

*M. Jaurès
DERO/EL
Brest*

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DES RECHERCHES OCEANIQUES

LA CONTAMINATION PAR LE CADMIUM EN GIRONDE ET SON EXTENSION SUR LE PLATEAU CONTINENTAL

B. BOUTIER et J. F. CHIFFOLEAU



DERO-86.12-MR

IFREMER
 CENTRE DE NANTES
 B. P. n° 1049
 44037 NANTES CEDEX 01
 Tél. 40 74 99 81

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT
 ET DES RECHERCHES Océaniques
 DEPARTEMENT MILIEU ET RESSOURCES - NANTES

AUTEUR (S) :		CODE :
B. BOUTIER et J.F. CHIFFOLEAU		N° DERO- 86-12-MR
TITRE		date : décembre 1986
LA CONTAMINATION PAR LE CADMIUM EN GIRONDE ET SON EXTENSION SUR LE PLATEAU CONTINENTAL.		tirage nb : 50
		Nb pages : 27
		Nb figures : 28
		Nb tableaux : 10
CONTRAT (intitulé)		DIFFUSION
N° _____		libre <input checked="" type="checkbox"/>
		restreinte <input type="checkbox"/>
		confidentielle <input type="checkbox"/>

RÉSUMÉ La répartition du cadmium dans l'eau, le sédiment et la matière en suspension de la Gironde, du proche plateau cohtinental et de la baie de Marennes-Oléron a été étudiée lors de trois campagnes réalisées en conditions de débits moyens ou d'étiage de la Garonne et de la Dordogne.

Des apports anormaux de cadmium particulaire par la Garonne ont été mis en évidence. Après désorption ou solubilisation, ils sont expulsés sous forme dissoute, formant un panache très net mais peu étendu en dehors duquel les concentrations en cadmium dissous sont conformes aux valeurs habituellement observées en milieu côtier.

Les teneurs en cadmium dissous du bas estuaire expliquent les fortes concentrations relevées dans les huîtres de ce secteur.

Le caractère récent de la contamination ainsi que les mesures faites dans le bassin versant de la Garonne (Riou-Mort) plaident pour une origine humaine de cette contamination.

Bien que le phénomène reste théoriquement possible, aucun passage de cadmium entre la Gironde et Marennes-Oléron n'a été observé. Par contre, les apports de la Charente semblent significatifs. L'origine exacte du cadmium présent dans les huîtres de Marennes-Oléron reste donc à établir.

mots-clés : cadmium - Gironde - Marennes-Oléron - mélange estuarien.

key words :

© IFREMER - Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer,



**LA CONTAMINATION PAR LE CADMIUM EN GIRONDE
ET SON EXTENSION SUR LE PLATEAU CONTINENTAL**

B. BOUTIER et J.F. CHIFFOLEAU

1. INTRODUCTION

2. ETUDE DE LA COLONNE D'EAU

2.1. Campagne CAGIMA I. Situation de débit moyen des eaux douces en été

2.1.1. Conditions générales

2.1.2. Matériels et méthodes

2.1.3. Résultats de la campagne

2.1.3.1. Plateau continental

2.1.3.1.1. Salinité

2.1.3.1.2. Température

2.1.3.1.3. Matières en suspension - Turbidité

2.1.3.1.4. Chlorophylle a

2.1.3.1.5. Carbone organique particulaire

2.1.3.1.6. Cadmium dissous

2.1.3.2. Gironde

2.1.3.2.1. Salinité

2.1.3.2.2. Matières en suspension - Turbidité

2.1.3.2.3. Chlorophylle a

2.1.3.2.4. Carbone organique particulaire

2.1.3.2.5. Cadmium dissous

2.2. Campagne CAGIMA II. Situation de débit moyen des eaux douces en hiver

2.2.1. Présentation générale

2.2.2. Matériels et méthodes

2.2.3. Résultats

2.2.3.1. Plateau continental

2.2.3.1.1. Température

2.2.3.1.2. Salinité

2.2.3.1.3. Matière en suspension

2.2.3.1.4. Pourcentage de carbone organique particulaire

2.2.3.1.5. Chlorophylle a

2.2.3.1.6. Cadmium dissous

2.2.3.1.7. Cadmium particulaire

2.2.3.2. Gironde

2.2.3.2.1. Salinité

2.2.3.2.2. Matières en suspension

2.2.3.2.3. Pourcentage de carbone organique particulaire

2.2.3.2.4. Chlorophylle a

2.2.3.2.5. Cadmium dissous

2.2.3.2.6. Cadmium particulaire

2.2.4. Conclusion

2.3. Campagne INTERSITE III

2.3.1. Présentation générale

2.3.2. Résultats

2.3.2.1. Plateau continental

2.3.2.2. Gironde

2.3.2.2.1. Hydrologie

2.3.2.2.2. Cadmium dissous

2.3.2.2.3. Cadmium particulaire

2.3.3. Conclusion

3. DISCUSSION

3.1. Les niveaux de concentration

3.2. Comportement du cadmium dans l'estuaire

3.3. Bilan de Masse

3.3.1. Données hydrologiques

3.3.2. Concentrations de cadmium dans l'eau et les particules

3.3.3. Bilan

3.4. Conséquences sur les Mollusques

4. CONCLUSION

4.1. Origine et extension de la contamination girondine

4.2. Cas du bassin de Marennes-Oléron

5. RECOMMANDATIONS

5.1. Gironde

5.2. Marennes-Oléron

BIBLIOGRAPHIE

1. INTRODUCTION

La surveillance systématique de la qualité du milieu littoral français a permis de mettre en évidence un problème aigu de contamination des huîtres par le cadmium en Gironde (BOUTIER, 1981). Par ailleurs, bien qu'elles soient beaucoup moins spectaculaires, les concentrations en cadmium des huîtres de Marennes-Oléron sont nettement plus élevées que celles des huîtres provenant d'autres régions ostréicoles françaises (tabl. 1). Compte tenu de l'importance économique de l'ostréiculture sur ce site, ceci ne manque pas d'être préoccupant.

Afin d'expliquer ce phénomène, nous avons entrepris une première étude sur la matière vivante, qui nous a permis d'identifier la Gironde comme vecteur du cadmium observé dans les huîtres prélevées à l'embouchure de l'estuaire (BOUTIER, 1984).

Parallèlement, nous avons engagé des études portant sur l'eau et le sédiment dans le cadre des campagnes CAGIMA I et II et INTERSITE III, qui se sont déroulées entre juin 1984 et septembre 1985.

Les objectifs assignés à ces campagnes étaient les suivants.

- Détermination des niveaux de cadmium et de leurs variations saisonnières dans l'eau, la matière en suspension et les sédiments de l'estuaire et du plateau continental, et étude de l'influence du panache girondin sur le plateau et la baie de Marennes-Oléron.

- Etude du comportement du cadmium dans l'estuaire.

Schématiquement, trois grands types de comportements peuvent être suivis par un métal à l'interface eau douce/eau de mer.

- . La conservativité est caractérisée par une évolution de la concentration de métal dissous proportionnelle à un indice de dilution de l'eau douce par l'eau de mer (p. ex. salinité).

- . Le piégeage. C'est le "piège à métaux" formé par certains estuaires. L'élément initialement apporté sous forme dissoute précipite et sédimente. Sauf remise en suspension ou resolubilisation consécutive à la diagénèse, il n'est plus disponible.

- . Le relargage. Contrairement à ce qui se passe dans le cas du piégeage, l'élément arrive à l'estuaire sous forme particulaire et passe en solution au cours du transit.

La connaissance de ces mécanismes prend une importance particulière dans le cas de la Gironde ; en effet, ils conditionnent les formes physiques (dissoute et particulaire) sous lesquelles le cadmium peut se présenter aux organismes, pouvant ainsi modifier leur biodisponibilité (BORCHARDT, 1983).

- Bilan géochimique

Cette opération synthétique fait appel à l'ensemble des connaissances qui ont été rassemblées sur le comportement et les concentrations de l'élément étudié dans les différentes phases. Elle permet d'avoir une vue globale et quantitative des phénomènes mis en jeu dans l'estuaire, et d'évaluer les flux métalliques exportés à l'océan.

- Etude de l'influence du milieu sur les concentrations en cadmium des huîtres

Il s'agit là de répondre à la question qui a été le point de départ de l'étude, en vérifiant que les concentrations observées dans le milieu sont en accord avec celles que l'on a mesurées dans les organismes.

L'ensemble de ce travail a été réalisé en collaboration avec l'Institut de Géologie du bassin d'Aquitaine qui a effectué les travaux concernant le sédiment.

2. ETUDE DE LA COLONNE D'EAU

2.1. Campagnes CAGIMA I : situation de débit moyen des eaux douces

2.1.1. Conditions générales

Cette campagne s'est déroulée du 26/6/1984 au 3/7/1984 sur la zone cartographiée (fig. 1). Les coordonnées précises des stations sont indiquées dans le tableau 2. Les débits cumulés de la Garonne et de la Dordogne étaient faibles (420 à 690 m³/s) durant la campagne, mais entre le 4 et le 10 juin ils ont oscillé entre 1 200 et 1 800 m³/s pour décroître lentement ensuite (tableau 3). Compte tenu du fait que les temps de propagation des variations de débit entre La Réole et l'embouchure varient de quelques jours (grosse crue) à plusieurs semaines (faibles débits), (JOUANNEAU et al., 1983, CASTAING, 1981) il semble que les conditions réelles dans lesquelles nous avons travaillé caractérisent plutôt une situation de débits moyens.

2.1.2. Matériels et méthodes

Les échantillons d'eau ont été prélevés à la bouteille GO-FLO. Dans les pertuis et la baie de Marennes-Oléron, nous avons prélevé directement dans les flacons à partir d'un zodiac.

Les filtrations des échantillons d'eau destinés au dosage du cadmium ont été faites sous pression d'azote U, soit directement à partir de la bouteille GO-FLO, soit en utilisant des ampoules à décanter en téflon. Dans tous les cas, on a utilisé un dispositif Savillex en F.E.P. chargé d'une membrane nuclepore de 0,45 micron, l'ensemble ayant été préalablement nettoyé à l'acide nitrique dilué.

Les échantillons, filtrés ou non, ont été stockés dans des flacons de 250 ml en polyéthylène nettoyés à l'acide. La procédure de nettoyage consiste, après lavage aux détergents, à remplir les flacons d'acide chlorhydrique concentré, à les stocker pleins pendant quelques jours ; HCl est ensuite remplacé par HNO₃ dilué pendant une semaine ; enfin, les flacons sont rincés à l'eau déminéralisée et remplis d'eau milli Q acidifiée par HNO₃ (Merck, Suprapur) (150 µl). Les échantillons, qu'ils soient filtrés ou non, ont été acidifiés par 150 µl d'acide nitrique (Merck, Suprapur) avant stockage et analysés au laboratoire par polarographie à redissolution anodique sur goutte de mercure pendante. Toutes ces opérations sont conduites sous hotte à flux laminaire (classe 100 U.S.).

Les salinités ont été déterminées au laboratoire à l'aide d'un salinomètre à induction Guildline. Les matières en suspension ont été déterminées par pesée.

Les turbidités ont été évaluées à bord à l'aide d'un turbidimètre HACH.

Le carbone organique particulaire a été mesuré par oxydation humide du dépôt sur filtre Whatman GF/C préalablement calciné, selon la méthode décrite par STRICKLAND et PARSONS (1968).

La chlorophylle a a été mesurée par fluorimétrie après extraction par l'acétone selon la procédure décrite par NEVEUX (1983).

2.1.3. Résultats de la campagne

2.1.3.1. Plateau continental

2.1.3.1.1. Salinité (fig. 2 et 3)

Les salinités de surface sont comprises entre 32 et 34 pour mille ; cette situation témoigne du fait que la campagne ne s'est pas déroulée en période d'étiage caractérisé et que le plateau continental se trouve encore sous l'influence des eaux girondines rejetées lors des crues printanières.

Au fond, les eaux sont beaucoup plus salées et atteignent très vite des valeurs supérieures à 34 pour mille, ce qui montre que l'influence des eaux de la Gironde est limitée à la couche superficielle.

Au niveau de l'embouchure, une dissymétrie importante entre les deux rives est mise en évidence, les eaux de la passe sud étant beaucoup plus salées que celles du chenal nord. Ceci est en accord avec le schéma général de circulation des eaux dans la partie aval de l'estuaire selon lequel l'eau de mer pénétrerait de façon préférentielle par la passe sud, alors que le chenal nord constituerait la voie privilégiée d'évacuation des eaux estuariennes (CASTAING, 1981). Tous les autres paramètres recueillis au cours de cette campagne et des campagnes ultérieures confirment cette observation.

2.1.3.1.2. Température (fig. 4 et 5)

Les températures mesurées en surface à des moments différents de la journée, sont variables et ne fournissent pas d'information.

Au fond, elles sont plus stables et décroissent de la côte vers le large, ou le minimum observé est 11,6°C.

2.1.3.1.3. Matières en suspension (fig. 6)

En surface, le panache turbide de la Gironde ne s'étend pas vers le nord. Au niveau du pertuis de Maumusson, on rencontre des eaux troubles dont l'origine paraît devoir être attribuée à la vidange du bassin de Marennes-Oléron.

Si l'extension du panache turbide paraît limitée vers le nord, elle l'est également vers le large ; ainsi la charge en suspensions dépasse 20 mg/l à la pointe de la Coubre (st. 31) alors qu'elle n'est plus que de 5 mg/l à 5 milles dans l'ouest de cette station (st. 33). Sur les stations les plus au large, les concentrations en M.E.S. sont encore plus faibles (1 mg/l).

Les eaux du bassin de Marennes-Oléron sont relativement turbides ; ceci peut être dû pour partie au moins à des phénomènes de remise en suspension de sédiments. Par ailleurs, à cette époque, il est possible que dans cette zone connue pour sa forte productivité primaire le phytoplancton constitue une part notable du seston.

2.1.3.1.4. Chlorophylle a (fig. 7)

Les régions côtières présentent des concentrations de chlorophylle a comprises entre 2 et 3 $\mu\text{g/l}$, ce qui est normal à cette époque de l'année (HERAL et al., 1982). Les résultats observés au large (0,4 $\mu\text{g/l}$) sont également conformes aux valeurs moyennes couramment observées dans nos régions (ETCHEBER et RELEXANS, 1983).

2.1.3.1.5. Pourcentage de carbone organique particulaire (fig. 8)

En surface, la proportion de C.O.P. dans la matière en suspension varie entre 2 et 10 %. Les valeurs élevées observées entre le pertuis de Maumusson et la pointe de la Coubre confirment la nature plus hauturière de cette masse d'eau qui sépare les panaches turbides issus de la Gironde et de la baie de Marennes-Oléron. En effet, dans les eaux côtières la proportion plus élevée de particulaire minéral fait chuter les valeurs de C.O.P., alors qu'au large, les particules sont essentiellement constituées de plancton, vivant ou mort et donc nettement plus riches en carbone organique.

2.1.3.1.6. Cadmium dissous (fig. 9 et 10)

Les concentrations mesurées dans l'eau du large, comprises entre 10 et 30 ng/l sont conformes aux valeurs habituellement rencontrées dans les eaux côtières superficielles (tableau 4). A l'embouchure de la Gironde, les teneurs sont nettement plus élevées (50 ng/l à la pointe de la Coubre). Cependant, l'influence des apports girondins semble limitée à une zone relativement restreinte proche de l'embouchure. A plus de 5 milles de la côte, ou au nord du pertuis de Maumusson, les teneurs redeviennent normales.

Les teneurs observées dans le bassin de Marennes-Oléron sont semblables à celles du plateau. Toutefois, un point d'apport s'individualise assez nettement au niveau de l'embouchure de la Charente (60 ng/l).

Près du fond, les concentrations en cadmium dissous sont légèrement inférieures à celles de la surface ; elles demeurent cependant comparables aux valeurs habituellement rencontrées en milieu côtier. Dans ce cas, l'influence de la Gironde paraît limitée aux abords immédiats de l'embouchure ce qui est en accord avec le caractère superficiel de l'écoulement des eaux estuariennes.

La distribution du cadmium peut donc être décrite en deux temps.

Aux abords immédiats de l'embouchure se trouve une zone directement influencée par la Gironde, où les teneurs superficielles observées sont manifestement supérieures à celles que l'on rencontre habituellement dans les eaux côtières.

En dehors de cette aire, les teneurs des eaux de surface sont normales. Cependant, le caractère quasi-systématique de la supériorité des teneurs superficielles sur les teneurs du fond nous incite à penser que même très loin de l'embouchure une certaine influence des apports girondins peut être ressentie.

2.1.3.2. Gironde

2.1.3.2.1. Salinité (fig. 2)

Les salinités décroissent très vite vers l'amont, atteignant 2,5 pour mille à la station 38. Plus à l'amont, les résultats ne dépassent pas 0,2 pour mille. Cette situation caractérise une remontée plutôt faible des eaux salées. La situation d'étiage n'est pas établie, comme le montre l'examen des débits cumulés de la Dordogne et de la Garonne dans le mois précédant la campagne. Ils sont en effet compris entre 850 et 1 000 m³/s (tableau 3).

2.1.3.2.2. Matières en suspension (fig. 6)

Au niveau de l'embouchure la charge en suspension est déjà de 21 mg/l (Pointe de la Coubre). L'augmentation est spectaculaire au niveau de la station 37 (254 mg/l) et les niveaux demeurent très élevés jusqu'à la station 40. Entre ces deux points, deux maxima supérieurs à 500 mg/l sont observés. La valeur plus réduite des matières en suspension observée à la station 41 conduit à penser que le bouchon vaseux se situe en aval de ce point, entre les points kilométriques 40 et 80. Les débits fluviaux qui sont restés importants durant la période qui a précédé la campagne peuvent expliquer cette situation assez inhabituelle en période estivale.

2.1.3.2.3. Chlorophylle a (fig. 7)

Les quantités présentes en Gironde sont importantes (3 à 8 µg/l). Les conditions d'ensoleillement et de température qui régnaient en ce début d'été peuvent expliquer ces fortes valeurs.

2.1.3.2.4. Pourcentage de carbone organique particulaire (fig. 8)

Par rapport aux valeurs observées sur les échantillons du large, les teneurs en C.O.P. observées sont faibles (1 %). Les particules de Gironde sont de nature essentiellement minérale et proviennent pour la plupart de l'érosion du bassin versant. Un examen plus fin de la répartition des teneurs en C.O.P. montre que celles-ci sont légèrement plus élevées à l'amont et à l'aval que dans la partie médiane de l'estuaire. Cette distribution a déjà été observée par d'autres ; selon DONARD (1983) elle traduit l'arrivée de particules riches en carbone organique détritique à l'amont, puis la dégradation du C.O.P. ainsi que le mélange avec des particules appauvries dans la partie médiane. La remontée observée à l'aval serait due à l'intrusion de particules d'origine marine.

2.1.3.2.5. Cadmium dissous (fig. 9)

La concentration en cadmium dissous est extrêmement élevée dans la partie la plus aval de l'estuaire (380 ng/l à la station 37). Elle baisse progressivement jusqu'à la station 41 puis remonte brutalement au niveau de Bordeaux (130 ng/l). La distribution du cadmium dans l'estuaire ne suit donc pas, à l'évidence, la loi de dilution simple de l'eau douce par l'eau de mer.

2.2. Campagne CAGIMA II : situation de débit moyen des eaux douces en hiver

2.2.1. Présentation générale

Cette campagne a été réalisée entre le 20 février et le 5 mars 1985. Durant le mois qui l'a précédée, la somme des débits de la Garonne et de la Dordogne a varié entre 850 m³/s, les plus fortes valeurs ayant été observées dans les dix jours précédant la campagne (tableau 5). Compte tenu des temps de propagation des crues, il est peu probable que l'influence de ce pic de débits ait pu être ressentie au niveau des échantillons de plateau continental. Par contre, les échantillons prélevés en Gironde sont sans doute plus représentatifs d'une situation de forts débits. Le plan d'échantillonnage reprend celui de CAGIMA I. Cependant, pour tenir compte d'un éventuel élargissement du panache en période hivernale, nous lui avons ajouté une série de stations situées plus au large (fig. 11, tableau 6).

2.2.2. Matériels et méthodes

La plupart des paramètres ont été mesurés de la même façon que lors de CAGIMA I.

Les changements suivants sont intervenus :

- les échantillons destinés à l'analyse des métaux en surface ont été prélevés manuellement à partir d'un "zodiac" chaque fois que possible
- après filtration des échantillons destinés à l'analyse des métaux dissous, nous avons conservé les filtres afin de déterminer les métaux particulaires. Le cadmium a été mesuré par spectrophotométrie d'absorption atomique sans flamme et l'aluminium par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme oxyde nitreux/acétylène, après attaque des filtres par HCl, HNO₃ et HF (EGGIMAN et BETZER, 1976).

2.2.3. Résultats

2.2.3.1. Plateau continental

2.2.3.1.1. Température (fig. 12 et 13)

En surface, elles varient entre 8,3°C près de terre et 11,3 au large. Le gradient est beaucoup plus faible au fond. Il semble donc dès l'examen de ce premier paramètre que l'influence continentale se limite aux eaux superficielles.

2.2.3.1.2. Salinité (fig. 14 et 15)

Deux faits marquants ressortent de l'examen de la distribution des salinités superficielles.

L'influence du panache girondin s'étend assez loin vers le nord ; au large de la pointe de Chassiron, la salinité est encore de 32 pour mille, de même en direction du large, il faut atteindre la station 34 située sur des fonds de 35 m pour trouver une salinité superficielle de 34 pour mille.

Vers le sud, au contraire, aucune dessalure n'est mise en évidence. La salinité de 35 pour mille observée à 10 milles dans le S.W. de la pointe de Grave montre que la passe sud est sous l'influence prépondérante des eaux du large.

Dans le bassin de Marennes-Oléron, on observe une dessalure importante (salinité inférieure à 30 pour mille) que l'on peut attribuer à la Charente.

L'examen des salinités de fond confirme la stratification des eaux côtières déjà suggérée par l'étude des températures. En effet, alors que les eaux superficielles subissent une très nette influence de la Gironde (salinités inférieures à 32 pour mille) la dessalure des eaux profondes reste beaucoup moins importante, puisque seules les deux stations les plus proches de l'embouchure (31 et 27) présentent des salinités de fond inférieures à 32 pour mille. Sur les stations situées plus au large, sur des fonds supérieurs à 40 m, la différence surface-fond s'annule, ce qui montre que la limite de la zone influencée par la Gironde a été atteinte.

2.2.3.1.3. Matières en suspension

Les charges en matières en suspension décroissent de façon uniforme de 27 mg/l à la pointe de la Coubre à 4 mg/l au niveau de l'île d'Oléron. Contrairement à ce que nous avons observé en été, le panache turbide paraît ici continu et il n'est pas possible de séparer les influences respectives des expulsions girondines et des évacuations provenant du pertuis de Maumusson.

La turbidité chute très vite dans la passe sud ce qui confirme la nature marine des eaux de ce secteur.

Sur les stations du large, les valeurs observées sont normales pour des eaux côtières, et proches de celles que nous avons notées au cours de CAGIMA I (1,5 mg/l). Le panache n'étend donc pas son influence aux stations que nous avons ajoutées pour CAGIMA II.

2.2.3.1.4. Carbone organique particulaire (fig. 17)

Les teneurs en C.O.P. superficielles varient entre 1,1 % à l'embouchure de la Gironde et 12,2 % au large ; elles croissent progressivement vers le nord et l'ouest. On peut voir dans la distribution du C.O.P. des indices de l'influence de la Gironde sur les eaux du plateau.

On peut en effet interpréter la répartition du carbone organique particulaire en termes de mélange de particules à caractère marin essentiellement planctoniques, donc riches en carbone organique, avec des particules d'origine continentale pauvres en carbone organique (moins de 1 % dans la Gironde). Ce phénomène, déjà observé (JOUANNEAU *et al.*, 1983, ETCHEBER et RELEXANS, 1983) serait susceptible d'expliquer le gradient de C.O.P. observé entre le large et la Gironde.

Dans la baie de Marennes-Oléron, le particulaire paraît moins riche en carbone organique, ce qui peut être attribué aux apports continentaux (Charente) ou aux remises en suspension de sédiments en période de mauvais temps ou de vives eaux par petits fonds.

Des valeurs particulièrement fortes apparaissent dans le pertuis breton, sans qu'il soit possible d'y apporter une explication certaine, efflorescence phytoplanctonique ou apport de matière organique détritique en provenance des zones humides littorales.

2.2.3.1.5. Chlorophylle a (fig. 18 et 19)

Les concentrations en chlorophylle a observées pendant cette campagne, qui se déroule en hiver (fig. 18) sont naturellement inférieures à celles que l'on a pu mesurer lors de la campagne d'été.

De même, la distribution régionale des concentrations, qui sont plus faibles au large qu'à terre est conforme au schéma habituel en zone côtière.

L'examen des rapports Chlorophylle/Matières en suspension (fig. 19) peut donner des indications sur la nature des particules.

Le rapport Chlorophylle a/MES élevé correspond à un particulaire essentiellement phytoplanctonique, alors que des valeurs faibles de ce rapport sont l'indice d'un particulaire plus riche en trypton. Si de plus, ce particulaire est pauvre en carbone organique, l'influence girondine paraît alors très probable puisque les débris terrigènes charriés par la Gironde sont essentiellement constitués d'argiles.

Quatre zones caractéristiques apparaissent sur la carte qui représente la distribution du rapport Chlorophylle a/MES (fig. 19).

. Les points du large présentent les plus fortes valeurs du rapport Chloro/MES.

Ils paraissent hors d'influence du panache girondin ; le particulaire y est donc essentiellement planctonique, d'où les plus fortes valeurs de C.O.P. et de Chloro/MES.

. Les points côtiers présentent des valeurs légèrement plus faibles que les points du large (littoral vendéen, Marennes-Oléron). Les remises en suspension de sédiment et les apports telluriques sont certainement à l'origine de cette baisse qui intervient malgré une augmentation des quantités de Chlorophylle a par litre d'eau.

. La Gironde. Malgré des concentrations en chlorophylle a dans l'eau relativement élevées, les teneurs ramenées au particulaire sont très faibles du fait de la présence d'une fraction minérale très importante.

. La zone de dilution des eaux estuariennes. Le rapport Chlorophylle/MES permet de suivre l'extension du panache vers le nord-ouest jusqu'à la latitude du pertuis de Maumusson. Les valeurs de ce rapport passent progressivement de 0,001 à l'embouchure à 0,01 à la station 21, ce qui peut être interprété en termes de diminution de la fraction d'origine continentale dans le particulaire du plateau.

2.2.3.1.6. Cadmium dissous (fig. 20)

Les concentrations en cadmium dissous observées sur le plateau au nord-ouest et au sud de la zone étudiée sont en accord avec les résultats habituellement obtenus dans les eaux superficielles côtières des régions tempérées (tableau 2).

Les teneurs mesurées dans les pertuis et la baie de Marennes-Oléron sont un peu plus élevées ; aussi bien au niveau des points d'apports déjà relevés lors de CAGIMA I que sur les stations centrales du bassin. Cette augmentation peut être expliquée par les conditions hivernales qui favorisent les apports continentaux par lessivage et freinent le développement du phytoplancton, limitant ainsi l'enlèvement biologique.

L'influence du panache de la Gironde est sensible jusqu'à la station 29, soit à moins de 10 milles au large. Cependant, bien qu'elle ne s'exerce que sur une aire restreinte, elle reste très nettement établie.

Les teneurs de 17 et 33 ng/l observées au niveau du pertuis de Maumusson sont suffisamment proches des niveaux naturels pour que l'on puisse situer la limite d'influence du panache à cette radiale.

Globalement, en ce qui concerne le cadmium dissous, la situation observée au cours de cette campagne d'hiver est comparable à celle qui était établie lors de la campagne CAGIMA I, qui se déroulait au début de l'été. Les concentrations mesurées sur le plateau continental correspondent aux valeurs couramment relevées dans les eaux côtières, et une auréole d'influence de la Gironde apparaît très nettement, orientée vers le nord-ouest. Ce panache est limité au nord par le pertuis de Maumusson, et il ne s'étend pas à plus de 10 milles vers le large. Dans chaque cas, les teneurs en cadmium dissous mesurées dans la passe sud ne dépassent pas les niveaux naturels.

2.2.3.1.7. Cadmium particulaire

Afin de mettre en évidence une éventuelle trace du particulaire girondin sur le plateau et dans les pertuis, nous avons dosé le cadmium dans les particules. Les résultats sont présentés sur la figure 21.

Les plus fortes valeurs sont observées dans les eaux dont le caractère océanique est le plus net ; c'est à dire à l'ouest et au sud de la zone étudiée. Ceci s'explique par la nature du particulaire recueilli au large qui est riche en phytoplancton, comme le montrent les résultats de chlorophylle a, donc capable de concentrer le cadmium (MARTIN et BROENKOW, 1975, COSSA, 1976). Les fortes teneurs observées dans le pertuis breton et en baie de l'Aiguillon pourraient éventuellement recevoir le même type d'explication. Cependant, la présence d'un particulaire à très forte dominance phytoplanctonique est improbable dans cette région en période hivernale ; elle n'est d'ailleurs pas confirmée par les teneurs en chlorophylle a.

Dans la baie de Marennes-Oléron, les teneurs sont beaucoup plus faibles, proches des valeurs observées dans les sédiments superficiels (0,3 mg/kg).

Entre l'embouchure de la Gironde et l'île d'Oléron les concentrations en cadmium dans le particulaire augmentent progressivement vers le nord et vers le large ; on peut voir là un signe de l'extension du particulaire

gironдин relativement appauvri en cadmium qui, par mélange avec un particulaire marin nettement plus riche crée le gradient de concentration visible sur la carte. Ce phénomène est particulièrement net dans une zone qui recouvre de façon assez satisfaisante le panache déjà mis en évidence par l'étude du cadmium dissous (fig. 20 et 21).

2.2.3.2. La Gironde

Les prélèvements ont été réalisés entre l'embouchure et le bec d'Ambès. Un point fixe a été suivi sur un cycle de marée au point kilométrique 69.

2.2.3.2.1. Salinité (fig. 14)

La salinité observée au point fixe (P.K. 69) varie entre 1,6 et 7 pour mille ; elle est de 0,4 pour mille au P.K. 45 (St 39) et tombe à 0,19 au Bec d'Ambès. Cette situation est finalement assez comparable à celle qui était établie lors de la campagne CAGIMA I ; en effet, on avait alors observé une salinité de 2,5 pour mille au P.K. 67 et des valeurs proches de 0,2 pour mille à partir du P.K. 45. Ceci montre que nous avons à chaque fois travaillé dans des conditions qui n'étaient pas vraiment caractéristiques de crue ou d'étiage. Notons à titre de comparaison qu'aux mêmes niveaux de l'estuaire (P.K. 43) JOUANNEAU (1982) observe 2,63 pour mille en étiage et 0,06 pour mille en période de crue bien marquée.

2.2.3.2.2. Matières en suspension (fig. 16)

La charge en matières en suspension est de 57 mg/l à la pointe de Grave et de 42 mg/l au Verdon. Elle atteint de fortes valeurs au point fixe (entre 100 et 500 mg/l) puis décroît régulièrement vers l'amont, puisqu'on observe encore 161 mg/l au bec d'Ambès.

Les valeurs maximales au point fixe sont observées au jusant, ce qui suggère que le bouchon vaseux se trouve à l'amont du P.K. 69.

2.2.3.2.3. Pourcentage de carbone organique particulaire (fig. 17)

Les valeurs observées durant cette campagne sont comparables à celles que l'on a observé durant la campagne d'été.

2.2.3.2.4. Chlorophylle a (fig. 18)

Les concentrations en chlorophylle a sont nettement plus faibles que lors de la campagne d'été (0,5 à 2 microgrammes par litre) ce qui est normal en période hivernale.

2.2.3.2.5. Cadmium dissous (fig. 20)

Les teneurs en Cd dissous observées dans la Gironde sont sensiblement plus élevées que celles du plateau continental. Elles varient entre 50 et 310 ng/l, confirmant les résultats que nous avons obtenus lors de CAGIMA I. Les valeurs les plus fortes ont été obtenues au point fixe dans les eaux très turbides, ce qui suggère la possibilité d'un mécanisme de relargage de cadmium à partir des particules au niveau du bouchon vaseux.

Les teneurs mesurées à l'amont sont légèrement plus faibles. Une chute importante est observée à la station 45 (51 ng/l), puis la concentration remonte au bec d'Ambès. Il semble donc qu'il y ait une certaine variabilité des concentrations en Cadmium dans la masse d'eau estuarienne.

2.2.3.2.6. Cadmium particulaire

La répartition du cadmium lié aux particules est décrite sur la figure 21.

La caractéristique la plus marquante de cette distribution est une nette décroissance des teneurs de l'amont vers l'aval, puisqu'on passe de 4,6 mg/kg au bec d'Ambès à 0,6 mg/kg au Verdon.

2.2.4. Conclusion

Cette campagne vient confirmer les résultats obtenus lors de CAGIMA I, à savoir qu'au niveau du plateau continental, le panache girondin présente des teneurs élevées en cadmium dissous sur une aire relativement modeste, mais bien marquée. Le particulaire du plateau semble lui aussi subir une influence des expulsions girondines, aussi bien au niveau du cadmium que du carbone organique. Il est toutefois important de remarquer qu'en ce qui concerne ces deux paramètres, le particulaire girondin, essentiellement minéral, est moins chargé que celui du large. En Gironde, les teneurs en cadmium dissous sont élevées et passent par un maximum bien marqué au niveau du bouchon vaseux.

2.3. Campagne INTERSITE III : situation d'étiage

2.3.1. Présentation générale

Cette campagne réalisée dans le cadre du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin s'est déroulée du 30 août au 12 septembre 1985 entre les côtes vendéennes et le littoral espagnol. Certains prélèvements ont été effectués dans la zone déjà étudiée lors des campagnes CAGIMA (fig. 22, tableau 7).

Les débits fluviaux enregistrés pendant le mois qui précédait la campagne étaient faibles (tableau 8). Nous avons prélevé en situation d'étiage caractérisé, ce qui donne tout son intérêt à cette campagne, car les deux précédentes ont été réalisées en conditions moyennes.

2.3.2. Résultats

2.3.2.1. Plateau continental

Cinq stations très côtières ont été étudiées. Les deux stations les plus proches de la Gironde sont sous influence estuarienne certaine, comme en témoignent les salinités de 33,5 et 33,2 pour mille qu'on y a observées (fig. 23).

Les teneurs en cadmium dissous (11 à 27 ng/l) sont conformes aux valeurs habituelles en milieu littoral (tableau 4) et correspondent à celles que l'on a pu observer au cours des campagnes CAGIMA I et II.

Une valeur de 49 ng/l observée au droit du pertuis de Maumusson paraît élevée, mais peut s'expliquer par l'influence de la Gironde ; la salinité observée sur cette station est en effet relativement faible (33,3 pour mille).

2.3.2.2. Gironde

Nous avons effectué une série de prélèvements entre l'embouchure et Langon (tableau 7, fig. 22).

2.3.2.2.1 Hydrologie

La situation d'étiage entraîne une remontée saline importante (fig. 23) ; la salinité est encore de 2 ‰ au point kilométrique 25 (Bec d'Ambès).

De même, le bouchon vaseux est nettement établi et centré en amont de Bordeaux (fig. 24) ; nous avons observé une turbidité de 1 000 NTU à Langoiran.

2.3.2.2.2. Cadmium dissous (fig. 25)

. Niveaux

Dans la partie amont de l'estuaire, c'est à dire en eau douce (P.K. - 40) les valeurs de Cd dissous sont basses (20 ng/l), ce qui signifie qu'à cette époque, les apports sous forme dissoute doivent être considérés comme très faibles.

Une légère augmentation des teneurs est observée au niveau de Bordeaux ; elle peut être interprétée comme un apport de l'agglomération bordelaise ou comme un indice de désorption puisque le maximum de turbidité est situé légèrement en amont.

Les concentrations en cadmium dissous chutent nettement au niveau du bec d'Ambès, peut être en liaison avec le mélange Garonne-Dordogne. Nous n'avons pas ici les données nécessaires à la vérification de cette hypothèse. Au point fixe (P.K. 55) on assiste à une très nette remontée de la concentration en cadmium dissous. Les valeurs atteintes deviennent très importantes au niveau des stations 57 à 63 (420 ng/l) bien que ces stations soient situées légèrement à l'aval du bouchon vaseux.

. Comportement

Les concentrations en cadmium dissous paraissent liées aux salinités. Faibles en eau douce, elles augmentent régulièrement pour atteindre un maximum de 420 ng/l à 18,4 pour mille, après quoi le cadmium dissous semble adopter un comportement conservatif (fig. 26). Entre les salinités 18,4 pour mille et 34,2 pour mille, la relation Cd dissous-Salinité est en effet décrite de façon satisfaisante par la droite $Cd = 841,9 - 24 S$ ($r = 0,95$), S étant la salinité en pour mille.

L'influence de la turbidité sur les teneurs en cadmium n'apparaît pas clairement à l'issue de cette campagne. Il semble que la partie aval du bouchon vaseux puisse être considérée comme une source de cadmium dissous. Cependant la charge en suspensions ne suffit pas à expliquer en totalité le phénomène ; en effet, il existe plus à l'amont des zones extrêmement turbides où les concentrations en cadmium sont malgré tout faibles.

2.3.2.2.3. Cadmium particulaire

Les échantillons destinés à l'analyse du cadmium particulaire ont été traités et analysés de la même façon que lors de la campagne CAGIMA II.

La teneur en cadmium des suspensions à l'entrée du système (Langon) paraît modérée (0,6 mg/kg) (fig. 27). En conditions d'étiage elle peut être expliquée par la faible teneur en particules chargées venues de l'amont.

Au bec d'Ambès, les concentrations en cadmium particulaire augmentent nettement, puisqu'elles atteignent 6 mg/kg. Ces particules sont caractéristiques du milieu girondin. A l'aval de ce point, on observe une décroissance des teneurs en cadmium particulaire.

2.3.3. Conclusion

Cette campagne nous a permis d'avoir une vue du système Garonne-Gironde en période d'étiage caractérisé. Dans ces conditions, les quantités de cadmium apportées par la Garonne sous forme dissoute et particulaire paraissent faibles et incapables d'expliquer les teneurs importantes observées à l'aval du système.

3. DISCUSSION

3.1. Les niveaux de concentration

Nous avons établi l'existence à l'aval du système estuarien de concentrations en cadmium dissous pouvant atteindre des valeurs "anormales" de plusieurs centaines de nanogrammes par litre. Sur le plateau continental, l'influence de cet apport est limitée à une zone comprise entre Cordouan au sud et le pertuis de Maumusson au nord ; elle s'étend vers l'ouest sur une largeur de 10 milles au plus. Selon ALLEN *et al.* (1974) le pertuis de Maumusson est une voie de pénétration possible d'eau côtière vers la baie de Marennes-Oléron. Bien que nous n'ayons aucune preuve directe du passage de cadmium dissous entre la Gironde et la baie, il semble donc difficile d'écarter totalement cette hypothèse, notamment en situation de forte crue de la Gironde.

Les sédiments de Gironde sont anormalement chargés en cadmium. Les analyses effectuées par l'IGBA montrent que ces fortes valeurs sont limitées à l'estuaire. Il ne semble donc pas qu'il existe un transport de particules riches en cadmium entre la Gironde et le plateau.

Dans la baie de Marennes-Oléron, des teneurs un peu plus élevées que la normale (0,5 mg/kg) ont été observées à proximité de la Charente, alors que les résultats obtenus sur les autres points correspondent aux niveaux naturels (JOUANNEAU *et al.*, 1986). De fortes valeurs ont été également observées dans la phase dissoute à l'embouchure de la Charente, qui apparaît donc comme une source de cadmium très probable pour la baie de Marennes-Oléron. L'étude de ce système en période de crue bien établie permettrait sans doute de préciser d'avantage les rôles respectifs des apports charentais et girondin dans la baie de Marennes-Oléron.

3.2. Comportement du cadmium dans l'estuaire

Au cours des trois campagnes que nous avons réalisées, nous avons pu observer un maximum de cadmium dissous dans la partie aval du bouchon vaseux. La campagne INTERSITE III, plus centrée sur l'étude de ce problème, a permis de préciser le phénomène en établissant l'existence d'une liaison très nette entre les teneurs en cadmium dissous et la salinité (fig. 26). En période d'étiage les teneurs en cadmium sont de l'ordre de 20 ng/l, ce qui, tout en étant légèrement supérieur aux valeurs observées dans des fleuves coulant en zone non industrialisée (tableau 9), ne permet pas d'expliquer les chiffres observés à l'aval.

Ces teneurs augmentent régulièrement avec la salinité pour atteindre un maximum de 420 ng/l situé entre 15 et 20 pour mille, puis diminuent par simple dilution avec l'eau de mer. Parallèlement, on observe un appauvrissement en cadmium des matières en suspensions dans le sens amont-aval.

Deux hypothèses peuvent être envisagées pour expliquer ces phénomènes.

3.2.1. Existence d'un apport anthropique au niveau de l'estuaire

Cette hypothèse présente tout d'abord l'inconvénient de ne pas expliquer l'appauvrissement du particulaire en cadmium dans la partie médiane du système. En effet, en l'absence de mélange avec des particules marines seule une désorption ou une solubilisation du cadmium peut expliquer les résultats obtenus.

En ce qui concerne le cadmium dissous, il s'avère tout aussi difficile d'expliquer les teneurs observées par le simple fait d'un apport anthropique. Sur la base des données générales de JOUANNEAU (1982) et des chiffres d'INTERSITE III, estimons l'apport nécessaire pour observer des teneurs de 420 ng/l dans une eau à 18,5 pour mille de salinité, alors que l'eau douce et l'eau de mer présentent des teneurs de 20 ng/l.

Le volume d'eau douce transitant annuellement est $23,8 \cdot 10^{12}$ l (JOUANNEAU, 1982).

Le volume d'eau de salinité 18,5 pour mille exporté annuellement est donc

$$28,3 \times \frac{35}{35 - 18,5} \times 10^{12} = 5,05 \cdot 10^{13} \text{ l}$$

ce qui correspond à une exportation brute de $5,05 \times 10^{13} \times 4,2 \times 10^{-13} = 21,2$ tonnes.

Quantité de cadmium provenant de l'océan $(5,05 - 2,38) \times 10^{13} \times 0,2 \times 10^{-13} = 0,53$ tonne.

Quantité de cadmium apportée par les rivières :

$$2,38 \times 0,2 = 0,47 \text{ tonne}$$

L'apport net sous forme dissoute au niveau de l'estuaire devrait donc être de $21,2 - 1 = 20,1$ T/an, soit environ 55 kg par jour.

A titre de comparaison, les rejets de l'entreprise SAFT qui consomme 1,5 T de cadmium par jour sont limités à 3 kg par jour, il faudrait donc

trouver sur le cours inférieur de la Gironde 20 entreprises produisant des rejets comparables à ceux de la SAFT pour expliquer complètement les concentrations en Cd dissous observées à l'aval. La présence de ce type de rejets en aussi grand nombre n'ayant pas été démontrée à ce jour, il nous faut admettre l'existence de mécanismes plus complexes prenant en compte les apports particuliers en provenance de l'amont.

3.2.2. Mobilisation du cadmium particulaire

Les données des campagnes ainsi que la faible probabilité d'existence de rejets susceptibles d'expliquer les fortes concentrations de cadmium dissous à l'aval, nous conduisent à examiner l'hypothèse de la mobilisation du cadmium particulaire au cours du transit estuarien.

Ce phénomène est relativement courant dans les estuaires présentant une turbidité importante. BOYLE et al. (1982) l'ont observé dans l'Amazone, SHILLER et BOYLE (1973) dans le Mississipi, EDMOND (1983) dans le Yang-Tsé.

Les mécanismes mis en jeu au cours de ces transferts sont multiples. SALOMONS et FORSTNER (1983) ont mis en évidence l'importance des phénomènes de désorption ; à l'issue d'une étude in vitro, et en utilisant un modèle mathématique qui prend en compte les phénomènes d'adsorption-désorption, BOURG (1983) prévoit la dominance des formes dissoutes du cadmium dans la Gironde. Ces phénomènes paraissent très liés à la chlorinité, ce qui s'explique par la forte tendance du cadmium à s'associer aux chlorures sous forme de complexes très stables (LONG et ANGINO, 1977).

La minéralisation ou la solubilisation de la matière organique en provenance du bassin versant peut être également un facteur de mise en solution des métaux liés aux particules. Ces processus sont favorisés par les temps de transit relativement long des particules (45 j en période de grosse crue, plusieurs mois en étiage, et même possibilité de piégeage définitif, selon CASTAING et JOUANNEAU, 1979) ; JOUANNEAU (1982) a déjà mentionné l'éventualité de ce phénomène dans le cas du zinc.

Si ces deux hypothèses semblent les plus propres à expliquer le comportement du Cd en Gironde, elles ne rendent cependant pas totalement compte de la distribution du cadmium dissous.

En effet, selon BOURG (1983), le phénomène de désorption intervient très tôt, pour des valeurs de la salinité très faible. Dans notre étude, le relargage apparaît beaucoup plus en aval, où les salinités sont nettement plus fortes ; on ne peut donc pas retenir la désorption comme seul élément d'explication. Selon JOUANNEAU et al. (1983), la minéralisation de la matière organique joue également un rôle important sur le relargage des métaux particuliers au niveau de la partie médiane de l'estuaire. Par ailleurs, DONARD (1983) identifie dans la zone de migration du bouchon vaseux des phénomènes de remise en suspension - dépôt des matières en suspension qui pourraient être d'un intérêt primordial pour l'étude de la dynamique des métaux dans l'estuaire. En effet, à ce niveau, la remise en suspension correspondrait à un passage des particules en milieu oxydant, donc à un piégeage des métaux à la faveur de la précipitation des oxydes de fer et de manganèse. En période de sédimentation, au contraire, les conditions réductrices observées dans la crème de vase seraient propices au relargage des métaux liés aux particules, aussi bien par des mécanismes chimiques que par l'action d'agents microbiologiques.

Nous ne disposons pas des éléments qui nous permettraient d'étudier en détail ces hypothèses. A l'issue de cette discussion, nous pouvons cependant penser que les mécanismes mis en jeu au cours du transit du cadmium dans l'estuaire sont multiples et que la répartition que nous avons observée n'est que leur résultante.

3.3. Bilan géochimique

Le calcul du bilan géochimique du système estuarien permet d'évaluer les flux métalliques exportés vers l'océan. De plus en réalisant la synthèse des données hydrodynamiques, il permet d'avoir une représentation globale du comportement du cadmium dans l'estuaire. Enfin en pratiquant certains recoupements (méthode de calcul directe et indirecte), on peut, à travers l'étude du bilan, obtenir des informations sur le bien fondé des hypothèses avancées lors de son établissement.

3.3.1. Données hydrodynamiques

Nous tirons ces données de JOUANNEAU (1982). Elles concernent une année moyenne établie sur 10 ans, la variation du stock de suspensions estuariennes est donc considérée comme nulle.

3.3.1.1. Matières en suspension

Apports Dordogne	0,7	X	10^9 kg
Apports Garonne	1,5	X	10^9 kg
Sédimentation en Gironde	1,2	X	10^9 kg
Expulsions			10^9 kg

3.3.1.2. Eau

Apports Dordogne	10,2	X	10^{12} l
Apports Garonne	13,6	X	10^{12} l

Les études que nous avons menées nous ont conduits à considérer que les concentrations dans l'eau, et dans la matière en suspension, dépendaient des débits, au moins en ce qui concerne la Garonne. Nous avons donc cherché à évaluer la proportion d'eau douce apportée au système en période de forts débits de Garonne. JOUANNEAU (1982) donne la répartition moyenne des débits en fonction du temps pour la Garonne (fig. 28). Considérons comme période de forts débits les mois de décembre à avril inclus. La figure 28 montre que l'on peut estimer que 50 % environ des apports de la Garonne interviennent dans ces conditions. Nous tiendrons compte de cette répartition pour le calcul des apports dissous.

3.3.2. Concentration en cadmium de l'eau et des particules

3.3.2.1. Eau

Le tableau 10 rassemble les données que nous avons pu obtenir sur les concentrations en Cd dissous à l'entrée du système estuarien.

Partant de ce tableau, nous avons adopté pour le calcul du bilan la valeur de 20 ng/l en faibles débits et 250 ng/l en forts débits pour la Garonne.

En ce qui concerne la Dordogne, faute de données en crue, nous avons adopté la valeur de 20 ng/l pour toute l'année.

3.3.2.2. Matières en suspension - Sédiment

La plus grande partie des apports en matière en suspension se fait en période de forts débits.

DONARD (1983) cite des valeurs comprises entre 8 et 20 mg/kg en Cd particulaire dans la Garonne à La Réole. Nous avons mesuré des teneurs de 20 à 30 mg/kg en avril 1986 entre La Réole et Cadillac. Il nous paraît donc raisonnable d'adopter la valeur moyenne de 15 mg/kg pour le particulaire apporté par la Garonne.

Nous ne disposons pas de mesures directes sur le particulaire de la Dordogne. Cependant, certains indices nous incitent à considérer que cette rivière ne connaît pas de problème particulier du point de vue du Cadmium. Ainsi ELBAZ-POULICHET (Comm. pers.) donne une concentration inférieure à 20 ng/l pour le Cd dissous. Nous adopterons la valeur moyenne de 0,6 mg/kg pour les particules de la Dordogne, valeur double du bruit de fond géochimique généralement admis pour les sédiments lacustres (FORSTNER et WITTMANN, 1979).

3.3.3. Bilan de masse

3.3.3.1. Apports

3.3.3.1.1. Cadmium particulaire

Garonne $15 \times 1,5 \times 10^9 = 22,5 \times 10^9$ (22,5 T)

Dordogne $0,6 \times 0,7 \times 10^9 = 0,42 \times 10^9$ (0,42 T)

3.3.3.1.2. Cadmium dissous

Garonne (forts débits) $250 \times 13,6 \times 10^{12} \times 0,6 = 2040 \times 10^{12}$ (2 T)

Garonne (faibles débits) $20 \times 13,6 \times 10^{12} \times 0,4 = 109 \times 10^{12}$ (0,1 T)

Dordogne $20 \times 10,2 \times 10^{12} = 204 \times 10^{12}$ (0,2 T)

Soit un apport total de 25 tonnes par an.

3.3.3.2. Enlèvements

3.3.3.2.1. Sédimentation dans l'estuaire

Les travaux dont nous avons connaissance à ce jour (JOUANNEAU et al., 1986) s'accordent pour attribuer la valeur moyenne de 1 mg/kg à la concentration en cadmium des sédiments girondins. Sur cette base, on peut donc estimer la quantité de cadmium qui sédimente annuellement à :

$$1,2 \times 10^6 \times 1 = 1,2 \times 10^6 \text{ mg soit } 1,2 \text{ tonne.}$$

3.3.3.2.2. Expulsion sous forme particulaire

Les campagnes CAGIMA et INTERSITE ont permis d'évaluer à 1 mg/kg au maximum la teneur du cadmium des suspensions de l'estuaire inférieur. La quantité annuellement exportée est donc

$$1 \times 10^9 \times 1 = 10^9 \text{ mg soit } 1 \text{ tonne.}$$

3.3.3.2.3. Expulsion sous forme dissoute

Nous avons observé au cours d'INTERSITE III un maximum de cadmium dissous pour une salinité de 18,4 pour mille, à partir de laquelle le cadmium semblait avoir un comportement conservatif. En supposant que ces conditions soient maintenues toute l'année, comme permet de le penser la relative stabilité des teneurs en cadmium observées en aval du bouchon vaseux, lors des trois campagnes, on peut déterminer la quantité de cadmium exportée annuellement sous forme dissoute.

Un volume V d'eau estuarienne peut être considéré comme le mélange d'un volume V_{35} d'eau de mer de salinité 35 pour mille et d'un volume V_0 d'eau douce. Soit S la salinité de l'eau estuarienne.

$$VS = V_{35} \times 35 \implies V = \frac{35}{S} V_{35}$$

D'autre part, $V = V_0 + V_{35}$, donc $V_{35} = V - V_0$ et $V = 35 (V - V_0)$;

$$\text{finalement } V = \frac{\frac{35}{S} V_0}{\frac{35}{S} - 1}$$

Si $S = 18,5$ pour mille et $V_0 = 24 \cdot 10^{12}$ l (Volume d'eau douce exporté annuellement), le volume d'eau à 18,5 pour mille exporté sera $51 \cdot 10^{12}$ l, et la quantité de cadmium correspondante de $420 \times 51 \times 10^{12} = 21420 \times 10^{12}$ (21,4 tonnes).

Il faut toutefois tenir compte du fait que l'eau estuarienne résulte du mélange d'eau douce et d'eau de mer, qui contient elle-même 20 ng de cadmium par litre. Le volume d'eau de mer apporté pour former l'eau estuarienne est $(51 - 24) \times 10^{12} = 27 \cdot 10^{12}$ litres. La quantité de Cd contenue dans cette eau est

$$27 \times 10^{12} \times 20 = 540 \times 10^{12} \text{ ng soit } 0,5 \text{ tonne.}$$

3.3.3.3. Calcul

Somme des apports : 25 tonnes

Somme des enlèvements : $1,2 + 1 + 21,4 - 0,5 = 23,1$ T

Le bilan se solde donc par un excédent d'environ 2 tonnes.

D'après ce calcul, les hypothèses sur lesquelles nous avons travaillé permettent d'équilibrer à 10 % près le bilan du cadmium dans la Gironde. Il est évident que cette discordance de 10 % est bien inférieure à l'incertitude qui peut peser sur les calculs des apports et des retraits, basés sur des données encore trop peu nombreuses. Il n'en demeure pas moins que ce calcul,

même imparfait est un élément de plus en faveur de l'hypothèse privilégiant une source de cadmium située à l'amont.

3.4. Conséquences pour les mollusques

Cette étude a tout d'abord permis de répondre à la première question qui l'avait suscitée. Les très fortes concentrations en cadmium observées dans les huîtres de Gironde sont bien le reflet d'une contamination de l'estuaire par cet élément.

Sur la base d'une compilation de données environnementales, COSSA (Communication personnelle) a établi une liaison entre les concentrations en cadmium dissous et les teneurs en cadmium de la chair de moule sèche.

$$Cd_{\text{moule}} \text{ (mg/kg)} = 0,062 \text{ Cd}^{1,09}_{\text{dissous}} \text{ (ng/l)}$$

Pour des teneurs dans l'eau comprises entre 300 et 400 ng/l, ce modèle permet de prévoir des concentrations dans la moule de 31 à 35 mg/kg, ce qui est compatible avec les résultats de 20 et 30 mg/kg observés lors de notre étude sur la matière vivante (BOUTIER, 1984). Nous avons, dans cette même étude, établi qu'il existe un facteur 3 entre les teneurs observées dans l'huître et les teneurs observées dans les moules. Sur cette base, et toujours en utilisant le modèle de COSSA, les teneurs en Cd des huîtres devraient donc être comprises entre 93 et 115 mg/kg. Là encore, la correspondance est tout à fait satisfaisante, puisque la moyenne des valeurs observées à LA FOSSE dans le cadre du RNO est de 82 mg/kg.

4. CONCLUSION

4.1. Origine et extension de la contamination girondine

L'étude que nous avons menée conduit à la mise en évidence d'apports anormaux de cadmium par la Garonne sous forme essentiellement particulaire. A l'issue de processus géochimiques divers, parmi lesquels on peut soupçonner la désorption et la minéralisation de la matière organique, le cadmium apporté au système estuarien sous forme particulaire passe sous forme dissoute. En étiage, le siège principal de ces transformations semble situé entre des points de salinité 7 et 18 pour mille, ce qui correspond à la partie aval de l'estuaire. L'apparition de fortes concentrations de cadmium dissous dans les zones de présence de mollusques conduit à leur contamination selon un schéma conforme à celui que propose COSSA (Communication personnelle).

L'étude géochronologique des sédiments carottés dans l'estuaire révèle que l'apparition des fortes teneurs en cadmium dans le sédiment date de quelques dizaines d'années (JOUANNEAU et al., 1986). Le caractère récent et soudain de cette contamination nous paraît être un argument de poids pour lui attribuer une origine anthropique.

A l'extérieur de l'estuaire, l'influence du panache demeure nette, mais limitée en ce qui concerne le cadmium dissous, qui est la forme dominante d'exportation de cet élément. Dans les conditions où nous avons travaillé, l'auréole d'influence de la Gironde ne dépasse pas la latitude du pertuis de Maumusson et ne s'éloigne pas à plus de 10 milles du rivage.

4.2. Le bassin de marennes-Oléron

A l'issue de cette étude, les possibilités d'un passage direct du cadmium issu de la Gironde vers le bassin de Marennes-Oléron paraissent faibles, et en tout état de cause limitées à la partie sud de la baie. Toutefois, n'ayant pas étudié de situation de crue, durant laquelle le panache girondin prend son extension maximum, nous ne pouvons présumer de l'importance que ce phénomène peut prendre dans ces conditions.

Ce travail a également permis de mettre en évidence l'existence d'apports non négligeables au niveau de la Charente, dont on retrouve la trace aussi bien sous forme dissoute que dans le sédiment (JOUANNEAU et al., 1986).

5. RECOMMANDATIONS

5.1. Gironde

Les résultats que nous avons obtenus le 14.04.86 (3.3.2.2) montrent que des quantités considérables de cadmium sont transportées de façon très irrégulière par la Garonne sous forme particulaire. Le bilan que nous avons établi, joint à l'application du modèle de COSSA, montre qu'après désorption ces quantités apportées suffisent à expliquer les fortes concentrations observées dans les huîtres de l'aval. Cependant, ce bilan pourrait être affiné par une surveillance plus systématique qui permettrait de diminuer les erreurs causées par la variabilité des apports. Il nous paraîtrait également judicieux d'établir une surveillance sur la Dordogne, afin de confirmer les estimations auxquelles nous nous sommes livrés pour établir le bilan.

Une telle action permettrait de désigner avec plus de force la source de cadmium certainement située en amont de la Réole. Elle pourrait par exemple être envisagée dans le cadre du RNO.

Certains échantillons prélevés dans le bassin versant à titre exploratoire se sont révélés particulièrement contaminés. Ainsi, nous avons observé des concentrations en Cd de 2250 ng/l dans le Riou Mort. Ces teneurs considérables semblent liées à la présence d'industries installées sur le cours de cet affluent du Lot. L'établissement d'un réseau de surveillance des teneurs sur les principaux affluents de la Garonne permettraient sans doute de mieux cerner l'origine (ou les origines) des contaminations et d'en déterminer l'importance.

5.2. Marennes-Oléron

Les teneurs en Cd observées dans les huîtres de Marennes-Oléron laissaient prévoir que ce secteur se trouvait sous l'influence d'un apport réel de Cadmium. En effet selon les résultats du R.N.O., la moyenne des concentrations en Cd dans les huîtres de Marennes-Oléron est de 6 mg/kg de poids sec, alors qu'elle est de 2 mg/kg à Arcachon et de 2,4 en baie de Bourgneuf (tableau 1).

Cette étude a montré que l'existence de deux sources, l'une constituée par la Gironde, l'autre par la Charente, doit être envisagée. L'importance économique de l'ostréiculture dans cette région nous paraît

suffisante pour justifier de plus amples recherches visant à établir de façon certaine l'origine du Cadmium dans la baie de Marennes-Oléron. Ceci permettrait dans un deuxième temps d'étudier les mesures susceptibles de ramener les teneurs à des valeurs plus compatibles avec la vocation ostréicole de cette région.

Note : Nous remercions Daniel COSSA, avec qui nous avons eu de nombreuses et fructueuses discussions sur le travail présenté dans ce rapport.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN (G.P.) et al., 1974.- Environnement et processus sédimentaires sur le littoral nord Aquitaine. Bulletin de l'Institut de Géologie du bassin d'Aquitaine, 15, 73-105.
- BERMAN (S.S.), MYKYTIUK (A.P.), YEATS (P.A.) et BEWERS (J.M.), 1983.- ICES 5 th round intercalibration for trace metals in sea water. Preliminary report. C.M. 1983/E. 84.
- BORCHARDT (T.), 1983.- Influence of food quantity on the kinetics of cadmium uptake and loss via food and sea-water in Mytilus edulis. Marine Biology, 76 : 67-76.
- BOURG (A.C.M.), 1983.- Modélisation du comportement des métaux-traces à l'interface solide-liquide dans les systèmes aquatiques. Documents du BRGM, n° 62, 1983.
- BOUTIER (B.), 1981.- Synthèse des résultats de la surveillance des micropolluants dans la matière vivante. Bulletin du RNO n° 17. Ministère de l'Environnement.
- BOUTIER (B.), 1984.- Recherche de la contamination en cadmium de la Gironde. Contrat d'étude n° 83213. Ministère de l'environnement. Mission des études et de la recherche "milieu physique", eau, air, sol, pollutions.
- BOYLE (E.A.), HUESTED (S.S.) et GRANT (B.), 1982.- The chemical balance of the Amazon plume. II. Copper, Nickel and Cadmium. Deep sea research, 29 : 1355-1364.
- BRULAND (K.W.) et FRANKS (R.P.), 1983.- Mn, Ni, Cu, Zn, Ni and Cd in the western north atlantic. In : Trace metals in sea water. C.S. WONG et al. Eds. Plenum press, New York.
- CASTAING (P.) et JOUANNEAU (J.M.), 1979.- Temps de résidence des eaux et des suspensions dans l'estuaire de la Gironde. Journal de recherche océanographique, IV, 2 : 41-52.
- CASTAING (P.), 1981.- Le transfert à l'océan des suspensions estuariennes. Cas de la Gironde. Thèse doct. es. sc, Univ. Bordeaux I, n° 701, 530 p., 179 fig., 14 tabl.
- COSSA (D.), 1976.- Sorption du cadmium par une population de la diatomée Phaeodactylum tricornutum en culture. Marine Biology, 34 : 163-167.
- DANIELSSON (L.), MAGNUSSON (B.), WESTERLUND (S.) et ZHUNG (K.), 1983.- Trace metals in the Göta river. Estuarine coastal and shelf Science, 17 : 313-322.

- DANIELSSON (L.G.) et WESTERLUND (S.), 1984.- Short term variations in trace metals concentrations in the Baltic. *Marine chemistry*, 15 : 273-277.
- DANIELSSON (L.G.), MAGNUSSON (B.) et WESTERLUND (S.), 1985.- Cadmium, Copper, Iron and Zinc in the North East Atlantic Ocean. *Marine chemistry*, 17 : 23-41.
- DONARD (O.), 1983.- Biogéochimie et hydrodynamique d'un système estuarien macrotidal. Thèse de 3ème cycle Université de Bordeaux I. n° 1887.
- DUINKER (J.C.), HILLEBRAND (M.T.J.), NOLTING (R.F.) et WELLERSHAUS (S.), 1982.- The river Elbe : processus affecting the behaviour of metals and organochlorines during estuarine mixing. *Netherland Journal of Sea research*, 15 : 141-169.
- EDMOND (J.M.), SPIVACK (A.), GRANT (B.C.), HU MING-HUI, CHENZEXIAN, CHEN SUNG et ZENG XIUSHAU, 1985.- Chemical dynamics of the Changiang estuary. *Continental Shelf research*, Vol. 4, 1-2 ; 17-36.
- EGGIMAN (D.N.) et BETZER (P.R.), 1976.- Decomposition and analysis of refractory oceanic suspended materials. *Analytical chemistry*, 48 (6) : 886-890.
- ETCHEBER (H.) et RELEXANS (J.C.), 1983.- Nature et répartition de la matière organique particulaire sur le plateau continental au large de l'estuaire de la Gironde. *Annales de l'Institut Océanographique*, Paris, 59 (1) : 5-19.
- FORSTNER (U.) et WITTMANN (G.T.W.), 1979.- Metal pollution in the aquatic environment. Chap. B. Toxic metals. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York. 486 p.
- HERAL (M.), RAZET (D.), DESLOUS-PAOLI (J.M.), BERTHOME (J.P.) et GARNIER (J.), 1982.- Caractéristiques saisonnières de l'hydrobiologie du complexe estuarien de Marennes-Oléron (France). *Revue des travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 46 (2) : 97-119, 1982 (1983).
- JOUANNEAU (J.M.), 1982.- Matières en suspension et oligo-éléments métalliques dans le système estuarien girondin. Comportement et flux. Thèse Univ. Bordeaux I, n° 732, 306 p.
- JOUANNEAU (J.M.), BERGER (P.), BOUTIER (B.), EWALD (M.), FONTUGNE (M.) et HERAL (H.), 1983.- Extension des apports solides et liquides d'origine estuarienne dans les eaux de surface du plateau aquitain interne. *Revue des travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, 47 (1 et 2) : 5-24.
- JOUANNEAU (J.M.), ETCHEBER (H.) et LATOUCHE (C.), 1983.- Improverishment and decrease of metallic elements associated with suspended matter in the Gironde estuary. *In* : Trace metals in sea water, C.S. WONG *et al.* Eds. Plenum press, New-York.
- JOUANNEAU (J.M.), LATOUCHE (C.) et PHILLIPS (I.), 1986.- Etude géochimique du cadmium en Gironde et en baie de Marennes. Contrat n° 84/7490. Rapport I.G.B.A., Université de BORDEAUX I.

- KREMLING (K.) et PETERSEN (N.), 1984.- Synoptic survey of dissolved trace metals levels in Baltic surface waters. Mar. Pollut. Bull., 15 : 329-334.
- LONG (D.T.) et ANGINO (E.E.), 1977.- Chemical speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in mixed fresh Water, sea water and brine solutions. Geochimica et Cosmochimica Acta. 41 : 1183-1191.
- MAGNUSSON (B.) et RASMUSSEN (L.), 1982.- Trace metal levels in coastal seawater. Investigation of Danish waters. Mar. Pollut. Bull., 13 : 81-84.
- MART (L.), 1982.- Comparative studies on the distribution of heavy metals in the oceans and coastal waters. The Science of the total environment. 39 : 1-14.
- MARTIN (J.H.) et BROENKOW (W.W.), 1975.- Cadmium in plankton ; elevated of concentrations off Baja California. Science, vol. 190, pp. 884-885.
- NEVEUX (J.), 1983.- Dosage de la chlorophylle a et des pheopigments par fluorimétrie. In : Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO-BNDO/DOCUMENTATION, Brest. 395 p.
- SALOMONS (W.) et FORSTNER (U.), 1984.- Trace metals in estuaries. Field investigations. in : Metals in the hydrocycle. Springer-Verlag, Berlin.
- SHILLER (A.M.) et BOYLE (E.A.), 1983.- Trace metals in the plume of the Mississippi river. EOS, 64 (52).
- STRICKLAND (J.D.) et PARSONS (J.R.), 1968.- A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. res. bd. Can. 167, 311 p.
- THIBAUD (Y.) et BOUTIER (B.), 1987.- La surveillance du mercure et du cadmium dans les huîtres et les moules du littoral français - 1979-1985. Synthèse des résultats du programme RNO. A paraître.

Tableau 1 - Concentrations en cadmium moyennes dans les huîtres
du littoral français (mg/kg poids sec) entre 1979 et 1985.

Site	Min.	Moy.	Max.	Nb.
Morlaix	0,7	2,2	5,4	69
Morbihan	0,4	1,7	3,3	85
Loire	0,4	2,4	4,4	27
Vendée	1,1	2,8	4,7	20
Marennes	0,4	6,06	22,2	121
Arcachon	0,7	2	8,5	107
Gironde	3,7	54,05	116,5	66

D'après THIBAUD et BOUTIER, 1987.

Tableau 2 - Liste stations CAGIMA I.

H 1	46°19,4'N	1°40 W	
H 2	46°16,6'N	1°27,5'W	
H 3	46°15,2'N	1°21,4'W	
H 4	46°12,7'N	1°15,2'W	
H 5	46°09,2'N	1°14,6'W	
H 6	46°06,8'N	1°57,5'W	
H 7	46°07,4'N	1°47,4'W	
H 8	46°06,7'N	1°41,8'W	
H 9	46°06,2'N	1 28,3'W	
H 10	46°06,0'N	1°17,9'W	
H 11	46°04,7'N	1°10,8'W	
H 12	46°00,4'N	1°11,5'W	
H 13	45°58,0'N	1°05,4'W	
H 14	45°56,00 N	1°05,00 W	
H 15	46°53,2'N	1°10,2'W	
H 16	45°49,00 N	1°08,8'W	
H 17	45°48,2'N	1°13,00 W	
H 18	45°47,6'N	1°16,8'W	
H 19	45°47,6'N	1°19,8'W	
H 20	45°47,8'N	1°23,1'W	
H 21	45°47,6'N	1°29,0'W	
H 22	45°51,4'N	1°26,1'W	
H 23	45°53,5'N	1°20,7'W	
H 24	45°55,0'N	1°30,2'W	
H 25	45°58,4'N	1°34,4'W	
H 26	46°01,7'N	1°38,0'W	
H 27	45°43,8'N	1°15,8'W	
H 28	45°43,8'N	1°18,00 W	
H 29	45°43,9'N	1°22,9'W	
H 30	45°44'N	1°27,3'W	
H 31	45°39,9'N	1°12,4'W	
H 32	45°38,8'N	1°17,3'W	
H 33	45°38,3'N	1°21,7'W	
H 34	45°37,4'N	1°28,6'W	
H 35	45°33,1'N	1°07,6'W	
H 36	45°30,3'N	1°15,15'W	
H 37	45°29,2'N	0°56,3'W	PK 85*
H 38	45°21,3'N	0°48,3'W	PK 67*
H 39	45°10,8'N	0°43,6'W	PK 45*
H 40	45°06,3'N	0°41'W	PK 35*
H 41	44°57,5'N	0°32,6'W	PK 15*
H 42	44°50,3'N	0°33,9'W	PK 0*
H 43	45°35,0'N	1°03,5'W	

* PK est l'abréviation de point kilométrique. PK X désigne un point situé à X kilomètres du pont de pierre de Bordeaux, vers l'aval si $X > 0$, vers l'amont si $X < 0$.

Tableau 3 - Débits de la Garonne et de la Dordogne au cours
du mois précédant la campagne CAGIMA I.

Date	Garonne (La Réole)	Dordogne (Pessac)	TOTAL
26.5.84	658	240	898
27.5.84	739	251	990
28.5.84	853	273	1 126
29.5.84	824	322	1 146
30.5.84	824	334	1 158
31.5.84	658	346	1 004
1.6.84	607	334	941
2.6.84	582	322	904
3.6.84	582	339	921
4.6.84	712	610	1 322
5.6.84	913	586	1 499
6.6.84	1 170	528	1 708
7.6.84	1 274	562	1 836
8.6.84	1 006	490	1 494
9.6.84	883	461	1 344
10.6.84	767	413	1 180
11.6.84	685	363	1 048
12.6.84	658	346	1 004
13.6.84	658	322	980
14.6.84	633	336	969
15.6.84	633	315	948
16.6.84	633	322	955
17.6.84	607	281	888
18.6.84	557	281	838
19.6.84	533	274	807
20.6.84	557	298	855
21.6.84	633	317	950
22.6.84	582	298	880
23.6.84	557	298	855
24.6.84	582	261	843
25.6.84	464	214	678
26.6.84	441	214	655
27.6.84	486	187	673
28.6.84	464	187	651
29.6.84	486	173	659
30.6.84	456	200	686
1.7.84	441	178	619
2.7.84	357	160	517
3.7.84	337	146	483

Tableau 4 - Concentrations en cadmium des eaux du plateau continental.

Lieu	Cd (ng/l)	Traitement	Références	Remarques
Atlantique N.E. Large Noirmoutie	23	Eau filtrée	<u>BERMAN et al.</u> 1983	Intercalibration CIEM 1982 profondeur 50 m
Manche-Mer du Nord	20 - 25	Filtrée	<u>DANIELSSON et al.</u> 1985	Surface
Mer du Nord Southern Bight	20 - 30	Filtrée	<u>DUINKER et al.</u> 1982	Surface
Baltique	30	Filtrée	<u>DANIELSSON et WESTERLUND</u> 1984	Surface-fond
Baltique	30	Filtrée	<u>KREMLING et PETERSEN</u> 1984	Surface
N.W. atlantique	20	Filtrée	<u>BRULAND et FRANKS</u> 1983	Cap Cod. - Mer des Sargasses
Eaux côtières Danoises Kattegat	23	Filtrée	<u>MAGNUSSON et RASMUSSEN</u> 1982	
Côtes belges	13 - 77	Filtrée	<u>MART</u> 1982	

Tableau 5 - Débits de la Garonne et de la Dordogne au cours
du mois précédant la campagne CAGIMA II (m³/s).

Date	Garonne (La Réole)	Dordogne (Pessac)	TOTAL
20.1.85	633	552	1 185
21.1.85	557	285	842
22.1.85	557	293	850
23.1.85	685	310	995
24.1.85	658	298	956
25.1.85	712	288	1 000
26.1.85	712	312	1 024
27.1.85	883	586	1 469
28.1.85	1 070	634	1 704
29.1.85	1 006	574	1 580
30.1.85	1 204	562	1 766
31.1.85	1 136	521	1 657
1.2.85	943	466	1 409
2.2.85	824	430	1 254
3.2.85	739	406	1 145
4.2.85	658	370	1 028
5.2.85	582	406	988
6.2.85	607	408	1 015
7.2.85	582	416	998
8.2.85	533	392	925
9.2.85	533	466	999
10.2.85	533	418	951
11.2.85	486	310	796
12.2.85	685	394	1 079
13.2.85	685	564	1 249
14.2.85	2 354	536	2 890
15.2.85	2 164	694	2 858
16.2.85	1 691	898	1 589
17.2.85	1 382	898	2 280
18.2.85	1 346	802	2 148
19.2.85	1 985	826	2 811
20.2.85	1 773	826	2 599
21.2.85	1 346	706	2 052
22.2.85	1 136	658	1 794
23.2.85	943	610	1 553
24.2.85	853	562	1 415
25.2.85	712	514	1 226
26.2.85	633	406	1 039
27.2.85	658	442	1 100
28.2.85	712	490	1 202
1.3.85	685	466	1 151
2.3.85	685	502	1 187
3.3.85	883	538	1 421
4.3.85	974	466	1 440
5.3.85	943	442	1 385

Tableau 6 - Liste des stations CAGIMA II

1 à 36 : voir CAGIMA I

PK 85	45°29,2'N	0°56,3'W	
PK 77	45°26,5'N	0°53,5'W	
PK 55	45°15,5'N	0°45,0'W	
PK 45	45°10,8'N	0°43,6'W	
PK 30	45°03,2'N	0°37,3'W	
PF (point fixe)	PK 69	45°23,0'N	0°49,1'W
H 43	45°35,0'N	1°03,5'W	
H 44	45°25,5'N	1°43,3'W	
H 45	45°17,5'N	1°55'W	
H 46	45°12,3'N	2°00'W	
H 47	45°35,5'N	1°50,8'W	
H 48	45°32,4'N	1°57,6'W	
H 49	45°44,2'N	1°50,3'W	
H 50	45°44,7'N	1°58,8'W	
H 51	45°53,2'N	1°51,9'W	
H 52	46°00'N	1°54,8'W	
H 53	46°06'N	1°35,00'W	

Tableau 7 - Coordonnées des stations INTERSITE III

18	45°35,6'N	1°03,2'W	PK 96	Le Verdon
17	45°16,3'N	0°45,1'W	PK 55	Point fixe
63	45°29,9'N	0°57,4'W	PK 85	
62	45°22,4'N	0°49,15 W	PK 67	
60	45°20,4'N	0°47,5'W	PK 64	Bouée 33
59	45°22,8'N	0°49,6'W	PK 68	Bouée 29
58	45°24,2'N	0°51,3'W	PK 71	Bouée 25
57	45°27,1'N	0°53,8'W	PK 78	Bouée 20
B1	44°55,1'N	0°33,W	PK 10	Bouée 67
B2	45°02,7'N	0°36,8'W	PK 26	Bouée A1
B3	45°02,7'N	0°35,9'W	PK 25	Barbe d'Esquire
B4	44°59,N	0°32,6'W	PK 18	Bouée 65
B5	PK - 40			
B7	PK - 38			
B8	PK - 34			
B9	PK - 21			

Tableau 8 - Débits de la Garonne et de la Dordogne au cours
du mois précédant la campagne INTERSITE III.

Date	Garonne (La Réole)	Dordogne (Pessac)	TOTAL
1.8.85	244	203	447
2.8.85	210	180	390
3.8.85	194	173	367
4.8.85	194	180	374
5.8.85	178	153	331
6.8.85	148	133	281
7.8.85	163	133	296
8.8.85	210	133	343
9.8.85	210	133	343
10.8.85	194	106	300
11.8.85	194	133	327
13.8.85	194	119	313
14.8.85	163	112	275
15.8.85	163	123	286
16.8.85	163	119	282
17.8.85	178	106	284
18.8.85	178	106	284
19.8.85	178	112	290
20.8.85	178	133	311
21.8.85	178	106	284
22.8.85	178	119	297
23.8.85	178	112	290
24.3.85	178	106	284
25.8.85	178	112	290
26.8.85	194	119	313
27.8.85	178	119	297
28.8.85	210	112	322
29.8.85	178	106	284
30.8.85	163	112	275
31.8.85	178	106	284
1.9.85	153	92	245
2.9.85	133	92	245
3.9.85	133	112	245
4.9.85	133	99	232
5.9.85	194	92	286
6.9.85	186	92	278
7.9.85	178	85	263

Tableau 9 - Concentration en Cd dissous des eaux douces (ng/l).

Origine	Concentration	Référence
Mississippi	15	SHILLER et BOYLE 1983
Amazone	< 10	BOYLE <u>et al.</u> 1982
Yang-Tse	< 4	ELBAZ-POULICHET 1986 Comm. pers.
Göta	8 - 20	DANIELSSON <u>et al.</u> 1983
St Laurent	10 - 100	COSSA Comm. pers.
Ogeechee (USA)	78 - 94	WINDOM et SMITH, Comm. pers.

Tableau 10 - Concentration en cadmium dissous à l'entrée du système estuarien Garonne-Dordogne.

Date	Conditions hydro	Origine	Concentration	Référence
Août 1985	étiage	Garonne	13 - 20 ng/l	Ce travail
-	faibles débits	Dordogne	< 20 ng/l	Elbaz-Poulichet (Comm. pers. 1986)
Octobre 1982	faibles débits	Garonne	55 ng/l	Elbaz-Poulichet (Comm. pers. 1986)
Avril 1986	forts débits	Garonne	250 ng/l	Ce travail

Figure 1 - Campagne CAGIMA I. Emplacement des stations.

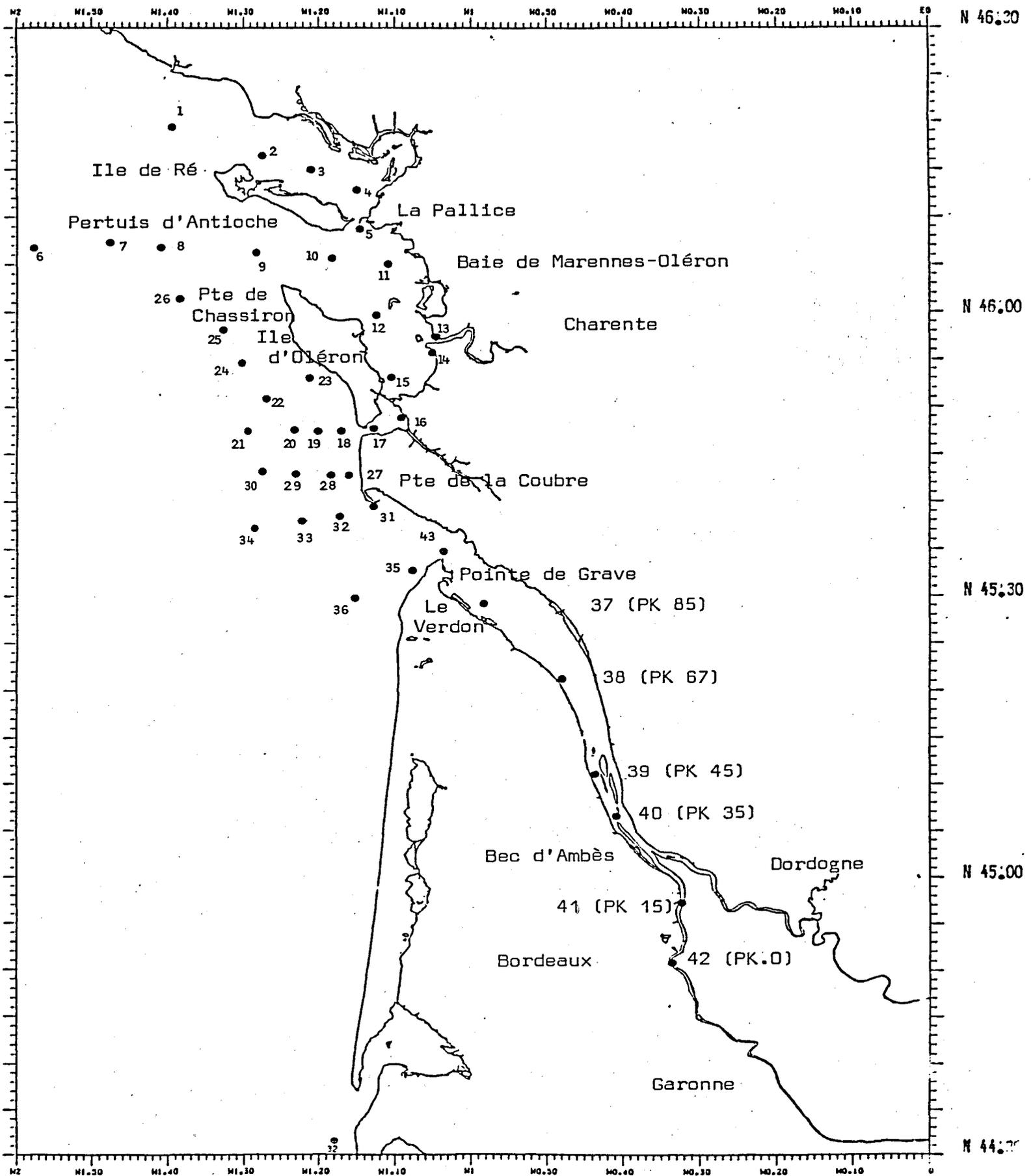


Figure 2 - Campagne CAGIMA I - Salinité de surface (%).

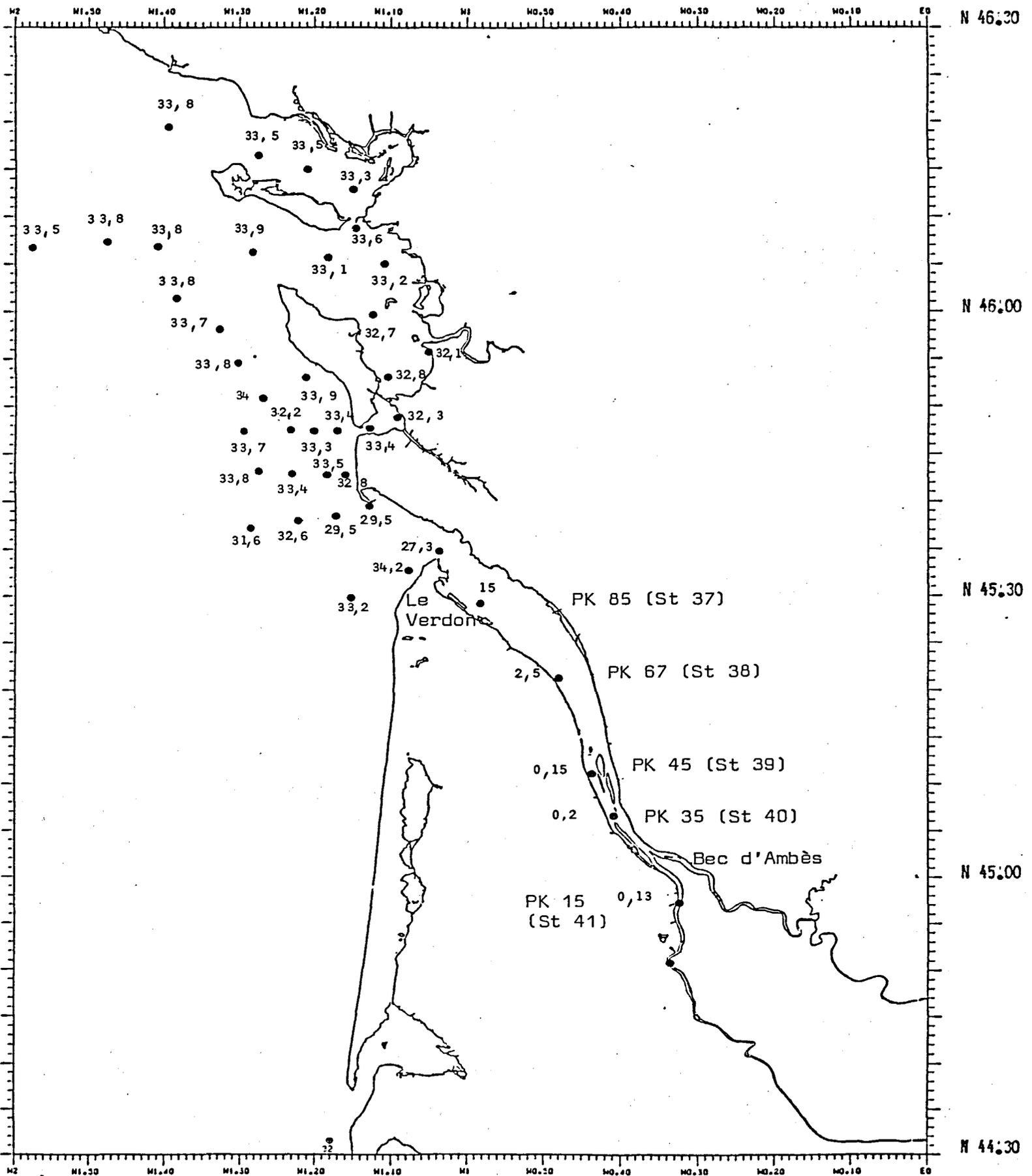


Figure 3 - Campagne CAGIMA I. Salinité Fond (‰).

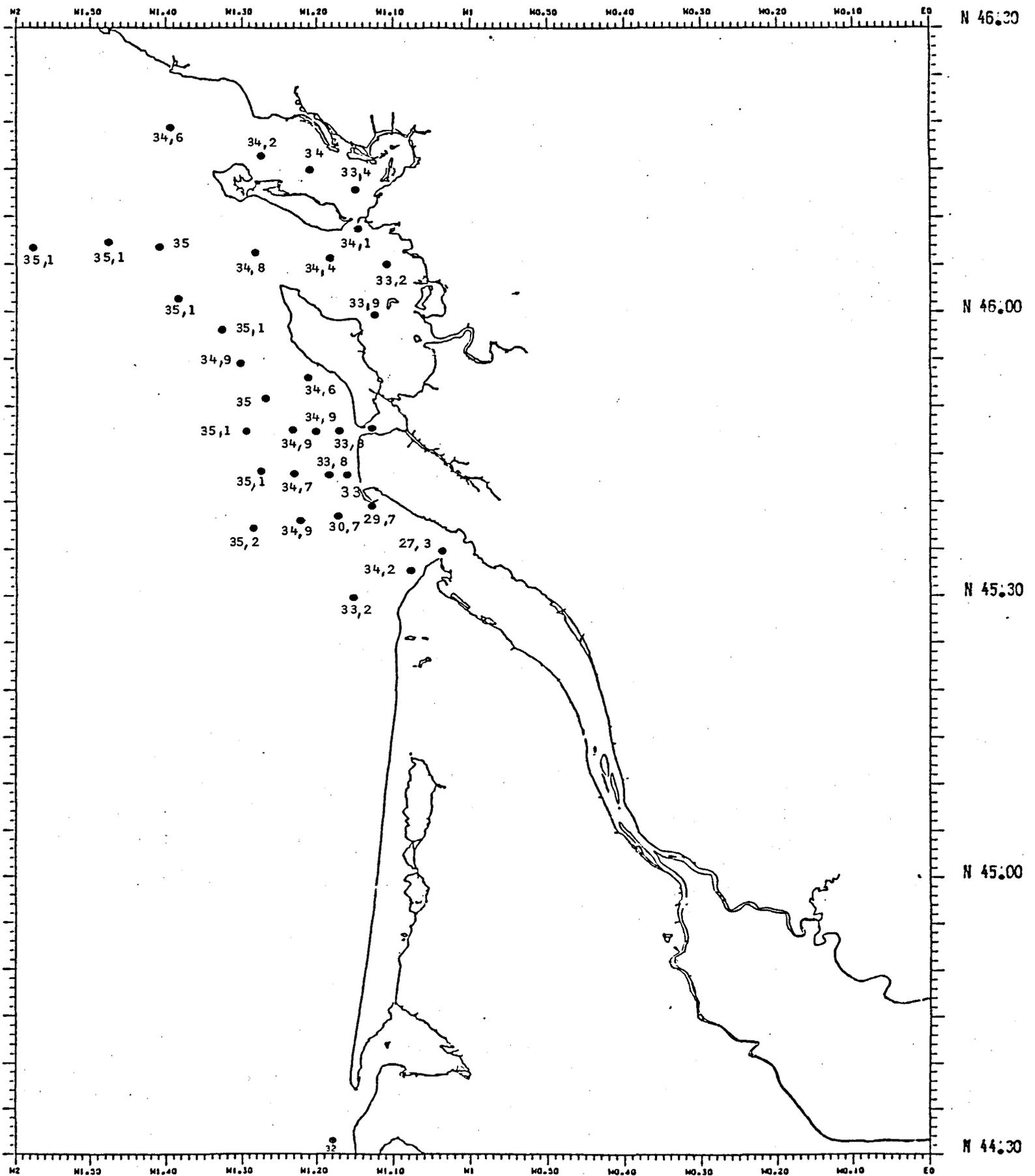


Figure 4 - Campagne CAGIMA I. Températures de surface (%).

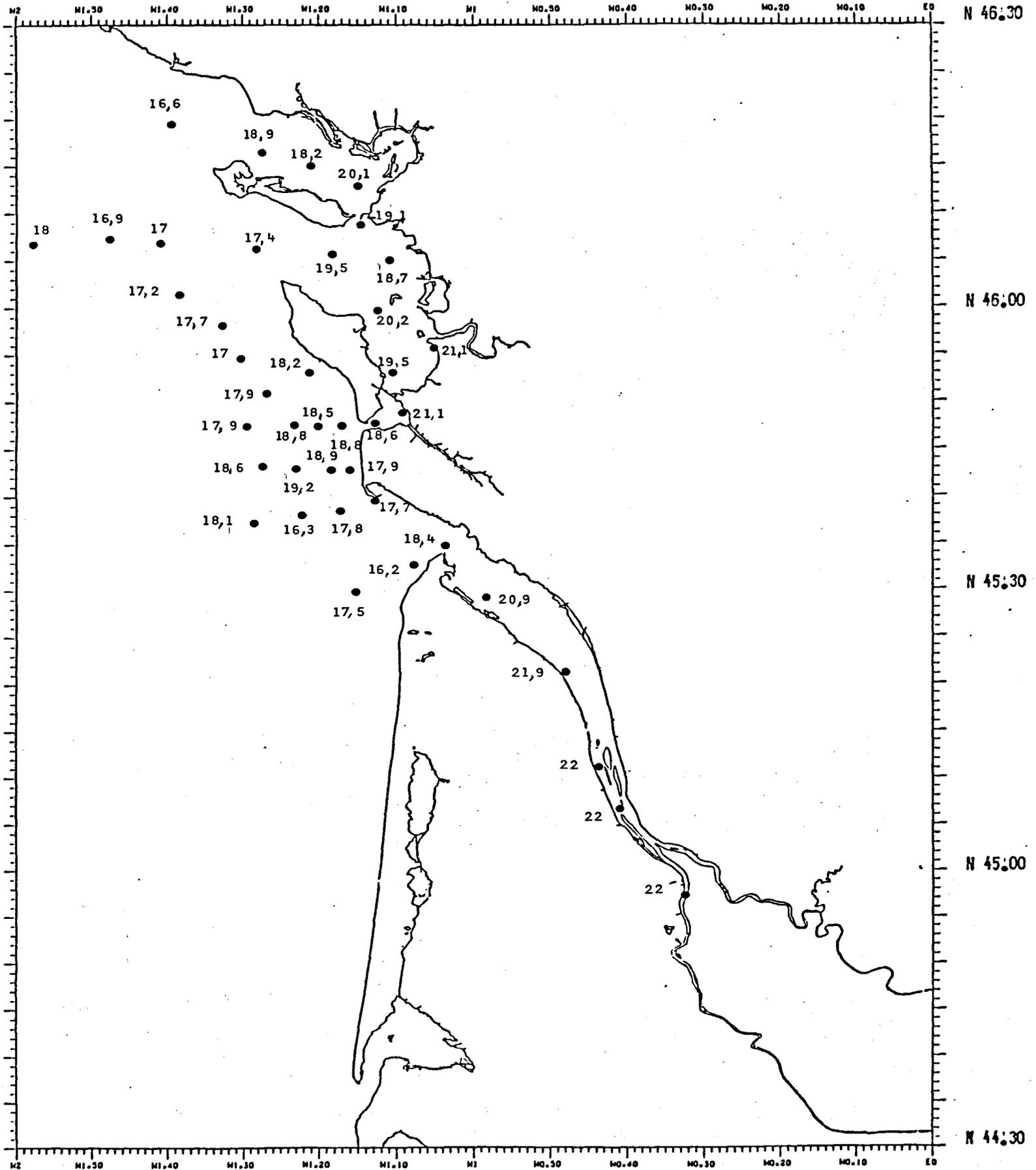


Figure 5 - Campagne CAGIMA I. Températures de fond (°C).

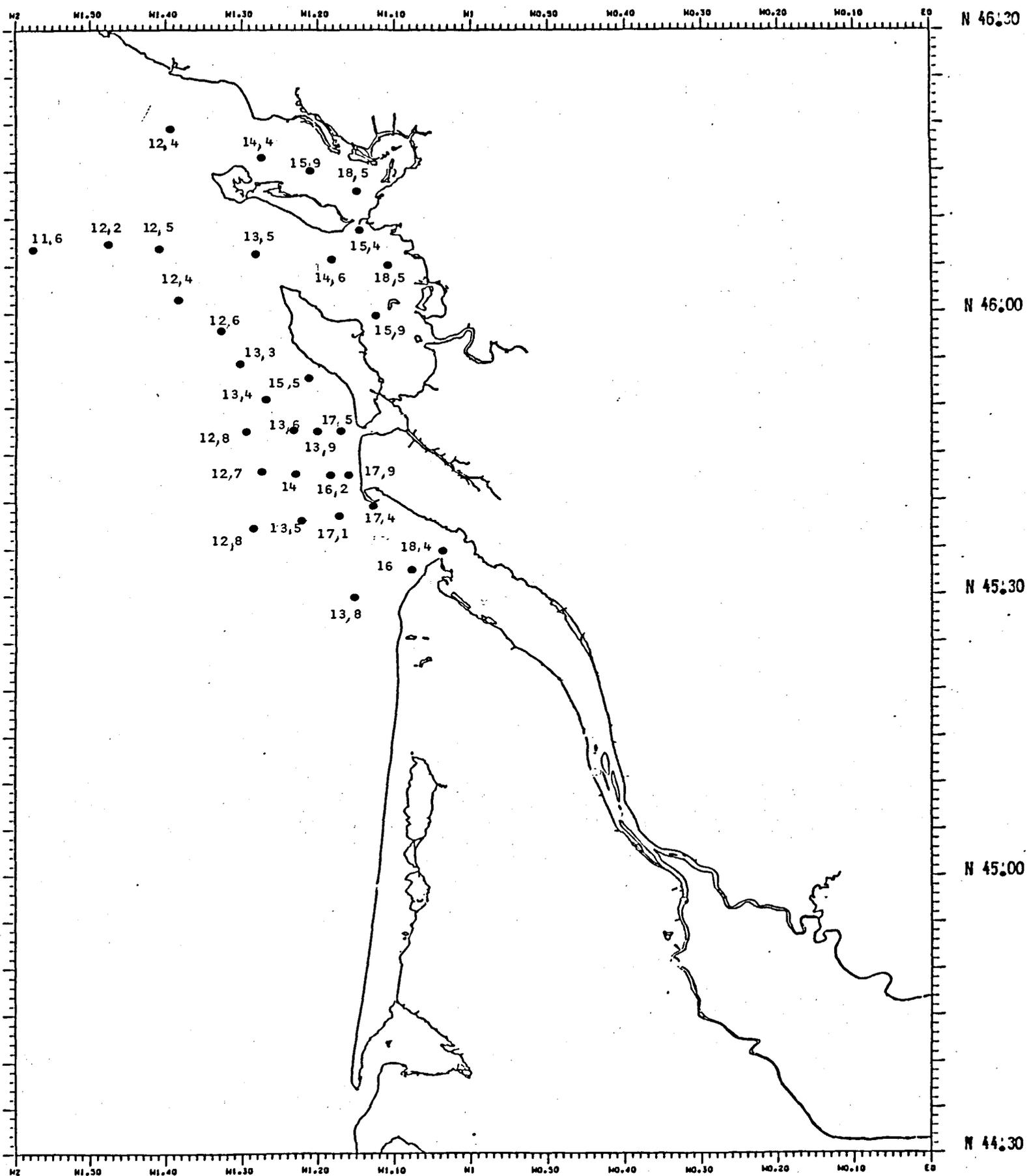


Figure 6 - Campagne CAGIMA I. Matières en suspension. Surface (mg/l)

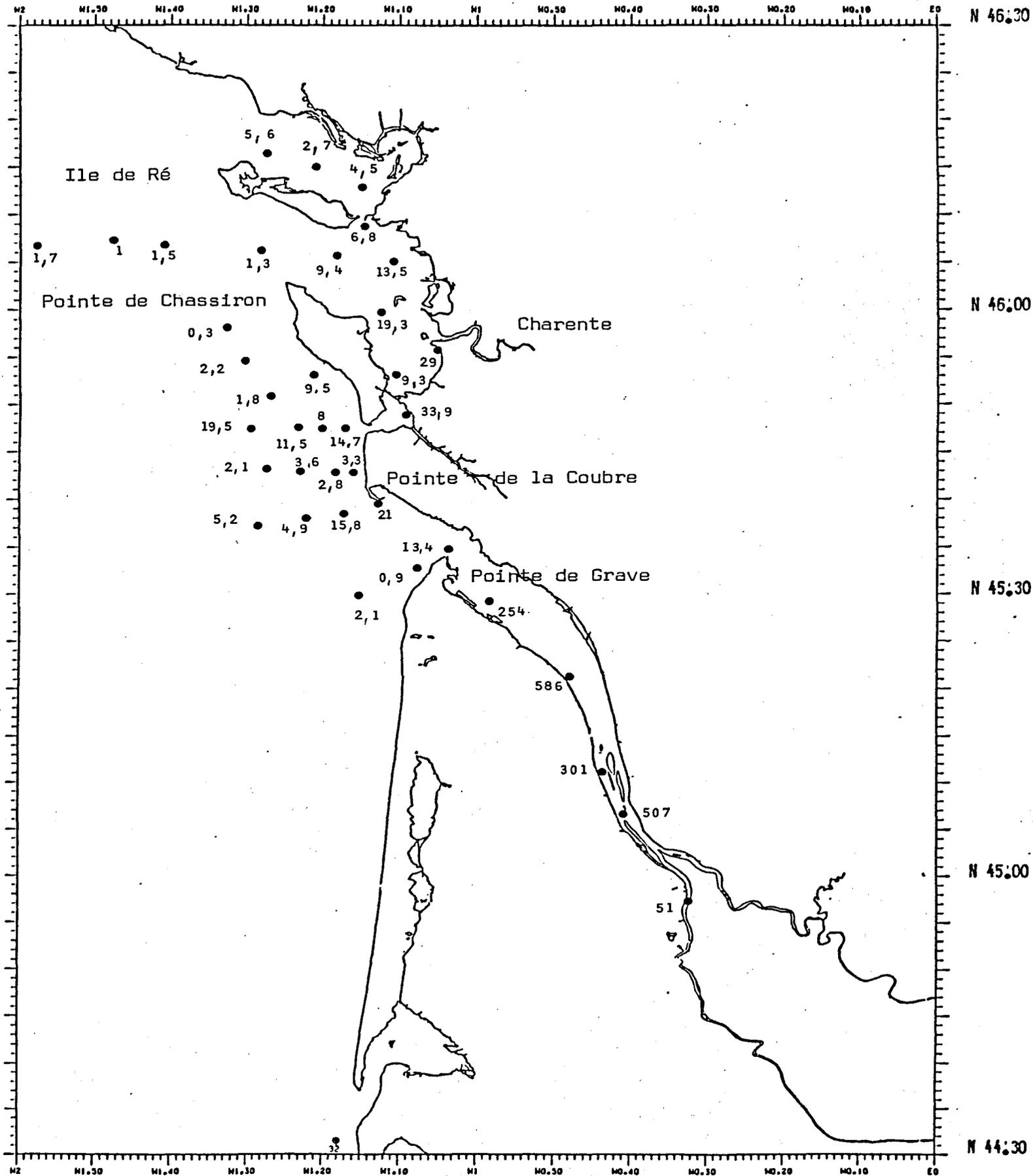


Figure 7 - Campagne CAGIMA I. Chlorophylle. Surface ($\mu\text{g}/\text{l}$).

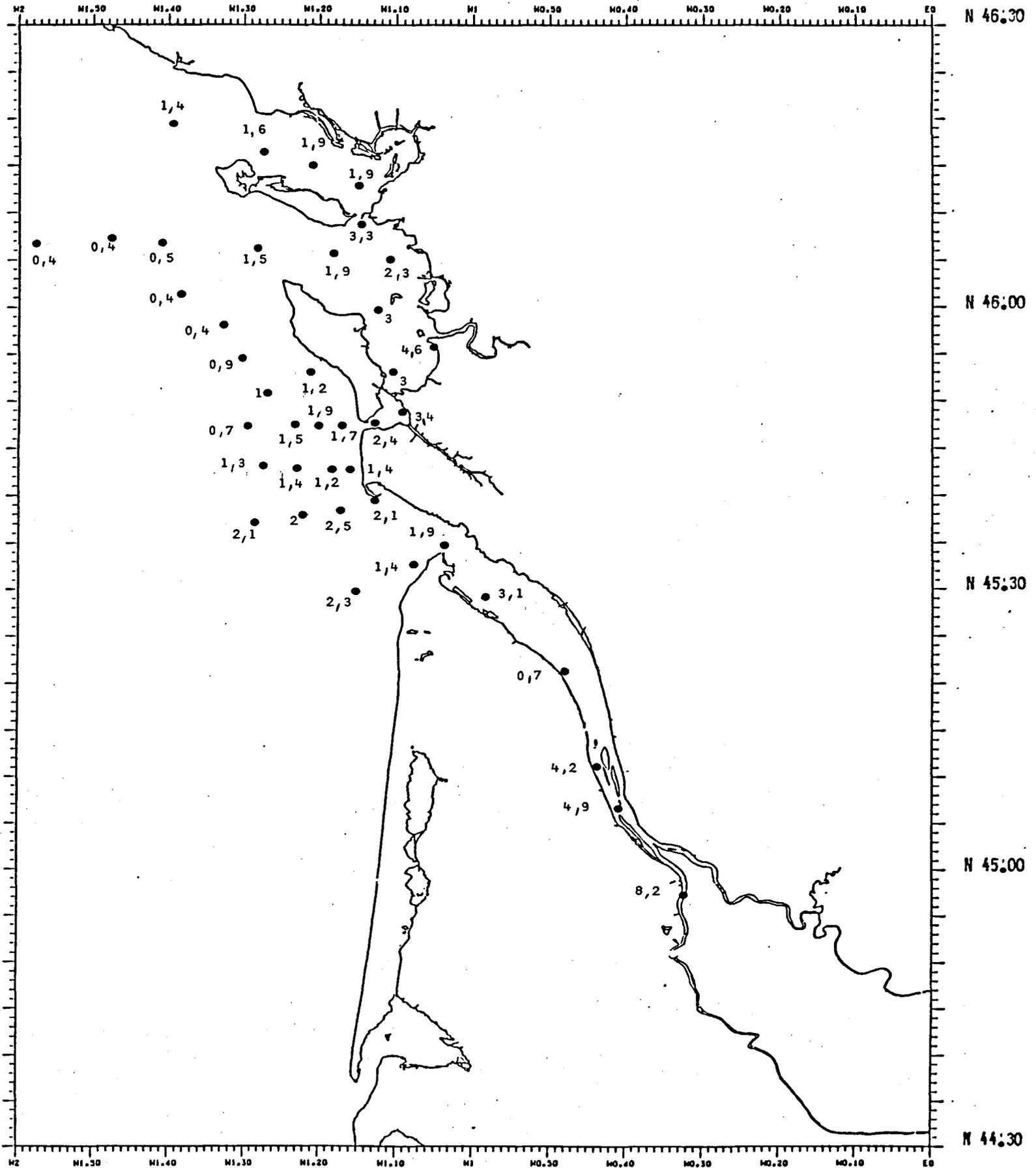


Figure 8 - Campagne CAGIMA I. C.O.P. %. Surface.

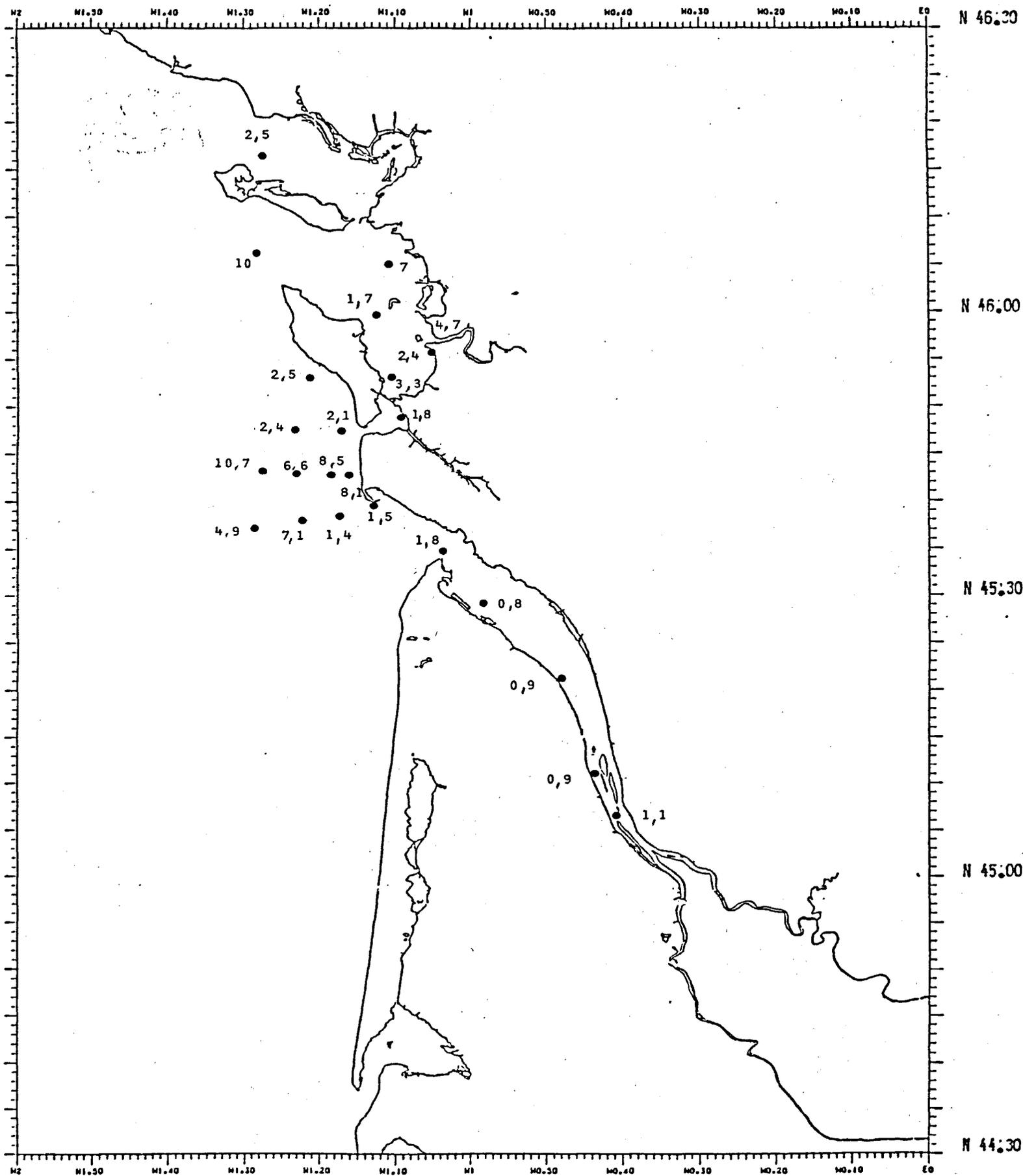


Figure 9 - Campagne CAGIMA I. Cd dissous surface (ng/l).

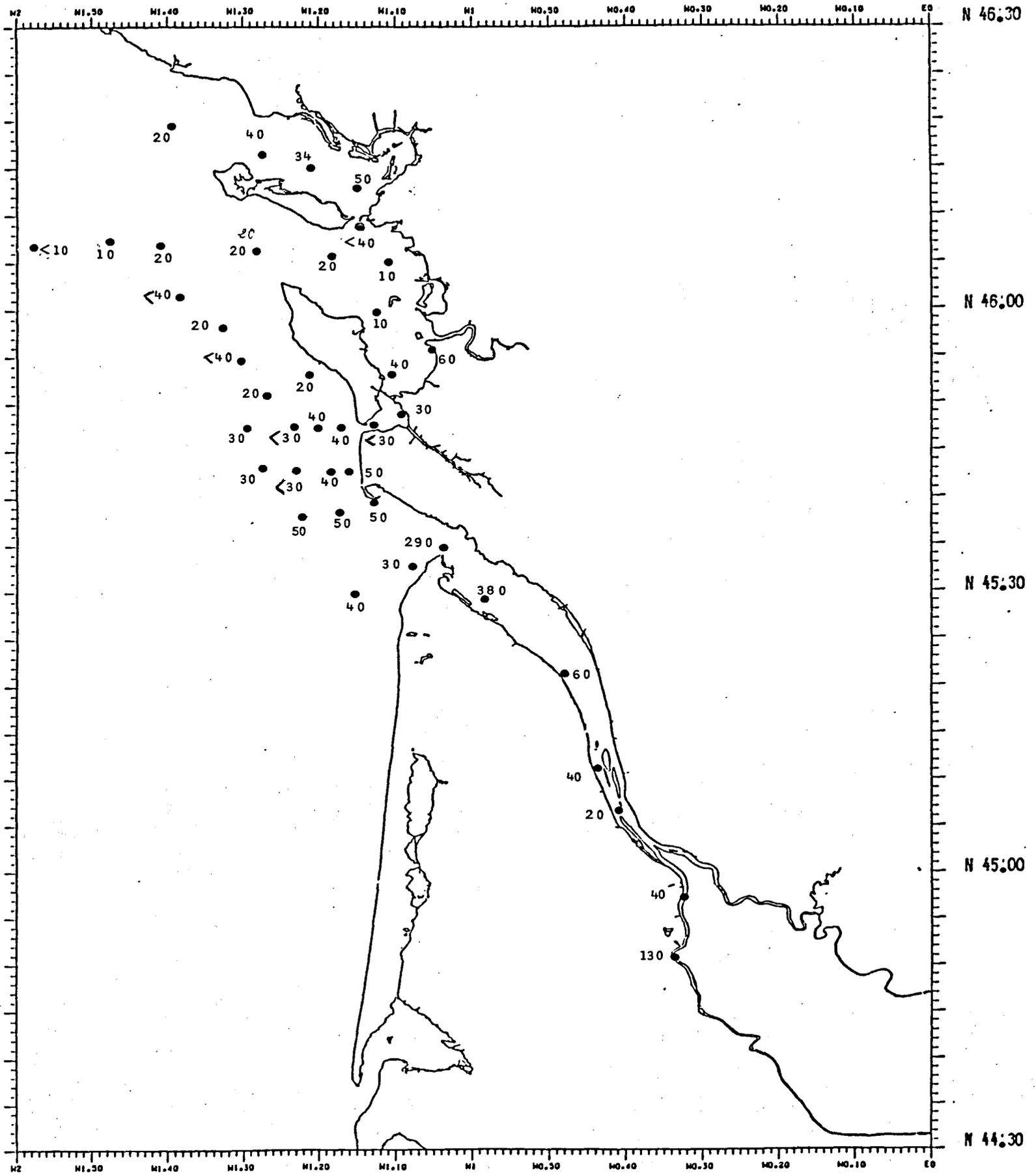


Figure 10 - Campagne CAGIMA I. Cd dissous fond (ng/l).

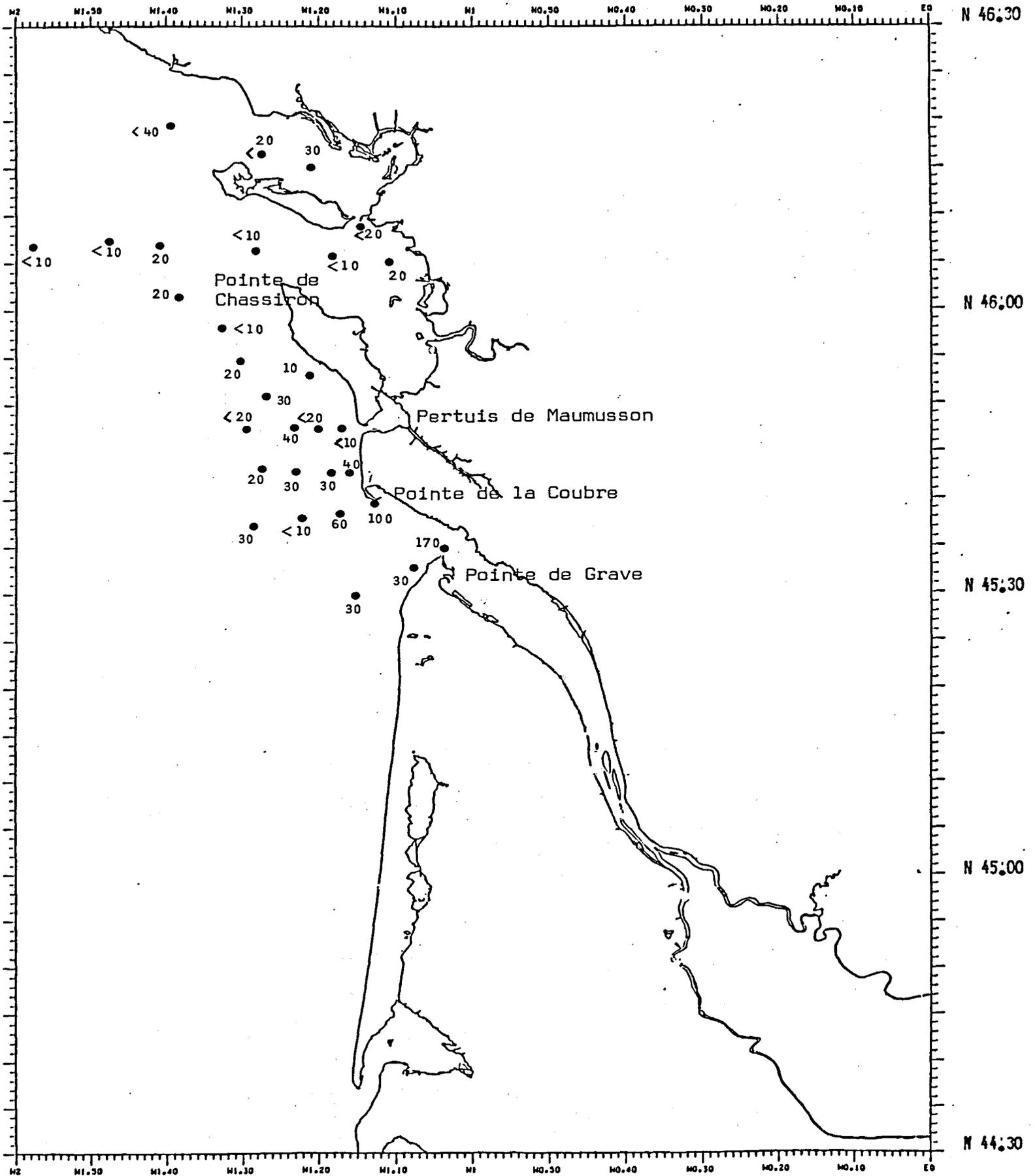


Figure 11 - Campagne CAGIMA II. Position des stations.

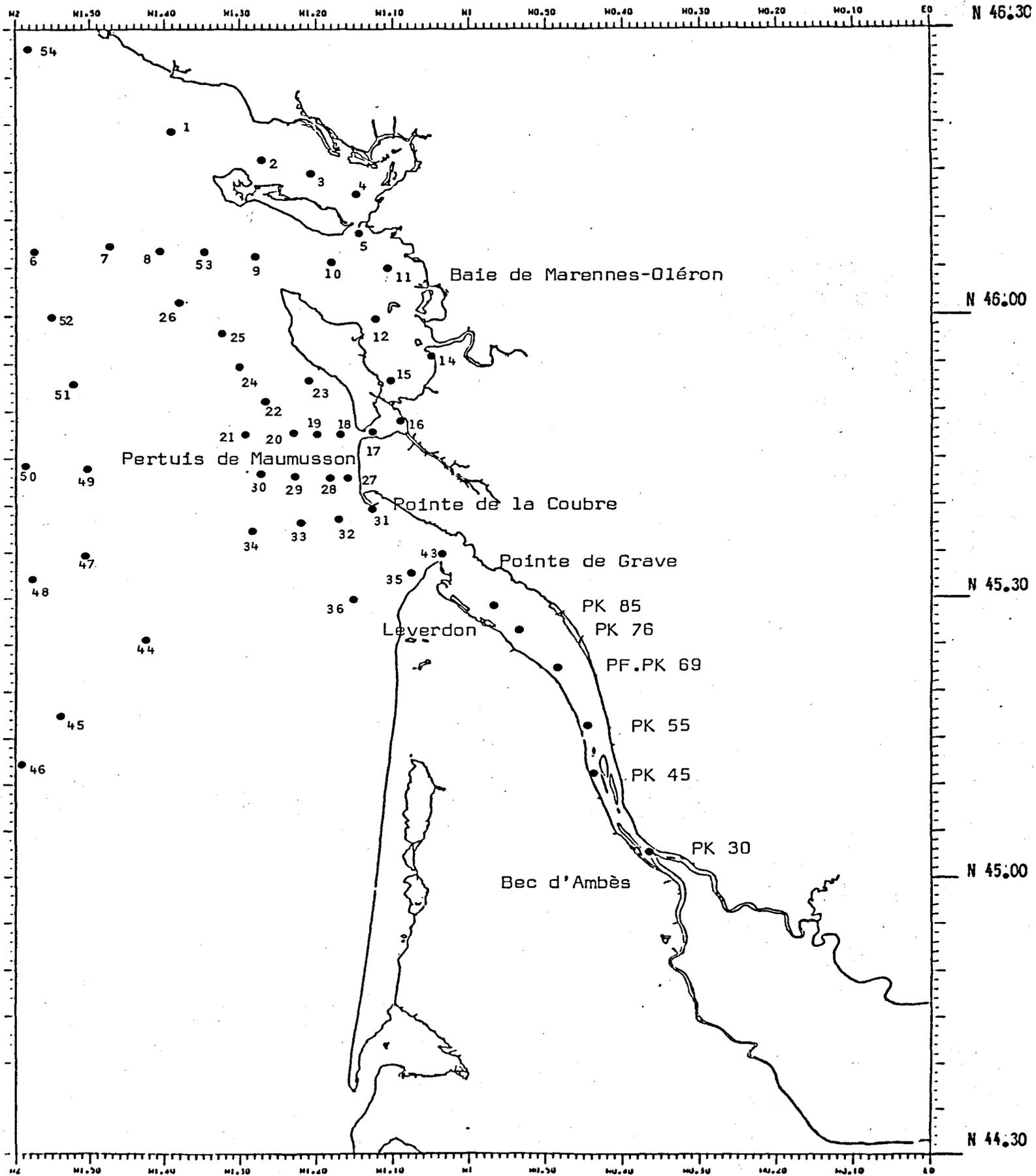


Figure 12 - Campagne CAGIMA II. Température de surface (°C).

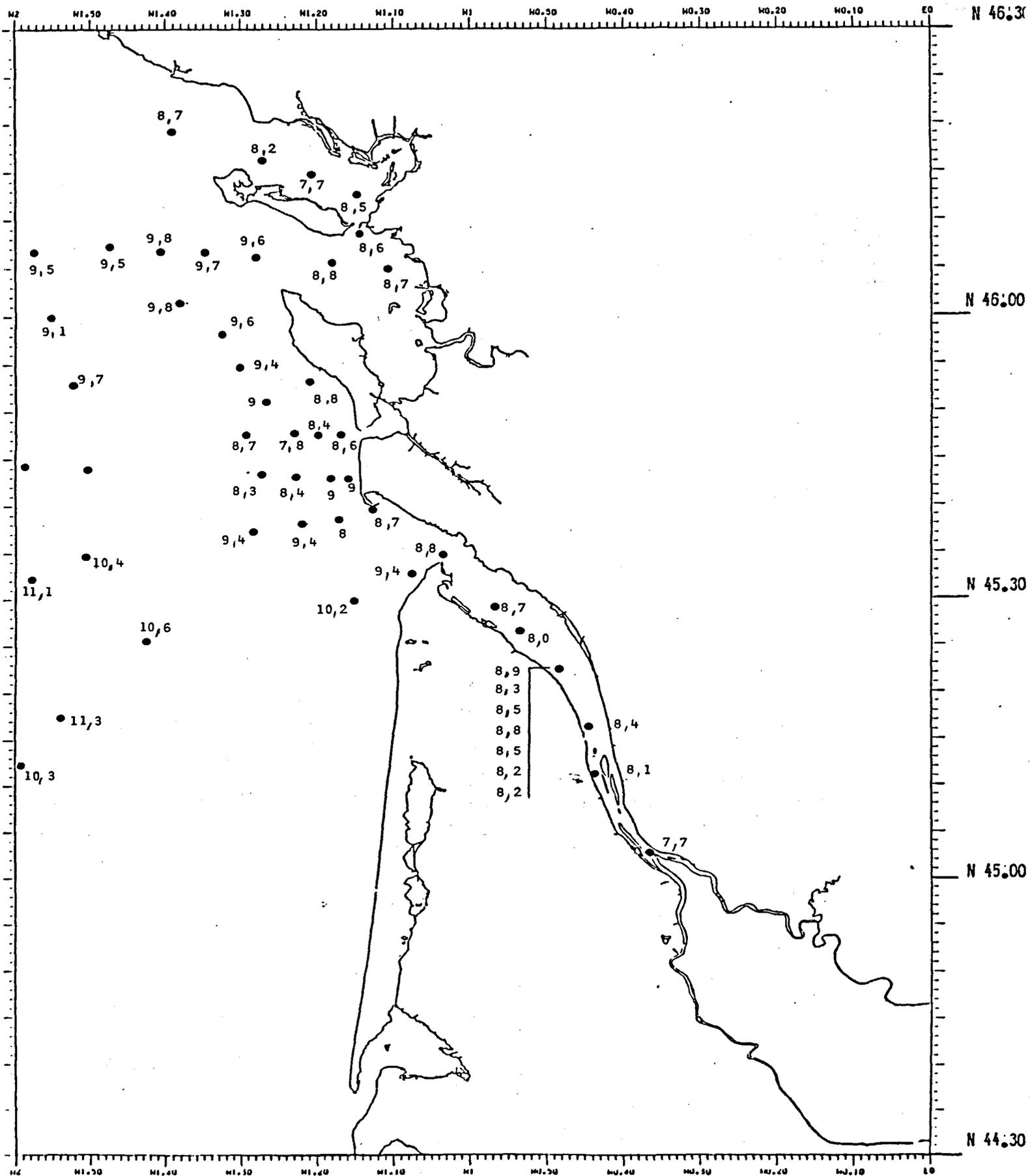


Figure 13 - Campagne CAGIMA II. Températures de fond (°C).

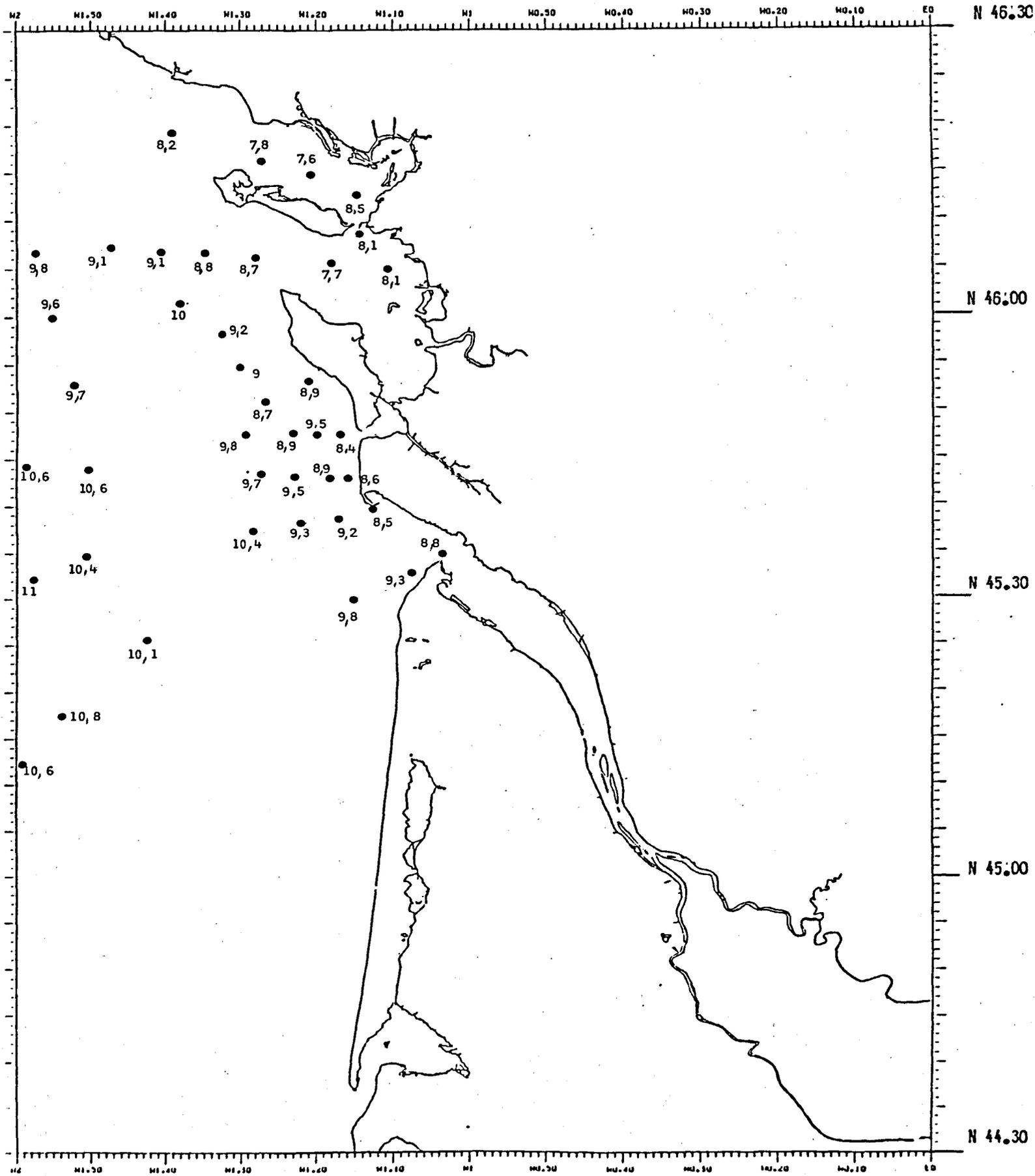


Figure 14 - Campagne CAGIMA II. Salinité surface (‰).

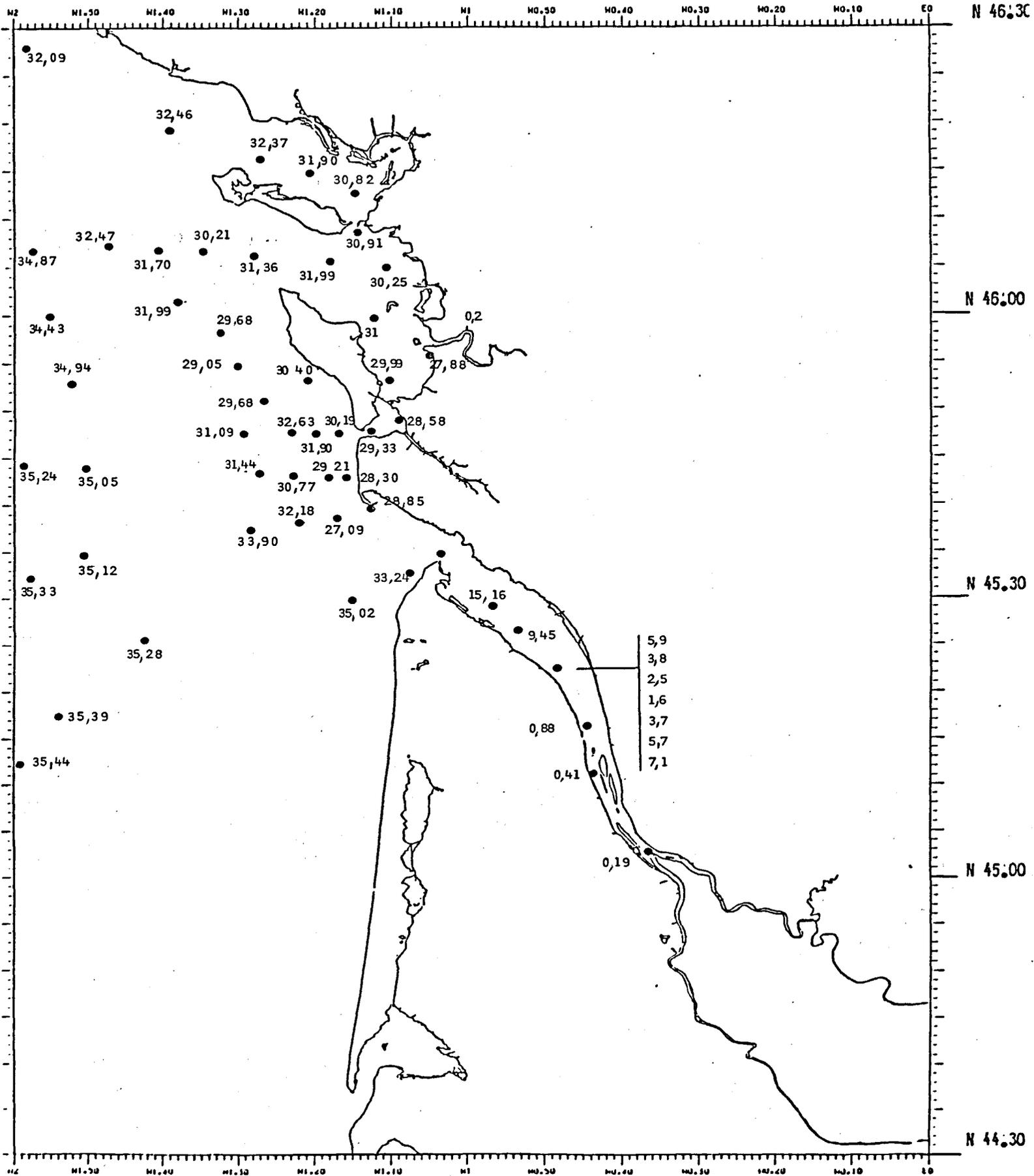


Figure 15 - Campagne CAGIMA II. Salinité de fond (‰).

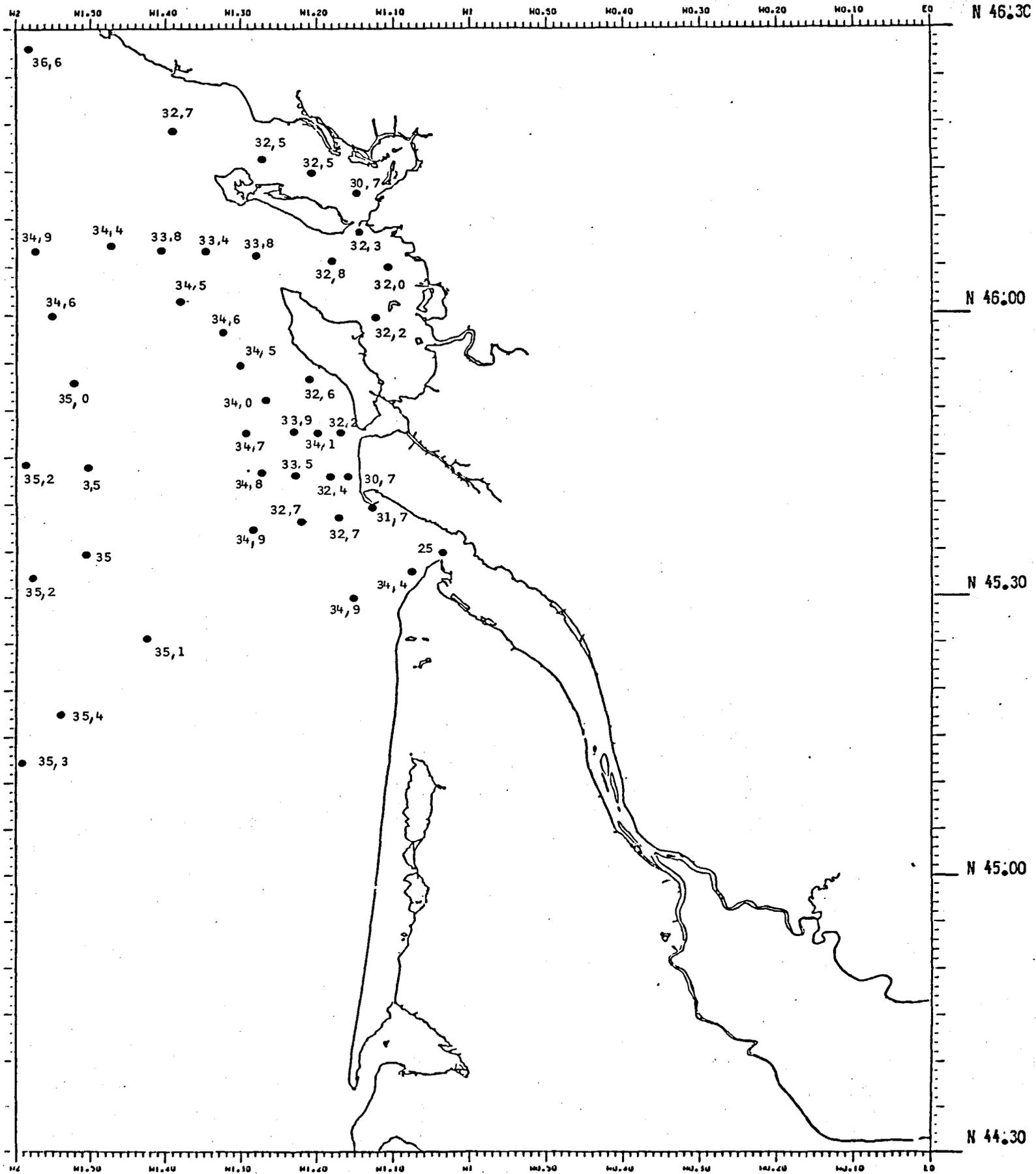


Figure 16 - Campagne CAGIMA II. Matières en suspension en surface (mg/l).

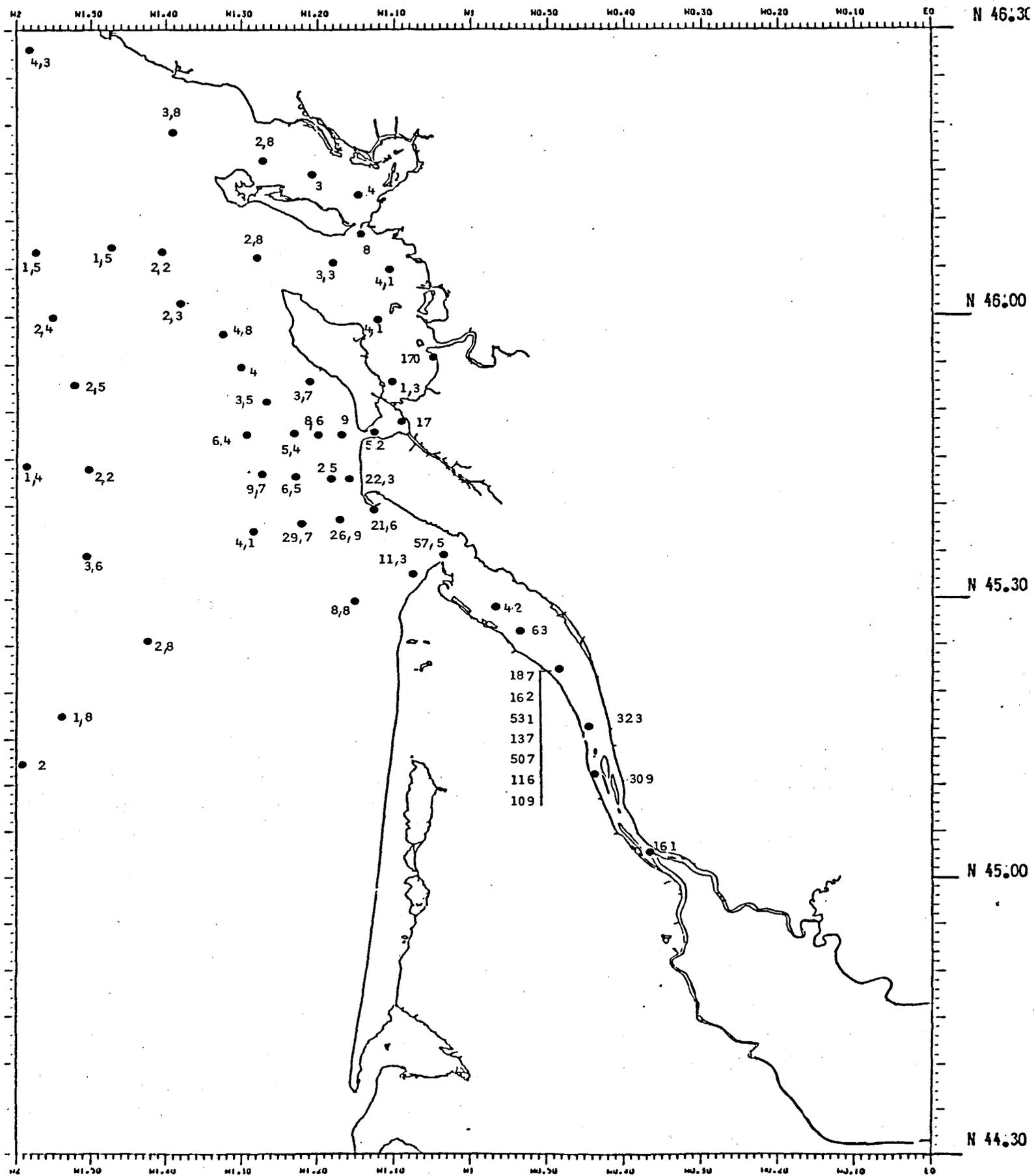


Figure 17 - Campagne CAGIMA II. % de carbone organique particulaire surface.

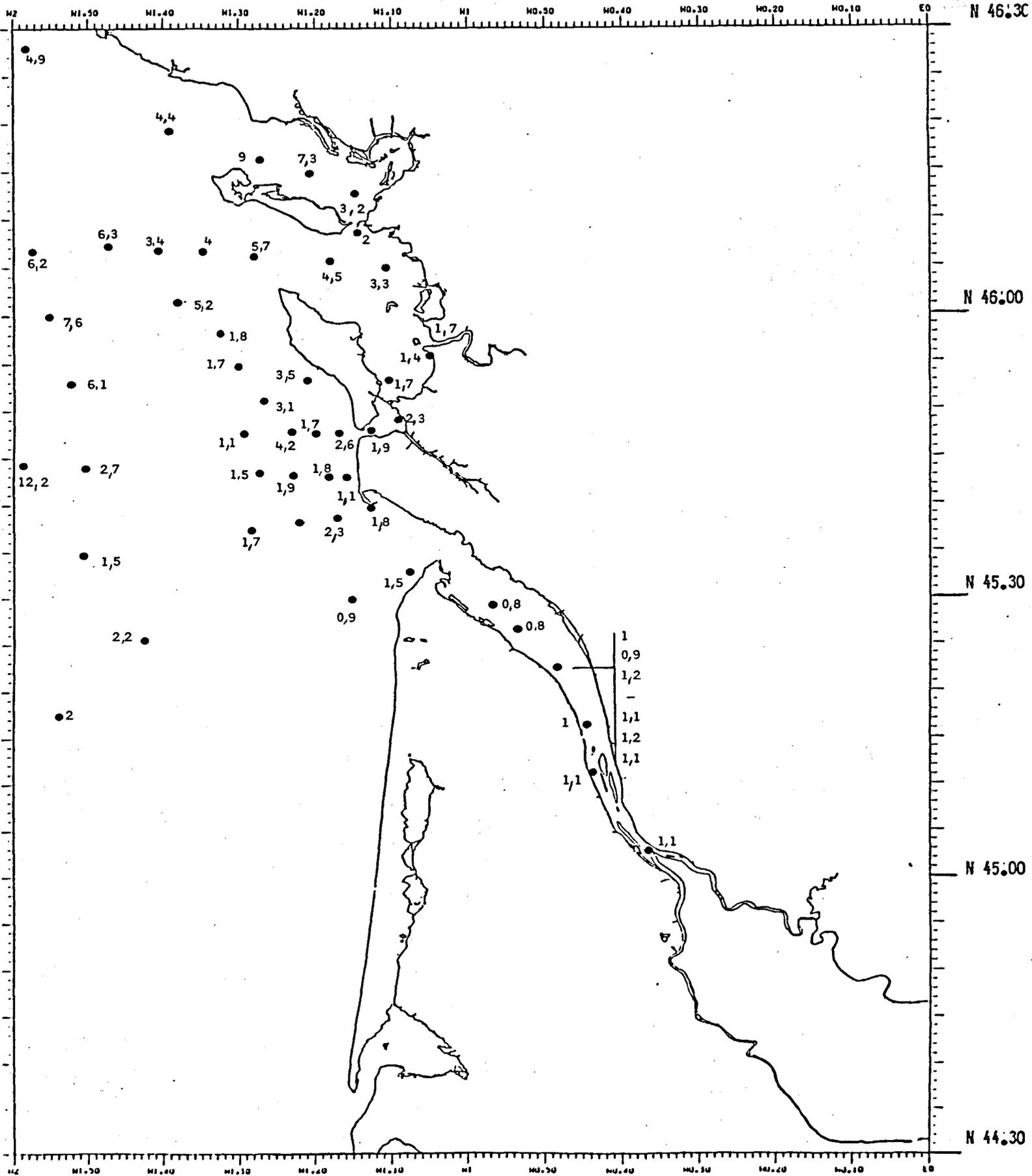


Figure 18 - Campagne CAGIMA II. Concentration de la chlorophylle a dans les eaux de surface ($\mu\text{g}/\text{l}$).

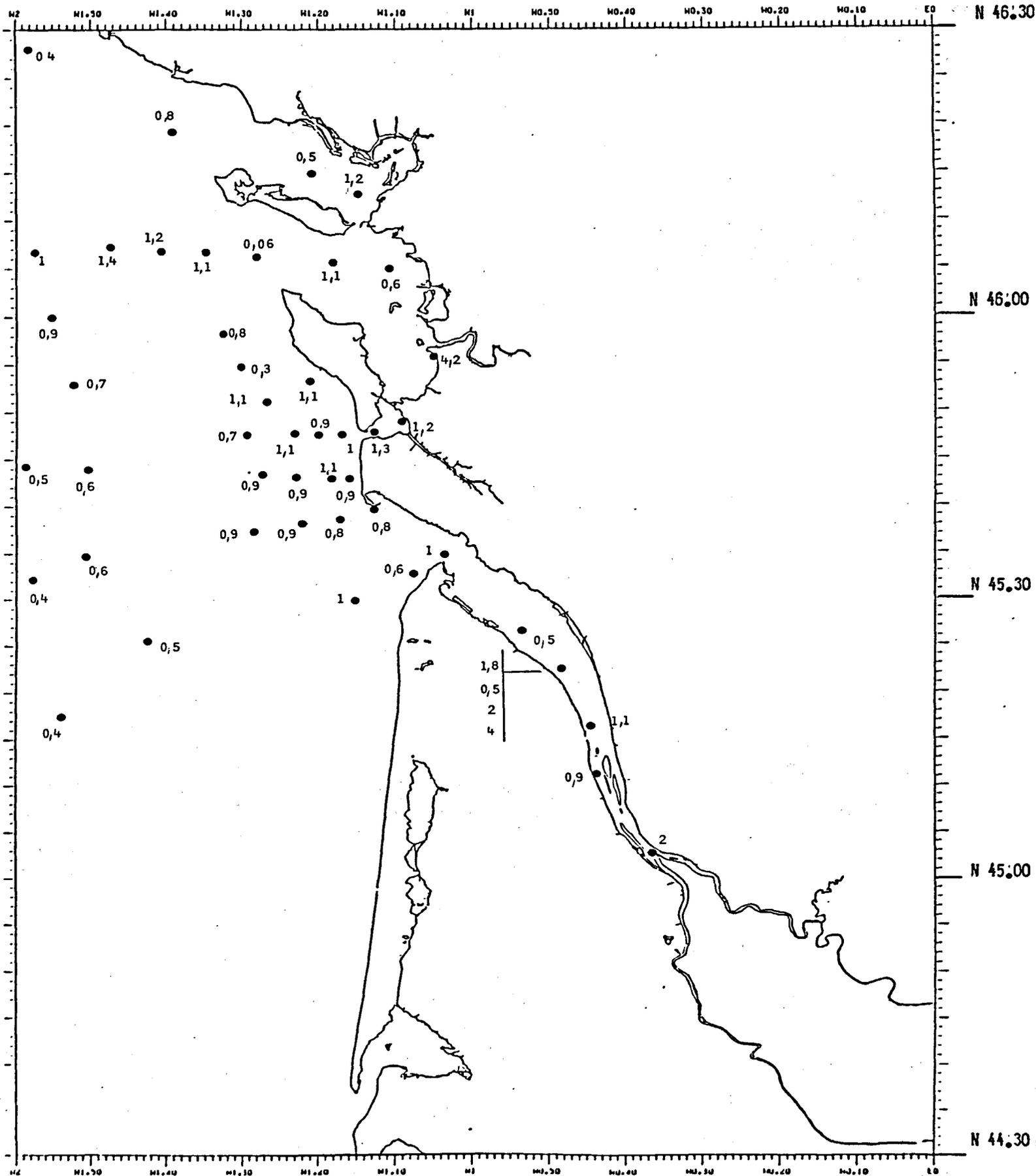


Figure 19 - Campagne CAGIMA II. Chlorophylle a dans les matières en suspension ($\times 10^4$).

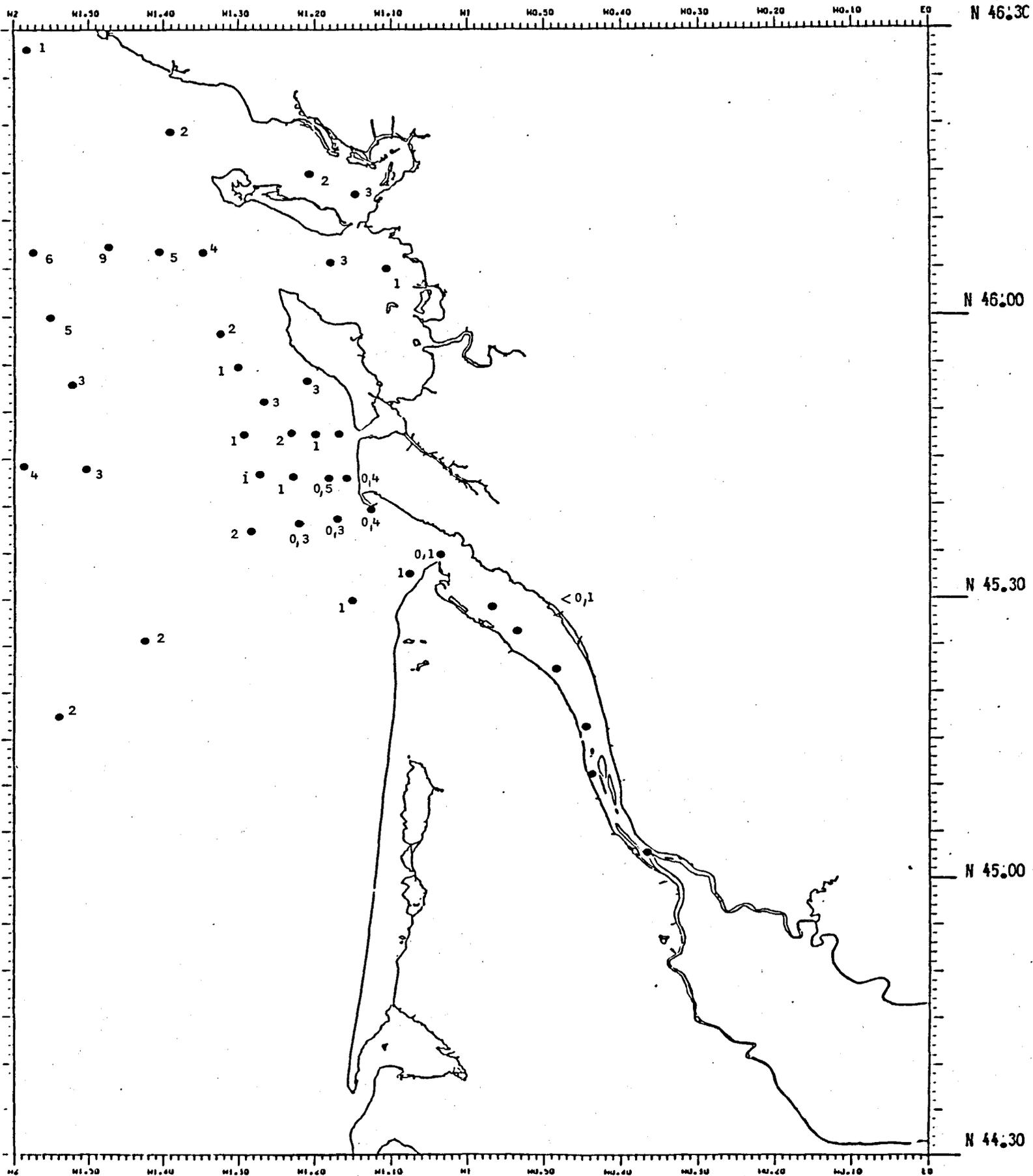


Figure 20 - Campagne CAGIMA II. Cadmium dissous surface (ng/l).

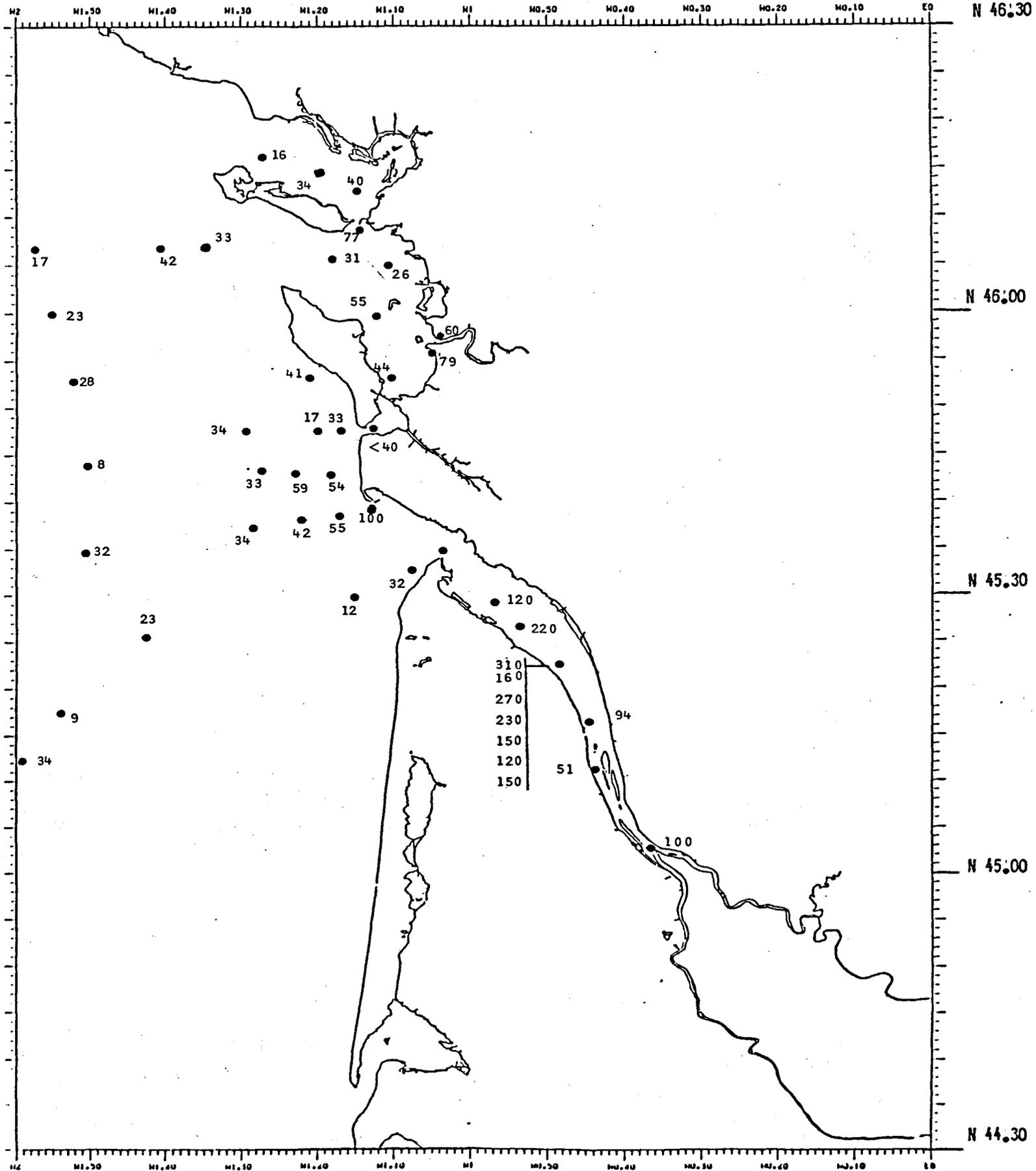


Figure 21 - Campagne CAGIMA II. Cadmium dans les suspensions (mg/kg de poids sec).

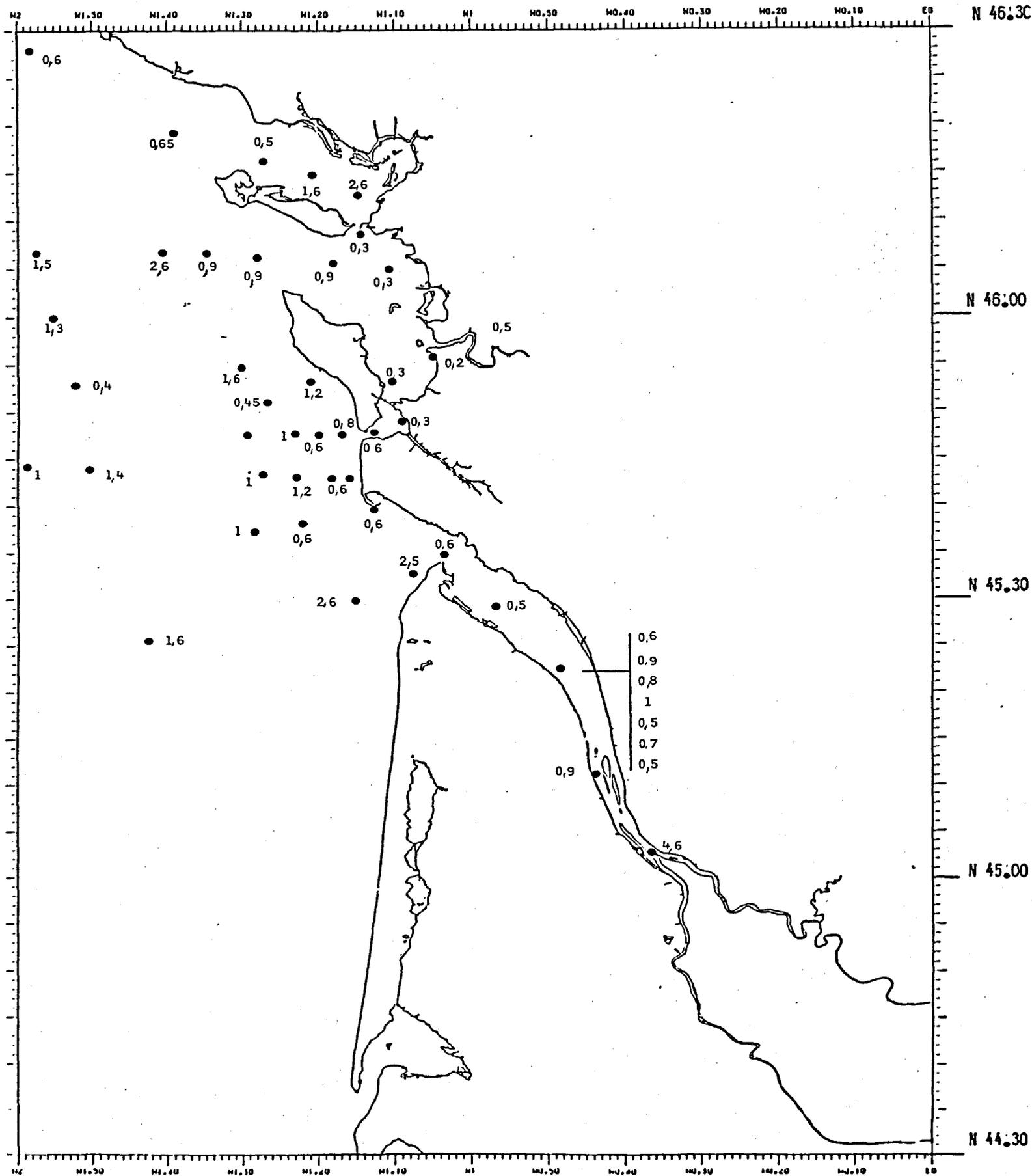


Figure 22 - Campagne INTERSITE III. Position des stations.

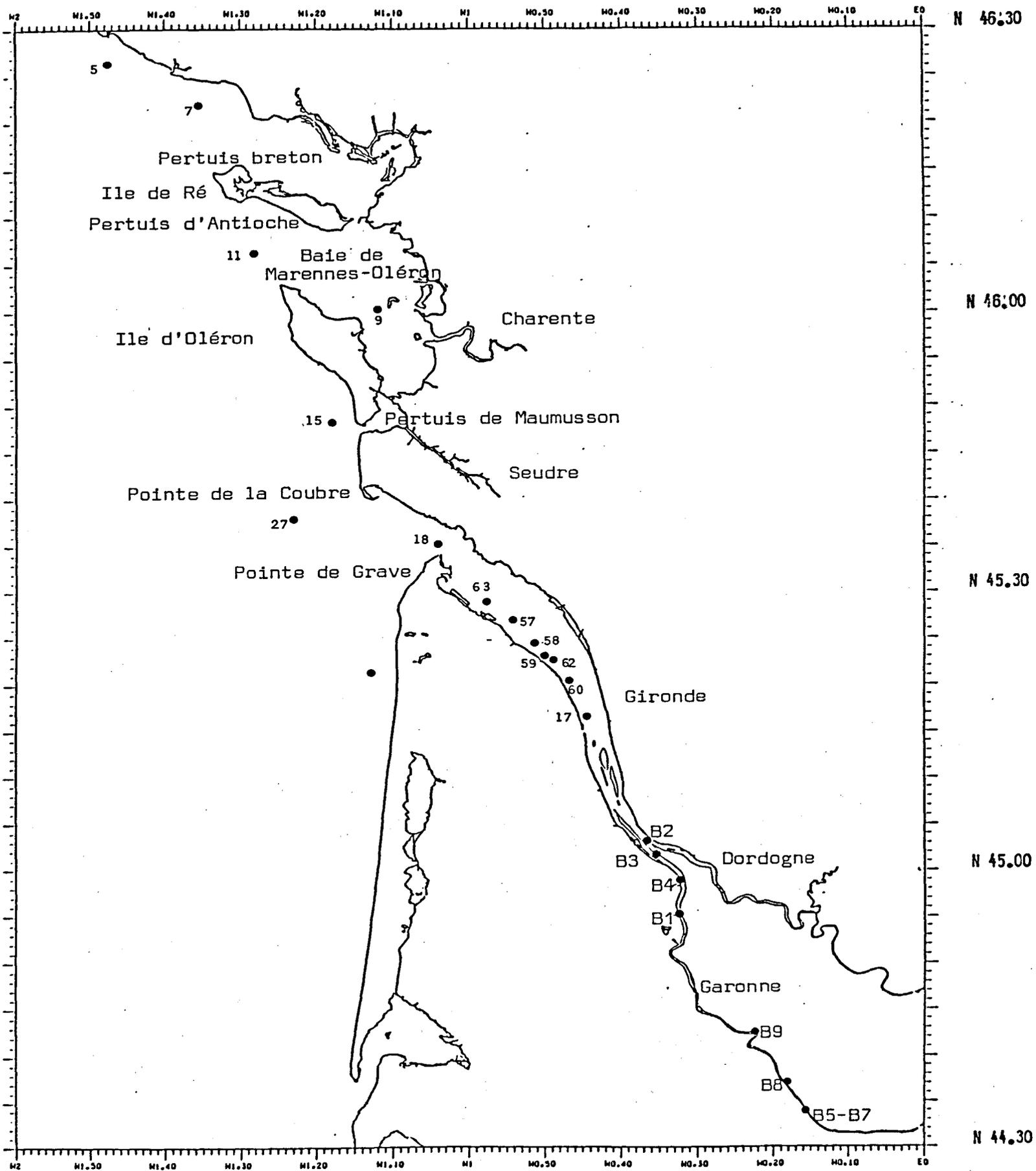


Figure 23 - Campagne INTERSITE III. Salinité (‰).

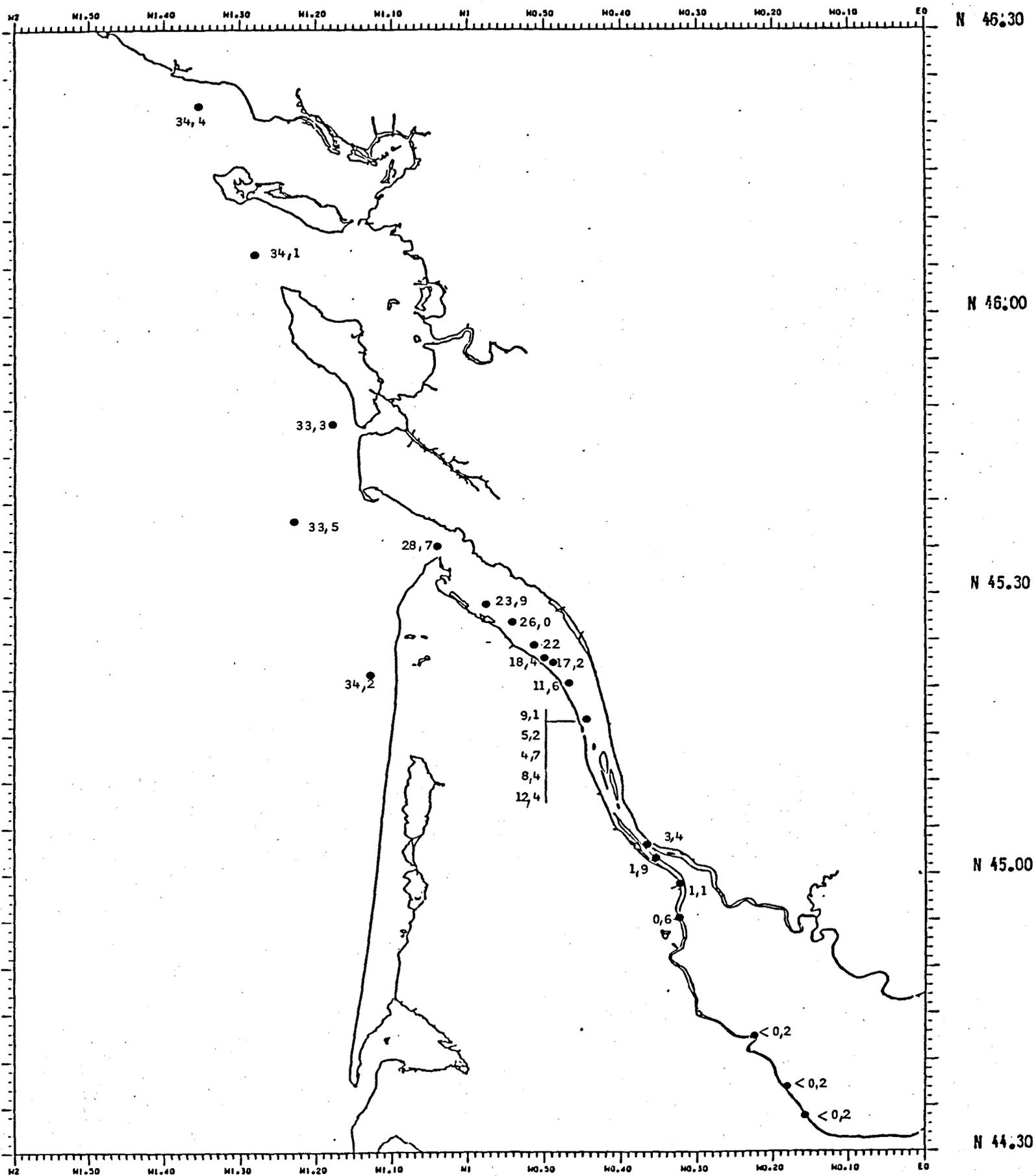


Figure 24 - Campagne INTERSITE III. Turbidité (NTU).

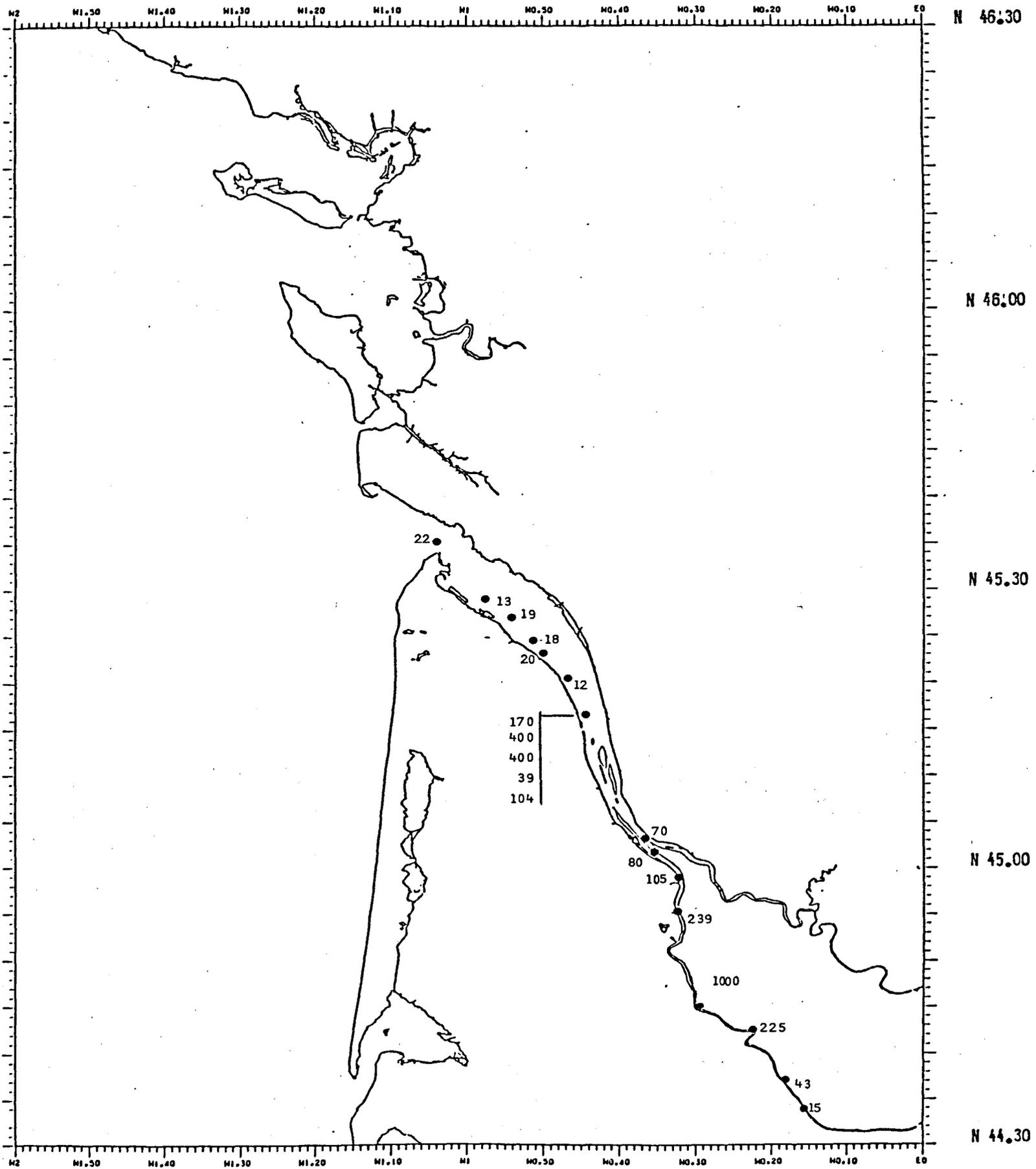


Figure 25 - Campagne INTERSITE III. Cadmium dissous ng/l.

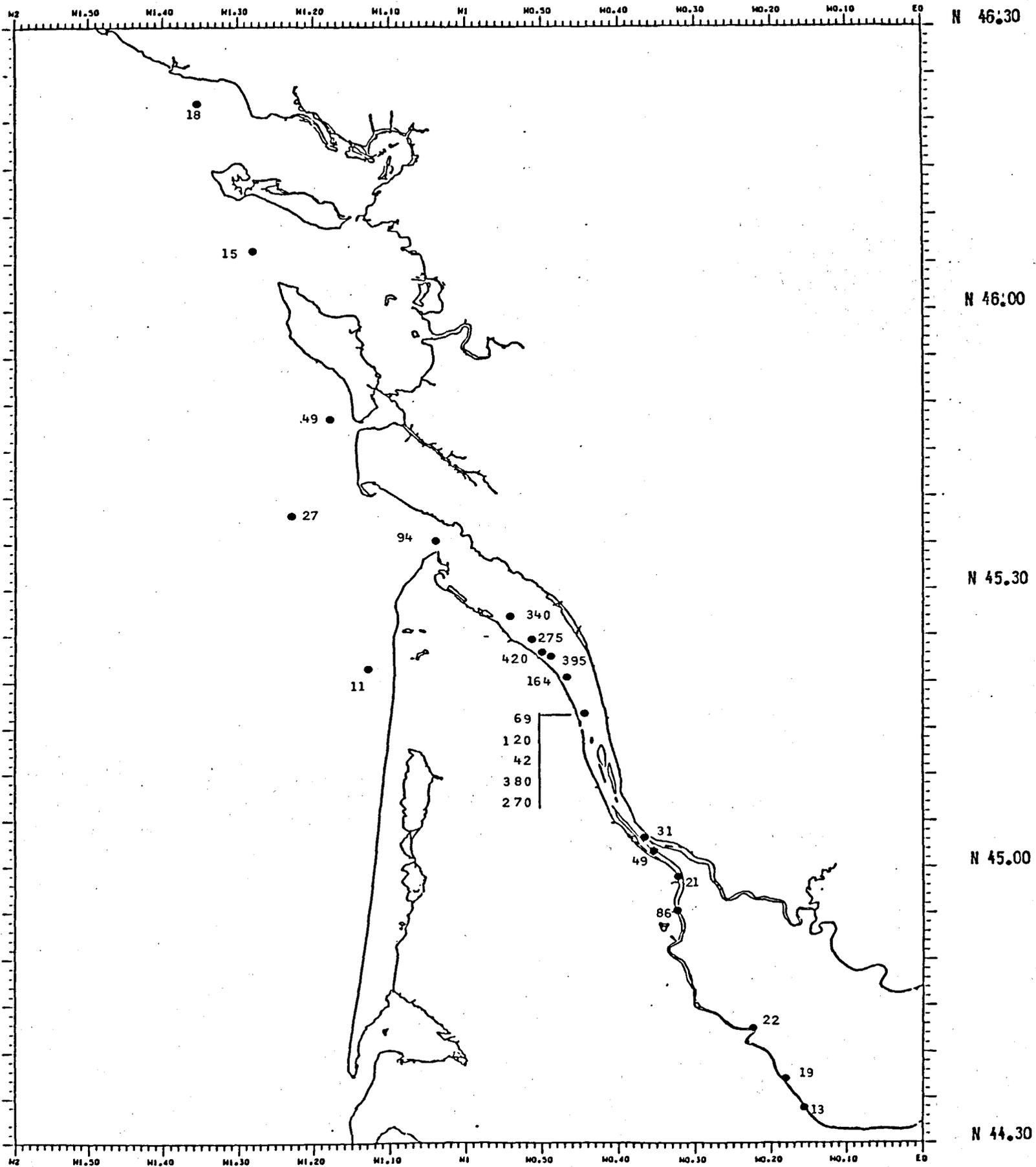


Fig.26 Campagne INTERSITE III Relation cadmium dissous/salinite

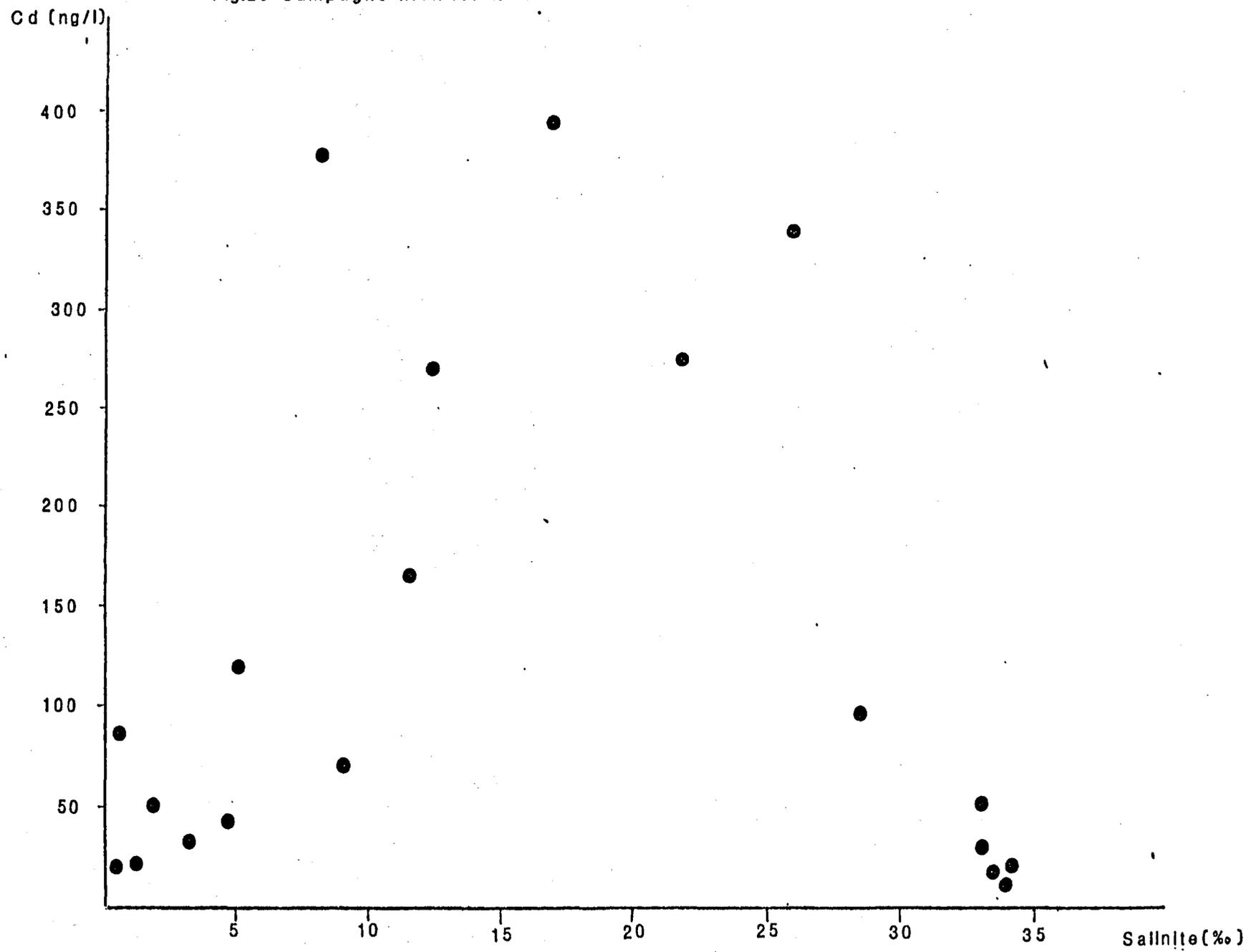
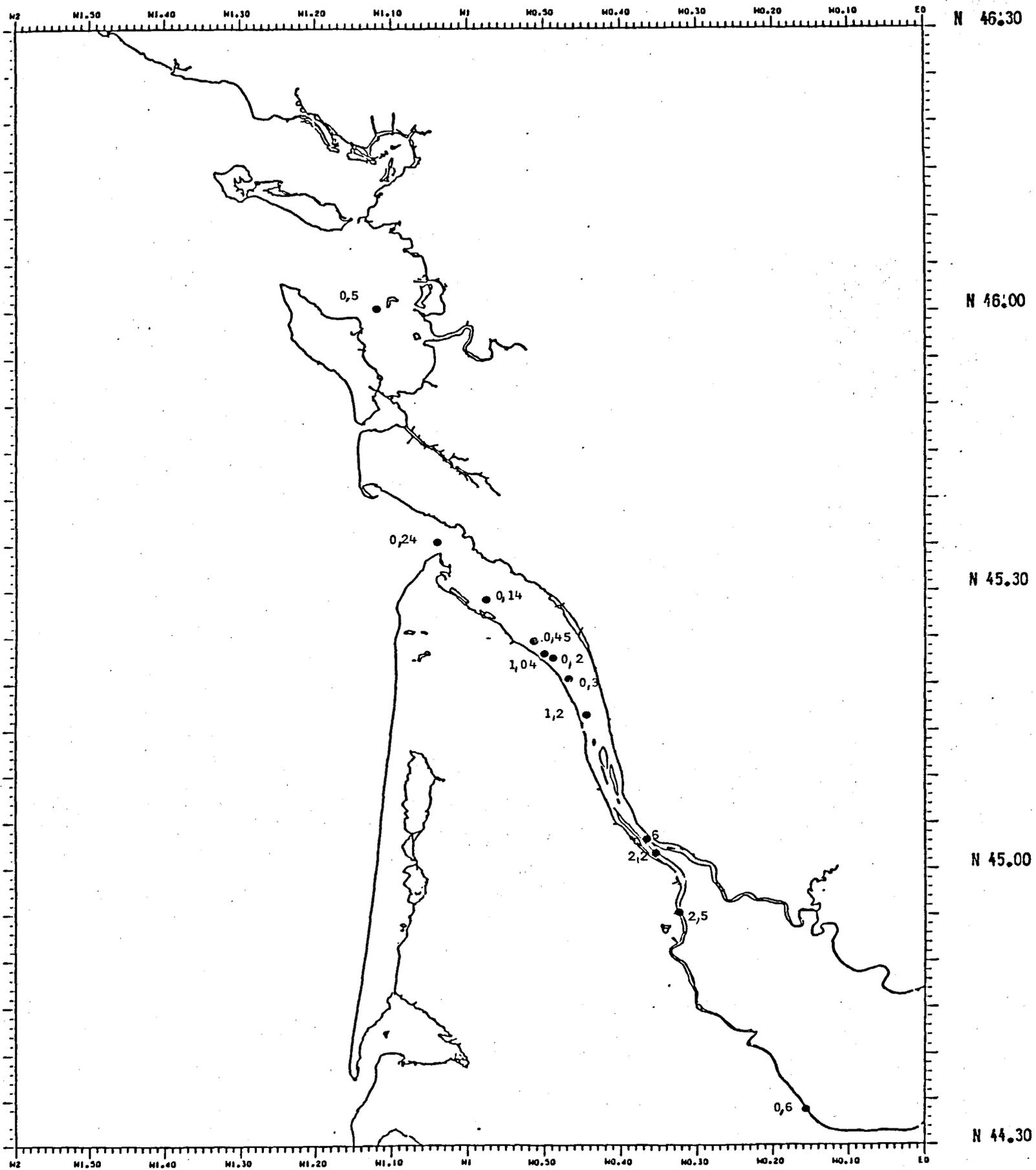


Figure 27 - Campagne INTERSITE III. Cadmium dans les suspensions (mg/kg).



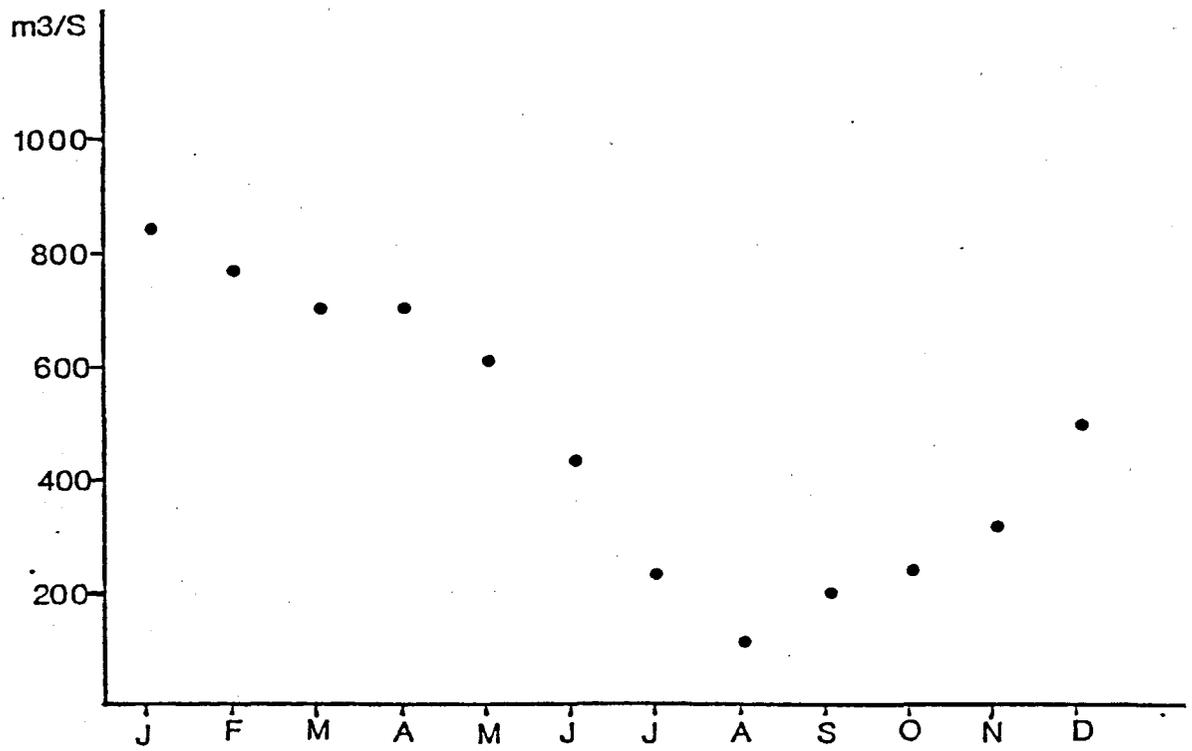


Fig.28. Debits moyens de la Garonne.1960-1970.



Siège social 66, avenue d'Iéna 75116 Paris
Tél. 47 23 55 28 Téléc 610775