

Chapitre II

Propriétés physico-chimiques des sédiments et des suspensions de la mer du Nord

par

R. WOLLAST

1.- Introduction

Bon nombre de propriétés physico-chimiques des sédiments de la mer du Nord ont déjà été décrites dans les chapitres précédents de ce volume.

Nous nous attacherons plus particulièrement dans ce chapitre à la discussion de quelques paramètres simples, caractérisant certaines propriétés physico-chimiques importantes des sédiments et des suspensions.

On montrera en effet que la mesure de la teneur en matière organique ou de la perte au feu à 550 °C , permet :

i) de caractériser géographiquement les suspensions et les sédiments et de mettre en évidence certaines zones préférentielles d'accumulation de matériel particulaire;

ii) de caractériser les propriétés d'adsorption de la plupart des métaux lourds sur la matière particulaire et leur accumulation dans les sédiments.

2.- Distribution de la matière organique et des métaux lourds dans les sédiments de la mer du Nord

Une centaine d'échantillons de sédiments prélevés en surface à l'aide d'une benne Van Veen, ont été analysés de manière détaillée, pour évaluer les concentrations en matières organiques et en métaux lourds.

Les matières organiques ont été dosées par oxydation au bichromate à chaud et les métaux lourds ont été analysés par adsorption atomique de flamme (Mn et Fe) ou au four de graphite (Ca , Zn , Pb).

D'autre part, nous avons procédé à des mesures de pertes au feu à 550 °C sur le réseau des 1000 points, afin de caractériser l'ensemble des sédiments prélevés.

Cette perte au feu correspond à l'oxydation de la matière organique et à la déshydration des minéraux hydratés classiques (argiles, hydroxydes de fer et de manganèse, etc.) que l'on rencontre dans les vases. La figure 1 montre que la corrélation entre cette mesure et la teneur en matières organiques (coefficient de régression linéaire : 0,96) est excellente, et cette mesure simple et rapide peut donc être utilisée utilement pour définir les zones d'accumulation des vases riches en matières organiques et en constituants argileux.

La carte ainsi obtenue est représentée dans la figure 2. Elle correspond bien avec les distributions des sédiments, basées sur la granulométrie et la matière oxydée par H_2O_2 , présentées dans les chapitres précédents.

Les zones d'accumulation des vases se situent essentiellement dans la région du gyre décrite de manière plus détaillée dans le volume 1, ainsi que dans une bande étroite située immédiatement au voisinage de l'estuaire du Rhin.

La distribution des métaux lourds dans les régions vaseuses est décrite par les cartes des figures 3 à 7. Pour tous les éléments envisagés, on note une accumulation préférentielle des métaux lourds dans les régions vaseuses, avec des maxima prononcés dans la zone d'influence de l'Escaut et du Rhin. Ce type d'accumulation est très classique et correspond aux nombreuses observations effectuées dans les zones côtières.

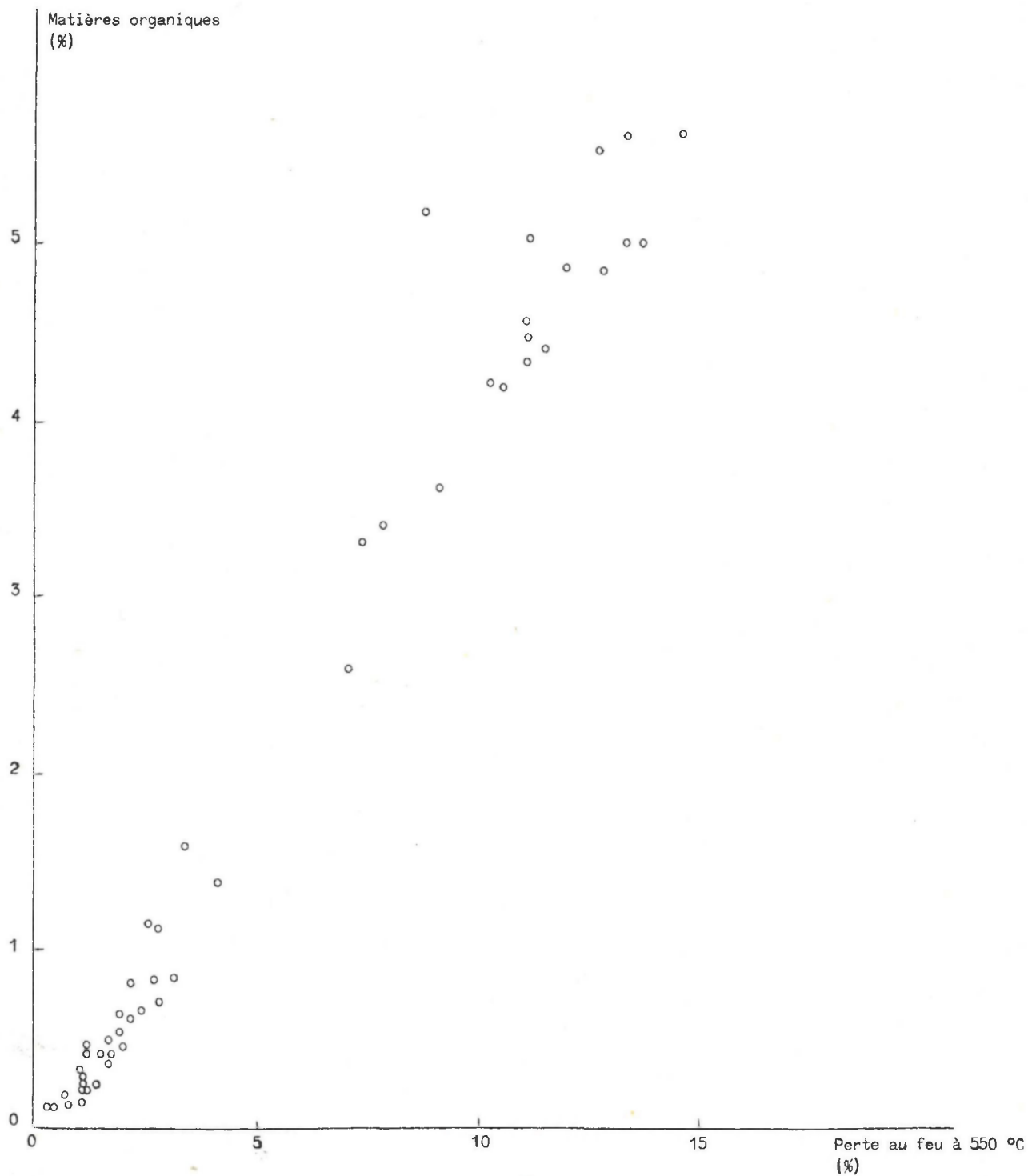


fig. 1.

Relation entre le pourcentage de matières organiques (dosées par oxydation au bichromate) et la perte au feu à 550 °C, dans les sédiments de la mer du Nord

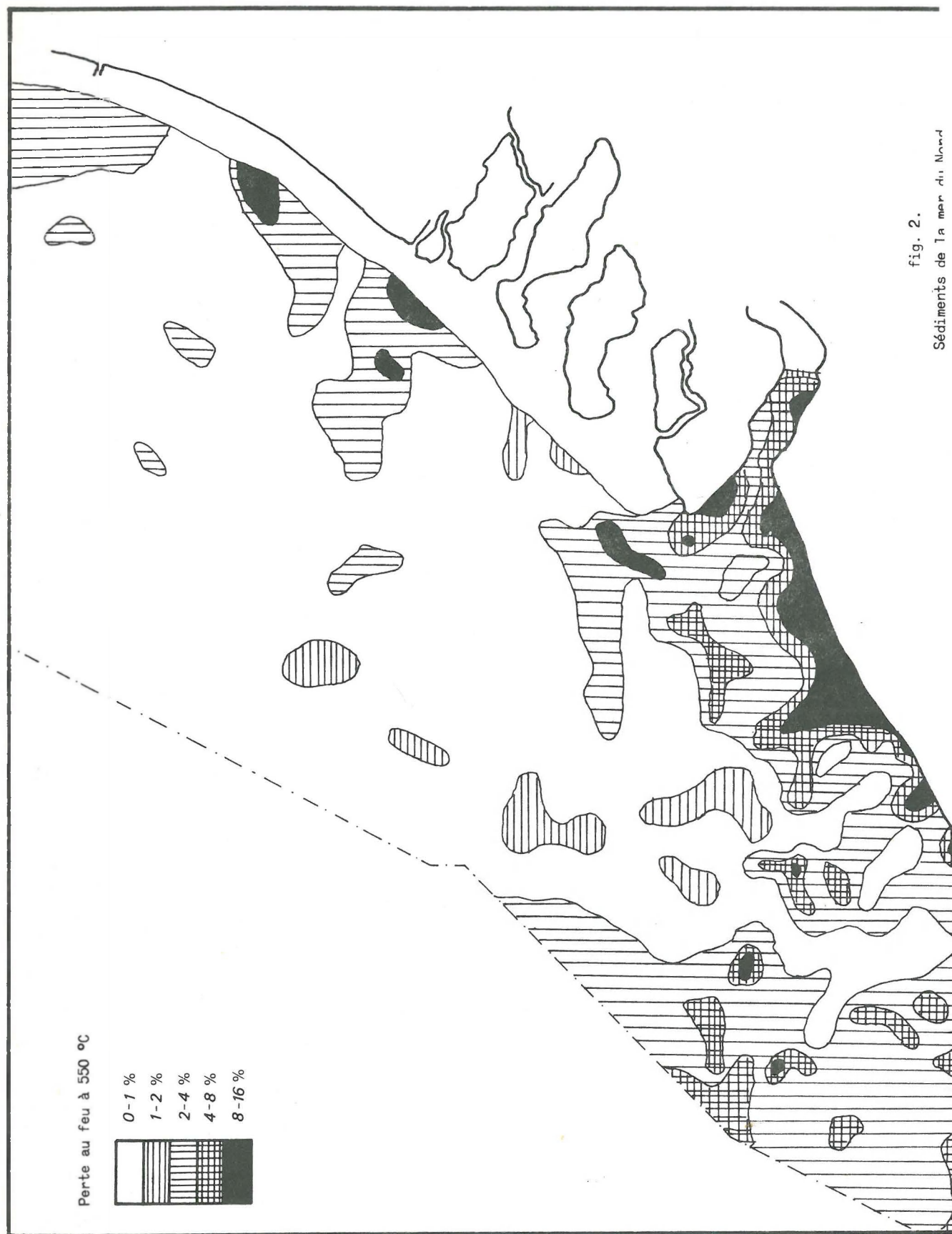
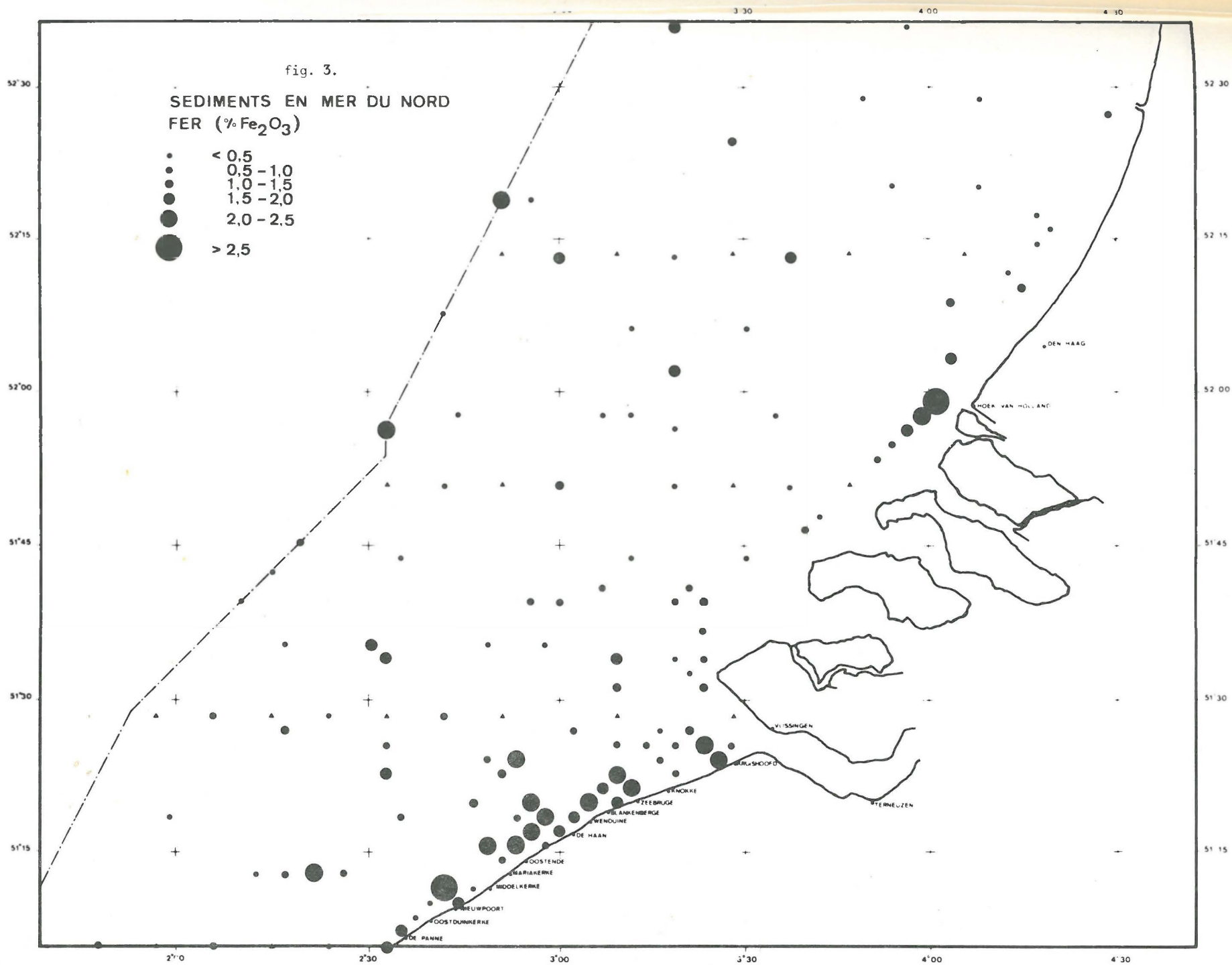
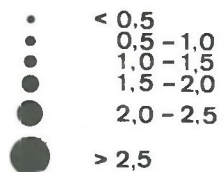
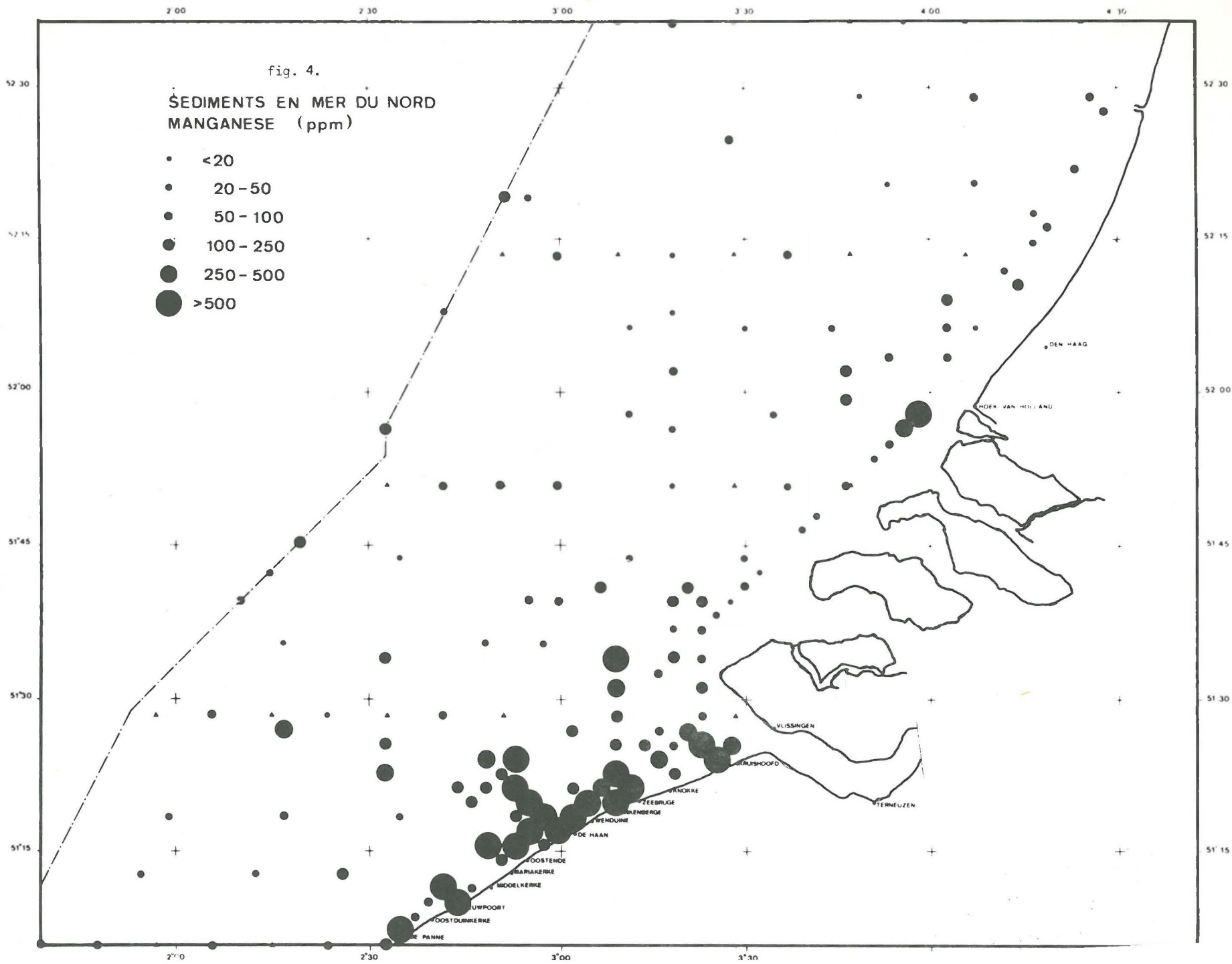


fig. 2.
Sédiments de la mer du Nord

fig. 3.

SEDIMENTS EN MER DU NORD
FER (% Fe_2O_3)





2°00

2°30

3°00

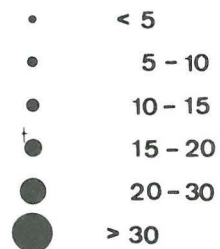
3°30

4°00

4°30

fig. 5.

SEDIMENTS EN MER DU NORD CUIVRE (ppm)



52°30

52°30

52°15

52°15

52°00

52°00

51°45

51°45

51°30

51°30

51°15

51°15

DEN HAAG

HIER VAN HOLLAND

VLISSINGEN

BURGHOF

STERREUZEN

VIERHORE

ZIE BRUG

AMSTERDAM

DE HAAN

OOSTENDE

MARIKERE

MIDDEKERKE

NIEUWPOORT

OOSTDUNKERKE

DE PANNE

2°00

2°30

3°00

25

3°30

24

23

4°00

22

21

4°30

fig. 6.
SEDIMENTS EN MER DU NORD
ZINC (ppm)

- < 20
- 20 - 50
- 50 - 100
- 100 - 200
- > 200

52°30

52°30

52°15

52°15

52°00

52°00

51°45

51°45

51°30

51°30

51°15

51°15

20

19

18

17

16

15

14

13

12

11

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

0

-1

-2

-3

-4

-5

-6

-7

-8

-9

-10

-11

-12

-13

-14

-15

-16

-17

-18

-19

-20

-21

-22

-23

-24

-25

-26

-27

-28

-29

-30

-31

-32

-33

-34

-35

-36

-37

-38

-39

-40

-41

-42

-43

-44

-45

-46

-47

-48

-49

-50

-51

-52

-53

-54

-55

-56

-57

-58

-59

-60

-61

-62

-63

-64

-65

-66

-67

-68

-69

-70

-71

-72

-73

-74

-75

-76

-77

-78

-79

-80

-81

-82

-83

-84

-85

-86

-87

-88

-89

-90

-91

-92

-93

-94

-95

-96

-97

-98

-99

-100

-101

-102

-103

-104

-105

-106

-107

-108

-109

-110

-111

-112

-113

-114

-115

-116

-117

-118

-119

-120

-121

-122

-123

-124

-125

-126

-127

-128

-129

-130

-131

-132

-133

-134

-135

-136

-137

-138

-139

-140

-141

-142

-143

-144

-145

-146

-147

-148

-149

-150

-151

-152

-153

-154

-155

-156

-157

-158

-159

-160

-161

-162

-163

-164

-165

-166

-167

-168

-169

-170

-171

-172

-173

-174

-175

-176

-177

-178

-179

-180

-181

-182

-183

-184

-185

-186

-187

-188

-189

-190

-191

-192

-193

-194

-195

-196

-197

-198

-199

-200

-201

-202

-203

-204

-205

-206

-207

-208

-209

-210

-211

-212

-213

-214

-215

-216

-217

-218

-219

-220

-221

-222

-223

-224

-225

-226

-227

-228

-229

-230

-231

-232

-233

-234

-235

-236

-237

-238

-239

-240

-241

-242

-243

-244

-245

-246

-247

-248

-249

-250

-251

-252

-253

-254

-255

-256

-257

-258

-259

-260

-261

-262

-263

-264

-265

-266

-267

-268

-269

-270

-271

-272

-273

-274

-275

-276

-277

-278

-279

-280

-281

-282

-283

-284

-285

-286

-287

-288

-289

-290

-291

-292

-293

-294

-295

-296

-297

-298

-299

-300

-301

-302

-303

-304

-305

-306

-307

-308

-309

-310

-311

-312

-313

-314

-315

-316

-317

-318

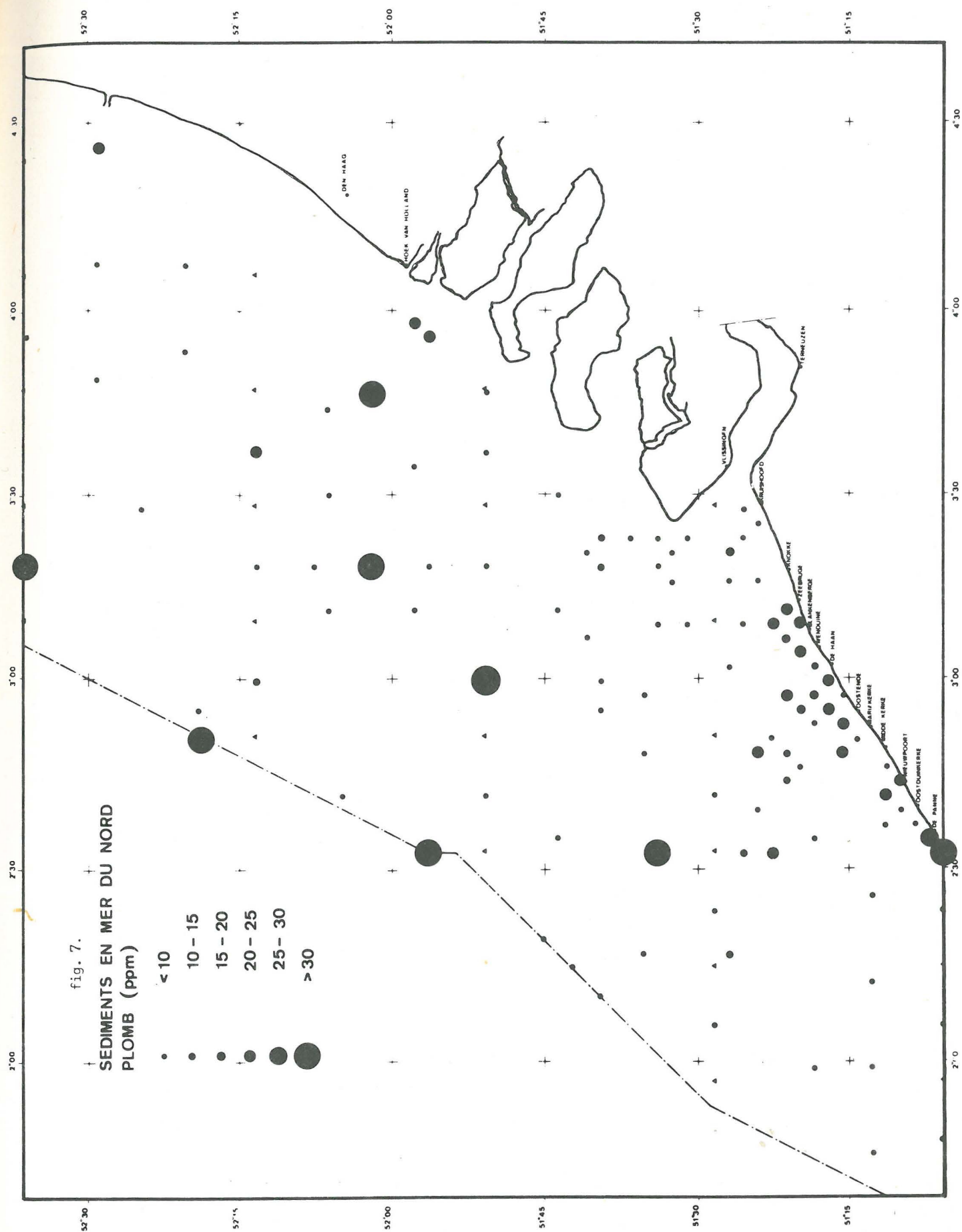
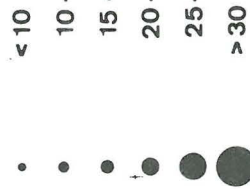
-319

-320

fig. 7.

SEDIMENTS EN MER DU NORD

PLOMB (ppm)



Il existe généralement une bonne corrélation entre la teneur en métaux lourds des sédiments et la perte au feu ou la matière organique. Un calcul de régression linéaire effectué sur 75 échantillons fournit les relations suivantes :

$$\text{ppm Zn} = 20,0 + 37 x_0 \quad r = 0,96$$

$$\text{ppm Mn} = 88 + 114 x_0 \quad r = 0,88$$

$$\text{ppm Cu} = 7,35 + 3,54 x_0 \quad r = 0,71$$

$$\text{ppm Pb} = 6,95 + 2,70 x_0 \quad r = 0,69$$

où x_0 représente la teneur massique en matières organiques exprimée en % .

Il faut toutefois attirer l'attention sur le cas particulier du plomb qui, contrairement aux autres éléments, présente des maxima de concentration au large, dispersés dans l'ensemble du réseau. Cette particularité peut s'expliquer soit par un comportement propre à cet élément, soit par une source différente des autres éléments. Nous reviendrons ultérieurement sur le problème du plomb.

Si l'on observe des valeurs plus élevées des concentrations en métaux lourds et en matières organiques dans les zones vaseuses soumises à l'influence des estuaires, il faut toutefois remarquer que les teneurs moyennes sont relativement faibles, comparées aux analyses des matières en suspension et des sédiments que l'on récolte dans l'estuaire même (volume 10). On pourrait supposer que ce résultat est lié au mode de prélèvement; la benne utilisée fournit en effet un échantillon moyen sur une profondeur de 15 cm . D'après des mesures effectuées par Bertine (1974) au moyen de Pb 210, la vitesse d'accumulation des vases dans la région côtière belge serait de l'ordre de 0,5 cm/an , et l'échantillon moyen couvrirait donc environ une trentaine d'années.

Pour mieux comprendre l'évolution du dépôt des polluants dans ces sédiments, nous avons procédé à l'analyse d'une carotte de sondage prélevée au point 1149 dans la zone côtière vaseuse, au large de Blankenbergen. Le sondage a été effectué avec grand soin par les plongeurs de la force Navale, afin de préserver au mieux la couche superficielle du



fig. 8.
Carotte au point M 1149

sédiment. Les résultats des analyses de cette carotte sont représentés dans la figure 8. Il est plus intéressant de comparer ces profils au profil de Pb 210 effectué sur la même carotte par Petit et Menessier (Laboratoire de géologie et de géochimie nucléaire, Université de Bruxelles) (fig.9). Cet isotope radioactif naturel dont la période de

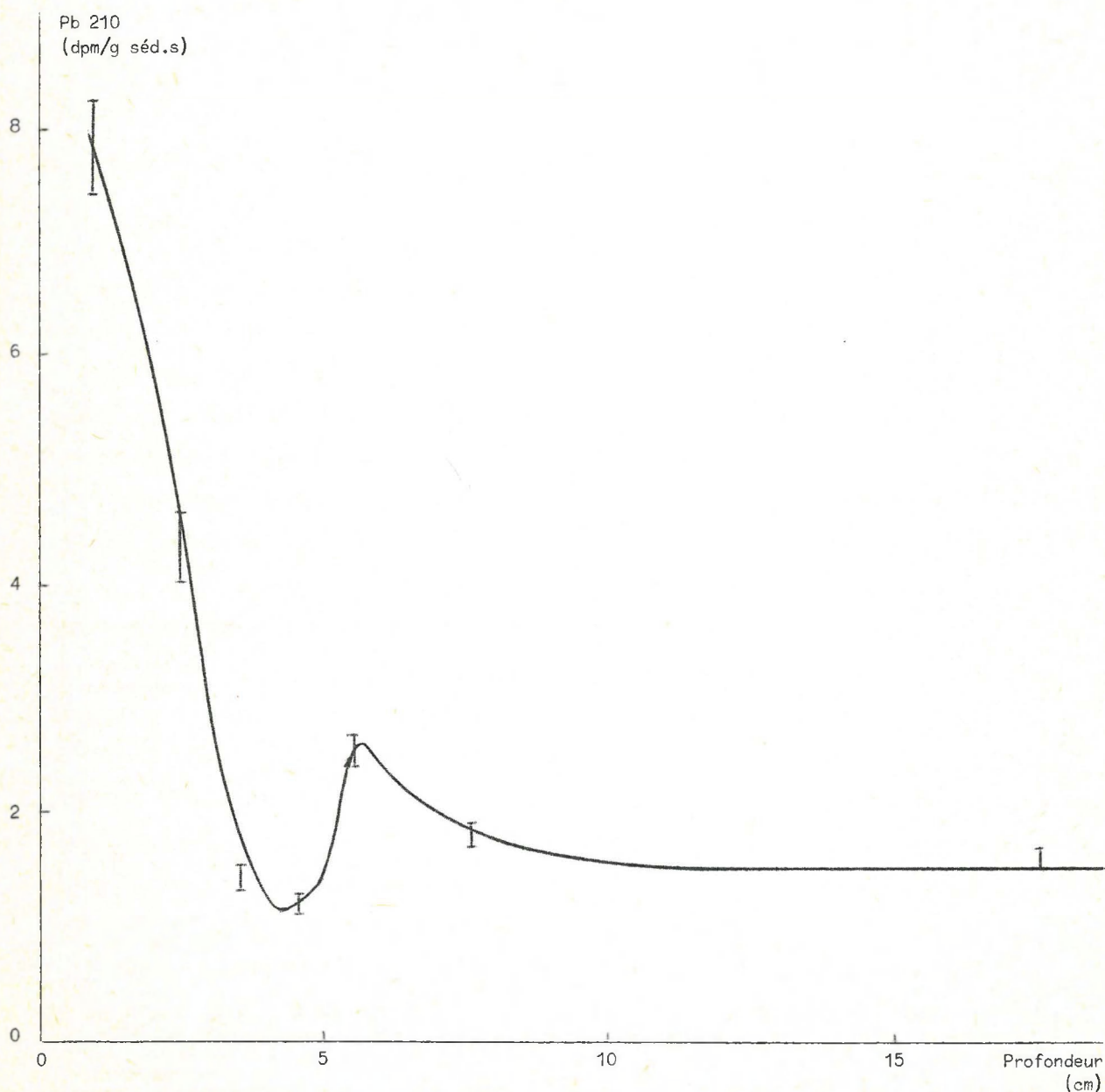


fig. 9.

Activité de Pb 210 en fonction de la profondeur (point M 1149 - juin 1975)

demi-vie est de l'ordre de 20 ans , se prête bien à des mesures de vitesse d'accumulation des sédiments dans les zones côtières; la décroissance exponentielle de son activité en fonction de la profondeur permet d'estimer la vitesse de sédimentation. On constate dans la figure 9 de sérieux écarts par rapport à cette décroissance. Elle peut être due principalement à deux causes :

- i) des variations importantes dans les vitesses de sédimentation au cours du temps;
- ii) des remaniements épisodiques des sédiments, lors de grandes tempêtes par exemple.

Il est à noter que l'on observe les mêmes anomalies pour les autres éléments dans la figure 8. A une profondeur comprise entre 3 et 5 cm , la quantité de matières organiques et de métaux lourds diminue fortement, indiquant la présence d'une couche nettement plus sableuse.

Il n'est pas possible de distinguer les causes de cette anomalie à partir de nos résultats. On peut toutefois supposer que le remaniement, lors de tempêtes exceptionnelles, est plus vraisemblable dans cette zone peu profonde (10 mètres) , car on voit mal quels seraient les facteurs récents qui pourraient être responsables d'une modification temporaire aussi intense des conditions de sédimentation. Si l'on accepte cette hypothèse et que l'on supprime la couche comprise entre 3 et 5 cm , on retrouve une décroissance exponentielle de l'activité de Pb 210 qui conduit par calcul à une vitesse de sédimentation de l'ordre de $0,02 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{an}$ ou $0,06 \text{ cm/an}$ en tenant compte de la porosité et de la densité du sédiment. Cette valeur est environ dix fois plus faible que celle estimée précédemment par Bertine (1974). D'autre part, si l'on extrapole l'activité de Pb 210 à l'interface eaux-sédiments, on trouve une activité en surface de $8,5 \text{ dpm/g}$ de sédiment. En multipliant ce chiffre par la vitesse d'accumulation des sédiments, on obtient une vitesse de dépôt de Pb 210 de $0,17 \text{ dpm/cm}^2 \cdot \text{an}$. D'après des mesures effectuées par Petit (1974) en deux points de référence situés en Belgique (Etangs de Mirwart et de Vielsalm), le flux

atmosphérique annuel de Pb 210 naturel vaut environ $0,65 \text{ dpm/cm}^2 \cdot \text{an}$ dans notre région.

En d'autres termes, ces mesures semblent indiquer qu'un quart seulement du flux de Pb 210 s'accumule au point considéré de la zone côtière, ce qui revient aussi à dire qu'un quart seulement des apports de matières en suspension y sédimente.

On peut toutefois suspecter que les profils verticaux de Pb 210 dans les sédiments sont perturbés par divers processus physiques, et aussi par des phénomènes de remobilisation et qu'ils ne permettent pas d'estimer correctement la vitesse de sédimentation. Les valeurs de Pb 210 dans les matières en suspension permettent cependant d'estimer la production ou l'apport moyens annuels de matières en suspension dans la colonne d'eau, puisque la concentration en Pb 210 résulte de la dilution du flux naturel de cet isotope par la matière en suspension. Sur un ensemble de sept mesures d'activité des matières en suspension effectuées dans la zone sud du réseau, Petit a trouvé une valeur relativement constante voisine de 5 dpm/g de solide, ce qui, compte tenu du flux naturel de Pb 210 égal à $0,65 \text{ dpm/cm}^2 \cdot \text{an}$, donne un apport de $0,13 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{an}$ de solide. Si toute cette matière sédimente, on obtient une vitesse de dépôt moyenne de $0,45 \text{ cm/an}$, ce qui correspond bien aux estimations de Bertine (1974).

Les premières conclusions que l'on peut tirer de l'utilisation de Pb 210 sont intéressantes, puisqu'elles permettent d'apprécier les apports et la production de matières en suspension et un ordre de grandeur de la vitesse de sédimentation. Il faut toutefois remarquer que celle-ci est probablement variable et qu'un plus grand nombre de mesures s'impose.

Les profils verticaux de métaux lourds, représentés dans la fig. 8, présentent des fluctuations importantes qui sont en gros corrélées aux fluctuations de la matière organique. Une analyse de régression linéaire montre en effet que pour Zn, Cu et Co, les coefficients de corrélation pour ces métaux valent respectivement 0,96, 0,96 et 0,91. Il est moins significatif pour le manganèse (0,84) et médiocre

pour le plomb (0,36) . Les équations des droites de régression peuvent être représentées par :

$$\text{ppm Zn} = - 4,31 + 54,3 X_0$$

$$\text{ppm Cu} = 3,02 + 5,90 X_0$$

$$\text{ppm Co} = 3,01 + 10,2 X_0$$

$$\text{ppm Mn} = 271 + 107 X_0$$

où X_0 représente le titre massique en matières organiques (exprimé en %).

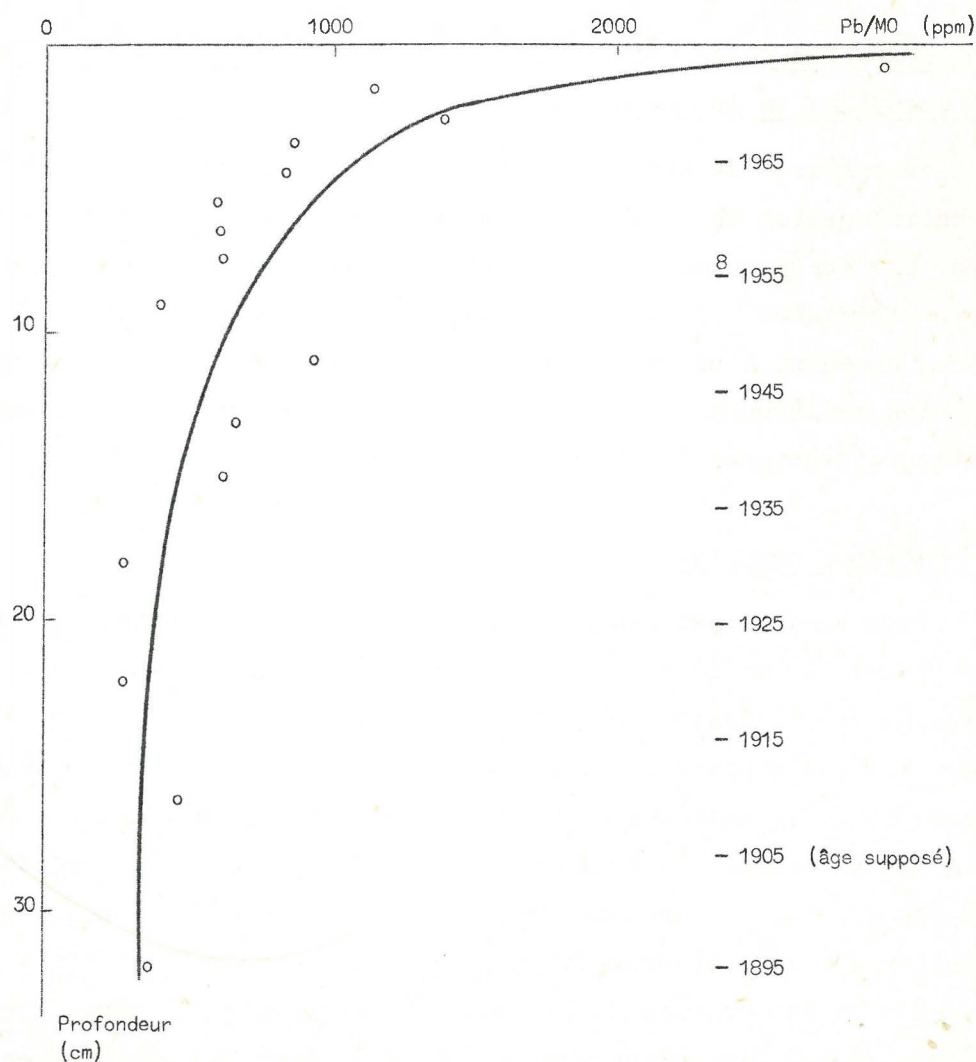


fig. 10.

Evolution du rapport Pb/matières organiques dans une carotte de sédiment vaseux

En ce qui concerne le plomb, on observe que si on élimine l'effet lié à la nature plus ou moins sableuse des couches sédimentaires en exprimant le rapport de la teneur en plomb par rapport à la matière organique (fig. 10), on observe une décroissance régulière de cet élément en fonction de la profondeur.

Le profil vertical montre donc des apports dans des proportions relativement constantes de matières organiques de Zn , Cu , Co et Mn dans la zone considérée, et un accroissement important de l'apport en Pb .

3.- Distribution de la matière organique et des métaux lourds dans les suspensions de la mer du Nord

Les matières en suspension des eaux de surface ont été prélevées par centrifugation en continu en une série de points fixes du réseau, pendant une durée moyenne de deux heures. Deux campagnes de mesures ont été effectuées : l'une au mois de septembre dans le cadre de l'action Jonsdap, l'autre au mois de mai 1974, couvrant au total septante-cinq prélèvements. Les échantillons ont été analysés suivant des techniques identiques à celles exposées pour les sédiments.

3.1.- Matières organiques

Comme dans le cas des sédiments, on observe une excellente corrélation entre les matières organiques et les pertes au feu à 550 °C , puisque le coefficient de régression linéaire vaut 0,95 (fig. 11). Il faut toutefois noter que les équations des droites de régression obtenues pour les matières en suspension, sont très différentes de celles obtenues pour les sédiments. En effet, la pente des droites correspondant aux suspensions, qui est indépendante de l'époque à laquelle les échantillons ont été prélevés, est très voisine de 1 , alors qu'elle est voisine de 2 pour les sédiments. De même, l'ordonnée à l'origine se situe vers 6 à 8 % pour les matières en

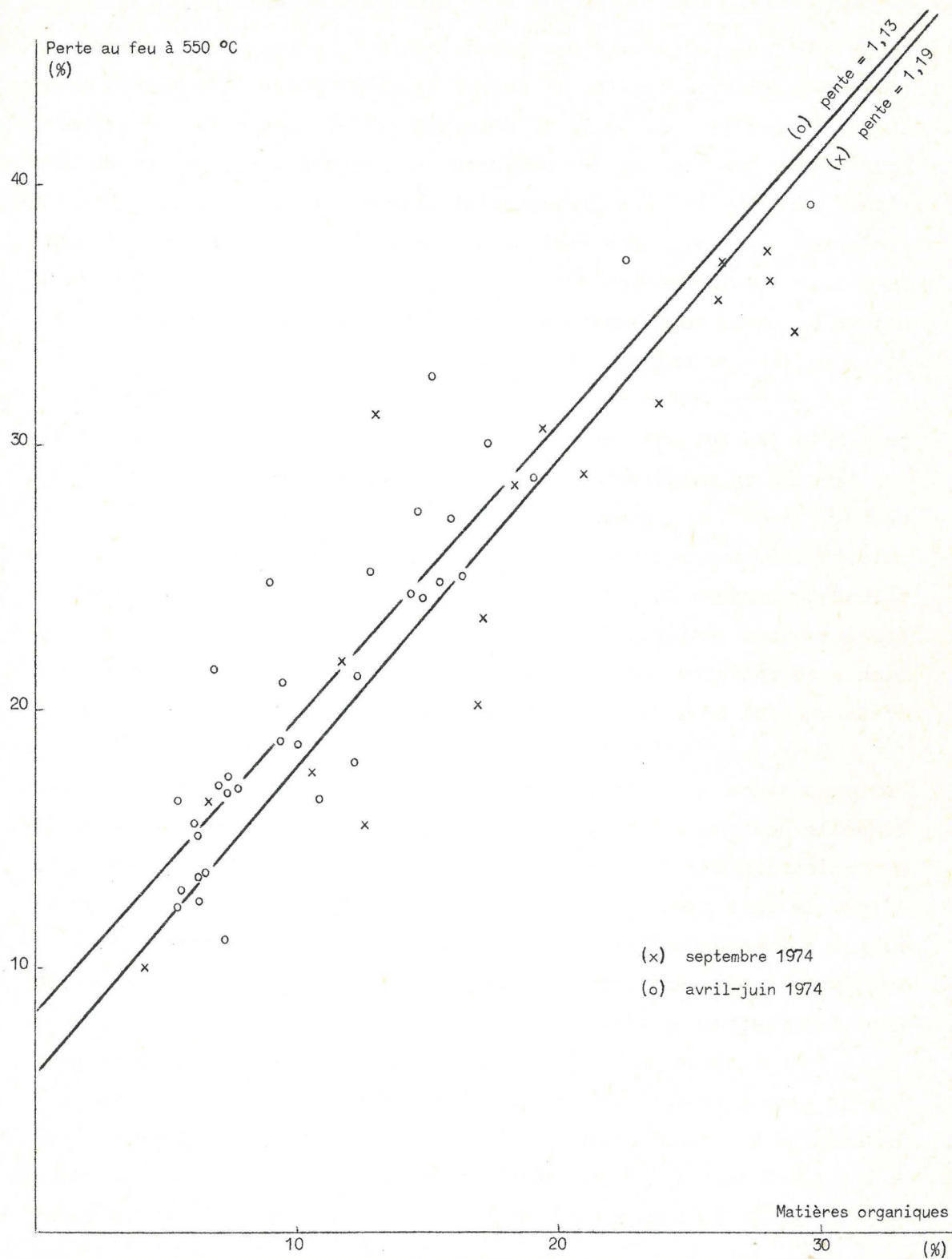


fig. 11.

suspension, alors qu'elle est proche de 0 % pour les sédiments. Ceci traduit simplement l'effet respectif de la présence de matières organiques et de composés argileux détritiques dans les deux compartiments considérés. Dans le cas des matières en suspension, les éléments détritiques minéraux sont progressivement dilués par les matières organiques produites dans le milieu marin. Par contre, dans le cas des sédiments, la relation observée indique que les zones d'accumulation des constituants argileux sont aussi les zones de sédimentation préférentielle de la matière organique.

Cet effet est bien démontré par la carte de distribution des pertes au feu des matières en suspension (fig. 12), et par le profil des teneurs en matières organiques le long de l'axe situé entre les points 5 et 10, observées dans la région du réseau, au cours du mois de mai. Les matières en suspension d'origine détritique et relativement pourvues en matières organiques, sont confinées dans une étroite bande côtière. Il se développe par contre des zones très riches en matières organiques, qui se situent approximativement dans l'axe central de la région considérée.

Sauf en ce qui concerne la bande côtière, il n'existe pas de correspondance entre la composition locale des matières en suspension et celle des sédiments, ce qui est conforme à l'hypothèse d'une sédimentation limitée à des zones privilégiées. Il faut d'autre part souligner le fait que les zones de production maximum de matières organiques correspondent aussi aux zones d'accumulation minimum de ces matières, impliquant soit un processus de remobilisation maximum, soit leur exportation massive.

Dans la zone de sédimentation côtière, on observe d'autre part que la teneur moyenne des matières organiques en suspension vaut environ 8 %, tandis que les sédiments récents n'en contiennent que 4 %, traduisant l'intense dégradation de la matière organique qui se produit après la sédimentation.

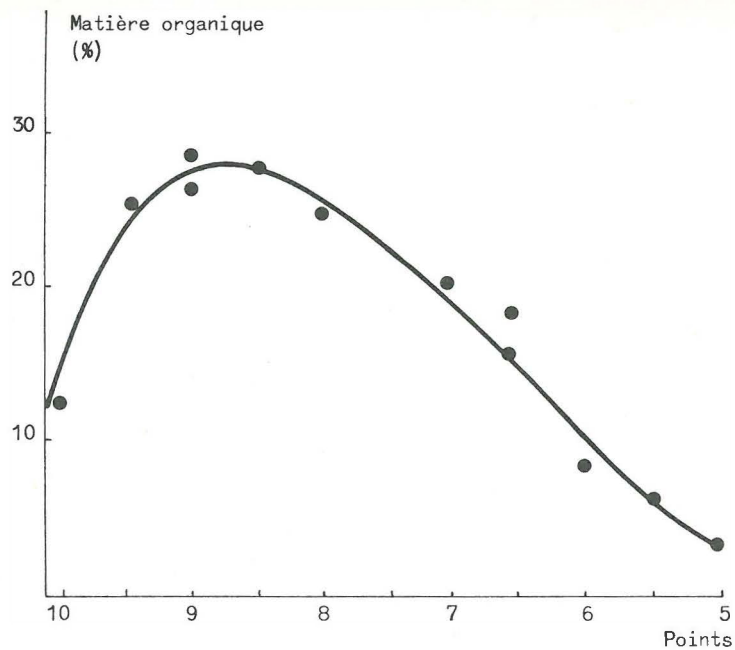
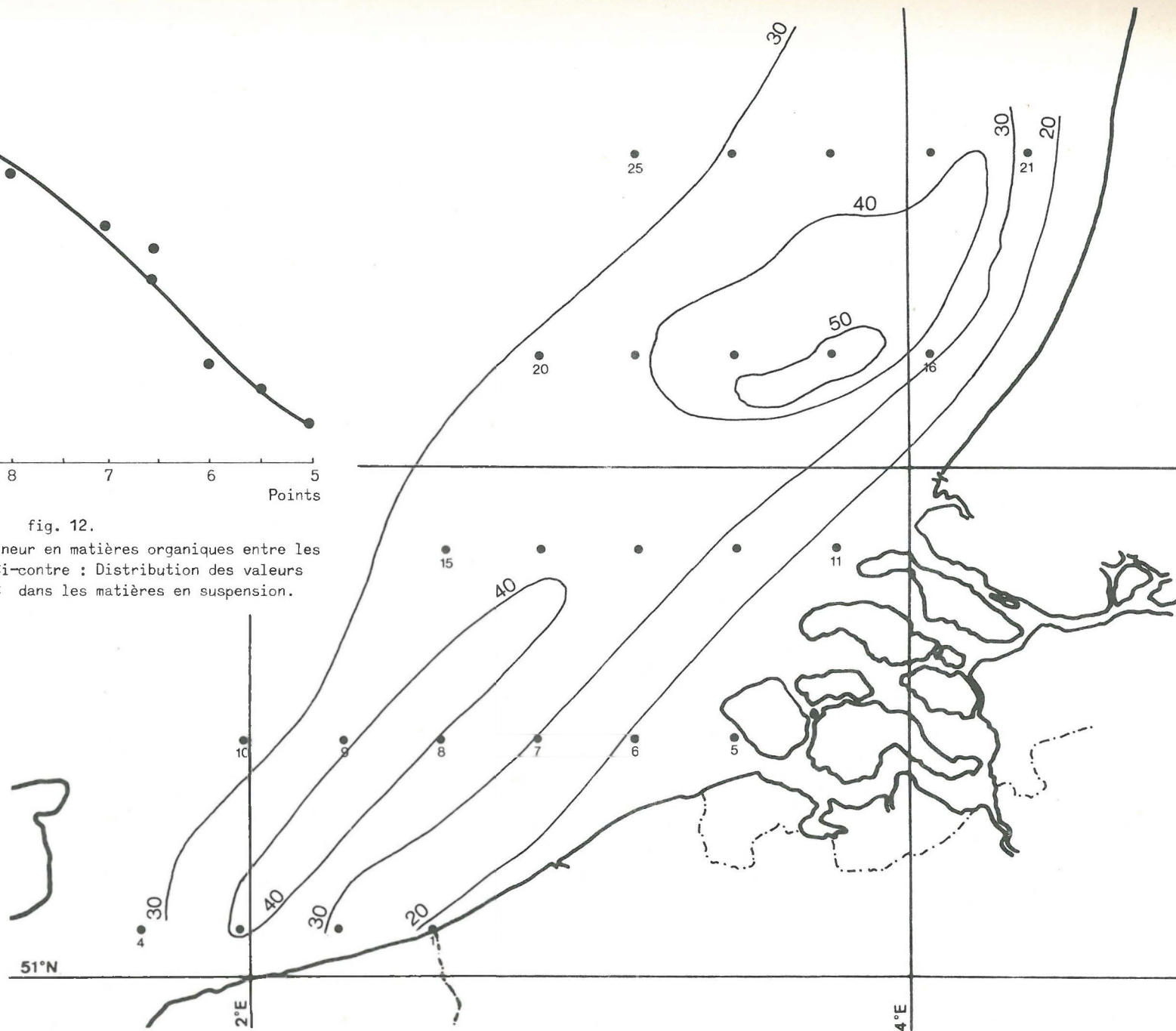


fig. 12.

Profil transversal de la teneur en matières organiques entre les points 5 et 10 du réseau. Ci-contre : Distribution des valeurs des pertes au feu à 550 °C dans les matières en suspension.



3.2.- Métaux lourds

La teneur en métaux lourds des matières en suspension est extrêmement variable et la distribution souvent complexe. Si l'on traite globalement l'ensemble des échantillons analysés, la matrice de corrélation fait apparaître des valeurs positives significatives entre la matière organique d'une part et Zn (0,70) , Cu (0,64) , Pb (0,44) et Fe (0,41) d'autre part. On note aussi une excellente corrélation Zn et Cu (0,82) , et une corrélation intéressante entre Pb et la teneur en carbonates (0,62) .

Sur le plan de la distribution des métaux lourds dans les suspensions, ces corrélations traduisent de manière générale un accroissement sensible de leur teneur dans les suspensions du large, où la matière organique particulaire est relativement abondante. Toutefois, l'influence des estuaires (en particulier du Rhin) se marque par des valeurs locales parfois très élevées. Si on élimine de l'échantillonnage ces points directement sous l'influence des estuaires, on améliore très sensiblement les coefficients de corrélation entre la matière organique et Cu (0,85) d'une part, et Zn (0,81) d'autre part.

Enfin, si l'on se réfère plus particulièrement aux échantillons prélevés au courant du mois de mai, couvrant la période d'intense activité planctonique, le coefficient de corrélation entre la matière organique et Mn , qui était indifférent pour l'ensemble des échantillons, devient significativement négatif (- 0,63) . Cette anticorrélation est conforme à la nature minérale détritique qui prédomine dans le comportement biogéochimique du manganèse dans la zone étudiée.

Les droites de régression observées pour les métaux lourds en suspension obéissent aux équations suivantes (sur la base d'échantillons séchés à 110 °C) :

$$\text{ppm Zn} = 103 + 20,6 X_0$$

$$\text{ppm Cu} = - 34 + 18,2 X_0$$

$$\text{ppm Pb} = 5,9 + 28,4 X_0 .$$

Si l'on compare les coefficients angulaires des droites de régression des matières en suspension aux mêmes coefficients observés dans les sédiments, on constate qu'ils sont largement supérieurs pour le cuivre et le plomb, et inférieurs pour le zinc. Cette observation peut être attribuée en partie à la capacité d'absorption élevée de ces constituants par le plancton.

D'autre part, les teneurs en métaux lourds sont toujours très nettement plus élevées dans les matières en suspension que dans les sédiments.

Ceci s'explique facilement par le fait que les teneurs les plus élevées pour les suspensions sont observées au large dans une zone où leur sédimentation est extrêmement faible et on peut donc en conclure que les métaux lourds sont soit exportés sous forme de suspension, soit remobilisés lors de la dégradation de la matière organique dans la colonne d'eau.

Par contre, dans la zone côtière où les sédiments s'accumulent à l'heure actuelle, la contribution en éléments détritiques tend à diluer les métaux lourds. L'excellente corrélation que l'on obtient d'autre part entre des métaux tels que Zn, Cu et Co, et la matière organique dans la colonne sédimentaire, pourrait indiquer que ces métaux sont mobilisés lors de la dégradation de la matière organique qui se poursuit après sédimentation.

Références

- BERTINE, (1972). cité par McCAYE, I.N., (1973). *Mud in the North Sea*, in *North Sea Science*, Goldberg, E.D. (ed.), MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- PETIT, D., (1974). Pb²¹⁰ et isotopes stables du plomb dans les sédiments lacustres, *Earth Planetary Science Letters*, 23, 199.