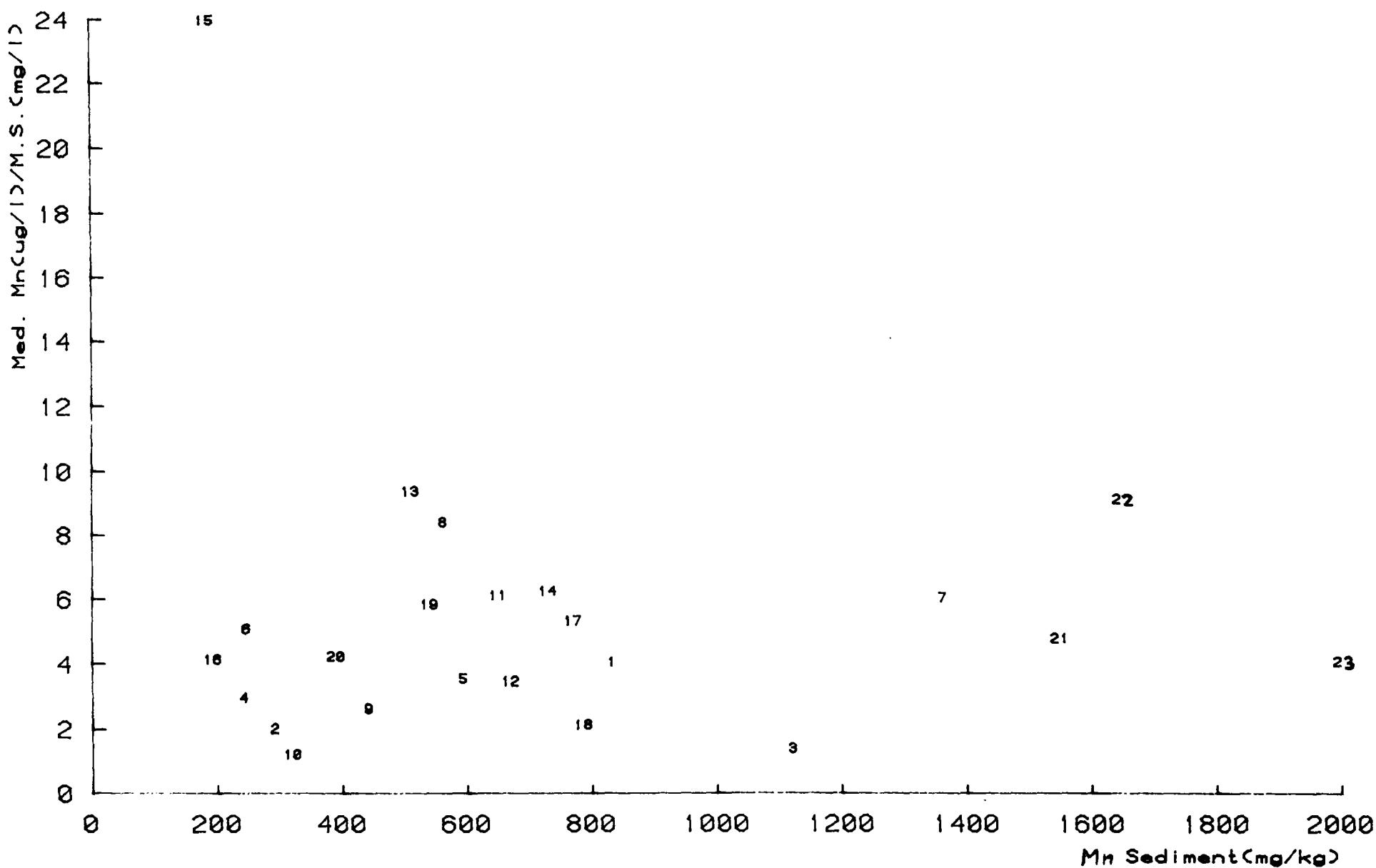
Periode 1976-1981 (serie complete)

22



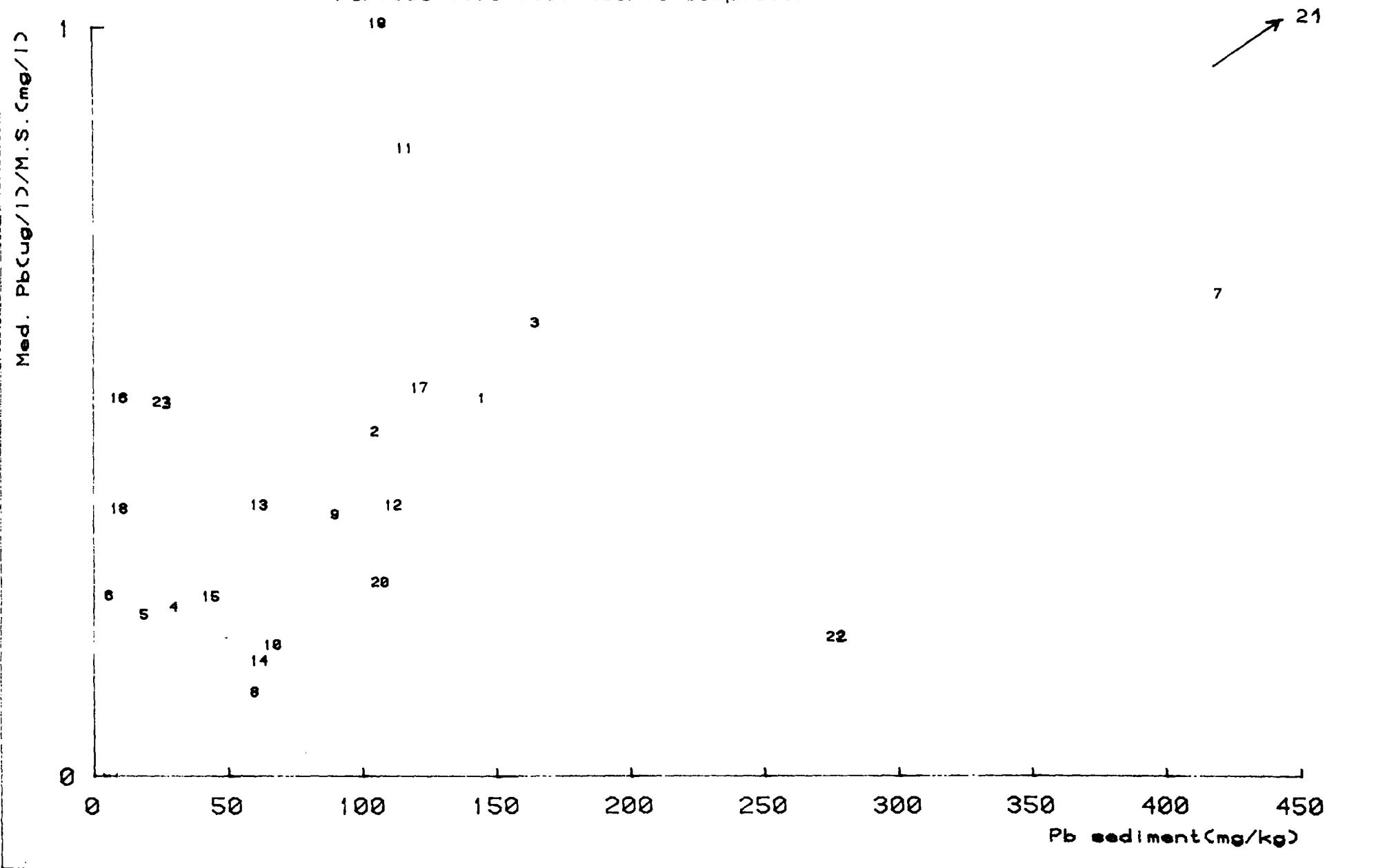
CORRELATION Med. Mn/M.S. / Mn (sediments)

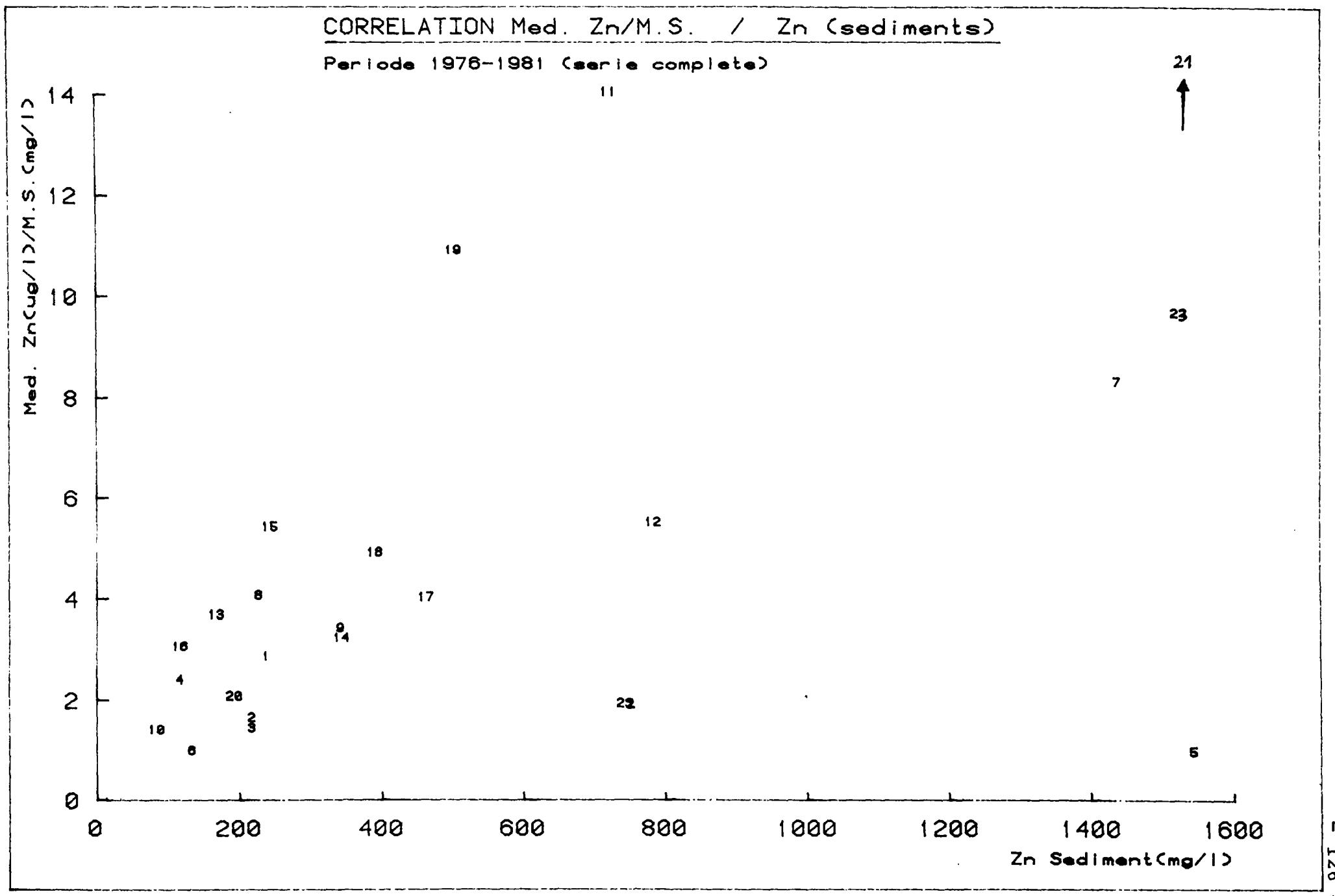
Periode 1976-1981 (serie complete)



CORRELATION Med. Pb/M.S. / Pb (sediments)

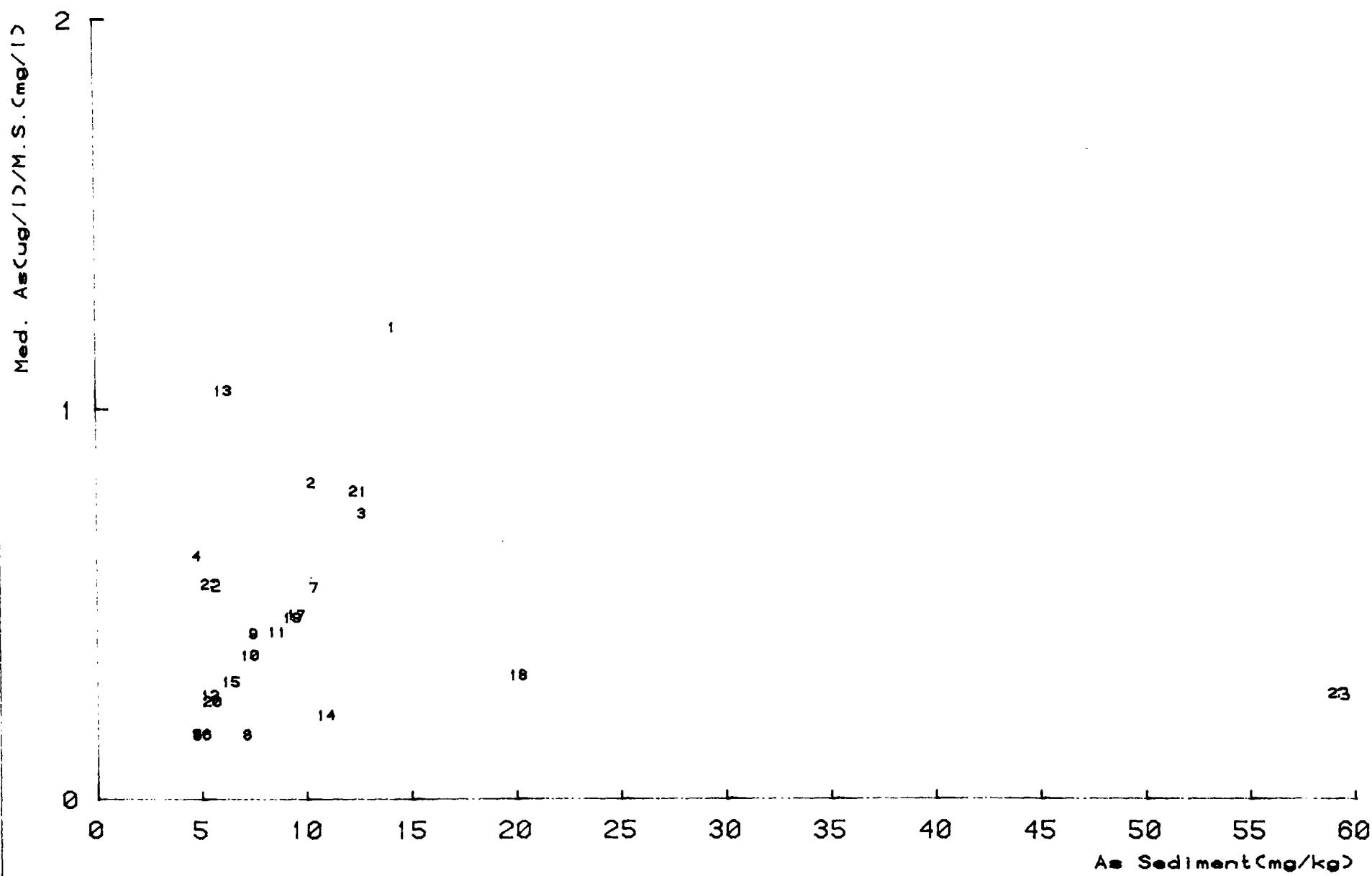
Periode 1976-1981 (serie complète)





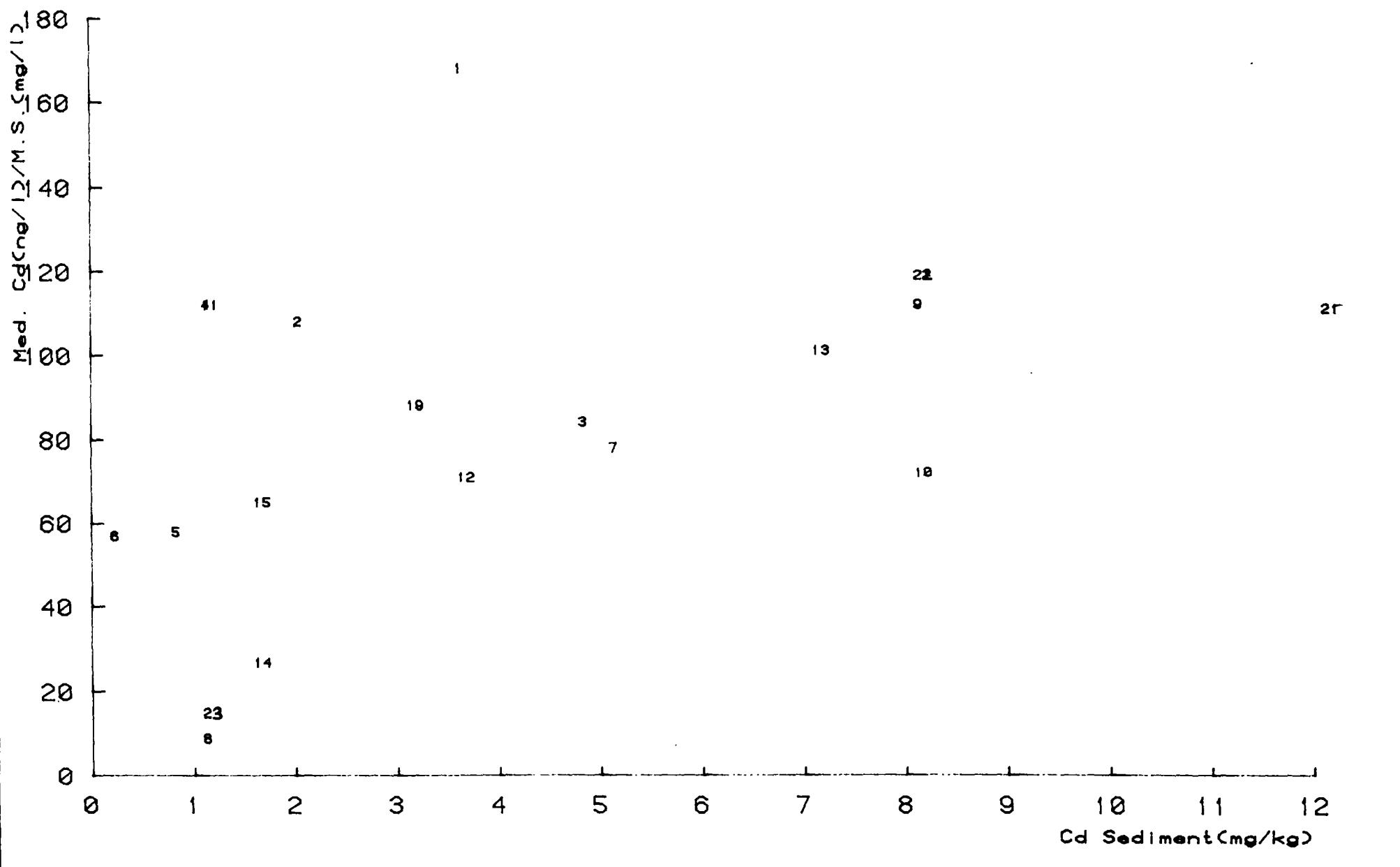
CORRELATION Med. As/M.S. / As (sediments)

Periode 1976-1981 (valeurs > 0.005)



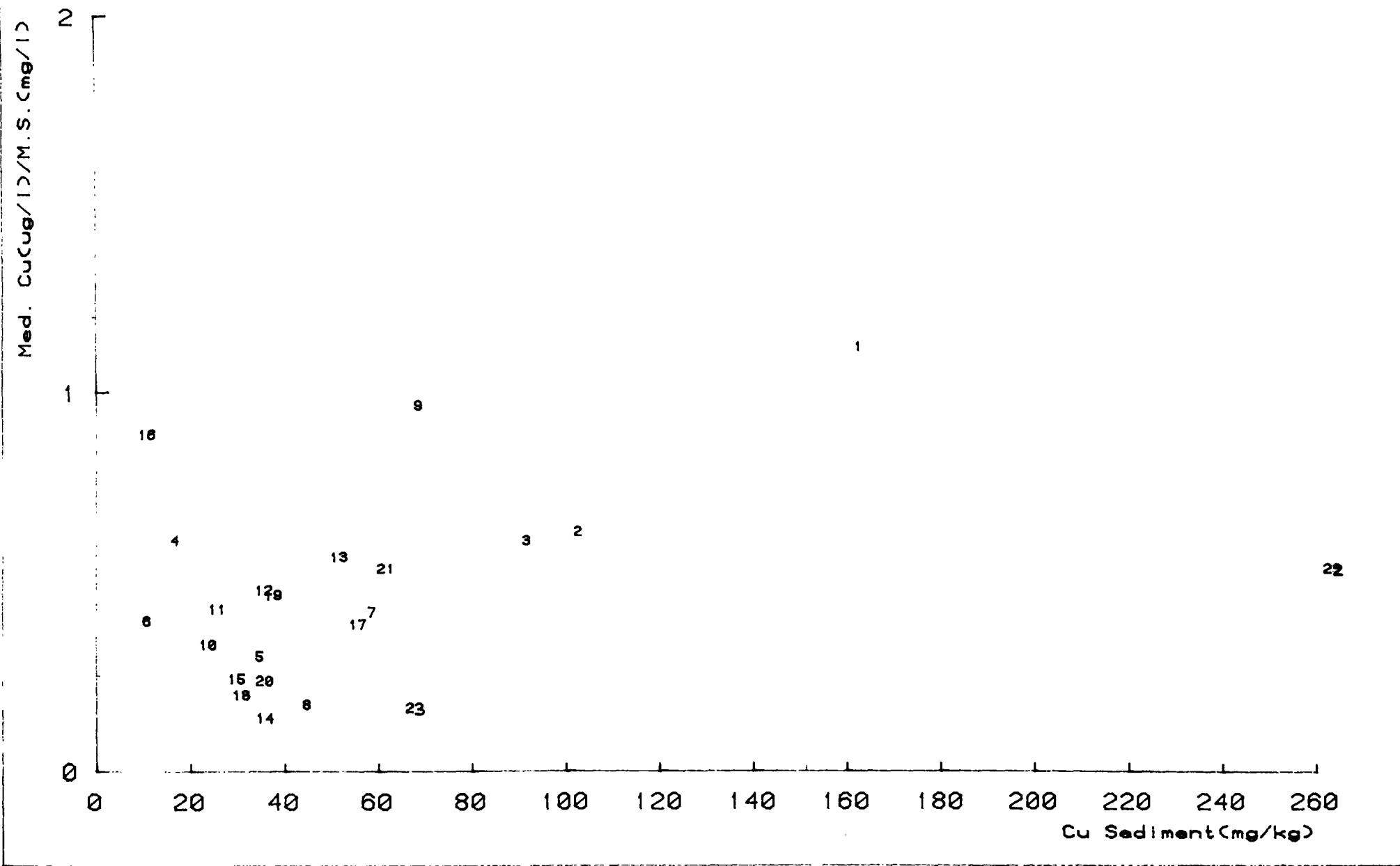
CORRELATION Med. Cd/M.S. / Cd (sediments)

Periode 1976-1981 (valeurs > 0.001 mg/l)



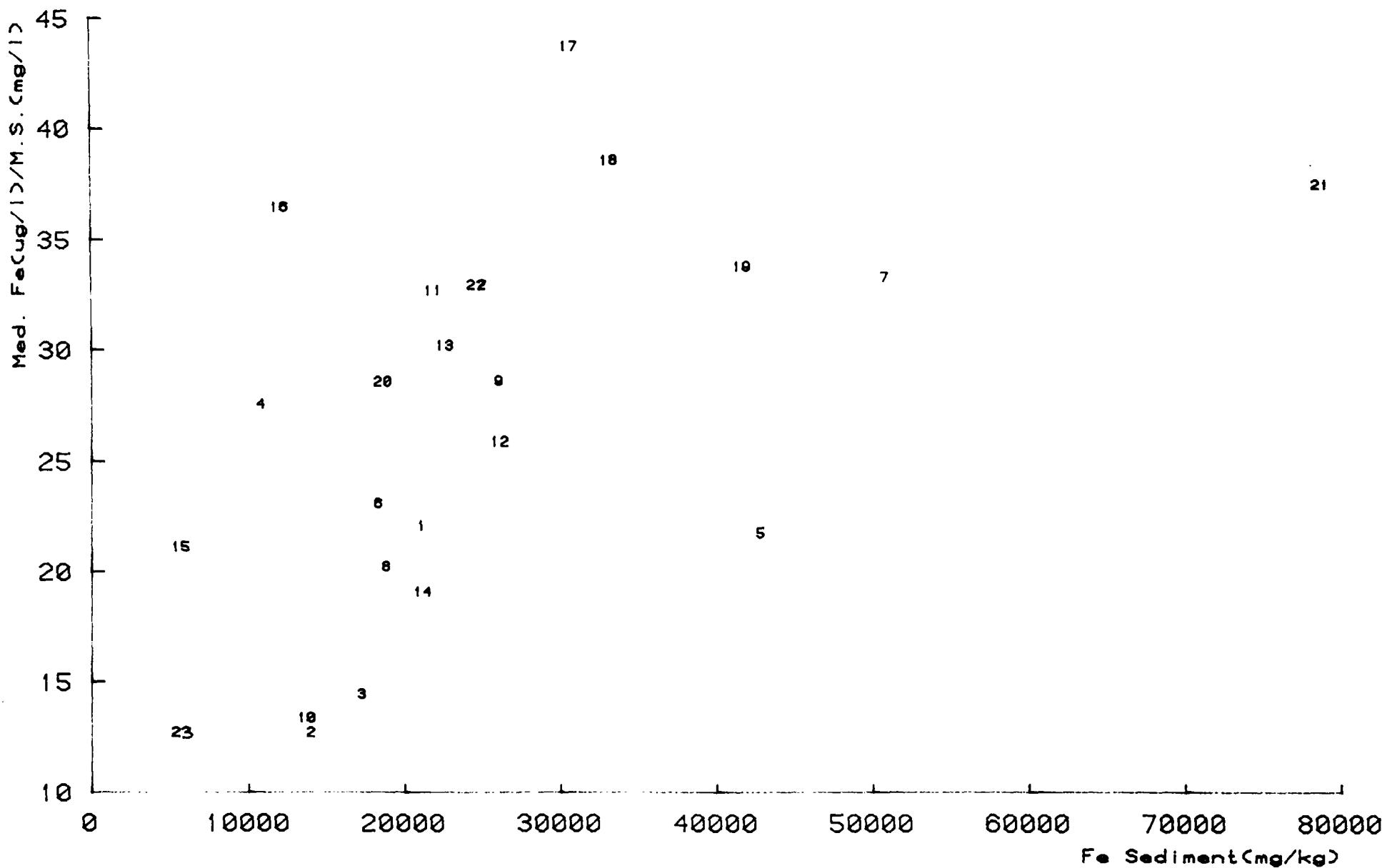
CORRELATION Med. Cu/M.S. / Cu (sediments)

Periode 1976-1981 (valeurs > 0.005 mg/l)



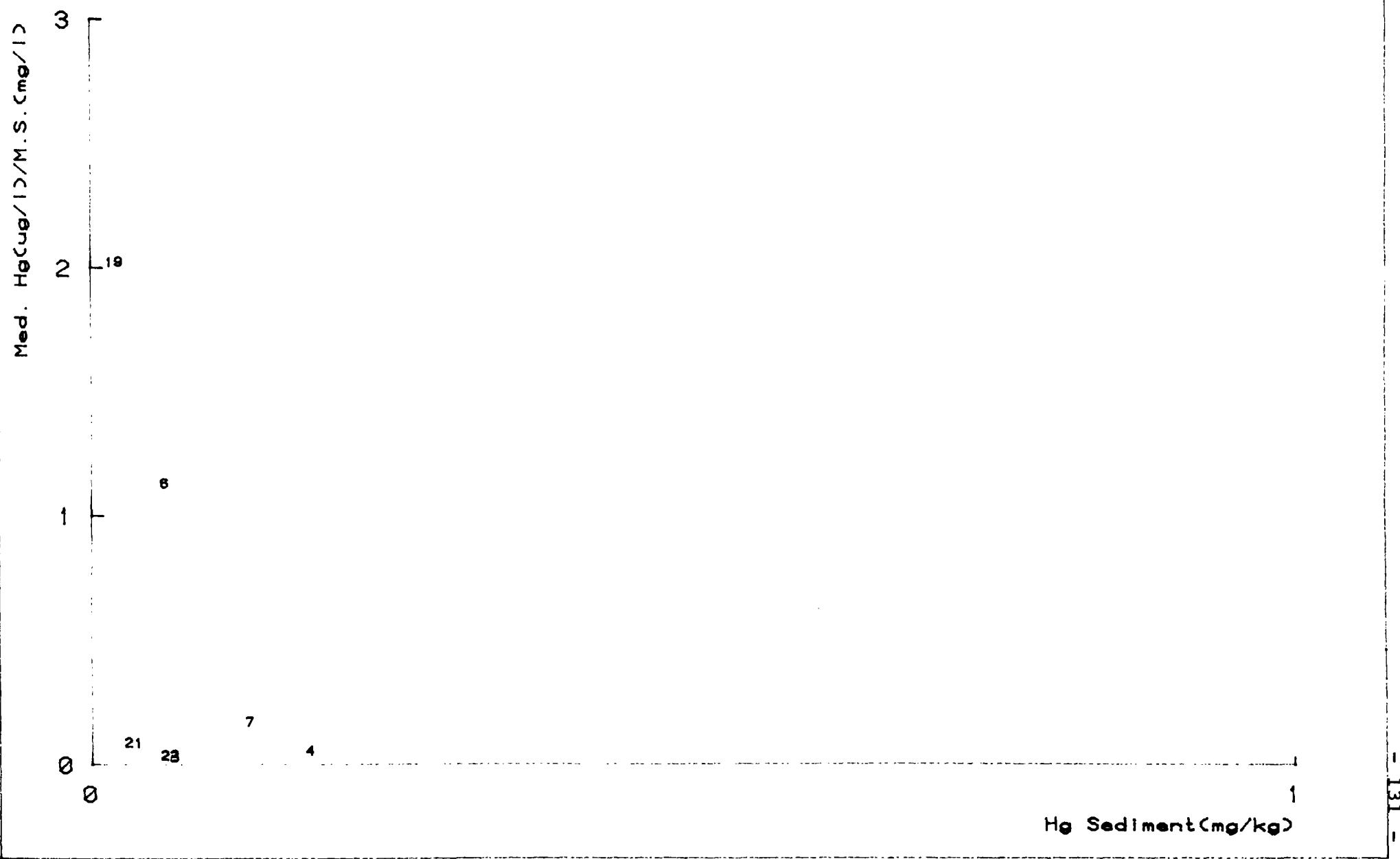
CORRELATION Med. Fe/M.S. / Fe (sediments)

Periode 1976-1981 (valeurs > 0.1 mg/l)



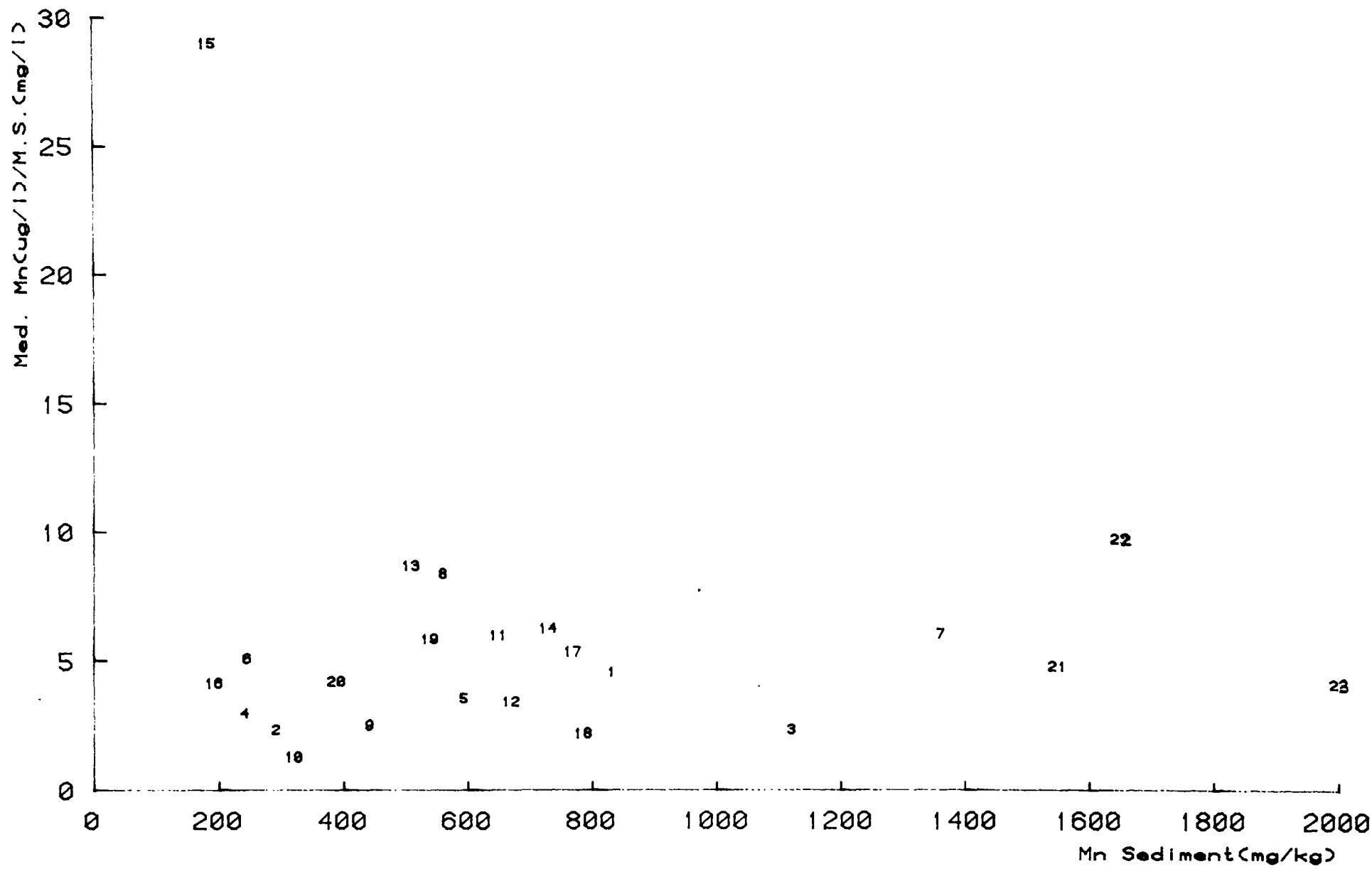
CORRELATION Med. Hg/M.S. / Hg (sediments)

Periode 1976-1981 (valeurs > 0.001 mg/l)



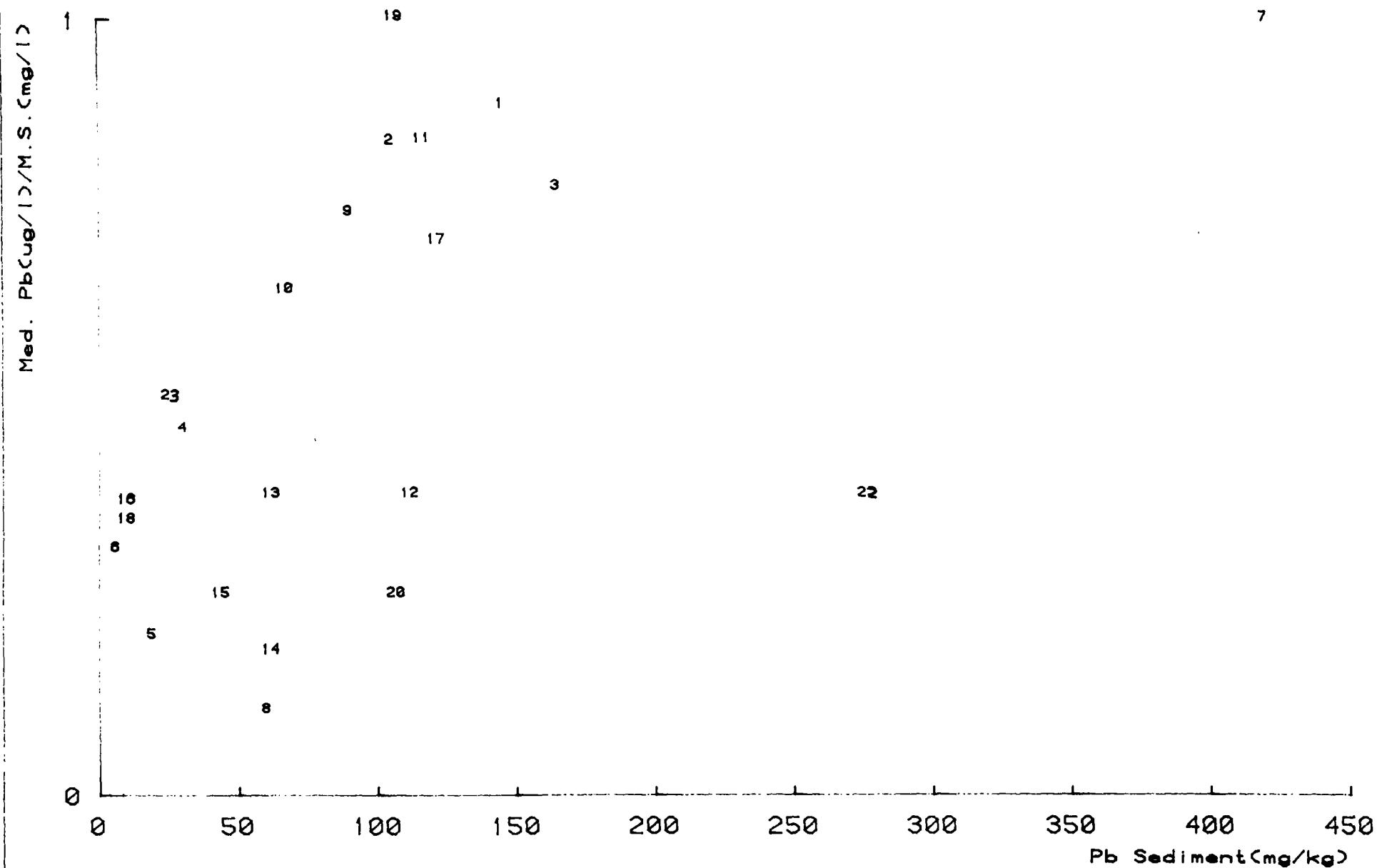
CORRELATION Med. Mn/M.S. / Mn (sediments)

Periode 1976-1981 (valeurs > 0.01 mg/l)



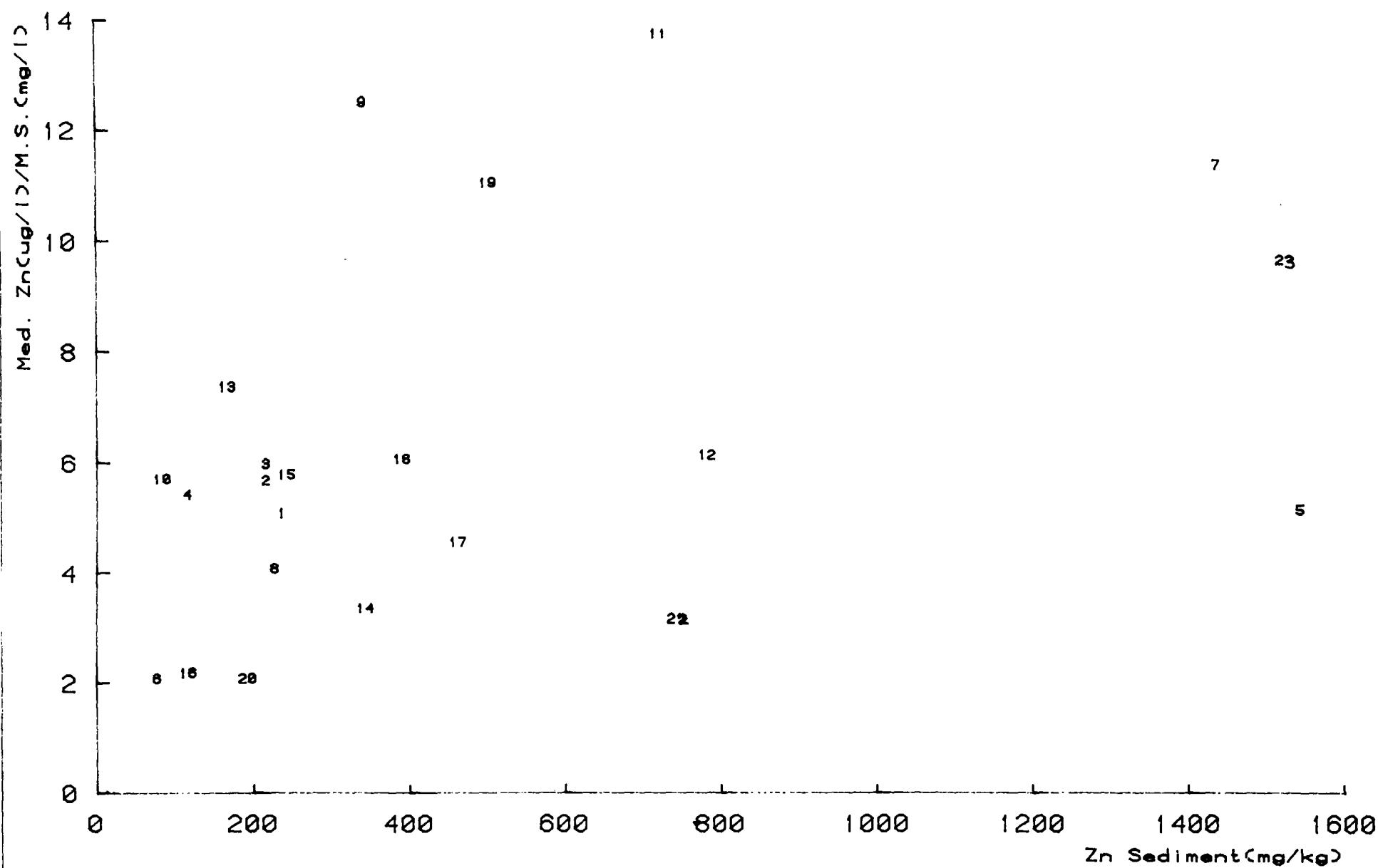
CORRELATION Med. Pb/M.S. / Pb (sediments)

Periode 1976-1981 (valeurs > 0.005 mg/l)



CORRELATION Med. Zn/M.S. / Zn (sediments)

Periode 1976-1981 (valeurs > 0.05 mg/l)



Le problème majeur est sans doute le problème de représentativité du sédiment : de quelle durée l'échantillon de sédiment est-il représentatif ? Quel est son temps de rééquilibrage avec l'eau, avec les sédiments antérieurs ? De plus, nous ne disposons que d'une donnée sédiment par point. Les erreurs analytiques peuvent donc jouer un rôle non négligeable.

3.3. Les rapports eaux-sédiments-matières en suspension

A la lumière de cette étude, il apparaît que les teneurs de MEST dans l'eau, les teneurs en métaux dans l'eau et le sédiment sont peu corrélées.

Toutefois, il y a une meilleure corrélation entre :

- teneur en MEST - teneurs eau en éléments d'origine naturelle,
- teneur eau - teneur sédiment en élément d'origine humaine.

Les seuils de détection, et la mauvaise détermination analytique des faibles teneurs fausse les résultats. Cependant, il peut être intéressant de calculer des concentrations théoriques dans les matières en suspension (avec l'hypothèse d'une proportion de la part insoluble égale aux résultats statistiques du § 3.1) et de les comparer aux résultats trouvés dans les sédiments.

La concentration dans les MEST sera égale à :

$$\text{Métaux (MEST) mg/kg} = \frac{\text{Métaux (EAU) } \mu\text{g/l}}{\text{MEST mg/l}} \times 10^3 \times k.$$

Pour chaque point de mesure, on a retenu la valeur médiane.

Sur les graphiques ci-dessous, on a reporté également une droite correspondant à des concentrations identiques dans les MEST et le sédiment du cours d'eau. Compte tenu des hypothèses sur le coefficient k , deux autres droites ont été tracées correspondant à $k \pm 2 S$, avec S = écart type.

Des points situés nettement en-dessous de ces droites représenteraient une pollution importante des sédiments par rapport à la pollution de l'eau : pollution historique ou fond géochimique particulier.

Des points situés largement au-dessus de ces droites représenteraient, soit une pollution récente, soit la non représentativité des sédiments, par exemple en raison de l'absence de sédimentation ou à cause d'une dilution importante par les sédiments propres.

Examen des résultats (fig. 3.3a à 3.3f.)

Hg - figure 3.3a.

Les points sont extraordinairement dispersés, mais on remarque que les points analysés par le laboratoire 247, points 4-5-6-7-9-22, se situent :

- . dans le haut du diagramme pour les analyses eau
- . à gauche pour les analyses sédiments

et ceci pour des points absolument indépendants. Il faudrait donc ne pas tenir compte de ces mesures qui paraissent douteuses.

Les mesures effectuées sur l'Ill (points 1,2 et 3) donnent les résultats les plus élevés pour les sédiments et les MEST. Le point n° 1 situé à l'aval immédiat de la Thur montre encore bien les effets de la pollution historique de la Thur.

Les MES paraissent nettement plus polluées que les sédiments, alors que l'on pouvait s'attendre à l'inverse.

Les autres points présentent des concentrations généralement plus modérées, mais

COMPARAISON MEDIANE Hg(M.S) / Hg (sédiments)

Periode 1976-1981 (serie complete)

22

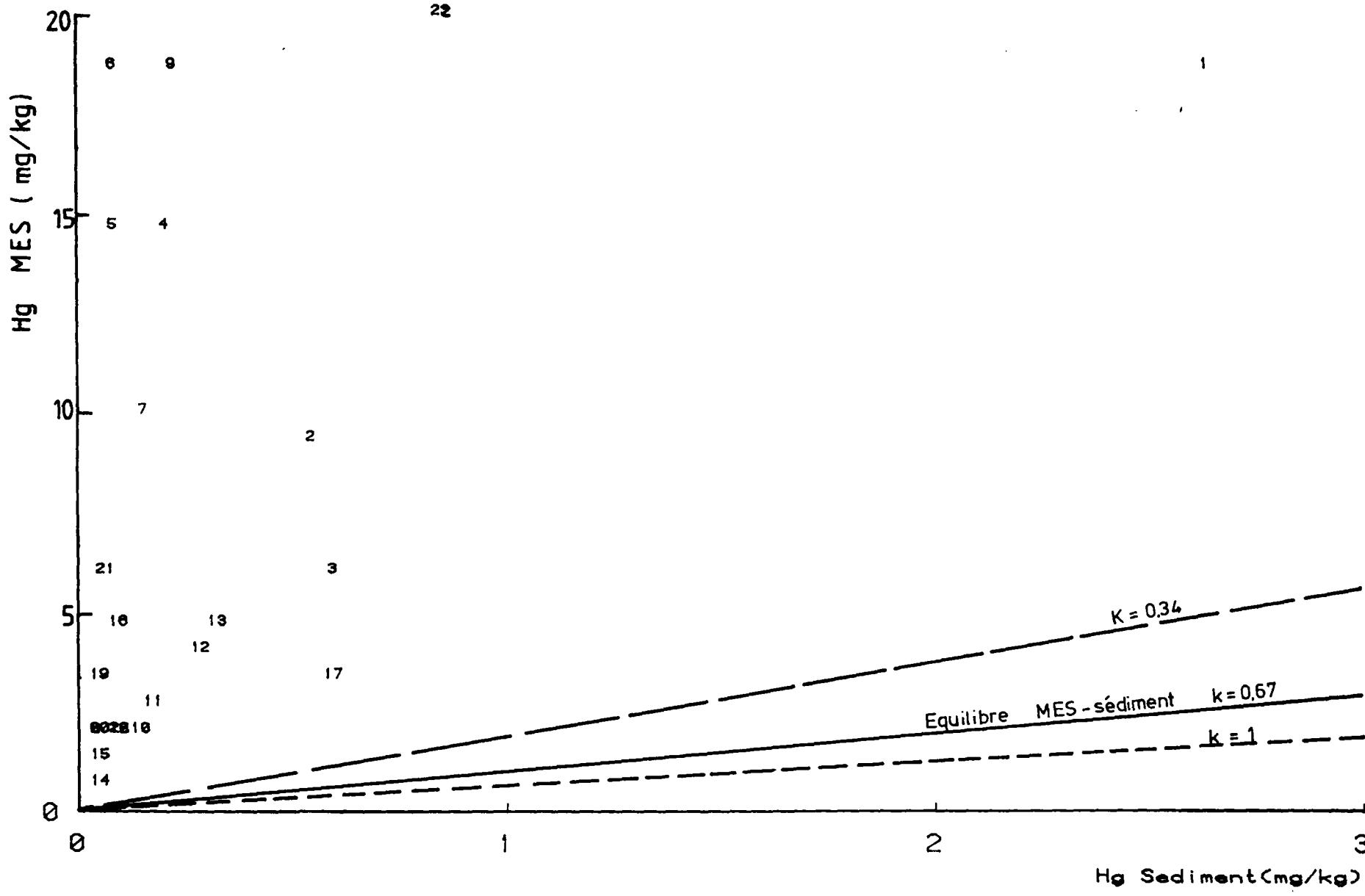


FIGURE 33.a.

également des teneurs calculées plus élevées pour les matières en suspension que pour les sédiments.

Cd - figure 3.3b.

Les concentrations dans les MEST sont généralement largement supérieures à celles trouvées dans les sédiments. On n'observe pas de relation évidente entre la pollution des deux milieux.

Zn - figure 3.3c.

Les points très pollués, soit pour les sédiments, soit pour les MEST, ou les deux à la fois, correspondent aux secteurs aval de la sidérurgie.

Cu - figure 3.3d.

Les concentrations dans les MEST dépassent également celles des sédiments sauf pour la Bièvre (station 22) et la Fensch (station 23), qui se situent sur la droite d'équilibre théorique MEST - sédiment.

Cr - figure 3.3e.

La plupart des points semblent vérifier la relation MEST/sédiment; seuls 5 points présentent une teneur élevée de Cr dans les matières en suspension. Il s'agit des stations

14 : La Rosselle à Petite Rosselle

8 : le Merle à Merlebach

23 : la Fensch à Florange.

Ces trois points sont soumis à des rejets importants et actuels de chrome.

Pb - figure 3.3f.

Les points analysés par le laboratoire 247 sont caractérisés par de faibles teneurs en sédiments. Sauf en ce qui concerne la Bièvre et un degré moindre la Moselle à Uckange, tous les autres points se caractérisent par des concentrations dans les MEST nettement supérieures à celles des sédiments.

As - figure 3.3g.

Pour des teneurs dans les sédiments inférieures à 15 mg/kg la relation théorique MEST - sédiment traduit une teneur plus élevée dans les MEST que dans les sédiments. Au-delà de cette concentration, la relation entre les deux milieux semble être satisfaisante.

3.4. Conclusions sur la comparaison des résultats eaux-sédiments

L'analyse bibliographique, comme les résultats obtenus dans le bassin Rhin-Meuse montrent qu'il n'est pas possible d'évaluer le degré de pollution d'un milieu (par exemple sédiments) au moyen de mesures effectuées dans un autre milieu (par exemple l'eau). Néanmoins, l'une ou l'autre méthode permettent de déceler une pollution significative à condition de respecter les conditions suivantes :

• les analyses d'eau doivent porter sur des prélèvements fréquents et utiliser les méthodes analytiques les plus performantes : le coût de telles mesures est donc élevé si l'on veut escompter un résultat significatif ;

• les analyses de sédiments ne sont représentatives de la qualité de l'eau que si le sédiment est constitué essentiellement d'un dépôt de matières en suspension.

COMPARAISON MEDIAME Cd (M.S.) / Cd (sédiments)

Periode 1976-1981 (série complète)

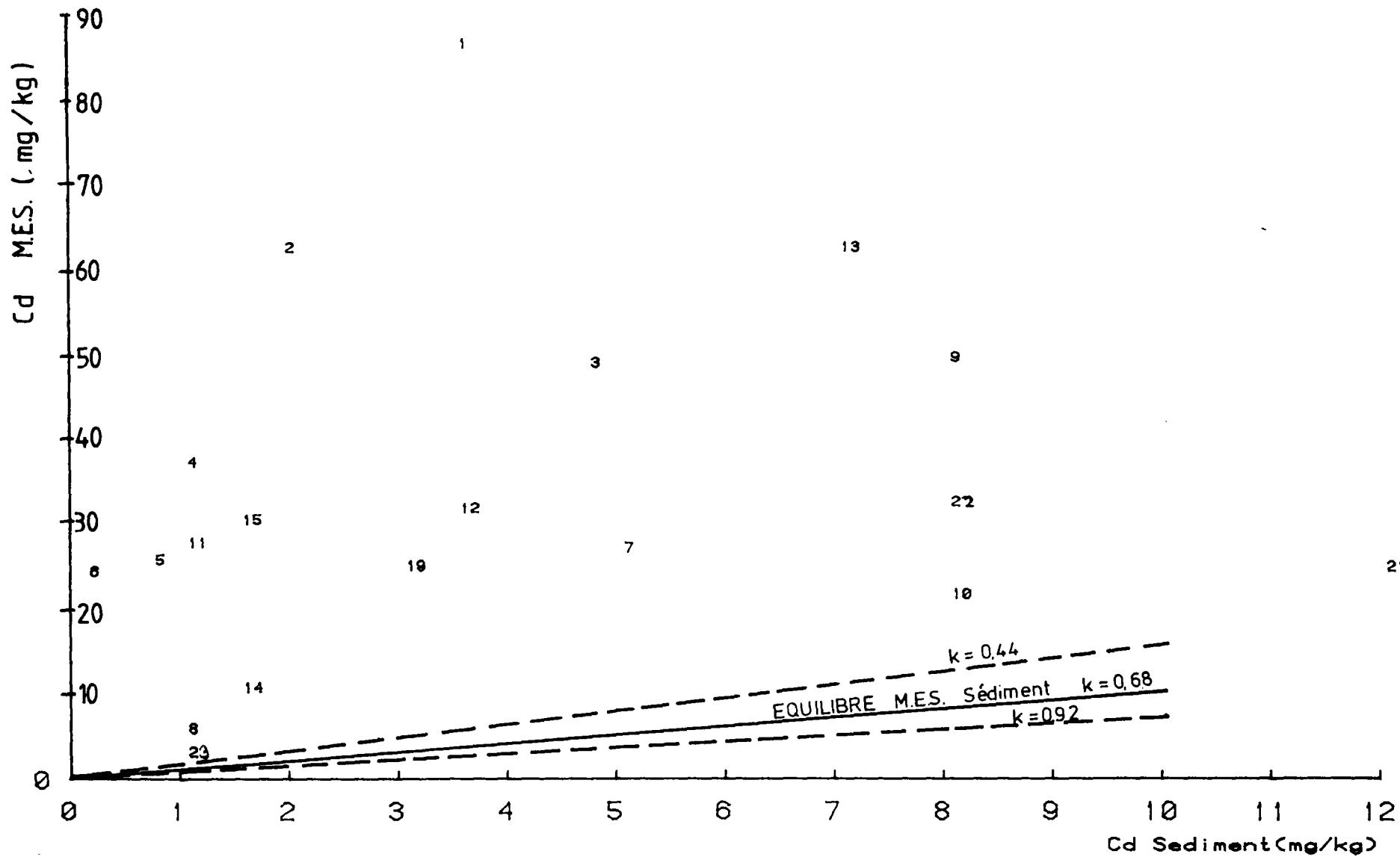


FIGURE 3.3 b

COMPARAISON MEDIANE Zn (M.S.) / Zn (sédiments)

Periode 1976-1981 (série complète)

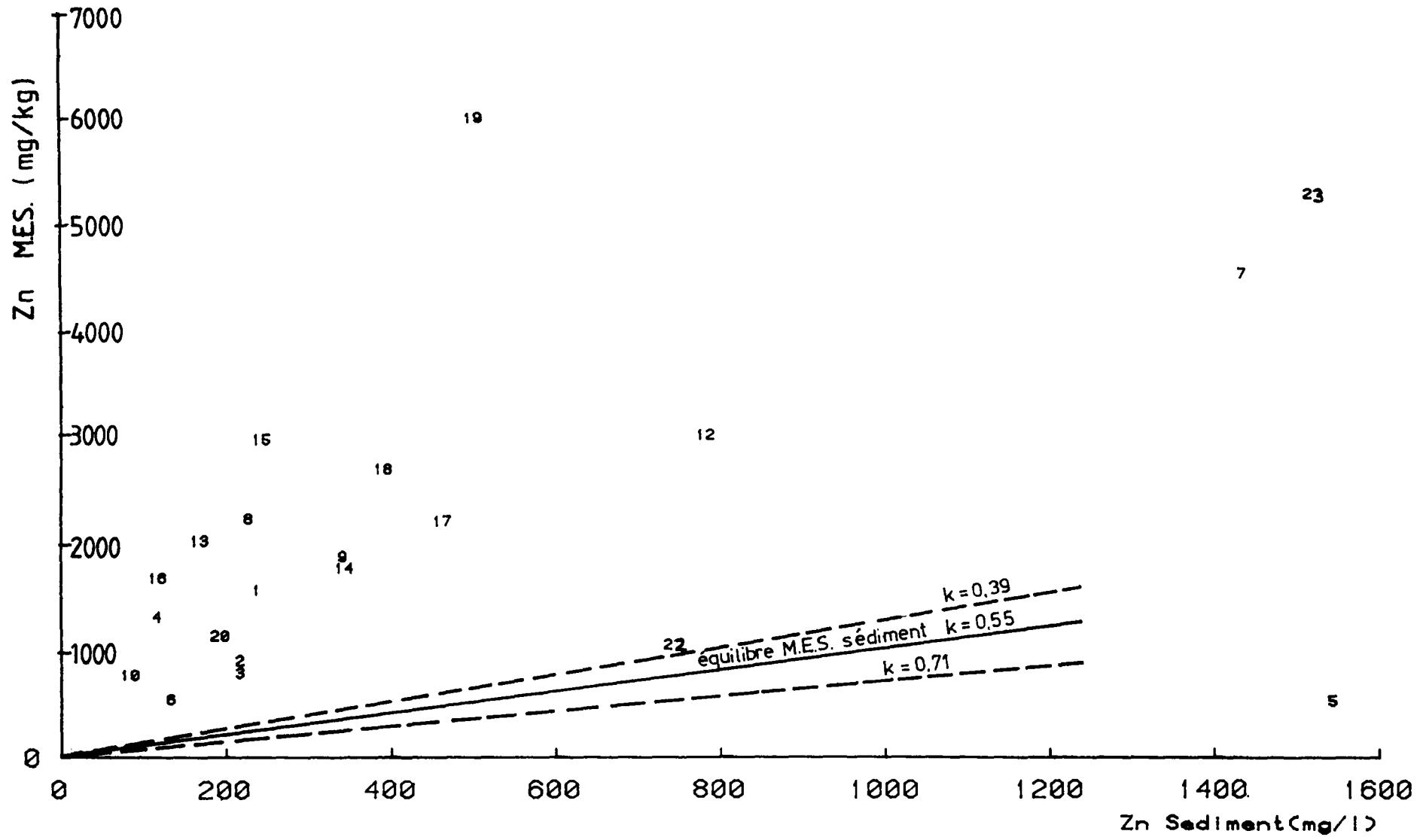
11

21

23

7

5



COMPARAISON MEDIANE Cu (M.S.) / Cu (sédiments)

Periode 1976-1981 (série complète)

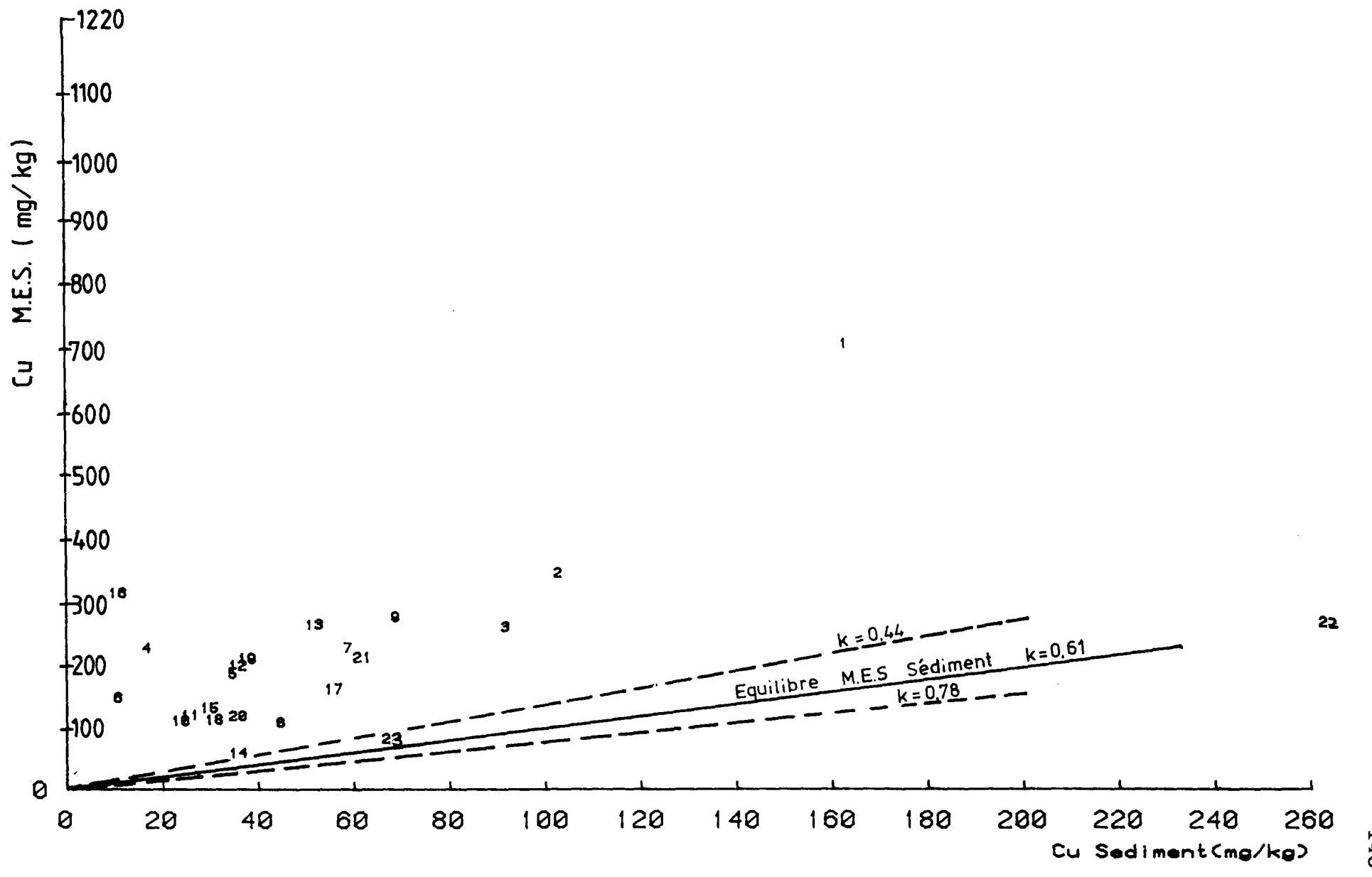


FIGURE 3.3.d.

COMPARAISON MEDIANE Cr total (M.S.)/ Cr total (sédiments)

Periode 1976-1981 (série complète)

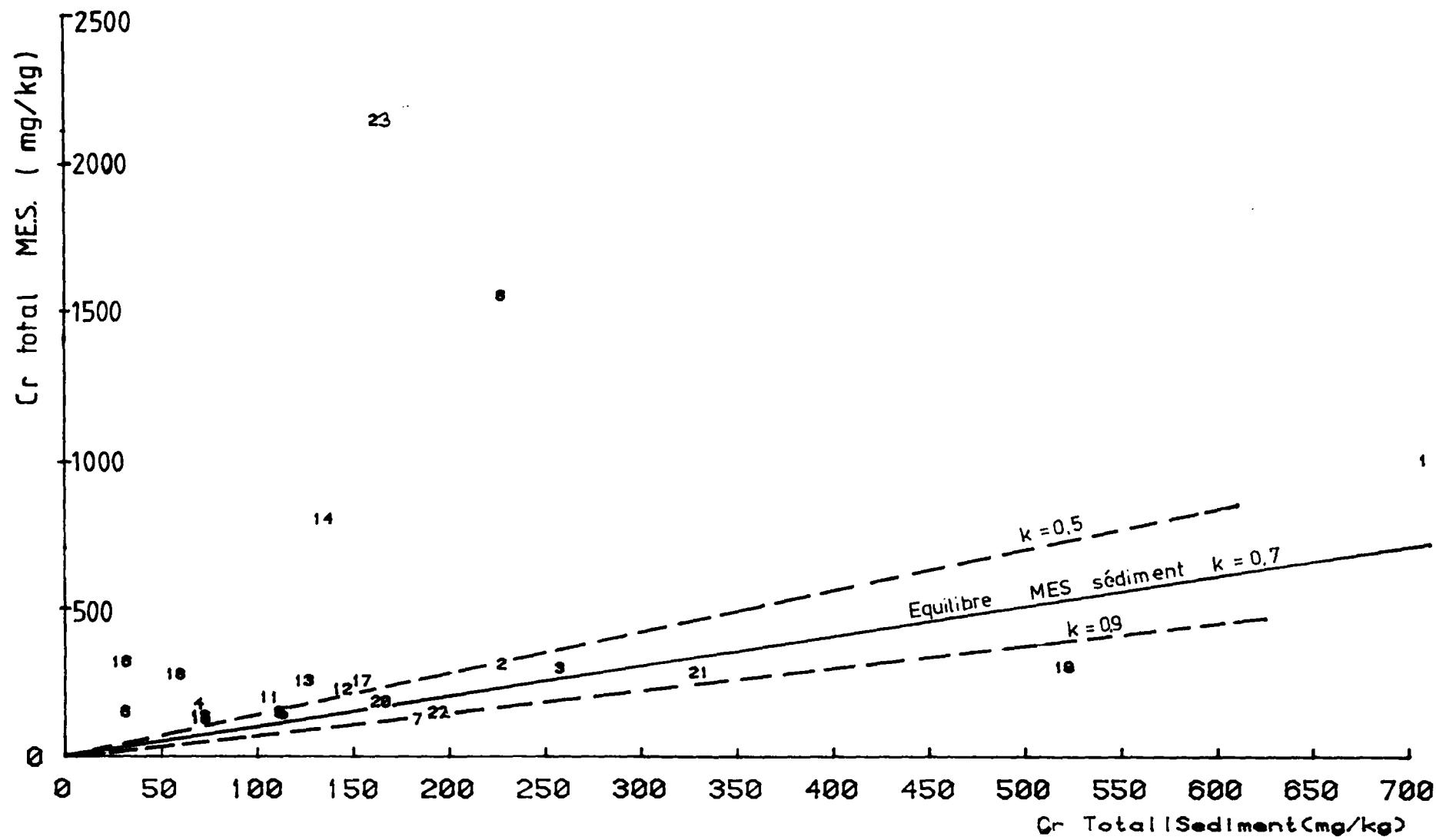


FIGURE 3.3.6

COMPARAISON MEDIANE Pb (M.S.) / Pb (sédiments)

Periode 1976-1981 (série complète)

19

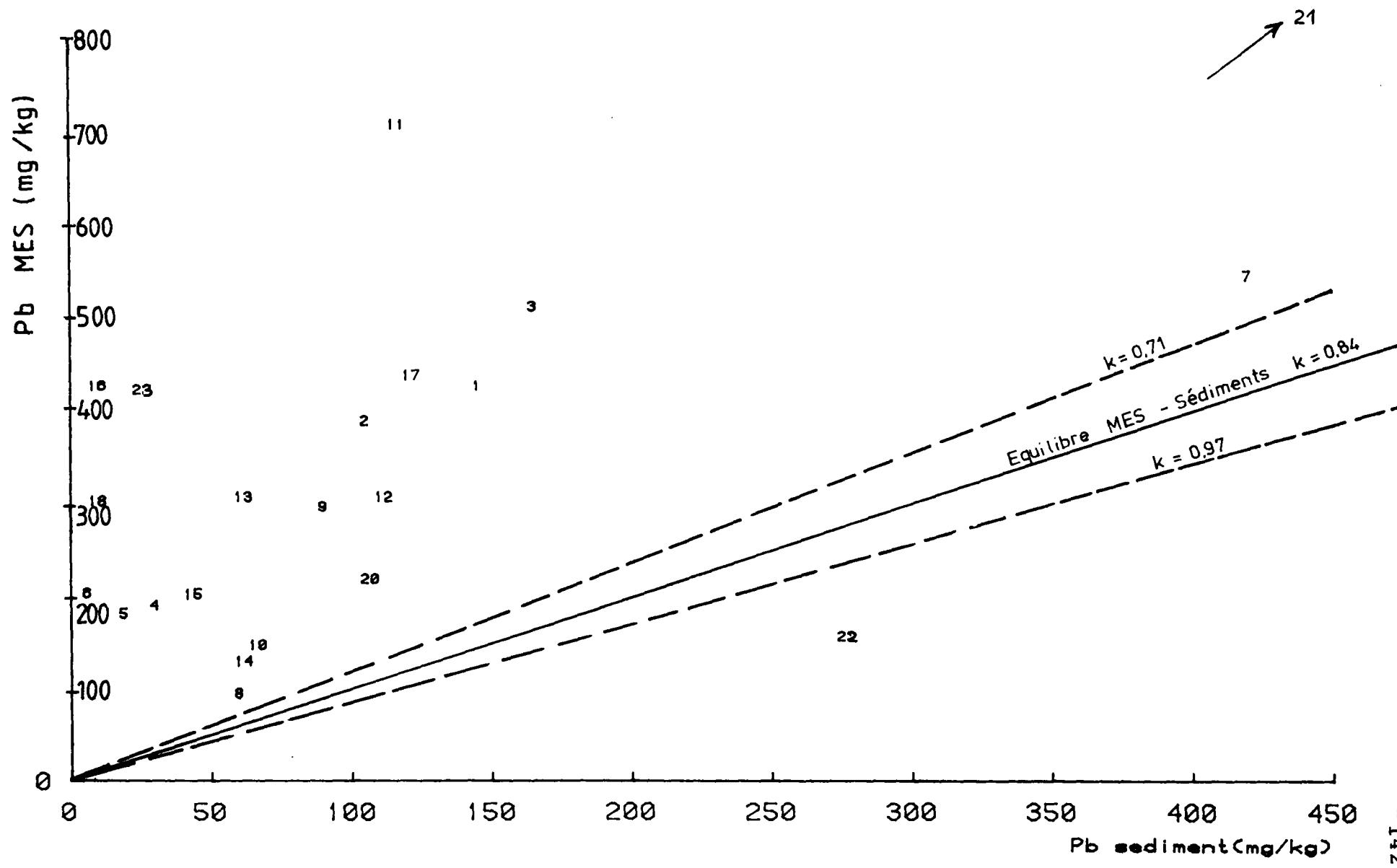


FIGURE 33 f.

COMPARAISON MEDIANE As (M.S.) / As (sédiments)

Periode 1976-1981 (série complète)

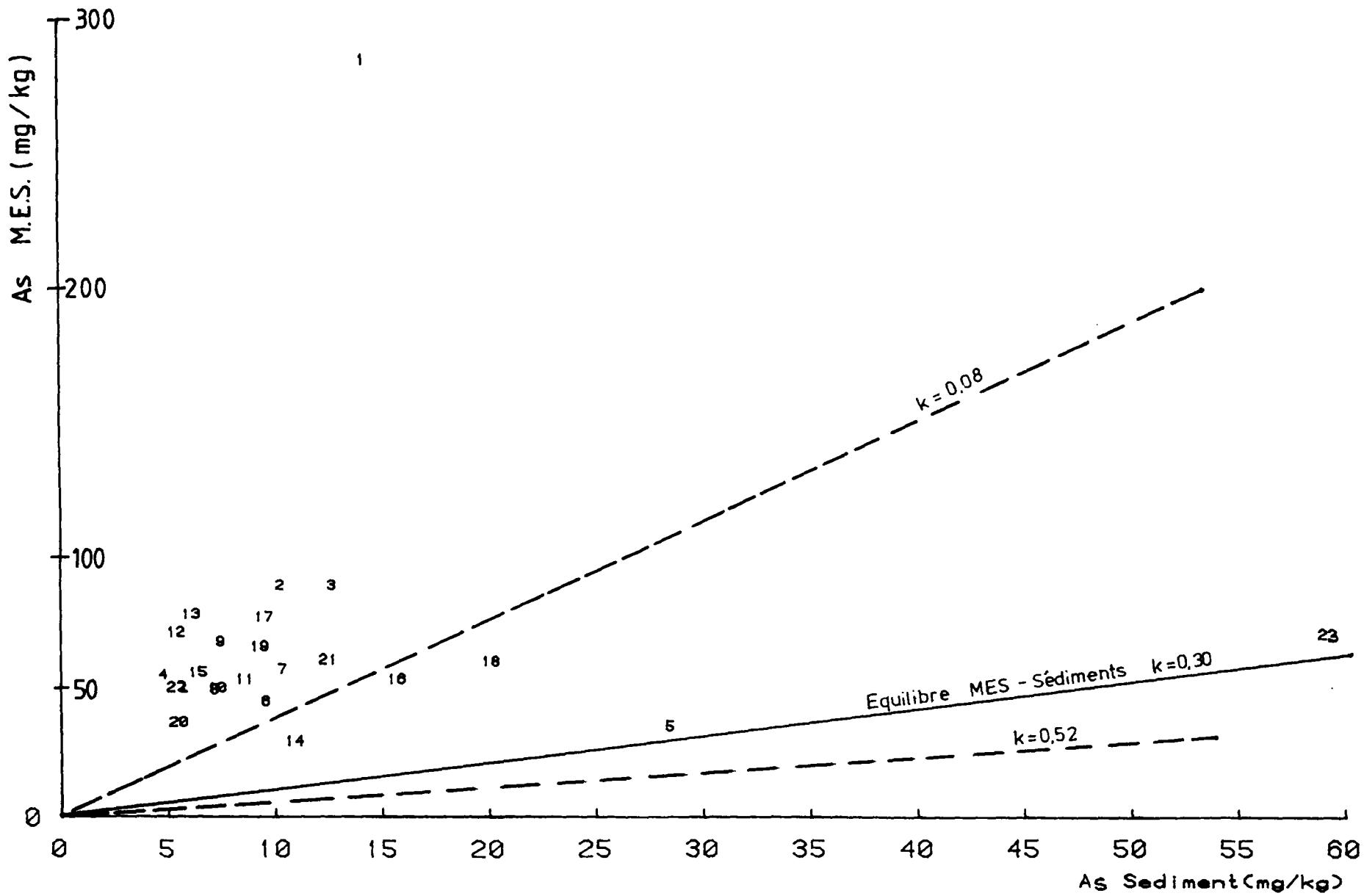


FIGURE 3.3.g.

4. EXPLOITATION ET CARTOGRAPHIE DES RESULTATS DISPONIBLES DANS LE BASSIN RHIN MEUSE

En utilisant les grilles définies dans le § 1.3.3. on peut décrire la situation des métaux lourds dans les eaux superficielles et dans les sédiments. A partir des 4 bornes retenues, 5 niveaux de qualité ont été définis par analogie avec la grille de qualité générale utilisée pour les paramètres physico-chimiques classiques.

4.1. Traitemet des données

4.1.1. Les métaux lourds dans les eaux superficielles

L'état des teneurs en métaux lourds dans les eaux superficielles du Bassin Rhin Meuse a été analysé à partir des résultats de la campagne INP 1981. Cette analyse se réfère à la valeur du d 90 qui est le paramètre retenu dans la grille de qualité des métaux lourds dissous.

Tabulation -

La recherche par station et pour tous les métaux lourds du d 90 a nécessité l'écriture du programme CLVINP. L'annexe 3 présente les résultats de cette tabulation dans laquelle sont présentés :

- . les valeurs médiane, maximale et d 90 (avant dernière mesure maximale) avec leurs concentrations et matières en suspension associées,
- . le nombre d'analyses par point,
- . la répartition du d 90 selon les 5 classes de qualité définies dans le § 1.3.3.

A propos de cette tabulation, il faut noter que le nombre d'analyses effectuées sur les 31 stations est variable, puisque selon les stations, 4 ou 12 campagnes de mesures ont été réalisées en 1981.

Histogrammes -

Les histogrammes des métaux lourds établis suivant les 5 niveaux choisis sont présentés figure 4-1 a et figure 4-1 b des pages suivantes.

La distribution des teneurs est variable selon la nature de l'élément :

- . elle répond à la loi normale de Gauss pour le chrome et le plomb,
- . elle est dissymétrique (mode appartenant au niveau 1) dans le cas du zinc et du cuivre,
- . elle est multimodale en ce qui concerne le cadmium;
- . elle se particularise par un niveau 0 prédominant pour l'arsenic et le mercure.

4.1.2. Les métaux lourds dans les sédiments

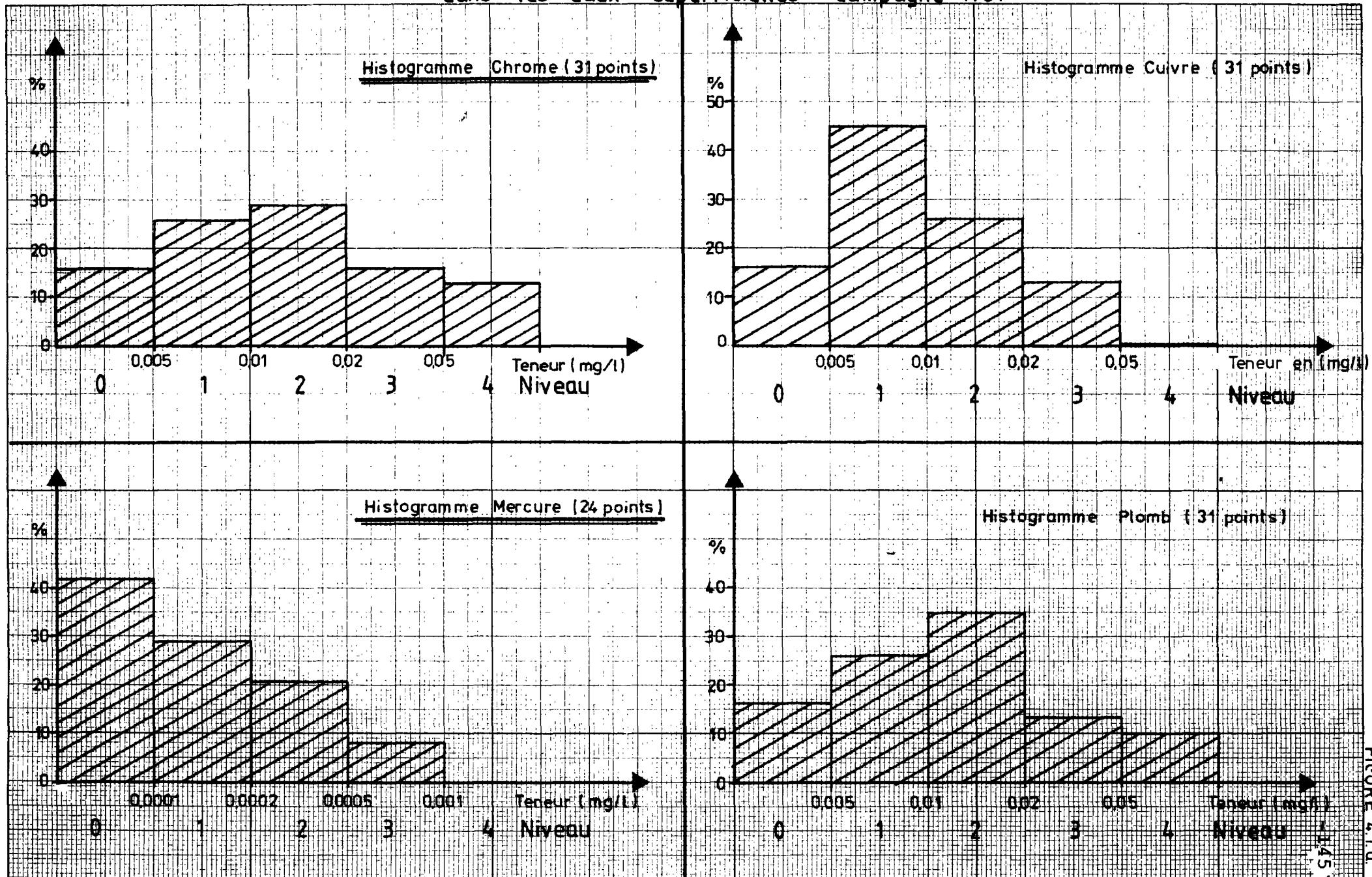
Les analyses sédiments classées par bassin sont présentées dans les tableaux

- 4-1-2 a : bassin du Rhin
- 4-1-2 b : bassin de la Moselle
- 4-1-2 c : bassin de la Sarre
- 4-1-2 d : bassin de la Meuse.

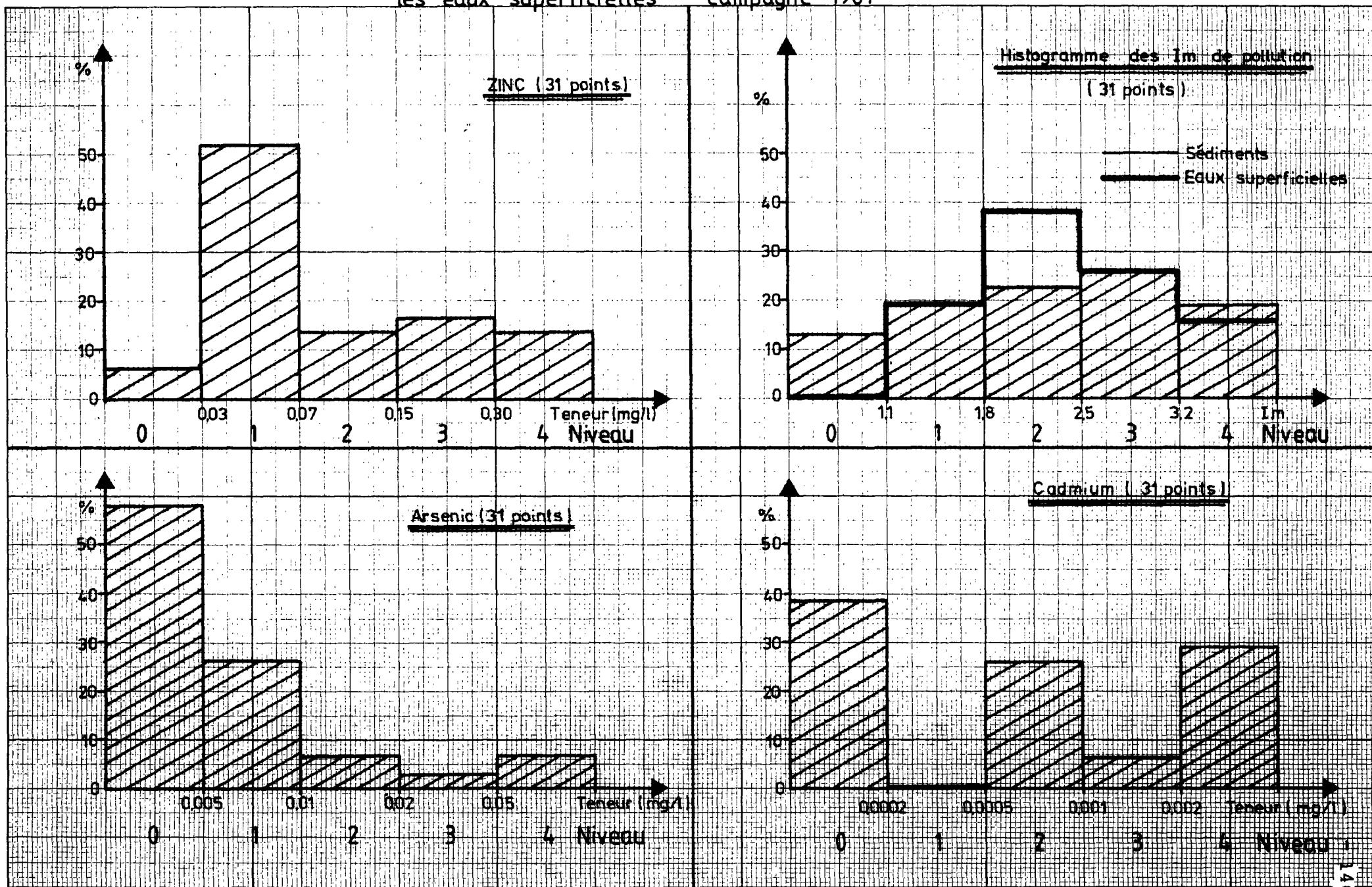
La distribution des métaux lourds dans ces différents bassins suivant la grille définie au § 1.3.3. est synthétisée dans le tableau de la page 151. Par suite de certains résultats incohérents, nous avons été amenés à supprimer les résultats du Laboratoire 247 pour ce qui concerne

- le mercure dans son intégralité
- le cadmium, le chrome et le plomb analysés au mois de juin.

Histogrammes de la valeur d.90 des teneurs en métaux lourds
dans les eaux superficielles - Campagne 1981



• Histogrammes de la valeur d.90 des teneurs en métaux lourds dans les eaux superficielles - Campagne 1981



RHIN

TABLEAU SYNTHETIQUE DES RESULTATS OBTENUS

Cours d'eau	Commune	Labo	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn	Im brut	Im corrigé
25 LARGUE	FRIESEN	206	10.00	0.60	24	9	0.01	22	82	1	1
26 ILL	BRUNSTATT	206	11.00	1.10	36	22	0.01	37	120	1	1
10 DOLLER	DOLLEREN	206	24.00	2.00	46	351	0.15	54	108	2	1.71
11 DOLLER	PONT D'ASPACH	206	22.20	1.60	46	65	0.10	46	165	1.57	1.28
27 DOLLER	REININGUE	206	13.90	0.70	37	60	0.01	38	130	1.28	1.14
28 ILL	RUELISHEIM	206	13.30	5.30	99	140	0.52	170	250	2.71	1
29 THUR	FELLERING	206	27.00	9.50	1800	210	0.15	120	200	3	1.71
30 THUR	WILLER SUR THUR	206	38.00	14.00	2500	350	0.37	170	200	3.57	2
31 THUR	STAFFELFELDEN	206	40.00	4.20	1200	150	7.10	130	180	3.42	2.71
32 THUR	ENSISHEIM	206	27.00	0.50	570	50	5.30	97	140	2.71	2.28
33 ILL	OBERHERGHEIM	206	13.50	3.50	700	160	2.60	140	220	3.14	2.14
34 VIEILLE THUR	HERRLISHEIM	206	43.00	2.00	120	43	21.00	85	160	2.71	1.85
12 LAUCH	ROUFFACH	206	20.00	4.00	135	104	0.01	151	478	2.57	1.57
35 ILL	ILLHAEUSERN	206	12.00	2.90	840	130	1.40	130	250	3	1.85
13 GIessen	SELESTAT	206	27.70	0.10	61	26	0.07	109	123	1.57	1.28
36 ILL	OSTHOUSE	206	12.00	5.40	380	92	0.81	135	250	2.85	1.85
37 ILL	OHNHEIM	206	9.60	1.90	220	100	0.51	100	200	2.28	1.57
14 ANDLAU	SAINT PIERRE	206	3.90	0.10	130	47	0.10	45	116	1.57	1.42
15 KIRNECK	BOURGHEIM	206	7.80	2.00	686	122	0.08	155	205	2.57	2.42
17 MOSSIG	IRMSTETT	206	10.70	5.30	71	77	0.01	85	526	2.28	1.14
38 ILL	LA WANTZENAU	206	12.00	4.70	250	89	0.56	160	200	2.85	1.42
18 FALKENSTEIN	REICHSHOFFEN	206	1.50	1.40	9	16	0.15	122	105	1.28	2.14
19 FALKENSTEIN	GUNDERSHOFFEN	206	3.80	0.10	16	31	0.10	153	285	1.57	1.57
20 ZINSEL DU NORD	GUMBRECHTSCHOFFEN	206	0.10	0.10	8	8	0.01	14	37	1	1
21 ZINSEL DU NORD	MOUTERHOUSE	206	2.00	0.50	9	14	0.02	8	28	1	1
39 MODER	BISCHWILLER	206	1.00	2.80	14	23	0.73	41	120	1.57	1.28
16 ZORN	WILWISHEIM	206	1.00	0.10	14	9	4.50	18	61	1.57	1.57
40 ZORN	BIETLENHEIM	206	16.00	0.80	45	42	0.19	63	160	1.42	1
41 MODER	DRUSENHEIM	206	12.00	5.80	35	42	0.72	120	210	2.14	2.42
22 SAUER	BETSCHDORF	206	14.20	0.10	27	21	0.37	57	53	1.28	1.28
23 EBERBACH	LEUTENHEIM	206	1.00	0.10	18	4	7.20	21	50	1.57	1.57
24 SAUER	SELTZ	206	0.10	0.10	25	14	0.33	49	48	1.28	1.14

4.1.2. a

MOSELLE

Cours d'eau	Commune	Labo	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn	Im brut	Im corrigé
47 MOSELLE	FRESSE	205	6.80	3.00	78	24	0.04	25	102	1.28	1.28
68 MOSELLE	SAULX	205	10.00	2.00	134	40	0.20	60	101	1.85	1.71
48 VOLOGNE	JARMENIL	205	7.90	12.00	70	58	0.41	100	305	2.42	1.28
69 MOSELLE	EPINAL	205	5.70	1.00	36	18	0.18	25	64	1	1.14
70 MOSELLE	VELLE	205	4.10	1.00	62	14	0.17	25	99	1.14	1.28
71 MOSELLE	PIERRE LA TREICHE	247	27.80	0.70	106	32	0.10	14	1527	1.85	1.28
72 MOSELLE	LIVERDUN	247	14.80	0.20	19	7	0.10	3	83	1	1.14
49 MEURTHE	FRAIZE	205	3.60	2.50	54	16	0.08	48	69	1.28	1.42
50 MEURTHE	GRATIN	205	13.10	3.50	150	50	0.29	400	305	2.42	1.28
51 MEURTHE	LA VOIVRE	205	5.20	3.50	120	102	0.56	220	330	2.57	1.28
52 PLAINE	CELLES	205	1.40	0.50	12	2	0.01	5	35	1	1
53 PLAINE	ALLARMONT	205	1.80	0.50	16	2	0.05	5	37	1	1
54 MEURTHE	THIAVILLE	205	11.10	4.00	116	146	0.36	160	340	2.57	1.42
73 MEURTHE	AZERAILLES	205	9.60	2.00	110	62	0.58	180	172	2.28	1.85
55 BLETTE	SAINTE POLE	205	2.60	2.50	32	16	0.05	65	125	1.28	1.14
56 VEZOUZE	MARAINVILLER	205	10.40	3.00	116	34	0.18	110	200	1.85	1
57 VEZOUZE	CHANTEHEUX	205	5.90	2.50	96	27	0.92	40	148	1.85	1.28
58 VEZOUZE	LUNEVILLE	205	7.80	2.50	92	84	0.49	120	320	2.28	1.57
59 MEURTHE	REHAINVILLER	205	2.30	1.50	39	14	0.04	50	76	1.14	1.28
60 MORTAGNE	AUTREY	205	7.30	1.00	20	8	0.08	12	52	1	1
61 MORTAGNE	MAGNIERES	205	6.80	1.50	70	18	0.14	40	165	1.28	1
62 SANON	LAGARDE	205	6.80	3.00	460	34	0.12	50	130	1.85	1.28
63 SANON	MOUSSEY	205	6.50	5.00	142	32	0.21	105	170	2.14	1
74 MEURTHE	BOUXIERES AUX DAMES	205	4.60	2.00	154	32	0.01	100	169	1.85	1.28
75 MOSELLE	MILLERY	205	9.60	4.00	240	64	0.94	290	930	3.28	2
76 MOSELLE	ARRY	247	8.90	0.10	24	8	0.10	1	116	1	1
77 MOSELLE	ARS SUR MOSELLE	205	8.70	3.00	132	42	0.28	110	340	2.14	1.57
78 SEILLE	MULCEY	205	20.00	10.00	92	120	2.70	55	1440	3.28	1.71
79 MOSELLE	HAUCONCOURT	205	8.60	4.00	144	52	0.55	115	440	2.57	1.28
80 ORNE	RICHENMONT	205	11.60	12.00	320	58	0.02	1475	6000	3.14	1.85
81 MOSELLE	UCKANGE	205	9.70	5.00	176	56	0.12	415	1420	2.71	1.71
82 FENSCH	FLORANGE	247	58.30	1.00	154	64	0.10	19	1501	2.28	1.14
83 MOSELLE	MANON	247	19.20	0.50	47	27	0.10	3	368	1.28	1.14
84 MOSELLE	SIERCK	205	8.40	3.00	510	34	0.01	100	480	2.42	1.71
85 ALZETTE	AUDUN LE TICHE	247	64.80	1.00	123	134	0.10	27	2234	2.71	1.28

4.1.2. b

SARRE

Cours d'eau	Commune	Labo	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn	Im brut	Im corrigé
86 SARRE	HERMELANGE	205	2.90	5.00	58	18	0.31	27	92	1.42	1.71
64 BIEVRE	SITIFORT	205	2.10	0.50	18	9	0.28	20	31	1.14	1.71
65 BIEVRE	HARTZWILLER (AMONT)	205	3.60	1.00	32	102	0.21	100	83	1.71	1.71
66 BIEVRE	HARTZWILLER (aval)	205	3.10	0.50	22	70	0.06	65	44	1.42	1.85
87 BIEVRE	SARREBOURG	205	4.50	8.00	184	260	0.81	270	720	3.42	2.42
88 SARRE	GOSELMING	205	2.60	2.00	134	52	0.30	75	410	2.14	1
89 SARRE	KESKASTEL	205	1.70	1.00	70	16	0.07	10	75	1.14	1.14
90 ELIES	BLIESBRUCK	205	2.60	1.50	62	12	0.09	40	117	1.28	1.57
91 SARRE	SARREINSMING	205	5.20	7.00	114	48	0.28	55	144	1.85	1
92 SARRE	GROBLIEDERSTROF	247	5.70	0.20	7	11	0.10	2	112	1	1.28
93 ROSSELLE	MOULIN NEUF	205	8.40	4.50	106	104	0.03	265	1200	2.57	1.71
94 MERLE	MERLEBACH	205	6.50	1.00	220	42	0.01	55	210	1.71	1.28
95 ROSSELLE	PETITE ROSSELLE	205	10.00	1.50	124	32	0.01	55	320	1.71	1.42
96 BIST	CREUTZWALD	205	5.50	1.50	60	26	0.01	37	220	1.28	1
67 NIED ALLEMANDE	FAULQUEMONT (Amont)	205	6.50	3.50	120	42	0.24	75	400	2.14	1
97 NIED ALLEMANDE	GUINGLANGE	205	5.20	2.50	84	42	0.01	85	172	1.71	1.14
98 NIED	HECKLING	205	5.00	6.50	118	26	0.01	45	157	1.57	1

4.1.2. C

MEUSE

Cours d'eau	Commune	Labo	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn	Im brut	Im corrigé
1 MEUSE	BRIXEY AUX CHANOINES	205	4.80	7.00	96	28	0.10	65	120	1.57	1
2 MEUSE	SAINT MIHIEL	205	6.80	8.00	104	66	0.19	85	325	2.28	1
46 SCANCE	VERDUN	247	0.50	2.70	1	11	0.10	161	519	1.85	1
3 MEUSE	INOR	205	6.40	8.00	60	20	0.10	60	60	1.71	1
4 CHIERS	CONS LA GRANVILLE	247	61.80	1.10	121	65	0.70	35	2422	2.85	1.28
5 TON	ECOUVIEZ	205	6.30	1.50	220	16	0.14	40	154	1.42	1.14
6 CHIERS	CARIGNAN	205	7.70	1.00	96	22	0.13	110	700	1.71	1.42
45 MEUSE	DONCHERY	247	6.00	0.80	22	20	0.10	70	269	1.28	1
44 MEUSE	MONTCY N DAME	247	7.00	2.20	26	30	0.10	209	527	2	1
43 GOUTELLE	NOUZONVILLE	247	6.50	1.20	146	39	0.10	87	1224	2.14	1
102 MEUSE	MONTHERME (Amont)	247	20.47	6.14	146	122	0.29	377	21	1.57	1
42 SEMOIS	SORENDAL (Frontière F-B)	247	4.00	0.70	73	49	0.10	98	266	1.71	1
7 SEMOIS	HAULME	247	7.50	0.80	52	31	0.10	40	240	1.42	1
103 SEMOIS	MONTHERME	247	35.21	3.76	244	145	0.47	18	1126	1.28	1
101 MEUSE	REVIN	247	7.00	2.10	44	29	0.10	98	640	1.71	1.14
9 MEUSE	HAM SUR MEUSE	205	4.50	3.50	134	32	0.24	105	760	2.28	1.14
99 HOUILLE	LANDRICHAMPS	247	9.00	0.50	27	28	0.10	29	254	1.14	1.14
100 HOUILLE	GIVET	247	14.00	3.30	186	3500	0.10	199	787	2.71	2
9 MEUSE	GIVET	247	15.60	0.50	71	5214	0.10	8	440	2.14	1.71

4.1.2. 3

Élément	Niveaux (borne en mg/kg)	Fréquence en % des classes de qualité des métaux lourds dans les sédiments			
		Bassins			
		RHIN	MOSELLE	SARRE	MEUSE
As	0 (< 15)	69 % (32)*	86 % (35)	100 % (17)	79 % (19)
	1 (< 30)	22 %	9 %	0 %	11 %
	2 (< 60)	9 %	25 %	0 %	5 %
	3 (< 120)	0	25 %	0 %	5 %
	4 (> 120)	0	0	0 %	0 %
Cd	0 (< 1)	41 % (32)	17 % (29)	31 % (16)	29 % (17)
	1 (< 2)	22 %	17 %	25 %	12 %
	2 (< 4)	12 %	48 %	13 %	35 %
	3 (< 8)	19 %	7 %	31 %	24 %
	4 (> 8)	6 %	11 %	0 %	0 %
Cr	0 (< 40)	41 % (32)	21 % (29)	19 % (16)	24 % (17)
	1 (< 80)	16 %	17 %	25 %	24 %
	2 (< 160)	13 %	45 %	44 %	35 %
	3 (< 320)	6 %	10 %	12 %	17 %
	4 (> 320)	24 %	7 %	0 %	0 %
Cu	0 (< 30)	34 % (32)	40 % (35)	41 % (17)	47 % (19)
	1 (< 60)	22 %	37 %	35 %	20 %
	2 (< 120)	19 %	20 %	18 %	11 %
	3 (< 240)	19 %	3 %	0 %	11 %
	4 (> 240)	6 %	0 %	6 %	11 %
Hg	0 (< 0,2)	50 % (32)	59 % (29)	63 % (16)	83 % (6)
	1 (< 0,4)	9 %	14 %	31 %	7 %
	2 (< 0,8)	16 %	17 %	6 %	0 %
	3 (< 1,6)	6 %	7 %	0 %	0 %
	4 (> 1,6)	19 %	3 %	0 %	0 %
Pb	0 (< 40)	22 % (32)	28 % (29)	32 % (16)	24 % (17)
	1 (< 80)	22 %	21 %	44 %	18 %
	2 (< 160)	50 %	31 %	12 %	34 %
	3 (< 320)	6 %	10 %	12 %	18 %
	4 (> 320)	0 %	10 %	0 %	6 %
Zn	0 (< 150)	47 % (32)	40 % (35)	47 % (17)	16 % (19)
	1 (< 300)	47 %	14 %	23 %	26 %
	2 (< 600)	6 %	26 %	18 %	21 %
	3 (< 1200)	0 %	3 %	12 %	26 %
	4 (> 1200)	0 %	17 %	0 %	11 %

* le chiffre entre parenthèse correspond au total des stations retenues pour le calcul de la fréquence.

4.2. Comparaison de l'indice moyen de pollution en métaux lourds dans les eaux superficielles et dans les sédiments

Le calcul de l'indice moyen de pollution en métaux lourds dans les eaux superficielles a été réalisé en adoptant les mêmes critères que ceux retenus dans le cadre de l'étude sédiments de décembre 1982. Le poids de chaque élément, égal à 1, intègre sa toxicité, la valeur des bornes choisies étant tributaire du caractère de nocivité de l'élément. L'indice moyen de pollution I_m d'une station a été choisi comme étant la moyenne arithmétique des 7 Ie éléments (donc sans prise en compte des synergies possibles).

$$I_m^{(E.S.)} = (I_{As} + I_{Cd} + I_{Cr} + I_{Cu} + I_{Hg} + I_{Pb} + I_{Zn}) / 7.$$

Cet indice moyen varie de 1 à 5. Sa distribution par classe avec un pas de 0,7 est analogue à celle adoptée pour la valeur brute des sédiments, la classe 1 ou le niveau 0 étant bornés à 1,1.

Niveau 0 : classe 1 =	$I_m \leq 1,1$
Niveau 1 : classe 2 =	$1,1 < I_m \leq 1,8$
Niveau 2 : classe 3 =	$1,8 > I_m \leq 2,5$
Niveau 3 : classe 4 =	$2,5 > I_m \leq 3,2$
Niveau 4 : classe 5 =	$I_m > 3,2$

Sur la figure 4.1 b ont été représentés les histogrammes des I_m suivant cette répartition. Le tableau des pages 153 et 154 donne le détail des Ie, I_m et classes de qualité de l'ensemble des points concernant les analyses eaux superficielles et sédiments.

La superposition des I_m sédiments et eaux superficielles est satisfaisante. Sur les 31 stations concernées on dénombre :

- 12 stations soit près de 40 % des points où la valeur de I_m est identique à + 20 % dans les eaux superficielles et dans les sédiments,
- 9 stations soit 29 % des points ont une valeur I_m sédiments inférieure à la valeur I_m des eaux de surface,
- 10 stations, soit 32 % des points ont une valeur I_m sédiments supérieure à la valeur I_m des eaux de surface.

Les différences extrêmes correspondent à

- l'Ill à Brunstatt où le rapport $I_m^{(s)} / I_m^{(ES)}$ est égal à 0,3 (représentativité du prélèvement sédiments ?, pollution récente?, pollution uniquement sous forme dissoute ?);
- la Moselle à Hauconcourt de même que la Meurthe à Azerailles où au contraire le rapport $I_m^{(s)} / I_m^{(ES)}$ est égal à 1,8 (dépollution récente ?).

4.3. Cartographie des métaux lourds dans les eaux superficielles et dans les sédiments

Les plans annexes 4 et 5 présentent la cartographie des métaux lourds dans les sédiments et sous forme dissoute suivant les 5 niveaux définis dans le § 3.1.1.. Sur ces documents ont été rajouté pour chacune des stations concernées sa qualité générale établie à partir de la campagne d'analyses 1981.

N° du point	Désignation	Classe de qualité gley	Type de prélevement	Répartition par classes des métaux lourds							Im	Im / E.S
				As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn		
AA 34	LARGUE à FRIESEN	2	S E-S	1 1	1 3	1 3	1 3	1 1	1 3	1 2	1.0 2.28	0.4
AA 40	ILL à BRUNSTATT	2	S E-S	1 3	2 5	1 3	1 4	1 2	1 5	1 3	1.14 3.57	0.3
AA 130	ILL à OBERHERGHEIM	M	S E-S	1 2	3 5	5 4	4 4	5 2	3 4	2 3	3.28 3.42	0.9
AA 220	ILL à ILLHAEUSERN	3	S E-S	1 1	3 5	5 3	4 3	4 1	3 2	2 2	3.14 2.42	1.3
AA 260	ILL à OSTHOUSE	2	S E-S	1 2	4 3	5 3	3 3	4 1	3 3	2 1	3.14 2.42	1.3
AA 270	ILL à OHNHEIM	1B	S E-S	1 1	2 5	4 3	3 3	3 1	3 4	2 3	2.57 2.85	0.9
AA 380	ILL à LA WANTZENAU	1B	S E-S	1 2	4 5	4 3	3 3	3 1	4 4	2 2	3.00 2.85	1.1
AA 440	ZORN à BIETLENHEIM	2	S E-S	2 1	1 4	2 1	2 2	1 1	2 3	2 2	1.71 2.00	0.9
AA 490	MOSELLE à SAULX	1B	S E-S	1 1	2 3	3 1	2 1	1 1	2 /	1 1	1.71 1.33	1.3
AA 560	MOSELLE à VELLE	1B	S E-S	1 1	1 5	2 2	1 2	1 /	1 1	1 2	1.14 2.16*	0.5
AA 595	MOSELLE à PIERRE LA TEICHE	2	(S) E-S	2 1	1 4	3 2	2 2	1 /	1 2	5 2	2.14 2.16*	1.0
BC 7020	MOSELLE à LIVERDUN	1B	(S) E-S	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 2	1 1.14	0.9
BC 7070	MEURTHE à AZERAILLES	1B	S E-S	1 1	2 1	3 1	3 2	3 1	4 2	2 2	2.57 1.42	1.8
BC 7110	MEURTHE à BOUXIERES AUX DAMES	2	S E-S	1 1	2 1	3 3	2 3	1 3	3 2	2 3	2.0 2.42	0.8
BC 7030	MOSELLE à MILLERY	3	S E-S	1 2	3 1	4 3	3 2	4 2	4 2	4 2	3.28 2.00	1.6
AA 770	MOSELLE à ARRY	2	(S) E-S	1 1	1 5	1 2	1 2	1 /	1 2	1 2	1 2.33*	0.4
BC 7040	MOSELLE HAUCONCOURT	2	S E-S	1 1	3 1	3 2	2 1	3 1	3 1	3 2	2.57 1.42	1.8
BC 7140	ORNE à RICHEMONT	3	S E-S	1 2	5 3	4 5	2 2	1 2	5 5	5 5	3.28 3.43	0.9
AA 900	MOSELLE à UCKANGE	2	S E-S	1 1	4 5	4 2	2 1	1 4	5 3	5 5	3.14 3.00*	1.0
BC 7150	FENSCH à FLORANGE	M	(S) E-S	3 4	1 3	3 5	3 4	1 4	1 5	5 5	2.42 4.28	0.6
BC 7050	MOSELLE à MANON	2	(S) E-S	2 2	1 1	2 4	1 2	1 3	1 3	3 4	1.57 2.71	0.6

a) S = Sédiments

b) E.S. = Eaux-sédiments

c) (S) = Les résultats des analyses sédiments sont douteux pour Cd, Cr, Hg.

d) * = Valeur de l'Im calculée sans Hg.

(suite)

N° du point	Désignation	Classe de qualité gle	Type de prélèvement	Répartition par classes des métaux lourds							Im	Im S Im/E.S.
				As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn		
BC 7060	MOSELLE à SIERK	2	S E-S	1 2	3 1	5 4	2 2	1 2	3 3	3 4	2.57	1.0 2.57
CA 2900	BIEVRE à SARREBOURG	2	S E-S	1 1	4 5	4 2	5 3	4 -	4 3	4 2	3.71	1.4 2.66
BB 6020	SARRE à SARREINSMING	3	S E-S	1 2	4 1	3 4	2 2	2 3	2 2	1 2	2.14	0.9 2.28
AA 1020	MERLE à MERLEBACH	M	S E-S	1 5	1 1	4 5	2 4	1 3	2 3	2 5	1.85	0.5 3.71
BB 6040	ROSSELLE à PETITE ROSELLE	M	S E-S	1 5	2 3	3 5	2 3	1 4	2 4	3 4	2.00	0.5 4.00
BB 6050	BIST à CREUTZWALD	M	S E-S	1 3	2 3	2 4	1 2	1 1	1 3	2 4	1.42	0.5 2.85
AA 1090	MEUSE à ST. MIHIEL	1B	S E-S	1 1	4 3	3 1	3 2	1 -	3 1	3 2	2.57	1.5 1.66
AA 1140	MEUSE à INOR	1B	S E-S	1 1	4 1	2 2	1 1	1 2	2 1	1 1	1.71	1.3 1.28
AA 1160	CHIERS à CARIGNAN	1B	S E-S	1 1	1 1	3 3	1 1	1 2	3 3	4 4	2.00	0.9 2.14
AA 1230	MEUSE A HAM s/MEUSE	1B	S E-S	1 1	3 1	3 2	2 2	2 3	3 2	4 2	2.57	1.4 1.85

a) S = Séiments

b) E.S. = Eaux-séiments

c) (S) = Les résultats des analyses sédiments sont douteux pour Cd, Cr, Hg.

d) * = Valeur de l'Im calculée sans Hg.

4.3.1. Le bassin de l'Ill

- Sur les 8 stations faisant partie du bassin de l'Ill, on note la présence de
- 1 station appartenant à la classe 5 ($Im_{(E.S.)} > 3.2$) : l'Ill à Brunstatt
 - 2 stations appartenant à la classe 4 ($Im_{(E.S.)} > 2.5$) : l'Ill à Oberhergheim et à Ohnheim.

Les métaux lourds responsables de cet état sont pour l'essentiel le cadmium et le plomb. Tant pour le cadmium que pour le plomb, il n'y a pas de correspondance de classe entre les eaux superficielles et les sédiments, ces éléments dans leur forme dissoute ne se retrouvant pas dans les mêmes proportions dans les sédiments.

Inversement il faut souligner que le mercure analysé dans les sédiments de l'Ill à Oberhergheim, à Illhaeusern et à Osthause, ne se retrouve pas sous forme dissoute dans la rivière (dépollution récente dans la Thur). La comparaison de l' $Im_{(E.S.)}$ avec les classes de qualité 1981 est dans l'ensemble satisfaisante. Les écarts de classification supérieurs à 1 classe sont :

- l'Ill à Brunstatt où la classe de qualité 2 est associée à la classe des $Im_{(E.S.)}$ égale à 5,
- l'Ill à Ohnheim où la classe de qualité 1B est associée à la classe des $Im_{(E.S.)}$ égale à 4.

4.3.2. Le bassin de la Moselle

Le bassin de la Moselle a fait l'objet de contrôles en 14 stations. Sur ces 14 stations 2 d'entre elles ont un $Im_{(E.S.)} > 3$ (classe 4).

Il s'agit de :

- l'Orne à Richemont avec des teneurs élevées en Cr, Pb et Zn,
- de la Fensch à Florange où, excepté le cadmium, on note une teneur excessive de l'ensemble des métaux lourds.

Par ailleurs, en aval de la confluence de la Fensch avec la Moselle, les stations de Manon et de Sierk décèlent toujours des teneurs élevées en chrome. La comparaison des métaux lourds dans les eaux superficielles et les sédiments fait essentiellement apparaître une distorsion pour le mercure sur la Fensch à Florange et sur la Moselle aval. Les concentrations sous forme dissoute de cet élément ne se retrouvent pas dans les sédiments, ce qui va à l'encontre des observations faites dans le bassin de l'Ill (pollution récente ou absence de sédimentation + problèmes analytiques). La superposition des classes affectées aux $Im_{(E.S.)}$ avec les classes de qualité est bonne. Sur les 14 stations une seule présente un écart de plus d'une classe. La Moselle à Millery a un indice de qualité de 3 (classe 4) associé à un $Im_{(E.S.)}$ égal à 2.

4.3.3. Le bassin de la Sarre

Les 5 stations du bassin de la Sarre présentent toutes un $Im_{(E.S.)}$ supérieur ou égal à 3. Deux d'entre elles appartiennent à la classe 5 :

- le Merle à MERLEBACH
- la Rosselle à PETITE ROSSELLE.

Cette mauvaise qualité est induite par la plupart des métaux lourds et plus particulièrement par le chrome et le plomb.

Il convient de souligner que les analyses sédiments sont systématiquement décalées vers les classes inférieures, sauf pour la Bièvre à Sarrebourg où le cuivre et le zinc dosés dans les sédiments appartiennent aux classes 5 et 3, alors que dans leur forme dissoute ils font partie des classes 2 et 1.

4.3.4. Le bassin de la Meuse

Les $Im_{(E.S.)}$ des 4 stations du bassin de la Meuse sont des classes 2 et 3.

En ce qui concerne les éléments pris d'une manière isolée, la classe la plus élevée est la classe 3 associée au mercure dosé dans la Meuse à Ham au chrome et au plomb dosés dans la Chiers à Carignan. Aucune distorsion notable n'apparaît dans la superposition des classes de qualité avec les $Im_{(E.S.)}$.

4.4. Conclusions

Le tableau de la page suivante confronte pour l'ensemble des 31 stations retenues du bassin Rhin Meuse les classes de qualité générale avec celles associées à la pollution polymétallique sous forme dissoute et contenue dans les sédiments.

L'examen de ce tableau permet de souligner les points essentiels suivants :

- 16 stations, soit plus de 50 % des points présentent une similitude de classification entre les classes de qualité générale et la classification des $Im_{(E.S.)}$ proposée ;
- la distorsion entre les classes de qualité générale et de pollution des métaux lourds dans l'eau n'excède jamais 2. Ce déclassement de deux niveaux est uniquement relevé dans le bassin de l'Ill à Brunstatt, Ohnheim et la Wantzenau, où les classes de pollution polymétalliques sont supérieures aux classes de qualité générale ;
- sur les 12 stations restantes, on note un écart positif ($classe\ des\ Im_{(E.S.)} > classe\ de\ qualité$) en 7 stations et un écart négatif en 5 stations.

Les normes retenues pour établir les classes de qualité des métaux lourds dissous intègrent la toxicité de chaque élément. La prise en compte de l' $Im_{(E.S.)}$ dans la classification générale de la qualité des eaux superficielles affecterait quasiment le tiers des stations. Au total 10 stations seraient déclassées :

3 stations sur 8 dans le bassin de l'Ill
5 stations sur 14 dans le bassin de la Moselle
1 station sur 5 dans le bassin de la Sarre
1 station sur 4 dans le bassin de la Meuse.

Il faut cependant remarquer que le calcul proposé de l' $Im_{(E.S.)}$ ne tient pas compte des phénomènes de synergie pouvant apparaître à la faveur de l'association de plusieurs métaux - les réactions qui relativisent les normes de toxicité restent difficiles à quantifier. Elles sont d'ailleurs plus ou moins prises en compte dans l'indice biotique qui est utilisé dans la définition des classes de qualité générale.

Dans la mesure où à la place des $Im_{(E.S.)}$ chaque élément pris isolément était intégré dans la classification générale de la qualité des eaux superficielles (comme ceci est le cas en ce qui concerne les éléments physico-chimiques), on aboutirait par contre à un déclassement de la moitié des stations (17 stations sur 31) par rapport au diagnostic basé sur les critères physico-chimiques classiques :

2 rangs de qualité ou plus sur 7 stations
. Ill aval à Brunstatt
. la Moselle amont à Velle et entre Arry et Uckange
. la Bièvre au niveau de son confluent avec la Sarre,
1 rang de qualité sur 10 stations
. l'Ill à Illhaeusern et la Zorn à Bietlenheim
. la Moselle aval et l'Orne
. la Meuse à St. Mihiel et à Ham
. la Chiers à Carignan.

BASSIN	S T A T I O N S	c l a s s e s				Différence (B-A)	
		Grille générale (A)	IM (E.S.) (1) ensem- ble	IM (B) (2) par élément	IM (S)	ensemble	par élément
III	LARGUE à FRIESEN	2 = 3	3	3	1	0	0
	ILL à BRUNSTATT	2 = 3	5	5	1	+ 2	+ 2
	ILL à OBERHERGHEIM	M = 5	5	5	5	0	0
	ILL à ILLHAEUSERN	3 = 4	3	5	4	- 1	+ 1
	ILL à OSTHOUSE	2 = 3	3	3	4	0	0
	ILL à OHNHEIM	1B = 2	4	5	4	+ 2	+ 3
	ILL à la WANTZENAU	1B = 2	4	5	4	+ 2	+ 3
	ZORN à BIETLENHEIM	2 = 3	3	4	2	0	+ 1
MOSELLE	MOSELLE à SAULX *	1B = 2	2	3	2	0	+ 1
	MOSELLE à VELLE *	1B = 2	2	3	2	+ 1	+ 3
	MOSELLE à PIERRE LA TEICHE *	2 = 3	3	4	3	0	+ 1
	MOSELLE à LIVERDUN	1B = 2	2	2	1	0	0
	MEURTHE à AZERVILLES	1B = 2	2	2	4	0	0
	MEURTHE à BOUXIERES AUX DAMES	2 = 3	3	3	3	0	0
	MOSELLE à MILLERY	3 = 4	3	3	5	- 1	- 1
	ARRY *	2 = 3	3	5	1	0	+ 2
	HAUCONCOURT	2 = 3	2	2	4	- 1	- 1
	ORNE à RICHEMONT	3 = 4	5	5	5	+ 1	+ 1
	MOSELLE à UCKANGE *	2 = 3	4	5	4	+ 1	+ 2
	FENSCH à FLORANGE	M = 5	5	5	3	0	0
	MOSELLE à MANON	2 = 3	4	4	2	+ 1	+ 1
	MOSELLE à SIERK	2 = 3	4	4	4	+ 1	+ 1
SARRE	BIEVRE à SARREBOURG *	2 = 3	4	5	5	+ 1	+ 2
	SARRE à SARREINSMING	3 = 4	3	4	3	- 1	0
	MERLE à MERLEBACH	M = 5	5	5	3	0	0
	ROSSELLE à PETITE ROSSELLE	M = 5	5	5	3	0	0
	BIST à CREUTZWALD	M = 5	4	4	2	- 1	- 1
MEUSE	MEUSE à ST.MIHEL *	1B = 2	2	3	4	0	+ 1
	MEUSE à INOR	1B = 2	2	2	2	0	0
	CHIERS à CARIGNAN	2 = 3	3	4	3	0	+ 1
	MEUSE à HAM sur MEUSE	1B = 2	3	3	4	+ 1	+ 1

(1) n° de la classe de l'IM associé aux 7 éléments

(2) n° de la classe de l'élément trace le plus élevé

* IM calculé à partir de 6 éléments sans Hg.

5. REFLEXIONS SUR LA POURSUITE DES CONTROLE DES METAUX LOURDS DANS LE CADRE DE L'INP

Il faut distinguer deux optiques dans le cadre de l'INP : l'analyse de l'état global du bassin à partir d'une carte de qualité des eaux et le suivi des pollutions connues.

Pour ce qui concerne la qualité des eaux dans le bassin, l'historique des teneurs eaux depuis 1974 constitue un bon outil de travail. Par contre, les analyses sédiments (qui donnent approximativement le même état de pollution du bassin que les eaux : inventaire du degré de pollution des sédiments des cours d'eau déc. 1982) ne permettent pas actuellement de "remonter" aux analyses eaux : elles constituent néanmoins un complément qui peut permettre d'affiner certaines analyses eaux (lorsque celles-ci sont systématiquement inférieures au seuil de détection). D'autre part, disposant maintenant de cet outil, il pourrait être judicieux de recentrer les analyses eaux sur les points plus pollués pour les suivre de façon plus précise. Enfin, à la lumière de l'étude bibliographique, il ne semble pas possible d'intégrer toutes les analyses de métaux lourds sur un point en un indice de pollution par les métaux lourds. En effet, selon que l'on considère tel ou tel usage de l'eau (eau agricole, AEP, AEI, toxicité vis à vis de la faune) la toxicité est complètement différente. De plus, il faut prendre en compte les synergies et antagonismes entre métaux ; cela ne semble pas réaliste. Mais il serait intéressant de définir la qualité de l'eau par rapport à sa toxicité sur un ou plusieurs organismes tests. L'indice biotique intègre sans doute cette toxicité, mais ne permet pas de préciser la part d'une pollution par métaux lourds dans la dégradation du milieu aquatique.

Pour les pollutions déjà connues outre le recentrage des analyses eaux, la poursuite des analyses sédiments peut être fructueuse. Cependant, pour cela, il faudrait mieux caractériser le sédiment (analyse pétrographique, pose de pièges), en faisant moins d'analyses sur les points peu pollués et en poussant plus loin celle sur les points réputés pollués. Enfin un essai d'analyse sur les algues ou sur un organisme vivant pourrait peut-être permettre d'intégrer plusieurs analyses d'eau. En effet, les algues concentrent bien les métaux lourds : elles peuvent s'avérer plus facilement "étalonnables" que les sédiments, mais resteront représentatives de leur période de croissance saisonnière (si elles peuvent pousser !).

CONCLUSIONS GENERALES

L'étude des résultats de l'Inventaire National de la Pollution des métaux lourds dans les eaux superficielles du bassin Rhin Meuse permet de dégager les principales conclusions suivantes :

- malgré les difficultés d'interprétation des résultats d'analyses liés aux techniques de détermination analytiques (les seuils de détection de certains métaux étaient trop élevés lors des premières années de l'INP) l'évolution de 71 à 81 traduit un accroissement assez net des concentrations en MEST, en chrome total et en cadmium. Cet accroissement est associé à une augmentation générale des débits des rivières ;
- l'analyse bibliographique de même que les résultats obtenus dans le bassin Rhin Meuse montrent qu'il est très difficile d'établir des relations entre la teneur en métaux lourds dissous et contenus dans les sédiments. Il est en effet impossible d'évaluer le degré de pollution d'un milieu au moyen de mesures effectuées dans un autre milieu. Néanmoins l'une ou l'autre méthode permet de déceler une pollution significative lorsque :
 - . les analyses d'eau se rapportent à des prélèvements fréquents et utilisent les méthodes analytiques les plus performantes,

- le sédiment est constitué pour l'essentiel d'un dépôt de matières en suspension, les analyses "sédiment" étant dans ce cas représentatives de la qualité de l'eau,
- par analogie avec la grille de classification générale de la qualité des eaux superficielles 5 niveaux de pollution de l'eau et des sédiments par les métaux lourds ont été proposés ; les limites des classes choisies
 - sont compatibles avec le projet de directive européenne sur l'utilisation agricole des boues des stations d'épuration pour ce qui concerne la grille sédiment,
 - répondent aux contraintes des eaux potabilisables, de la vie piscicole et aquatique pour ce qui concerne la grille de pollution polymétallique des eaux brutes non filtrées.

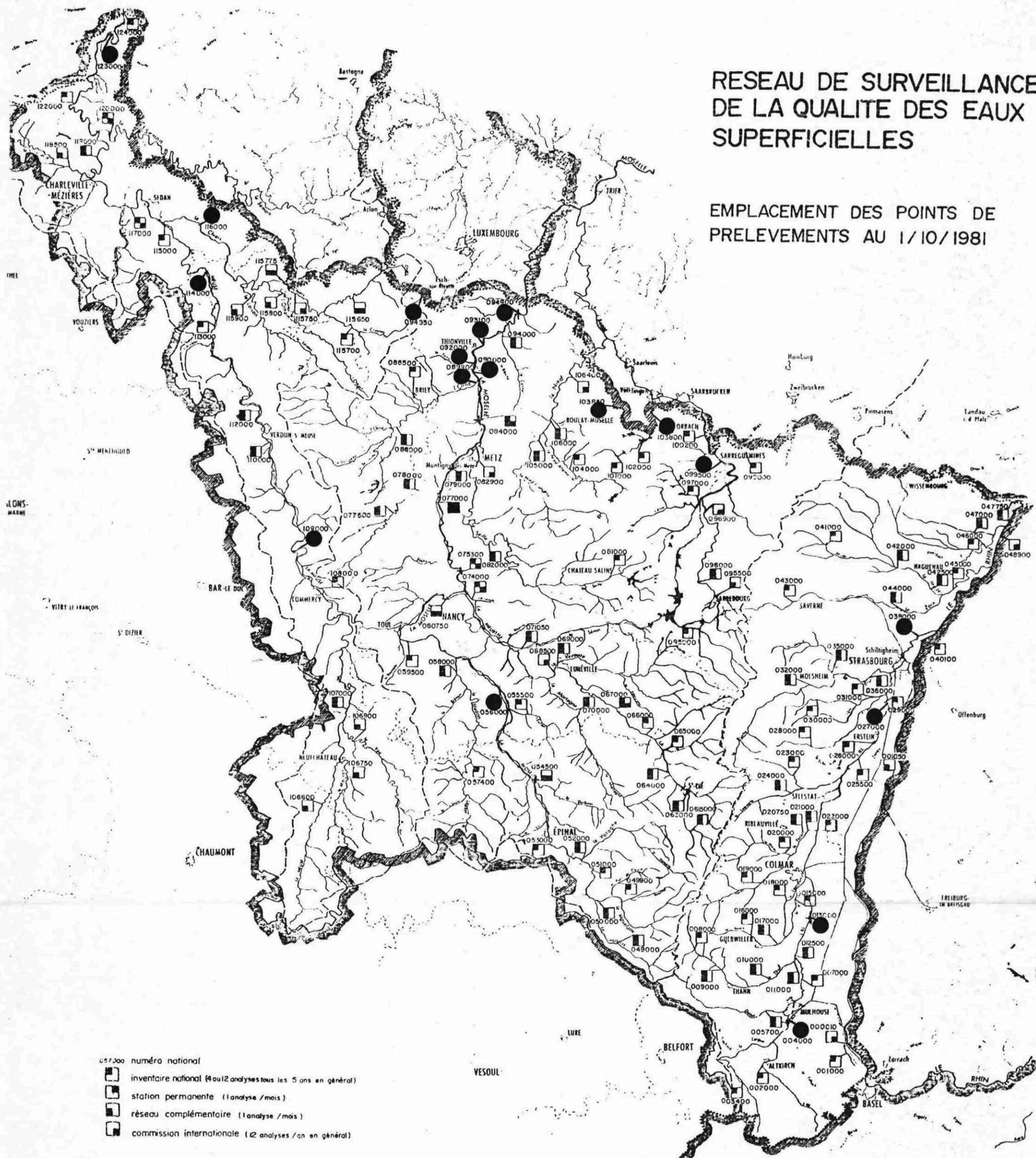
Dans la mesure où les classes de pollution des métaux lourds pris isolément étaient intégrés dans la grille de classification générale de la qualité des eaux superficielles, on aboutirait à un déclassement de la moitié des stations. Ce déclassement atteindrait 2 rangs de qualité ou plus sur 45 % d'entre elles et 1 rang de qualité sur les autres.

CARTE DES POINTS UTILISES POUR
L'ETUDE STATISTIQUE DES
ANALYSES D'EAU

Annexe 1

RESEAU DE SURVEILLANCE DE LA QUALITE DES EAUX SUPERFICIELLES

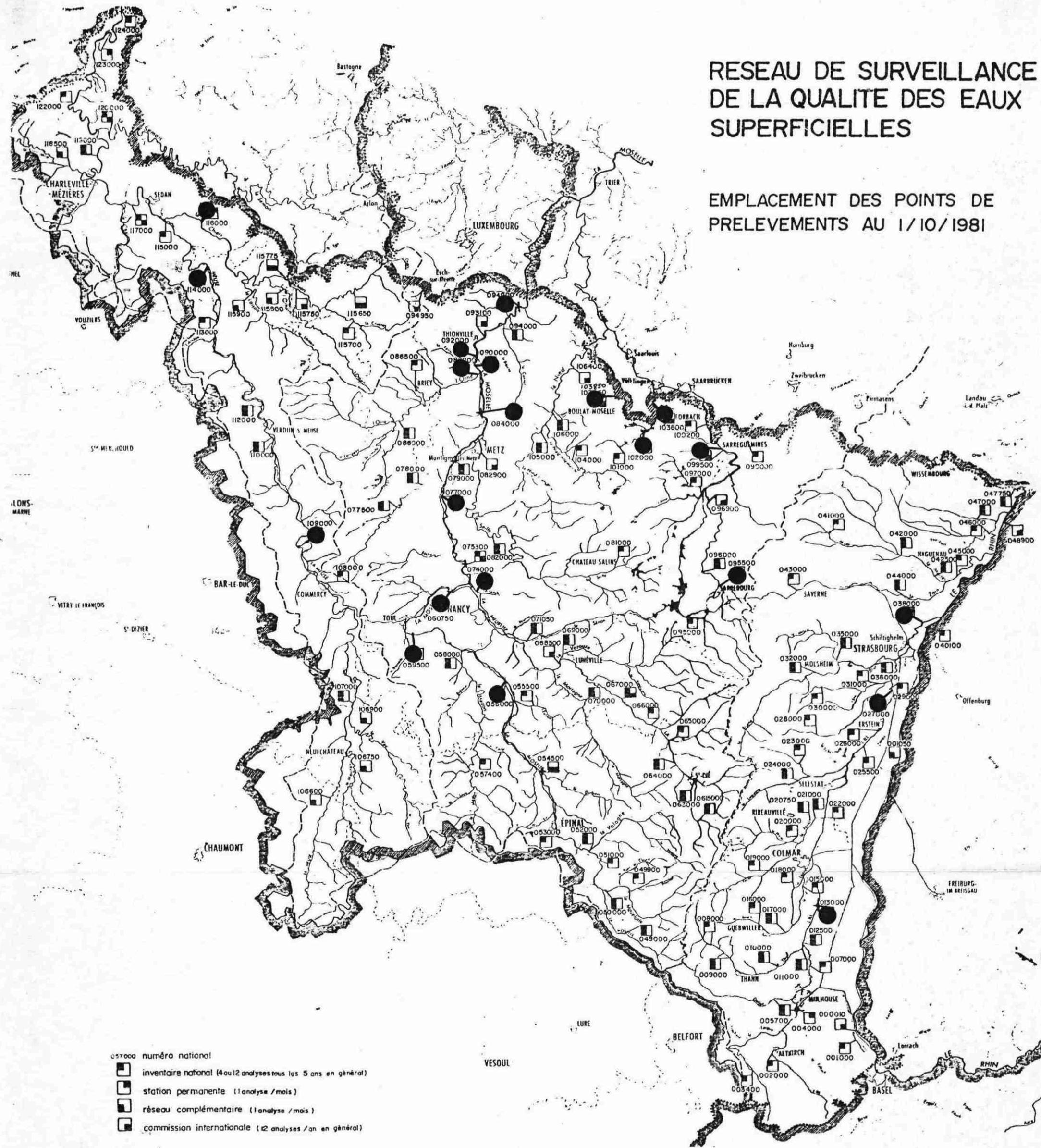
EMPLACEMENT DES POINTS DE
PRELEVEMENTS AU 1/10/1981



**CARTE DES POINTS UTILISES POUR
LES CORRELATIONS EAU-SEDIMENT**

**RESEAU DE SURVEILLANCE
DE LA QUALITE DES EAUX
SUPERFICIELLES**

**EMPLACEMENT DES POINTS DE
PRELEVEMENTS AU 1/10/1981**



Annexe 3

POLLUTION DES EAUX SUPERFICIELLES
DU BASSIN RHIN - MEUSE
PAR LES METAUX LOURDS

Répartition du d 90 en 5 classes de pollution

EAUX SUPERFICIELLES BASIN RHIN-MEUSE STATIONS I.N.P. (CAMPAGNE 1981)

* NUMERO * TENEUR EN AS. (MG/L) ASSOCIEE AUX MAT. SUSP. (MG/L)										* TENEUR EN CD (MG/L) ASSOCIEE AUX MAT. SUSP. MG/L)									
* PUIST					* MAX I M.S.* MAX-I I M.S.* MED. I M.S.*NUMB.*CL.*					* MAX I M.S.* MAX-I I M.S.* MED. I M.S.*NUMB.*CL.*					* CD ICORR.* CD ICORR.*VAL. *				
* AS ICORR.* AS ICORR.*					* AS ICORR.*VAL. *					* CD ICORR.* CD ICORR.*					* CD ICORR.*VAL. *				
*	AA	34*	C.CC80I	25.*	0.0040I	38.*	0.0040I	40.*	4 * 1	0.0080I	41.*	0.0005I	97.*	0.0005I	62.*	4 * 3	*	*	*
*	AA	40*	C.C120I	240.*	0.0120I	23.*	0.0040I	17.*	12 * 3	0.0080I	19.*	0.0060I	11.*	0.0030I	29.*	12 * 5	*	*	*
*	AA	130*	C.C120I	5.*	0.0100I	170.*	0.0080I	5.*	12 * 2	0.0060I	5.*	0.0040I	14.*	0.0015I	31.*	12 * 5	*	*	*
*	AA	220*	C.C100I	100.*	0.0040I	8.*	0.0030I	50.*	4 * 1	0.0060I	5.*	0.0040I	100.*	0.0023I	96.*	4 * 5	*	*	*
*	AA	260*	C.CC80I	7.*	0.0060I	16.*	0.0050I	46.*	4 * 2	0.0040I	7.*	0.0010I	7.*	0.0008I	42.*	4 * 3	*	*	*
*	AA	270*	C.CC90I	12.*	0.0040I	18.*	0.0020I	35.*	12 * 1	0.0070I	41.*	0.0060I	9.*	0.0013I	44.*	12 * 5	*	*	*
*	AA	380*	C.CC80I	11.*	0.0060I	7.*	0.0020I	15.*	12 * 2	0.0050I	16.*	0.0030I	208.*	0.0010I	21.*	12 * 5	*	*	*
*	AA	440*	C.C040I	18.*	0.0020I	10.*	0.0020I	17.*	4 * 1	0.0020I	10.*	0.0020I	24.*	0.0020I	21.*	4 * 4	*	*	*
*	AA	490*	C.CC25I	2.*	0.0025I	1.*	0.0025I	3.*	4 * 1	0.0060I	2.*	0.0010I	4.*	0.0008I	3.*	4 * 3	*	*	*
*	AA	560*	C.C100I	7.*	0.0050I	30.*	0.0025I	40.*	12 * 1	0.0140I	5.*	0.0050I	17.*	0.0005I	130.*	12 * 5	*	*	*
*	AA	595*	C.CC25I	139.*	0.0025I	7.*	0.0025I	45.*	12 * 1	0.0040I	7.*	0.0020I	35.*	0.0005I	12.*	12 * 4	*	*	*
*	AA	770*	C.CC25I	122.*	0.0025I	13.*	0.0025I	26.*	12 * 1	0.0040I	13.*	0.0030I	62.*	0.0005I	68.*	12 * 5	*	*	*
*	AA	790*	C.CC50I	8.*	0.0000I	0.*	0.0050I	5.*	1 * 1	0.0050I	3.*	0.0000I	0.*	0.0050I	0.*	1 * 1	*	*	*
*	AA	900*	C.C100I	10.*	0.0025I	127.*	0.0025I	13.*	12 * 1	0.0070I	73.*	0.0050I	56.*	0.0005I	69.*	12 * 5	*	*	*
*	AA	360*	C.CC50I	10.*	0.0000I	0.*	0.0050I	16.*	1 * 1	0.0050I	10.*	0.0000I	0.*	0.0050I	10.*	1 * 1	*	*	*
*	AA	1020*	C.C1950I	109.*	0.00960I	130.*	0.0105I	94.*	12 * 5	0.0010I	130.*	0.0000I	0.*	0.0010I	130.*	1 * 1	*	*	*
*	AA	1090*	C.CC25I	26.*	0.0025I	5.*	0.0025I	14.*	12 * 1	0.0040I	5.*	0.0010I	14.*	0.0005I	6.*	12 * 3	*	*	*
*	AA	1140*	C.CC50I	14.*	0.0025I	3.*	0.0025I	27.*	12 * 1	0.0030I	35.*	0.0000I	0.*	0.0030I	35.*	1 * 1	*	*	*
*	AA	1160*	C.CC60I	17.*	0.0025I	35.*	0.0025I	17.*	12 * 1	0.0010I	9.*	0.0000I	0.*	0.0010I	9.*	1 * 1	*	*	*
*	AA	1230*	C.CC25I	45.*	0.0025I	7.*	0.0025I	36.*	12 * 1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	BB	6020*	C.C130I	94.*	0.0030I	7.*	0.0025I	145.*	12 * 2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	BB	6040*	C.C1500I	30.*	0.1080I	350.*	0.0080I	77.*	12 * 5	0.0010I	35.*	0.0010I	232.*	0.0010I	134.*	2 * 3	*	*	*
*	BB	6050*	C.C290I	31.*	0.0170I	36.*	0.0095I	80.*	12 * 3	0.0010I	27.*	0.0010I	45.*	0.0010I	45.*	3 * 3	*	*	*
*	BC	7020*	C.CC25I	57.*	0.0025I	5.*	0.0025I	5.*	3 * 1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	BC	7030*	C.CC70I	12.*	0.0060I	10.*	0.0025I	14.*	12 * 2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	BC	7040*	C.CC60I	13.*	0.0025I	124.*	0.0025I	65.*	4 * 1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	BC	7050*	C.CC80I	26.*	0.0060I	47.*	0.0025I	70.*	12 * 2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	BC	7060*	C.C120I	28.*	0.0060I	10.*	0.0025I	163.*	12 * 2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	BC	7070*	C.CC60I	9.*	0.0025I	54.*	0.0025I	30.*	4 * 1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	BC	7110*	C.CC60I	17.*	0.0050I	50.*	0.0025I	40.*	12 * 1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	BC	7140*	C.C110I	90.*	0.0070I	9.*	0.0025I	72.*	12 * 2	0.0010I	7.*	0.0010I	485.*	0.0010I	246.*	2 * 3	*	*	*
*	BC	7150*	C.C320I	40.*	0.0250I	39.*	0.0120I	47.*	12 * 4	0.0010I	201.*	0.0010I	37.*	0.0010I	119.*	2 * 3	*	*	*
*	CA	2900*	C.C190I	19.*	0.0050I	9.*	0.0025I	25.*	12 * 1	0.0050I	17.*	0.0040I	34.*	0.0005I	20.*	12 * 5	*	*	*

d 90 (MAX-1)

d 98 (MAX-1)

NOMBRE TOTAL DE POINTS

NOMBRE TOTAL DE POINTS 31

CLASSE 1	PCURCENTAGE =	60.5	(20 POINTS)
CLASSE 2	PCURCENTAGE =	24.2	(8 POINTS)
CLASSE 3	PCURCENTAGE =	6.1	(2 POINTS)
CLASSE 4	PCURCENTAGE =	3.0	(1 POINTS)
CLASSE 5	PCURCENTAGE =	6.1	(2 POINTS)

CLASSE	1	POURCENTAGE=	38.7	(	12	POINTS
CLASSE	2	POURCENTAGE=	0.0	(	0	POINTS
CLASSE	3	POURCENTAGE=	25.8	(	8	POINTS
CLASSE	4	POURCENTAGE=	6.4	(	2	POINTS
CLASSE	5	POURCENTAGE=	29.0	(	9	POINTS

EAUX SUPERFICIELLES BASSIN RHIN-MEUSE STATIONS I.N.P. (CAMPAGNE 1981)

=====

* NUMERU * TENEUR EN CRT (MG/L) ASSOCIEE AUX MAT.SUSP.(MG/L) * TENEUR EN CU (MG/L) ASSOCIEE AUX MAT.SUSP. MG/L) *
* POINT ***
* * MAX I M.S.* MAX-1 I M.S.* MED. I M.S.*NOMB.*CL.* MAX I M.S.* MAX-1 I M.S.* MED. I M.S.*NOMB.*CL.*
* * CRT ICORR.* CRT ICORR.*VAL. * * CU ICORR.* CU ICORR.*VAL. * * CU ICORR.*VAL. * *

* AA 34* 0.0140I 97.* 0.0140I 41.* 0.0100I 40.* 4 * 3 * 0.0150I 97.* 0.0110I 26.* 0.0095I 34.* 4 * 3 *
* AA 40* 0.0160I 19.* 0.0140I 5.* 0.0090I 18.* 12 * 3 * 0.01520I 25.* 0.0450I 240.* 0.0085I 10.* 12 * 4 *
* AA 130* 0.0170I 39.* 0.0340I 9.* 0.0140I 31.* 12 * 4 * 0.0160I 5.* 0.0260I 6.* 0.0130I 90.* 12 * 4 *
* AA 220* 0.0200I 3.* 0.0180I 92.* 0.0180I 49.* 4 * 3 * 0.0180I 92.* 0.0140I 8.* 0.0110I 54.* 4 * 3 *
* AA 260* 0.0200I 7.* 0.0120I 7.* 0.0100I 12.* 4 * 3 * 0.0150I 7.* 0.0170I 7.* 0.0125I 12.* 4 * 3 *
* AA 270* 0.0300I 9.* 0.0150I 8.* 0.0170I 34.* 12 * 3 * 0.0250I 10.* 0.0170I 27.* 0.0105I 17.* 12 * 3 *
* AA 380* 0.0140I 19.* 0.0120I 11.* 0.0040I 15.* 12 * 3 * 0.0160I 11.* 0.0140I 11.* 0.0050I 114.* 12 * 3 *
* AA 440* 0.0060I 12.* 0.0040I 18.* 0.0040I 21.* 4 * 1 * 0.0150I 24.* 0.0080I 10.* 0.0075I 14.* 4 * 2 *
* AA 490* 0.0200I 1.* 0.0050I 4.* 0.0038I 3.* 4 * 1 * 0.0100I 4.* 0.0025I 2.* 0.0025I 2.* 4 * 1 *
* AA 560* 0.0030I 13.* 0.0060I 244.* 0.0025I 40.* 12 * 2 * 0.0150I 5.* 0.0100I 30.* 0.0038I 41.* 12 * 2 *
* AA 595* 0.0130I 12.* 0.0060I 57.* 0.0050I 20.* 12 * 2 * 0.0100I 11.* 0.0100I 28.* 0.0070I 80.* 12 * 2 *
* AA 770* 0.0080I 15.* 0.0070I 62.* 0.0050I 23.* 12 * 2 * 0.0100I 13.* 0.0100I 18.* 0.0060I 34.* 12 * 2 *
* AA 790* 0.0050I H.***** 0.* 0.0050I 8.* 1 * 1 * 0.0100I 13.* 0.0100I 18.* 0.0060I 34.* 12 * 2 *
* AA 900* 0.0030I 127.* 0.0080I 7.* 0.0050I 12.* 12 * 2 * 0.0150I 56.* 0.0100I 11.* 0.0080I 100.* 12 * 2 *
* AA 960* 0.0050I 10.****** 0.* 0.0050I 10.* 1 * 1 * 0.0150I 51.* 0.0350I 109.* 0.0150I 95.* 12 * 4 *
* AA 1020* 0.4400I 47.* 0.3400I 170.* 0.1675I 67.* 12 * 5 * 0.0150I 51.* 0.0350I 109.* 0.0150I 95.* 12 * 4 *
* AA 1090* 0.0080I 7.* 0.0025I 26.* 0.0025I 10.* 12 * 1 * 0.0200I 13.* 0.0100I 6.* 0.0025I 24.* 12 * 2 *
* AA 1140* 0.0200I 8.* 0.0100I 28.* 0.0038I 13.* 12 * 2 * 0.0150I 24.* 0.0025I 9.* 0.0025I 27.* 12 * 1 *
* AA 1160* 0.0300I 15.* 0.0200I 30.* 0.0075I 15.* 12 * 3 * 0.0150I 29.* 0.0025I 35.* 0.0025I 17.* 12 * 1 *
* AA 1230* 0.0150I 53.* 0.0100I 45.* 0.0050I 16.* 12 * 2 * 0.0100I 6.* 0.0100I 20.* 0.0025I 13.* 12 * 2 *
* BB 6020* 0.0450I 135.* 0.0250I 287.* 0.0050I 17.* 12 * 4 * 0.0200I 34.* 0.0100I 135.* 0.0150I 16.* 12 * 2 *
* BB 6040* 0.1250I 105.* 0.0900I 35.* 0.0600I 207.* 12 * 5 * 0.0250I 353.* 0.0200I 366.* 0.0100I 70.* 12 * 3 *
* BB 6050* 0.0400I 132.* 0.0250I 33.* 0.0075I 32.* 12 * 4 * 0.0150I 48.* 0.0100I 28.* 0.0075I 31.* 12 * 2 *
* BC 7020* 0.0250I 57.* 0.0025I 50.* 0.0025I 50.* 3 * 1 * 0.0250I 15.* 0.0050I 57.* 0.0050I 57.* 3 * 1 *
* BC 7030* 0.0300I 109.* 0.0200I 51.* 0.0075I 18.* 12 * 3 * 0.0100I 20.* 0.0100I 13.* 0.0050I 18.* 12 * 2 *
* BC 7040* 0.0300I 124.* 0.0100I 14.* 0.0075I 14.* 4 * 2 * 0.0100I 14.* 0.0050I 124.* 0.0038I 66.* 4 * 1 *
* BC 7050* 0.0500I 130.* 0.0500I 303.* 0.0050I 8.* 12 * 4 * 0.0150I 47.* 0.0100I 303.* 0.0038I 72.* 12 * 2 *
* BC 7060* 0.0600I 150.* 0.0400I 316.* 0.0100I 10.* 12 * 4 * 0.0130I 316.* 0.0100I 150.* 0.0050I 16.* 12 * 2 *
* BC 7070* 0.0100I 54.* 0.0050I 16.* 0.0050I 13.* 4 * 1 * 0.0100I 54.* 0.0100I 16.* 0.0075I 13.* 4 * 2 *
* BC 7110* 0.0400I 171.* 0.0150I 37.* 0.0075I 45.* 12 * 3 * 0.0300I 17.* 0.0150I 20.* 0.0050I 20.* 12 * 3 *
* BC 7140* 0.0650I 485.* 0.0550I 137.* 0.0125I 50.* 12 * 5 * 0.0100I 137.* 0.0100I 12.* 0.0025I 8.* 12 * 2 *
* BC 7150* 1.0400I 201.* 1.0400I 23.* 0.2100I 42.* 12 * 5 * 0.0350I 56.* 0.0300I 48.* 0.0095I 76.* 12 * 4 *
* CA 2900* 0.0150I 123.* 0.0100I 34.* 0.0025I 19.* 12 * 2 * 0.0270I 123.* 0.0200I 34.* 0.0100I 21.* 12 * 3 *

d 90 (MAX-1)

d 90 (MAX-1)

NOMBRE TOTAL DE POINTS 33

NOMBRE TOTAL DE POINTS 31

CLASSE 1 POURCENTAGE = 21.2 (7 POINTS)
CLASSE 2 POURCENTAGE = 24.2 (8 POINTS)
CLASSE 3 POURCENTAGE = 27.3 (9 POINTS)
CLASSE 4 POURCENTAGE = 15.2 (5 POINTS)
CLASSE 5 POURCENTAGE = 12.1 (4 POINTS)

CLASSE 1 POURCENTAGE= 16.1 (5 POINTS)
CLASSE 2 POURCENTAGE= 45.2 (14 POINTS)
CLASSE 3 POURCENTAGE= 25.8 (8 POINTS)
CLASSE 4 POURCENTAGE= 12.9 (4 POINTS)
CLASSE 5 POURCENTAGE= 0.0 (0 POINTS)

EAUX SUPERFICIELLES BASSIN RHIN-MEUSE STATIONS I.N.P. (CAMPAGNE 1981)

=====

* NUMERO * TENEUR EN FE (MG/L) ASSOCIEE AUX MAT.SUSP.(MG/L) * TENEUR EN MN (MG/L) ASSOCIEE AUX MAT.SUSP. MG/L) *
* POINT ***
* * MAX I M.S.* MAX-1 I M.S.* MED. I M.S.*NOMB.*CL.* MAX I M.S.* MAX-1 I M.S.* MED. I M.S.*NOMB.*CL.*
* * FE ICURR.* FF ICURR.* FF ICURR.*VAL. * * MN ICURR.* MN ICURR.* MN ICURR.* MN ICURR.*VAL. * *

* AA 34* 1.36001 41.* 1.20001 97.* 0.81001 62.* 4 * 3 * 0.08401 41.* 0.05401 26.* 0.04301 62.* 4 * 2 *
* AA 40* 1.80001 240.* 1.50001 240.* 0.35501 27.* 12 * 3 * 0.27001 240.* 0.25001 240.* 0.07401 15.* 12 * 3 *
* AA 130* 1.95001 170.* 0.70001 39.* 0.28501 28.* 12 * 2 * 0.17001 9.* 0.13001 39.* 0.06901 5.* 12 * 2 *
* AA 220* 1.45001 92.* 0.28001 100.* 0.28001 54.* 4 * 1 * 0.06201 8.* 0.05001 92.* 0.04301 49.* 4 * 1 *
* AA 260* 0.39001 16.* 0.24001 76.* 0.16801 42.* 4 * 1 * 0.11001 7.* 0.09201 16.* 0.06101 46.* 4 * 2 *
* AA 270* 1.60001 61.* 0.44001 9.* 0.20501 12.* 12 * 2 * 0.16001 10.* 0.07401 9.* 0.06151 18.* 12 * 2 *
* AA 380* 0.61001 16.* 0.39001 31.* 0.16501 114.* 12 * 2 * 0.05601 19.* 0.06601 16.* 0.03501 8.* 12 * 2 *
* AA 440* 2.26001 18.* 0.35001 10.* 0.21501 17.* 4 * 2 * 0.51001 24.* 0.08501 10.* 0.06851 14.* 4 * 2 *
* AA 490* 0.11001 1.* 0.10001 4.* 0.08001 3.* 4 * 1 * 0.02601 2.* 0.02301 4.* 0.02101 3.* 4 * 1 *
* AA 560* 3.21001 244.* 1.10001 15.* 0.62501 20.* 12 * 3 * 0.50001 16.* 0.27001 244.* 0.09501 40.* 12 * 3 *
* AA 595* 3.09001 139.* 0.48001 57.* 0.41501 14.* 12 * 2 * 0.22001 139.* 0.19401 57.* 0.06001 37.* 12 * 2 *
* AA 770* 3.20001 122.* 1.20001 18.* 0.34001 11.* 12 * 3 * 0.30001 9.* 0.18001 33.* 0.07701 33.* 12 * 2 *
* AA 900* 2.75001 127.* 1.70001 79.* 0.71501 29.* 12 * 3 * 0.22001 7.* 0.21001 127.* 0.08251 13.* 12 * 3 *
* AA 1020* 3.05001 93.* 2.75001 109.* 1.49501 95.* 12 * 4 * 0.72001 97.* 0.72001 64.* 0.64501 95.* 12 * 4 *
* AA 1090* 1.10001 6.* 0.40001 42.* 0.53001 21.* 12 * 2 * 0.23001 6.* 0.16001 6.* 0.02901 25.* 12 * 2 *
* AA 1140* 0.51001 35.* 0.95001 16.* 0.51501 22.* 12 * 2 * 0.03001 36.* 0.03001 26.* 0.02001 22.* 12 * 1 *
* AA 1160* 1.79001 35.* 1.44001 24.* 0.49901 23.* 12 * 3 * 0.13001 23.* 0.10001 9.* 0.07001 27.* 12 * 2 *
* AA 1230* 2.07001 53.* 1.15001 45.* 0.76001 20.* 12 * 3 * 0.10001 53.* 0.06001 22.* 0.04001 19.* 12 * 2 *
* BB 6020* 5.45001 135.* 5.17001 207.* 0.56001 13.* 12 * 5 * 0.33001 287.* 0.19001 98.* 0.10001 7.* 12 * 2 *
* BB 6040* 6.69001 458.* 5.55001 366.* 2.23501 174.* 12 * 5 * 0.50001 105.* 0.46001 59.* 0.41501 38.* 12 * 3 *
* BB 6050* 3.85001 28.* 2.98001 152.* 0.84501 30.* 12 * 4 * 1.23001 27.* 1.22501 45.* 0.60001 29.* 12 * 5 *
* BC 7020* 2.07001 57.* 0.43001 5.* 0.43001 5.* 3 * 2 * 0.03001 57.* 0.06001 15.* 0.06001 15.* 3 * 2 *
* BC 7030* 3.43001 103.* 2.22001 54.* 0.54501 18.* 12 * 4 * 0.20001 19.* 0.14001 13.* 0.08501 32.* 12 * 2 *
* BC 7040* 4.30001 124.* 0.62001 13.* 0.56501 14.* 4 * 2 * 0.10001 8.* 0.03001 13.* 0.07001 14.* 4 * 2 *
* BC 7050* 6.00001 303.* 3.53001 82.* 0.93001 41.* 12 * 4 * 0.33001 303.* 0.11001 6.* 0.10001 10.* 12 * 2 *
* BC 7060* 3.85001 316.* 3.60001 150.* 0.41001 19.* 12 * 4 * 0.24001 316.* 0.13501 28.* 0.09501 41.* 12 * 2 *
* BC 7070* 1.60001 54.* 0.65001 16.* 0.63501 13.* 4 * 2 * 0.08001 54.* 0.08001 6.* 0.07501 11.* 4 * 2 *
* BC 7110* 3.90001 171.* 2.15001 68.* 0.86501 22.* 12 * 4 * 0.18001 20.* 0.14001 171.* 0.11001 54.* 12 * 2 *
* BC 7140* 5.41001 485.* 4.90001 137.* 1.46501 23.* 12 * 4 * 0.41001 485.* 0.11001 137.* 0.05501 17.* 12 * 2 *
* BC 7150* 12.00001 201.* 4.74001 32.* 2.59001 46.* 12 * 4 * 0.32001 201.* 0.30001 32.* 0.21001 65.* 12 * 3 *
* CA 2900* 1.30001 123.* 1.05001 13.* 0.52501 17.* 12 * 3 * 0.42001 34.* 0.32901 15.* 0.15151 68.* 12 * 3 *

d 90 (MAX-1)

d 90 (MAX-1)

NOMBRE TOTAL DE POINTS 31

NOMBRE TOTAL DE POINTS 31

CLASSE 1 POURCENTAGE = 9.7 (3 POINTS)
CLASSE 2 POURCENTAGE = 32.3 (10 POINTS)
CLASSE 3 POURCENTAGE = 25.8 (8 POINTS)
CLASSE 4 POURCENTAGE = 25.8 (8 POINTS)
CLASSE 5 POURCENTAGE = 6.5 (2 POINTS)

CLASSE 1 POURCENTAGE = 9.7 (3 POINTS)
CLASSE 2 POURCENTAGE = 64.5 (20 POINTS)
CLASSE 3 POURCENTAGE = 19.4 (6 POINTS)
CLASSE 4 POURCENTAGE = 3.2 (1 POINTS)
CLASSE 5 POURCENTAGE = 3.2 (1 POINTS)

EAUX SUPERFICIELLES BASSIN RHIN-MEUSE STATIONS I.N.P. (CAMPAGNE 1981)

=====

* NUMERO * TENEUR EN HG (MG/L) ASSOCIEE A M⁺ MAT. SUSP. (MG/L) * TENEUR EN PB (MG/L) ASSOCIEE AUX MAT. SUSP. MG/L) *
* POINT * MAX I M.S.* MAX-1 I M.S.* MED. I M.S.*NOMB.*CL.* MAX I M.S.* MAX-1 I M.S.* MED. I M.S.*NUMB.*CL.*
* * HG ICORR.* HG ICORR.* HG ICORR.*VAL. * * PB ICORR.* PB ICORR.* PB ICORR.*VAL. * *

* AA 34* 0.CC02I 97.* 0.0001I 26.* 0.0001I 34.* 4 * 1 * 0.0360I 41.* 0.0120I 97.* 0.0090I 62.* 4 * 3 *
* AA 40* 0.0004I 11.* 0.0002I 34.* 0.0001I 132.* 12 * 2 * 0.1200I 11.* 0.0580I 19.* 0.0150I 127.* 12 * 5 *
* AA 130* 0.CC02I 170.* 0.0002I 5.* 0.0001I 35.* 12 * 2 * 0.0800I 5.* 0.0460I 5.* 0.0100I 117.* 12 * 4 *
* AA 220* 0.CC01I 92.* 0.0001I 5.* 0.0001I 7.* 4 * 1 * 0.0120I 5.* 0.0060I 92.* 0.0060I 50.* 4 * 2 *
* AA 260* 0.CC01I 76.* 0.0001I 7.* 0.0001I 7.* 4 * 1 * 0.0740I 16.* 0.0160I 76.* 0.0160I 42.* 4 * 3 *
* AA 270* 0.CC01I 41.* 0.0001I 8.* 0.0001I 10.* 12 * 1 * 0.0620I 22.* 0.0300I 8.* 0.0140I 13.* 12 * 4 *
* AA 3du* 0.CC03I 31.* 0.0001I 9.* 0.0001I 11.* 12 * 1 * 0.0280I 16.* 0.0260I 7.* 0.0130I 20.* 12 * 4 *
* AA 440* 0.CC01I 24.* 0.0001I 10.* 0.0001I 11.* 4 * 1 * 0.0440I 24.* 0.0140I 18.* 0.0120I 15.* 4 * 3 *
* AA 490* 0.CC05I 2.* 0.0005I 1.* 0.0005I 3.* 4 * 4 * 0.0025I 2.* 0.0025I 1.* 0.0025I 3.* 4 * 1 *
* AA 560* 0.CC05I 244.* 0.0005I 5.* 0.0005I 13.* 12 * 4 * 0.0025I 244.* 0.0025I 5.* 0.0025I 13.* 12 * 1 *
* AA 595* 0.CC01I 3.* 0.0005I 139.* 0.0005I 35.* 12 * 4 * 0.0070I 12.* 0.0070I 28.* 0.0050I 34.* 12 * 2 *
* AA 770* 0.C100I 9.* 0.0005I 122.* 0.0005I 17.* 12 * 4 * 0.0050I 33.* 0.0080I 27.* 0.0038I 68.* 12 * 2 *
* AA 900* 0.CC05I 127.* 0.0005I 22.* 0.0005I 10.* 12 * 4 * 0.1100I 79.* 0.0200I 46.* 0.0070I 42.* 12 * 3 *
* AA 1020* 0.CC10I 109.* 0.0004I 130.* 0.0002I 54.* 12 * 3 * 0.0250I 120.* 0.0150I 60.* 0.0100I 87.* 12 * 3 *
* AA 1090* 0.CC05I 26.* 0.0005I 5.* 0.0005I 14.* 12 * 4 * 0.0025I 26.* 0.0025I 5.* 0.0025I 14.* 12 * 1 *
* AA 1140* 0.CC02I 4.* 0.0002I 35.* 0.0001I 27.* 12 * 2 * 0.0200I 18.* 0.0050I 28.* 0.0025I 36.* 12 * 1 *
* AA 1160* 0.CC02I 6.* 0.0002I 18.* 0.0001I 20.* 12 * 2 * 0.0300I 35.* 0.0200I 24.* 0.0150I 15.* 12 * 3 *
* AA 1230* 0.CC04I 6.* 0.0003I 10.* 0.0001I 38.* 12 * 3 * 0.0200I 22.* 0.0100I 53.* 0.0038I 33.* 12 * 2 *
* BB 602u* 0.CC03I 6.* 0.0003I 5.* 0.0001I 70.* 12 * 3 * 0.0200I 6.* 0.0100I 135.* 0.0075I 31.* 12 * 2 *
* BB 604u* 0.CC07I 358.* 0.0007I 59.* 0.0002I 77.* 12 * 4 * 0.0500I 366.* 0.0350I 232.* 0.0200I 112.* 12 * 4 *
* BB 6050* 0.CC02I 28.* 0.0001I 132.* 0.0001I 57.* 12 * 1 * 0.0300I 132.* 0.0200I 88.* 0.0050I 25.* 12 * 3 *
* BC 7020* 0.C001I 57.* 0.0001I 15.* 0.0001I 15.* 3 * 1 * 0.0100I 15.* 0.0050I 57.* 0.0050I 57.* 3 * 1 *
* BC 7030* 0.CC02I 57.* 0.0002I 54.* 0.0001I 18.* 12 * 2 * 0.0200I 1.* 0.0100I 54.* 0.0050I 60.* 12 * 2 *
* BC 7040* 0.CC02I 13.* 0.0001I 124.* 0.0001I 60.* 4 * 1 * 0.0100I 124.* 0.0100I 14.* 0.0100I 14.* 4 * 2 *
* BC 7050* 0.0005I 303.* 0.0003I 5.* 0.0001I 20.* 12 * 3 * 0.0250I 303.* 0.0200I 14.* 0.0100I 21.* 12 * 3 *
* BC 7060* 0.C002I 316.* 0.0002I 28.* 0.0001I 11.* 12 * 2 * 0.0430I 316.* 0.0200I 150.* 0.0130I 8.* 12 * 3 *
* BC 7070* 0.C001I 54.* 0.0001I 6.* 0.0001I 8.* 4 * 1 * 0.0200I 16.* 0.0100I 54.* 0.0100I 32.* 4 * 2 *
* BC 7110* 0.CC06I 12.* 0.0004I 17.* 0.0001I 44.* 12 * 3 * 0.0200I 17.* 0.0150I 10.* 0.0100I 35.* 12 * 3 *
* BC 7140* 0.CC03I 485.* 0.0002I 12.* 0.0001I 49.* 12 * 2 * 0.2700I 12.* 0.2500I 37.* 0.1300I 9.* 12 * 5 *
* BC 7150* 0.C011I 201.* 0.0009I 92.* 0.0001I 40.* 12 * 4 * 0.4200I 201.* 0.1250I 40.* 0.0275I 56.* 12 * 5 *
* CA 2900* 0.CC05I 17.* 0.0005I 15.* 0.0005I 13.* 12 * 4 * 0.1000I 34.* 0.0170I 123.* 0.0025I 16.* 12 * 3 *

d 90 (MAX-1)

NOMBRE TOTAL DE POINTS 31

CLASSE 1 POURCENTAGE = 32.3 (10 POINTS)
CLASSE 2 POURCENTAGE = 22.6 (7 POINTS)
CLASSE 3 POURCENTAGE = 16.1 (5 POINTS)
CLASSE 4 POURCENTAGE = 29.0 (9 POINTS)
CLASSE 5 POURCENTAGE = 0.0 (0 POINTS)

d 90 (MAX-1)

NOMBRE TOTAL DE POINTS 31

CLASSE 1 POURCENTAGE= 16.1 (5 POINTS)
CLASSE 2 POURCENTAGE= 25.8 (8 POINTS)
CLASSE 3 POURCENTAGE= 35.5 (11 POINTS)
CLASSE 4 POURCENTAGE= 12.9 (4 POINTS)
CLASSE 5 POURCENTAGE= 9.7 (3 POINTS)

EAUX SUPERFICIELLES BASSTIN RHIN-MEUSE STATIONS I.N.P. (CAMPAGNE 1981)

=====

* NUMERO * TENEUR EN ZN (MG/L) ASSOCIEE AUX MAT.SUSP.(MG/L) *
* POINT ***
* * MAX I M.S.* MAX-1 I M.S.* MEU. I M.S.*NOMB.*CL.*
* * ZN ICORR.* ZN ICORR.* ZN ICORR.*VAL. * *

* AA 34* 0.1800I 26.* 0.0360I 41.* 0.0290I 40.* 4 * 2 *
* AA 40* 0.1200I 23.* 0.1200I 25.* 0.0390I 15.* 12 * 3 *
* AA 130* 0.1700I 39.* 0.1400I 5.* 0.0265I 6.* 12 * 3 *
* AA 220* 0.1200I 3.* 0.0400I 5.* 0.0395I 53.* 4 * 2 *
* AA 260* 0.0920I 7.* 0.0630I 16.* 0.0455I 12.* 4 * 2 *
* AA 270* 0.1500I 8.* 0.1300I 18.* 0.0335I 42.* 12 * 3 *
* AA 380* 0.1100I 16.* 0.0550I 11.* 0.0235I 20.* 12 * 2 *
* AA 440* 0.0930I 13.* 0.0670I 24.* 0.0585I 17.* 4 * 2 *
* AA 490* 0.0120I 4.* 0.0100I 1.* 0.0075I 2.* 4 * 1 *
* AA 560* 0.0600I 16.* 0.0600I 64.* 0.0300I 131.* 12 * 2 *
* AA 545* 0.0600I 7.* 0.0500I 32.* 0.0250I 16.* 12 * 2 *
* AA 770* 0.0400I 23.* 0.0320I 52.* 0.0215I 13.* 12 * 2 *
* AA 900* 0.6580I 79.* 0.3200I 46.* 0.0485I 10.* 12 * 5 *
* AA 1020* 0.7100I 102.* 0.0500I 120.* 0.3225I 101.* 12 * 5 *
* AA 1030* 0.0600I 6.* 0.0400I 6.* 0.0205I 16.* 12 * 2 *
* AA 1140* 0.0700I 28.* 0.0300I 8.* 0.0175I 15.* 12 * 1 *
* AA 1160* 0.3400I 18.* 0.2100I 12.* 0.1450I 20.* 12 * 4 *
* AA 1230* 0.1000I 53.* 0.0700I 19.* 0.0475I 26.* 12 * 2 *
* BB 6020* 0.0750I 98.* 0.0700I 15.* 0.0400I 16.* 12 * 2 *
* BB 6040* 0.2600I 358.* 0.2300I 232.* 0.1800I 47.* 12 * 4 *
* BB 6050* 0.2700I 45.* 0.2050I 88.* 0.1375I 84.* 12 * 4 *
* BC 7020* 0.0500I 57.* 0.0500I 15.* 0.0500I 15.* 3 * 2 *
* BC 7030* 0.1800I 7.* 0.0650I 57.* 0.0450I 31.* 12 * 2 *
* BC 7040* 0.0700I 13.* 0.0500I 14.* 0.0450I 69.* 4 * 2 *
* BC 7050* 0.1700I 26.* 0.1600I 303.* 0.1000I 72.* 12 * 4 *
* BC 7060* 0.2600I 316.* 0.1750I 27.* 0.1300I 80.* 12 * 4 *
* BC 7070* 0.0700I 16.* 0.0600I 54.* 0.0400I 30.* 4 * 2 *
* BC 7110* 0.1100I 10.* 0.1100I 39.* 0.0625I 40.* 12 * 3 *
* BC 7140* 1.8500I 12.* 1.8500I 9.* 0.9675I 6.* 12 * 5 *
* BC 7150* 2.5000I 201.* 1.9000I 40.* 0.4425I 30.* 12 * 5 *
* CA 2900* 0.1000I 23.* 0.0600I 34.* 0.0370I 16.* 12 * 2 *

d 90 (MAX-1)

NOMBRE TOTAL DE POINTS 31

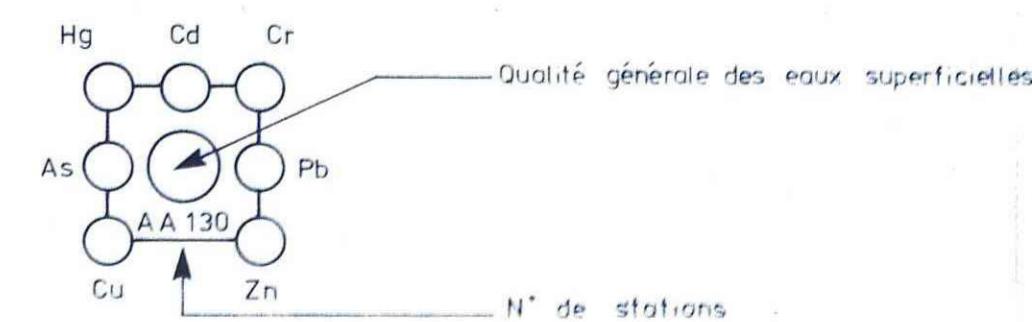
CLASSE 1 PCURCENTAGE = 6.5 (2 POINTS)
CLASSE 2 POURCENTAGE = 51.6 (16 POINTS)
CLASSE 3 PCURCENTAGE = 12.9 (14 POINTS)
CLASSE 4 PCURCENTAGE = 16.1 (15 POINTS)
CLASSE 5 PCURCENTAGE = 12.9 (4 POINTS)

Pollution des eaux superficielles du Bassin Rhin-Meuse par les métaux lourds

Cartographie des métaux lourds dans les sédiments
Prélèvements 1981

Echelle : 1/500 000

Légende

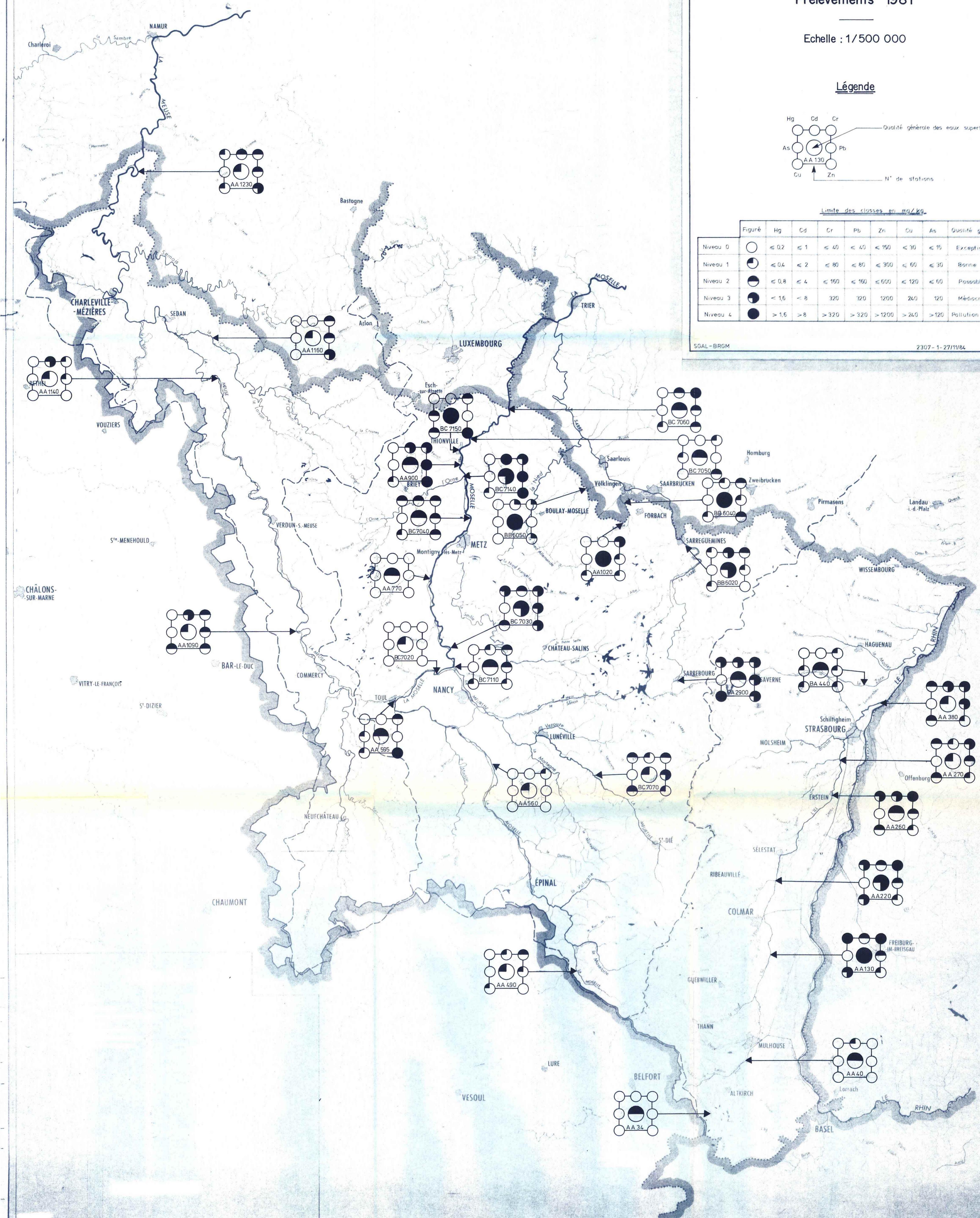


Limite des classes en mg/kg

Figuré	Hg	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu	As	Qualité générale	
Niveau 0	○	≤ 0,2	≤ 1	≤ 40	≤ 40	≤ 150	≤ 30	≤ 15	Exceptionnelle
Niveau 1	○	≤ 0,4	≤ 2	≤ 80	≤ 80	≤ 300	≤ 60	≤ 30	Bonne
Niveau 2	○	≤ 0,8	≤ 4	≤ 160	≤ 160	≤ 600	≤ 120	≤ 60	Possible
Niveau 3	○	< 1,6	< 8	320	320	1200	240	120	Médiocre
Niveau 4	●	> 1,6	> 8	> 320	> 320	> 1200	> 240	> 120	Pollution excessive

SGAL-BRG

2307-1-27/11/84



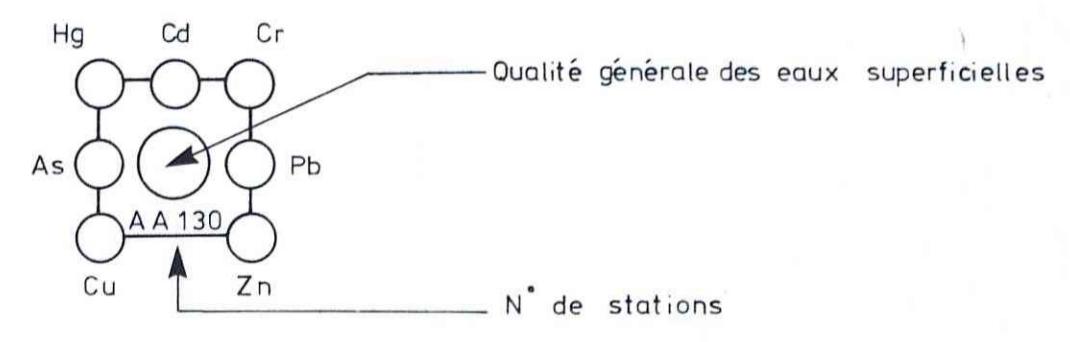
Pollution des eaux superficielles du Bassin Rhin-Meuse par les métaux lourds

Cartographie des métaux lourds dans les eaux superficielles : Campagne 1981

Représentation de la valeur d 90

Echelle : 1/500 000

Légende



Limite des classes en $\mu\text{g/l}$									
	Figuré	Hg	Cd	Cr	Pb	Zn	Cu	As	Qualité générale
Niveau 0		$\leq 0,1$	$\leq 0,2$	≤ 5	≤ 5	≤ 30	≤ 5	≤ 5	Exceptionnelle
Niveau 1		$\leq 0,2$	$\leq 0,5$	≤ 10	≤ 10	≤ 70	≤ 10	≤ 10	Bonne
Niveau 2		$\leq 0,5$	≤ 1	≤ 20	≤ 20	≤ 150	≤ 20	≤ 20	Passable
Niveau 3		≤ 1	≤ 2	≤ 50	≤ 50	≤ 300	≤ 50	≤ 50	Médiocre
Niveau 4		> 1	> 2	> 50	> 50	> 300	> 50	> 50	Pollution excessive

SGAL -BRGM

2307 - 2 - 27/11/84

