

DIRECTION DES RECHERCHES OCEANIQUES

IMPACT DE L'EMISSAIRE DE TOULON-EST SUR LES SEDIMENTS DE LA GRANDE RADE

Aspects granulométriques, chimiques, bactériologiques
et toxicologiques

R. LOARER

Laboratoire Environnement Méditerranéen
Centre IFREMER de Toulon-La Seyne

A. ARNOUX

Laboratoire d'Hydrologie
Faculté de Pharmacie de Marseille

G. BODENNEC

Laboratoire de Chimie des Cycles Naturels
Centre IFREMER de Brest

Y. MARTIN

Fondation RICARD

G. PAGANO

Fondation G. PASCALE, Naples



DIRECTION DES RECHERCHES OCEANIQUES

IMPACT DE L'EMISSAIRE DE TOULON-EST SUR LES SEDIMENTS DE LA GRANDE RADE

**Aspects granulométriques, chimiques, bactériologiques
et toxicologiques**

R. LOARER

Laboratoire Environnement Méditerranéen
Centre IFREMER de Toulon-La Seyne

A. ARNOUX

Laboratoire d'Hydrologie
Faculté de Pharmacie de Marseille

G. BODENNEC

Laboratoire de Chimie des Cycles Naturels
Centre IFREMER de Brest

Y. MARTIN

Fondation RICARD

G. PAGANO

Fondation G. PASCALE, Naples



Centre de Toulon - La Seyne

Zone portuaire de Régulation - B.P. n° 333 - 83507 LA SEYNE-SUR-MER Cédex
Tél. 44 31 46 00 - Télex 44 31 02 - Telecopieur n° 94 31 13 72
Siren 33 0715366

Rapport numéro : DRO/EM/90-02

TITRE : IMPACT DE L'EMISSAIRE DE TOULON-EST SUR LES SEDIMENTS DE LA GRANDE RADE Aspects granulométriques, chimiques, bactériologiques et toxicologiques	Date : Janvier 1992
Auteur : R.LOARER, A. ARNOUX, G. BODENNEC, Y. MARTIN G. PAGANO Origine : DRO/EM	Nbre pages : 42 Nbre figures : 31 Annexes : 45
Contrat / Projet IFREMER Intitulé	NA

RESUME :

L'étude des apports particuliers de la station d'épuration de Toulon-Est et des polluants qui leur sont associés a permis d'acquérir des informations concernant leur impact sur les fonds de la Grande Rade.

Une campagne de prélèvement des sédiments superficiels fait apparaître, à travers la granulométrie, l'analyse des contaminants organiques et métalliques, la caractérisation de la matière organique, la répartition des bactéries d'origine fécale et des tests d'embryotoxicité sur des oursins, une zone d'impact maximal dans le Sud-Ouest du rejet. Celui-ci paraît limité à une distance allant de 500 à 1 500 mètres, avec des maxima entre 250 et 750 mètres, selon les traceurs et la direction envisagée.

Mots clés : Rejets urbains, Sédiments marins, Radioactivité, Contamination chimique, Toxicité, oursins

Ce document, propriété de l'IFREMER, ne peut être reproduit ou communiqué sans son autorisation.

Diffusion : Libre



AVANT-PROPOS

Cette étude des effets du rejet de la station d'épuration de TOULON-EST sur les sédiments de la grande rade de TOULON fait partie du programme "Rejets urbains en mer - Volet Méditerranée" développé par DRO/EM entre 1986 et 1990 et placé sous la responsabilité de L.A. ROMANA.

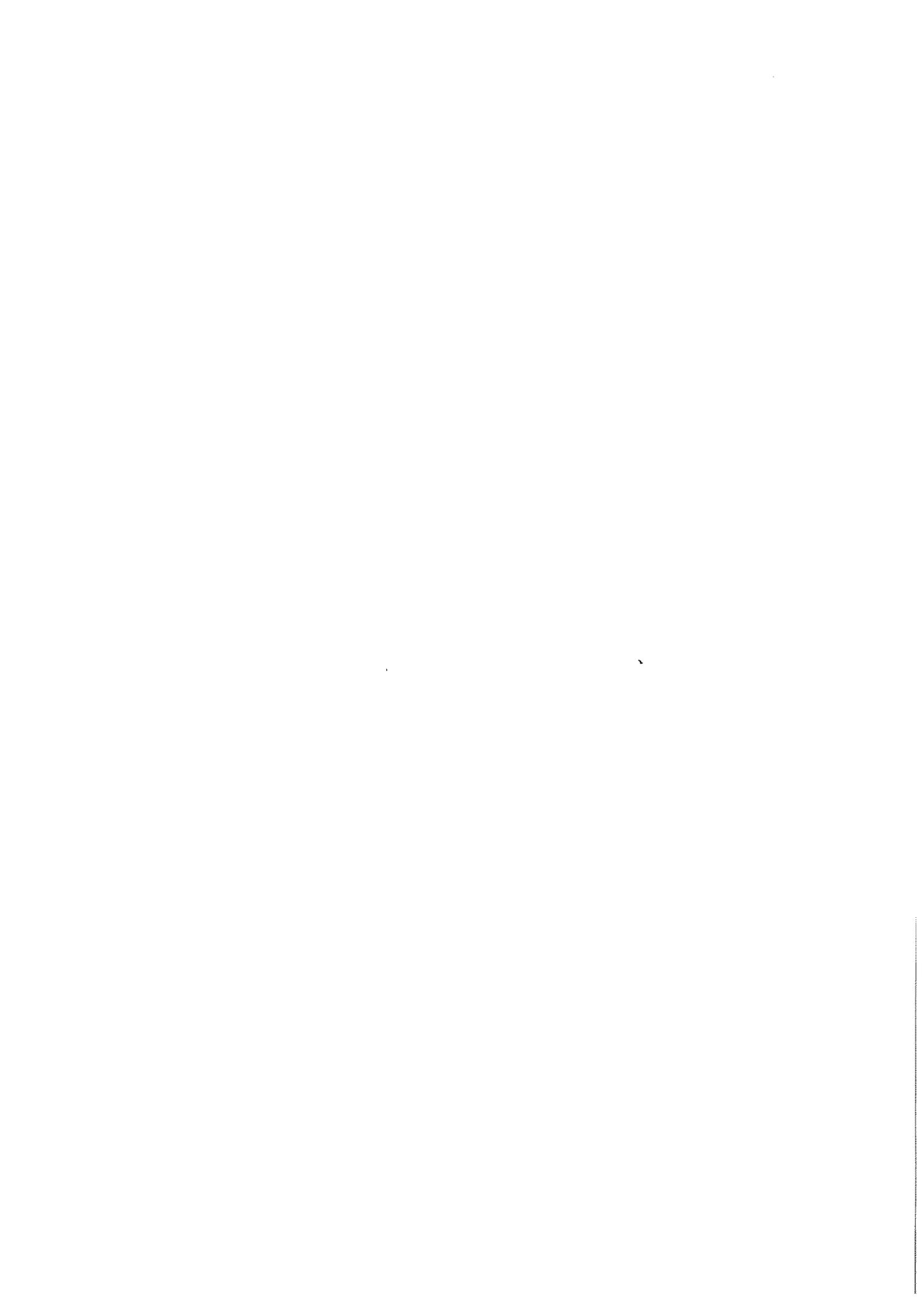
Elle est le fruit de la collaboration scientifique de :

- A. ARNOUX, professeur à la Faculté de Pharmacie de Marseille, Laboratoire d'Hydrologie pour les polluants organiques et métalliques,
- G. BODENNEC, chercheur à l'IFREMER, Centre de Brest, Laboratoire de Chimie des Cycles Naturels pour la matière organique extractible,
- R. LOARER, chercheur à l'IFREMER, centre de Toulon, Laboratoire Environnement Méditerranéen pour la sédimentologie,
- Y. MARTIN et J.L. BONNEFONT, chercheurs à la Fondation RICARD pour la bactériologie sanitaire,
- G. PAGANO, chercheur à l'Instituto Nazionale per la Studio e la Cura dei Tumori, Fondazione G. PASCALE, Napoli, Italie et N. TRIEFF, chercheur au Department of Preventive Medical and Community Health, University of Galveston, E-U pour la toxicologie.

La coordination générale de cette étude a été assurée par R. LOARER.

Ce travail a pu être mené à bien grâce au concours :

- des commandants et des équipages de la gabarre de port "La Persévérante" et du N/O "Recteur Dubuisson" de la Station de Recherche Scientifique et Océanographique de Calvi, Université de Liège, Belgique,
- des plongeurs du 3ième Groupe des Plongeurs Démineurs et de la Cellule Anti-Pollution de la DDE du Var,
- de l'Institut Michel Pacha, Université Cl. Bernard de Lyon,
- ... et de toute l'équipe du Laboratoire Environnement Méditerranéen du Centre IFREMER de Toulon-La Seyne pour les campagnes à la mer.



SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
1 SEDIMENTOLOGIE	
1.1 Méthodologie	3
1.2 Résultats	3
1.3 Conclusions	11
2 MATIERE ORGANIQUE EXTRACTIBLE	
2.1 Introduction	13
2.2 Méthodologie	13
2.3 Résultats	14
3 POLLUANTS ORGANIQUES ET METALLIQUES	
3.1 Méthodologie	19
3.2 Présentation des résultats	20
3.3 Commentaires	20
3.4 Conclusion	26
4 BACTERIOLOGIE	
4.1 Méthodologie	29
4.2 Résultats	30
4.3 Conclusion	33
5 TOXICOLOGIE	
5.1 Méthodologie	35
5.2 Résultats	35
5.3 Conclusion	38
CONCLUSION GENERALE	39
BIBLIOGRAPHIE	41
ANNEXES	

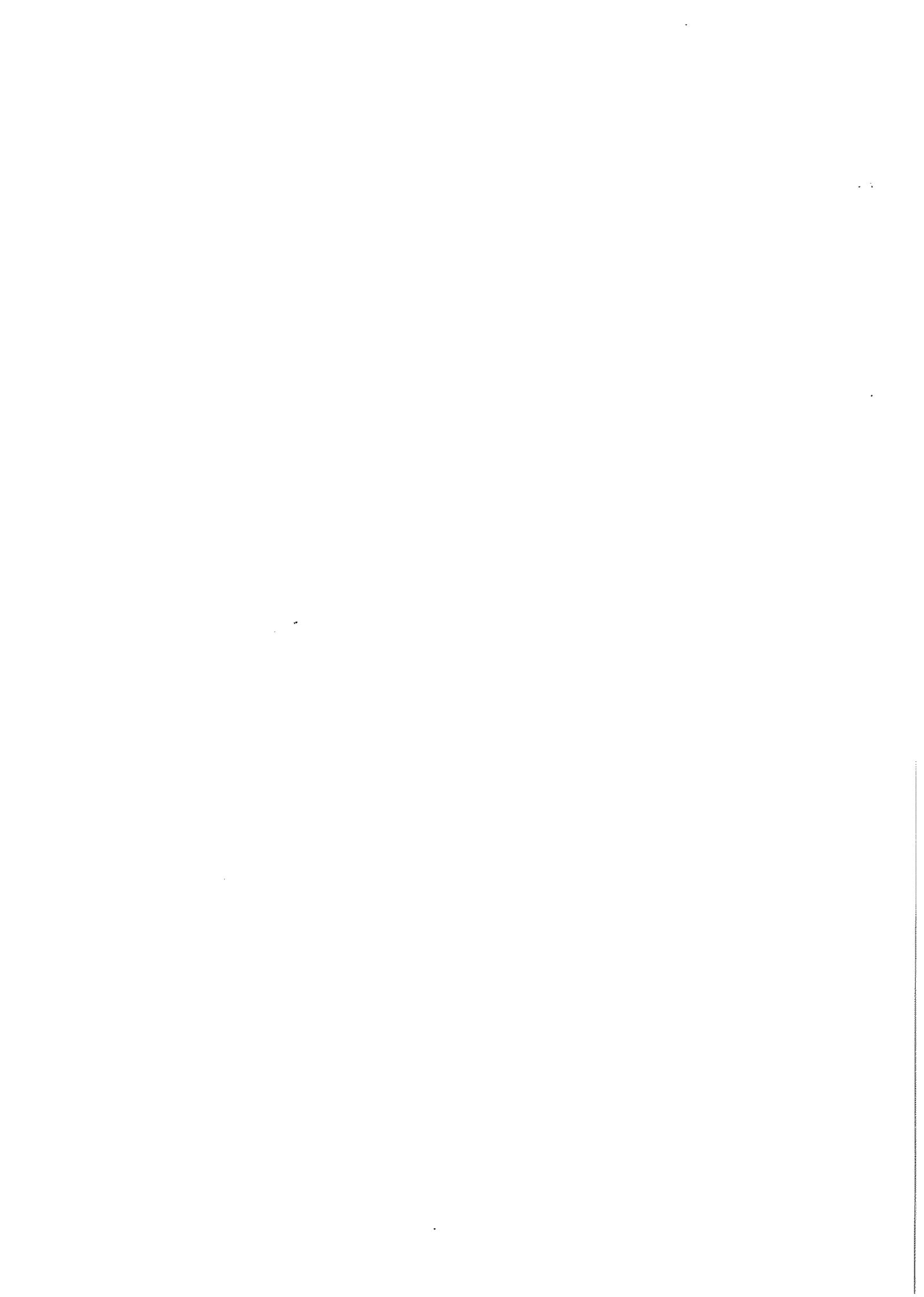


TABLE DES FIGURES

INTRODUCTION

Figure 0.01 : Localisation des stations de prélèvement.	2
---	---

1 SEDIMENTOLOGIE

Figure 1.01 : Répartition de la fraction caillouto-graveleuse aux stations de référence.	5
Figure 1.02 : Taux d'envasement aux stations de référence.	5
Figure 1.03 : Calcimétrie des stations de référence.	6
Figure 1.04 : Répartition des sables grossiers dans les stations de référence.	6
Figure 1.05 : Répartition des sables fins dans les stations de référence.	7
Figure 1.06 : Répartition de la fraction caillouto-graveleuse au niveau des radiales.	8
Figure 1.07 : Répartition des sables grossiers au niveau des radiales.	8
Figure 1.08 : Répartition des sablons au niveau des radiales.	9
Figure 1.09 : Taux d'envasement au niveau des radiales.	9
Figure 1.10 : Diamètre des particules <63 µm en fonction du taux d'envasement.	10
Figure 1.11 : Calcimétrie au niveau des radiales.	10
Figure 1.12 : Synthèse granulométrique.	11

2 MATIERE ORGANIQUE EXTRACTIBLE

Figure 2.01 : Protocole analytique.	13
Figure 2.02 : Evolution des principaux constituants lipiques des sédiments le long de la radiale A.	15
Figure 2.03 : Composition de l'extrait organique en classes lipidiques à différentes distances du rejet.	16
Figure 2.04 : Matière organique extractible.	17
Figure 2.05 : Lipides.	18
Figure 2.06 : Hydrocarbures.	18

3 POLLUANTS ORGANIQUES ET METALLIQUES

Figure 3.01 : Répartition du carbone organique, des hydrocarbures totaux et du cuivre dans les stations de référence.	21
Figure 3.02 : Carte de répartition du manganèse dans la rade.	22
Figure 3.03 : Carte de répartition du fer dans la rade.	23
Figure 3.04 : Répartition du carbone organique et du cuivre au niveau des radiales.	24
Figure 3.05 : Carte de répartition du cuivre dans la rade.	25
Figure 3.06 : Indice de contamination dans la rade.	27

4 BACTERIOLOGIE

Figure 4.01 : Résistance des souches bactériennes au lauryl-sulfate selon la distance au rejet.	32
---	----

5 TOXICOLOGIE

Figure 5.01 :	Taux de malformation des larves de <i>S. granularis</i> selon la distance au rejet.	35
Figure 5.02 :	Taux d'arrêts de développement larvaire selon la distance au rejet.	36
Figure 5.03 :	Taux d'arrêts de développement larvaire dans les stations de référence.	36
Figure 5.04 :	Carte de répartition des taux de malformations dans la rade.	37
Figure 5.05 :	Carte de répartition des taux d'arrêts de développement larvaire dans la rade.	38

INTRODUCTION

La station d'épuration de Toulon-Est rejette en mer son effluent à 1 800 mètres du rivage et par 42 mètres de fond dans une rade semi-fermée de 18 km².

Le panache de dispersion assure aux apports particuliers, évalués à 1 000 000 t/an, et aux polluants qui leurs sont associés une large diffusion autour de la sortie de l'émissaire.

Afin de définir l'impact de ces apports sur les fonds marins de la grande rade de Toulon, une campagne de prélèvements des sédiments superficiels y a été menée du 19 au 24 juin 1989. On en a étudié :

- la granulométrie,
- les polluants organiques et métalliques,
- la matière organique extractible,
- les bactéries pathogènes,
- la toxicité vis à vis du milieu vivant.

Ces différents points seront successivement abordés dans les chapitres suivants.

La stratégie d'échantillonnage (figure 0.1) a été définie selon :

- la sédimentologie de la rade étudiée par JEUDY de GRISSAC et TINE pour le compte de la Marine Nationale (1980),
- une première campagne effectuée en avril 1988 dont certains résultats seront pris en compte à titre de comparaison (points S),
- la cartographie des dépôts de l'effluent, réalisée par le C.E.A. entre le 08/11/1988 et le 11/12/1988 au moyen d'un traceur radio-actif (Hafnium₁₈₁₊₁₇₅) (BRISSET et HOSLIN, 1989).

Trois radiales ont ainsi été tracées selon les axes de diffusion de l'effluent et en essayant de conserver une certaine homogénéité de la granulométrie (figure 0.1). Ainsi la radiale A (250°) devait être caractérisée par des sables graveleux, la radiale B (190°) par des sables moyens et la radiale C (160°) par des sables fins. Des variations dans le taux d'envasement étaient inévitables pour chacune des radiales.

Par rapport au rejet, les prélèvements ont été réalisés à une distance de 10m, 25m, 50m, 100m, 250m, 500m, 750m, 1 000m, 1 500m, 2 000m et 2 500m (sauf C). Pour des raisons de sécurité, les trois stations les plus proches de l'émissaire, ont été échantillonnées par plongeurs. Au delà une benne SHYPECK a été utilisée. Les stations 50m ont également été échantillonnées par benne.

Un certain nombre de prélèvements de référence (R) ont été effectués dans des zones données comme équivalentes d'un point de vue granulométrique et en dehors de l'influence présumée du rejet.

Au total c'est une cinquantaine de stations qui ont ainsi pu être échantillonnées: 12 pour chacune des radiales A et B, 11 pour la radiale C et 18 pour les sédiments de référence. On se reportera à l'annexe 0.1 pour les positionnements X, Y et Z.

A chaque station le prélèvement a été divisé verticalement selon les différents conditionnements requis :

- 50cl au froid pour la bactériologie,
- 50cl au congélateur pour l'analyse des polluants organiques et métalliques,
- 50cl en récipient stérile au froid pour la toxicologie,
- 50cl au congélateur pour la mesure de la matière organique (1),
- 100cl pour la sédimentologie.

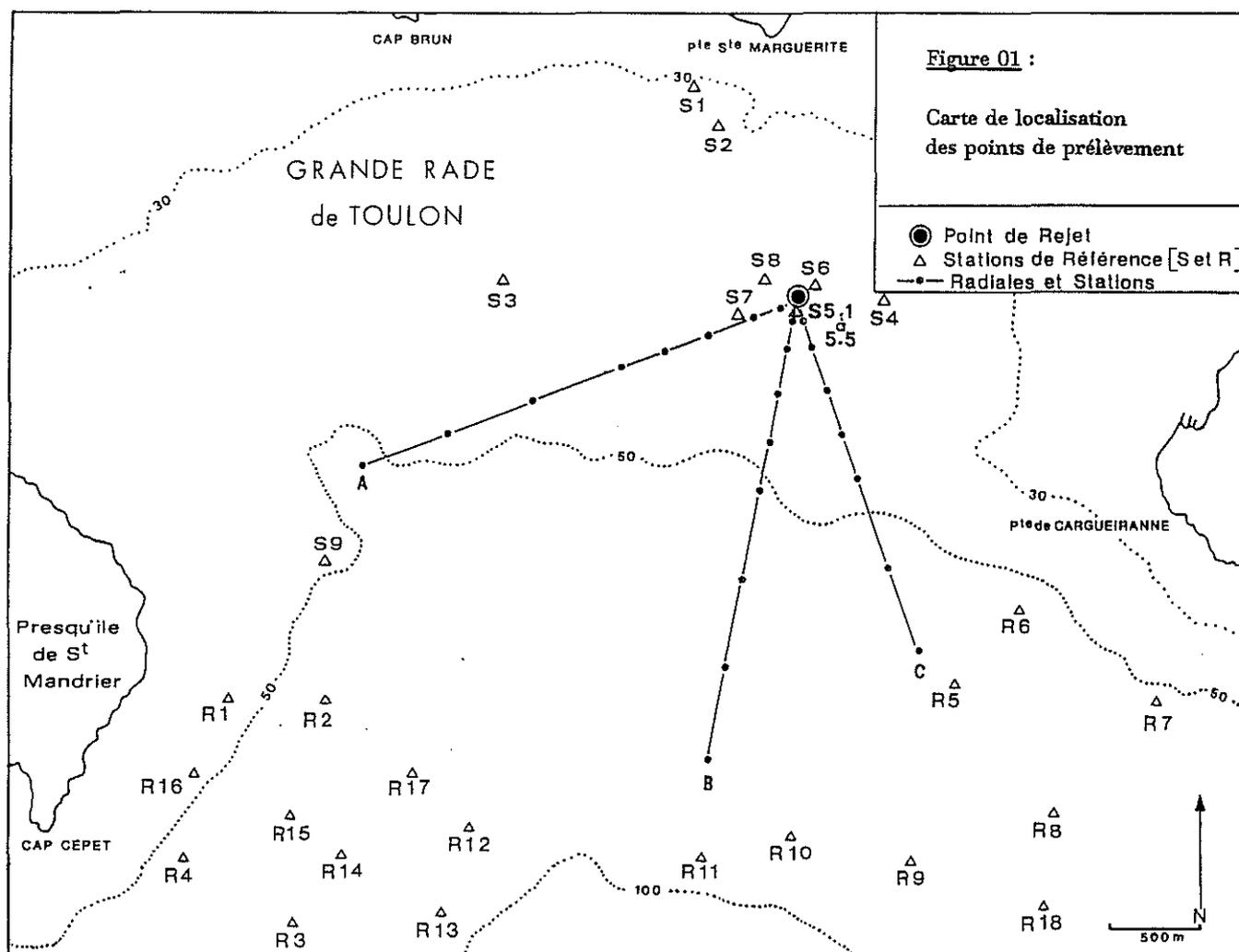


Figure 0.1 : Localisation des stations de prélèvement.

(1) selon un plan d'échantillonnage allégé

CHAPITRE 1 - SEDIMENTOLOGIE

1.1 METHODOLOGIE

Les analyses sédimentologiques ont été menées de la façon suivante :

- **taux d'envasement** : quelques grammes de sédiment brut sont séchés à l'étuve à basse température pour ne pas cuire les argiles (50°-c) puis pesés. Après lavage au tamis de 63 µm, le refus est à nouveau séché et pesé. La différence entre les deux pesées nous permet de connaître la proportion de particules fines du sédiment. Celle-ci est donnée en pourcentage du poids total du sédiment brut.
- **calcimétrie** : un gramme de sédiment sec (ou moins si celui-ci est très calcaire) est traité sous HCl dans un calcimètre BERNARD. La teneur en CaCO₃ est donnée en pourcentage du poids total de sédiment brut.
- **granulométrie** : le sédiment brut est traité par voie humide sur une série de 9 tamis répartis de 20 000 à 63 µm selon la norme AFNOR. Les refus de tamis sont recueillis, séchés et pesés. Les résultats sont convertis en pourcentage du poids total tamisé. Le diamètre moyen de la fraction <63 µm est obtenu par analyse du filtrat au compteur de particules.

Par la suite ces résultats sont regroupés en différentes phases granulométriques :

- fraction ≥ 20 000 µm : cailloutis
- fraction ≥ 2 000 µm : graviers
- fraction ≥ 500 µm : sables grossiers
- fraction ≥ 200 µm : sables fins
- fraction ≥ 63 µm : sablons
- fraction < 63 µm : silts ou vase.

Le classement du sédiment, qui dépend largement de la phase granulométrique dominante, a été emprunté, et modifié en ce qui concerne la fraction fine, à C. LARSONNEUR (1977).

1.2 RESULTATS

Ainsi que le montrent les résultats synthétiques ci-après, et contrairement à ce que le plan d'échantillonnage pouvait laisser prévoir, le spectre granulométrique est nettement orienté vers les sables grossiers et graveleux (2). Pour consulter l'ensemble des données, on pourra se reporter à l'annexe 1.2.

(2) Le prélèvement effectué par plongeur sur la radiale A présentait de notables différences aussi bien par rapport aux prélèvements voisins que vis à vis de son alter ego échantillonné par benne -présence de cailloutis et lessivage des fines- nous n'avons donc pris en compte, pour les stations 50 m, que les prélèvements réalisés par benne.

REFERENCES ‡	Fract. gross.	Sables gross.	Sables fins	Fract. vaseuse	CaCO ₃
Ouest	42,0	18,8	14,3	48,3	24,3
Est	12,5	38,8	28,9	20,9	71,9

RADIALE A ‡	Fract. gross.	Sables gross.	Fract. vaseuse	CaCO ₃
10-100/250m	15,5	44,5	09,6	71,8
100/250-2500m	51,2	16,4	45,9	34,0

RADIALE B ‡	Fract. gross.	Sables gross.	Fract. vaseuse	CaCO ₃
10-100/250m	26,6	44,3	08,5	63,4
100/250-2500m	20,2	38,3	38,6	53,9

RADIALE C ‡	Fract. gross.	Sables gross.	Fract. vaseuse	CaCO ₃
10-100/250m	12,4	44,9	11,1	62,2
100/250-2500m	18,3	44,8	20,8	64,3

Principaux résultats granulométriques

Si la radiale A est conforme à ce qu'on en attendait (gravier et sables graveleux dominant), les sables graveleux dominent encore dans les autres radiales. Parmi les stations de références ceux-ci caractérisent la moitié des stations et les sables grossiers le tiers. Au total on ne relève qu'une seule station dominée par les sables fins.

Ces décalages peuvent s'expliquer de deux façons :

- une différence dans le classement granulométrique adopté. Dans un cas le diagramme triangulaire privilégie la fraction fine en regroupant les sables fins et les sablons, dans l'autre la classification des sédiments selon C. LARSONNEUR (1977) donne plus de poids à la phase grossière en la subdivisant,
- le fait qu'une catégorie sédimentaire peut englober des granulométries très différentes: nous trouvons des sables graveleux dispersés entre 1960 μm et 385 μm de diamètre moyen et des sables grossiers entre 800 μm et 395 μm .

Les stations de référence sont caractérisées par un gradient Est-Ouest plus ou moins prononcé selon les paramètres (figures 1.1 à 1.5). Ainsi, en moyenne :

- la fraction caillouto-graveleuse varie de 13% à l'Est à 42% à l'Ouest,
- les taux d'envasement évoluent de même de 21% à l'Est à 48% à l'Ouest,
- par contre, les taux de carbonate de calcium (CaCO₃) suivent une répartition inverse: 72% à l'Est pour 24% à l'Ouest,
- et les sables grossiers et fins évoluent de façon identique en passant de l'Est à l'Ouest respectivement de 39 à 19% et de 29 à 14%.

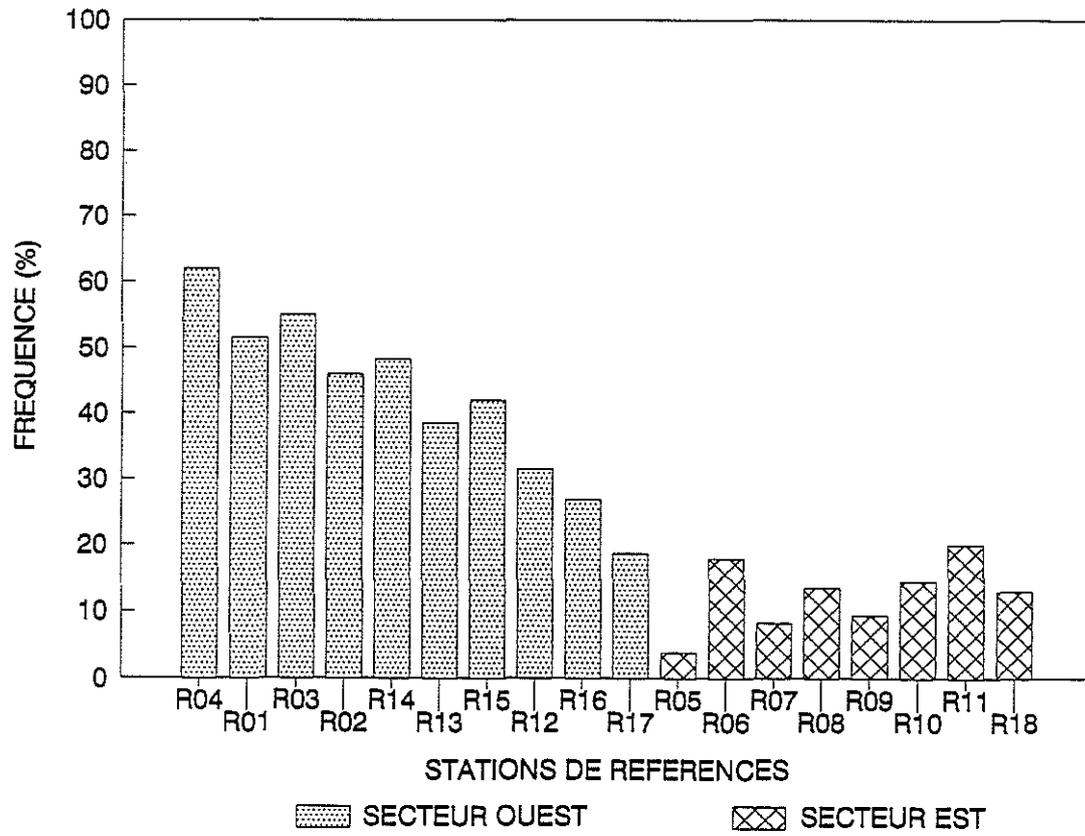


Figure 1.1 : Répartition de la fraction caillouto-graveleuse aux stations de référence.

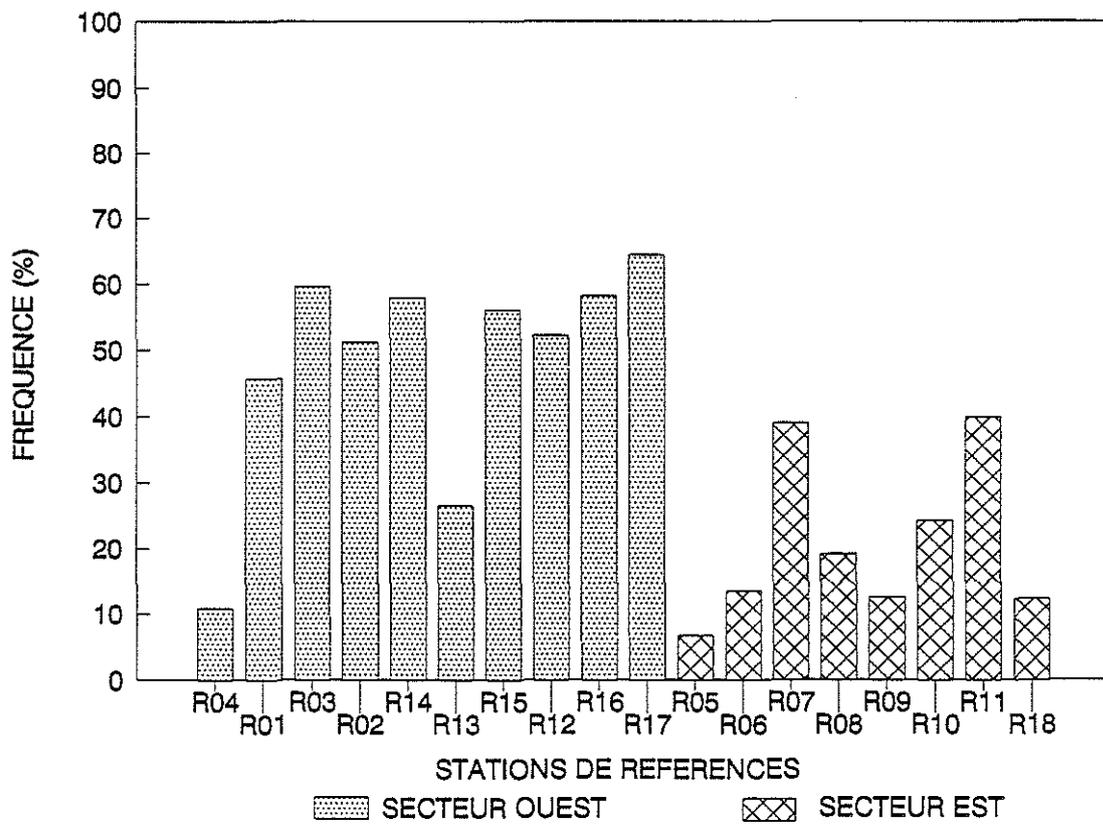


Figure 1.2 : Taux d'envasement aux stations de référence.

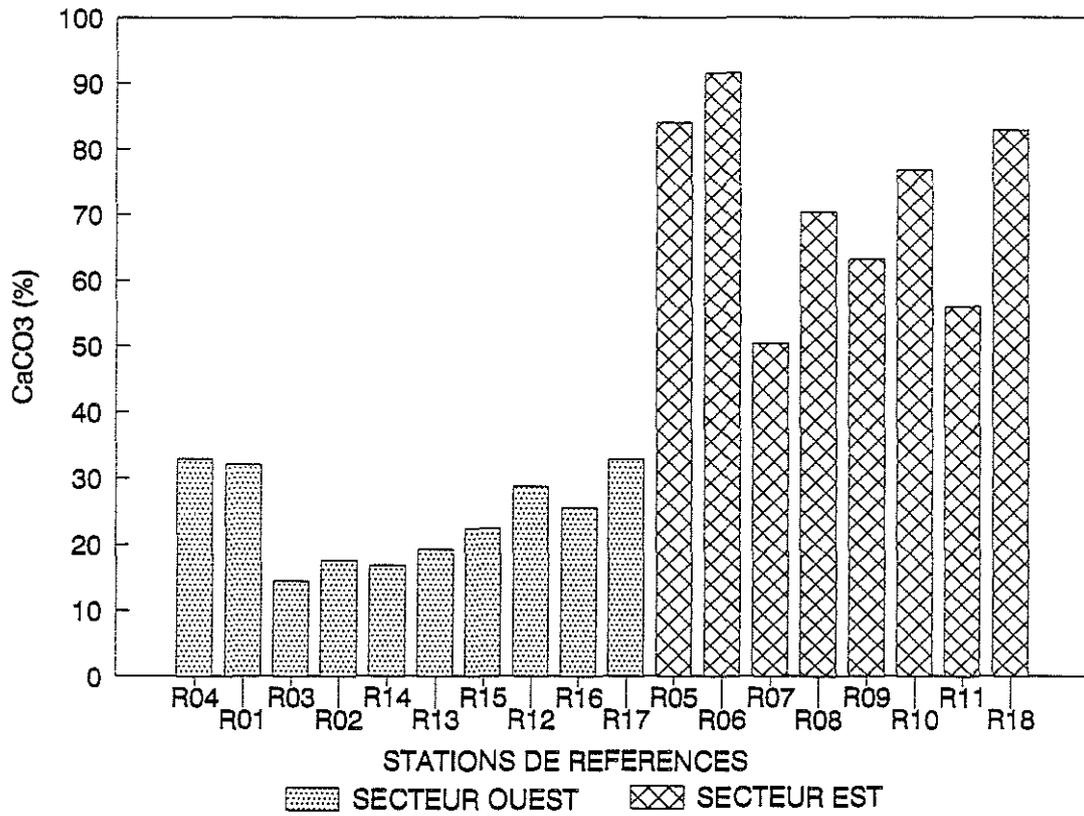


Figure 1.3 : Calcimétrie des stations de référence.

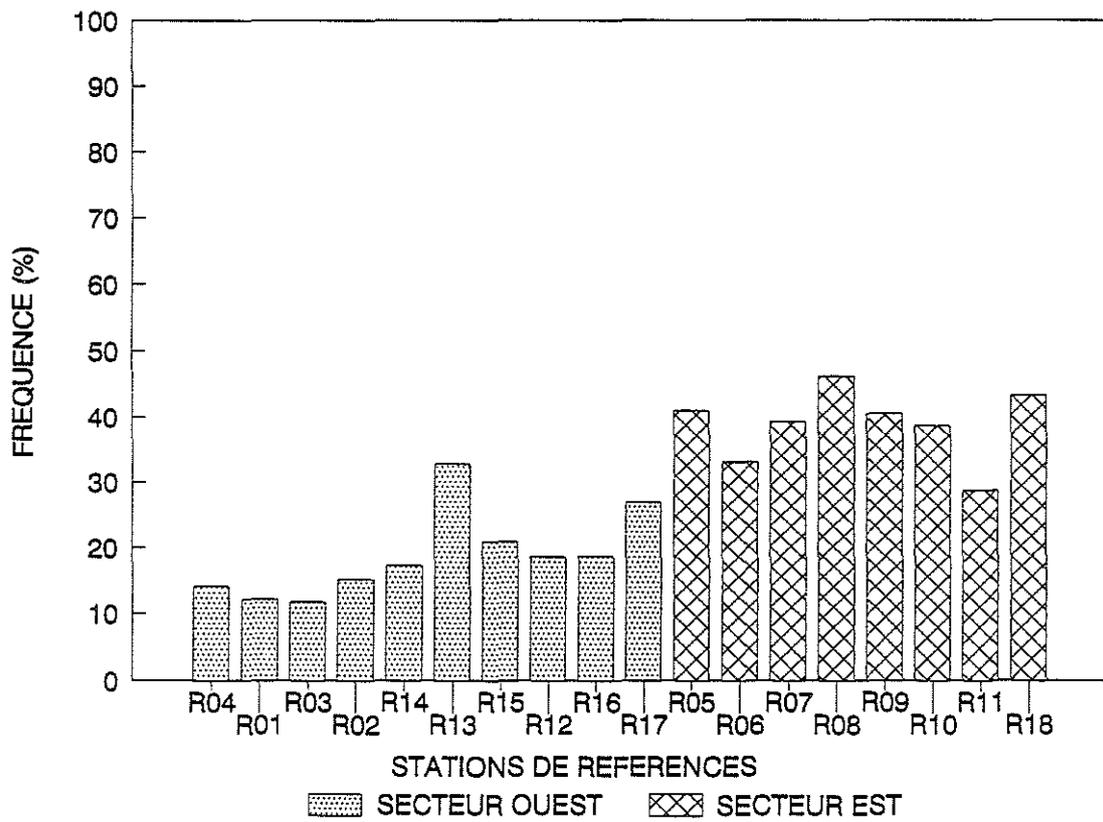


Figure 1.4 : Répartition des sables grossiers aux stations de référence.

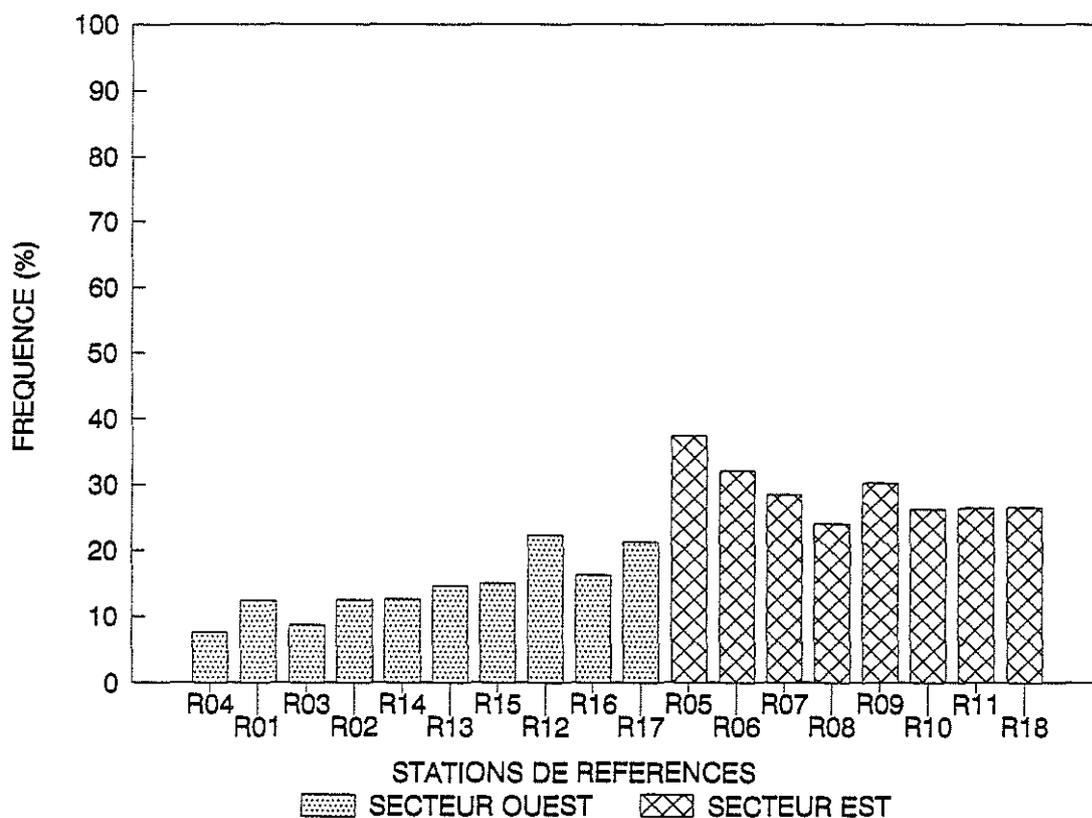


Figure 1.5 : Répartition des sables fins aux stations de référence.

Les caractéristiques sédimentologiques des radiales varient selon la distance à l'émissaire (figures 1.6 à 1.11). Jusqu'à une distance de 100 à 250 mètres les paramètres sont en général homogènes, au-delà, ils évoluent différemment selon chaque radiale :

- la fraction caillouto-graveleuse, qui toutes radiales confondues, représente 18% en moyenne au voisinage du rejet, passe au-delà à 51% pour la radiale A, à 26% pour la radiale B et reste stable pour la radiale C.
- de la même façon, les sables grossiers varient de 44,5% à proximité de l'émissaire, à 16,4% pour la radiale A, et 38,3% pour la radiale B. Ici encore la radiale C reste stable.
- la fraction vaseuse suit le même schéma de distribution que les paramètres ci-dessus: 9,7% dans la partie proximale de l'émissaire, et respectivement 46%, 38,5% et 21% dans la partie distale des radiales A, B, et C. Les résultats sont eux-mêmes beaucoup plus dispersés quand on s'éloigne du rejet: d'un écart-type moyen de 3,7 près de l'émissaire, on passe à des écarts-types de 18,5 à 11,1 selon les radiales.
- la répartition du diamètre moyen des particules fines met en évidence deux types de vases: aux plus fines ($4,3 \mu\text{m}$) correspondent des taux d'envasement $<18\%$, aux plus grossières ($7,2 \mu\text{m}$) des taux $>18\%$. Le premier type se rencontre essentiellement dans un rayon de 100 mètres autour du rejet mais également dans la partie orientale de la rade. Nous n'expliquons pas cette répartition.

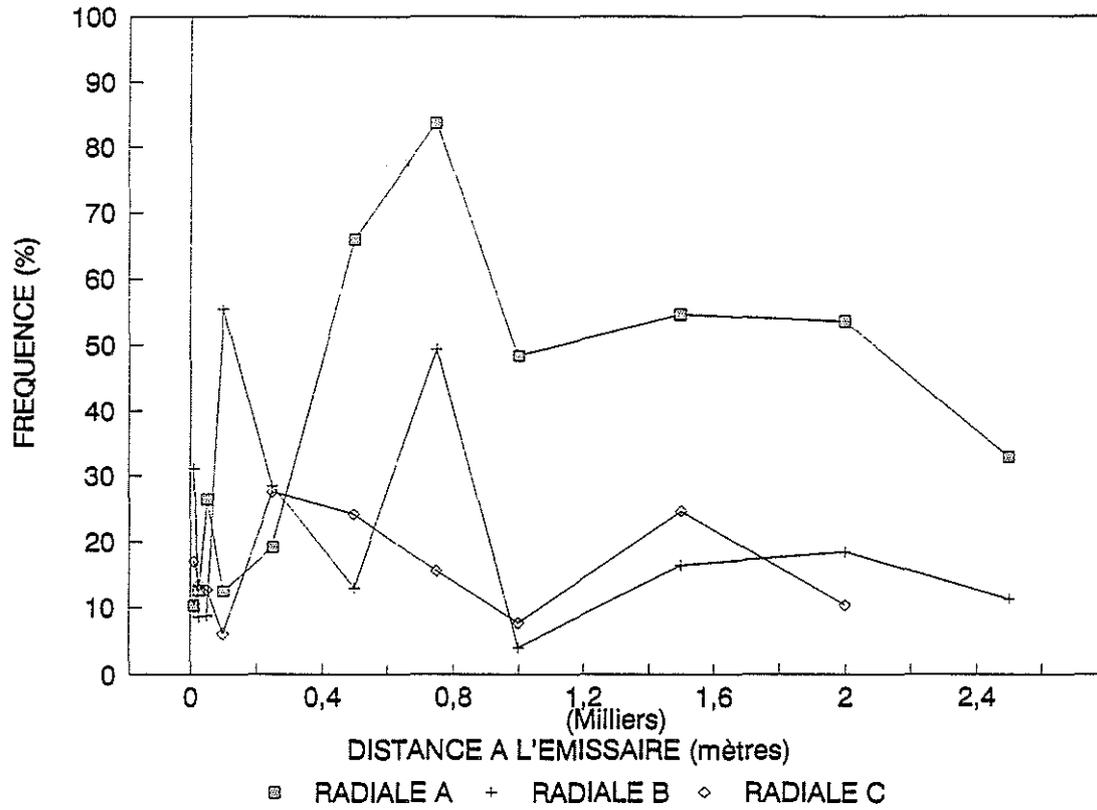


Figure 1.6 : Répartition de la fraction caillouto-graveleuse au niveau des radiales.

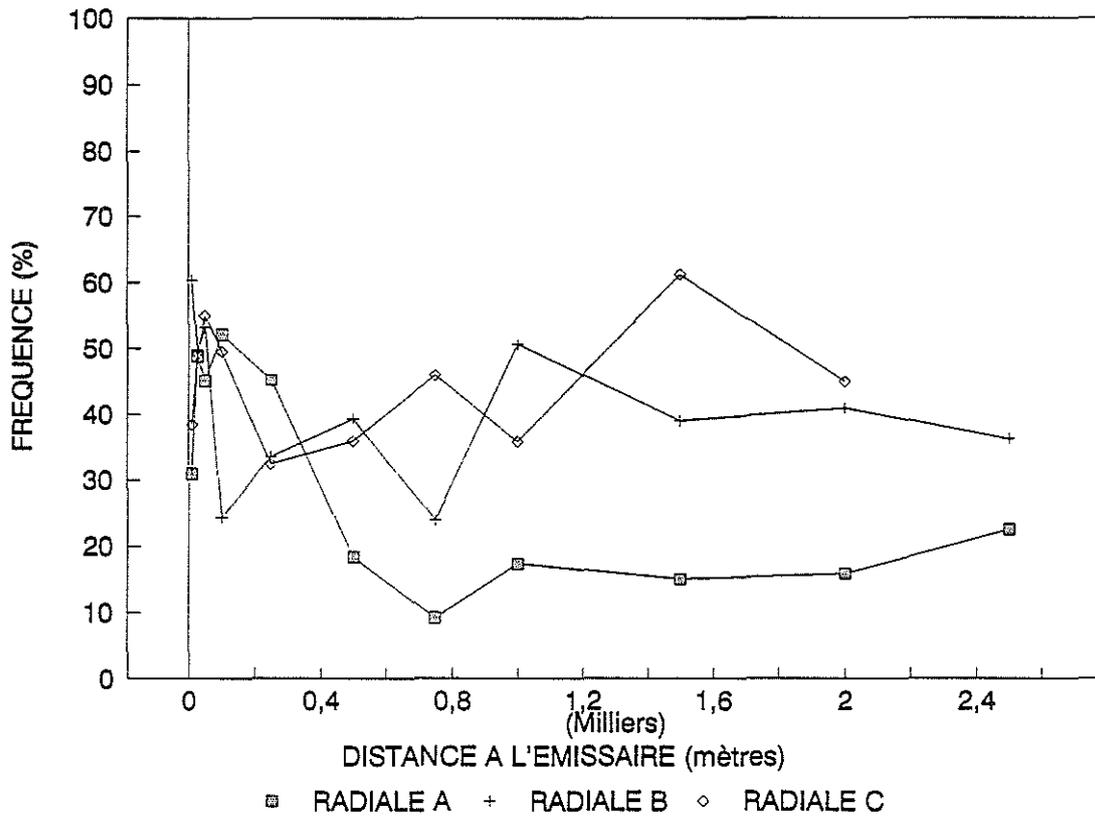


Figure 1.7 : Répartition des sables grossiers au niveau des radiales.

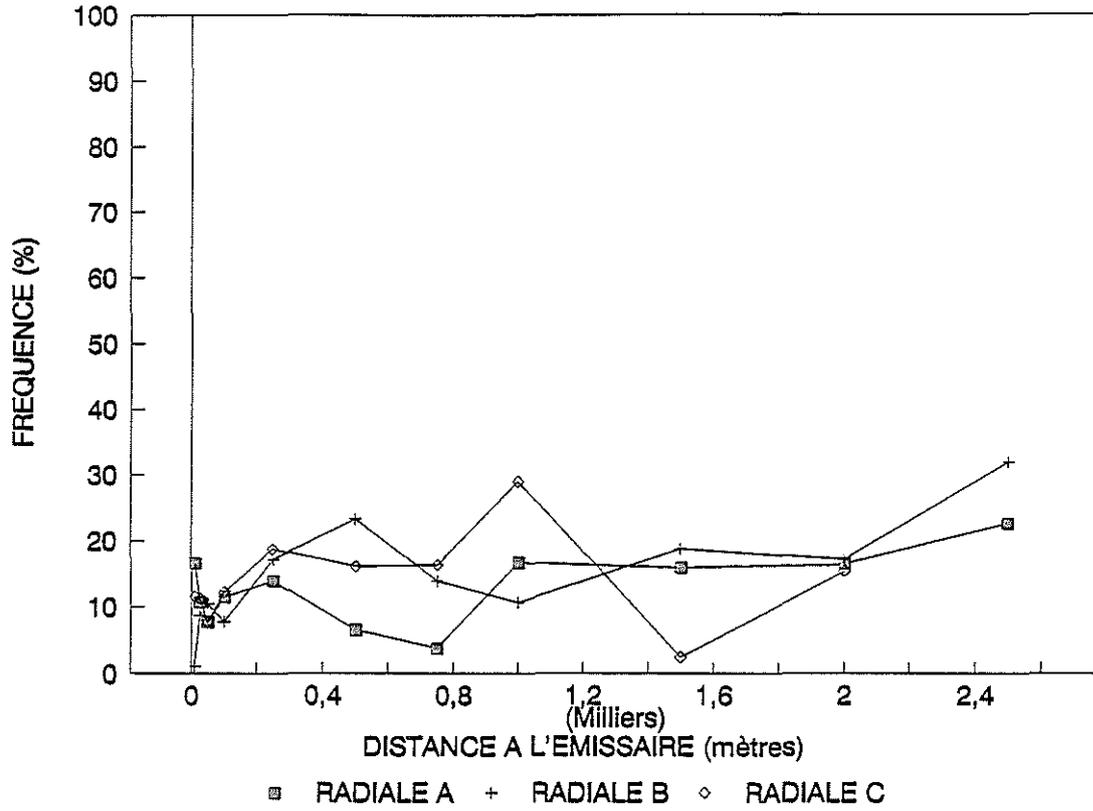


Figure 1.8 : Répartition des sables au niveau des radiales.

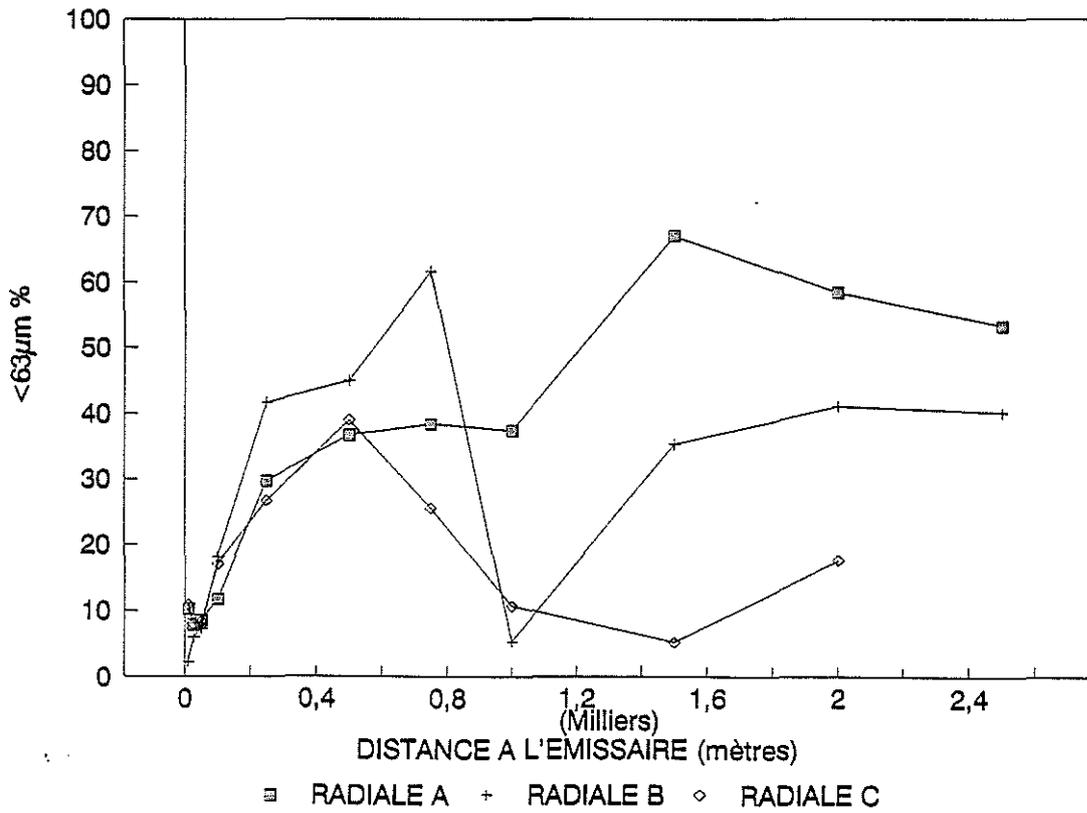


Figure 1.9 : Taux d'envasement au niveau des radiales.

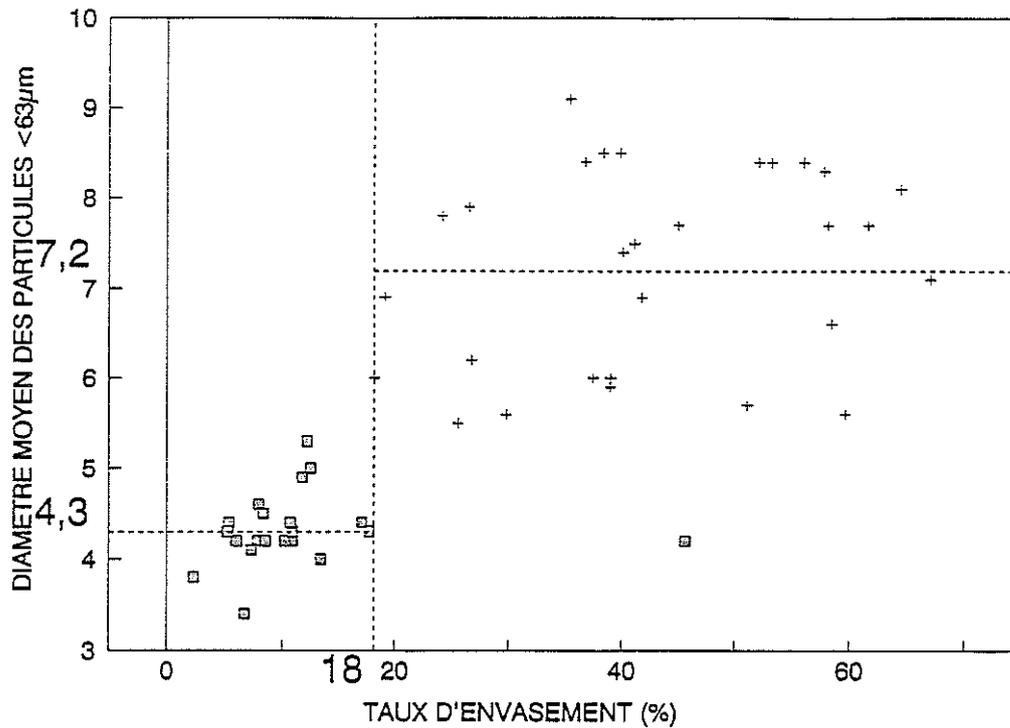


Figure 1.10 : Diamètre des particules < 63 μm en fonction du taux d'envasement.

- le taux moyen de carbonate de calcium (CaCO_3), assez élevé jusqu'à 100 mètres du rejet (entre 62 et 72% selon les radiales) régresse sensiblement au-delà, et ce d'autant plus que la radiale est située à l'Ouest: respectivement 64%, 53% et 34% pour les radiales C, B et A. Son origine peut être double : résidus de chaux utilisés au cours du traitement d'épuration pour la partie proximale du rejet, apports coquilliers du golfe de Giens pour la partie distale des radiales, ce qui expliquerait le gradient observé entre elles.

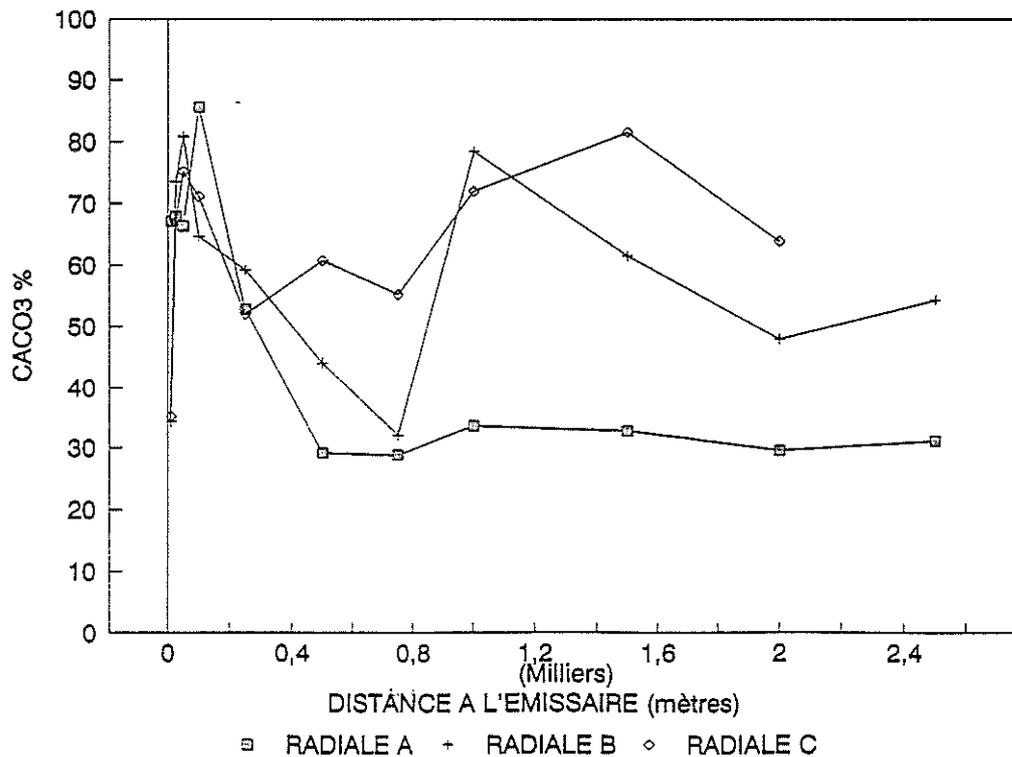


Figure 1.11 : Calcimétrie au niveau des radiales.

1.3 CONCLUSION

Des principaux résultats relevés, nous pouvons tirer les conclusions suivantes (figure 1.12) :

- les stations de références expriment un gradient granulométrique Est-Ouest caractérisé par une prédominance de sables grossiers fortement carbonatés à l'Est et par une prédominance de sédiments graveleux moyennement carbonatés à l'Ouest. Cette distribution se retrouve largement à travers les prélèvements effectués sur les radiales, au-delà d'une distance de 100 à 250 mètres de l'émissaire: la radiale A est de type nettement occidental, les deux autres radiales de type plutôt oriental.

- l'envasement suit un autre type de distribution géographique, lié principalement à la bathymétrie : le milieu de la rade de Toulon, plus plat, plus profond et favorisé par une moindre turbulence, est le siège de plus forts taux d'envasement que le voisinage des caps marqués par un renforcement des courants. Dans le détail, on observe au niveau des radiales un seuil à environ 1 000 mètres du rejet : en-deçà un envasement faible (< 10 %) dans la partie proximale du rejet puis des taux prononcés vers 250 - 750 mètres. Au-delà la distribution de la fraction fine varie suivant la position de la radiale et paraît d'origine différente.

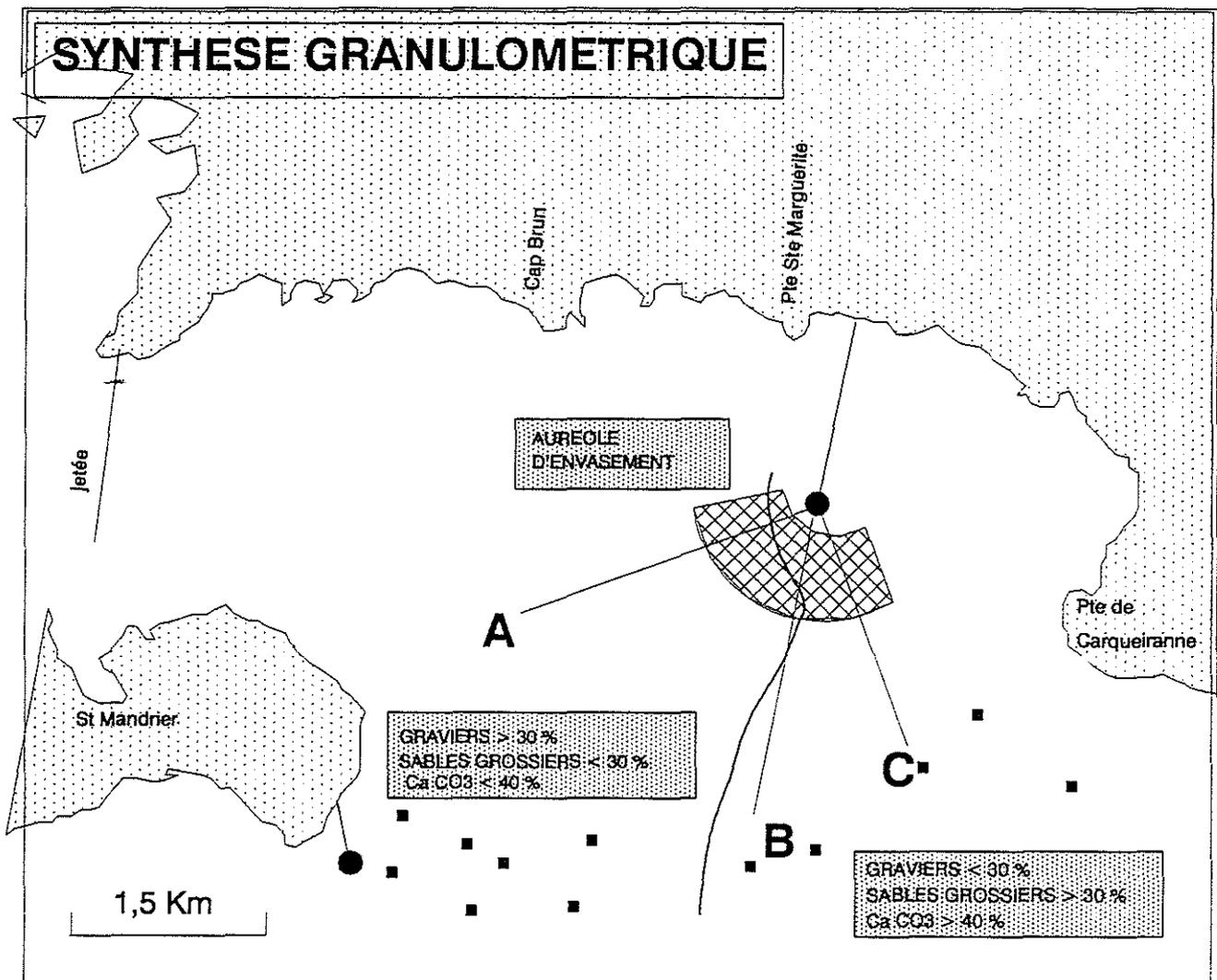


Figure 1.12 : Synthèse granulométrique.

CHAPITRE 2 : LA MATIERE ORGANIQUE EXTRACTIBLE

2.1 - INTRODUCTION

Ce chapitre a fait l'objet d'un rapport séparé, paru sous le titre "Impact des rejets urbains de Toulon-Est sur les sédiments marins, analyse de la matière organique extractible", avec la référence IFREMER DRO/EL-90-17. Ses auteurs, G. BODENNEC et A. LE GALL, en reprennent ci-après les principaux résultats.

2.2 - METHODOLOGIE

La caractérisation chimique de la matière organique extraite des sédiments prélevés à proximité de l'émissaire a été déterminée pour évaluer l'impact de la station de Toulon Est sur la contamination des fonds marins. Les analyses ont été effectuées par chromatographie sur couche mince (technique Iatroscan) pour un fractionnement dans les classes chimiques (hydrocarbures, esters, triglycérides, alcools et acides gras libres, di et triglycérides, phospholipides, pigments chlorophylliens) et par chromatographie en phase gazeuse pour une identification des principaux acides gras et stérols (QUEMENEUR et MARTY, 1989) et hydrocarbures aliphatiques des extraits organiques (figure 2.1).

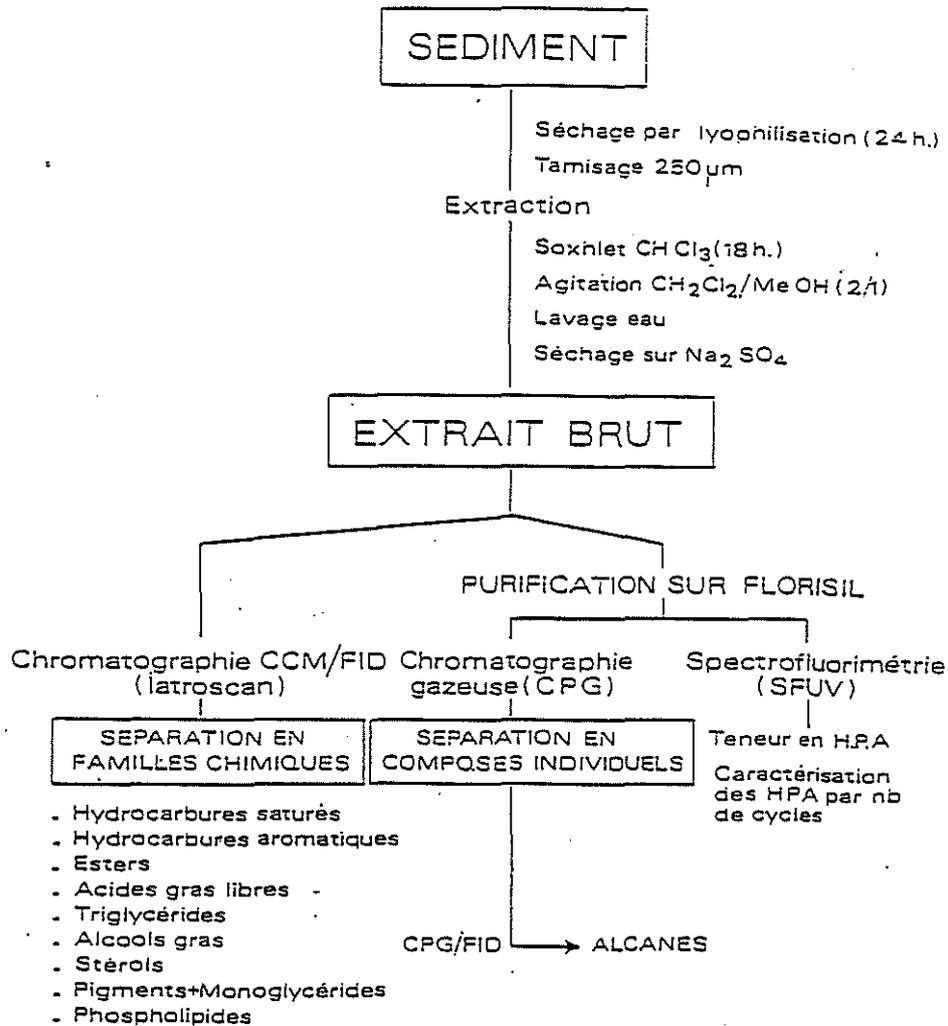


Figure 2.1 : Protocole analytique.

2.3 - RESULTATS

Les principaux résultats de cette étude font apparaître les points suivants (annexe 2) :

- les teneurs en lipides totaux voisines de 420 ± 130 mg/kg dans les premiers 25 m autour de l'émissaire décroissent rapidement à une valeur de 80 ± 15 mg/kg à 250 m pour présenter ensuite vers 750 m un maximum de concentration de l'ordre de 300 mg/kg (figure 2.2).

La contamination des sédiments prélevés à proximité de l'émissaire ($D \leq 250$ m) apparaît relativement modeste. Les teneurs en composés lipidiques, hydrocarbures et pigments chlorophylliens sont en moyenne 4,4 et 2 fois supérieures à celles d'échantillons de référence collectés à l'extérieur de la zone d'influence du rejet étudié. La contamination du sédiment apparaît relativement hétérogène avec des coefficients de variation de l'ordre de 75 % pour les lipides totaux, de 90 % pour les hydrocarbures et de 46 % pour les pigments chlorophylliens. Ce fait peut être attribué à l'existence de plusieurs sources d'apport d'origine et de nature différentes mais surtout au mode de dispersion et de piégeage des substances organiques rejetées, étroitement lié à la courantométrie du site et à la granulométrie du sédiment.

L'analyse d'échantillons tamisés selon différentes tailles de particules semble indiquer une adsorption préférentielle de la matière lipidique sur les particules inférieures à 0,5 mm. Dans la zone des 250 m autour de l'émissaire, les teneurs en lipides et en hydrocarbures totaux dans les sédiments prélevés le long des trois radiales étudiées présentent une décroissance bien marquée avec l'éloignement du point de rejet. Cette évolution se fait de manière sensiblement identique sur les trois radiales, sans présenter une orientation privilégiée dans la contamination des sédiments.

- La composition de la matière lipidique dans les sédiments proches du rejet est comparable à celle des particules de l'effluent de l'émissaire. Elle ne présente pas de différences importantes avec l'éloignement du point de rejet. Les échantillons proches de l'émissaire montrent des teneurs plus élevées en triglycérides tandis que ceux prélevés à plus de 100 m sont relativement plus riches en esters et en phospholipides (figure 2.3).

On note une bonne corrélation entre les teneurs en matière organique extractible et en carbone organique. L'empreinte lipidique de la station apparaît nettement sur les échantillons dont la valeur de carbone organique est supérieure à 3 %. L'impact de la station dans la contamination des sédiments a également été recherché en analysant les fractions acides gras et stérols de l'extrait organique. On retrouve dans les échantillons à proximité du rejet la prédominance des acides palmitique, stéarique, oléique et linoléique dont l'association constitue l'empreinte des rejets urbains. Dans les autres échantillons, on note l'importance croissante des acides gras saturés contenant 24 à 30 atomes de carbone caractéristiques de la matière organique d'origine végétale (herbiers de posidonies, débris végétaux terrigènes) ou algale.

Les concentrations en stérols sont comprises dans les sédiments entre 3,5 et 6,8 mg/kg. Elles sont dominées par l'importance du cholestérol et du coprostanol (origine urbaine) dans les échantillons proches du rejet et du B sistostérol (origine végétale) dans les sédiments éloignés de l'émissaire.

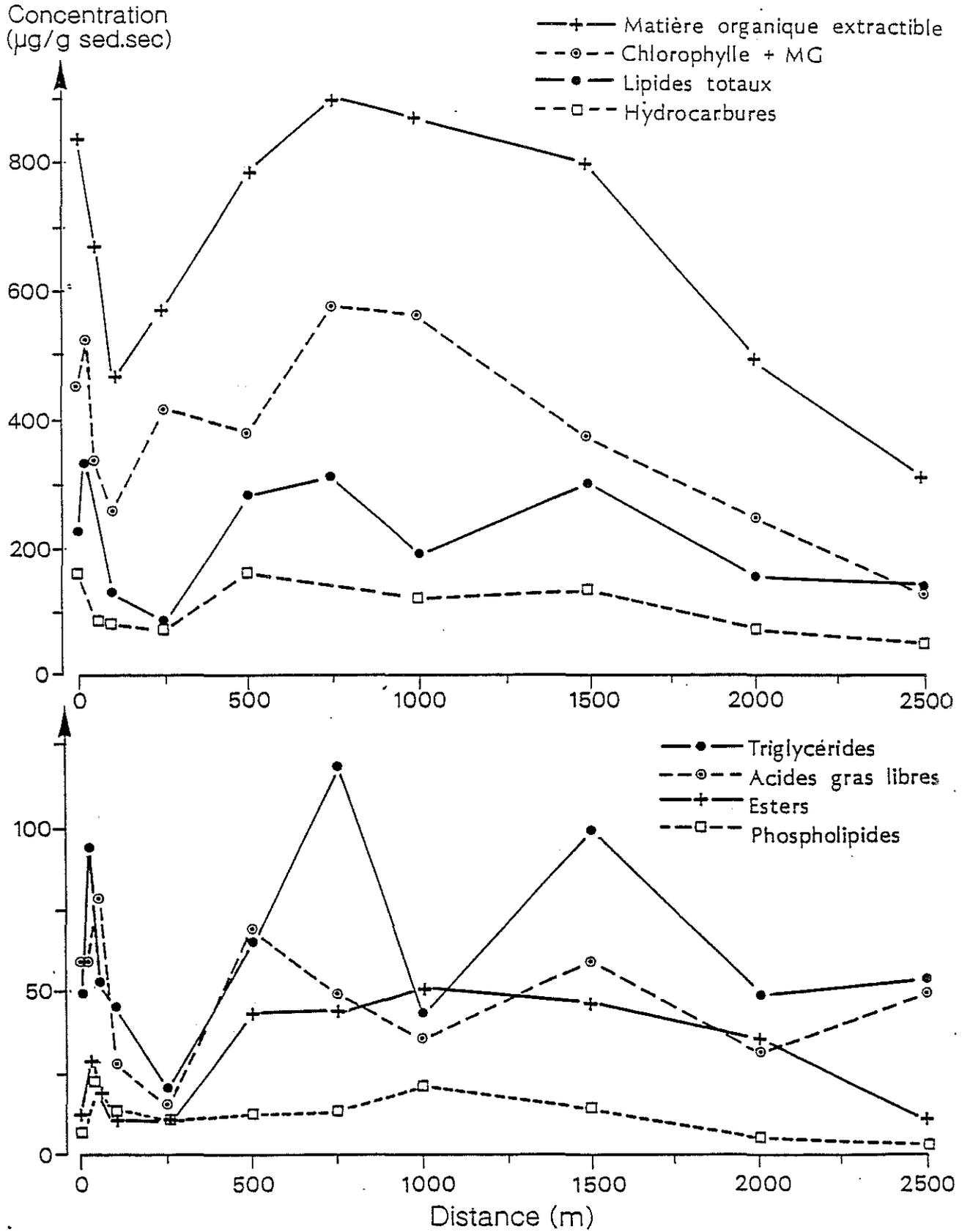


Figure 2.2 : Evolution le long de la radiale "A" des principaux constituants lipidiques des sédiments.

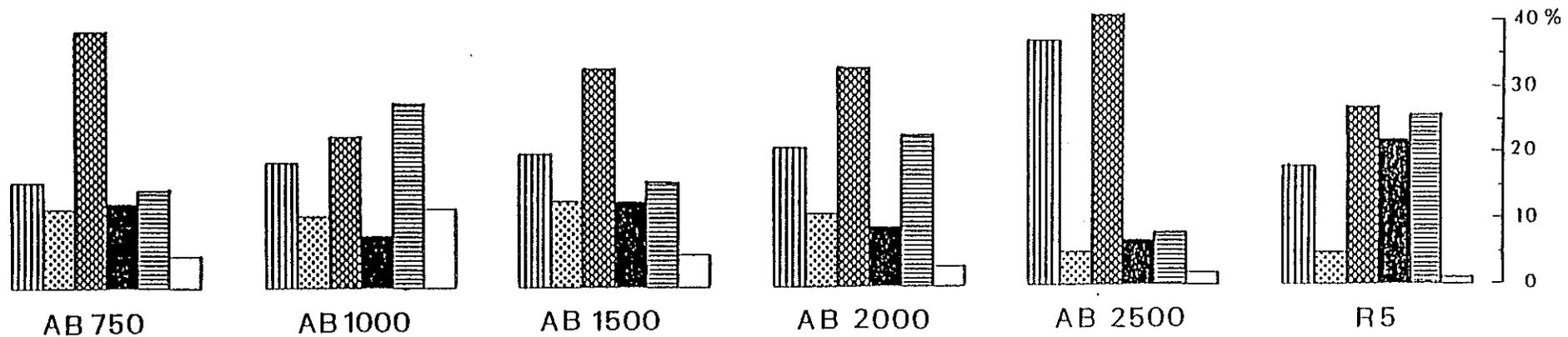
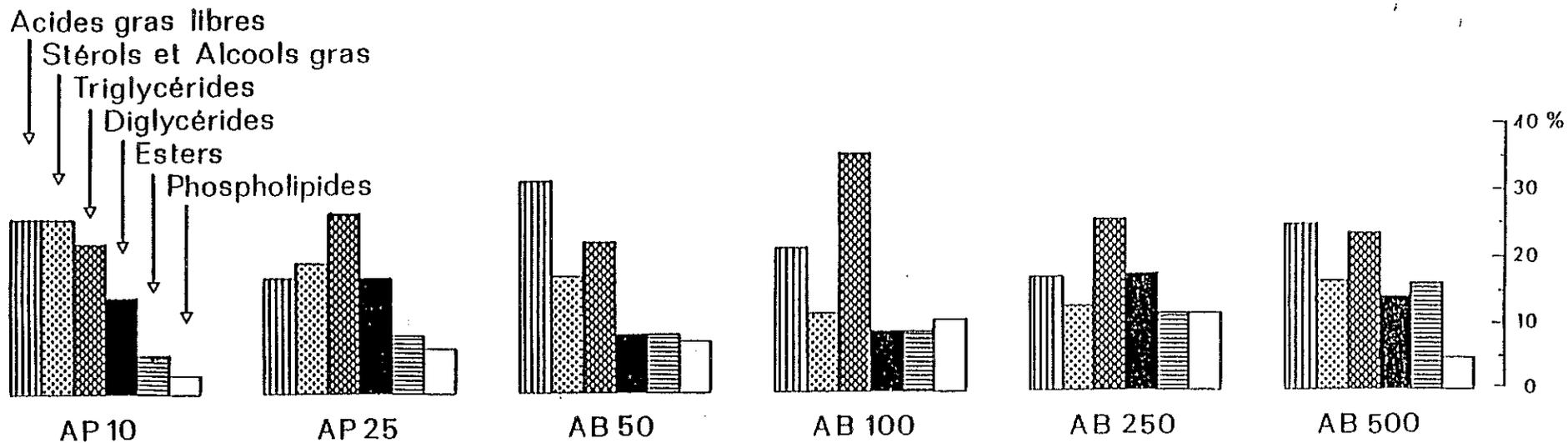


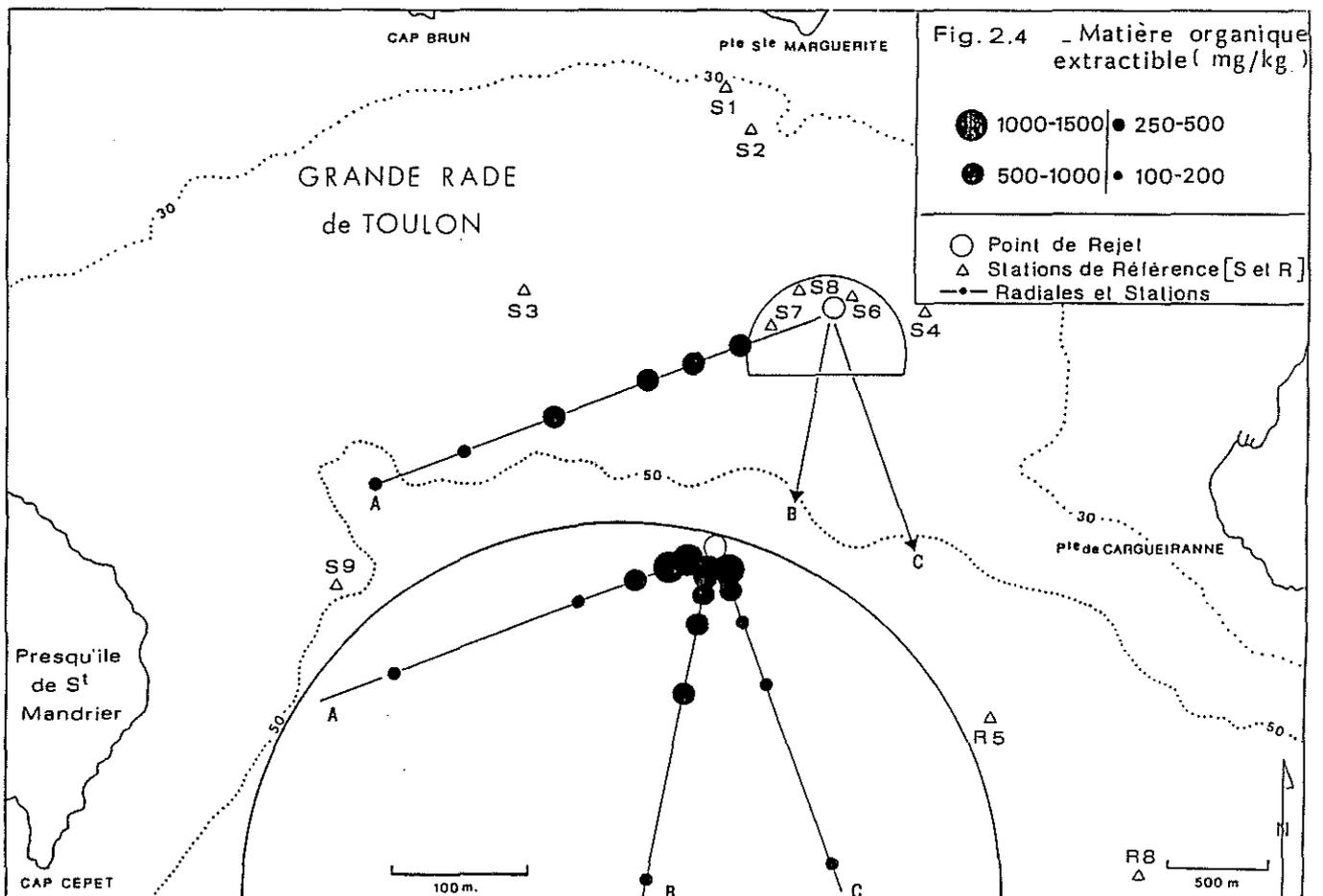
Fig 2.3 _COMPOSITION DE L'EXTRAIT ORGANIQUE EN CLASSES LIPIDIQUES

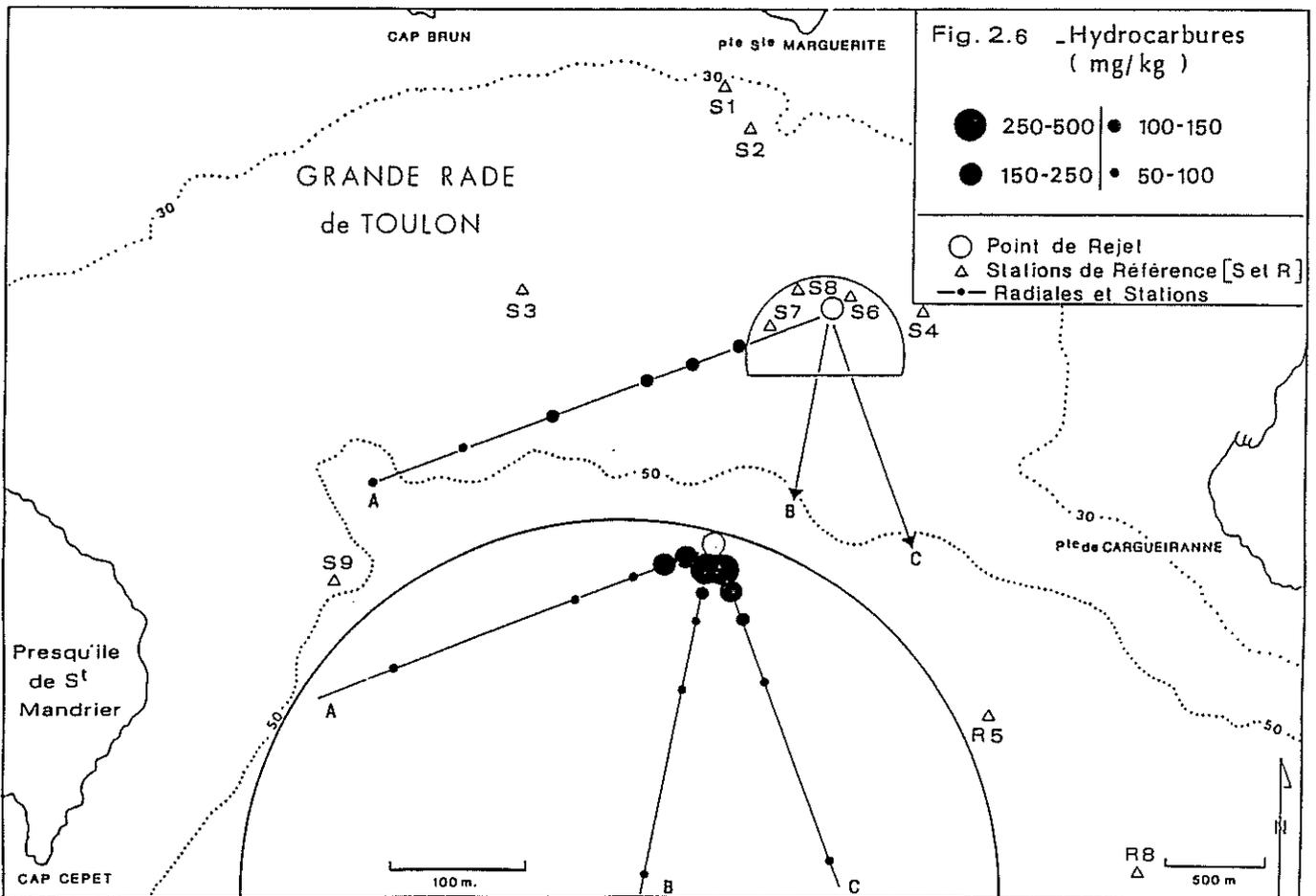
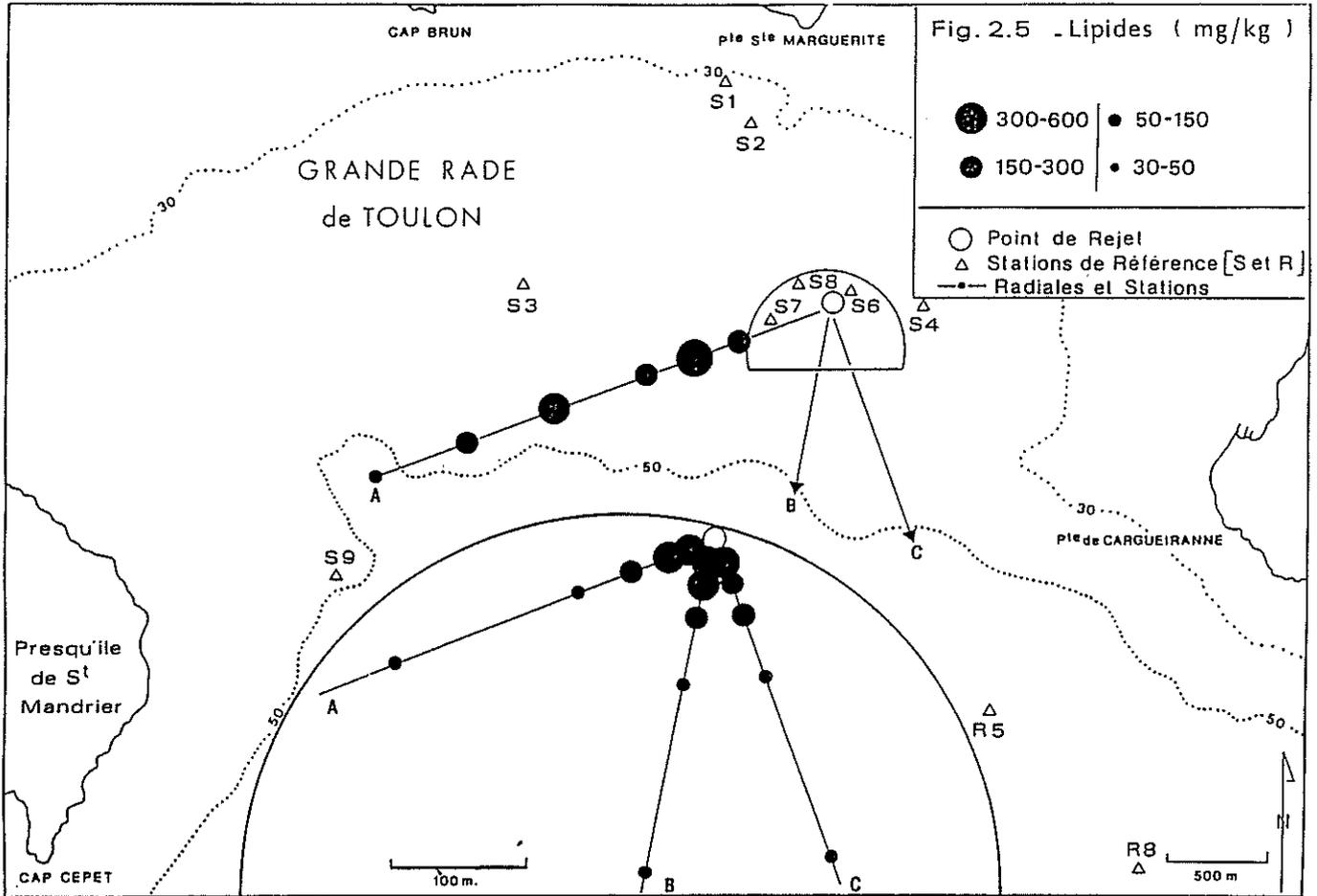
A DIFFERENTES DISTANCES DE L'EMISSAIRE

En plus de ces marqueurs chimiques des rejets urbains en milieu marin, on a noté que le rapport des teneurs en hydrocarbures alcanes C 31/ C 18 pouvait être dans les sédiments un bon traceur dans la dispersion des effluents d'origine terrigène dans les premiers 500 m du point de rejet. Dans les échantillons analysés, la fraction hydrocarbure est essentiellement constituée par les hydrocarbures saturés. Les teneurs en hydrocarbures totaux mesurés par chromatographie CCM/FID (Iatroscan) sont relativement bien corrélées avec les valeurs déterminées par IR (chapitre 3).

- le sédiment joue le rôle d'intégrateur à long terme de la contamination du milieu marin par la matière organique et minérale d'origine anthropique (figures 2.4, 2.5, 2.6). On note en particulier le long de la radiale A une évolution concomitante des concentrations en matière organique extractible avec celles des micropolluants chimiques (hydrocarbures, PCB, Cu) mesurés sur les mêmes échantillons par le laboratoire du Pr Arnoux.

Il est connu que la matière lipidique a la capacité de solubiliser les polluants chimiques lipophiles et ainsi de se comporter en vecteur de transfert de la contamination chimique dans le milieu marin. L'association matière lipidique-polluants ne semble pas être liée à une classe particulière de lipides. Dans le cas des hydrocarbures, par exemple, on note une meilleure corrélation ($r = 0,94$) avec l'extrait organique total (MOES) qu'avec les principaux constituants lipidiques : triglycérides ($r = 0,71$), esters ou phospholipides. Il en est de même pour les PCB totaux, Zn et Cu ; par contre il n'apparaît pas de relations évidentes entre les teneurs en Pb, Ni, Mn, Cr et le niveau de contamination organique du sédiment exprimé soit en valeurs globales (MC, MOES, lipides) soit en valeurs spécifiques d'une classe lipidique donnée (TG, WE).





CHAPITRE 3 : POLLUANTS ORGANIQUES ET METALLIQUES

3.1 - METHODOLOGIE

Les échantillons sont constitués à partir du prélèvement total préalablement homogénéisé.

Ils sont conservés par congélation à -30°C, puis lyophilisés.

Les analyses sont effectuées sur la fraction inférieure à 2 mm. (La fraction supérieure à 2 mm étant particulièrement abondante dans certains échantillons, son pourcentage a été systématiquement déterminé afin de pouvoir éventuellement calculer la quantité de polluants réellement présente dans le sédiment total prélevé à chaque station).

Matières calcinables à 550°C :

Calcination pendant 4 heures dans un four électrique à régulation de température. Les résultats sont exprimés en pourcentage.

Carbone organique par voie humide :

Cette détermination assimilée à un dosage de carbone, est plutôt représentative du taux de matières oxydables contenues dans le sédiment. Le dosage est réalisé par oxydation chromique suivant le protocole décrit par AILLAUD (1976) pour les sédiments marins.

Les résultats sont exprimés en pourcentage.

Hydrocarbures totaux :

Après extraction ultra-sonique des hydrocarbures par le tétrachlorure de carbone en bécher réfrigéré, la solution organique est purifiée par passage sur une colonne garnie de Florisil activé à 300°C et désactivé avec 5 % d'eau.

Le dosage des hydrocarbures totaux est réalisé par spectrophotométrie infra-rouge dans une cuve de 5 mm de trajet optique, à fenêtres en NaCl.

Les résultats sont calculés à partir de l'absorption à 3,39 - 3,42 et 3,50 μm (Etalon : Iso octane-Hexadécane - Toluène : 37,5-37,5-5,25 %).

Polychlorobiphényles :

Après extraction au Soxhlet par l'Hexane, élimination du soufre par le mercure et purification par l'acide sulfurique, les PCB sont analysés par chromatographie en phase gazeuse à haute résolution.

Colonne capillaire DB5 (L=30 m, D.I. = 0,25 mm, Film de 0,25 μm).

Injection On-Column à programmation de température (60 à 250°C par 100°C/mn).

Température colonne : 2 mn à 60°C - Montée à 180°C (20°/mn) puis à 260°C (3°/mn).

Détecteur au Ni 63, T° = 300°C.

Gaz vecteur Hélium.

Les résultats sont exprimés en nanogrammes par gramme de sédiment sec pour les congénères 28, 52, 101, 118, 153, 138 et 180 (Étalons BCR).

Une approximation de la teneur en PCB totaux est calculée en considérant que la somme des congénères 118, 153, 138 et 180 représente 41 % d'un mélange commercial de Pylène DP6.

Analyse des métaux :

Après broyage à 100 µm, le sédiment est attaqué à 120°C pendant 2 heures sous réfrigérant à reflux, par 10 ml du mélange HCl-HNO₃ (3:1V/V). Le produit d'attaque est filtré sur filtre sans cendre, puis dilué à 50 ml avec de l'eau désionisée de haute pureté. Le dosage est réalisé par spectrophotométrie d'absorption atomique en flamme air-acétylène pour Cu, Pb, Zn, et Mn, par spectrométrie d'émission (ICP) pour Cd et Cr, et par spectrophotométrie d'absorption moléculaire pour le fer (méthode à l'O.phénanthroline).

Pour le mercure, l'attaque est réalisée en bombe Téflon, sous pression (150°C pendant 2 H), avec 10 ml de HNO₃ spécial pour dosage du Mercure. L'analyse est effectuée par spectrophotométrie d'absorption atomique sans flamme (réduction par SnCl₂).

Les résultats sont exprimés en mg.g⁻¹ pour le fer et en µg.g⁻¹ pour les autres métaux.

3.2 - PRESENTATION DES RESULTATS

Les résultats sont présentés :

- sous forme de tableaux récapitulatifs généraux (annexe 3.1). Pour compléter ces données, quelques résultats de la campagne de prélèvements du mois d'Avril 1988, obtenus suivant une méthodologie identique, ont été ajoutés à ceux de la campagne faisant l'objet de ce rapport ;
- sous forme de graphiques représentant soit la distribution des concentrations dans les stations de référence en établissant une distinction entre celles du domaine oriental et celles du domaine occidental (annexe 3.2), soit les profils le long des trois radiales A, B et C (annexe 3.3) ;
- sous forme de cartes de distribution pour chaque polluant recherché et pour l'indice de pollution calculé à partir des concentrations en Cu, Pb, Zn, Hg et Cr. (Annexe 3.4).

3.3 - COMMENTAIRES

D'une manière générale, il ressort de l'examen de l'ensemble des résultats de cette campagne et du calcul de coefficients de corrélation qu'il n'existe pas de relations globales entre les différents polluants recherchés. Cette situation tient vraisemblablement au fait que de multiples sources d'origine et de qualité différentes influencent cette région de la rade de Toulon.

En effet, on peut établir, dans la zone étudiée, une distinction entre les apports de la Grande Rade, au N.W., ceux, de l'émissaire de Sainte Marguerite (Toulon Est) au Nord, ceux de l'émissaire du Cap Cépet, à l'Ouest, et, vers le large, ceux du courant liguro-provençal ou ceux pouvant provenir de remontées de matériel depuis le canyon de Toulon. Ces diverses influences pourront être localisées suivant l'importance relative de chaque constituant.

Nous envisagerons donc, dans un premier temps, les stations dites de référence avant d'aborder l'impact du rejet par l'émissaire de Toulon-Est.

Il ressort de l'examen de l'ensemble des documents (cartes et graphiques) que deux domaines s'opposent entre le Cap Cépet et la Pointe de Carqueiranne :

- à l'Est, les sédiments sont caractérisés par une pollution relativement modeste et homogène jusque dans la partie médiane de la grande passe (Station 10) ;
- à l'Ouest, la situation est plus complexe dans la mesure où des sédiments à très fort taux de pollution voisinent avec d'autres apparemment peu contaminés. Ainsi, des stations très polluées proches du littoral (St. 4 et 16) et d'autres plus éloignées (St. 14 et 12) sont séparées par des plages de sédiments à faible taux de pollution (St. 15 et 3).

Cette opposition entre les deux domaines est particulièrement mise en évidence sur les graphiques concernant le carbone organique, les hydrocarbures totaux, le cuivre, le mercure, le zinc et le chrome (figure 3.1). Le contraste est un peu moins net pour les matières calcinables (qui ne sont pas nécessairement associées à la pollution) et le plomb qui relève d'une pollution générale.

Enfin, avec le manganèse la situation est totalement inversée, compte tenu du fait que le domaine oriental est plus soumis à l'influence des apports du large, et, vraisemblablement, des apports ligures.

En définitive, le secteur étudié est soumis, dans la région située autour de la presqu'île de Saint Mandrier, à une pollution de type industriel dont l'origine ne paraît pas être limitée aux seuls apports de l'émissaire du Cap Cépet comme le montrent les fortes valeurs trouvées plus au Nord, à la station S9.

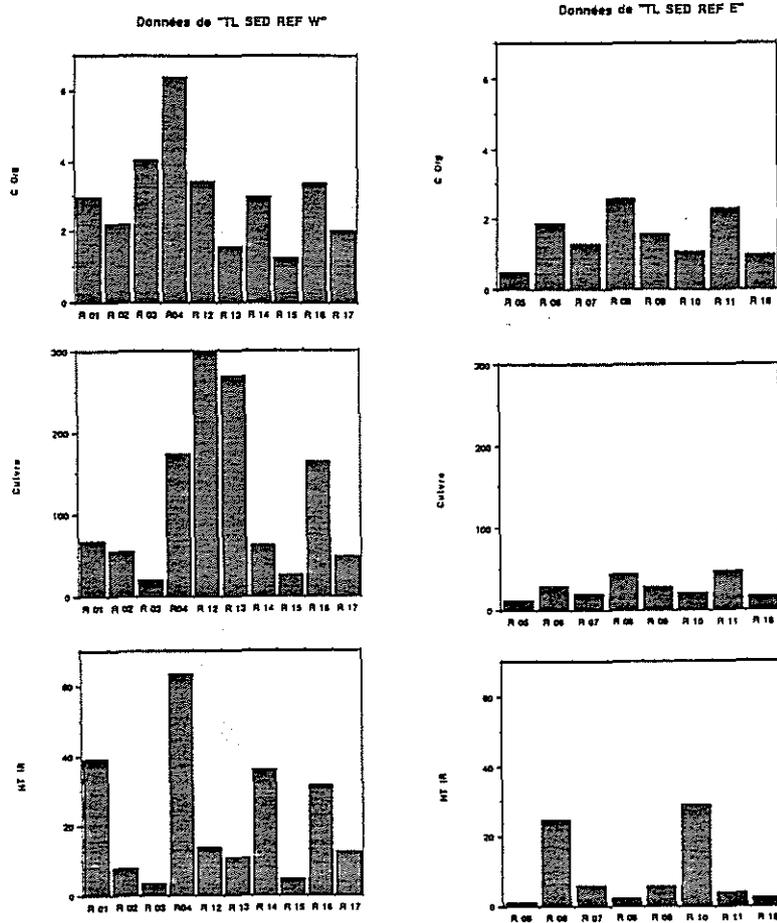


Figure 3.1 : Répartition du carbone organique, des hydrocarbures totaux et du cuivre dans les stations de référence.

Comme nous l'avons dit plus haut, du matériel particulaire peut être apporté par les masses d'eau transitant le long du littoral provençal ou remontant du canyon qui s'ouvre devant la rade de Toulon.

Le manganèse constitue le meilleur témoin géochimique de cette influence (figure 3.2). La carte de distribution de ce métal fait nettement apparaître le gradient décroissant qui s'établit depuis l'entrée jusqu'à l'intérieur de la rade, les valeurs maximales étant voisines de $250 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ au SE (St. 8 et 10) et minimale à la station la plus interne (St. S3 : $126 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Cette situation est en tous points analogue à celle observée dans d'autres sites du littoral (baie de la Ciotat - baie de Cassis - secteur de Cortiou - rade de Marseille).

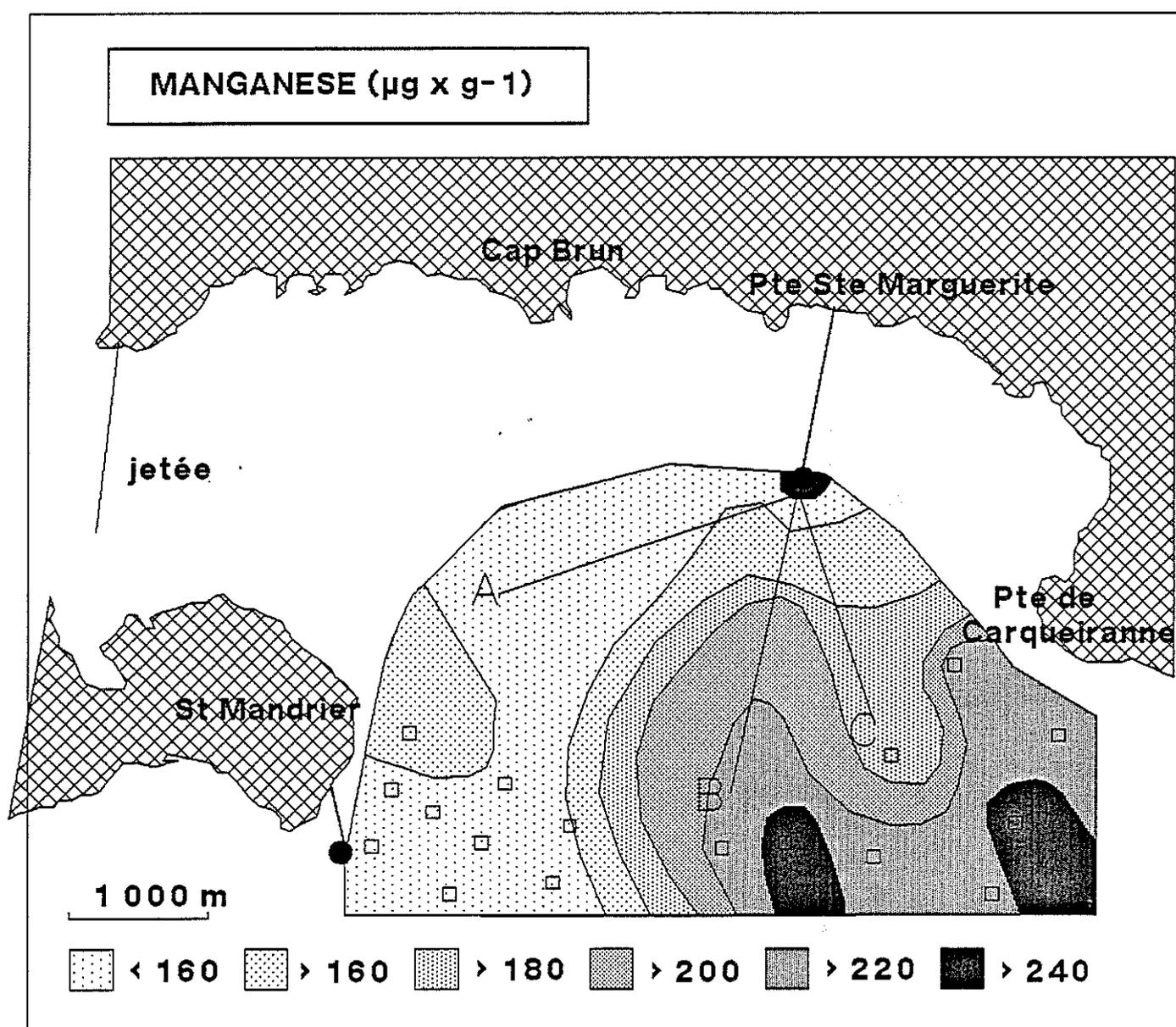


Figure 3.2 : Carte de répartition du manganèse dans la rade.

Avec le fer, la distribution est quelque peu différente, bien que les valeurs les plus fortes ($> 15 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) soient décelées à l'extérieur de la rade (figure 3.3). On note que les stations les plus riches (St. 11 et 12) se situent à proximité de la tête du canyon, cette situation pouvant être soit l'indice du remontée de matériel, soit, au contraire, le témoin de dépôts de dragage effectués dans ce secteur.

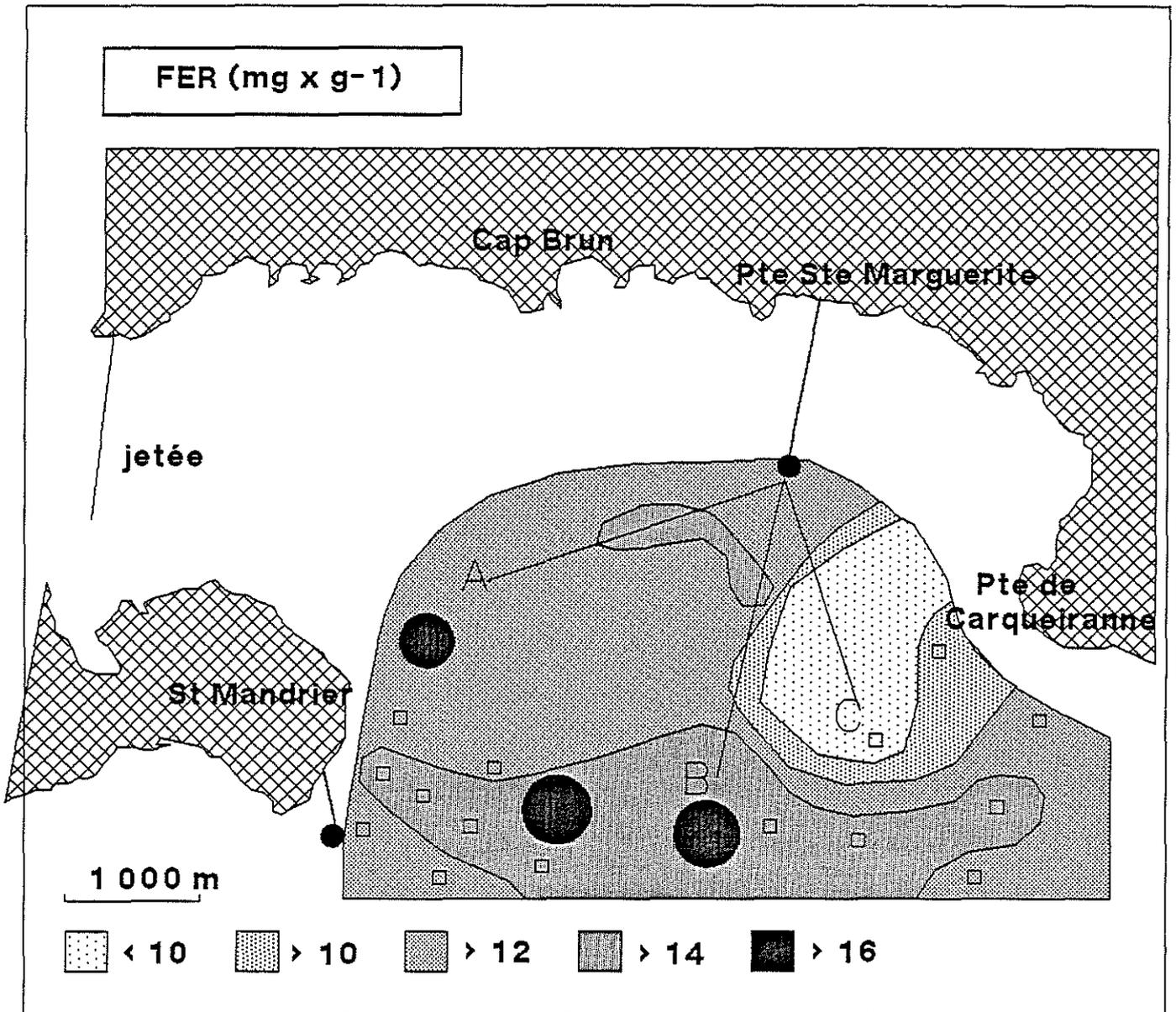


Figure 3.3 : Carte de répartition du fer dans la rade.

Indépendamment de ces apports minéraux, il est également intéressant de mentionner les valeurs relativement plus élevées trouvées au SE de la Grande Passe (St. 7, 8, 9, 10) pour les PCB qui pourraient être mises sur le compte de la sédimentation d'un matériel étranger à la rade.

Sur ce fond de contamination hétérogène, l'impact de l'émissaire de Toulon-Est est identifiable à des degrés divers suivant le type de polluant envisagé. Si, dans certains cas, la distinction est nette, dans d'autres cas, l'influence est beaucoup plus discrète car elle se confond rapidement avec le "bruit de fond" dans cette partie de la rade.

D'une manière générale, il apparaît néanmoins, comme le laissaient prévoir les études antérieures de marquage, que le dépôt de matériel pollué issu de l'émissaire s'effectue préférentiellement vers le SW, c'est-à-dire dans la direction de la radiale A. Par contre la distance affectée va en diminuant lorsqu'on passe aux radiales B, puis C.

Cette différenciation est parfaitement illustrée par la juxtaposition des trois profils établis, pour chaque paramètre (Annexe 3.3).

D'une manière générale, la distribution depuis le point de rejet est conforme à celle que l'on retrouve avec d'autres émissaires (par ex : Cortiou). Elle se caractérise par de très fortes teneurs à proximité immédiate du débouché de l'ouvrage où s'accumule sur une très courte distance un matériel grossier, dense et à très forte charge.

A quelques dizaines de mètres, après une chute brutale des concentrations, le classement des particules conduit à un gradient plus ou moins accentué suivant les directions préférentielles de sédimentation, sous la dépendance des courants entraînant le nuage turbide. Ce gradient atteint une valeur maximale à environ 1 000 m dans la direction de la radiale A, et 500 m sur la radiale B. Cette distribution apparaît avec une très grande netteté sur le graphique des matières calcinables, du C organique et du cuivre (figure 3.4).

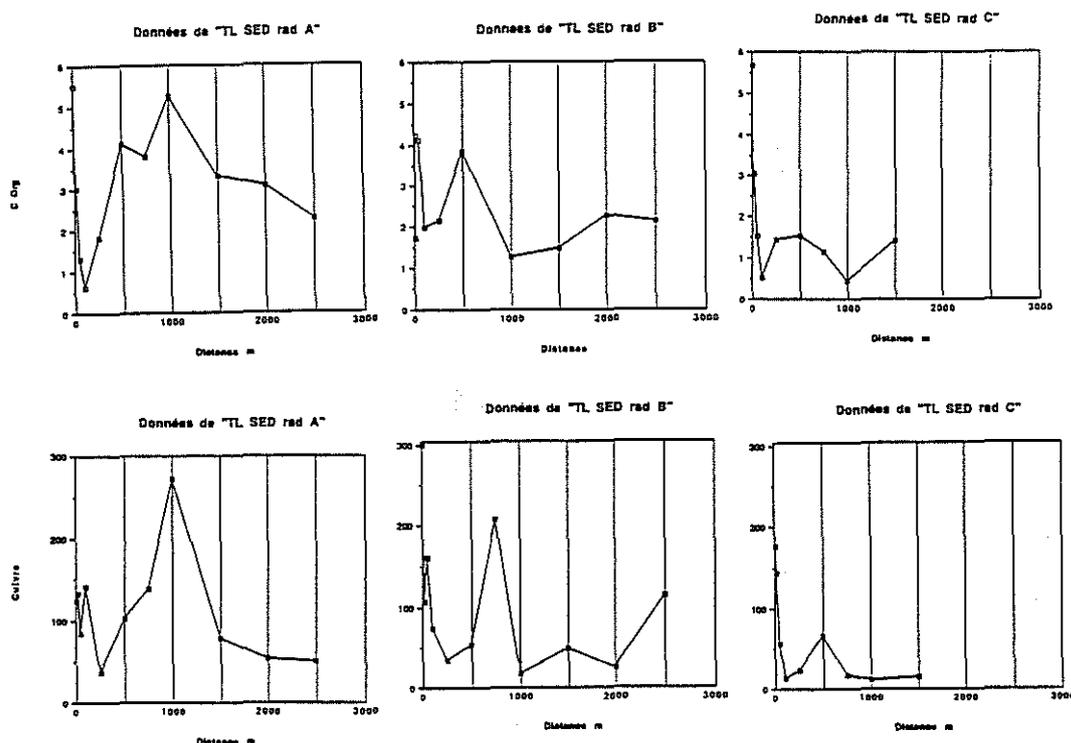


Figure 3.4 : Répartition du carbone organique et du cuivre au niveau des radiales.

Au-delà, les taux de polluants diminuent jusqu'au niveau du bruit de fond de la rade, sauf dans certains cas où on constate une remontée dans la partie distale de la radiale quand celle-ci rejoint d'autres zones de pollution (par ex. Cu sur la radiale B, Pb sur les radiales A et B, mercure sur la radiale A).

Les principales pollutions solides issues de l'émissaire de Toulon Est sont représentées par des matières calcinables et le carbone organique, par le cuivre (figure 3.5) dont l'abondance particulière pourrait être due aux activités agricoles de la région desservie par la station du Pouverel, et, d'une manière moins évidente, par le plomb. Dans le cas du cadmium, dont les concentrations restent faibles ($< 3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), l'influence de l'égout est néanmoins identifiable avec une augmentation relative du simple au double.

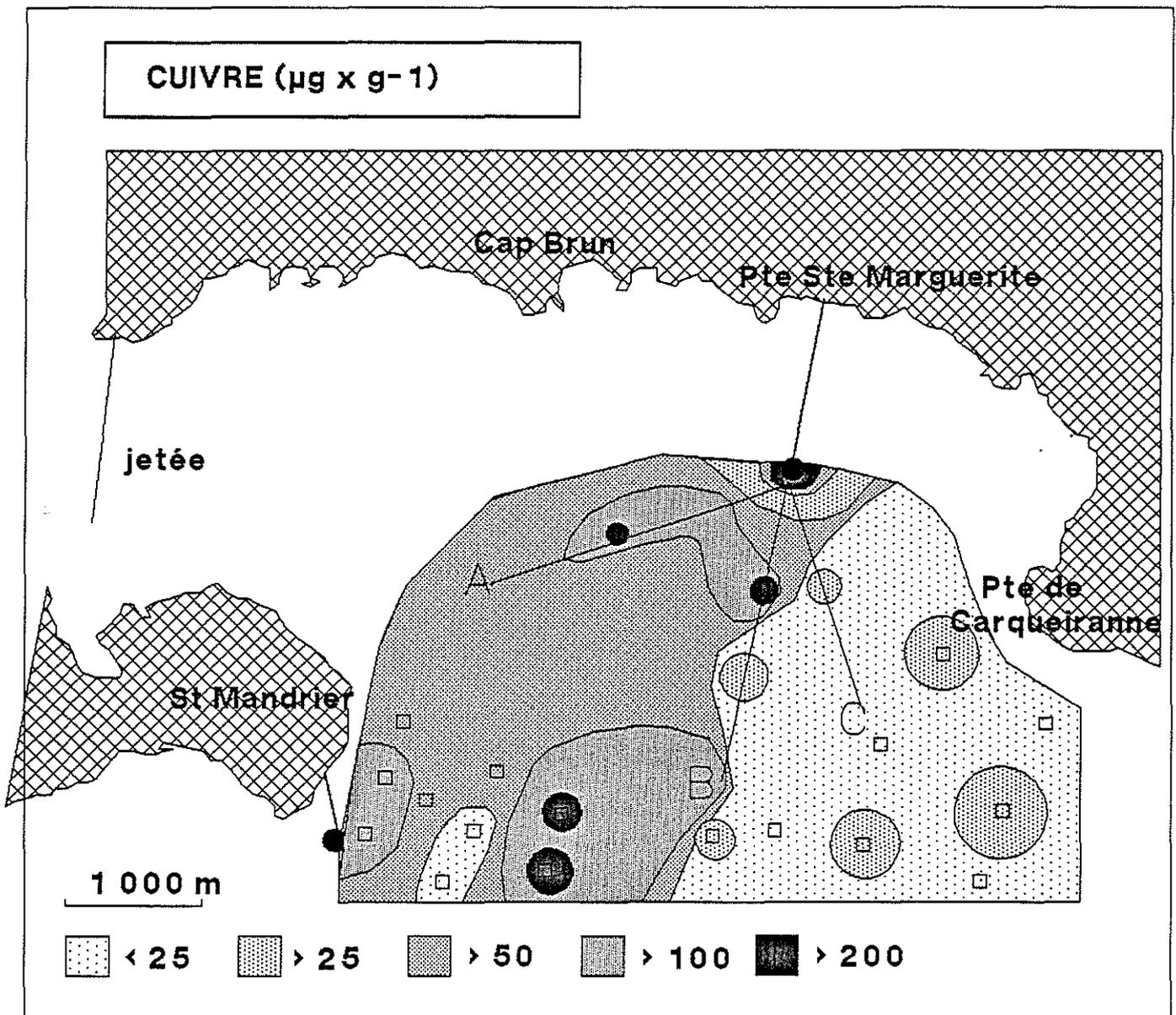


Figure 3.5 : Carte de répartition du cuivre dans la rade.

Il en est de même pour les PCB et les hydrocarbures dont les niveaux de concentration restent faibles par comparaison avec ceux trouvés dans d'autres secteurs (Ouest de la rade).

Le cas du fer mérite d'être envisagé individuellement car les sels de ce métal étant utilisés dans le traitement des effluents, il est logique d'en retrouver des quantités notables dans le rejet. Cet apport important constitue effectivement un traceur d'autant plus sensible et spécifique que les sédiments autochtones, dans la zone de rejet, sont relativement plus pauvres en fer. Il est intéressant de noter que, du fait même de la nature physico-chimique des dérivés ferriques déversés, ils sont peu représentés dans le dépôt grossier proche du débouché de l'émissaire ; par contre, ils subissent une floculation et, par conséquent, une décantation progressive conduisant à un gradient avec un maximum nettement identifiable sur chacune des trois radiales et un retour plus ou moins rapide aux valeurs propres aux sédiments autochtones (sauf dans le cas de la radiale B qui rejoint la zone à forte teneur en fer identifiée en tête du canyon de Toulon).

Il est donc possible de délimiter, grâce à la distribution du fer, la zone d'influence de l'émissaire que l'on peut estimer à environ 1 500 m vers le SW et vers le Sud, et à 1 000 m vers le SE. Dans ces trois directions, l'intensité de la décantation et l'importance du dépôt sont traduites par la distance à laquelle se situe le maximum de chaque graphique : 1 000 m vers le SW, 750 m vers le Sud et 100 à 250 m vers le SE.

Pour le manganèse, l'influence des apports de l'émissaire est très rapidement compensée par les apports du large, ce qui conduit à des gradients totalement inversés sur les radiales B et C, alors que celui correspondant à la radiale A est fortement atténué ou annulé.

Les cartes de distribution (annexe 3.4) confirment et précisent le domaine couvert par l'expansion préférentielle d'une plage de pollution s'étirant vers le SW et s'individualisant jusqu'à une distance d'environ 1 500 à 2 000 m. Au-delà, elle se confond avec la pollution importante qui s'étale autour de la presqu'île de Saint Mandrier.

Au Sud, l'auréole de pollution est beaucoup plus réduite, mais le niveau global de pollution traduit par l'indice de contamination, y atteint des valeurs du même ordre de grandeur que celles trouvées à l'Ouest (figure 3.6). Par contre, à l'Est, la contamination des sédiments est beaucoup plus discrète et n'est perceptible que pour Cu, Pb, Hg et Fe. Seule exception, les PCB sont présents dans ce secteur alors qu'ils sont pratiquement absents le long de la radiale B.

3.4 - CONCLUSION

En ce qui concerne les contaminants organiques et métalliques, l'impact de l'émissaire de Toulon-Est sur les fonds de la rade de Toulon semble assez limité aussi bien du point de vue spatial que quantitatif. En effet, sa dispersion ne dépasse pas 1500 à 500 m suivant la direction envisagée. Par ailleurs, les concentrations mises en évidence, si elles permettent de délimiter le domaine atteint, sont souvent inférieures à celles trouvées dans d'autres secteurs pris en référence, telle que la zone située autour de la presqu'île de Saint Mandrier.

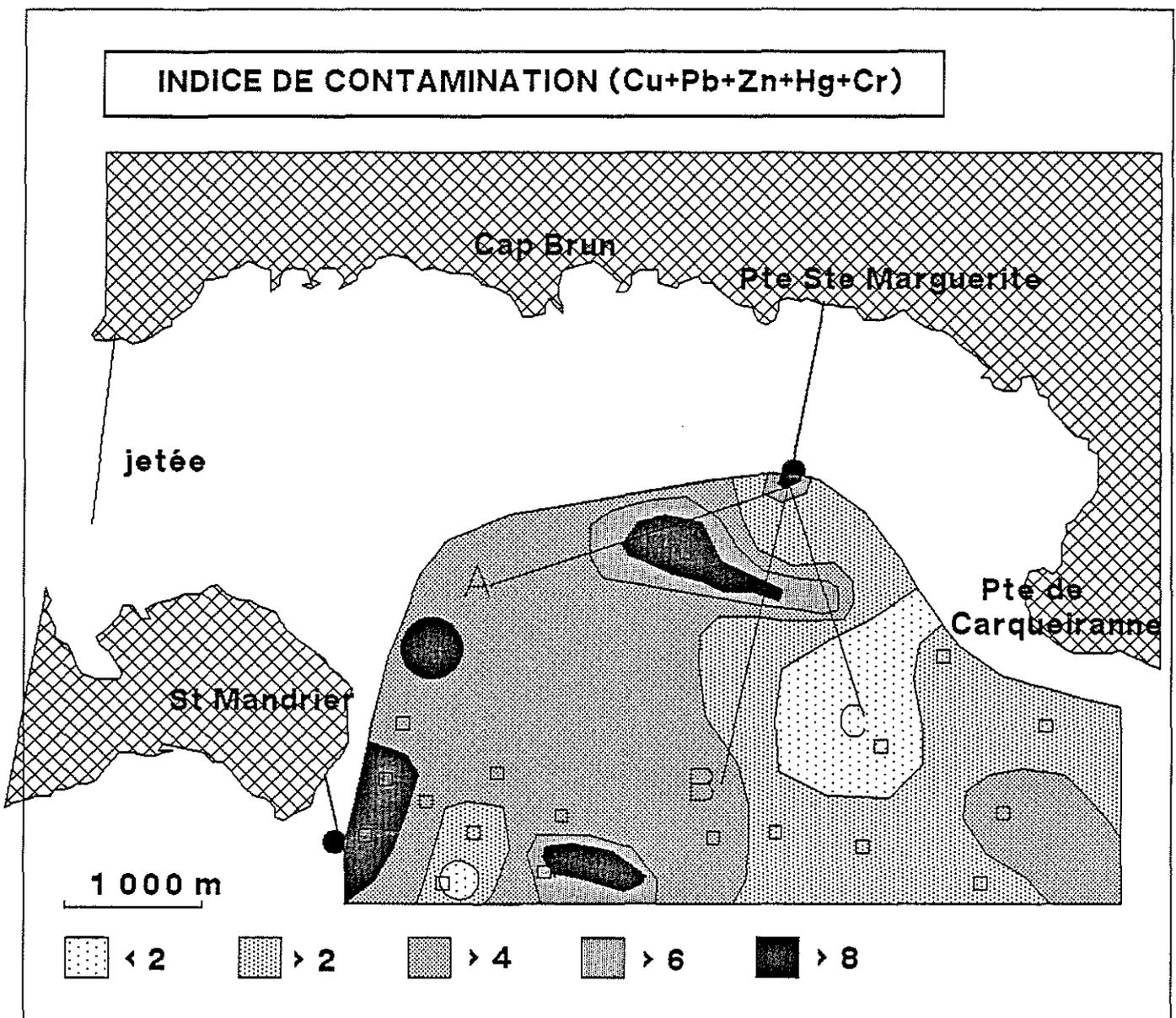


Figure 3.6 : Indice de contamination dans la rade.

CHAPITRE 4 : BACTERIOLOGIE

4.1 - METHODOLOGIE

1.1 - Bactéries témoins de contamination fécale

Le dénombrement des unités formant colonies (UFC) de coliformes fécaux et streptocoques fécaux a été effectué sur des milieux de culture gélosés couramment utilisés :

Coliformes fécaux : sur gélose TTC Tergicol (Tergicol 7 Agar BBL) incubés à 44,5°C pendant 24 h.

Streptocoques fécaux : sur gélose D coccosel (bio Mérioux) incubés à 37°C pendant 24 h.

1.2 - Bactéries hétérotrophes viables (B.H.A.)

La numération des bactéries hétérotrophes viables a été réalisée sur milieu Oppenheimer et Zobell 2216 E avec une incubation minimale de 15 jours à la température du laboratoire.

1.3 - Caractérisation de souches bactériennes

Au niveau de certaines stations, des colonies bactériennes ont été prélevées sur milieu de Zobell, selon un protocole d'échantillonnage déjà défini (Martin et Bianchi, 1980).

Après purification, les souches isolées ont été caractérisées afin d'analyser leurs propriétés et particulièrement leur résistance à différents toxiques organiques ou minéraux selon le protocole suivant :

- Caractères physiologiques et culturels : oxydase, équipement en exoenzyme (protéase, amylase, DNase, Tween-estérase), croissance à salinité nulle, croissance à 4°C, 37°C et 45°C.
- Résistance à différents toxiques organiques et aux métaux. Les toxiques sont additionnés au milieu de Zobell à une concentration de 500 mg/l pour les composés organiques et à des concentrations de 10 à 500 mg/l pour les métaux ainsi qu'il est indiqué ci-après :

. microcontaminants organiques (500 mg/l)

- alkylbenzène sulfonate (BEN)
- laurylsulfate (LAU)
- phényl carbamate (P. CAR)
- dieldrine (DDT/DIEL)
- phénol (PHEN)
- phthalate (PHTA)
- aniline (ANIL)

. métaux

- cobalt		100 mg/l
- cuivre		100 mg/l
- zinc	10 et	100 mg/l
- étain	10 et	100 mg/l
- chrome	10 et	100 mg/l
- plomb	100 et	500 mg/l
- cadmium	10 et	100 mg/l
- mercure	10 et	100 mg/l

Lors de la campagne d'avril 88, on a également isolé des souches bactériennes de l'effluent et d'une eau de mer de référence afin d'en comparer les propriétés à celles des souches des sédiments. Lors de la campagne de juin 89, l'étude des souches isolées n'a porté que sur la résistance aux détergents anioniques.

Les capacités de développement des souches sont notées après 15 jours d'incubation.

4.2 - RESULTATS

4.2.1 - Dénombrements

Les résultats des deux campagnes (avril 88 et juin 89) sont reportés dans les annexes 4.01 et 4.02.

Bactéries témoin de contamination fécale

On constate que le niveau de contamination reste faible dans les sédiments avec toutefois des valeurs plus élevées pour les streptocoques fécaux que pour les coliformes fécaux. La contamination décelable reste localisée près de l'émissaire pour les coliformes fécaux (station 5 à 7 pour la première campagne, dans les 10 premiers mètres pour la seconde). Le niveau général de pollution est plus étendu pour les streptocoques fécaux avec, hors de la zone proche de l'émissaire, une présence faible (quelques unités par gramme de sédiment) mais persistante (présence dans les échantillons de référence).

Bactéries hétérotrophes viables

Dans la première campagne, on note peu de différences sur le plan quantitatif entre les stations, avec des concentrations de l'ordre de 10^5 à 10^6 bactéries/g. Comparativement les abondances mesurées dans l'eau de mer sont très inférieures (10^2 à 10^3 bact./ml), et restent du même ordre de grandeur dans l'effluent ($3 \cdot 10^6$ bact./ml).

Au mois de juin 89, on trouve des concentrations bactériennes assez proches de celles obtenues précédemment. On ne constate pas de variations significatives entre les stations qu'elles soient situées sur les 3 radiales ou dans les échantillons de référence.

4.2.2 - Etude qualitative

Campagne des 21 et 22.04.88

Au plan qualitatif, l'étude des 260 souches isolées montre également peu de différences a priori entre les prélèvements (Annexe 4.03). On relève cependant la capacité des souches de l'effluent à cultiver à 0 ‰ de salinité, propriété logiquement moins répandue dans les autres stations. Par contre, il existe plus de souches capables de cultiver à 4°C dans le milieu marin (eau de mer et sédiments) que dans l'effluent. De même, l'équipement en exoenzymes des souches est plus réduit dans l'effluent que dans l'eau de mer mais il en est de même à certaines stations du sédiment. Il apparaît également des différences entre l'effluent et l'eau de mer ou encore entre certaines stations du sédiment au niveau de la résistance à certains toxiques organiques, avec une sensibilité moindre pour les souches de l'effluent. On peut être surpris de la capacité de nombreuses souches à résister à des concentrations élevées de métaux, mais il y a là aussi des différences entre les prélèvements.

Afin d'évaluer les niveaux de ressemblance entre les stations, on a effectué une analyse en composantes principales sur les données du tableau en utilisant les pourcentages de fréquence de chaque caractère testé pour définir les stations. On obtient ainsi 4 groupes bien séparés selon les axes 1 et 2 de la représentation de l'analyse avec :

- l'eau de mer
- l'effluent
- les stations Sédiment proche
S 50, 51, 55, 6, 7
- les stations Sédiment lointain
S1, 2, 3, 4, 9

Compte tenu de ces résultats, on a procédé à des regroupements entre les stations pour tenter de mettre en exergue leurs propriétés moyennes et donc leurs différences éventuelles (Annexe 4.04).

En dehors de quelques propriétés physiologiques différentes entre les quatre groupes, les points les plus remarquables concernent surtout les propriétés de résistance. Dans l'ensemble, les souches de l'effluent présentent les meilleures capacités d'adaptation aux toxiques proposés.

D'une façon générale, la résistance aux métaux est élevée mais les souches isolées de l'eau de mer comme de l'effluent paraissent encore moins sensibles à ces toxiques que celles isolées des sédiments en particulier pour ce qui concerne le Zn, le Cu et le Cd. Il en est de même pour l'aniline et le phényl carbamate. Quoiqu'il en soit, le point le plus évident concerne la résistance aux détergents anioniques : les meilleures capacités de résistance sont trouvées dans l'effluent (75 %) et dans le sédiment proche (60-70 %) alors que pour les souches de l'eau de mer ou des sédiments lointains, la sensibilité est beaucoup plus élevée (de l'ordre de 90 % de souches sensibles).

C'est probablement là l'effet le plus notable de l'effluent sur les sédiments proches du point de rejet. Rappelons que les détergents constituent les polluants quantitativement les plus abondants dans les eaux usées et exercent sans doute une pression de sélection sur les bactéries proches de l'émissaire. Cependant, nous n'avons pas mis en évidence, lors de cette campagne, de souches capables de dégrader ou plutôt d'utiliser ces composés comme unique source de carbone et d'énergie dans les sédiments proches. En fait, de telles souches sont également peu fréquentes dans l'effluent (5 % capables d'utiliser le Lauryl sulfate et 3 % pour le benzène sulfonate).

Campagnes de juin 1989

On a également prélevé des souches bactériennes à différents niveaux sur les 3 radiales qui, après purification, ont été testées sur le plan de leur aptitude à résister aux détergents anioniques et à les dégrader. 303 souches ont été ainsi isolées selon :

- de 0 à 100 m : prélèvements sur A 10 m (14 souches), A 25 m (14), A 50 m (15), A 100 m (17) ; B 10 m (17), B 100 m (18) ; C 25 m (16), C 100 m (10).
- à 250 m : A 250 m (19).
- à 500 m : A 500 m (19 souches), B 500 m (14), C 500 m (13).
- à 1 000 m : A 1 000 m (20), B 1 000 (14), C 1 000 m (20).
- à 2 000 m : A 2 000 m (15).
- aux références : R4 (17 souches), R7 (16), R10 (16 souches).

Au plan de la résistance des bactéries aux détergents anioniques (Tableau 4.5 en annexe 4.1), il semble exister un gradient depuis l'émissaire jusqu'aux références, comme le suggèrent les résultats obtenus à la première campagne. En effet, si l'on excepte le prélèvement effectué à 2 000 m qui n'est représenté que par 15 souches et dont l'intervalle de confiance de la moyenne est très étendu, on passe environ de 15 % de souches résistantes au lauryl sulfate ou au benzène sulfonate dans la zone 0-100 m à 2 % dans les références (Figure 4.1). Il en est à peu près de même en ce qui concerne les capacités de dégradation des détergents par les souches isolées. On retrouve donc des résultats similaires à ceux obtenus lors de la première campagne avec toutefois une fréquence des souches résistantes beaucoup plus faible dans le sédiment proche de l'émissaire (15 % ici) qu'au printemps 1988 (65 % environ). Nous n'avons pas d'hypothèses précises à formuler sur cette différence pour l'instant.

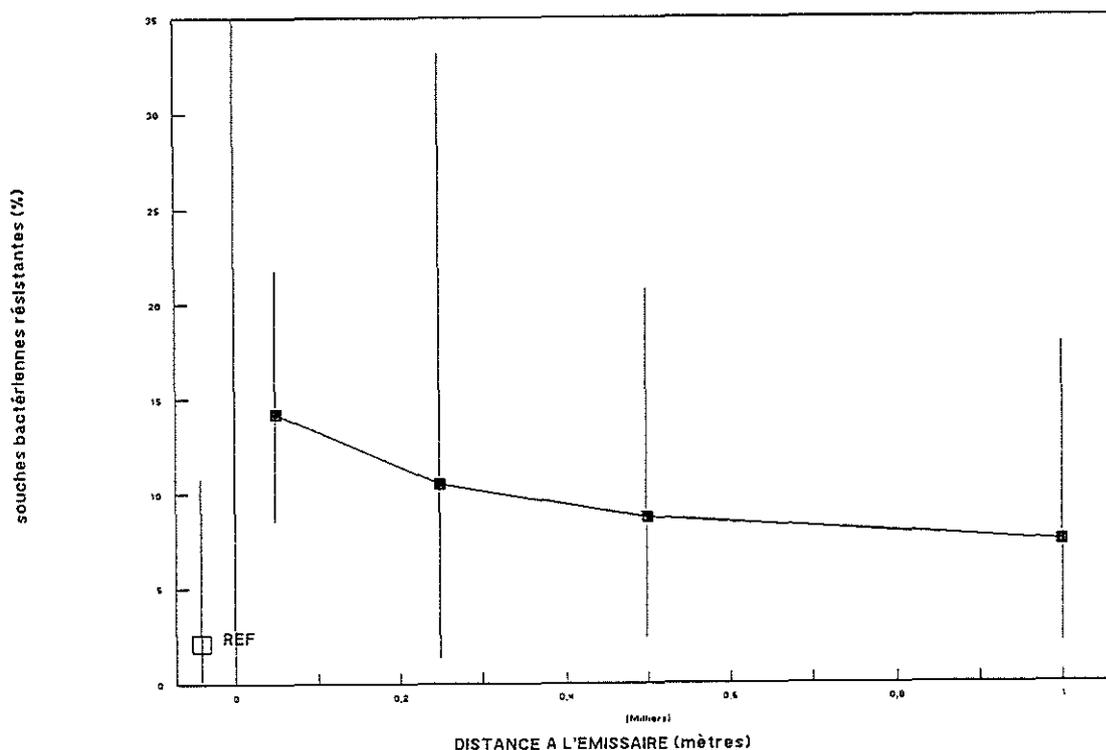


Figure 4.1 : Résistance des souches bactériennes au Lauryl-sulfate selon la distance au rejet.

4.3 - CONCLUSIONS

En définitive, au moins sur les aspects bactériologiques ici analysés, ces données ne suggèrent pas une contamination notable des sédiments soumis au rejet par les microorganismes d'intérêt sanitaire recherchés. Ces observations rejoignent celles de EVISON et TOSTI (1980) qui, dans la zone polluée qu'ils ont étudiée dans la baie de Naples, relèvent une faible contamination des sédiments, qu'ils attribuent à une faible vitesse, voire à une absence de sédimentation bactérienne. Les résultats que nous avons obtenus ne paraissent pas invraisemblables si l'on considère d'une part la proportion de bactéries libres ou en amas inférieurs à 3 μm rejetés par l'émissaire qui sédimenteront sans doute très lentement, et d'autre part l'épaisseur de la couche d'eau à traverser depuis la surface (> 40 m) et sa faible turbidité qui autorise apparemment une action débilante voire inhibitrice de la lumière solaire sur ces bactéries jusqu'à des profondeurs importantes comme nous l'avons vu.

Quoiqu'encore relativement modeste, l'impact le plus évident du rejet paraît s'exercer sur la sélection de souches bactériennes aptes à résister et à dégrader les détergents anioniques, au moins pour les fonctions que nous avons étudiées dans le cadre de ce travail. Ce résultat paraît logique dans la mesure où ces détergents représentent les micro-contaminants chimiques les plus abondants dans le rejet. Cette réponse des communautés bactériennes est peut-être bénéfique a priori si on l'envisage du point de vue des capacités d'acceptation ou d'autoépuration du milieu. En fait on ne connaît pas ses conséquences réelles en l'absence d'investigations plus poussées non conduites ici. Cette sélection pourrait également avoir des conséquences négatives plus ou moins masquées : possibilités d'acquisition de plasmides de résistances transférables également capables d'induire des propriétés de résistance à d'autres agents chimiques inhibiteurs d'intérêt sanitaire tels que des antiseptiques ou des antibiotiques ; possibilité de sélection de souches pathogènes multirésistantes comme certains *P. aeruginosa* ainsi que nous l'ont montré des essais en laboratoire et qui pourrait conduire à la formation de réservoirs d'agents pathogènes in situ ; possibilité d'élaboration de composés de biodégradation plus ou moins toxiques pour la flore ou la faune. Nous ne disposons pas d'éléments pour étayer ou informer ces quelques réflexions.

CHAPITRE 5 : TOXICOLOGIE

5.1 - METHODOLOGIE

La toxicité des sédiments prélevés a été mesurée sur des embryons et des spermatozoïdes d'oursins (*Sphaerechinus granularis*) selon une méthodologie développée par PAGANO et al (1983, 1986, 1989 et 1991) :

On dépose 0,5 g de sédiment total dans un flacon de 50 ml d'eau de mer. Les essais d'embryotoxicité ont été conduits en ajoutant une quantité fixe d'embryons correspondant à une concentration finale de 200 à 300 embryons/ml. Le milieu est maintenu à $18 \pm 1^\circ\text{C}$ jusqu'au stade larvaire de pluteus observé environ 72 heures après la fécondation. On stoppe le développement des larves par injection de sel de chrome (III) puis on détermine la fréquence des populations normales, retardées (R), malformées (P1) ou incapables d'atteindre le stade de pluteus (P2) ou mortes (D).

Pour les essais de spermioxicité on a remplacé les embryons par une suspension de sperme (20 $\mu\text{l/ml}$). Après une trentaine de minutes de traitement, 200 μl de la suspension sont mis en contact avec des oeufs non traités. Les altérations sont déterminées selon la capacité fécondante des spermatozoïdes et la qualité des larves, comme pour un test d'embryotoxicité.

5.2 - RESULTATS

Si les analyses conduites sur les spermatozoïdes de *S. granularis* n'ont pas permis de mettre en évidence un quelconque effet toxique des sédiments, il n'en va pas de même sur les embryons (3).

Les expériences d'embryotoxicité sur les différents prélèvements de sédiments superficiels montrent en effet une distribution irrégulière en fonction de la distance au point de rejet (figures 5.1 et 5.2).

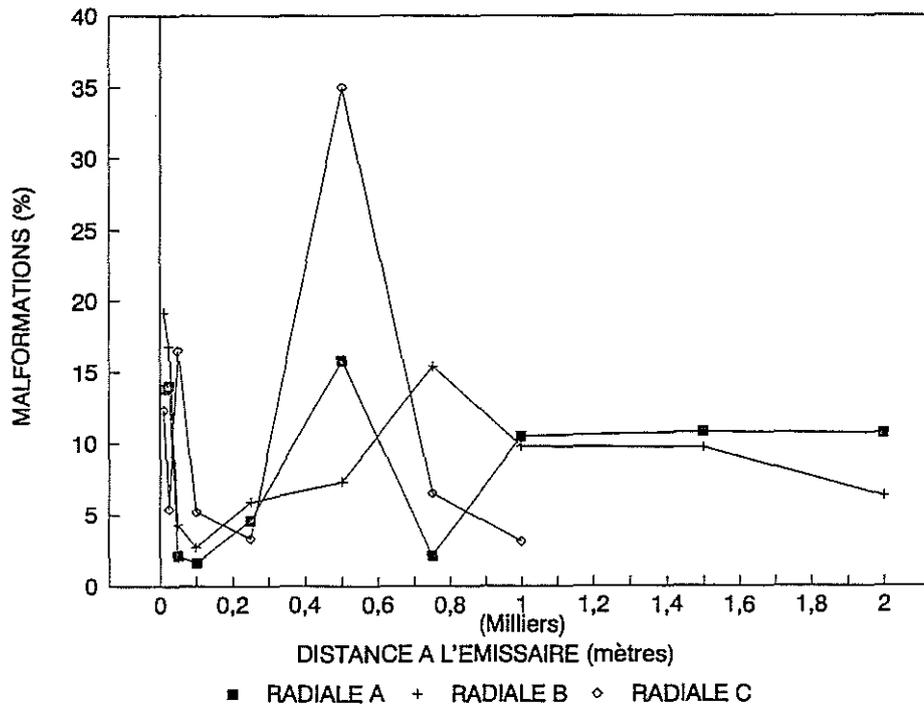


Figure 5.1 : Taux de malformation (P1) des larves de *S. granularis* selon la distance au rejet.

(3) Ce paradoxe a déjà été mis en évidence lors de récentes expériences sur des sédiments fluviaux du Volturno et du Sarno (Campanie, Italie). Il pourrait s'expliquer par le contact direct et prolongé des embryons avec le sédiment pendant la phase de mitose (jusqu'à 10 heures après la fécondation) et éventuellement aussi par la faible biodisponibilité dans la phase eau de xénobiotiques liés au sédiment.

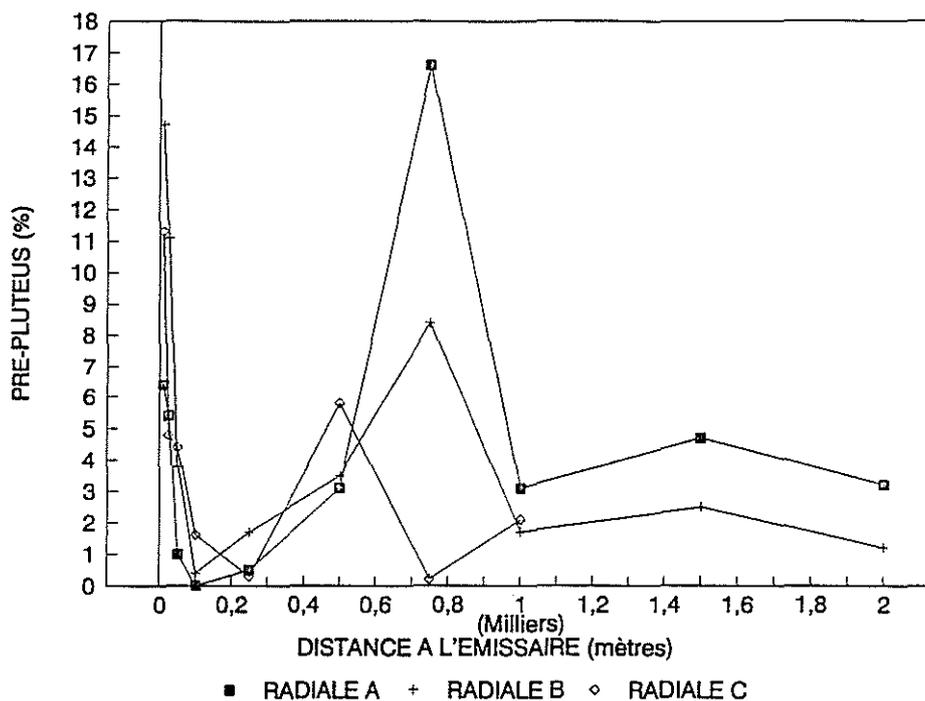


Figure 5.2 : Taux d'arrêts de développement larvaire (P2) selon la distance au rejet.

Les fréquences d'anomalies larvaires (P1) ou les arrêts de développement (P2) présentent un maximum dans la partie proximale des radiales : P1 = $13 \pm 1,4$ % et P2 = $7,3 \pm 1,0$ % dans les premiers cinquante mètres.

Après un minimum d'effet vers 100 mètres, les taux atteignent des valeurs maximales à 500 mètres (radiales A et C) et 750 mètres (radiale B) aussi bien en ce qui concerne les anomalies larvaires (35 % sur la radiale C) que les arrêts de développement (8,4 % sur la radiale B).

La partie distale des radiales présente, à partir de 1 000 mètres, des taux voisins de ceux que l'on peut observer dans les stations de référence, et en particulier dans la partie orientale de la rade (figure 5.3). On observera ici une toxicité des sédiments plus importante à l'Ouest de la rade que nous mettrons en relation avec les observations faites lors des analyses des contaminants métalliques (cf chapitre 3).

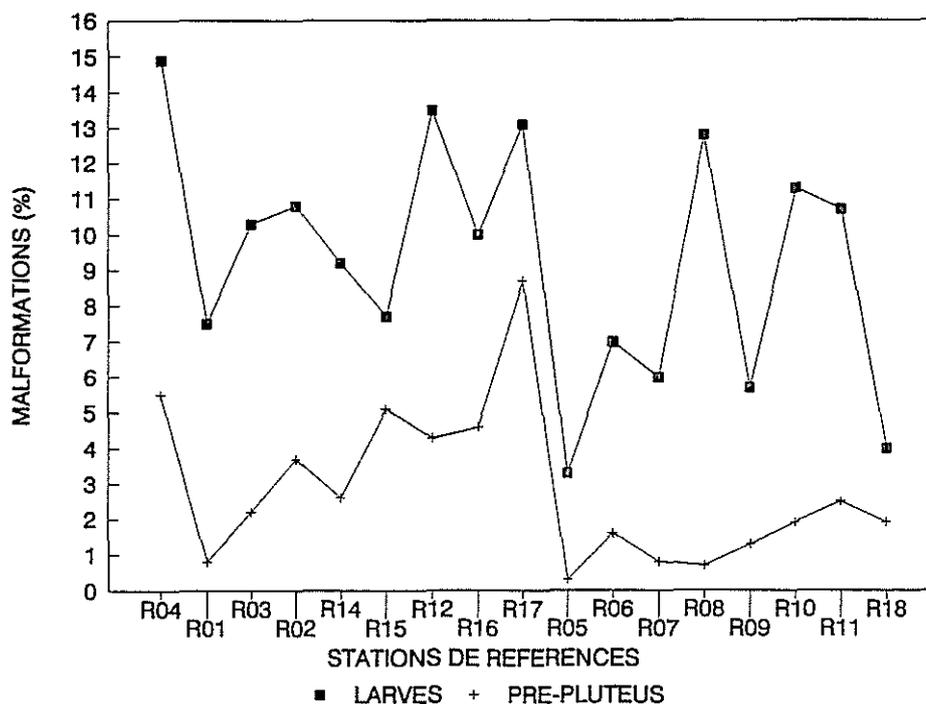


Figure 5.3 : Taux d'arrêts de développement larvaire (P2) dans les stations de référence.

La répartition géographique de ces résultats (figures 5.4 et 5.5) met en évidence une auréole toxique entre 500 et 750 mètres du rejet de la station d'épuration. Au-delà de la signature du rejet de la presqu'île de Saint Mandrier, particulièrement dans la répartition du stade pré-pluteus, nous voyons apparaître également un couloir de toxicité qui contraste avec un bruit de fond plus particulièrement développé dans la partie occidentale de la rade.

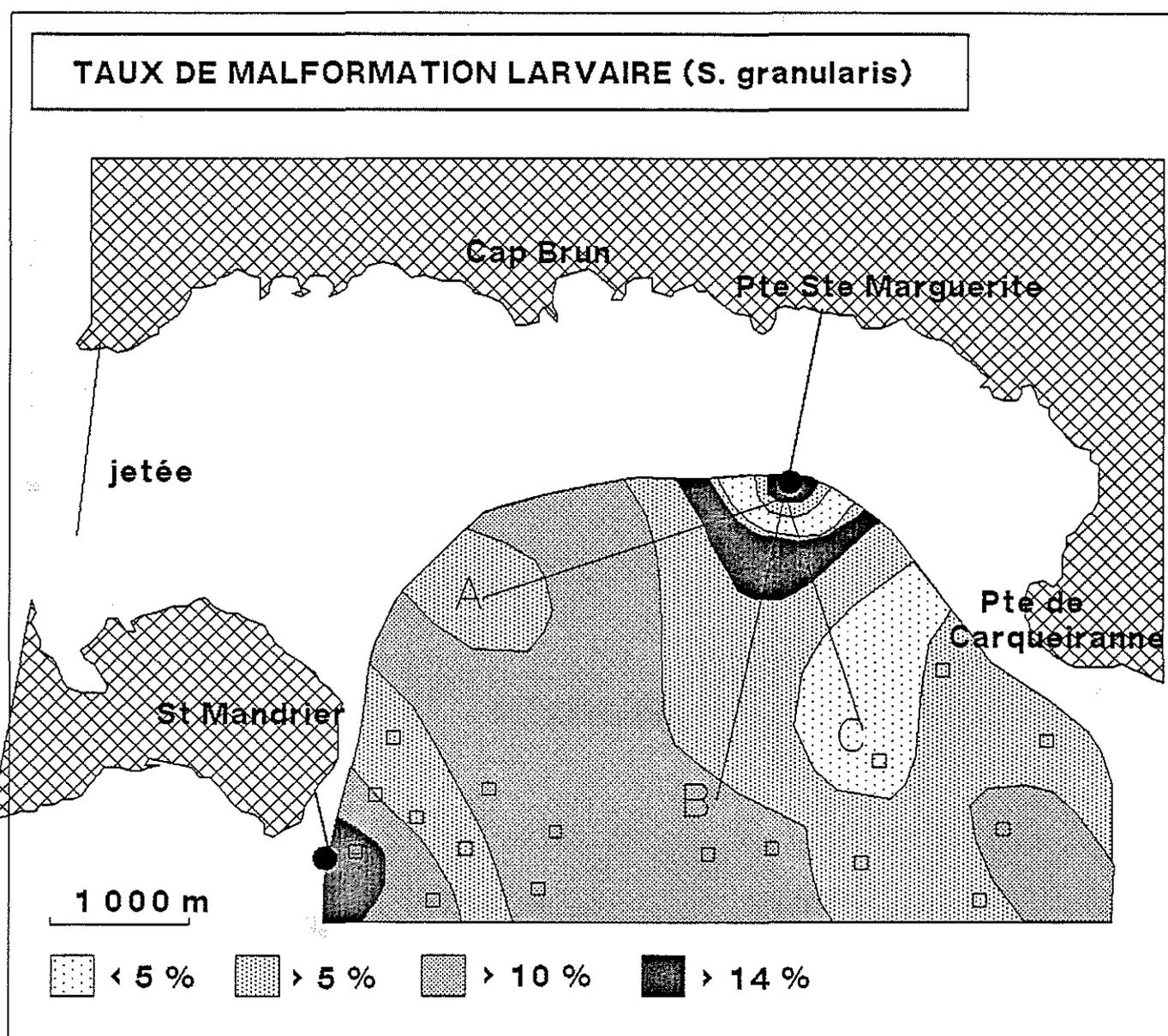


Figure 5.4 : Carte de répartition des taux de malformations (P1) dans la rade.

5.3 - CONCLUSION

La toxicité des sédiments superficiels, même si elle peut apparaître comme limitée tant dans son extension géographique que dans son importance quantitative, permet de bien marquer le(s) rejet(s) étudié(s) en particulier et la contamination chimique de la rade de TOULON en général. De plus ces résultats sont très cohérents, au-delà de la partie proximale du (des) rejet(s), avec les taux d'envasements et les indices de contamination.

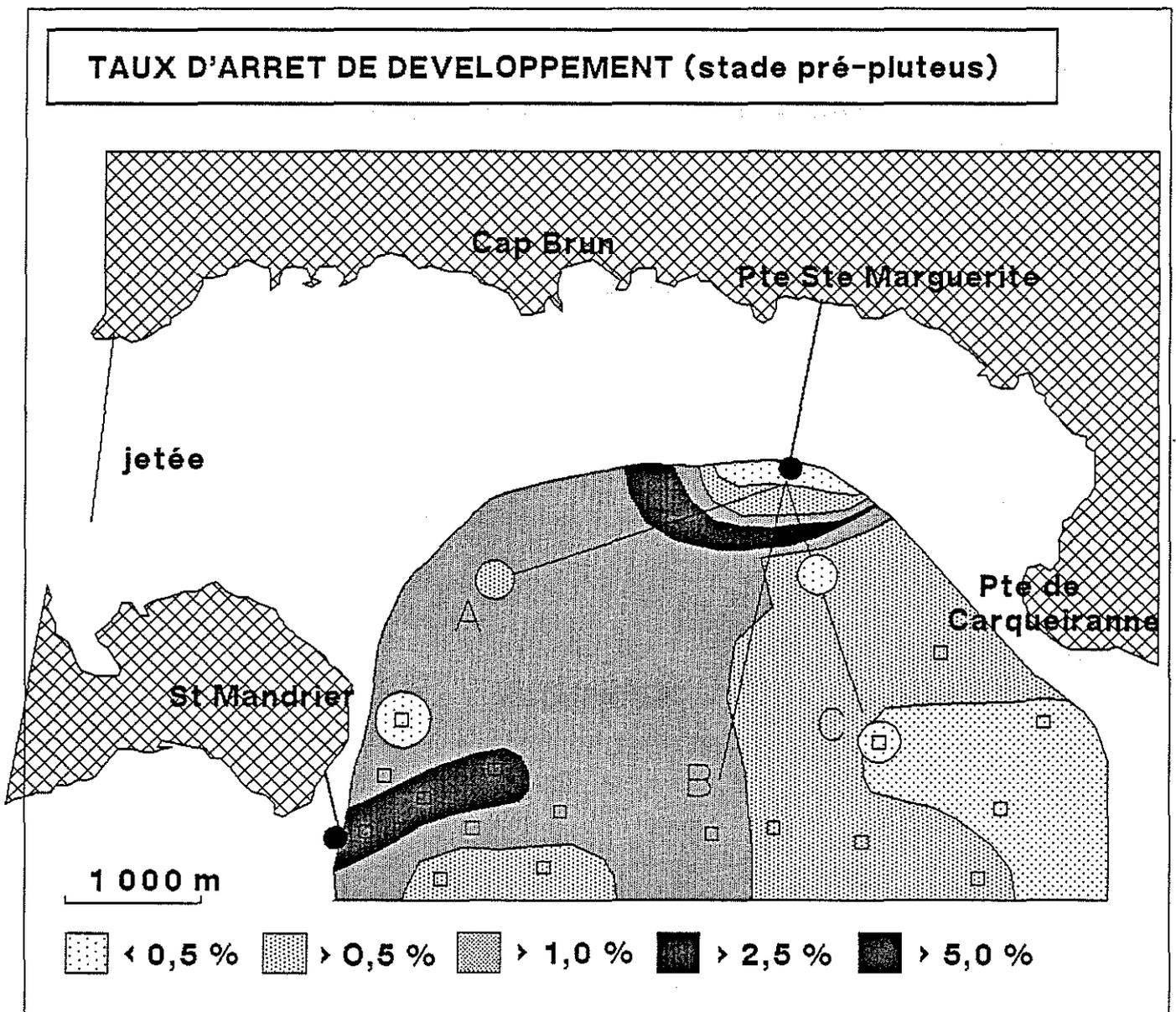


Figure 5.5 : Carte de répartition des taux d'arrêts de développement larvaire dans la rade.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude des apports particuliers de la station d'épuration de Toulon-Est et des polluants qui leur sont associés nous a permis d'acquérir des informations précises de leur impact sur les sédiments superficiels de la Grande Rade.

D'un point de vue technique, nous noterons en particulier la bonne cohérence des résultats quelle que soit la méthode d'approche utilisée : marquage radioactif des particules, analyses des contaminants chimiques, bactériologie et tests de toxicité sur les oursins ; ce qui a permis, de façon imprévue, de mettre en évidence l'effet d'un autre effluent au niveau de la presqu'île de St Mandrier.

D'un point de vue scientifique nous retiendrons principalement que, comme la campagne de marquage radioactif des particules l'a montré :

- 30 à 50 % des particules issues du rejet se déposent sur les fonds,
- en terme de bilan sédimentaire, les différentes campagnes de détection mettent en évidence une conservation globale des stocks au niveau des zones d'apport et d'érosion,
- ce renouvellement des dépôts superficiels issus du rejet est relativement rapide : les 2/3 des particules marquées ont disparu dans les 2 mois suivant la fin de l'injection et se trouvent disséminées, à très faible concentration, dans toute la rade, y compris dans la rade abri (baie du Lazaret),
- la zone de dépôt (9 km²), bien délimitée, est cohérente avec la courantologie locale en mettant en évidence un effet de cap au niveau de la pointe de Carqueiranne (décalage des dépôts vers l'Ouest de la rade) et des cellules de décantation en arrière de l'émissaire.

Cette cartographie a permis une campagne de prélèvements des sédiments contaminés qui, à travers la granulométrie, l'analyse des polluants métalliques et organiques, la caractérisation chimique de la matière organique, des tests d'embryotoxicité sur des oursins et la répartition des bactéries d'origine fécale, a fait apparaître:

- une prédominance de sables grossiers fortement carbonatés à l'Est et de sables graveleux moyennement carbonatés à l'Ouest,
- une distribution de l'envasement liée à la bathymétrie : le milieu de la rade de Toulon, plus plat, plus profond, favorisé par une moindre turbulence est le siège d'un plus fort taux d'envasement que le voisinage des caps à l'hydrodynamisme plus marqué. On notera le décalage de l'ensemble vers l'Ouest, conforme à la circulation générale,
- un taux maximal des particules <63 µm à 500 -750 mètres du point de rejet, formant une auréole devant le rejet surtout au niveau des radiales A et B,
- de très fortes teneurs en polluants métalliques à proximité immédiate du débouché où s'accumule un matériel grossier et hétérogène, puis, après une chute brutale des concentrations, un gradient inféodé à la granulométrie suivant les directions préférentielles de sédimentation,
- une zone particulièrement contaminée vers 500 mètres du point de rejet, correspondant à des taux d'envasement maxima,

- après une chute rapide des teneurs en matières organiques dans la première centaine de mètres du rejet, des valeurs maximales entre 500 et 1 000 mètres puis un retour à des valeurs proches de celles relevées dans les stations de référence,
- des teneurs maximales en lipides totaux à 750 mètres du rejet,
- un rapport des teneurs en hydroalcanes C 31/C 18 marquant la dispersion de l'effluent jusqu'à une distance de 500 mètres,
- un Carbon Preference Index (CPI) qui montre la prépondérance des alcanes d'origine terrigène sur les hydrocarbures pétroliers aux abords immédiats du point de rejet et vers 500 - 750 mètres,
- un taux de contamination bactérienne qui se confond rapidement avec le bruit de fond de la rade. De fait ces bactéries sédimentent lentement soit parce qu'elles sont à l'état libre dans le milieu, soit parce qu'elles sont adsorbées sur un matériel fin (75% sur < 3 µm), riche en matière organique et de faible densité (flocs), ce qui facilite leur dispersion sur l'ensemble de la zone étudiée,
- l'acquisition chez les bactéries pathogènes d'une forte résistance aux polluants métalliques et organiques, particulièrement aux détergents anioniques,
- une auréole particulièrement toxique vis-à-vis des embryons d'oursins entre 500 et 750 mètres du rejet. Cette toxicité est due, en partie au moins, à certaines substances provenant du chlorosulfate ferrique issues du traitement épuratoire (expériences in vitro),
- une relation certaine entre les taux de malformation larvaires et la répartition des vases dans un rayon de 1 000 mètres par rapport au rejet. Au delà, la stabilité de la toxicité indique une origine différente de l'envasement.

Nous pouvons conclure que l'impact du rejet de la station d'épuration de Toulon-Est sur les sédiments superficiels de la rade de Toulon paraît limité à une distance allant de 500 à 1 500 mètres selon les traceurs et la direction envisagée. Grâce à une dispersion efficace dans le milieu, les concentrations mesurées, si elles permettent de délimiter le domaine atteint, se confondent rapidement avec d'autres sources de pollution issues de la rade ou d'origine externe. Par ailleurs ces concentrations sont souvent inférieures à celles trouvées dans d'autres secteurs pris en référence.

BIBLIOGRAPHIE

1 SEDIMENTOLOGIE

BRISSET P. et HOSLIN R. (1989): Etude au moyen de traceurs radio-actifs des rejets urbains en mer Méditerranée. 4ième campagne expérimentale (octobre 1988-janvier 1989). 19 p., 26 fig., 7 tab. Commissariat à l'Energie Atomique. Rapport ORIS/SAR/S/89-104/B 83.

JEUDY de GRISSAC A. et TINE J. (1980): Géologie et sédimentologie littorale et marine de l'aire toulonnaise. 2 tomes, 254 p., 92 fig. Marine Nationale/Géomer.

LARSONNEUR C. (1977) : La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français : méthode mise au point et utilisée en Manche. J. rech. Océanogr. II (2), pp. 33-39.

2 MATIERES ORGANIQUE EXTRACTBLE

BODENNEC G. et LE GALL A. (1990) : Impact des rejets urbains de Toulon-Est sur les sédiments marins. Analyse de la matière organique extractible. 40 p., 6 fig., IFREMER/DRO/EL-90.17.

3 POLLUANTS ORGANIQUES ET METALLIQUES

4 BACTERIOLOGIE

EVISON et TOSTI, 1980. An appraisal of bacterial indicators of pollution in sea water. Prog. Wat. Tech., 12 : 591-599.

MARTIN Y.P. et BIANCHI A., 1980. Structure, Diversity, and Catabolic potentialities of Aerobic Heterotrophic Bacterial Populations Associated with Continous Cultures of Natural Marine Phytoplankton. Microb. Ecol. 5 : 265-279.

OPPENHEIMER C.H. et ZOBELL C.E., 1952. The growth and viability of sixty three species of marine bacteria as influenced by hydrostatic pressure. J. Mar. Res., 11 : 10-18.

5 TOXICOLOGIE

PAGANO G., ESPOSITO A., BOVE P., DE ANGELIS M., ROTA A. and GIORDANO G.G., 1973. The effects of hexavalent and trivalent chromium on fertilization and developpement in sea urchins. Environ. Res. 30:442-452.

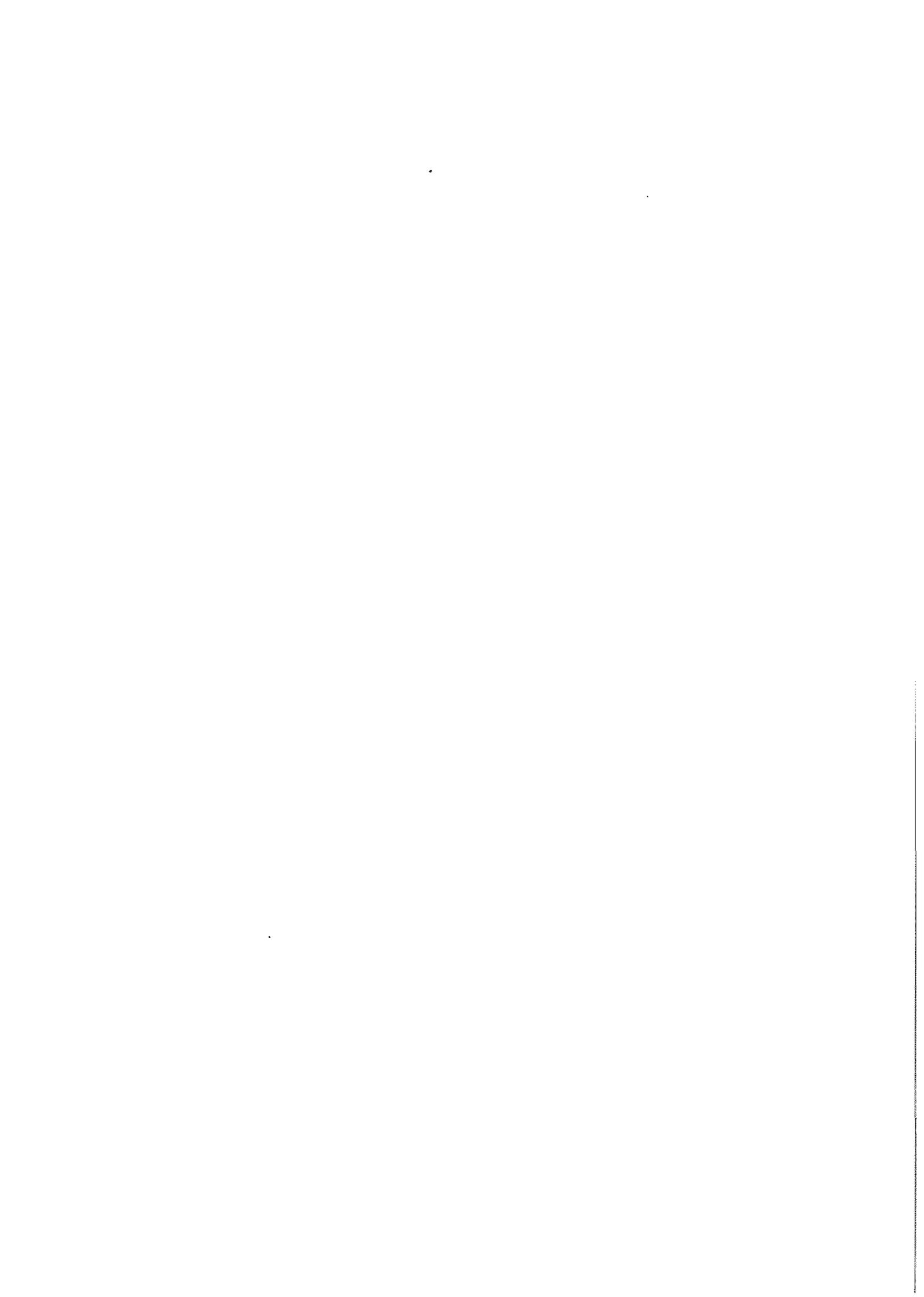
PAGANO G. CIPOLLARO M., CORSALE G., ESPOSITO A., RAGUCCI E., GIORDANO G.G. and TRIEFF N.M., 1986. The sea urchin : Biossay for the assessment of damage from environmental contaminants. In : J. Cairns, Jr. (Ed.) "Community Toxicity Testing". Association for standard Testing and Materials, Philadelphia, pp. 67-92.

PAGANO G., CORSALE G. DINNEL P.A., ESPOSITO A. and ROMANA, 1989. Use of sea urchin sperm and embryo bioassay in testing the sublethal toxicity of realistic pollutant levels. In : E. Grandjean (Ed.) "Carcinogenic, Mutagenic, and Teratogenic Marine Pollutants : Impact on Human Health and the Environment". WHO EURO/UNEP, Adv. Appl. Biotechnol. Ser. Vol 5, pp 153-164.

PAGANO G. and ROMANA L.A., 1991. L'utilisation des oursins de mer comme témoins de contamination. Océanis 17 : 367-381.



ANNEXES



ANNEXE 0

0.01 : Positionnement des stations de prélèvement.

ANNEXE 1

1.01 : Résultats granulométriques.

ANNEXE 2

- 2.01 : Composition de la mat. org. lipidique de la radiale A.
- 2.02 : Evolution des teneurs en mat. org. lipidique de la radiale A.
- 2.03 : Evolution des teneurs en mat. org. lipidique dans les sédiments prélevés en avril 1988.
- 2.04 : Evolution des teneurs en lipides et micro polluants de la radiale A.
- 2.05 : Coefficients de corrélation linéaire entre polluants et mat. org. de la radiale A.
- 2.06 : Evolution des teneurs moyennes et des coefficients de variation sur les radiales.
- 2.07 : Influence de la taille des particules sur les teneurs en hydrocarbures, mat. org. et lipides dans les sédiments.
- 2.08 : Evolution des teneurs en hydrocarbures de la radiale A.
- 2.09 : Paramètres chromatographiques des alcanes de la radiale A.
- 2.10 : Comparaison des teneurs en acides gras et en stéroïdes dans les sédiments.

ANNEXE 3

- 3.01 : Fraction > 2mm, matières calcinables, C organique, hydrocarbures totaux IR.
- 3.02 : Polychlorobiphényles : congénères et PCB totaux.
- 3.03 : Métaux (Cu, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Hg), indice de contamination.
- 3.04 : Résultats de la campagne d'avril 1988.
- 3.05 : Distribution des concentrations en contaminants dans les stations de référence.
- 3.06 : Evolution des concentrations en contaminants le long des radiales A, B, C.
- 3.07 : Cartes de distribution des principaux contaminants.

ANNEXE 4

- 4.01 : Concentrations bactériennes dénombrées dans le sédiment au cours des campagnes d'avril 88 et de juin 89.
- 4.02 : Abondance des bactéries (campagne d'avril 88).
- 4.03 : Caractères des populations bactériennes par groupe de stations (campagne d'avril 88).
- 4.04 : Résistance et capacité de dégradation des souches vis à vis des détergents anioniques (campagne de juin 89).

ANNEXE 5

- 5.01 : Fréquences de malformations larvaires et d'arrêts de développement (pré-pluteus) sur *S. granularis*.

Annexe 0.01 : Positionnement des stations de prélèvement

STATION	DISTANCE DU REJET	POSIT. X	POSIT. Y	PROFOND. Z
R04		5°57'17"	43°03'50"	60
R01		5°57'26"	43°04'18"	46
R03		5°57'40"	43°03'38"	80
R02		5°57'49"	43°04'16"	56
R14		5°57'50"	43°03'50"	78
R13		5°58'16"	43°03'39"	90
R15		5°57'39"	43°03'57"	70
R12		5°58'24"	43°03'56"	75
R16		5°57'24"	43°04'06"	50
R17		5°58'06"	43°04'06"	66
R05		6°00'16"	43°04'18"	60
R06		6°00'35"	43°04'33"	53
R07		6°01'08"	43°04'15"	54
R08		6°00'48"	43°03'54"	65
R09		6°00'10"	43°03'52"	75
R10		5°59'36"	43°03'54"	80
R11		5°59'14"	43°03'54"	80
R18		6°00'40"	43°03'42"	70
AP0010	10	5°59'38"	43°05'28"	43
AP0025	25	5°59'37"	43°05'28"	43
AB0050	50	5°59'36"	43°05'27"	43
AB0100	100	5°59'34"	43°05'26"	43
AB0250	250	5°59'28"	43°05'24"	44
AB0500	500	5°59'20"	43°05'22"	45
AB0750	750	5°59'08"	43°05'19"	46
AB1000	1000	5°58'58"	43°05'16"	47
AB1500	1500	5°58'36"	43°05'10"	48
AB2000	2000	5°58'16"	43°05'05"	49
AB2500	2500	5°58'56"	43°05'00"	52
BP0010	10	5°59'39"	43°05'28"	43
BP0025	25	5°59'39"	43°05'27"	43
BB0050	50	5°59'38"	43°05'25"	43
BB0100	100	5°59'38"	43°05'23"	43
BB0250	250	5°59'37"	43°05'18"	44
BB0500	500	5°59'35"	43°05'10"	46
BB0750	750	5°59'33"	43°05'02"	47
BB1000	1000	5°59'31"	43°04'54"	51
BB1500	1500	5°59'28"	43°04'38"	55
BB2000	2000	5°59'24"	43°04'22"	62
BB2500	2500	5°59'20"	43°04'08"	70
CP0010	10	5°59'40"	43°05'28"	43
CP0025	25	5°59'40"	43°05'27"	43
CB0050	50	5°59'41"	43°05'25"	43
CB0100	100	5°59'41"	43°05'23"	43
CB0250	250	5°59'44"	43°05'18"	44
CB0500	500	5°59'47"	43°05'10"	46
CB0750	750	5°59'51"	43°05'04"	46
CB1000	1000	5°59'54"	43°04'58"	46
CB1500	1500	6°00'02"	43°04'40"	52
CB2000	2000	6°00'10"	43°04'25"	55

Annexe 1.01 : Résultats granulométriques

STATION	CAILLOUTIGRAVIERS		S. GROS.	S. FINS	SABLONS
	%	%	%	%	%
R04	27,03	35,08	14,12	7,57	16,21
R01	36,70	14,83	12,15	12,37	23,94
R03	0,00	55,04	11,70	8,65	24,60
R02	4,48	41,47	15,13	12,50	26,41
R14	0,00	48,27	17,20	12,58	21,96
R13	0,00	38,51	32,84	14,66	14,00
R15	0,00	41,97	20,92	14,99	22,12
R12	0,00	31,53	18,53	22,28	27,66
R16	0,00	26,88	18,65	16,30	38,17
R17	0,00	18,65	26,87	21,31	33,17
R05	0,00	3,83	40,91	37,34	17,92
R06	0,00	17,86	33,09	32,13	16,93
R07	0,00	8,20	39,21	28,49	24,09
R08	0,00	13,47	46,13	24,07	16,33
R09	0,00	9,32	40,44	30,28	19,96
R10	0,00	14,37	38,59	26,22	20,82
R11	0,00	20,08	28,66	26,44	24,82
R18	0,00	13,00	43,22	26,55	17,22
AP0010	0,00	10,33	31,00	42,12	16,55
AP0025	0,00	12,66	48,75	27,85	10,74
AB0050	0,00	26,50	45,03	20,77	7,71
AB0100	0,00	12,55	52,18	23,73	11,54
AB0250	0,00	19,21	45,33	21,60	13,85
AB0500	0,00	66,03	18,38	9,05	6,54
AB0750	0,00	83,69	9,23	3,30	3,78
AB1000	0,00	48,44	17,34	17,58	16,64
AB1500	13,34	41,28	15,03	14,46	15,89
AB2000	0,00	53,56	15,88	14,08	16,48
AB2500	0,00	32,84	22,54	22,05	22,57
BP0010	0,00	31,21	60,39	7,30	1,10
BP0025	0,00	8,63	49,77	32,87	8,73
BB0050	0,00	8,84	53,24	27,41	10,51
BB0100	26,04	29,41	24,40	12,33	7,83
BB0250	13,60	14,97	33,53	20,78	17,13
BB0500	0,00	12,98	39,31	24,46	23,24
BB0750	3,52	45,95	23,94	12,77	13,82
BB1000	0,00	3,99	50,66	34,70	10,65
BB1500	0,00	16,48	39,00	25,77	18,74
BB2000	0,00	18,48	40,91	23,52	17,08
BB2500	0,00	11,30	36,22	20,65	31,83
CP0010	0,00	17,10	38,40	33,00	11,51
CP0025	0,00	13,61	49,31	25,84	11,23
CB0050	0,00	12,77	55,02	24,47	7,74
CB0100	0,00	6,11	49,54	32,12	12,23
CB0250	0,00	27,60	32,40	21,27	18,73
CB0500	0,00	24,22	35,92	23,80	16,05
CB0750	0,00	15,57	45,87	22,24	16,31
CB1000	0,00	7,62	35,80	27,60	28,97
CB1500	0,00	24,64	61,26	11,64	2,47
CB2000	0,00	10,32	44,94	29,43	15,32

Annexe 1.01 : Résultats granulométriques (suite)

STATION	MEDIANE µm	ENVASEMEN %	SILTS Diam µm	CaCO3 %	CATEG. GRANULO	CATEG. ENVASEMNT
R04	8000	10,91	4,20	33,0	Gravcail	peu env.
R01	4000	45,63	4,20	32,0	Gravcail	très env.
R03	3750	59,65	5,60	14,4	Grav	très env.
R02	1300	51,17	5,70	17,6	Sgrav	très env.
R14	1800	57,86	8,30	16,8	Sgrav	très env.
R13	1275	26,55	7,90	19,2	Sgrav	envasé
R15	1150	56,08	8,40	22,4	Sgrav	très env.
R12	500	52,17	8,40	28,8	Sgrav	très env.
R16	385	58,19	7,70	25,6	Sgrav	très env.
R17	410	64,46	8,10	32,8	Sgrav	très env.
R05	450	6,71	3,40	84,0	Sgros	non env.
R06	525	13,43	4,00	91,6	Sgrav	peu env.
R07	465	39,00	5,90	50,4	Sgros	envasé
R08	725	19,14	6,90	70,4	Sgros	peu env.
R09	495	12,54	5,00	63,2	Sgros	peu env.
R10	560	24,22	7,80	76,8	Sgros	envasé
R11	480	39,89	8,50	56,0	Sgrav	envasé
R18	630	12,18	5,30	82,8	Sgros	peu env.
AP0010	420	10,26	4,20	67,2	Sfin	peu env.
AP0025	695	7,89	4,20	68,0	Sgros	non env.
AB0050	950	8,56	4,20	66,4	Sgrav	non env.
AB0100	775	11,79	4,90	85,6	Sgros	peu env.
AB0250	800	29,84	5,60	52,8	Sgrav	envasé
AB0500	6500	36,78	8,40	29,2	Grav	envasé
AB0750	9500	38,38	8,50	28,8	Grav	envasé
AB1000	1800	37,47	6,00	33,6	Sgrav	envasé
AB1500	4000	67,06	7,10	32,8	Grav	très env.
AB2000	3000	58,50	6,60	29,6	Grav	très env.
AB2500	700	53,32	8,40	31,2	Sgrav	très env.
BP0010	1400	2,33	3,80	34,4	Sgrav	non env.
BP0025	630	6,00	4,20	73,6	Sgros	non env.
BB0050	700	7,32	4,10	80,8	Sgros	non env.
BB0100	5500	18,20	6,00	64,8	Gravcail	peu env.
BB0250	840	41,75	6,90	59,2	Sgrav	très env.
BB0500	560	45,00	7,70	44,0	Sgros	très env.
BB0750	1960	61,66	7,70	32,0	Sgrav	très env.
BB1000	560	5,37	4,40	78,4	Sgros	non env.
BB1500	625	35,46	9,10	61,6	Sgrav	envasé
BB2000	700	41,12	7,50	48,0	Sgrav	très env.
BB2500	450	40,11	7,40	54,4	Sgros	très env.
CP0010	620	10,92	4,30	35,2	Sgrav	peu env.
CP0025	740	7,98	4,60	67,2	Sgros	non env.
CB0050	800	8,33	4,50	75,2	Sgros	non env.
CB0100	600	17,06	4,40	71,2	Sgros	peu env.
CB0250	800	26,78	6,20	52,0	Sgrav	envasé
CB0500	740	39,02	6,00	60,8	Sgrav	envasé
CB0750	750	25,58	5,50	55,2	Sgrav	envasé
CB1000	395	10,73	4,40	72,0	Sgros	peu env.
CB1500	1250	5,24	4,30	81,6	Sgrav	non env.
CB2000	600	17,77	4,30	64,0	Sgros	peu env.

Annexe 2.01

Composition de la matière organique lipidique de la radiale A (mg/kg sédiment sec)

Echantillon	MOES	Pig	HC	Lipides Totaux	Répartition en classes lipidiques (%)					
					WE	TG	AGL	ST	DG	PL
AP 10	834	448	160	226	6	23	27	26	15	3
AP 25	981	522	137	322	9	28	19	19	18	7
AB 50	663	337	85	241	8	23	32	18	10	8
AB 100	461	255	79	127	9	36	22	11	10	11
AB 250	566	412	72	82	12	26	19	13	18	12
AB 500	793	376	136	281	16	24	25	17	14	4
AB 750	900	472	120	308	15	39	16	12	13	5
AB 1 000	870	561	119	190	28	23	19	10	8	11
AB 1 500	798	370	128	301	16	33	20	12	13	5
AB 2 000	487	242	94	151	23	32	21	11	9	3
AB 2 500	303	125	45	133	24	25	37	5	7	2
R 5	128	68	24	36	25	28	17	5	22	2
R 8	238	138	40	60	13	35	22	17	10	3

Annexe 2.02

**Evolution des teneurs en matière organique lipidique de la radiale A, B, C
(valeurs en mg/kg poids sec)**

Echantillon	MOES	Pig	HC	Lipides Totaux	Répartition en classes lipidiques (%)						
					WE	TG	AGL	ST	DG	PL	
AP	10	975	430	215	330	2	37	27	17	10	7
AP	25	1 297	677	235	385	4	25	24	19	14	14
AP	50	594	364	79	151	6	26	15	25	13	15
AB	50	635	340	85	210	7	29	14	25	13	12
AB	100	342	177	60	105	15	26	14	25	13	12
AB	250	282	152	41	89	15	19	15	15	17	12
BP	10	1 656	550	516	590	3	38	19	23	10	8
BP	25	821	377	122	322	5	11	28	25	22	6
BP	50	692	471	80	141	21	23	8	13	22	10
BB	50	857	560	92	205	29	17	26	13	10	5
BB	100	515	331	94	90	11	16	32	17	12	13
BB	250	352	181	83	88	14	13	19	17	15	20
CP	10	1 547	525	431	591	6	32	24	26	10	2
CP	25	886	432	166	288	10	30	18	18	23	4
CP	50	379	202	75	102	14	18	26	15	17	11
CB	50	726	438	140	148	7	21	19	29	9	14
CB	100	285	138	72	75	21	17	20	16	17	10
CB	250	306	168	76	62	10	23	24	21	14	7

Annexe 2.03

**Evolution des teneurs en matière organique lipidique dans les sédiments prélevés en avril 1988
(valeurs en mg/kg poids sec)**

Echantillon	MOES	Pig	HC	Lipides Totaux	Répartition en classes lipidiques (%)					
					WE	TG	AGL	ST	DG	PL
S 1	205	113	35	57	12	27	26	12	21	2
SP 2	314	198	42	74	13	35	9	20	22	7
S 3	220	107	51	62	16	17	19	28	14	6
S 4	125	72	19	34	11	33	14	21	13	8
S 6	399	221	61	117	10	33	14	26	12	4
S 7	503	305	62	136	17	24	16	17	21	5
S 8	433	218	51	164	20	20	25	20	11	4
S 9	587	315	108	164	10	34	20	9	21	5

Annexe 2.04

**Evolution le long de la radiale A des teneurs en lipides et micropolluants dans les sédiments
(F < 2 mm)**

Distance (m)	A : F > 2 mm	B : MC	C : TG + WE	D : MOES/WE	E : HC/MOES	F : HC/TG + WE	G : PCB/MOES	H : Cu
10	17,1	13,1	62,8	6,3	0,19	2,55	80	135
25	6,8	10,8	90,9	9,1	0,14	1,51	105	132
50	6,4	5,4	75,8	12,3	0,13	1,12	4	85
100	8,8	7,6	57,8	6,0	0,17	1,37	1,2	141
250	20,4	10,3	30,8	5,5	0,13	2,34	7,3	37
500	51,8	12,1	112	6,5	0,17	1,21	8,2	102
750	11,2	13,1	165	6,9	0,13	0,72	9,8	138
1 000	8,8	16,3	96	5,3	0,14	1,24	9,9	271
1 500	25,9	10,9	147	7,3	0,15	0,87	6,5	79
2 000	24	12	84	4,0	0,14	1,12	5,8	54
2 500	23,5	9,6	65	3,1	0,15	0,69	5,6	51
R 05	8,3	6,1	19	2,1	0,19	1,26	3,1	12
R 08	14,6	10,5	29	2,3	0,17	1,39	38	44

- A : % Fraction > 2 mm (d'après Chapitre 3)
- B : % matière organique calcinable (d'après Chapitre 3)
- C : Teneur (mg/kg) en triglycérides + esters
- D : Rapport MOES x 10³/MC
- E : Hyd. Totaux (Iatroscan)/MOES
- G : PCB totaux x 10³/MOES
- H : Teneur (mg/kg) en cuivre (d'après Chapitre 3)

Annexe 2.05

**Coefficients de corrélation linéaire calculés sur les échantillons de la radiale A
(n = 13)**

CONTAMINANT	MC	MOES	LIPIDES	TG + WE	TG
Hydrocarbures totaux	0,61	0,94	0,75	0,67	0,71
PCB totaux	0,21	0,48	0,43	---	0,28
Cu	0,63	0,68	0,46	0,47	0,36
Pb	0,15	0,03	0,04	0,09	0,14

Annexe 2.06

**Evolution des teneurs moyennes (mg/kg sédiment sec)
et des coefficients de variation (CV %) le long des radiales**

DISTANCE (m)	MOES			LIPIDES			HYDROCARBURES		
	≤ 250	≤ 50	≥ 100	≤ 250	≤ 50	≥ 100	≤ 250	≤ 50	≥ 100
A	690 (56)	875 (38)	312 (14)	212 (57)	269 (40)	97 (12)	135 (52)	154 (54)	51 (25)
B	650 (30)	756 (13)	434 (26)	240 (80)	315 (63)	89 (2)	164 (105)	203 (103)	89 (9)
C	635 (73)	835 (60)	300 (5)	211 (96)	282 (78)	69 (13)	160 (87)	203 (77)	74 (4)
MOYENNE	665	822	350	221	290	85	153	187	71

Annexe 2.07

**Influence de la taille des particules sédimentaires (F)
sur les teneurs en hydrocarbures, moes, lipides dans les sédiments (mg/kg)**

Ech.	F (mm)	< F (%)	SFUV	CHROMATOGRAPHIE CCM-FID		
			HPA	HC	MOES	LIPIDES
AB 100	0,25	9,9	44	60	342	105
	0,50	35,3	61	95	436	130
	2	91,9	51	74	440	123
AB 250	0,25	37,5	71	41	282	89
	0,50	49,2	81	80	506	133
	2	81	63	55	556	89

Annexe 2.08

Comparaison des teneurs en hydrocarbures (mg/kg p.s.)

dans les sédiments de la radiale A (F < 2 mm)

ECHANTILLON	TECHNIQUE	SFUV	CCM-FID			IR (1)	
		HPA	HPA	H. Sat	IIC	IIC	IIC/CO
AP	10	107	30	130	160	168	30
AP	25	270	32	105	137	152	50
AB	50	193	31	54	85	23	18
AB	100	122	14	60	74	39	63
AB	250	146	8	47	55	43	24
AB	500	253	29	107	136	70	17
AB	750	268	23	97	120	101	27
AB	1 000	386	18	101	119	93	18
AB	1 500	180	18	110	128	82	25
AB	2 000	210	14	80	94	70	23
AB	2 500	85	13	32	45	15	7
R	5	13	2	23	25	12	25
R	8	43	5	35	40	23	9

(1) d'après Chapitre 3 : polluants organiques et métalliques

Annexe 2.09

Paramètres chromatographiques des alcanes dans les sédiments de la radiale A

ECHANTILLON		1er Pic n - alcane	C 16 / C 22	C 31 / C 18	C 18 (ng/g)	C 17 / Pr	CPI
AP	10	C10	3,0	25	26	1,69	0,98
AP	25	C13	1,92	20	33	1,75	0,65
AB	50	C16	0,60	6	25	1,30	0,79
AB	100	C16	0,73	2	19	0,59	1,07
AB	250	C20	---	---	---	---	1,19
AB	500	C13	0,10	0,47	21	0,58	0,60
AB	750	C11	1,54	0,70	36	1,90	0,68
AB	1 000	C12	1,0	0,24	55	1,67	1,98
AB	2 000	C14	1,07	0,11	32	0,56	2,70
AB	2 500	C14	1,04	0,37	8	0,49	1,20
R	5	C16	1,07	0,12	27	4,0	1,54
S	6	C14	1,29	0,07	33	3,3	2,3
S	9	C15	1,94	0,37	10	2,4	1,4

Annexe 2.10

Comparaison des teneurs en acides gras et en sterols dans les sédiments

ECHANTILLON	RESULTATS CPG APRES HYDROLYSE (mg / kg)											
	C	N	HC	LIPIDES	ACIDES GRAS			STEROLS				
	(mgC/g)	(mgN/g)	(mg/kg)	(mg/kg)	TOTAUX	C16	C18:1W7	TOTAUX	COPRO	$\frac{COPRO}{CHOL}$	B Site	
S1	8,1	0,53	35	57	37	8,1	2,1	4,9	0,46	0,42	0,47	
SP2	20,5	0,94	42	74	36	5,3	1,9	3,0	0,19	0,34	0,40	
S3	14	0,89	51	62	39	7,6	1,9	5,7	0,63	0,49	0,49	
S4	9,6	0,39	19	34	21	3,7	1,1	4,2	0,59	0,68	0,34	
S6	19,8	1,06	61	117	99	27	5,5	6,8	1,26	0,90	0,39	
S7	16,5	0,73	62	136	39	7	2,1	5,8	0,91	0,76	0,51	
S8	21,1	0,92	51	164	32	5,9	1,0	5,2	0,68	0,52	0,32	
S9	58,6	1,44	108	164	68	10,4	2,8	3,4	0,40	0,49	0,31	

Annexe 3.01

Fraction > 2 mm, matières calcinables, C organique, hydrocarbures totaux IR

ECHANTILLON	F>2 mm	M C 550	C org	HT IR
	%	%	%	$\mu\text{g.g}^{-1}$
R 01	35,7	12,25	2,95	39,0
R 02	30,6	8,98	2,19	7,8
R 03	19,9	11,56	4,03	3,3
R 04	30,8	10,34	6,40	63,4
R 05	4,3	6,11	0,47	1,2
R 06	18,5	9,54	1,87	24,9
R 07	7,4	7,28	1,29	5,9
R 08	13,5	10,46	2,56	2,3
R 09	13,7	9,28	1,55	5,6
R 10	8,0	8,26	1,07	29,0
R 11	17,3	10,15	2,30	3,9
R 12	22,4	10,02	3,43	14,0
R 13	32,2	5,66	1,57	10,9
R 14	19,8	10,08	2,98	35,9
R 15	22,6	7,45	1,25	4,7
R 16	8,4	11,09	3,37	31,5
R 17	39,9	6,58	2,02	12,5
R 18	13,0	6,72	0,97	2,5
AP 0010	17,1	13,12	5,50	16,8
AP 0025		10,77	3,04	15,2
AB 0050	6,4	5,40	1,31	2,3
AB 0100	8,8	7,64	0,62	3,9
AB 0250	20,4	10,28	1,82	4,3
AB 0500	51,8	12,15	4,11	7,0
AB 0750	11,2	13,05	3,81	10,1
AB 1000	8,8	16,29	5,26	9,3
AB 1500	25,9	10,88	3,32	8,2
AB 2000	24,0	12,02	3,09	7,0
AB 2500	23,5	9,59	2,26	1,5
BP 0010	24,0	7,73	1,72	36,3
BP 0025	15,3	10,09	4,24	13,2
BB 0050	21,5	10,61	4,10	9,0
BB 0100	12,8	7,52	1,99	4,7
BB 0250	12,0	7,94	2,15	12,6
BB 0500	30,7	10,47	3,86	6,2
BB 0750				9,3
BB 1000	10,6	6,42	1,26	0,0
BB 1500	8,1	6,89	1,49	3,1
BB 2000	5,4	9,75	2,27	1,5
BB 2500	10,7	9,13	2,12	4,8
CP 0010	31,2	16,89	5,67	53,8
CP 0025	11,3	6,97	3,07	8,2
CB 0050	5,1	7,08	1,53	3,9
CB 0100	10,4	4,94	0,52	4,7
CB 0250	10,0	6,26	1,43	3,9
CB 500 (1)	10,2	8,62	1,54	1,0
CB 500 (2)	17,3	7,82	1,30	1,0
CB 0750	13,9	8,81	1,15	2,3
CB 1000	15,0	6,43	0,43	0,0
CB 1500	31,6	8,50	1,42	2,3

Annexe 3.02

Polychlorobiphényles : congénères et PCB totaux

ECHANTILLON	PCB 28 $\mu\text{g.g}^{-1}$	PCB 52 $\mu\text{g.g}^{-1}$	PCB 101 $\mu\text{g.g}^{-1}$	PCB 118 $\mu\text{g.g}^{-1}$	PCB 153 $\mu\text{g.g}^{-1}$	PCB 138 $\mu\text{g.g}^{-1}$
R 01	0,20	0,38	0,57	0,55	0,92	1,24
R 02		2,80	3,70	3,11	2,75	3,49
R 03			0,27	0,23	0,35	0,35
R 04			0,43	0,33	0,87	0,82
R 05			0,10	0,10	0,10	0,10
R 06		0,51	0,62	0,67	0,56	0,68
R 07	0,28	0,79	1,48	1,55	1,82	1,98
R 08	0,35	0,71	0,98	1,35	3,37	2,40
R 09	0,36	0,33	0,75	1,19	1,81	2,02
R 10	0,52	0,52	0,21	0,91	1,67	1,42
R 11		0,28	0,65		1,43	1,47
R 12		0,34	0,46	0,41	0,76	0,84
R 13		0,41	0,86	0,69	1,41	1,32
R 14		0,38	0,90	0,78	1,70	1,96
R 15			1,81		5,09	4,54
R 16		0,88	1,28	0,96	1,00	1,41
R 17	0,29	3,62	6,24	5,61	6,06	7,69
R 18			0,52	0,22	2,25	0,37
AP 0010	4,90	8,40	13,10	10,10	12,40	17,50
AP 0025	1,40	8,50	18,90	22,70	17,10	34,90
AB 0050	0,13	0,32	0,52	0,46	0,58	0,71
AB 0100	0,25	0,42	0,92	1,19	1,07	1,59
AB 0250		1,00	0,34	0,61	1,15	1,06
AB 0500	0,40	0,58	0,87	1,11	1,56	1,99
AB 0750	0,36	1,03	1,28	1,54	1,87	2,71
AB 1000	0,54	1,06	1,00	1,88	1,55	2,56
AB 1500	0,53	0,62	0,87	0,91	1,06	1,40
AB 2000	0,33	0,41	0,90	0,97	0,87	1,29
AB 2500	0,41	2,70	3,04	3,13	2,79	5,03
BP 0010	0,24	0,74	1,46	1,19	1,95	2,33
BP 0025	3,70	2,53	3,70	2,21	4,20	4,52
BB 0050		0,21	0,46	0,34	0,65	0,71
BB 0100			0,20	0,16	0,20	0,24
BB 0250						
BB 0500			0,18	0,16	0,24	0,28
BB 0750		0,40	0,61	0,46	0,47	0,56
BB 1000						
BB 1500				0,10	0,10	0,10
BB 2000				0,17	0,21	0,19
BB 2500			0,47	0,43	0,81	0,92
CP 0010	11,60		25,10	24,30	22,40	39,00
CP 0025	0,17	3,20	4,40	3,49	3,16	4,30
CB 0050		0,30	0,67	0,48	1,03	1,13
CB 0100	0,41	2,15	4,16	4,36	3,13	6,20
CB 0250	0,24	0,66	0,90	1,11	0,97	1,53
CB 500 (1)			1,43	1,70	1,52	2,17
CB 500 (2)		1,42	1,57	1,89	2,90	3,68
CB 0750		1,10	1,82	2,11	1,75	2,59
CB 1000		0,85	1,58	1,94	1,15	2,57
CB 1500		0,38	0,61	0,82	0,86	1,20

Annexe 3.03

Métaux (Cu, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Hg), indice de contamination

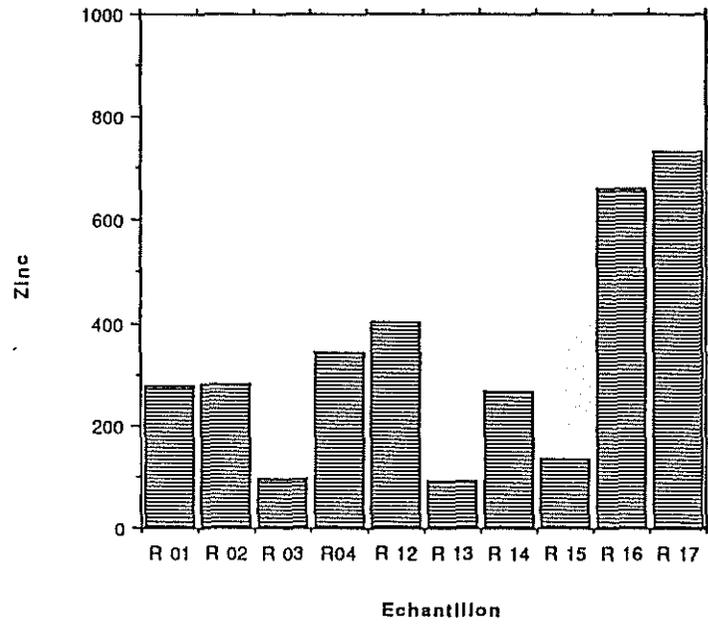
ECHANTILLON	Cuivre $\mu\text{g.g}^{-1}$	Zinc $\mu\text{g.g}^{-1}$	Plomb $\mu\text{g.g}^{-1}$	Cadmium $\mu\text{g.g}^{-1}$	Chrome $\mu\text{g.g}^{-1}$	Manganèse $\mu\text{g.g}^{-1}$	Fer mg.g^{-1}	Mercure $\mu\text{g.g}^{-1}$	Indice Contam
R 01	68,3	278,1	117,1	2,13	24,3	171	13,43	0,83	5,66
R 02	55,7	283,2	116,1	1,89	19,7	167	2,25	0,50	4,63
R 03	20,9	95,7	18,2	1,83	25,3	132	3,28	0,16	1,89
R 04	173,3	342,3	160,0	2,22	18,1	218	13,84	4,83	16,00
R 05	12,1	194,1	23,3	1,05	9,3	181	1,28	0,21	1,64
R 06	29,5	107,2	72,9	1,40	12,0	227	10,53	0,16	2,33
R 07	20,8	130,3	52,1	1,72	13,5	222	13,08	0,43	2,56
R 08	44,3	298,9	192,8	2,17	16,9	246	15,12	0,17	4,64
R 09	28,5	127,2	57,0	2,17	16,8	237	15,12	0,10	2,19
R 10	22,1	141,7	75,3	2,15	14,8	252	15,38	0,23	2,53
R 11	47,4	212,8	135,4	2,05	20,1	227	17,33	0,71	4,99
R 12	302,8	400,9	200,4	2,55	31,8	160	16,90	6,83	23,40
R 13	269,3	92,7	33,9	2,27	21,0	148	14,38	0,46	7,02
R 14	63,4	266,5	118,4	2,50	25,5	140	15,00	2,74	9,41
R 15	26,3	133,9	35,7	1,85	21,4	129	14,45	0,40	2,65
R 16	163,2	661,6	119,1	2,51	36,3	146	14,77	5,81	18,60
R 17	49,1	734,8	72,9	1,76	26,1	141	13,70	0,85	5,91
R 18	16,5	92,7	38,0	1,78	13,8	224	12,70	0,25	1,88
AP 0010	124,9	267,1	90,5	1,34	17,5	121	9,08	0,60	5,67
AP 0025	132,5	269,7	114,3	1,38	20,9	128	10,37	1,27	7,54
AB 0050	85,1	203,2	118,1	1,21	10,8	128	9,03	0,91	5,56
AB 0100	141,6	245,5	136,9	1,53	11,4	151	13,17	0,84	6,77
AB 0250	37,1	128,5	57,6	1,49	14,8	157	11,63	0,32	2,74
AB 0500	102,3	228,9	56,0	1,93	21,9	168	13,91	0,42	4,53
AB 0750	138,1	171,5	138,2	2,15	25,4	153	14,77	0,64	6,57
AB 1000	271,0	207,9	120,9	2,42	27,9	145	15,29	0,55	8,74
AB 1500	79,1	148,9	83,7	1,93	24,2	140	12,81	0,64	3,77
AB 2000	53,7	170,1	94,0	2,23	25,5	148	13,10	0,69	4,62
AB 2500	50,7	135,2	126,7	1,83	19,3	152	12,58	1,10	5,52
BP 0010	300,4	951,0	155,9	1,35	66,0	190	5,14	2,29	16,00
BP 0025	106,7	184,4	72,8	0,94	17,9	204	7,70	1,10	5,95
BB 0050	160,4	206,3	128,3	1,10	14,2	124	10,12	0,57	6,46
BB 0100	73,8	115,4	277,0	1,33	11,6	152	11,28	0,16	5,59
BB 0250	34,3	122,5	48,9	1,28	12,3	152	10,81	0,09	2,02
BB 0500	53,4	127,4	78,4	1,54	18,0	162	12,82	0,14	3,01
BB 0750	208,3	230,0	282,1	1,94	23,8	178	15,93	0,59	9,56
BB 1000	16,7	131,3	81,5	1,14	9,5	208	12,07	0,27	2,38
BB 1500	49,0	155,2	42,5	1,27	12,1	196	10,84	0,14	2,39
BB 2000	24,9	187,1	53,5	1,58	14,1	227	15,25	0,05	2,04
BB 2500	114,0	200,6	90,5	1,74	17,4	208	14,48	0,26	4,18
CP 0010	176,5	811,0	138,4	2,07	51,0	157	7,22	1,09	10,40
CP 0025	142,8	184,3	105,9	0,90	17,4	124	8,11	0,66	6,11
CB 0050	55,3	131,9	59,6	0,94	10,7	123	9,45	0,75	3,83
CB 0100	13,4	88,1	21,4	1,42	9,8	147	12,80	0,21	3,58
CB 0250	22,7	150,3	48,7	1,39	11,2	163	11,80	0,23	2,13
CB 500 (1)	65,1	114,0	280,9	1,38	11,6	171	11,97	0,31	5,78
CB 500 (2)	33,0	116,5	361,2	1,35	10,4	148	11,75	0,56	/
CB 0750	17,2	95,8	32,1	1,16	9,4	158	9,02	0,11	1,41
CB 1000	11,1	142,9	16,6	0,93	6,7	180	6,98	0,12	1,16
CB 1500	14,5	130,5	28,5	0,99	7,3	193	6,95	0,11	1,34

Annexe 3.04

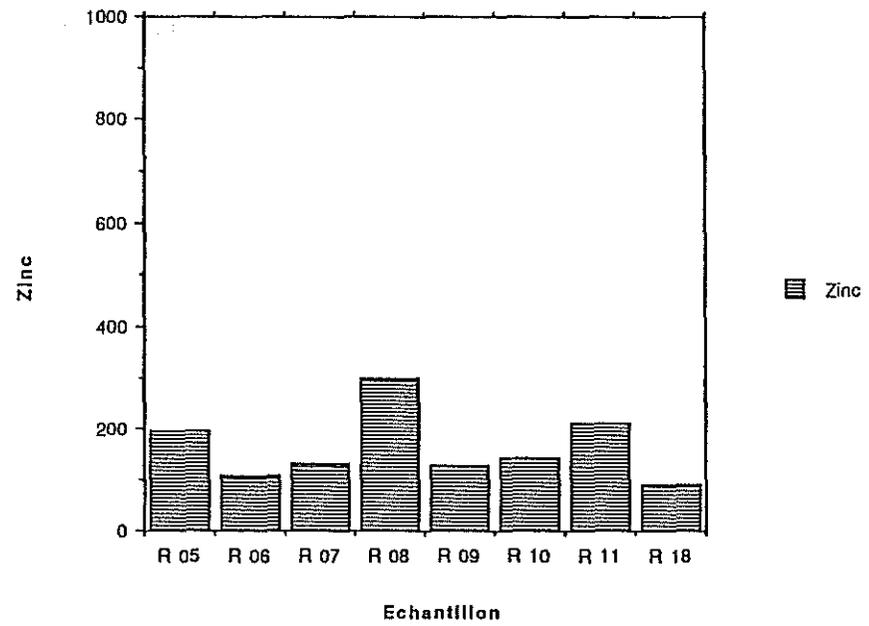
Résultats de la campagne d'avril 1988

Numero	MC 550 TOT	MC 550 inf63	C ORG TOT	C ORG inf63	HYD TOT IR	PCB TOT TOT	PCB 118 TOT	PCB 153 TOT	PCB 138 TOT	PCB 180 TOT
S2	12,67	8,77	3,55	1,62	10,1	36	2,2	2,6	2,9	1,8
S3	7,98	8,29	1,93	1,64	7,8	52	10,6	6,2	7,2	2,6
S4	5,79	6,61	0,61	1,36	6,2	16	1,9	1,5	2	0,8
S6	5,66	8,91	1,87	1,64	14,8	38	4,8	3,8	5,8	1,9
S7	32,2	9,03	1	1,43	9	52	8,4	5,3	8,4	2,6
S9	10,45	15,42	2,39	3,04	21	230	11,1	15,6	16,2	11,5
SP1	4,56	4,45	1,02	0,62	13,2	192	25	18,2	21	9,6
SP2	7,06	6,62	2,78	0,93	10,9	276	30,1	25	29,8	13,8
SP5	4,5	18,47	0,47	3,64	23,4	48	2,8	3,4	3,6	2,4
SP5-0	7,51	9,5	1,38	2,79	14,8	46	7,7	5,5	7,8	2,3
SP5-1	15,6	13,49	5,3	3,69	33,5	138	8,9	7,6	9,4	6,9
SP5-3	0	16,63	1,19	3,95	40,5	90	4,6	5,6	6,5	4,5

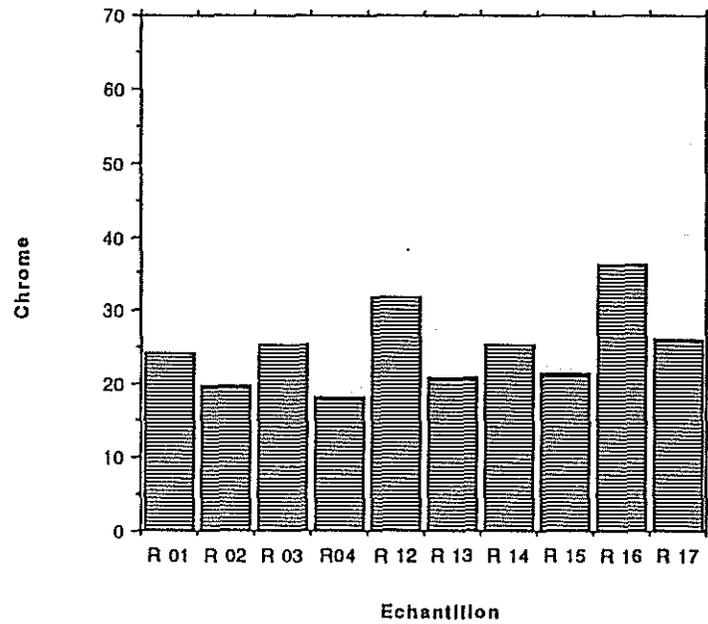
Données de "TL SED REF W"



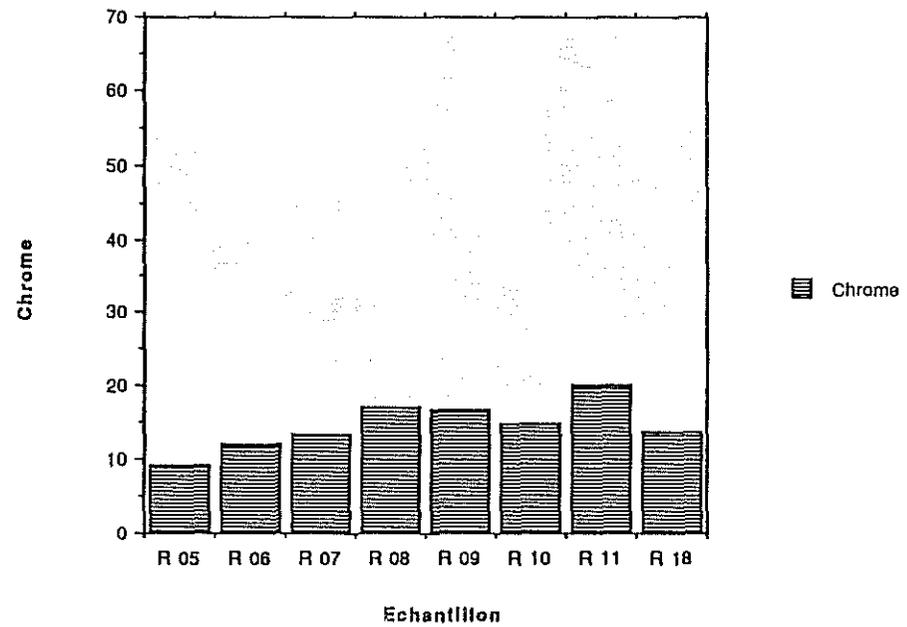
Données de "TL SED REF E"



Données de "TL SED REF W"



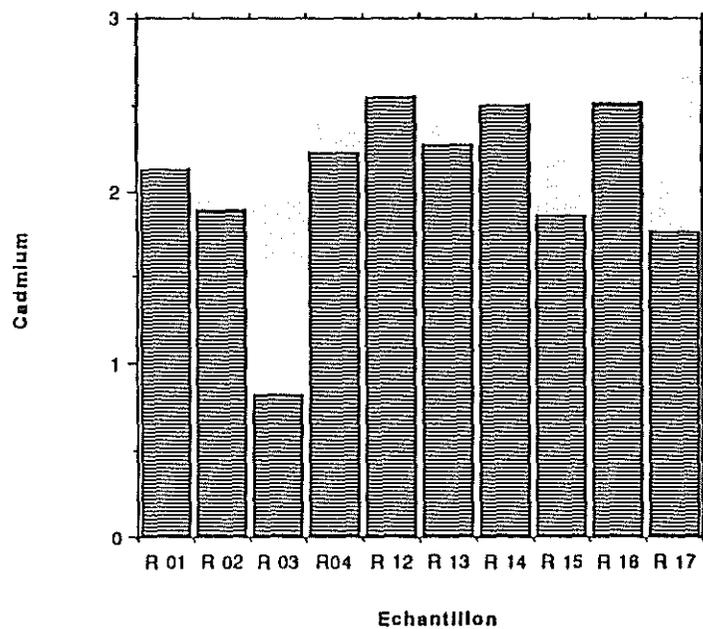
Données de "TL SED REF E"



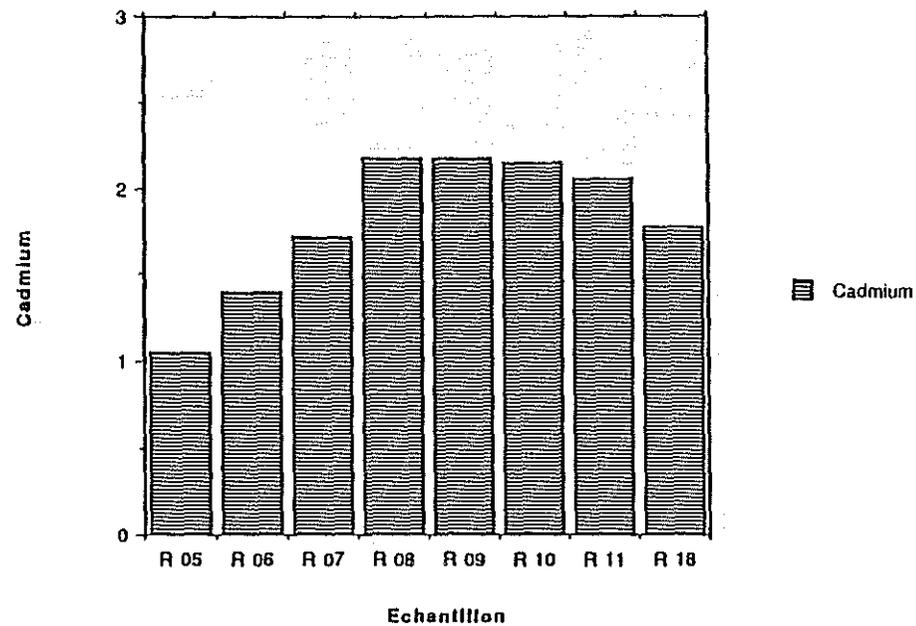
Distribution des concentrations en contaminants dans les stations de référence

Annexe 3.05

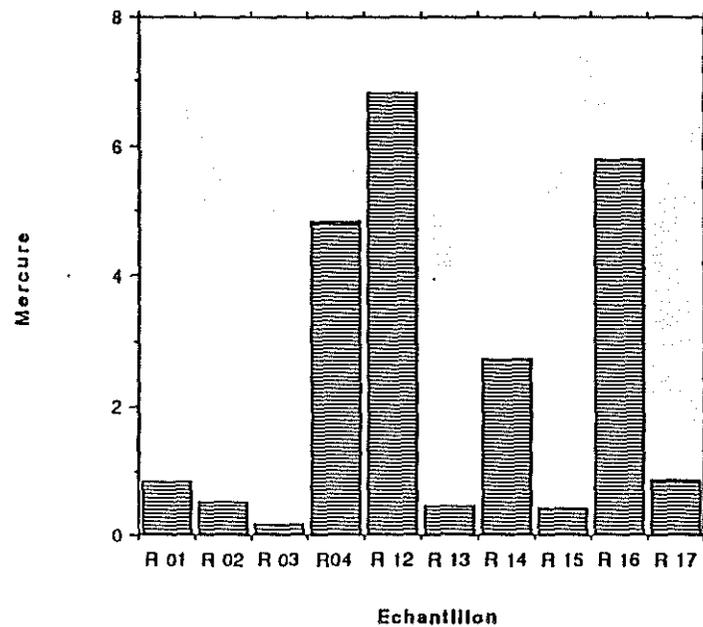
Données de "TL SED REF W"



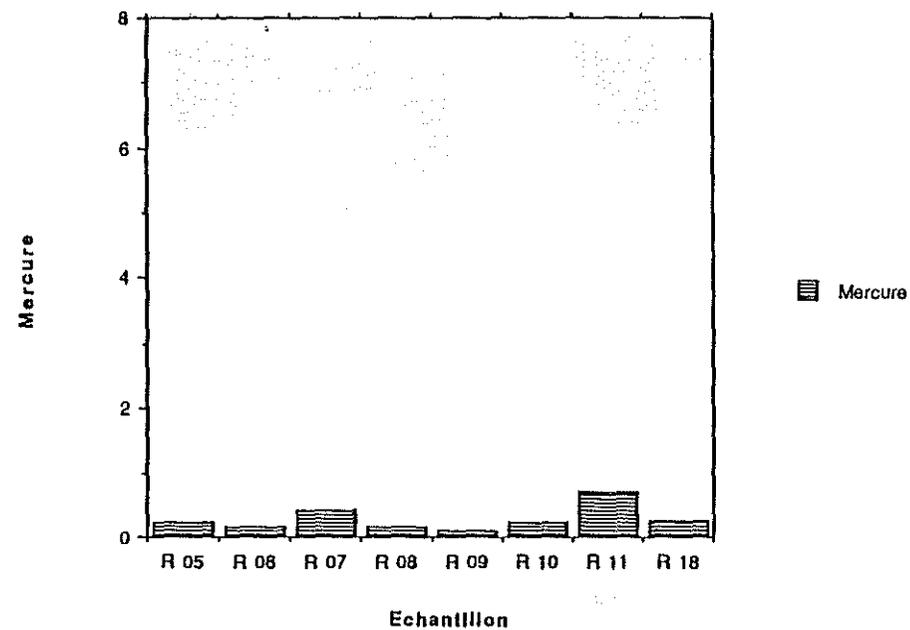
Données de "TL SED REF E"



Données de "TL SED REF W"

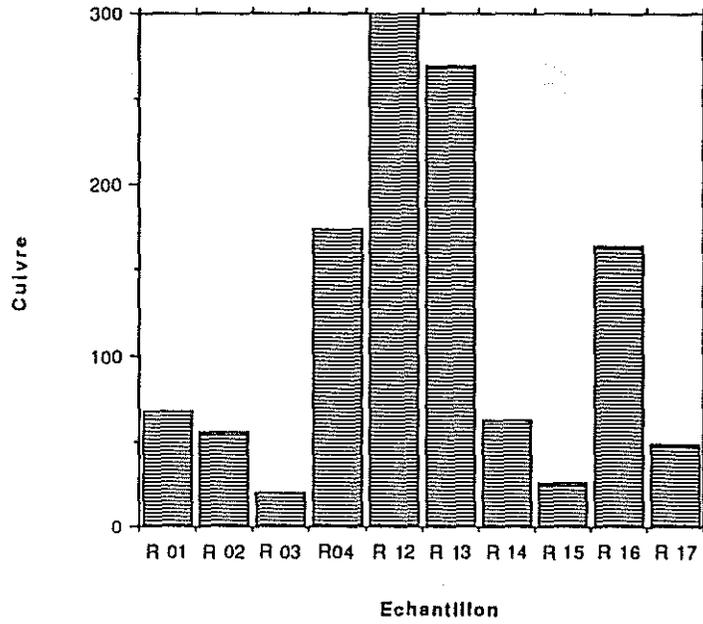


Données de "TL SED REF E"

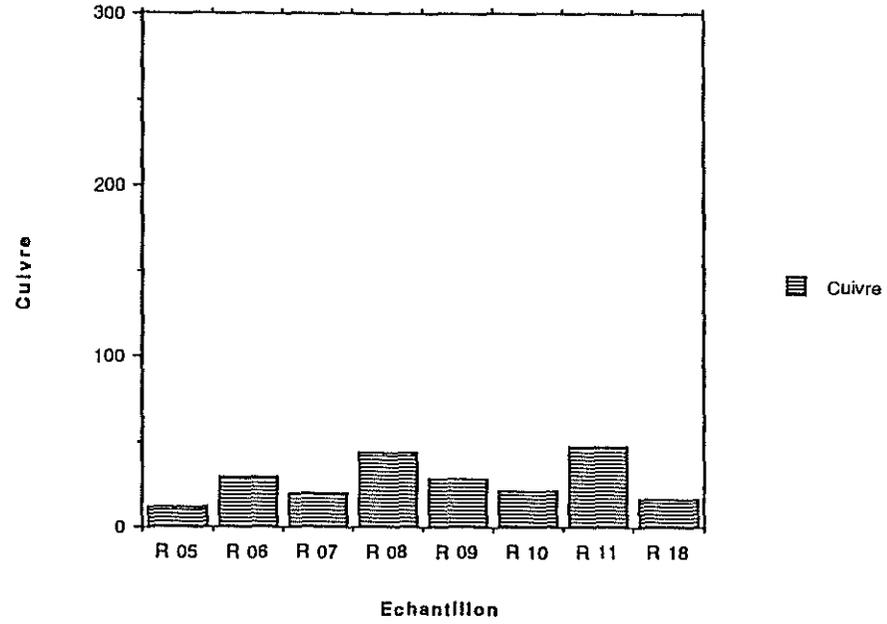


Distribution des concentrations en contaminants dans les stations de référence (suite)

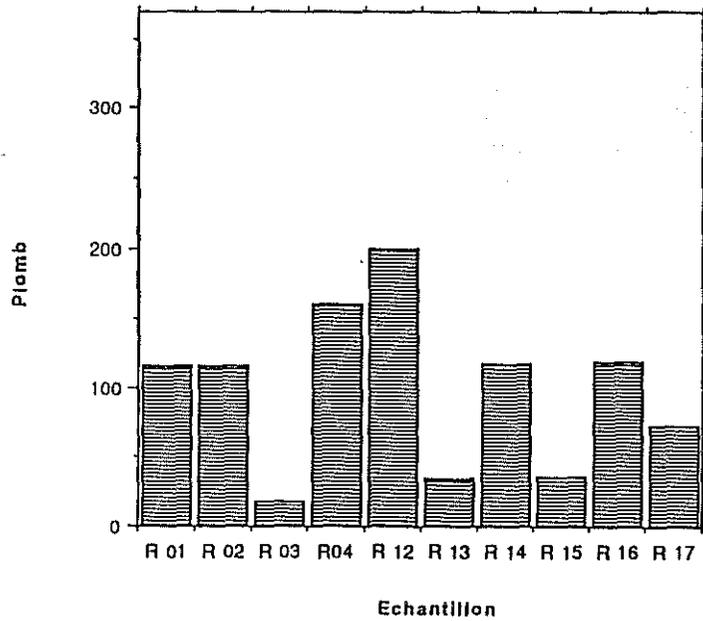
Données de "TL SED REF W"



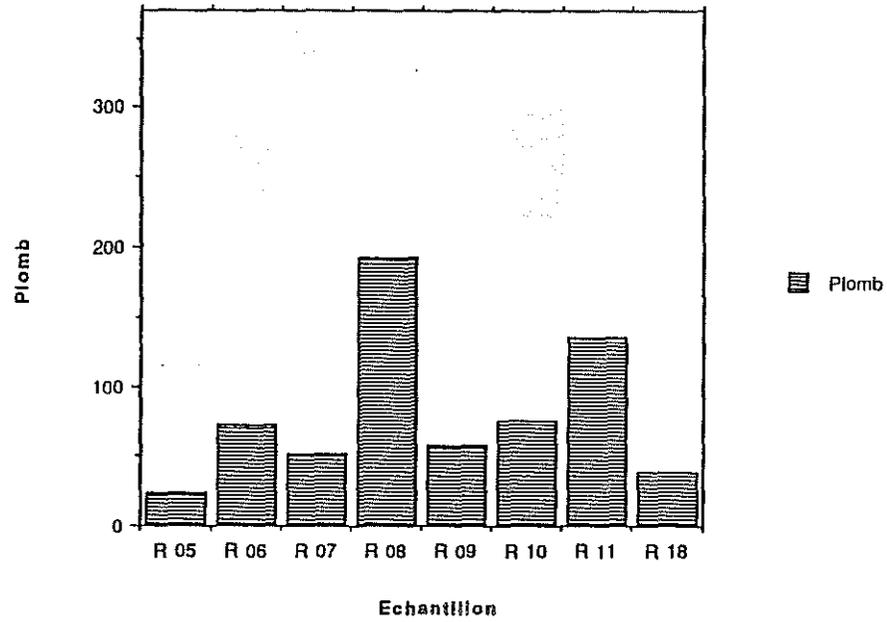
Données de "TL SED REF E"



Données de "TL SED REF W"

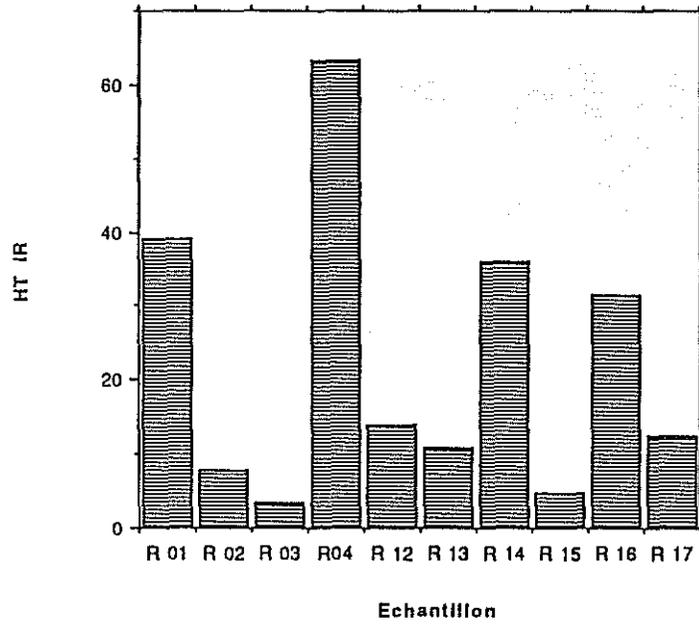


Données de "TL SED REF E"

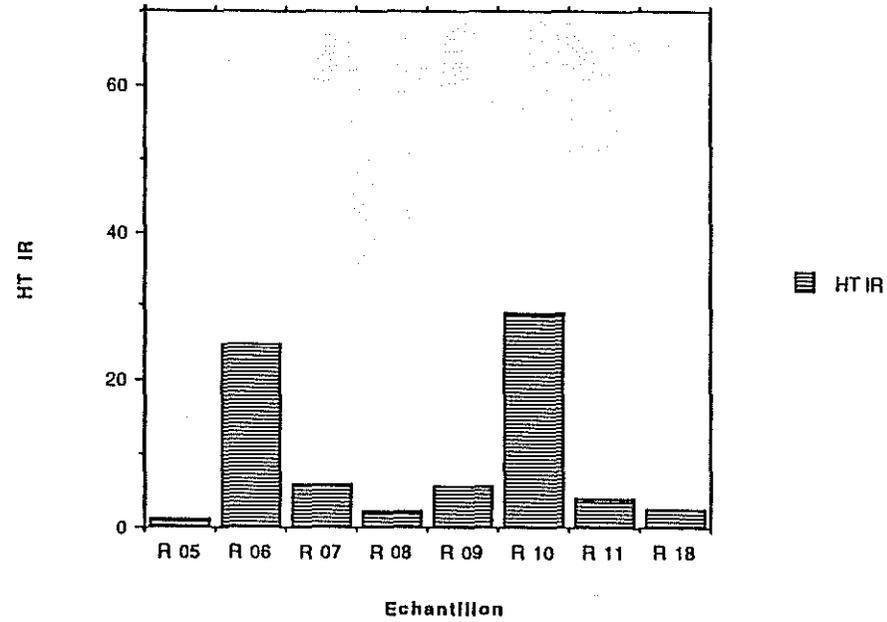


Distribution des concentrations en contaminants dans les stations de référence (suite)

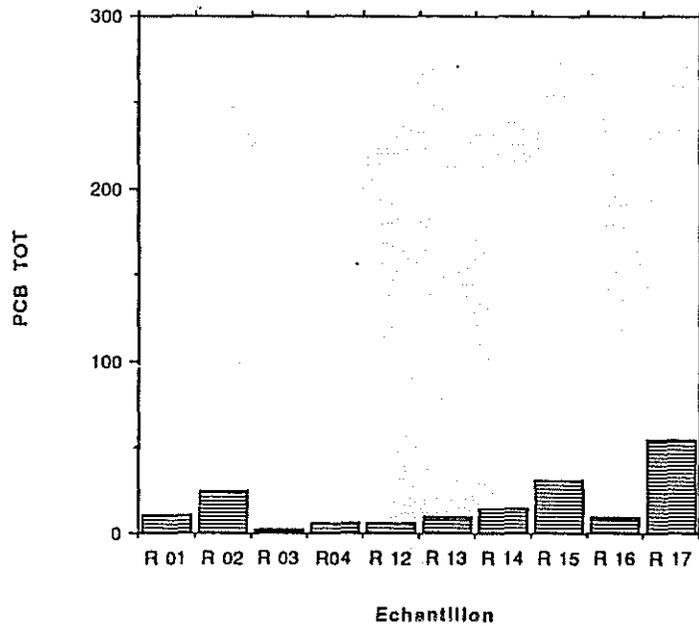
Données de "TL SED REF W"



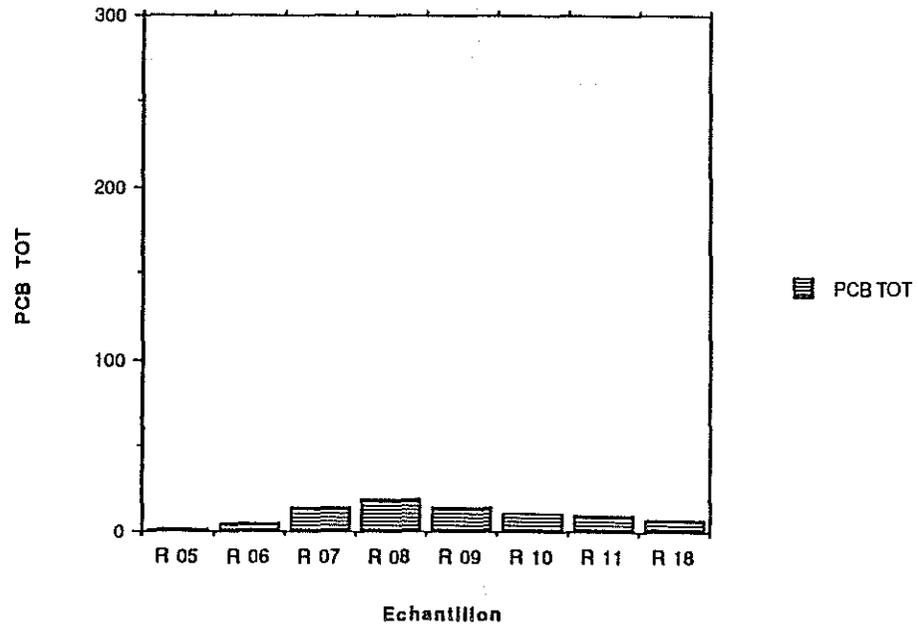
Données de "TL SED REF E"



Données de "TL SED REF W"

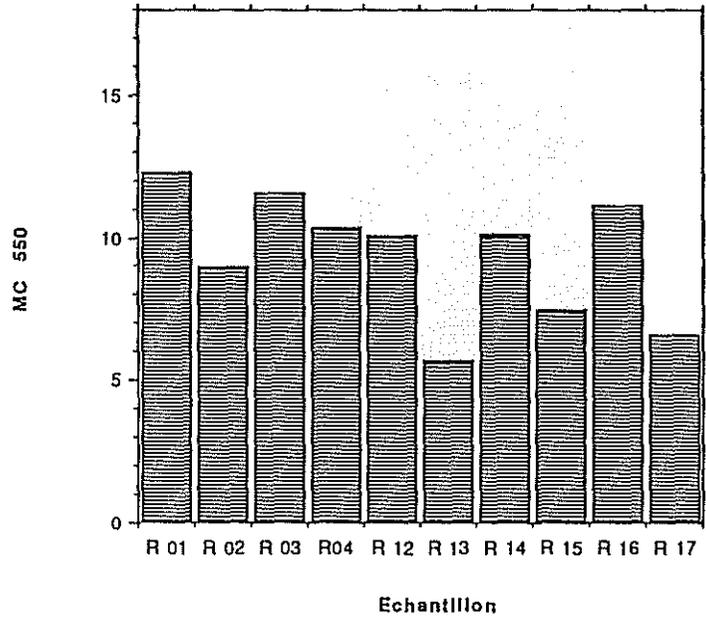


Données de "TL SED REF E"

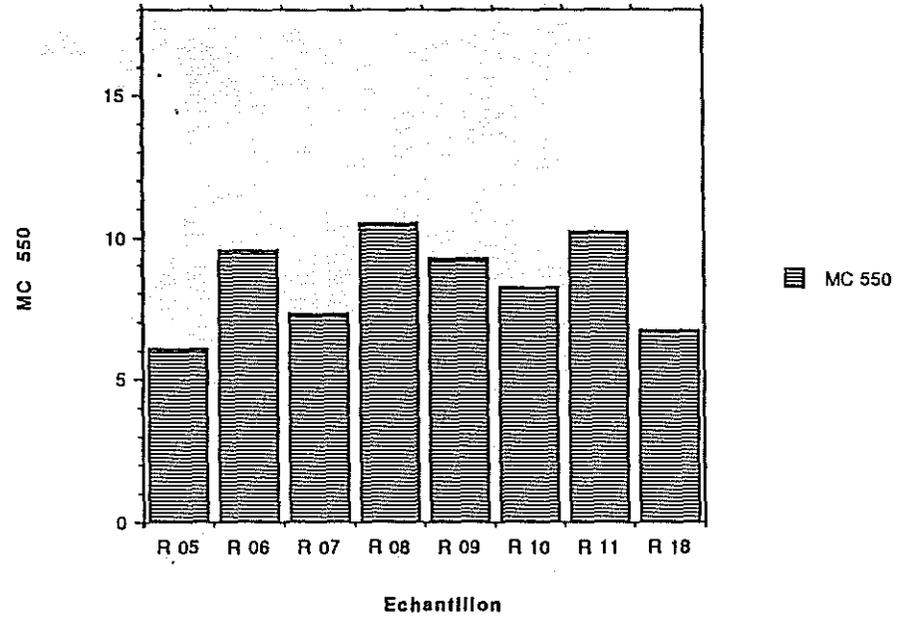


Distribution des concentrations en contaminants dans les stations de référence (suite)

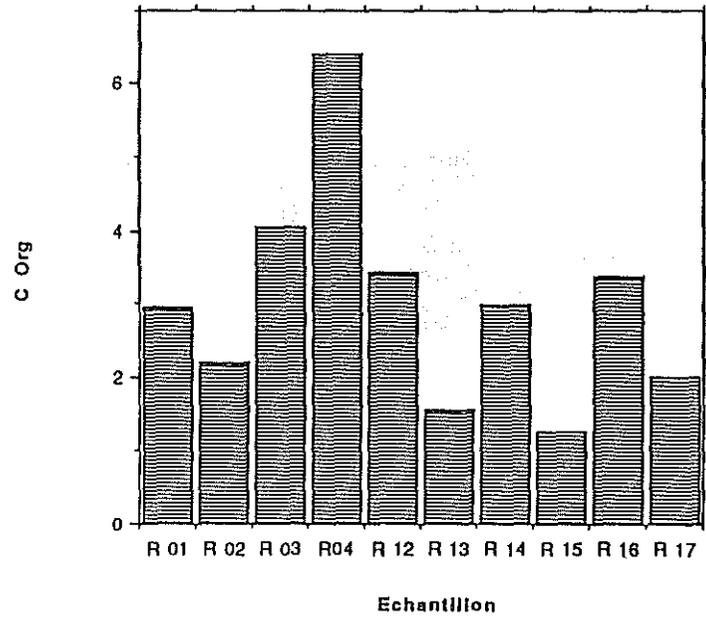
Données de "TL SED REF W"



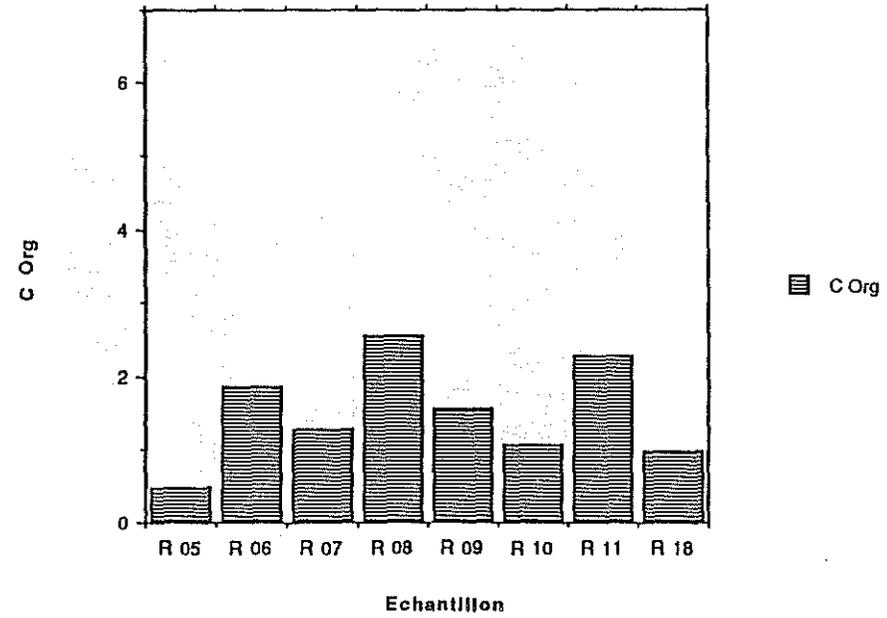
Données de "TL SED REF E"



Données de "TL SED REF W"

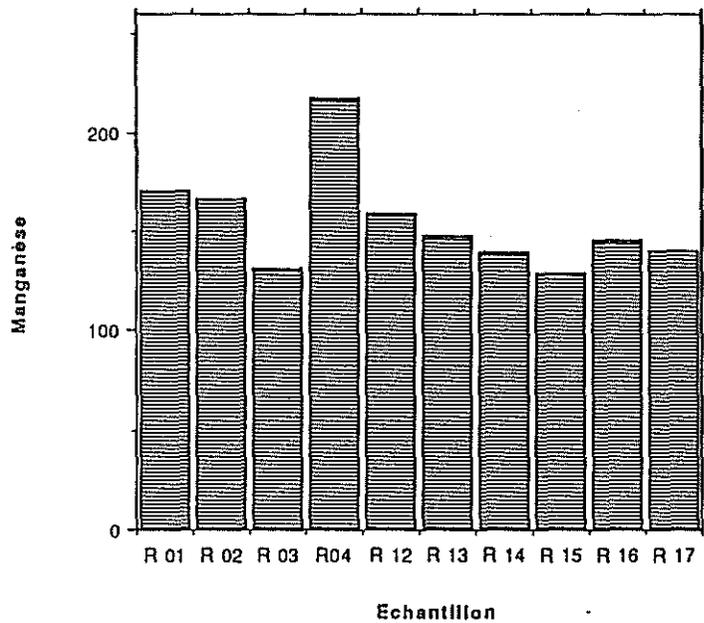


Données de "TL SED REF E"

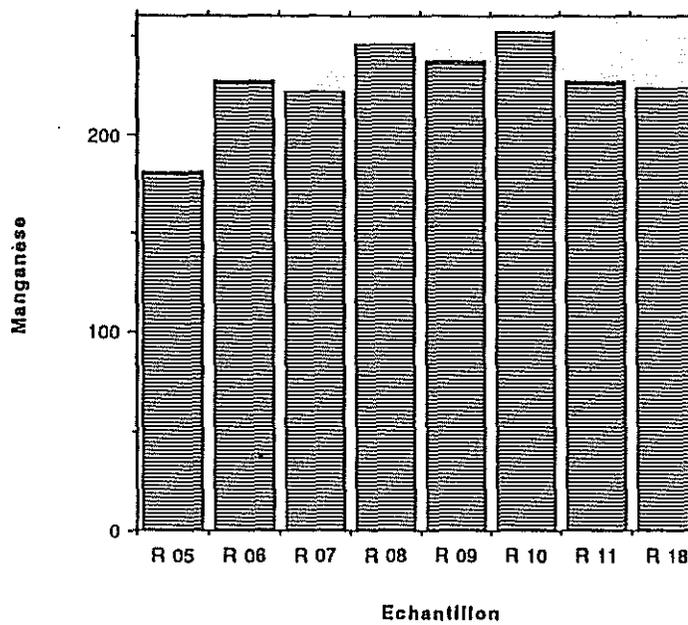


Distribution des concentrations en contaminants dans les stations de référence (suite)

Données de "TL SED REF W"

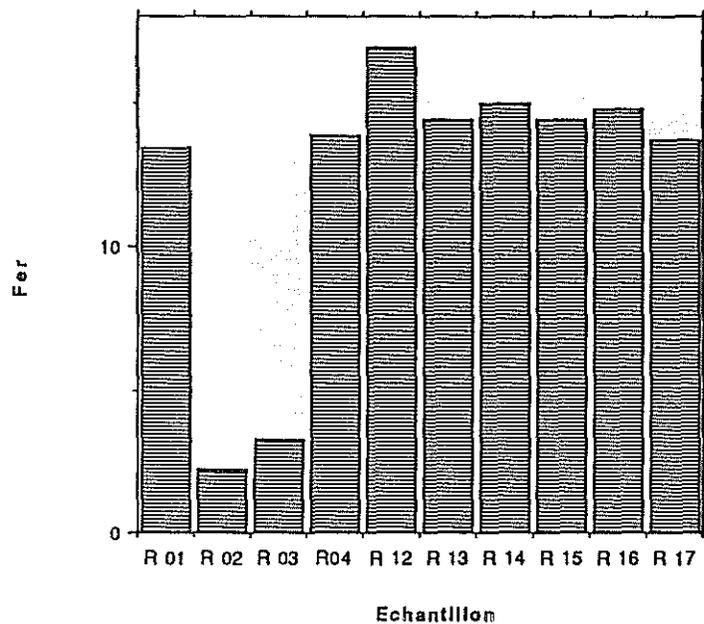


Données de "TL SED REF E"

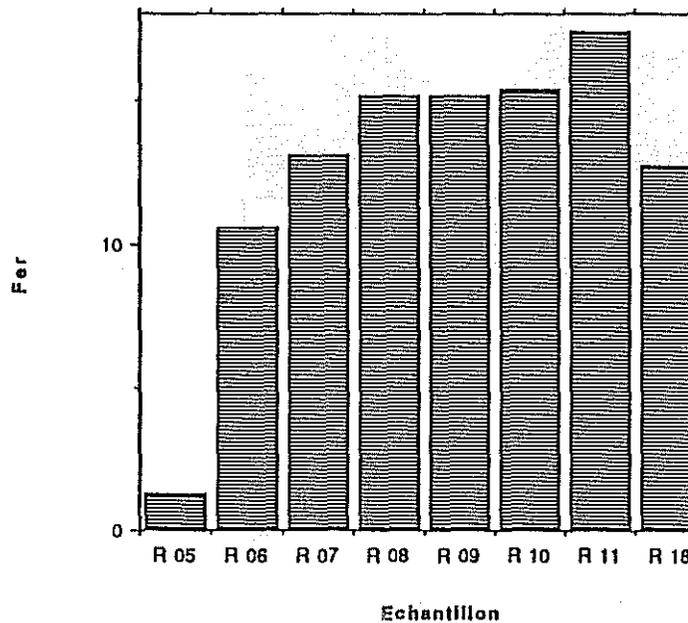


Manganèse

Données de "TL SED REF W"



Données de "TL SED REF E"



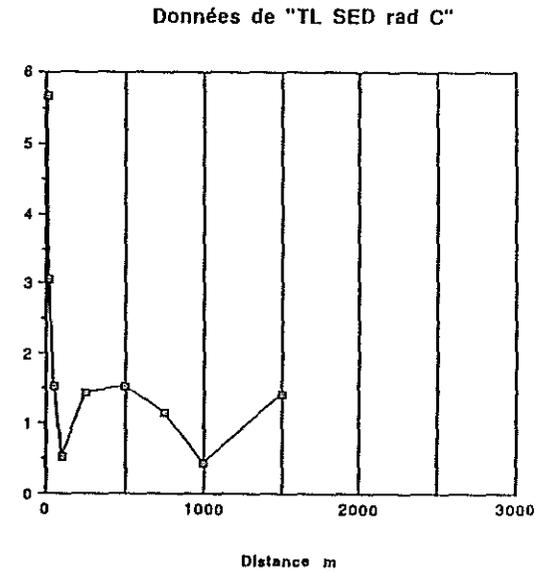
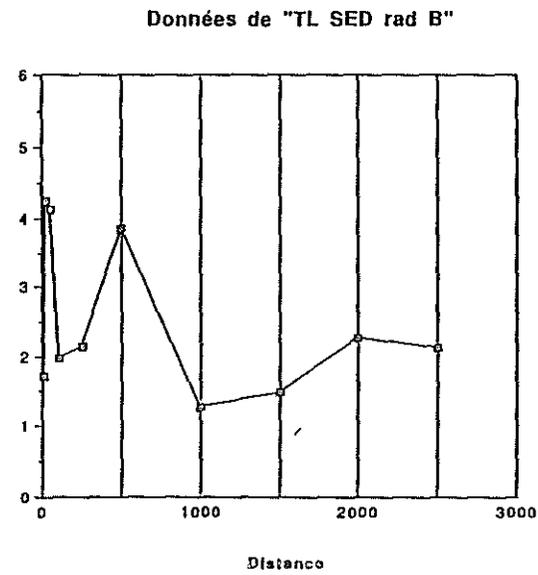
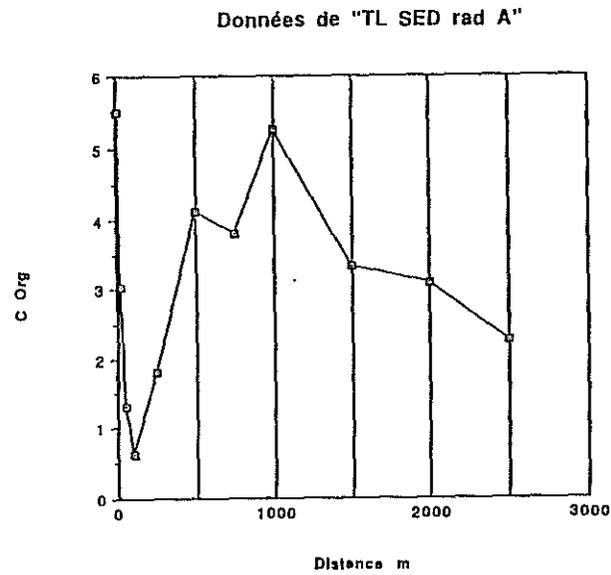
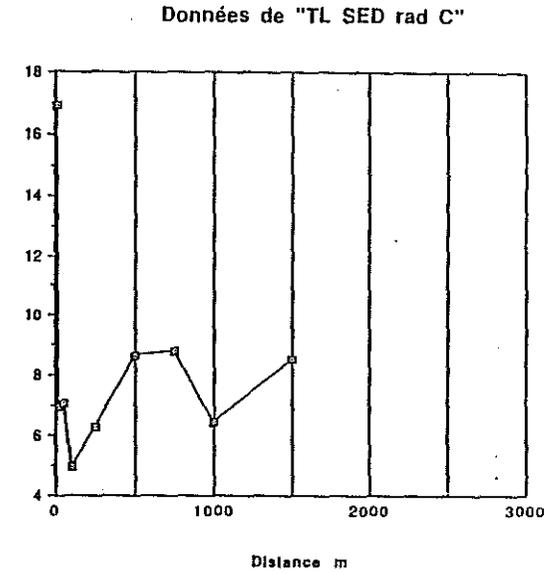
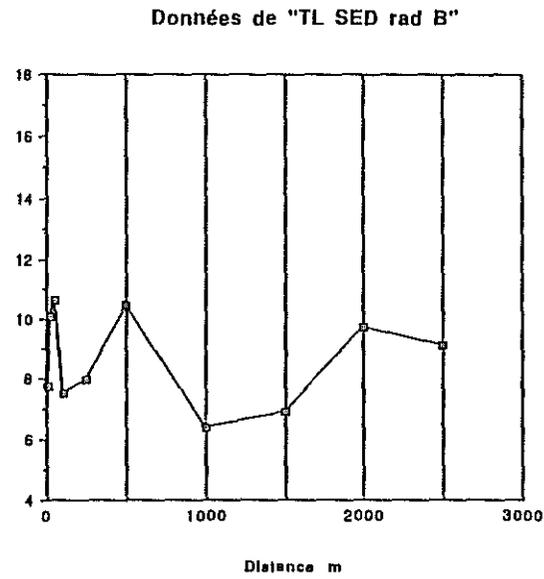
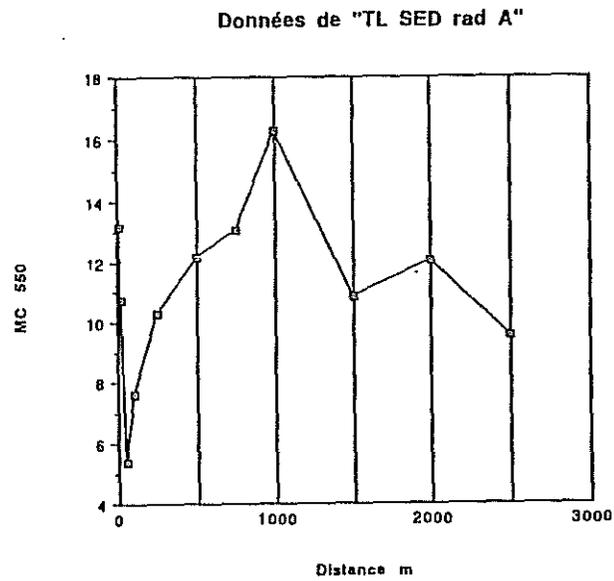
Fer

Distribution des concentrations en contaminants dans les stations de référence (suite)

Annexe 3.05

Annexe 3.06

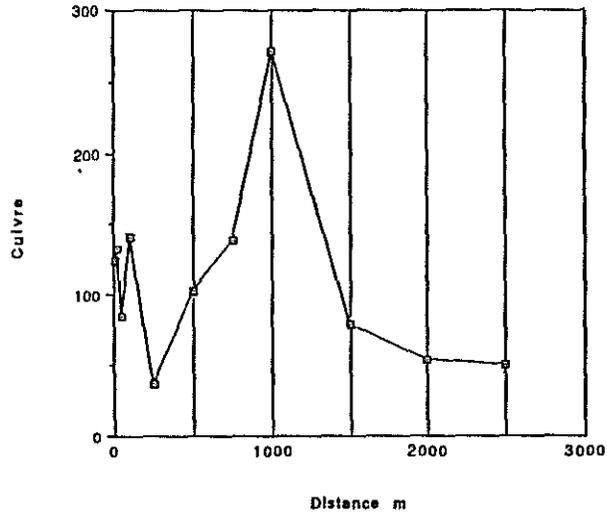
Evolution des concentrations en contaminants le long des radiales A, B, C



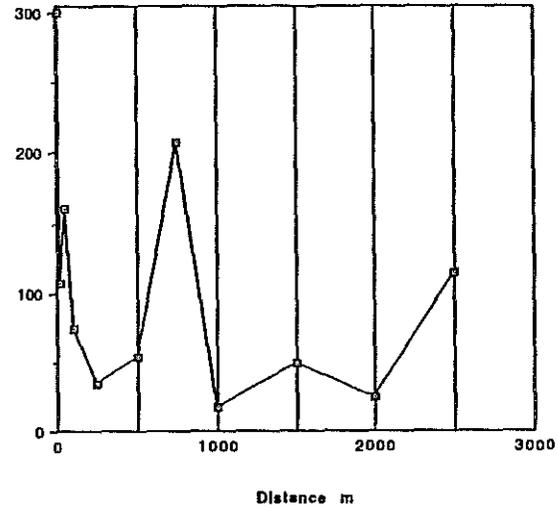
Annexe 3.06

Evolution des concentrations en contaminants le long des radiales A, B, C (suite)

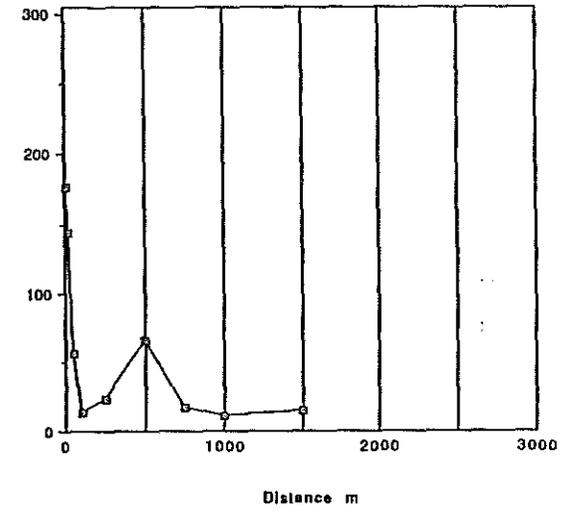
Données de "TL SED rad A"



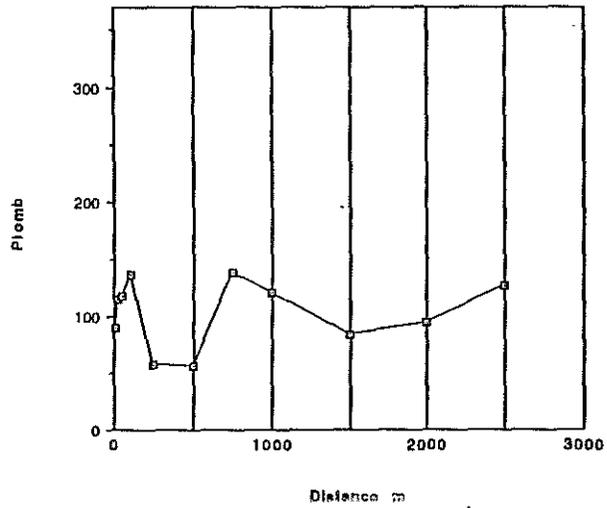
Données de "TL SED rad B"



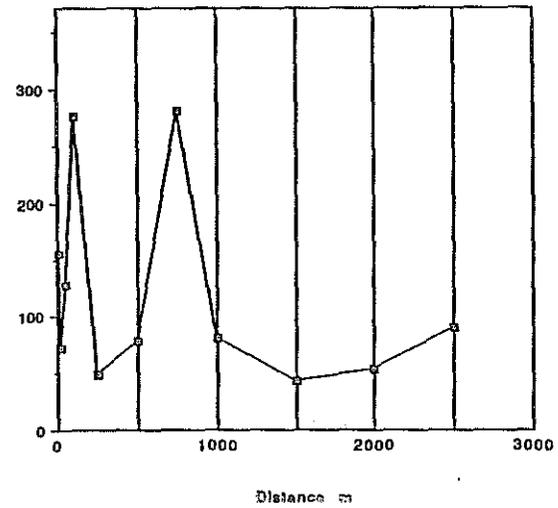
Données de "TL SED rad C"



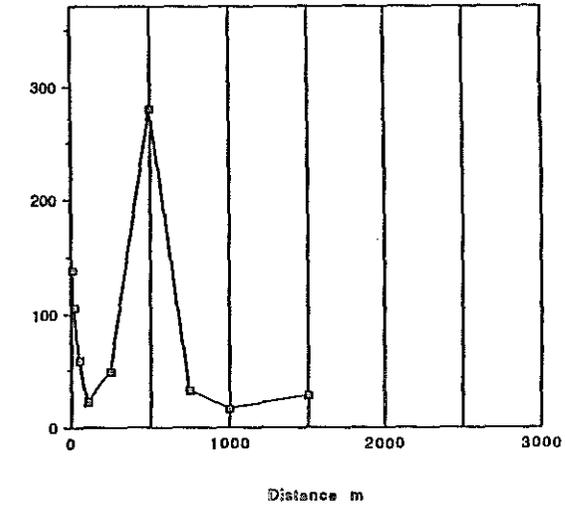
Données de "TL SED rad A"



Données de "TL SED rad B"



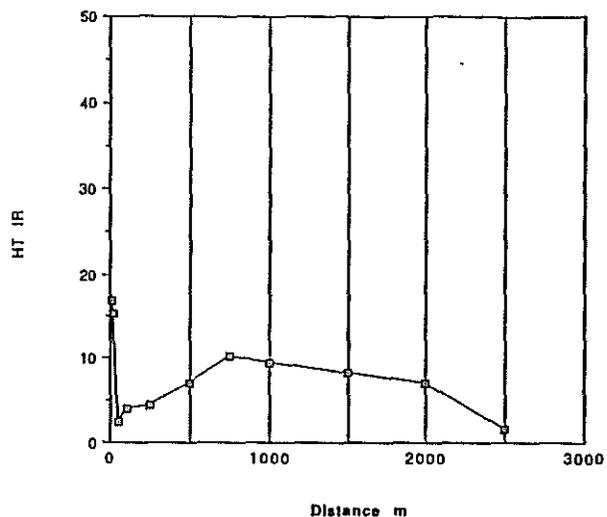
Données de "TL SED rad C"



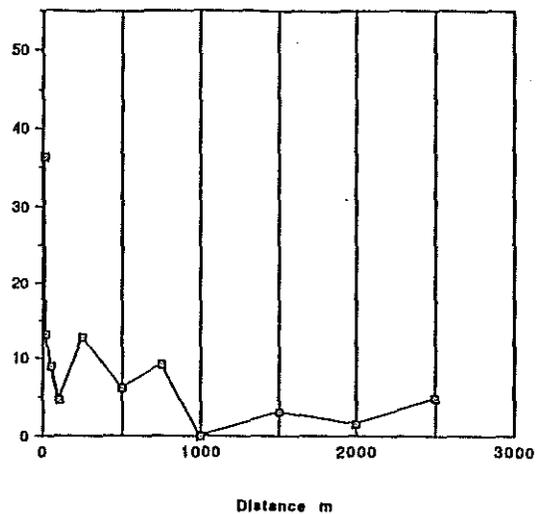
Annexe 3.06

Evolution des concentrations en contaminants le long des radiales A, B, C (suite)

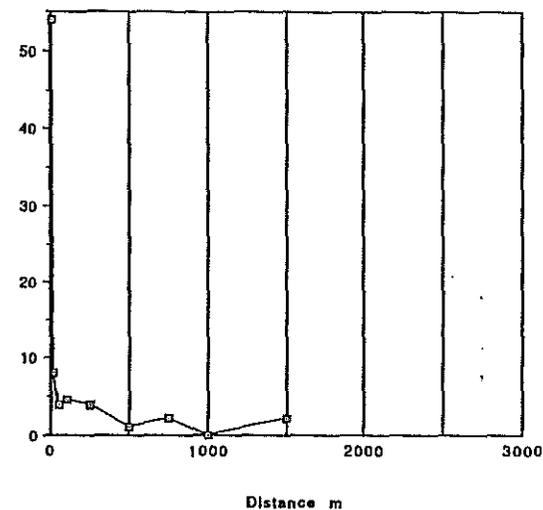
Données de "TL SED rad A"



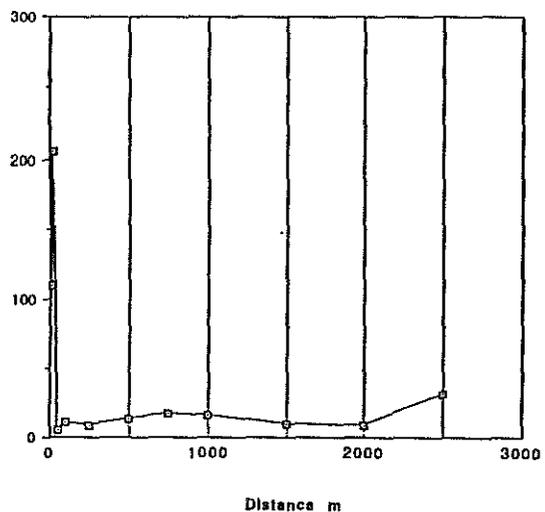
Données de "TL SED rad B"



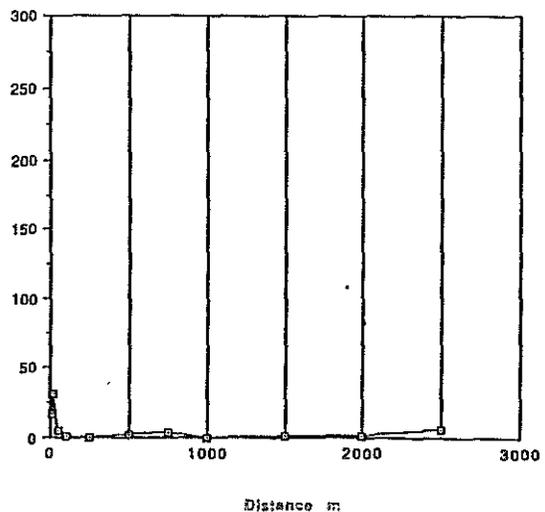
Données de "TL SED rad C"



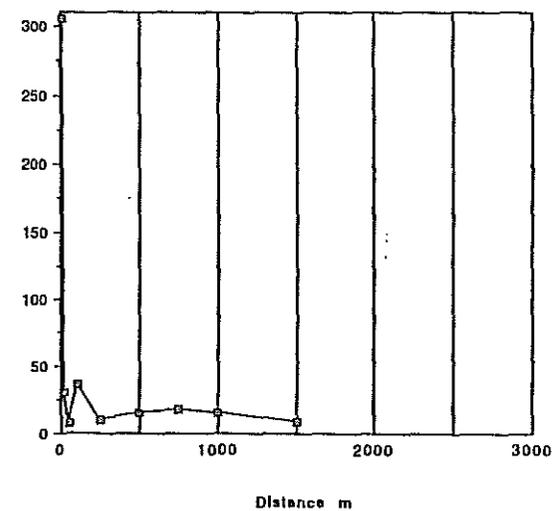
Données de "TL SED rad A"



Données de "TL SED rad B"



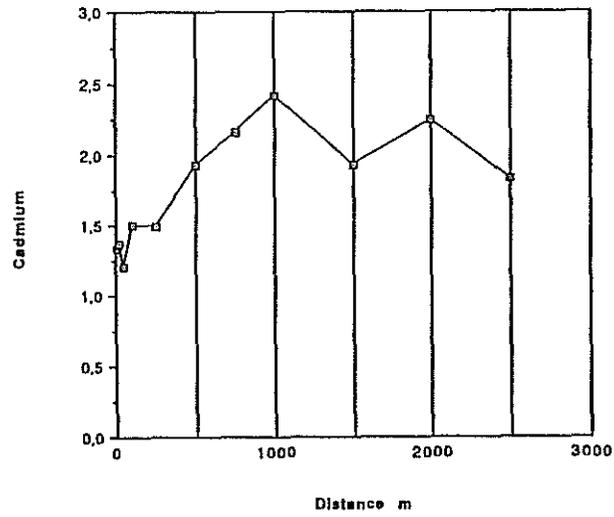
Données de "TL SED rad C"



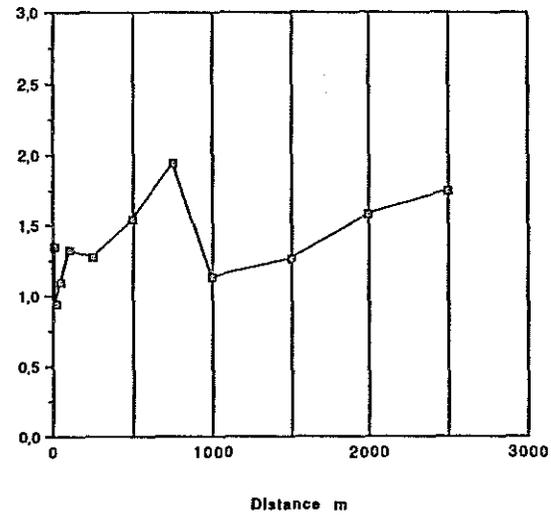
Annexe 3.06

Evolution des concentrations en contaminants le long des radiales A, B, C (suite)

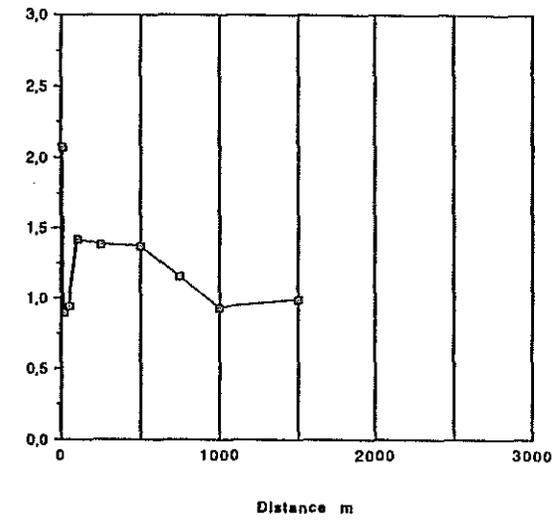
Données de "TL SED rad A"



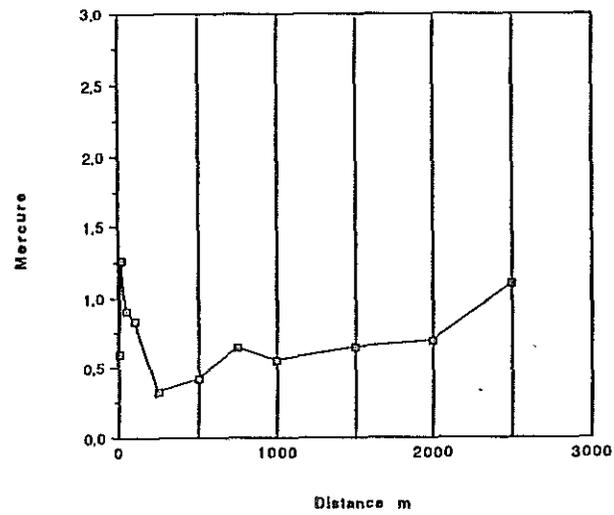
Données de "TL SED rad B"



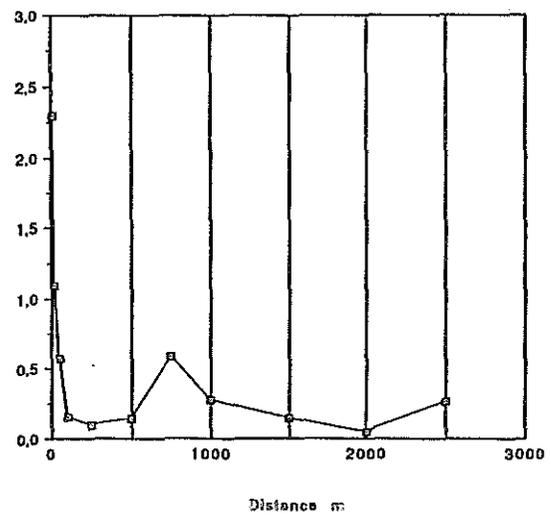
Données de "TL SED rad C"



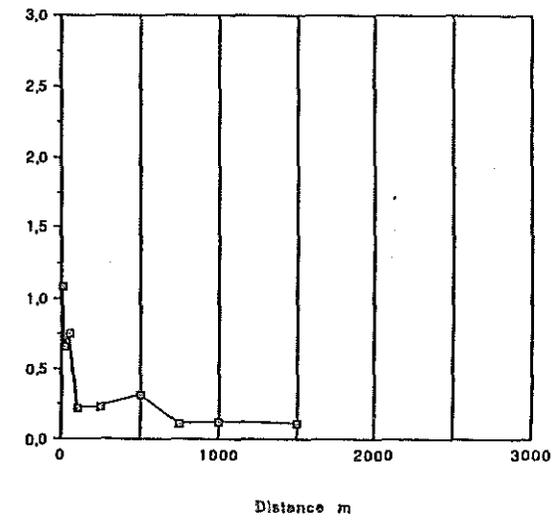
Données de "TL SED rad A"



Données de "TL SED rad B"

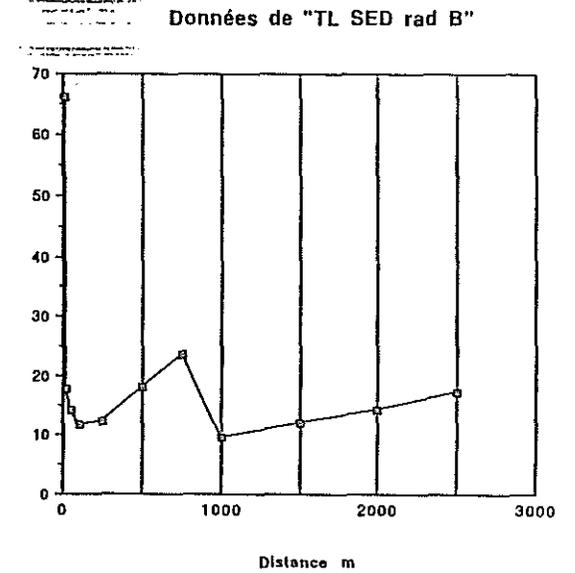
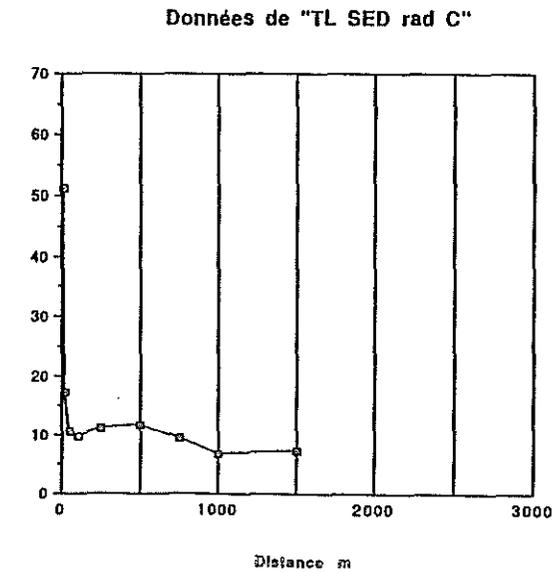
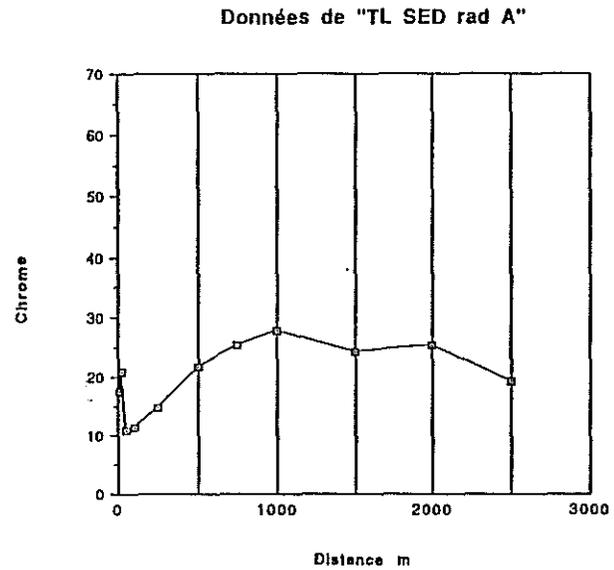
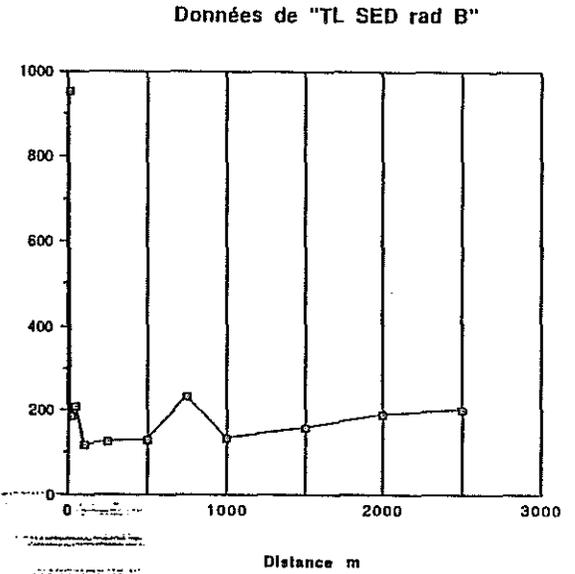
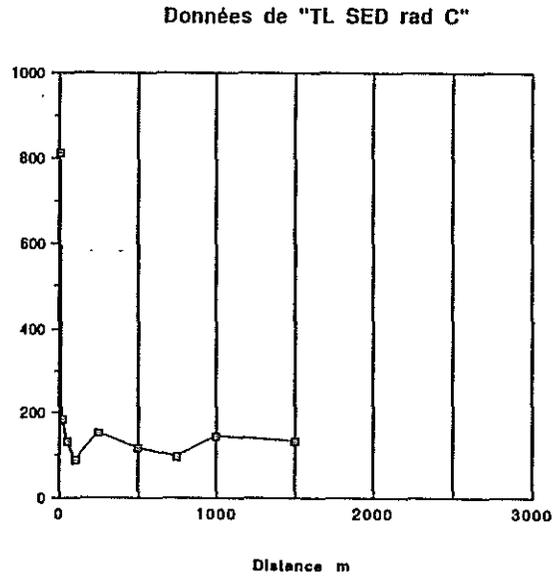
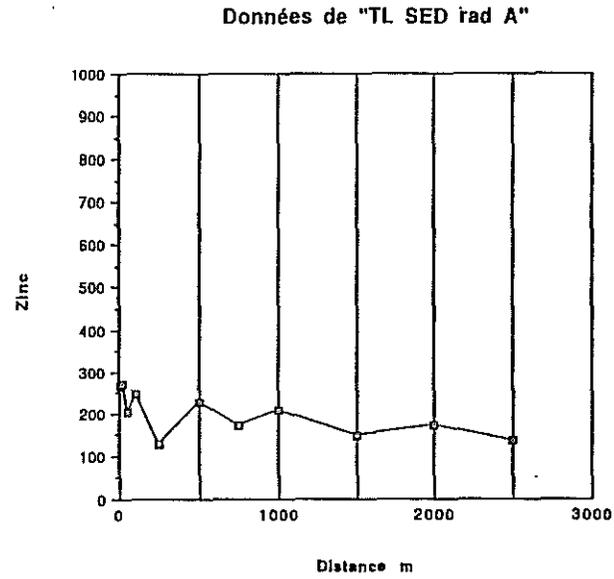


Données de "TL SED rad C"



Annexe 3.06

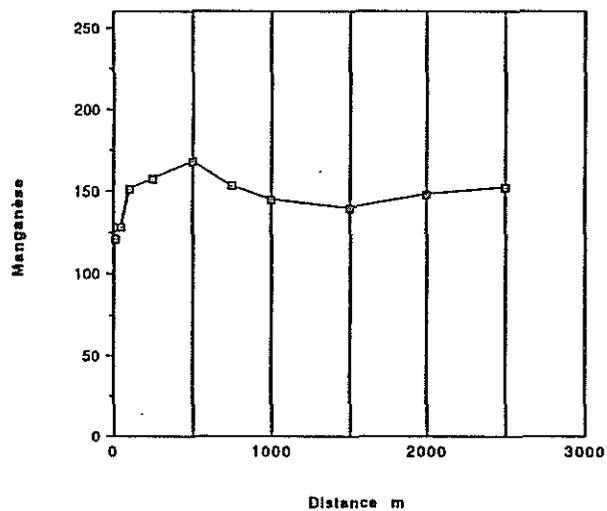
Evolution des concentrations en contaminants le long des radiales A, B, C (suite)



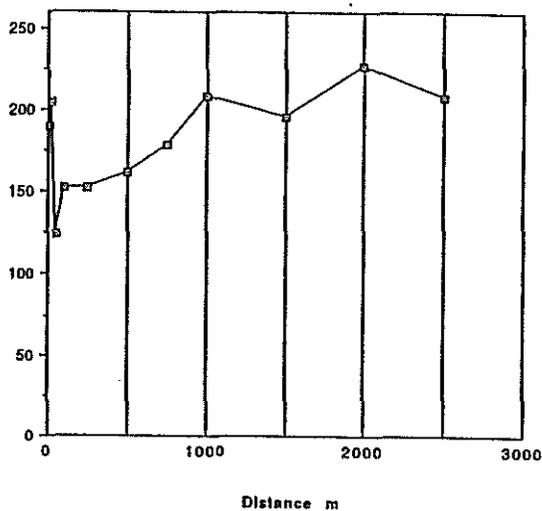
Annexe 3.06

Evolution des concentrations en contaminants le long des radiales A, B, C (suite)

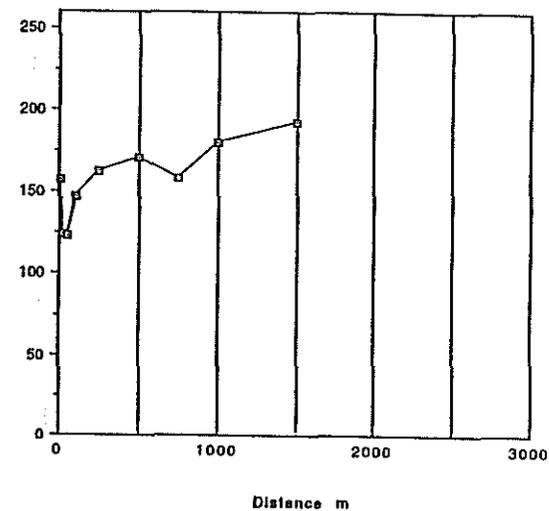
Données de "TL SED rad A"



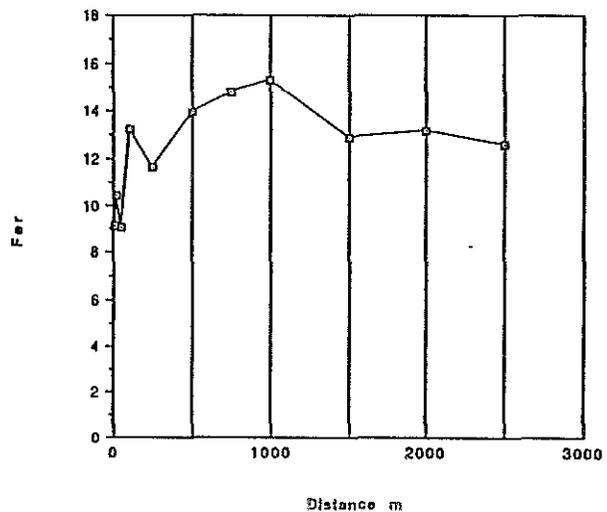
Données de "TL SED rad B"



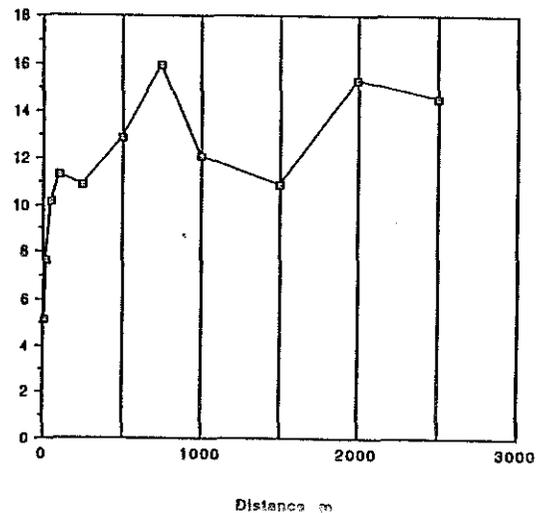
Données de "TL SED rad C"



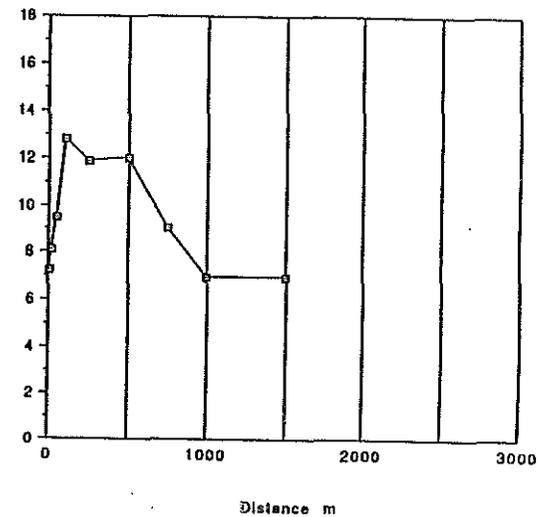
Données de "TL SED rad A"



Données de "TL SED rad B"

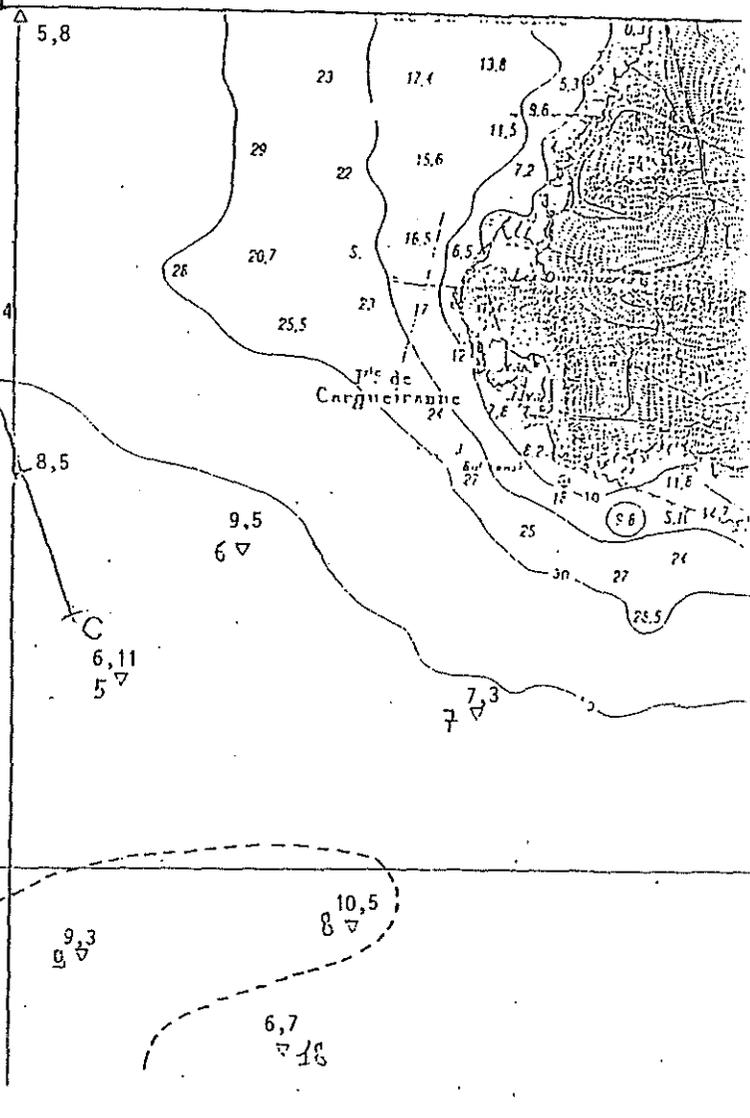
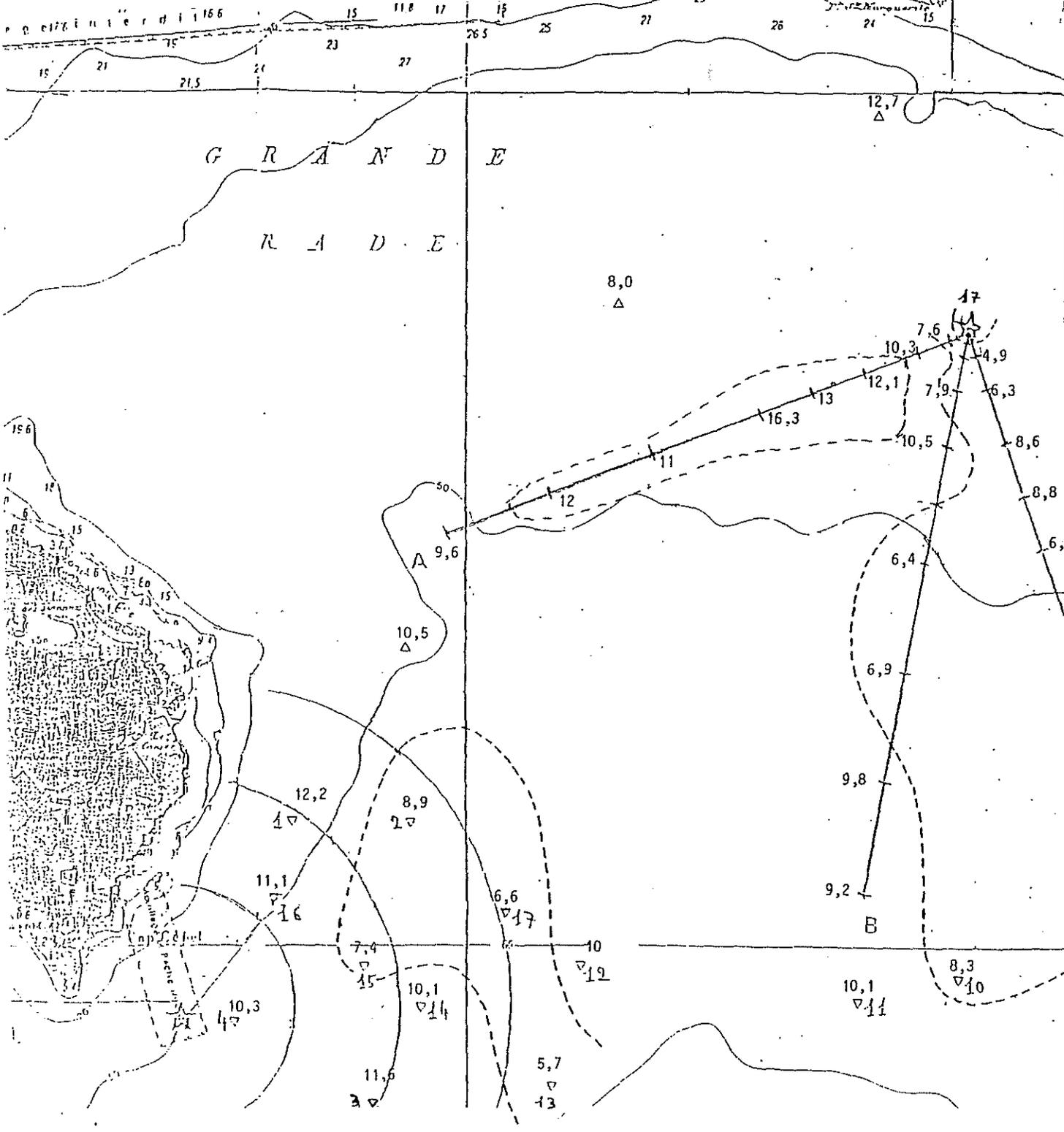
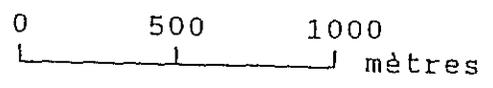


Données de "TL SED rad C"



Annexe 3.07 : Matières calcinables 550° C

☆ REJET
▽ REFERENCE



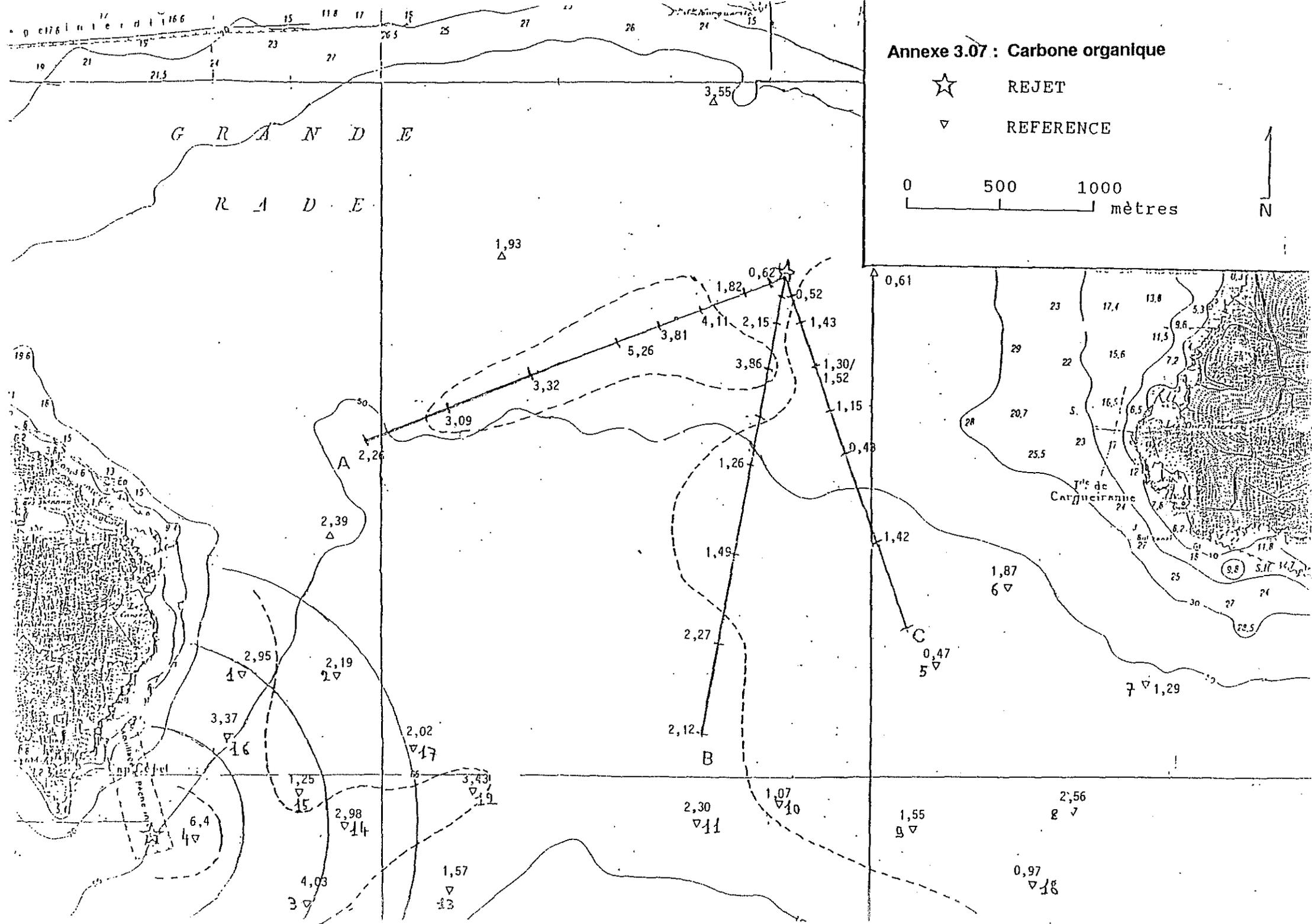
Annexe 3.07 : Carbone organique

☆ REJET

▽ REFERENCE

0 500 1000 mètres

N



**Annexe 3.07 : Hydrocarbures totaux IR
mg/100 g**

☆ REJET

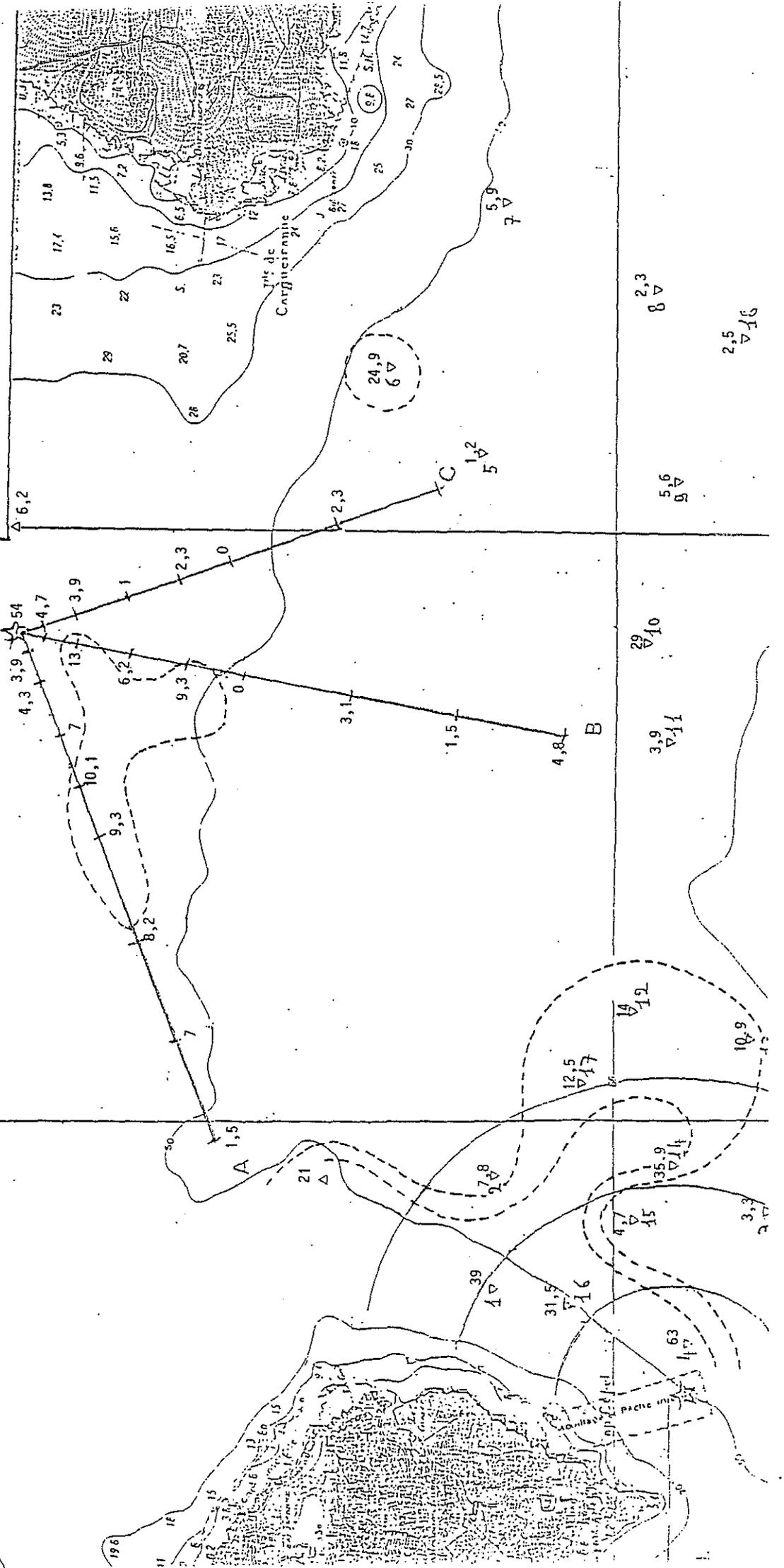
▽ REFERENCE

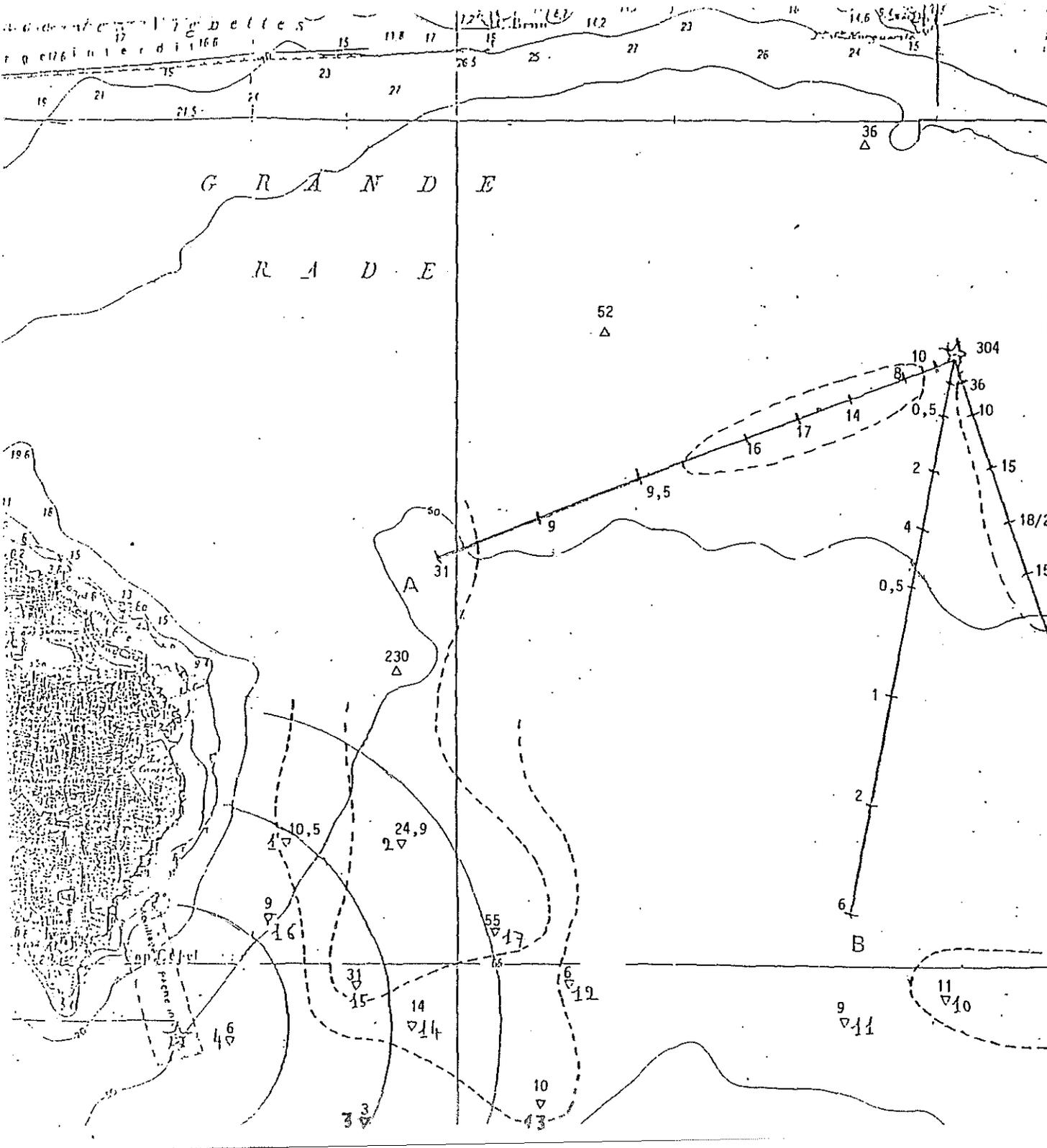


G R A N D E

R A D E

7,8
△

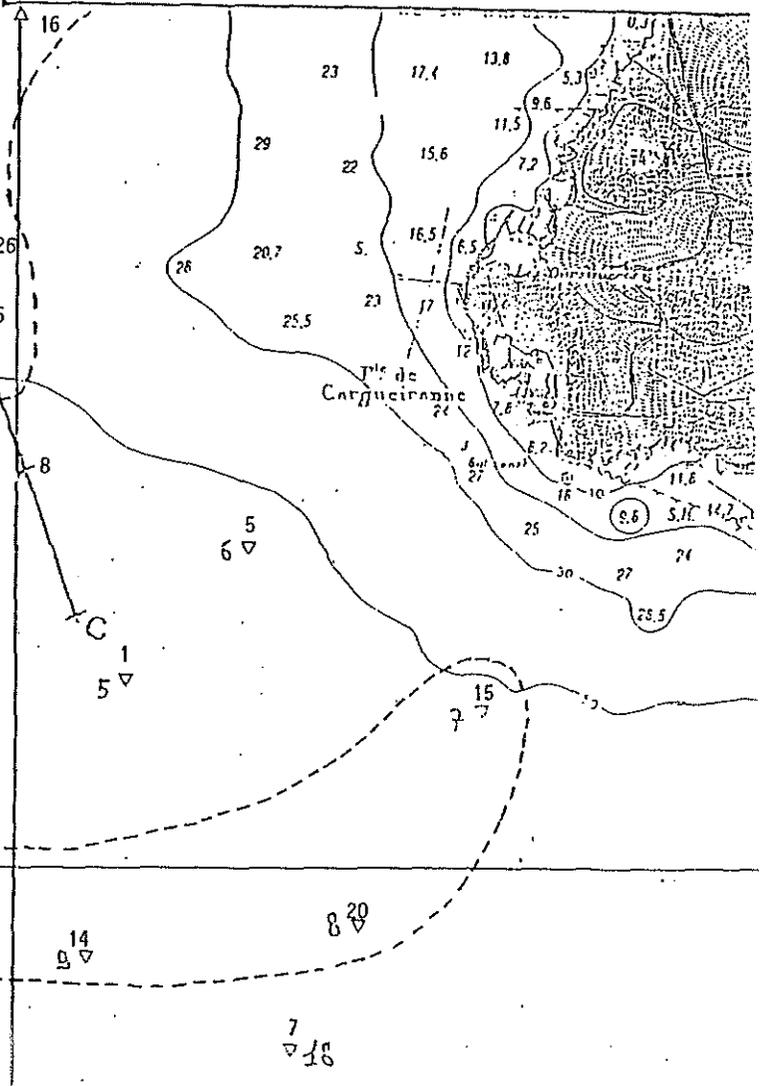


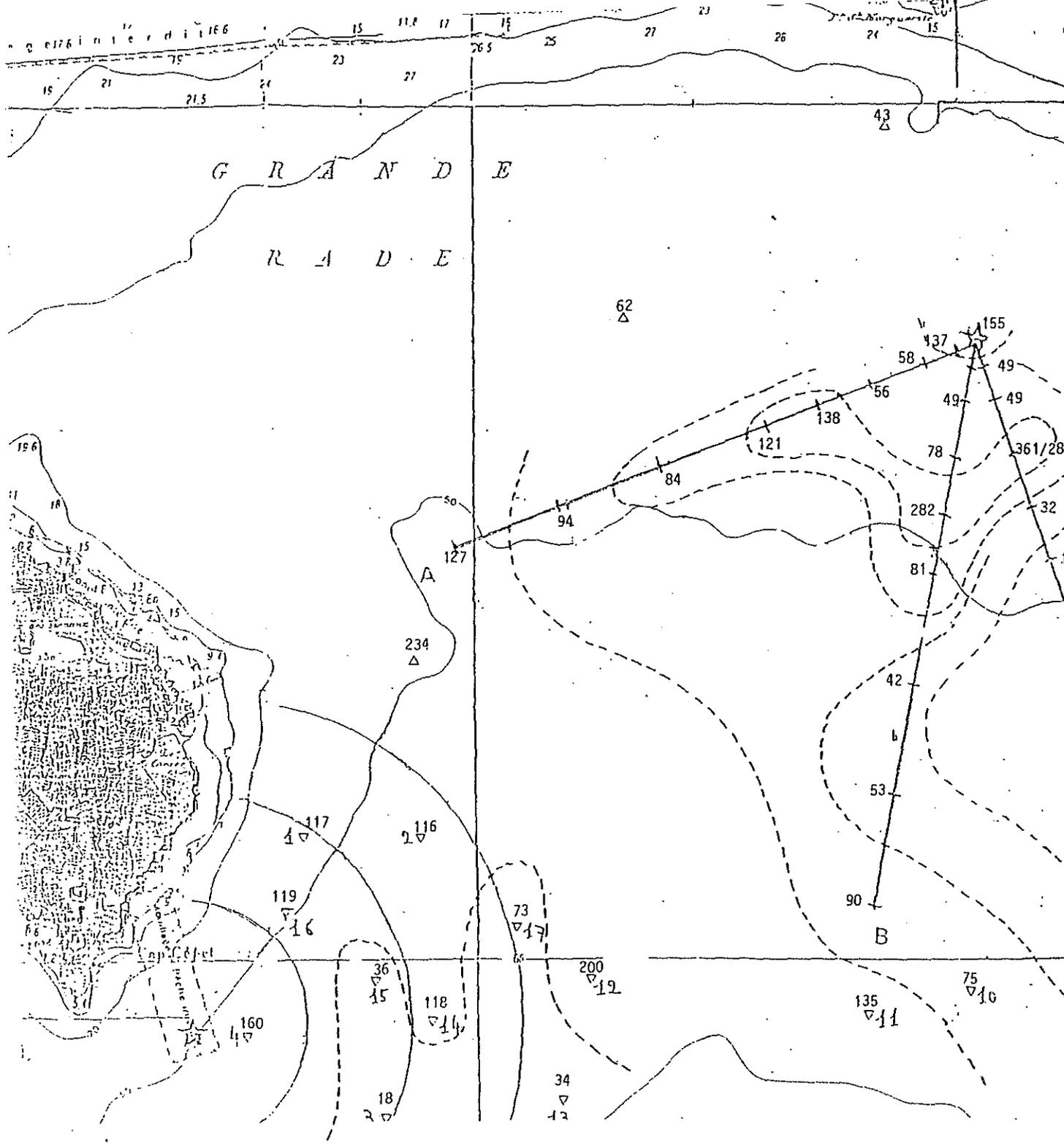


Annexe 3.07 : PCB ng x g⁻¹

☆ REJET

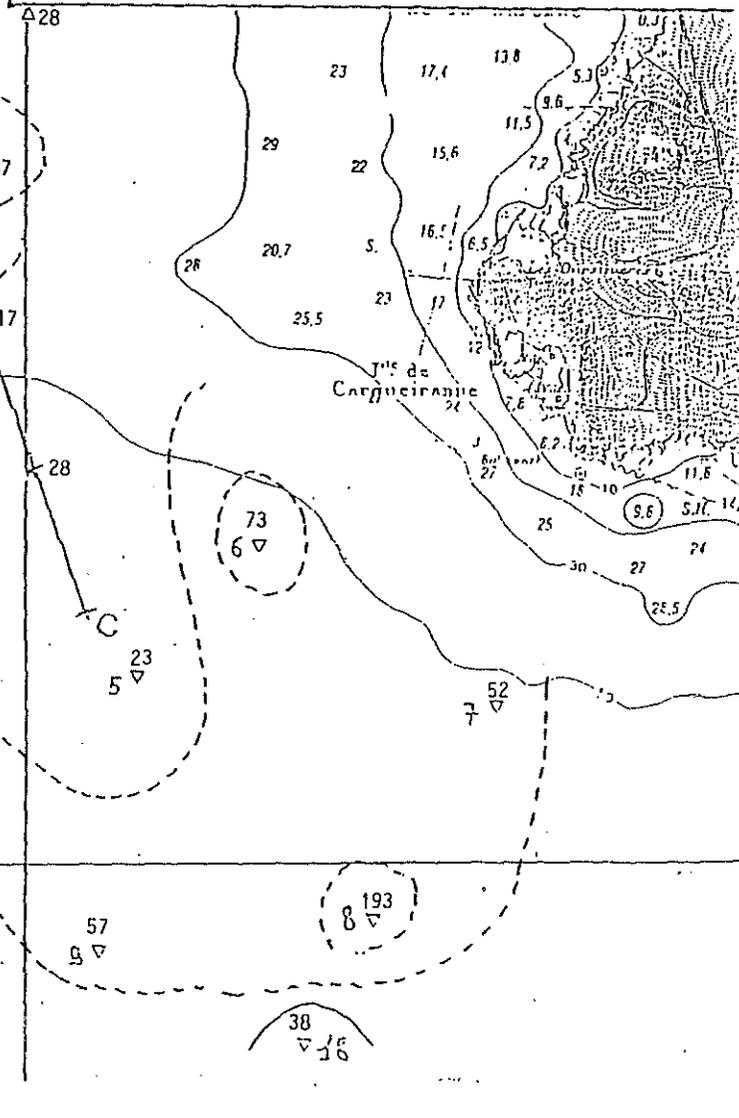
▽ REFERENCE





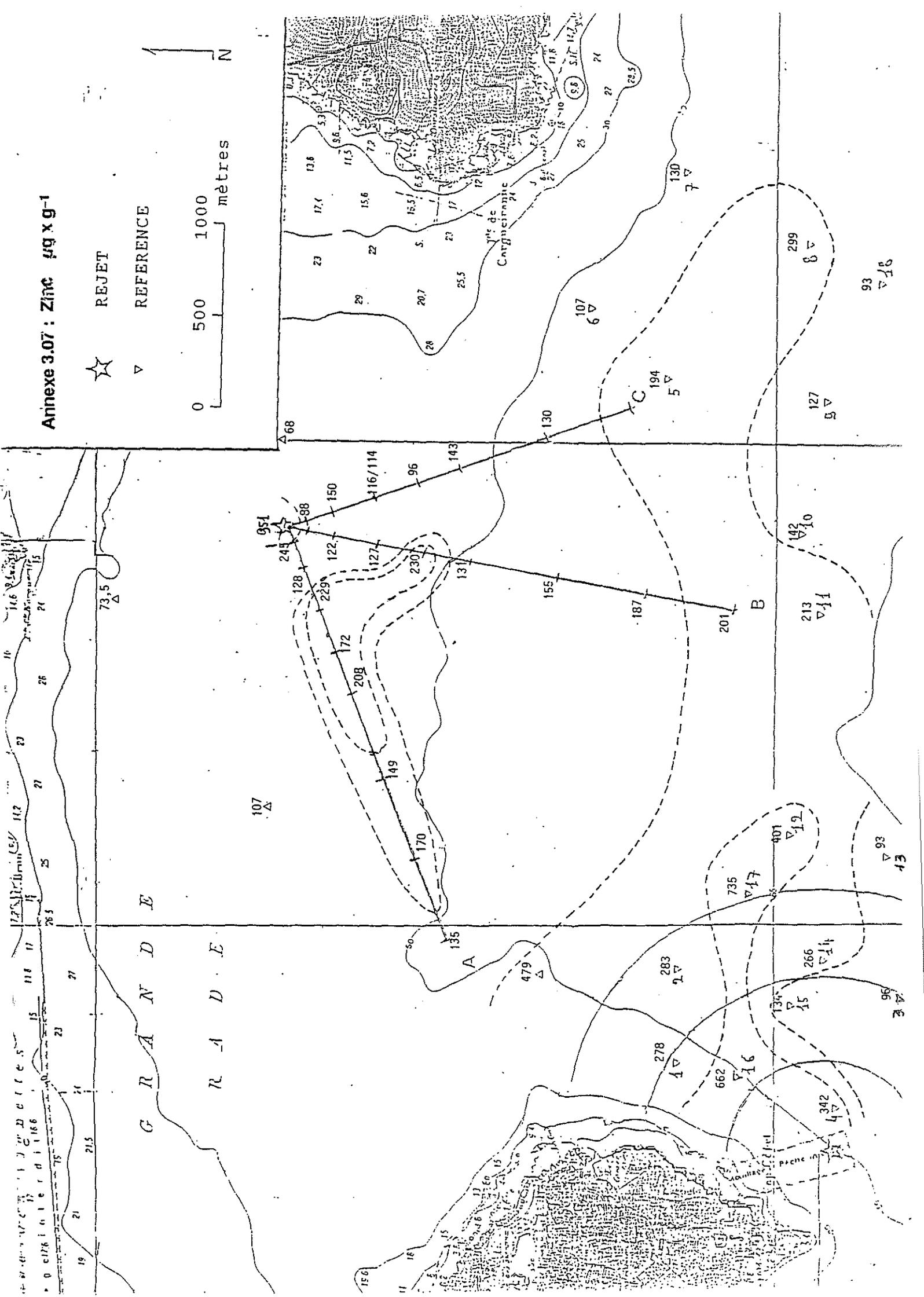
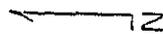
Annexe 3.07 : Plomb $\mu\text{g} \times \text{g}^{-1}$

- ☆ REJET
- ▽ REFERENCE



Anexe 3.07 : Zinc µg x g⁻¹

- ☆ REJET
- ▽ REFERENCE



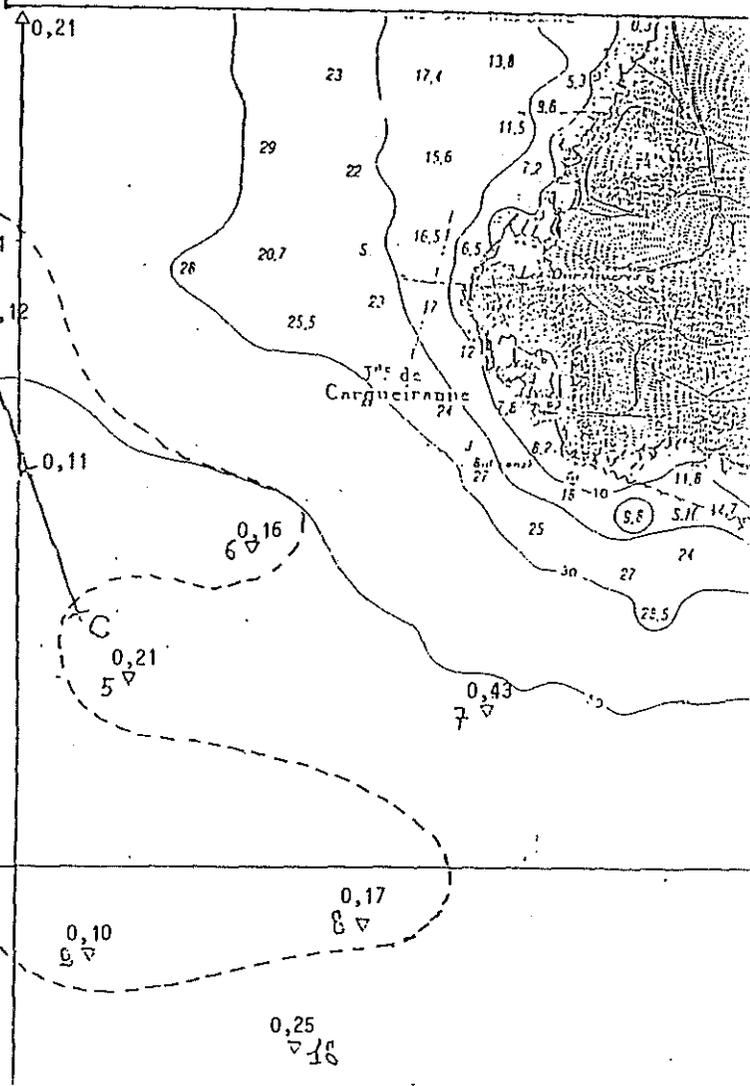
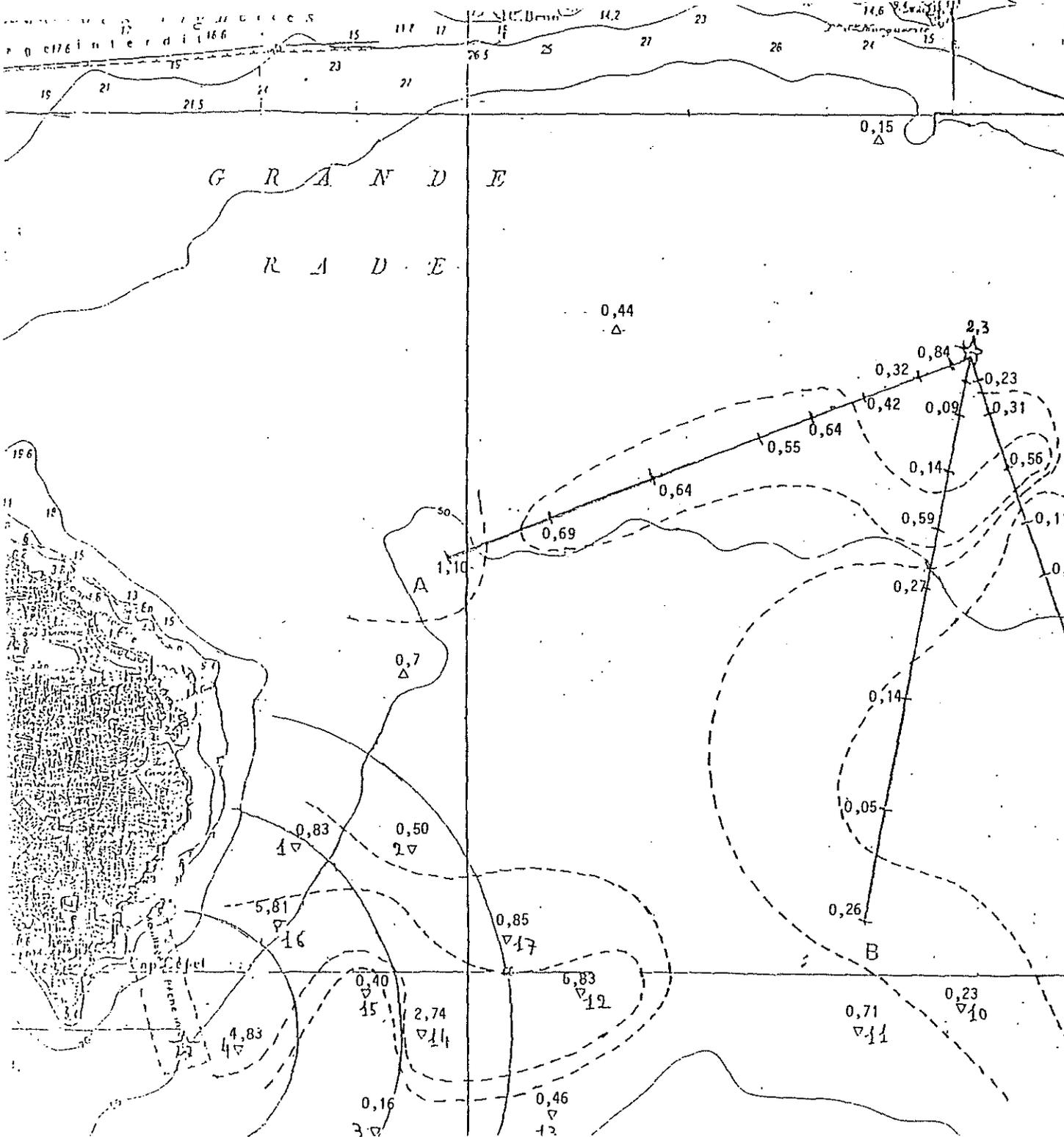
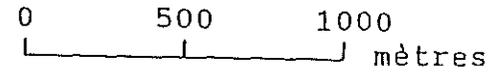
Annexe 3.07 : Mercure $\mu\text{g} \times \text{g}^{-1}$



REJET



REFERENCE



Annexe 4.01

Concentrations bactériennes dénombrées dans le sédiment au cours des campagnes d'avril 88 et de juin 89

Stations	1	2	3	4	5 ₀	5 ₁	5 ₂	5 ₃	5 ₄	6	7	8	eau de mer		effluent	
						(5m)	(10m)	(15m)	(50m)				R2	R3	27.04	29.04
Coliformes																
fécaux(bac/g)	0	0	0	0	0	50	0	0	25	76	25	0	-	-	-	-
Streptocoques																
fécaux(bac/g)	0	0	0	0	50	479	363	0	50	436	25	10				
Bactéries hété-																
rotrophes	4,81	4,91	5,65	4,39	3,38	5,46	-		4,68	5,35	5,93	5,60	2,64	2,13	7,33	5,95
viables(logb/g)																

Distance m	Radiale A			Radiale B			Radiale C			No	Références		
	CF bac/g	SF bac/g	BEV logb/g	CF	SF	BEV	CF	SF	BEV		CF	SF	BEV
10	1	32	4,29	4	40	4,50	11	1580	4,98	R1	0	2	4,91
25	0	40	4,29	0	22	4,29	4	62	4,73	R2	0	2	5,03
50 A	3	17	4,5	0	23	4,61	6	29	4,18	R3	0	0	4,42
50 B	1	6	-	0	30	4,62	0	17	3,70	R4	0	10	4,90
100	0	8	4,41	0	26	4,75	0	6	5,0	R5	3	3	4,76
250	0	6	5,01	0	30	4,68	0	3	-	R6	0	3	5,15
500	0	5	5,06	0	28	5,12	0	13	4,90	R7	0	0	4,71
750	0	11	4,98	0	4	4,94	0	1	-	R8	0	8	4,91
1000	0	0	4,50	0	3	4,84	0	1	4,20	R9	0	2	4,50
1500	0	7	5,02	0	30	5,18	0	5	5,32	R10	0	0	4,55
2000	0	4	5,00	0	29	5,15				R11	0	7	4,27
2500	1	2	4,56	0	14	4,76				R12	0	10	4,74

Annexe 4.02

Abondance des bactéries (campagne d'avril 1988)

Stations	Eau de mer		Effluent				Sédiments							
	RR2	RR3	RST2	RST3	S1	S2	S3	S4	S5C	S51	S55	S6	S7	S9
Stations	RR2	RR3	RST2	RST3	S1	S2	S3	S4	S5C	S51	S55	S6	S7	S9
Stations	20	26	18	19	16	20	17	20	17	17	20	19	18	19
<hr/>														
Abondance (logUFC/g)	2,64	2,15	7,33	5,85	4,81	4,91	5,65	4,39	5,39	5,46	4,58	5,85	5,38	5,50
<hr/>														
<u>Fréquence %</u>														
EAT g ⁻¹	100	100	94	100	75	63	63	50	93	100	100	89	67	63
OXYD +	100	95	55	32	25	75	41	15	18	59	55	34	72	42
<u>Croissance + à</u>														
4°C														
37°C	65	75	94	89	75	85	65	95	41	35	5	37	44	95
45°C	5	45	33	42	44	50	47	50	0	0	5	16	22	47
0%/..	5	5	100	100	50	65	47	95	24	29	10	47	44	47
<u>Enzymes</u>														
TWEEN	90	55	11	16	6	20	35	10	41	12	50	58	56	0
DNASE	45	30	6	5	19	55	13	15	59	12	40	33	33	21
GELAT.	45	45	11	5	0	55	35	50	65	18	45	47	61	11
AMID.	5	30	0	0	0	20	12	5	35	6	15	26	0	5
<u>Résistant à</u>														
LAURYL	5	0	61	84	25	15	35	10	59	59	35	35	67	0
BEN.SOL.	5	25	61	93	6	15	12	0	47	35	55	58	50	0
PH.CARB.	80	10	50	84	6	0	5	0	0	29	20	0	0	0
DIFELD.	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
PHENOL	0	0	17	42	6	55	24	45	0	12	0	0	17	32
PHENILAT.	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
AXYL.	100	85	95	100	19	60	43	50	76	47	45	56	39	11
Cr 100	10	50	39	63	38	30	71	95	47	29	60	74	76	47
Ca 100	30	55	56	74	55	35	59	70	76	47	65	84	73	53
Zn 100	100	75	44	79	13	15	12	20	53	29	35	11	50	11
Cu 100	95	70	61	34	13	10	12	15	16	16	0	11	0	0
Sr 100	100	100	100	100	100	100	32	95	94	100	100	95	100	79
Pb 500	100	100	99	95	81	30	76	70	82	98	100	84	94	42
Hg 100	10	5	5	0	6	0	12	0	0	0	0	0	0	0
Cl 10	100	100	100	95	13	40	53	45	6	0	25	11	15	5
Cl 100	100	100	100	95	13	30	53	15	0	0	20	11	20	5

Annexe 4.03

Caractères des populations bactériennes par groupe de stations (campagne d'avril 88)

	EM (40SI)	ETZ (37SI)	Séd.proch. (91SI)	Séd.loint. (92SI)
Bâtonnets Gram ⁻	100	97	99	93
Oxydase +	92,5	43	58	40
Croissance à 4°C	100	21	90	99
" 37°C	70	92	32	82
" 45°C	25	39	9	45
Croissance à 0'/. .	5	100	31	64
<hr/>				
Exoenzymes :				
Tween estérase	67,5	14	44	14
DNase	37,5	5	36	26
Gélatinase	42,5	3	47	32
Amylase	17,5	0	17	9
<hr/>				
Résistance				
LAD	2,5	73	74	16
BEN	15	76	49	7
P. CAR	47,5	68	10	2
DDT/DIEL	100	100	100	100
PHEN	0	29	5	34
PHTA	0	3	0	1
ANIL	92,5	97	53	34
Cr 100	30	91	58	67
Co 100	72,5	65	71	57
Zn 100	67,5	62	35	14
Cu 100	92,5	73	9	11
Sn 100	100	100	96	91
Pb 500	100	92	90	70
Hg 10	100	100	96	99
Hg 100	12,5	3	0	3
Cd 10	100	97	13	33
Cd 100	100	97	11	33

Annexe 4.04

Résistance et capacité de dégradation des souches vis à vis des détergents anioniques
(campagne de juin 89)

Distance à l'émissaire	Nombre de souches	LAUREYL SULFATE		ALKYL-BENZENE SULFONATE	
		Souches résistantes %	Aptitude dégradation %	Souches résistantes %	Aptitude dégradation %
0 - 100 m	120	14,2 (8,5-21,9)	13,3 (7,9-20,8)	14,2 (8,5-21,9)	5,8 (2,4-11,7)
250 m	19	10,5 (1,3-33,1)	5,3 (0,1-26,0)	10,5 (1,3-33,1)	0 (0-17,6)
500 m	46	9,7 (2,4-20,9)	9,7 (2,4-20,9)	9,7 (2,4-20,9)	6,7 (2,4-20,9)
1000 m	54	7,4 (2,1-17,9)	7,4 (2,1-17,9)	11,1 (4,2-22,6)	7,4 (2,1-17,9)
2000 m	15	13,3 (1,7-40,5)	13,3 (1,7-40,5)	13,3 (1,7-40,5)	6,7 (0,2-32,0)
Références	49	2,0 (0,05-10,9)	0 (0 - 7,3)	2,0 (0,05-10,9)	0 (0 - 7,3)

Annexe 5.1

Fréquences de malformations larvaires et d'arrêts de développement (pré-pluteus)
sur *S. Granularis*

ECH.	DISTANCE DU REJET	POSIT. X	POSIT. Y	PROFOND. Z	MALFORMATIONS LARVES	(%) PRE PLUT.
R04		5°57'17"	43°03'50"	60	14,9	5,5
R01		5°57'26"	43°04'18"	46	7,5	0,8
R03		5°57'40"	43°03'38"	80	10,3	2,2
R02		5°57'49"	43°04'16"	56	10,8	3,7
R14		5°57'50"	43°03'50"	78	9,2	2,6
R15		5°57'39"	43°03'57"	70	7,7	5,1
R12		5°58'24"	43°03'56"	75	13,5	4,3
R16		5°57'24"	43°04'06"	50	10,0	4,6
R17		5°58'06"	43°04'06"	66	13,1	8,7
R05		6°00'16"	43°04'18"	60	3,3	0,3
R06		6°00'35"	43°04'33"	53	7,0	1,6
R07		6°01'08"	43°04'15"	54	6,0	0,8
R08		6°00'48"	43°03'54"	65	12,8	0,7
R09		6°00'10"	43°03'52"	75	5,7	1,3
R10		5°59'36"	43°03'54"	80	11,3	1,9
R11		5°59'14"	43°03'54"	80	10,7	2,5
R18		6°00'40"	43°03'42"	70	4,0	1,9
AP0010	10	5°59'38"	43°05'28"	43	13,8	6,4
AP0025	25	5°59'37"	43°05'28"	43	14,0	5,4
AB0050	50	5°59'36"	43°05'27"	43	2,1	1,0
AB0100	100	5°59'34"	43°05'26"	43	1,6	0,0
AB0250	250	5°59'28"	43°05'24"	44	4,6	0,5
AB0500	500	5°59'20"	43°05'22"	45	15,8	3,1
AB0750	750	5°59'08"	43°05'19"	46	2,1	16,6
AB1000	1000	5°58'58"	43°05'16"	47	10,5	3,1
AB1500	1500	5°58'36"	43°05'10"	48	10,8	4,7
AB2000	2000	5°58'16"	43°05'05"	49	10,7	3,2
AB2500	2500	5°58'56"	43°05'00"	52	6,1	1,2
BP0010	10	5°59'39"	43°05'28"	43	19,2	14,7
BP0025	25	5°59'39"	43°05'27"	43	16,8	11,1
BB0050	50	5°59'38"	43°05'25"	43	4,3	3,8
BB0100	100	5°59'38"	43°05'23"	43	2,7	0,4
BB0250	250	5°59'37"	43°05'18"	44	5,9	1,7
BB0500	500	5°59'35"	43°05'10"	46	7,3	3,5
BB0750	750	5°59'33"	43°05'02"	47	15,4	8,4
BB1000	1000	5°59'31"	43°04'54"	51	9,8	1,7
BB1500	1500	5°59'28"	43°04'38"	55	9,7	2,5
BB2000	2000	5°59'24"	43°04'22"	62	6,3	1,2
BB2500	2500	5°59'20"	43°04'08"	70	20,1	4,7
CP0010	10	5°59'40"	43°05'28"	43	12,3	11,3
CP0025	25	5°59'40"	43°05'27"	43	5,4	4,8
CB0050	50	5°59'41"	43°05'25"	43	16,5	4,4
CB0100	100	5°59'41"	43°05'23"	43	5,2	1,6
CB0250	250	5°59'44"	43°05'18"	44	3,3	0,3
CB0500	500	5°59'47"	43°05'10"	46	35,0	5,8
CB0750	750	5°59'51"	43°05'04"	46	6,5	0,2
CB1000	1000	5°59'54"	43°04'58"	46	3,1	2,1
CB1500	1500	6°00'02"	43°04'40"	52	4,7	1,1
CB2000	2000	6°00'10"	43°04'25"	55		

