

~~13555~~
36178

R430h200-ETU-E

OEL02992

ETUDE INTEGREE DU LITTORAL

DÉPARTEMENT ENVIRONNEMENT
LITTORAL ET GESTION DU MILIEU
MARIN

ESTUAIRES

(Aa - Canche - Authie - Somme)

Rapport
d'Etude interdisciplinaire
1982

Hydrobiologie

Sédimentologie

Bactériologie

Molysmologie

Université des Sciences et Techniques de Lille

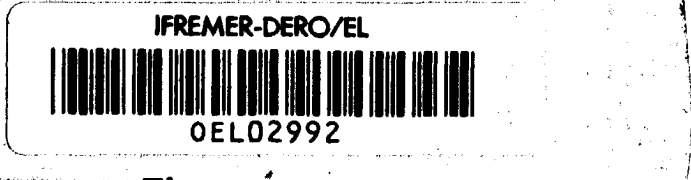
Institut Pasteur de Lille

Station Marine
de Wimereux BP 41
62930 Wimereux

Laboratoire de sédimentologie
et géochimie UER SN 5
59655 Villeneuve d'Ascq

Laboratoire Littoral
Nord BP101
59820 Gravelines

Service des Eaux
BP 39 59 651
Villeneuve d'Ascq Cedex



Financement

Etablissement Public Régional
Nord - Pas de Calais

et

Centre National pour
l'Exploitation des Océans

43555

OEL02992

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE I

Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie

U.E.R. des Sciences de la Terre

59655 VILLENEUVE D'ASCQ

DÉPARTEMENT ENVIRONNEMENT
LITTORAL ET GESTION DU MILIEU
MARI

RAPPORT "ESTUAIRES"
CHAPITRE II : SEDIMENTOLOGIE

- Canche
- Aa

Hervé CHAMLEY
Yves DESPEYROUX

TEXTE

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE I

Laboratoire de Sédimentologie et Géochimie

U.E.R. des Sciences de la Terre

59655 VILLENEUVE D'ASCQ

RAPPORT "ESTUAIRES"
CHAPITRE II : SEDIMENTOLOGIE

Hervé CHAMLEY
Yves DESPEYROUX

TEXTE

CHAPITRE II : SEDIMENTOLOGIE

II - I -	INTRODUCTION	49
II - II -	TECHNIQUES D'ETUDE	51
II - III -	RESULTATS RELATIFS AUX STATIONS PLURIDISCIPLI- NAIRES	56
	- Canche	56
	- Aa	56
II - IV -	ETUDE DE LA CANCHE - CARTES DE DISTRIBUTION ..	69
	1 - Généralités	69
	2 - Faciès	72
	3 - Teneurs en sable	83
	4 - Teneurs en fraction fine	85
	5 - Modes	86
	6 - Grain moyen	87
	7 - Teneurs en carbonate de calcium	88
	8 - Teneurs en carbone organique	90
	9 - Minéraux argileux	91
	10 - Conclusion	94
II - V -	ETUDE DE L'AA - CARTES DE DISTRIBUTION	95
	1 - Généralités	95
	2 - Teneurs en sable	95
	3 - Teneurs en fraction fine	99
	4 - Modes	100
	5 - Grain moyen	101
	6 - Teneurs en carbonate de calcium	102
	7 - Teneurs en carbone organique	103
	8 - Minéraux argileux	104
	9 - Conclusion	105
II - VI -	CARACTERES SEDIMENTOLOGIQUES PROPRES AUX DEUX ESTUAIRES - CONCLUSION	107

II - I - INTRODUCTION

Les sédiments et les matières minérales en suspension jouent fréquemment un rôle privilégié dans les phénomènes de pollution : ils sont en effet capables, à des degrés divers selon leurs constituants et les caractères physico-chimiques du milieu, de fixer, de véhiculer ou de larguer des polluants variés. Pour connaître ces mécanismes d'échanges (adsorption, désorption) et de transfert, il est nécessaire de connaître d'abord la nature et la distribution des sédiments-porteurs.

C'est dans cet esprit qu'a été abordée l'étude sédimentologique des écosystèmes perturbés que sont les estuaires. Plutôt que d'effectuer une étude à maillage lâche sur un nombre relativement important d'estuaires, il a été décidé, en accord avec l'Etablissement Public Régional Nord - Pas-de-Calais, d'étudier en détail deux estuaires aux caractéristiques opposées, et d'examiner en premier lieu les dépôts superficiels. Les deux estuaires retenus sont (fig. 1, Introduction générale) :

- La Canche, estuaire de type picard bien conformé, débouchant en Manche orientale au niveau du Touquet-Etaples, dont le régime hydrologique et sédimentologique est modérément perturbé par l'emprise humaine, et qui peut être utilement comparé au comportement moyen des grands estuaires français.

- L'Aa, estuaire débouchant en Mer du Nord au niveau de Gravelines, soumis à d'importants rejets d'origine principalement agricole, dont le cours est canalisé, et qui est soumis à des variations hydrologiques en partie artificielles (port et chasses en amont).

Deux-cent-trente échantillons de sédiments ont été prélevés dans le chenal des estuaires et sur leurs bordures, à raison de cent-quatre-vingt-douze pour la Canche et de trente-huit pour l'Aa. Ces échantillons ont donné lieu à des études systématiques de laboratoire, afin de connaître la nature et la distribution de leurs constituants : teneur en sable, en argile, en calcaire, en carbone organique, etc ... L'essentiel des données obtenues est regroupé sous forme de cartes de distribution placées en annexes, similaires pour les deux estuaires et pour les divers paramètres retenus. Ces cartes sont destinées à tenir lieu de références sur les caractéristiques de la sédimentation en 1982 dans les estuaires de la Canche et de l'Aa. Les nombreuses données qu'elles synthétisent doivent permettre d'aider à comprendre les mécanismes d'interaction entre milieu naturel et influence humaine.

Avant de donner et de commenter les cartes de distribution des sédiments, nous présenterons des tableaux qui rassemblent les résultats sédimentologiques obtenus à propos des séries de prélèvements pluridisciplinaires, effectuées en diverses stations de la Canche et de l'Aa, de manière espacée

durant l'année 1982. Ces résultats, fournis dans la première partie du rapport "Sédimentologie", sont destinés à être mis en parallèle avec ceux obtenus par les études hydrobiologiques, bactériologiques, molysmologiques, menées dans le cadre du contrat 1982 C. N. E. X. O. - E. P. R. sur les estuaires du Nord de la France.

II - II - TECHNIQUES D'ETUDE

1. Echantillonnage

En dehors des stations du programme commun, décrites plus haut, l'échantillonnage consiste en des prélèvements superficiels, qui concernent une épaisseur de sédiment de moins de 10 cm. Ceux-ci seront effectués au cours du printemps 1982 et principalement durant la période fin mai - début juin. Il fut rassemblé pour les deux estuaires un échantillonnage de 230 prélèvements, à raison de 192 pour la Canche et de 38 pour l'Aa.

2. Granulométrie

L'échantillonnage réalisé dans le cadre de cette étude fut soumis à une analyse granulométrique sur sédiment naturel non décarbonaté.

a) Techniques granulométriques. Les échantillons ont été lavés sous l'eau sur un tamis de 63 micromètres, afin de séparer la fraction fine de la fraction la plus grossière. Puis chaque fraction a été séchée.

- Granulométrie des fractions sableuses. Les analyses de la fraction sableuse ont été effectuées par tamisage sur les particules supérieures à 63 micromètres, sur une série de tamis de type AFNOR. Ces analyses portent sur un poids de 100 à 150 grammes, placé sur une colonne vibrante à alimentation électrique durant environ 12 minutes. Les mailles de la colonne de tamis utilisés sont comprises entre 1,25 mm et 0,063 mm, soit une série de 14 tamis. Les ouvertures successives sont 1,25 - 1 - 0,8 - 0,63 - 0,5 - 0,4 - 0,315 - 0,250 - 0,200 - 0,160 - 0,125 - 0,100 - 0,080 - 0,063 mm.

- L'étude des sédiments inférieurs à 63 micromètres est réalisée par l'emploi d'un Sédigraph 5 000 D. Celui-ci est un analyseur automatique de dimension des particules pour des tailles allant de 100 à 0,1 micromètres, par mesure du taux de sédimentation des grains en suspension. Cet appareil mesure, par l'intermédiaire d'un mince faisceau de R. X, la concentration des particules en suspension à un certain niveau au cours de la sédimentation. Les résultats sont automatiquement présentés sous forme de courbes cumulatives (Calatayud, 1981 ; Caline, 1982)

b) Mise en forme des données. Les courbes cumulatives de chaque échantillon sont établies en coordonnées semi-logarithmiques. Les valeurs des classes granulométriques correspondant aux diamètres des tamis choisis, sont équivalentes sur l'axe des abscisses. Chaque refus est traduit en pourcentage du poids total de l'échantillon. Les principaux paramètres statistiques étudiés, sont relatifs à la totalité du sédiment et comprennent : le grain moyen,

le mode, l'indice de classement et l'indice d'asymétrie.

- Grain moyen. Il est assimilé à la moyenne arithmétique de plusieurs données. C'est le quotient de leur somme par le nombre de ces données. On utilise pour le calculer les unités de représentation phi. Dans cette série chaque terme a comme dimension la moitié du terme précédent et le double du terme suivant. Les unités phi varient en sens inverse de l'échelle millimétrique.

Tableau II-1 - Correspondances d'unités granulométriques

dimension des mailles en mm	:	unités phi correspondantes
1	:	0
0,500	:	+ 1
0,250	:	+ 2
0,125	:	+ 3
0,0625	:	+ 4
0,03125	:	+ 5
0,0156	:	+ 6
0,0078	:	+ 7

Le grain moyen est donné par la relation :

$$M\psi = \frac{\psi_{10} + \psi_{30} + \psi_{50} + \psi_{70} + \psi_{90}}{5} \quad (\text{Mc Cammon, 1922})$$

ψ_{10} , ψ_{30} , ψ_{50} , ψ_{70} , ψ_{90} sont les dimensions en unité phi et correspondent aux fréquences 10%, 30%, 50%, 70%, 90%. Elles sont lues à partir de la courbe granulométrique cumulative. Les valeurs calculées reflètent bien la taille moyenne du sédiment, en fonction de tous les facteurs qui régissent les conditions de transport et de dépôt des sables.

- Mode. Il correspond à la dimension du tamis pour lequel le refus est maximum. Un sédiment peut présenter plusieurs modes. Ceux-ci sont alors classés selon leur importance décroissante.

- Indice de classement. L'indice de Trask ou Sorting Index (S_o) est une mesure de la dispersion de la distribution granulométrique.

$$S_o = \sqrt{\frac{Q_{25}}{Q_{75}}} \text{ en mm}$$

Q_{25} est la quantité correspondant à 25 % du poids du sédiment, lu sur la courbe granulométrique cumulative.

Q_{75} est la quantité correspondant à 75 % du poids du sédiment.

Le sédiment est d'autant mieux classé que la dispersion est faible. Les valeurs du classement adoptées sont les suivantes (in Caline, 1982) :

- 1 → 1,17 très bien classé
- 1,17 → 1,20 bien classé
- 1,20 → 1,35 moyennement bien classé
- 1,35 → 1,87 moyennement classé
- 1,87 → 2,75 mal classé
- > 2,75 très mal classé

- Indice d'asymétrie (Skewness). Cet indice permet de juger la normalité d'une distribution :

$$Sk = \frac{Q_{25} \times Q_{75}}{(Q_{50})^2}$$

Il est égal au produit des deux quartiles extrêmes sur le carré du quartile médian. Il indique par son signe la déviation de la courbe étudiée par rapport à une courbe théorique de Gauss :

- $Sk = 1$: le mode coïncide avec la médiane et la moyenne, la distribution est dite normale ;
- $Sk > 1$: la fraction grossière est plus abondante que la fraction fine, par rapport à la moyenne ;
- $Sk < 1$: la fraction fine est plus abondante que la fraction grossière, par rapport à la moyenne.

3. Dosage du carbonate de calcium

On utilise le calcimètre de Bernard. Le principe repose sur le volume de CO_2 dégagé au cours de l'attaque du calcaire par l'acide chlorhydrique dilué. Le carbonate de calcium pur tient lieu de référence. Une fraction de sédiment est broyée en une poudre dont on en prend 0,250 g. Les valeurs obtenues sont corrigées en fonction de la température et de la pression régnant au moment du dosage.

4. Dosage du carbone organique

Le dosage par pyrolyse est réalisé à l'aide d'un doseur de type Babrock et Wilcox. Cette technique a été décrite en détail par Bouedina (1978). L'échantillon est calciné sous courant d'oxygène pur dans un tube à induction. Les gaz de combustion débarrassés de la vapeur d'eau et du dioxyde de soufre, barbotent dans une solution non aqueuse (solution d'absorption) contenant une amine qui retient le CO_2 . L'acidité engendrée par ce dernier est neutralisée, par

une solution titrée d'hydroxyde de tetra-n buthylammonium, en solution benzénique, en présence de thymophtaléine comme indicateur de fin de titrage.

5. Analyse des minéraux argileux

La technique de préparation des pâtes orientées et leur étude diffractométrique a été exposée en détail par Holtzapffel (1981). Voici succinctement la préparation et l'interprétation de chaque échantillon.

a) Préparation des pâtes orientées

- On procède à l'élimination du carbonate de calcium par l'acide chlorhydrique N/5, après délitage dans l'eau distillée.
- Les suspensions sont ensuite lavées par centrifugations successives à 2 500 t/mn pendant 3 minutes, jusqu'à défloculation du mélange.
- Le mixage au microhomogénéiseur durant 1 minute parfait la défloculation.
- On prélève les 2 cm supérieurs (c'est-à-dire les particules inférieures à 2 μm) après une décantation de 1 h 40 mn.
- Le prélèvement effectué est centrifugé à 3 500 t/mn pendant 40 minutes, et le culot obtenu est étalé sur une lame de verre rainurée en son centre. Cet étalement doit être fait de façon homogène, et toujours dans le même sens, dans le but d'orienter les particules.
- Si la quantité de matière s'avère insuffisante, on remplace la technique des pâtes orientées par celle des agrégats orientés. Cette technique consiste à prélever après décantation de 50 minutes, le centimètre supérieur et à déposer la suspension ainsi isolée sur une lame de verre non rainurée. Le dépôt s'oriente de lui-même après évaporation de l'eau et sédimentation des particules.

Ainsi, pour chaque échantillon, sont préparées deux lames à pâtes ou agrégats orientés.

b) Diffraction de rayons X

Le principe repose sur la diffraction, par un réseau de plans cristallins, d'un faisceau de R. X. selon la loi de Bragg. L'émission des rayons X est assurée par un tube de rayons X à anticathode au cuivre et par un générateur de haute tension stabilisée Philipps 1 730. Le traitement de l'information s'effectue à l'aide d'un goniomètre, un compteur à scintillation, une baie de mesure et un enregistreur graphique.

c) Modalités d'analyse des échantillons

Une première lame est passée sans traitement préalable au diffractomètre ($2,5$ à $28,5^\circ\theta$, CuK_α), puis saturée à l'éthylène glycol pour y subir un nouveau passage ($2,5$ à $14,5^\circ\theta$, CuK_α).

La deuxième lame est chauffée à 490°C pendant 2 heures pour être passée également au diffractomètre ($2,5$ à $14,5^\circ\theta$).

Les trois diagrammes obtenus permettent, en fonction des diverses fluctuations des pics de diffraction X, une détermination qualitative. Les estimations semi-quantitatives sont basées sur les hauteurs des pics en prenant l'illite comme minéral de référence. Elles sont données de 5 % en 5 %.

Notons que le symbole (10-14) désigne des édifices interstratifiés irréguliers formés de feuillets de transition proches de l'illite, de la vermiculite ou de la smectite, et le symbole (14-14) des interstratifiés à feuillets proches de la chlorite, de la smectite ou de la vermiculite. Ces minéraux sont des édifices de dégradation ménagée issus de l'altération météorique sous le climat tempéré humide de nos régions.

6. Conception des cartes de distribution

Les fonds topographiques utilisés sont les photographies aériennes I. G. N. 1981 pour la Canche, la carte I. G. N. 1/25 000 pour l'Aa. Les valeurs obtenues pour les différentes analyses effectuées sont regroupées en classes, afin de permettre une figuration plus parlante. Les domaines géographiques identifiés par les diverses classes, pour un paramètre donné, sont séparés par un trait plein lorsque la progression s'effectue d'une classe immédiatement voisine, par un trait tireté lorsque les classes intermédiaires manquent par suite d'un maillage relativement lâche.

III - III - RESULTATS RELATIFS AUX MISSIONS PLURIDISCIPLINAIRES

Les stations étudiées en sédimentologie, relatives à la Canche et à l'Aa, sont portées sur les figures II-1 et II-2. Les résultats obtenus pour les missions successives figurent sur les tableaux II-2 à II-6 pour la Canche (l'équivalence des numéros de stations en hydrobiologie est portée entre parenthèses), et II-7 à II-10 pour l'Aa.

1. Canche (Tableaux II-2 à II-6)

D'une manière générale, le pourcentage de sable augmente d'amont en aval, avec des valeurs variables selon la période de prélèvement : cela traduit à la fois l'influence croissante vers l'aval des apports d'origine marine et dunaire, ainsi que la variabilité plus grande des dépôts fluviatiles (par exemple, forte opposition entre berges et cours proprement dit). Cette évolution s'accompagne d'un classement amélioré vers l'aval et d'un grain moyen souvent plus élevé et plus constant (valeurs phi plus faibles).

En revanche, on ne discerne pas d'évolution continue dans le ou les modes (le plus souvent 0,160 à 1,125 mm), dans l'asymétrie qui est proche de la normalité, dans le pourcentage de carbonate de calcium (7 à 26 %) ou de carbone organique (0,1 à 2 %), ou dans la composition des cortèges argileux (illite dominante, smectite, interstratifiés irréguliers et kaolinite subordonnés, chlorite et vermiculite peu abondantes, quartz et feldspaths souvent associés) : il s'agit dans ces cas d'une dispersion des valeurs plutôt que d'une homogénéisation, qui résulte de la prépondérance des variations locales (hydrodynamisme, activité organique, transports sur courtes distances), par rapport aux variations à plus vaste échelle.

L'examen des valeurs des divers résultats obtenus en une station donnée, au cours des missions successives, révèle une variabilité considérable, particulièrement importante dans le secteur fluviatile ou atteint seule par la marée dynamique, mais également marquée dans les secteurs plus aval de l'estuaire. Cette variabilité, qui empêche d'effectuer des comparaisons significatives pour les divers paramètres considérés, met en relief le caractère très fluctuant des écosystèmes perturbés que sont les estuaires picards, et souligne la nécessité de travailler avec une maille de prélèvements considérablement plus dense, à la fois dans le temps et dans l'espace.

2. Aa (Tableaux II-7 à II-10)

En hiver (mars 1982), les teneurs en sable tendent à augmenter d'amont en aval, par suite de l'intensification des forces hydrodynamiques en jeu. On note, d'une part que l'envasement est particulièrement important dans le port de Gravelines (st. 2), d'autre part que les dépôts en amont des écluses

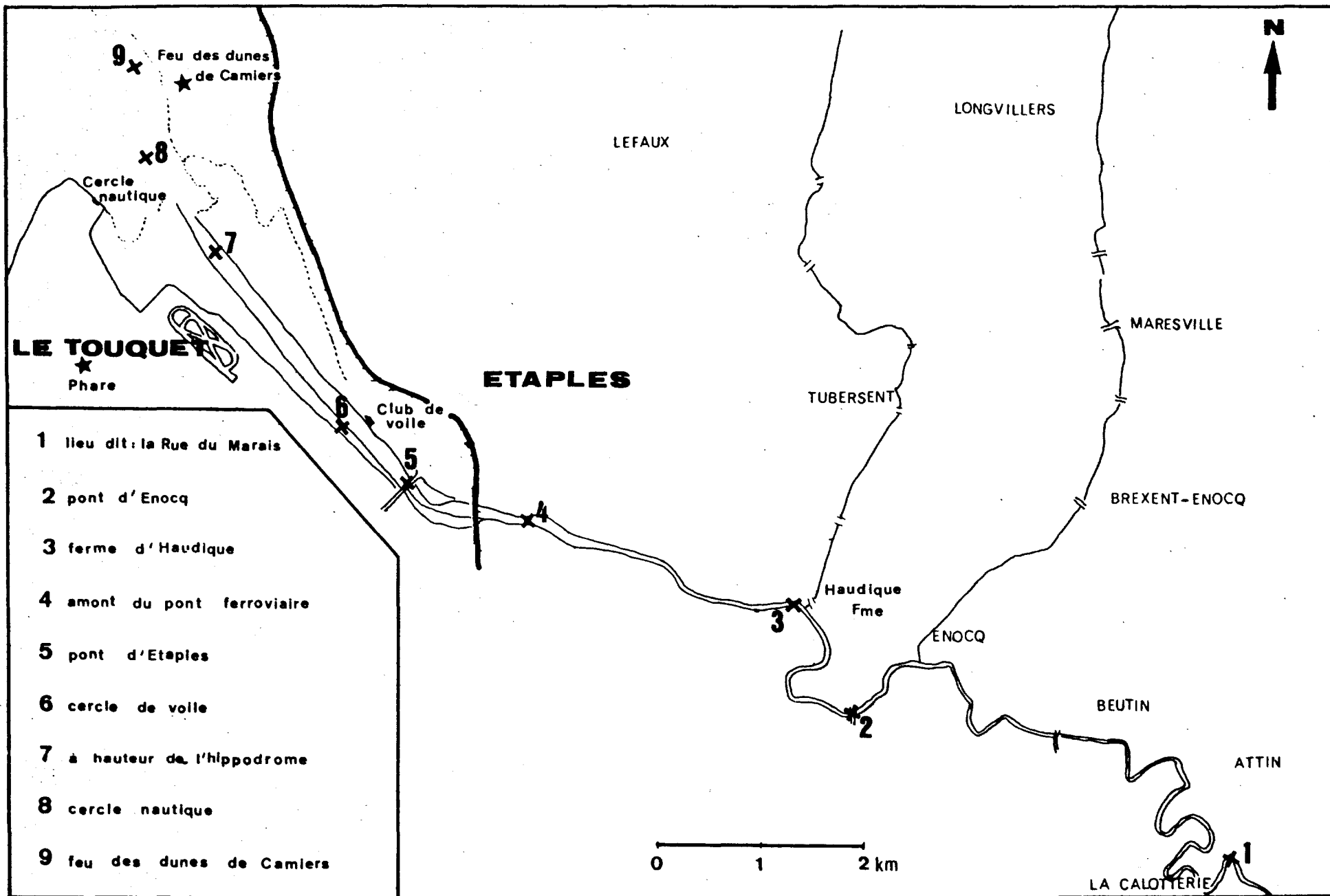


Figure II-1 Stations des missions pluridisciplinaires Canche.

CANCHE

4/02/82

STATIONS	1	2	3	4	5	6	7	8
Equiv. Stat. Hydro.	(-)	(1)	(2)	(-)	(3)	(4)	(5)	(6)
% SABLE	45	42	46	90	99	99	99	99,7
% FINES	55	58	54	10	1	1	1	0,3
MODE mm	0,315 0,063	0,125	0,125	0,125	0,160 0,125	0,125	0,125	0,125 0,160
GRAIN MOYEN phi	4,03	5,07	4,61	3,04	2,45	2,85	2,74	2,66
CLASSEMENT So	2,76	2,21	2	1,15	1,18	1,09	1,12	1,13
ASYMETRIE SK	1,41	0,59	0,56	0,98	1,07	1,03	1,02	0,98
% CARBONATE	20	15	14	21	20	15	11	11
% C ORGANIQUE	1,71	2,3	1,38	0,83	1,32	0,94	0,99	1,1
FRACTION ARGILEUSE %:								
CHLORITE	10	5	5	5		5	10	
ILLITE	35	30	30	30		35	35	
(10-14)	20	25	25	25		20	15	
(14-14)	10	10	10	15		10	10	
VERMICULITE	5	5	5	tr		tr	5	
SMECTITE	10	10	10	10		15	10	
KAOLINITE	20	15	15	15		15	15	
QUARTZ	+	+	+	++		++	+	
FELDSPATH	+	+	+	-		+	+	

Tableau II-2 - Mission pluridisciplinaire du 4/02/82 - Sédimentologie.

CANCHE

26/03/82

STATIONS	3	6	7	8	9
Equiv. Stat. Hydro.	(2)	(4)	(5)	(6)	(7)
% SABLE	24	100	77	100	100
% FINES	76	0	23	0	0
MODE mm	0,016	0,125	0,125	0,125 0,160	0,160 0,125
GRAIN MOYEN phi	5,32	2,71	3,68	2,68	2,3
CLASSEMENT So	6,65	1,12	1,48	1,12	1,22
ASYMETRIE SK	0,08	1,02	0,6	1,09	1,08
% CARBONATE	14	9	27	9	8
% C ORGANIQUE	1,5	0,2	1,98	0,42	0,1
FRACTION ARGILEUSE %:					
CHLORITE	5		5		
ILLITE	25		30		
(10-14)	20		15		
(14-14)	15		10		
VERMICULITE	5		tr		
SMECTITE	15		25		
KAOLINITE	15		15		
QUARTZ	+		+		
FELDSPATH	+		+		

Tableau II-3 - Mission pluridisciplinaire du 26/03/82 - Sédimentologie.

CANCHE

18/05/82

STATIONS	: 6	: 7	: 8	: 9
Equiv. Stat. Hydro.	: (4)	: (5)	: (6)	: (7)
% SABLE	:100	:100	:100	:100
% FINES	: 0	: 0	: 0	: 0
MODE mm	: 0,125 : 0,160	: 0,160	: 0,125 : 0,160	: 0,315 : 0,250
GRAIN MOYEN phi	: 2,61	: 2,5	: 2,67	: 1,88
CLASSEMENT So	: 1,15	: 1,13	: 1,15	: 1,15
ASYMETRIE SK	: 1,01	: 1,07	: 1,03	: 1,03
% CARBONATE	: 8	: 7	: 8	: 7
% C ORGANIQUE	: 0,1	: 0,09	: 0,34	: 0,1

Tableau II-4 - Mission pluridisciplinaire du 18/05/82 - Sédimentologie.

CANCHE

1/07/82

STATIONS	: 4	: 6	: 7	: 8
Equiv. Stat. Hydro.	: (-)	: (4)	: (5)	: (6)
% SABLE	: 100	: 100	: 100	: 98
% FINES	: 0	: 0	: 0	: 2
MODE mm	: 0,125	: 0,125 0,160	: 0,160	: 0,125
GRAIN MOYEN phi	: 2,7	: 2,69	: 2,5	: 2,77
CLASSEMENT So	: 1,14	: 1,14	: 1,13	: 1,09
ASYMETRIE SK	: 1,05	: 1,02	: 1,07	: 1,03
% CARBONATE	: 12	: 8	: 7	: 16
% C ORGANIQUE	: 0,08	: 0,08	: 0,09	: 0,3

Tableau II-5 - Mission pluridisciplinaire du 1/07/82 - Sédimentologie.

CANCHE

5/11/82

STATIONS	1	1	2	3	4	5	6	7(5)	8	9
Equiv. Stat. Hydro.	bordure	chenal	(1)	(2)	(-)	(3)	(4)	coquil.	(6)	(7)
% SABLE	49	95	51	30	100	100	100	99	100	100
% FINES	51	5	49	70	0	0	0	1	0	0
MODE mm	0,063 0,160	0,315	0,063	0,063	0,125	0,125 0,160	0,125 0,160	0,250	0,125 0,160	0,125
GRAIN MOYEN phi	4,04	1,37	4,55	5,04	2,74	2,67	2,68	2,06	2,7	2,17
CLASSEMENT	2,13	1,41	2,13	1,91	1,11	1,10	1,08	1,31	1,10	1,35
ASYMETRIE	1,29	1,11	0,92	0,87	1,06	0,99	0,96	1,05	0,93	1,10
% CARBONATE	11	23	26	24	18	8	12	15	10	13
% C ORGANIQUE										
MINERAUX ARGILEUX %										
CHLORITE	5		10	10				10		
ILLITE	25		25	25				40		
(10-14)	20		15	15				10		
(14-14)	15		10	10				15		
VERMICULITE	tr		tr	5				tr		
SMECTITE	15		30	20				15		
KAOLINITE	20		10	15				10		
QUARTZ	+		+	+				++		
FELDSPATH	+		+	+				++		

Tableau II-6 - Mission pluridisciplinaire du 1/06/82 - Sédimentologie.

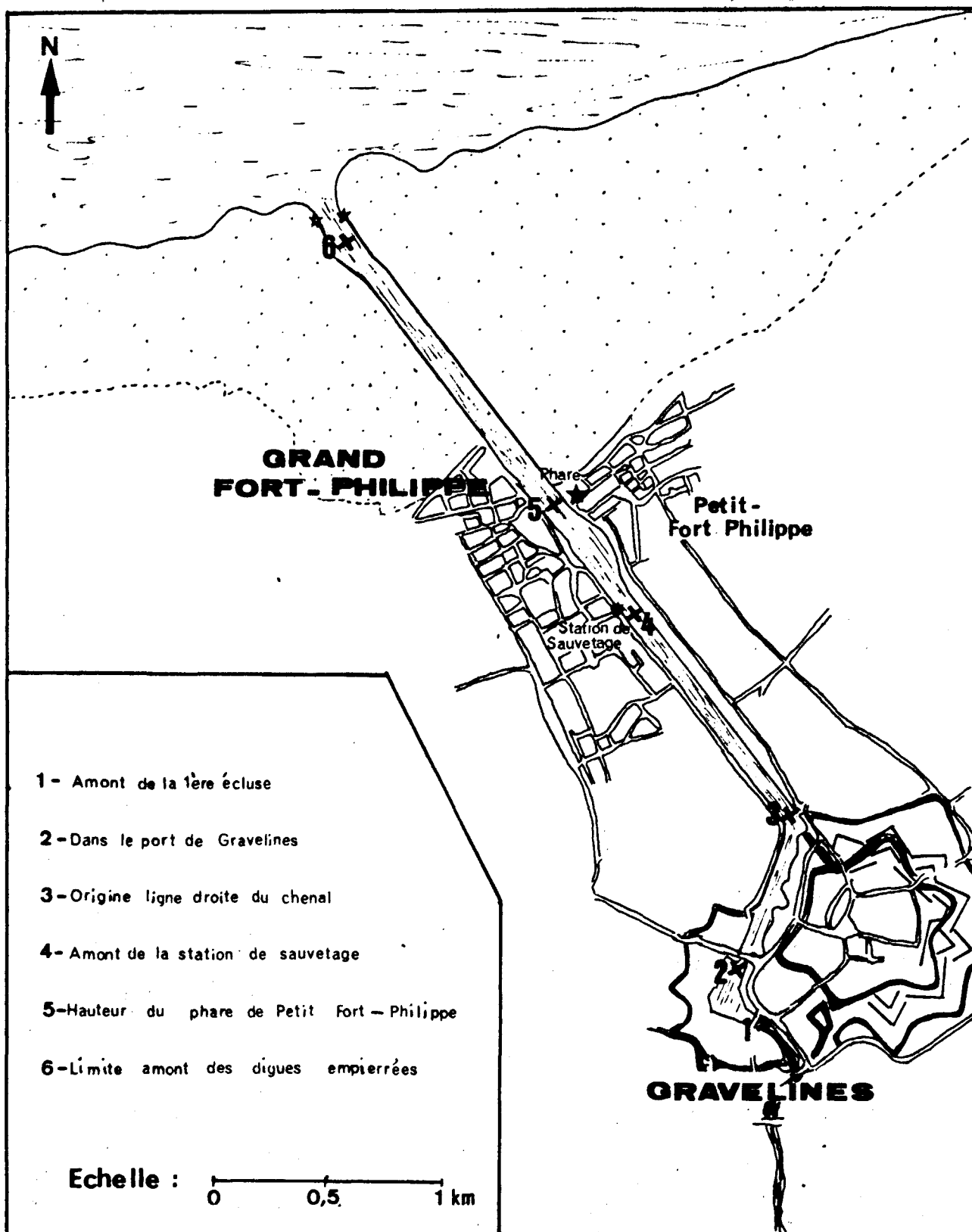


Figure II-2 Stations des missions pluridisciplinaires Aa

AA

5/03/82

STATIONS	1	2	3	4	5	6
% SABLE	88	9	23	20	43	97
% FINES	12	91	77	80	57	3
MODE mm	125	8	8	8	160 8	315
GRAIN MOYEN phi	2,67	7,13	6,11	6,28	4,92	1,77
CLASSEMENT So	1,35	2,40	2,94	2,94	3,51	1,30
ASYMETRIE SK	1,35	0,95	0,85	0,90	1,30	0,85
% CARBONATE	18	32	32	38	30	25
% C ORGANIQUE	1,39	2,47	1,91	1,94	1,12	0,69
FRACTION ARGILEUSE %						
CHLORITE	5	5	5	5	5	5
ILLITE	20	25	25	30	30	35
(10-14)	10	10	10	10	10	15
(14-14)	10	10	10	10	10	10
VERMICULITE						
SMECTITE	35	30	30	25	25	15
KAOLINITE	25	20	20	20	20	20
QUARTZ	++	++	++	+	++	++
FELDSPATH	+	+	+	+	+	+

Tableau II-7 - Mission pluridisciplinaire du 5/03/82 - Sédimentologie.

AA

7/05/82

STATIONS	: 3	: 4	: 5
% SABLE	: 62	: 23	: 6
% FINES	: 38	: 77	: 94
MODE mm	: 160	: 8	: 8
GRAIN MOYEN phi	: 4,44	: 6	: 7,24
CLASSEMENT So	: 4,74	: 3,59	: 3
ASYMETRIE SK	: 0,07	: 1,34	: 1,07
% CARBONATE	: 20	: 39	: 40
% C ORGANIQUE	: 0,79	: 1,50	: 2,12
FRACTION ARGILEUSE %:			
CHLORITE	: 5	: 5	: 5
ILLITE	: 25	: 30	: 30
(10-14)	: 15	: 10	: 10
(14-14)	: 10	: 5	: 5
VERMICULITE			
SMECTITE	: 25	: 30	: 30
KAOLINITE	: 20	: 20	: 20
QUARTZ	: +	: +	: +
FELDSPATH	: -	: -	: -

AA

6/08/82

STATIONS	: 3	: 4	: 5
% SABLE	: 40	: 13	: 5
% FINES	: 60	: 87	: 95
MODE mm	: 125	: 8	: 8
GRAIN MOYEN phi	: 5,45	: 6,66	: 7,06
CLASSEMENT So	: 5,36	: 2,86	: 2,24
ASYMETRIE SK	: 1,10	: 1,20	: 0,93
% CARRBONATE	: 30	: 38	: 39
% C ORGANIQUE	: 1,77	:	: 2,12
FRACTION ARGILEUSE %	:	:	:
CHLORITE	: 5	: 5	: 5
ILLITE	: 30	: 30	: 35
(10-14)	: 10	: 10	: 10
(14-14)	: 5	: 5	: 10
VERMICULITE	:	:	:
SMECTITE	: 30	: 30	: 20
KAOLINITE	: 20	: 20	: 20
QUARTZ	:	: +	: +
FELDSPATH	:	: +	: +

Tableau II-9 - Mission pluridisciplinaire du 6/08/82 - Sédimentologie.

AA

16/11/82

STATIONS	: 1	: 2	: 3	: 4	: 5
% SABLE	: 82	: 27	: 8	: 5	: 14
% FINES	: 18	: 73	: 92	: 95	: 86
MODE mm	: 160	: 8	: 8	: 8	: 8
GRAIN MOYEN phi	: 3,42	: 5,47	: 6,63	: 7,12	: 6,30
CLASSEMENT So	: 1,42	: 2,65	: 3,33	: 2,24	: 2,5
ASYMETRIE SK	: 0,84	: 1,17	: 0,88	: 0,78	: 1,2
% CARBONATE	: 13	: 27	: 38	: 37	: 42
% C ORGANIQUE	:	:	:	:	:
MINERAUX ARGILEUX %	:	:	:	:	:
CHLORITE	: 5	: 5	: 5	: 5	: 5
ILLITE	: 20	: 25	: 35	: 30	: 30
(10-14)	: 10	: 5	: 10	: 10	: 10
(14-14)	: 10	: 5	: 10	: 10	: 10
VERMICULITE	:	:	:	:	:
SMECTITE	: 30	: 35	: 20	: 25	: 25
KAOLINITE	: 25	: 25	: 20	: 20	: 20
QUARTZ	: +	: +	: ++	: +	: -
FELDSPATH	: -	: -	: -	: +	: +

Tableau II-10 - Mission pluridisciplinaire du 16/11/82 - Sédimentologie.

(st. 1) sont presque aussi sableux que dans le secteur le plus marin de l'estuaire (st. 6). Cette situation est très modifiée aux autres périodes, où l'on peut avoir un envasement très fort au niveau de Petit Fort-Philippe (st. 5) et dans l'ensemble de l'estuaire en aval du coude, ou bien des fluctuations d'intensité variable. Cette complexité des situations selon la période est exprimée par divers autres paramètres sédimentologiques, et, souligne une nouvelle fois la nécessité d'études à maillage plus dense, compte tenu de la variabilité des agents hydrodynamiques. Du point de vue sédimentaire, l'étude exposée dans le chapitre suivant (II-IV) permet de progresser dans cette voie, en établissant une référence à maillage géographique dense, pour une période donnée ; il serait souhaitable de conduire une démarche parallèle dans les milieux liquides de l'estuaire, à partir de prélèvements à maillage chronologique dense.

Une seule évolution de tendance à la fois continue et reproductible s'observe, elle qui intéresse les minéraux argileux (cf. mission du 5 mars et du 16 novembre 1982). L'illite tend à augmenter vers l'aval, aux dépens de la smectite notamment. Cette évolution paraît liée à l'hydrodynamisme moyen croissant vers l'aval, qui maintient davantage en suspension les particules petites et peu floculables de smectite, au contraire des illites plus grosses qui sédimentent. Cette variation peut avoir des répercussions sur le piégeage des polluants, les feuillets de smectite ayant un pouvoir d'adsorption et d'échange plus élevé que ceux d'illite. Cette question sera réexaminée à propos de l'étude sédimentologique plus détaillée de l'Aa (II-V).

III - IV - ETUDE DE LA CANCHE - CARTES DE DISTRIBUTION

1. Généralités

La Canche draine un bassin versant de 894 km^2 qui lui fournit un débit moyen de $15 \text{ m}^3/\text{sec}$. Elle coule selon une direction SE-NW à partir de sa source (Guy-en-Ternoise), puis baigne Frévent, Hesdin, Etaples et le Touquet - Paris-Plage. Elle prend vers l'aval une allure méandriforme au niveau des marnes d'âge turonien. A partir de Montreuil elle longe la rive droite d'une vallée, actuellement disproportionnée par rapport à son cours, marquée par des marécages et des tourbières drainées par des canaux. La Canche se résout en un estuaire à partir du pont routier d'Etaples (fig. II-3) et qui se termine en mer par un passage divagant au travers d'un banc littoral (poulier du Pilori). La forme générale dessine un entonnoir ouvert vers l'aval, et son embouchure coupe le réseau dunaire d'une côte rectiligne pour étaler un "delta externe en grande partie intertidal" (Verger, 1968). L'estuaire s'ouvre entre les pointes de Lornel et du Touquet sur une distance d'environ 2,5 km ; à Etaples sa largeur n'atteint plus que 300 m. Le chenal navigable de la Canche est maintenu canalisé entre deux digues fixées depuis 1863 (Briquet, 1930 ; Verger, 1968).

La géologie du bassin versant inférieur de la Canche est représentée sur la figure II-4. On y voit, sur un substrat crétacé supérieur dominé par les craies et entaillé par les vallées, l'extension des formations quaternaires de natures diverses. L'estuaire de la Canche présente une grande surface intertidale et seule la partie centrale correspond au domaine subtidal. L'amplitude des marées, croissante d'amont en aval est :

- à Saint-Gabriel, au Nord de l'embouchure, d'environ 6 m pour des coefficients de marée 114, et d'environ 3 m pour des coefficients de 51 ;

- Au port d'Etaples, d'environ 4 m pour des coefficients de 114, et d'environ 2 m pour des coefficients de 51.

L'étude sédimentologique porte sur l'estuaire et sur sa marge littorale. Les prélèvements furent effectués en zones immergées au moyen d'une benne ; dans le chenal à bord du Zodiac de la station marine de Wimereux ; au large de l'embouchure à partir du N. O. Sepia II. En domaine intertidal l'échantillonnage a été pratiqué à la main. Les échantillons sont répartis sur des profils perpendiculaires au chenal. A partir du cercle de voile du Touquet, les radiales se succèdent en général autour d'un axe centré sur le phare du Touquet (cf. fig. II-5, Annexe). Les positionnements sont réalisés à l'aide d'une boussole sur les amers suivants : feu des dunes de Camiers, phare de la Canche, cimetière militaire, aéroport du Touquet.

Certaines stations n'ont pu être reportées sur les cartes. Elles

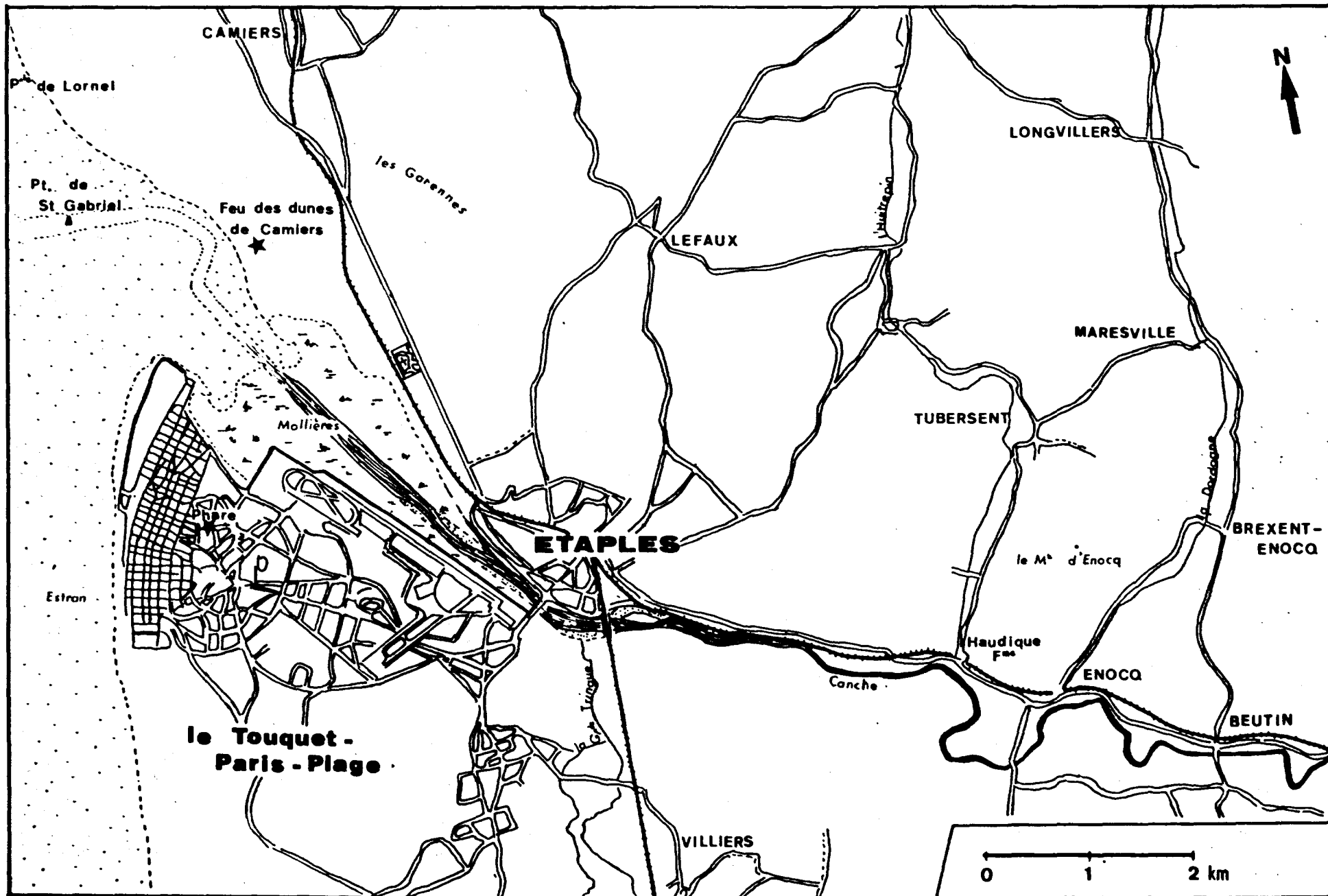
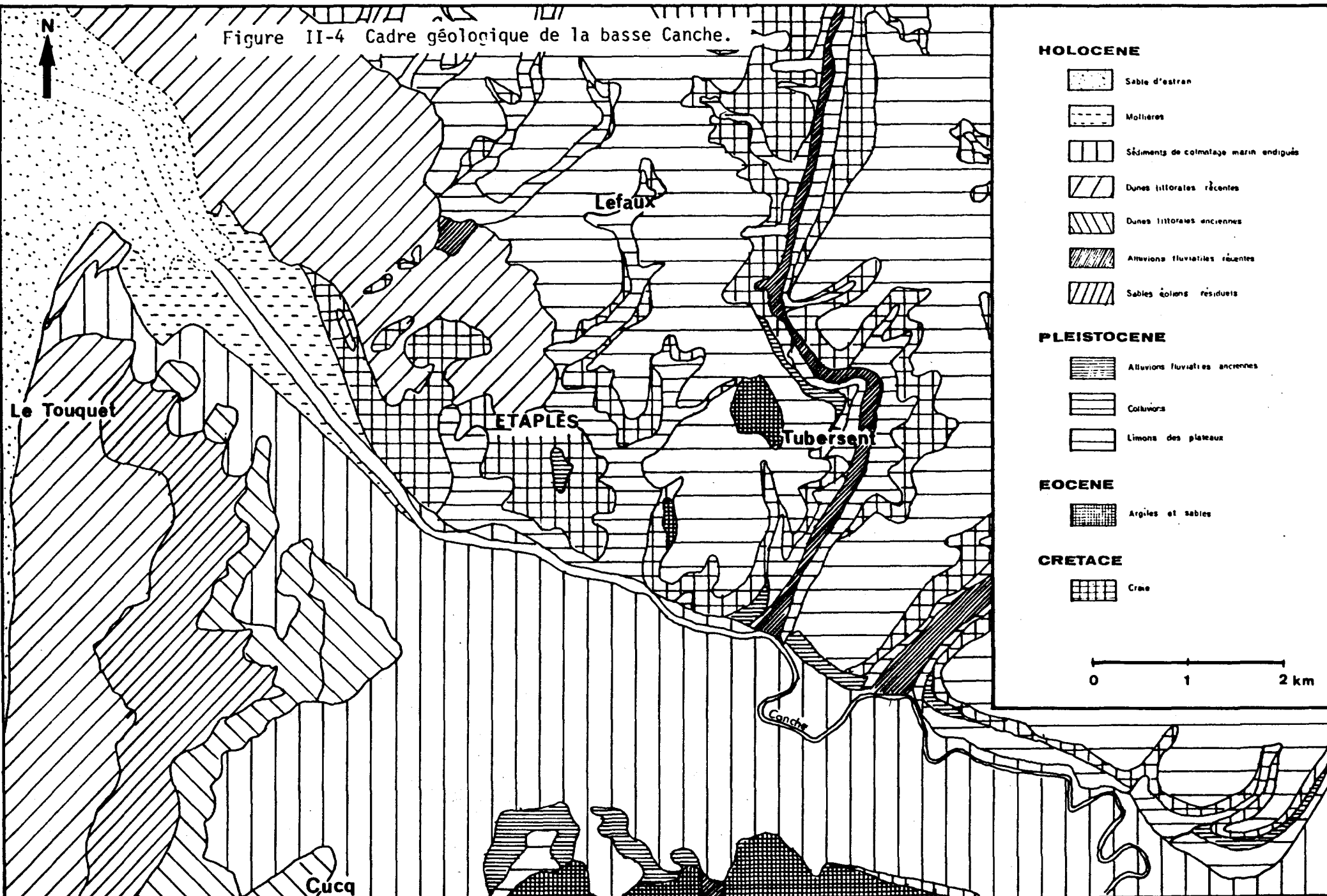









Figure II-3 Cadre géographique de la basse Canche.




Figure II-4 Cadre géologique de la basse Canche.



HOLOCENE

-  Sable d'estran
-  Mollières
-  Sédiments de colmatage marin endigués
-  Dunes littorales récentes
-  Dunes littorales anciennes
-  Alluvions fluviales récentes
-  Sables éoliens résiduels

PLEISTOCENE

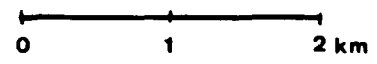
-  Alluvions fluviales anciennes
-  Colluvions
-  Limons des plateaux

EOCENE

-  Argiles et sables

CRETACE

-  Craie



sont réparties depuis l'estran au Sud du Touquet jusqu'à la plage de Sainte-Cécile, à l'exception du premier point situé entre le pont de chemin de fer et le pont routier d'Etaples. Voici les coordonnées en grades, référées au méridien de Paris, de ces stations.

Tableau II-11 - Stations non cartographiées.

N° échantillon	Latitude	Longitude
152	: 56,1230 Nd	: 0,7750 W
153	: 56,1310 Nd	: 0,8500 W
154	: 56,1310 Nd	: 0,8523 W
155	: 56,1500 Nd	: 0,8500 W
156	: 56,1590 Nd	: 0,8500 W
157	: 56,1620 Nd	: 0,8531 W
158	: 56,1640 Nd	: 0,8562 W
159	: 56,1948 Nd	: 0,8464 W
160	: 56,1945 Nd	: 0,8477 W
161	: 56,1945 Nd	: 0,8500 W
162	: 56,1945 Nd	: 0,8523 W
163	: 56,1100 Nd	: 0,8800 W
164	: 56,1500 Nd	: 0,8800 W
165	: 56,1800 Nd	: 0,8800 W

Le tableau II-12 (a à f) regroupe l'ensemble des résultats sédimentologiques obtenus pour l'estuaire de la Canche.

2. Carte des faciès (fig. II-6, Annexe)

La sédimentation est asujettie à la morphologie et à l'hydrodynamisme du milieu. La variation de différents paramètres à la surface de l'estuaire définit des entités horizontales représentées par les faciès ou les principaux types sédimentaires. La nature et la géométrie de ces faciès définissent et caractérisent l'estuaire. Leur organisation en domaines reflète en grande partie une distribution latérale, depuis le centre de l'estuaire jusque sur ses bordures.

a) Faciès sableux du chenal

Limité par deux digues submersibles, le chenal atteint la mer par un cours en partie sinueux à son embouchure. Entre ces deux digues, les bancs

CANCHE

Ech.	% >63 µm	% fines	Mode	Grain	Classement	Asymétrie	% CO ₃ Ca	% C org	Minéraux argileux en %								
			principal	moyen					So	SK	C	I	(10-14)	(14-14)	V	Sm	K
			µm	µm													
1	100	0	125	180	1,21	1,08	11	0,36									
2	36	64	8	27	3,20	0,48	33	0,81	5	30	15	10			25		15
3	99	1	125	145	1,07	1	11	0,15									
4	100	0	125	160	1,14	1,10	9	0,3									
5	31	69	8	20	4,15	0,89	37	1,4									
6	53	47	8	34	3,37	0,33	32	1,1	tr	30	15	10			25		20
7	100	0	125	155	1,12	1,09	9	0,5									
8	24	76	8	13	3,40	1,22	41	1,72									
9	49	51	8	29	3,71	0,28	28	0,51									
10	100	0	125	150	1,11	0,99	11	0,43									
11	31	69	8	20	3,45	0,55	37	3,47	tr	25	15	10			30		20
12	100	0	125	150	1,12	1,02	8	0,12									
13	100	0	125	155	1,15	1,01	8	0,2									
14	44	56	30	32	2,63	0,47	32	1,86									
15	100	0	125	155	1,12	1,02	9	0,44									
16	41	59	63	29	2,65	0,52	34	1,65									
17	25	75	8	13	4,78	1,24	39	1,98	tr	30	10	10			30		20
18	6	94	8	7	3,23	1,03	44	1,3	5	30	15	10			25		15
19	97	3	125	145	1,10	0,98	18	1,38									
20	100	0	125	155	1,13	1,07	11	0,2									
21	65	35	125	47	2,24	0,48	32	1,9	5	25	20	10			25		15
22	10	90	8	8	3,03	1,14	41	3,96									
23	9	91	8	9	3,69	0,98	44	1,23	tr	25	10	10		tr	35		20
24	14	86	8	11	3,26	0,70	44	1,28									
25	99	1	125	145	1,09	1,03	12	0,25	5	40	10	10			20		15
26	100	0	125	150	1,11	0,99	9	0,04									
27	46	54	125	25	5	0,28	33	0,24	tr	25	15	15			30		15
28	11	89	8	8	3,23	1,10	44	2,02									
29	10	90	8	8	2,62	0,97	44	4,22	5	30	15	10		tr	25		15
30	23	77	8	11	4,47	1,20	43	1,16									
31	6	94	8	7	3,20	1,27	47	1,19	tr	25	10	10		tr	35		20
32	63	37	125	40	2,71	0,32	32	0,63	5	25	10	10		5	30		15

Tableau II-12 (a) - Données sédimentologiques.

CANCHE

Ech.:	% >63 µm	: fines:	Mode	Grain	: Classement:	Asymétrie	% CO ₃ Ca	% C org:	Minéraux argileux en %								
			principal:	moyen					So	SK	C	I	(10-14)	(14-14)	V	Sm	K
:	:	:	µm	µm	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
33	59	41	125	40	3,81	0,10	29	0,99									
34	100	0	125	150	1,11	1,02	12	0,12									
35	100	0	125	140	1,14	1,05	11	0,10									
36	52	48	125	42	2,60	0,55	28	0,95	5	25	10	15	tr	30	15		
37	6	94	8	8	2,92	0,88	43	1,54	tr	30	20	10	tr	25	15		
38	9	91	8	9	2,85	0,92	38	1,80	5	25	15	10		30	15		
39	100	0	160	225	1,20	1,09	5	1,3									
40	3	97	8	5	2,26	1,06	48	1,72	tr	30	15	10	tr	30	15		
41	3	97	8	5	2,71	1,26	49	1,39	5	25	15	10		30	15		
42	38	62	8	20	3,97	0,47	35	1,34	tr	25	15	10	tr	30	20		
43	100	0	125	150	1,11	0,99	9	0,04									
44	62	38	125	45	2,01	0,58	32	0,78									
45	63	37	125	38	2,77	0,31	29	0,53									
46	36	64	125	20	4,42	0,53	36	1,56									
47	56	44	125	37	2,99	0,36	27	0,98	5	30	15	10	tr	25	15		
48	20	80	8	10	3,44	0,89	38	2,52									
49	12	88	8	8	3,24	1,13	40	2,1									
50	3	97	8	6	2,76	0,93	47	2,58	tr	25	15	10	tr	30	20		
51	38	62	125	44	3,51	0,55	38	2,34	tr	25	15	10		25	20		
52	100	0	125	150	1,15	1,03	8	0,07									
53	100	0	125	160	1,16	1,05	8	1,50									
54	87	13	125	94	1,11	0,99	20	1,54	5	30	15	10	tr	25	15		
55	76	24	125	90	1,47	0,59	23	0,66	5	30	15	10		25	15		
56	16	84	8	11	3,65	0,83	43	1,62									
57	12	88	8	8	2,87	0,95	43	1,7									
58	10	90	8	7	3,16	0,9	45	2,81	tr	25	20	10	tr	30	15		
59	56	44	125	34	3,04	0,3	30	1,68									
60	72	28	125	68	1,7	0,73	25	2,00									
61	99	1	125	150	1,12	1,02	8	0,45									
62	79	21	125	94	1,32	0,83	20,1	0,88									
63	23	77	8	13	4,16	1,08	44	2,52									
64	8	92	8	7	2,45	0,86	47	2,03	tr	25	20	10		30	15		

Tableau II-12 (b)

CANCHE

Ech.:	% > 63 µm		Mode		Grain		Classement	Asymétrie	% CO ₃ Ca	% C org	Minéraux argileux en %						
	fines	principal	µm	µm	So	SK					C	I	(10-14)	(14-14)	V	Sm	K
65	20	80	8	8	3,49	1,24	46	2,4									
66	8	92	8	7	2,77	0,90	44	2,12	5	30	20	10			20		15
67	44	56	125	29	3,57	0,62	38	0,88	5	25	20	10			25		15
68	100	0	125	150	1,14	1,02	8	0,08									
69	65	35	125	49	2,64	0,23	29	0,66	5	25	20	10			25		15
70	15	85	8	9	3,21	0,84	45	1,5									
71	5	95	8	6	2,41	0,94	44	2,42	tr	25	20	15			25		15
72	8	92	8	11	3,25	0,85	50	2,20	5	25	15	10	tr		30		15
73	22	78	8	15	3,77	0,91	44	1,4	5	30	15	10			25		15
74	43	57	125	40	3,4	0,6	36	0,9									
75	100	0	125	180	1,12	0,99	7	0,4									
76	41	59	125	25	3,34	0,76	30	0,88	5	30	10	10	tr		30		15
77	5	95	8	7	2,84	0,87	43	1,99	10	25	15	10			25		15
78	100	0	160	200	1,19	1,07	9	1,56									
79	84	16	160	120	1,26	1,03	17	1,41	5	25	15	10			30		15
80	69	31	125	66	2,27	0,33	25	0,54									
81	81	19	160	98	1,25	0,90	24	0,77									
82	9	91	8	8	3,50	1,1	46	3,04	5	25	15	10			30		15
83	100	0	160	200	1,21	1,10	9	0,19									
84	99	1	125	175	1,18	0,98	9	0,18									
85	100	0	125	150	1,13	0,98	8	0,12									
86	100	0	160	190	1,20	1,08	6	0,06									
87	100	0	160	105	1,19	0,97	6	0,09									
88	100	0	200	205	1,21	0,96	4	0,11									
89	100	0	160	215	1,17	0,95	6	0,96									
90	100	0	160	185	1,26	0,96	3	1,26									
91	90	10	160	160	1,32	1,06	16	0,44	10	30	15	15			20		10
92	97	3	160	250			34	1,89									
93	66	34	125	59	3,16	0,18	29	1,06	10	30	15	10			20		15
94	98	2	125	145	1,09	1,03	16	0,3									
95	100	0	125	155	1,15	1,03	8	0,15									
96	100	0	160	195	1,19	1,07	6	0,18									

Tableau II-12 (c)

CANCHE

Ech.:	% >63 µm:	% fines:	Mode	Grain	Classement:	Asymétrie	% CO ₃ Ca:	% C org:	Minéraux argileux en %								
			principal:	moyen					So	SK	C	I	(10-14):	(14-14):	V	Sm	K
:	:	:	µm	µm	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
97 :	100 :	0 :	160	200	1,20	1,10	4	0,3	:	:	:	:	:	:	:	:	:
98 :	100 :	0 :	160	180	1,15	1,04	3	0,12	:	:	:	:	:	:	:	:	:
99 :	100 :	0 :	160	220	1,26	1,01	3	0,06	:	:	:	:	:	:	:	:	:
100 :	100 :	0 :	0,20:	200	1,16	1,08	4	0,07	:	:	:	:	:	:	:	:	:
101 :	100 :	0 :	160	170	1,14	1,01	8	0,04	:	:	:	:	:	:	:	:	:
102 :	100 :	0 :	250	135	1,20	1	7	0,42	:	:	:	:	:	:	:	:	:
103 :	79 :	21 :	125	72	1,35	0,67	24	1,16	5	25	15	10	:	30	:	15	
104 :	100 :	0 :	125	160	1,15	1,01	12	0,32	:	:	:	:	:	:	:	:	:
105 :	100 :	0 :	125	150	1,15	1,01	9	0,2	:	:	:	:	:	:	:	:	:
106 :	100 :	0 :	160	165	1,13	0,99	9	1,16	:	:	:	:	:	:	:	:	:
107 :	100 :	0 :	200	420	1,37	1,26	36	0,10	:	:	:	:	:	:	:	:	:
108 :	91 :	9 :	125	150	1,16	1,08	19	1,32	:	:	:	:	:	:	:	:	:
109 :	93 :	7 :	125	140	1,11	1,06	17	1,38	:	:	:	:	:	:	:	:	:
110 :	53 :	47 :	125	41	2,90	0,45	36	2,48	5	25	20	10	:	25	:	15	
111 :	100 :	0 :	125	208	1,22	1,08	8	0,4	:	:	:	:	:	:	:	:	:
112 :	100 :	0 :	250	250	1,31	0,99	8	0,04	:	:	:	:	:	:	:	:	:
113 :	100 :	0 :	250	235	1,29	0,94	6	0,32	:	:	:	:	:	:	:	:	:
114 :	100 :	0 :	160	230	1,25	1,04	4	0,17	:	:	:	:	:	:	:	:	:
115 :	100 :	0 :	250	200	1,19	0,97	5	0,09	:	:	:	:	:	:	:	:	:
116 :	91 :	9 :	160	220	1,36	1,10	16	1,44	tr	30	20	15	:	20	:	15	
117 :	100 :	0 :	160	225	1,29	1,13	14	0,42	:	:	:	:	:	:	:	:	:
118 :	46 :	54 :	125	32	4,26	0,50	29	2,49	:	:	:	:	:	:	:	:	:
119 :	94 :	6 :	160	240	1,34	1,10	12	0,9	tr	25	20	10	:	30	:	15	
120 :	69 :	31 :	125	66	2,34	0,31	23	0,17	:	:	:	:	:	:	:	:	:
121 :	100 :	0 :	160	460	1,5	1,03	26	1,61	:	:	:	:	:	:	:	:	:
122 :	100 :	0 :	400	880	1,70	1,56	68	0,2	:	:	:	:	:	:	:	:	:
123 :	100 :	0 :	200	235	1,33	0,94	8	0,17	:	:	:	:	:	:	:	:	:
124 :	100 :	0 :	250	280	1,24	0,95	5	0,42	:	:	:	:	:	:	:	:	:
125 :	100 :	0 :	160	200	1,21	1,10	5,	0,04	:	:	:	:	:	:	:	:	:
126 :	100 :	0 :	160	250	1,34	1,06	16	0,1	:	:	:	:	:	:	:	:	:
127 :	100 :	0 :	160	260	1,39	1,09	14	0,43	:	:	:	:	:	:	:	:	:
128 :	100 :	0 :	250	320	1,43	0,91	24	0,66	:	:	:	:	:	:	:	:	:

Tableau II-12 (d)

CANCHE

Ech.:	%>63 μm:	% fines:	Mode	Grain	Classement:	Asymétrie	% CO ₃ Ca:	% C org:	Minéraux argileux en %								
			principal:	moyen		So			SK	C	I	(10-14):	(14-14):	V	Sm	K	
:	:	:	μm	μm	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
129	100	0	125	195	1,18	0,97	14	0,47	:	:	:	:	:	:	:	:	:
130	100	0	160	190	1,10	1,02	7	0,05	:	:	:	:	:	:	:	:	:
131	100	0	125	215	1,21	1,01	4	0,03	:	:	:	:	:	:	:	:	:
132	100	0	200	240	1,25	0,99	4	0,12	:	:	:	:	:	:	:	:	:
133	100	0	160	150	1,13	1,02	6	0,04	:	:	:	:	:	:	:	:	:
134	100	0	250	270	1,21	1,02	7	0,16	:	:	:	:	:	:	:	:	:
135	100	0	160	170	1,15	0,98	7	0,06	:	:	:	:	:	:	:	:	:
136	100	0	160	220	1,19	1,04	4	0,19	:	:	:	:	:	:	:	:	:
137	100	0	160	245	1,32	1,10	11	0,07	:	:	:	:	:	:	:	:	:
138	100	0	125	250	1,35	1,08	17	0,42	:	:	:	:	:	:	:	:	:
139	100	0	160	230	1,29	1,10	0	0,32	:	:	:	:	:	:	:	:	:
140	100	0	315	290	1,39	0,86	18	0,46	:	:	:	:	:	:	:	:	:
141	100	0	125	175	1,12	1,02	11	0,2	:	:	:	:	:	:	:	:	:
142	100	0	160	175	1,14	1,08	11	0,08	:	:	:	:	:	:	:	:	:
143	100	0	160	240	1,30	0,91	9	0,1	:	:	:	:	:	:	:	:	:
144	100	0	250	260	1,35	0,97	13	0,08	:	:	:	:	:	:	:	:	:
145	100	0	160	260	1,36	1,02	12	0,13	:	:	:	:	:	:	:	:	:
146	100	0	160	255	1,35	0,95	8	0,12	:	:	:	:	:	:	:	:	:
147	100	0	315	325	1,32	1	14	0,43	:	:	:	:	:	:	:	:	:
148	100	0	250	250	1,29	0,99	9	0,19	:	:	:	:	:	:	:	:	:
149	100	0	160	245	1,34	0,97	15	0,15	:	:	:	:	:	:	:	:	:
150	100	0	160	260	1,39	1,05	14	0,25	:	:	:	:	:	:	:	:	:
151	100	0	250	240	1,22	0,98	4	0,23	:	:	:	:	:	:	:	:	:
152	100	0	160	200	1,34	1,25	15	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
153	100	0	160	230	1,29	1,25	12	0,14	:	:	:	:	:	:	:	:	:
154	100	0	160	195	1,17	0,95	14	0,21	:	:	:	:	:	:	:	:	:
155	100	0	125	160	1,11	1,04	11	1,8	:	:	:	:	:	:	:	:	:
156	100	0	125	170	1,13	1,05	11	0,06	:	:	:	:	:	:	:	:	:
157	100	0	125	200	1,31	1,18	10	0,18	:	:	:	:	:	:	:	:	:
158	100	0	125	220	1,30	1,03	9	0,07	:	:	:	:	:	:	:	:	:
159	100	0	160	230	1,32	1,04	9	0,37	:	:	:	:	:	:	:	:	:
160	100	0	160	200	1,18	1,05	7	0,05	:	:	:	:	:	:	:	:	:

Tableau II-12 (e)

CANCHE

Ech.	% >63 μm	% fines	Mode	Grain	Classement	Asymétrie	% CO ₃ Ca	% C org	Minéraux argileux en %								
			principal	moyen					So	SK	C	I	(10-14)	(14-14)	V	Sm	K
			μm	μm													
161	100	0	125	155	1,13	0,98	12	0,13									
162	100	0	160	190	1,19	1,05	9	0,05									
163	100	0	250	230	1,27	0,91	0										
164	100	0	160	230	1,25	0,95	10										
165	100	0	200	230	1,25	0,95	9										

Tableau II-12 (f)

sableux jouent, selon Allen (1973), le même rôle que les barres de méandre dans les fleuves, et pourraient servir de stockage temporaire du sable cheminant vers l'amont ou vers l'aval. Ces barres sont reportées sur la carte, en utilisant le tracé du chenal effectué par le service maritime du Pas-de-Calais. Les sédiments du chenal sont très bien classés ($S_o = 1,14$). L'asymétrie des courbes oscille autour de 1, et témoigne d'une bonne normalité.

A son embouchure, le chenal change souvent de position. Actuellement son talweg contourne le banc du Pilori et décrit une courbe concave dans le secteur du feu de Camiers. Le sédiment y est très bien à moyennement bien classé et présente une légère asymétrie tournée vers les tailles plus grossières. L'échancrure du littoral, les courants de marée, les vents dominants et les fortes marées favorisent une migration rapide et aléatoire du chenal. Dans la baie de la Canche, le sable est encore l'élément prépondérant, qui continue de se déposer pour former les vastes plages qui la bordent.

b) Faciès sableux de l'estran

Le sable présente une granulométrie plus disparate et plus grossière que dans le chenal. C'est un sédiment bien à moyennement classé. On observe une asymétrie en faveur des fractions grossières, sauf sur le haut-estran où l'asymétrie se situe autour de 1. Sur cette partie de plage une laisse de mer marque le passage des hautes mers de vives eaux. Au Nord, à Sainte-Cécile, le sable est voisin de celui des plages du Touquet : le classement est respectivement de 1,13 à 1,32 et de 1,17 à 1,39.

c) Faciès sableux de dune

Ils ceinturent l'estuaire du Nord au Sud. Cet ensemble est plus important dans la partie septentrionale et représente une unité transgressive sur le schorre ou herbu. Ceci est dû aux vents dominants de SW à W, qui favorisent l'avancée des sables vers l'intérieur des terres. Au Sud, les dunes ont été aplanies dans leur ensemble, pour l'installation de la ville du Touquet - Paris-Plage. Les dunes proches de l'estran sont moyennement bien classées, avec des valeurs allant de 1,20 à 1,26 ; elles présentent une asymétrie légèrement tournée vers les phases grossières.

d) Faciès des sables humifères et des tourbes

Dans la partie nord de l'embouchure, le déplacement du rivage met à nu, sur l'estran, des couches d'argiles, de sables humifères et de tourbes qui représentaient autrefois des faciès d'arrière-marais, certainement à l'abri d'un cordon dunaire. Ces faciès sont visibles sur la rive nord de l'embouchure, le long de la Canche, et se poursuivent sur l'estran en direction

de Saint-Gabriel et Sainte-Cécile. Ces formations ont été étudiées par Munot et Gilot (1977). Il a été mis en évidence onze unités lithostratigraphiques qui s'échelonnent sur une période d'environ 4 700 ans. Parmi celles qui affleurent, on reconnaît de bas en haut une tourbe de 4 000 à 5 000 ans B. P., des argiles litées d'estuaire, des sables humifères, et des sables gris riches en matière organique (2 160 ans B P.) (fig. II-6).

e) Faciès du banc du Piloni

A l'abri du banc du Piloni, au Sud de la partie aval de l'estuaire, se développe, sur son flanc intérieur, une zone d'engraissement. Autrefois y passaient les bras divagants de la Canche. Les sédiments sont souvent réducteurs, de couleur noirâtre, et riches en matière organique en cours de putréfaction. Cette partie de l'embouchure offre par endroits des teneurs en particules inférieures à 63 μ m assez importantes, pouvant atteindre 47 %, notamment à l'emplacement d'anciens chenaux de la Canche en position déprimée. Entre ces zones plus argileuses s'intercalent des entablements sableux riches en peuplements d'Annélides Polychètes. Leur surface est marquée par l'abondance de petits tubes arénacés avec dégagement de substances organiques flocculantes, qui favorisent la rétention des particules sédimentaires en mouvement, et le ralentissement de l'hydrodynamisme. Ce type de peuplement a déjà été étudié en détail en baie de Somme (Dupont, 1975). Le sédiment de ces entablements présente un mauvais classement avec une courbe d'asymétrie tournée vers les sédiments fins. On y trouve localement, en petits bancs, une faune abondante de mollusques bivalves : coques (*Cardium edule*) et lavignons (*Scrobicularia plana*), dans des sédiments souvent réduits et de couleur gris foncé et noir.

f) Faciès de Slikke

La slikke se développe de part et d'autre du chenal et est recouverte à chaque marée. La pente, assez prononcée à l'intérieur de l'estuaire, s'adoucit vers l'aval. La slikke est constituée de vase sableuse souvent réductrice et dépourvue de végétation. Une exception concerne la haute slikke, de pente faible, qui peut être colonisée par une population végétale halophile et monospécifique de spartines (*Spartina townsendii*). Malgré les contraintes et les perturbations que peut subir ce milieu, des populations benthiques existent, quoique peu développées, caractérisées par la présence de Vers (*Nereis diversicolor*), de Mollusques et de petits Crustacés. Les sédiments des basses slikkes sont souvent réduits et de couleur noirâtre, ainsi que ceux des confluences du chenal principal avec les marigots et les petits chenaux. Le sédiment devient en général moins réducteur en remontant vers la haute slikke, qui est elle-même souvent marquée par des intercalations beiges de silts et de

sable. Les sédiments des slikkes sont caractérisés par un très mauvais classement et présentent une asymétrie inférieure à 1.

Une microfalaise sépare le schorre de la haute slikke. En progressant vers l'aval, le schorre passe graduellement à la haute slikke, et ces deux entités s'estompent en une plage sableuse à proximité du secteur de Lornel.

g) Faciès du schorre

Le schorre ou herbu s'étend au-delà de la slikke vers les bords de l'estuaire. Désigné sous le terme de mollière (Picardie) ou de hemme (Calaisis), il s'établit de part et d'autre du chenal, s'imbrique dans le massif dunaire au Nord, et se termine au niveau des aménagements urbains de la ville du Touquet au Sud. Le schorre offre une certaine asymétrie du fait des clôtures. Celles-ci permirent de soustraire des terres à l'influence de la marée par l'établissement de royers (dignes insubmersibles), et l'installation du champ de courses du Touquet en 1924 (Briquet, 1930 ; Verger, 1968 ; Duval, 1973). La mer n'envahit ces étendues que lors des pleines mers de vives eaux. La partie supérieure du schorre est marquée par une laisse de mer. La surface du schorre est parsemée de mares naturelles et artificielles accolées à des gabions. Un réseau dense de chenaux indente le tapis sédimentaire et végétal. Ces chenaux et marigots très sinueux constituent le prolongement de la slikke, par où arrive le flot. La végétation halophile est dominée par les salicornes (*Salicornia europaea*). Le sédiment du schorre est constitué par des vases compactées ; il est mal classé et présente une asymétrie inférieure à 1. Certains chenaux montrent un sédiment relativement grossier (grain moyen 105 μm), moyennement bien classé (1,30), avec une asymétrie tournée vers les particules fines. Notons enfin que les faciès de schorre sont beaucoup plus développés en rive gauche, où ils butent contre les aménagements du Touquet, qu'en rive droite où ils disparaissent sous les appareils dunaires.

Conclusion

Les faciès sédimentaires de l'estuaire de la Canche s'ordonnent de manière grossièrement symétrique de part et d'autre du chenal sableux. Issus d'un cumul d'apports d'origine fluviatile et d'origine marine, les dépôts sont à dominante sableuse partout où l'hydro- ou l'aéro-dynamisme est intense, et s'enrichissent en fractions argileuses lorsqu'il y a piégeage biologique ou abri hydrodynamique. Les rubriques suivantes vont permettre de préciser cette distribution générale des dépôts, par l'examen de divers paramètres sédimentologiques. Dès à présent la figure II-7, sur laquelle sont regroupées des courbes granulométriques types des principaux faciès sédimentaires, permet de

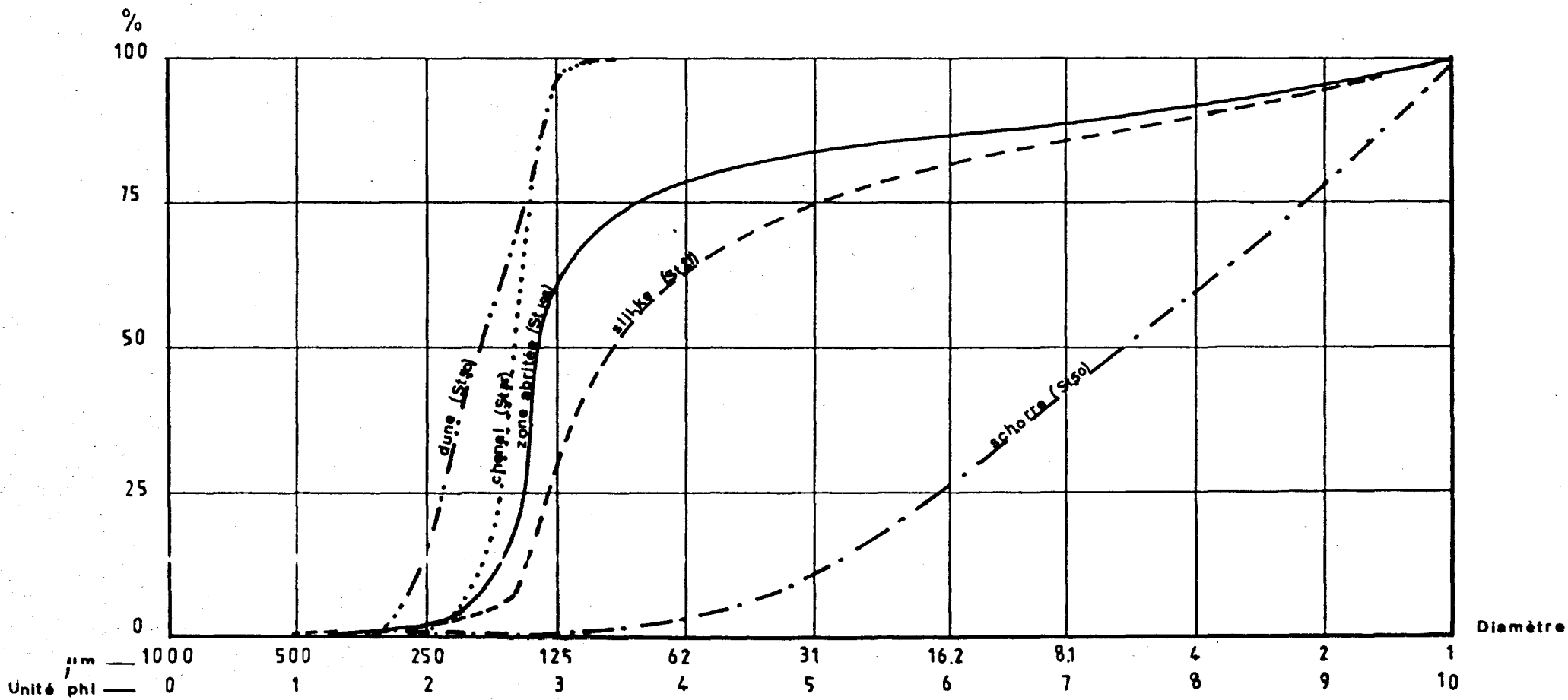


Figure II-7 Exemples de courbes granulométriques.

faire ressortir les grandes différences qui apparaissent dans la distribution des particules. Les dépôts dunaires et ceux du chenal sont les plus grossiers, avec un classement meilleur pour les seconds. Puis viennent, un peu plus enrichis en composants fins, les entablements séparant les chenaux envasés à l'abri du banc du Pilon et les faciès de la slikke. Enfin les faciès du schorre sont mal classés et riches en fractions inférieures à 10 micromètres.

3. Carte des teneurs en sable (fig. II-8, Annexe)

La carte II-8 montre la distribution des pourcentages de sable (particules supérieures à 63 μm). Les pourcentages sont calculés d'après les valeurs pondérales en sable et les classes suivantes ont été retenues : < 5 %, 5-10 %, 20-30 %, 50-70 %, 70-80 %, 80-90 %, 90-100 %.

Les teneurs en sable des sédiments définissent à l'intérieur de l'estuaire un gradient décroissant du centre vers les bordures, plus marqué sur la rive gauche que sur la rive droite.

Teneurs inférieures à 5 %. Les sédiments caractérisent les zones externes du schorre, dans la partie médiane de l'estuaire, principalement à hauteur du champ de courses pour la rive gauche, et près du massif dunaire en ce qui concerne la rive droite.

Teneurs de 5 à 10 %. Les vases correspondantes couvrent la majeure partie de la rive gauche, et s'étalent dans la partie médiane de l'estuaire, à hauteur de l'aéroport et dans une zone prise en tenaille par la ville du Touquet. Sur la rive droite, ces sédiments couvrent une surface plus limitée et occupent deux secteurs de la partie amont et médiane de l'estuaire, ainsi qu'une indentation dans sa partie aval.

Teneurs de 10 à 20 %. Sur la rive gauche, ces sédiments sont extrêmement restreints, d'une part dans le prolongement du chenal à mi-estuaire, d'autre part à proximité de la partie cannelée du royon à hauteur du champ de courses. Sur la rive droite, ils couvrent une superficie importante du schorre, particulièrement vers l'aval et sur le haut schorre.

Teneurs de 20 à 30 %. Les teneurs en sable se répartissent de façon éparse, en petites taches à la surface de l'estuaire. Elles se situent pour la plupart sur les bordures externes du schorre et en particulier :

- sur la rive gauche, d'amont en aval, le long du royon, et sur la partie aval du schorre ;
- sur la rive droite, à proximité d'une zone d'habitation en

amont, et à mi-estuaire en accollement au massif dunaire.

Teneurs de 30 à 50 %. En rive gauche, ces vases sableuses se rencontrent dans la partie amont de l'estuaire, et à proximité du royon (digue insubmersible) de l'aéroport. Elles représentent en outre la plus grande partie du faciès slikke, depuis la partie médiane du chenal (niveau de l'amont du champ de courses) jusqu'à la zone abritée du Pilori. Sur la rive droite du chenal ces sédiments forment quelques taches d'amont en aval de l'estuaire, à proximité du chenal.

Teneurs de 50 à 70 %. Les sables vaseux caractérisent en grande partie la slikke de la rive droite. Ils existent très localement en rive gauche, face au port d'Etaples et à mi-estuaire. Ils sont en outre développés dans la zone abritée en arrière du banc du Pilori.

Teneurs de 70 à 80 %. Les sables peu argileux sont très peu répandus. On en trouve deux taches, sur la slikke de la rive droite du chenal, à mi-estuaire, et dans la zone abritée par le banc du Pilori.

Teneurs de 80 à 90 %. Les teneurs en sable se rencontrent également très localement. Ils constituent l'extrémité nord-ouest du schorre de la rive droite, à proximité du massif dunaire. On les trouve aussi en un petit liseré de dépôt fin, thixotropique, et réducteur, qui longe la bordure du cercle nautique du Touquet. Enfin, une petite tache se trouve à l'abri du banc du Pilori.

Teneurs de 90 à 100 %. Les sables quasiment purs sont abondants et répartis de manière très ordonnée : chenal principal, embouchure, estran et banc du Pilori s. s.

Conclusion

Les teneurs en sable s'ordonnent en zones variées, qui précisent la distribution des faciès précédemment décrits et qui sont répartis selon divers gradients dynamiques. Des coupures nettes délimitent le chenal, les zones de slikke, les domaines aval et la zone abritée par le banc du Pilori. Le schorre présente peu d'unité granulométrique, ce qui résulte de la variété des forces hydro- et aérodynamiques, ainsi que des divers aménagements qui le bordent. La mollière de la rive droite offre dans son ensemble des pourcentages de sable légèrement plus importants que celle de la rive gauche. Elle subit certainement de façon privilégiée l'action des vents prépondérants du Sud-Ouest et d'Ouest, qui provoquent un vannage relatif des fractions sédimentaires les plus fines.

4. Carte des teneurs en fraction fine (fig. II-9, Annexe)

La carte des pourcentages de particules fines (inférieures à 63 μm) est le négatif de la carte précédente. Elle est toutefois plus précise pour des teneurs en fines correspondant aux classes inférieures à 5 %, et de 5 à 10 %. Ici également, différentes classes ont été définies, dont seules les particularités de la distribution géographique seront commentées : < 5 %, 5-10 %, 10-20 %, 20-30 %, 30-50 %, 50-70 %, 70-80 %, 80-90 %, 90-100 %.

Teneurs inférieures à 5 %. Les sédiments pratiquement dépourvus en particules fines caractérisent le passage des courants de marée dans le chenal et l'embouchure, ainsi que les mouvements des houles sur l'estran.

Teneurs de 5 à 10 %. Elles se rencontrent dans la zone abritée du Pilori.

Teneurs de 10 à 20 %. Elles correspondent à des sables vaseux, et se localisent au nord du schorre de la rive droite, le long du cercle nautique du Touquet, et dans la zone abritée par le banc du Pilori.

Teneurs de 30 à 50 %. Faiblement distribués dans le domaine estuarien, ces sédiments se trouvent à mi-estuaire en rive droite du chenal, ainsi que dans la zone abritée du Pilori.

Teneurs de 30 à 50 %. Les sables vaseux marquent en rive gauche une auréole à l'arrière du Pilori, deux taches au droit du port d'Etaples et à mi-estuaire. Ils caractérisent en grande partie la slikke de la rive droite où ils débordent localement sur le schorre.

Teneurs de 50 à 70 %. Les vases sableuses se rencontrent sur la rive gauche, en amont de l'estuaire et à proximité du royon de l'aéroport. Elles constituent en grande partie le faciès slikke de cette même rive, depuis la partie médiane jusqu'à la zone abritée par le banc du Pilori.

Teneurs de 70 à 80 %. Elles correspondent à des vases assez sableuses, dispersées avec cependant une plus forte concentration sur les parties externes des schorres.

Teneurs de 80 à 90 %. Les vases peu sableuses sont très localisées en rive gauche, à mi-estuaire et au Nord-Ouest du champ de course. En revanche, elles occupent une surface importante du schorre de la rive droite.

Teneurs de 90 à 100 %. Les vases pratiquement pures marquent abondamment les domaines de schorre. Elles couvrent une grande superficie en rive gauche. En rive droite, elles dessinent trois taches : en amont, à mi-estuaire, et en aval vers les limites externes du schorre.

Conclusion

La carte des teneurs en particules fines ($< 63 \mu\text{m}$) permet de mettre en évidence le détail de la distribution des vases dans les zones de décantation, de piégeage sédimentaire ou d'abri. On note que la zone située en arrière du banc du Pilori, favorable au dépôt des fines du fait de sa position à l'abri des vagues et courant, favorise également l'intégration de sable au sédiment, en recueillant les particules grossières soufflées depuis les dunes du Touquet.

5. Carte des modes (fig. II-10, Annexe)

Quatre modes prédominent dans l'estuaire de la Canche : 200, 160, 125 et $8 \mu\text{m}$. Trois autres modes, correspondant à des tailles plus grossières, existent localement, notamment dans les dépôts strictement superficiels : 400, 315 et $250 \mu\text{m}$. Le mode de $63 \mu\text{m}$ est rare.

Mode de 400 μm . Ce mode est très localisé, et correspond à la pointe externe du banc du Pilori. Ce sont surtout des sédiments très coquilliers, dont les calcaires sont très importants dans les fractions grossières.

Mode de 315 μm . Ce mode n'est représenté qu'à l'embouchure où il dessine une bande de sable d'orientation SW-NE, qui rejoint le banc du Pilori sur la partie extérieure de sa pointe.

Mode de 250 μm . Ce mode est encore propre au domaine aval : il caractérise la partie nord-ouest de l'embouchure à proximité de la pointe du Lornel. Il dessine une crête sur la partie sommitale du banc du Pilori, ainsi qu'un liseré sur le haut estran de la plage du Touquet. Ces sédiments présentent une fraction riche en débris coquilliers, notamment pour la plage et le banc du Pilori.

Mode de 200 μm . Ce mode se développe encore en aval, mais sur la bordure nord de l'estuaire, à l'intérieur duquel il pénètre partiellement. Il correspond à une bande sableuse accolée aux dunes du Lornel, qui s'oriente vers le SE en suivant le chenal. Ce mode est souvent accompagné d'un mode secondaire de $160 \mu\text{m}$.

Mode de 160 μm . C'est l'un des modes les mieux représentés. Il correspond à deux bandes d'orientation SW-NE juste en aval de l'embouchure. La bande sud suit approximativement la courbe du banc du Pilori et se poursuit pour former l'estran du Touquet. Au Nord ce mode marque l'estran, jusque vers Saint-Gabriel et Sainte-Cécile. Il est accompagné d'un mode secondaire de 125 μm . Le mode de 160 μm caractérise également les dunes et l'estuaire aval, entre le massif dunaire du Lornel et le banc du Pilori.

Mode de 125 μm . Ce mode caractérise tout le chenal de l'estuaire où il est accompagné d'un mode secondaire de 160 μm . Il correspond en outre à une bande de sable à l'embouchure, prise entre les deux bandes de mode 160 μm . Il est également prédominant sur le banc du Pilori, ainsi que dans la zone abritée par cette barre littorale.

Mode de 63 μm . Ce mode est peu représenté. On le trouve sur la rive droite, près du cercle de voile d'Etaples, et à mi-estuaire.

Mode de 8 μm . Très largement répandu, ce mode fin caractérise le schorre des deux côtés de l'estuaire, et lui confère une unité granulométrique qui n'apparaissait pas dans les teneurs en sable et fraction fine.

Conclusion

L'étude des modes permet de définir et de distinguer les zones calmes par rapport aux zones de forte énergie. Elle montre un gradient marqué d'amont en aval vers les modes les plus grands, et permet de regrouper de manière privilégiée certains faciès dominants. Le mode de 160 μm est le mode le plus caractéristique du domaine estuarien ; on le rencontre en mode principal ou secondaire (il correspond surtout à des grains détritiques dominés par le quartz. Le mode le plus petit (8 μm) s'étale sur les bordures de l'estuaire (schorre). Le chenal comprend un sédiment bimodal (mode principal 125 μm). En se dirigeant vers l'aval, les modes deviennent plus importants et délimitent des passages préférentiels de courants, des zones à tourbillons (mode de 400 μm à l'extrémité NW du Pilori), et des zones de haut estran. La baie de la Canche est caractérisée par un goulet limité par le banc du Pilori et le mu-sois du Lornel. Ce rétrécissement favorise un transport de sable plus grossier, par l'augmentation des vitesses des courants de marée, ce qui est concrétisé par un mode de 200 μm .

6. Carte du grain moyen (fig. II-11, Annexe)

Le grain moyen est une expression simple et synthétique de la dis-

tribution granulométrique des sédiments. Il exprime nettement, par sa variation spatiale, la présence de quatre zones principales et de trois zones accessoires.

Zones principales :

- Schorre caractérisé par un grain moyen inférieur à 125 μm .
- Chenal, caractérisé par un grain moyen de 125 à 175 μm .
- Banc du Pilori, frange littorale du Lornel et large de l'embouchure : grain moyen de 175 à 250 μm .
- Nord et Sud de l'embouchure, caractérisé par un grain moyen de 250 à 350 μm .

Zones accessoires. Elles comprennent :

- La zone abritée par le banc du Pilori, qui présente de fortes variations du grain moyen, entre 250 μm et 63 μm .
- Une petite zone située au Nord de la partie externe du banc du Pilori, avec un grain moyen supérieur à 700 μm .
- Une troisième zone à grain moyen de 350 à 500 μm , qui se localise dans l'embouchure interne, à proximité du goulet, entre deux bandes sableuses de grain moyen 175 à 250 μm .

Conclusion

Le grain moyen, calculé sur l'ensemble du sédiment, reflète la distribution d'ensemble des sédiments et les grandes variations hydrodynamiques. Divers domaines bien individualisés se dégagent de son étude, qui permet une approche encore plus synthétique de la répartition des dépôts : le schorre, le chenal, le "goulet", la rive du Lornel, le banc du Pilori. Les deux zones à grain moyen compris entre 250 et 350 μm , qui dessinent des domaines symétriques de part et d'autre de l'embouchure au large de l'estuaire, correspondent très certainement à des passages préférentiels de courants d'intensité forte, responsables de tris hydrodynamiques plus forts que dans la zone médiane qu'elles entourent.

7. Carte des teneurs en calcaire (fig. II-12, Annexe)

Les teneurs en carbonate de calcium permettent de préciser la distribution des zones sédimentaires précédemment décrites. Différentes classes ont été définies : <5 %, 5-10 %, 10-15 %, 15-20 %, 20-30 %, 30-35 %, 35-40 %, 40-50 %.

Teneurs inférieures à 5 %. Les sédiments correspondant longent la bordure des dunes du Lornel. Il s'agit de sables d'estran très riches en quartz,

et pratiquement non coquilliers.

Teneurs de 5 à 10 %. Ces teneurs, largement représentées, caractérisent le chenal et son prolongement en bordure du littoral nord de la baie de Canche. Il s'agit de sables très silicoclastiques, dont les carbonates légers et de portance souvent élevée ont été éliminés par les alternances de courants de flot et de jusant. On retrouve ces teneurs dans la partie aval du schorre de la rive droite, près du massif dunaire.

Teneurs de 10 à 15 %. Ces teneurs sont également fréquentes. Elles correspondent encore aux zones externes, marquant la plus grande partie de l'embouchure externe, et l'estran de la ville du Touquet. Ces pourcentages en calcaire occupent en outre des zones restreintes du chenal.

Teneurs de 15 à 20 %. Il s'agit de dépôts peu importants, qui se rencontrent sur la rive droite du chenal, du cercle de voile d'Etaples à la partie médiane de l'estuaire. On les trouve également dans la zone abritée par le banc du Pilori, et localement dans l'embouchure externe.

Teneurs de 20 à 30 %. Ces pourcentages de calcaire délimitent le faciès slikke de la rive droite, depuis la partie médiane de l'estuaire jusqu'à sa partie aval, à la limite des sables de la plage du Lornel. Ils marquent en outre une zone se situant à la pointe nord du banc du Pilori, ainsi que le domaine abrité par celui-ci.

Teneurs de 30 à 35 %. Limitées à la rive droite de l'estuaire, ces proportions en calcaire bordent la slikke d'amont en aval, et soulignent un réseau de chenaux adjacents au lit principal.

Teneurs de 35 à 40 %. Il s'agit de teneurs dans des zones restreintes et éparses, dans divers domaines de l'estuaire.

- Sur la rive gauche près du royon, au niveau de la slikke, localement sur le Pilori, et face au port d'Etaples.

- Sur la rive droite en amont de l'estuaire, tout au long du schorre, dans sa partie médiane en bordure externe, et dans le prolongement de la slikke.

Teneurs de 40 à 50 %. Les teneurs les plus élevées en calcaire se trouvent sur le schorre, qu'elles caractérisent clairement. Le calcaire y est d'origine biologique, et correspond principalement à des débris fins de tests d'animaux.

Conclusion

D'une façon générale, les pourcentages de calcaire fluctuent parallèlement à la richesse en particules inférieures à 63 μm , et les deux cartes correspondantes montrent passablement de points communs. Ainsi, la slikke de la rive gauche (30 à 35 % de sable), moins sableuse que celle de la rive droite (50 à 70 % de sable), est plus calcaire (35 à 40 % de carbonate contre 20 à 30 %). Les teneurs en calcaire des sédiments grossiers ne contiennent que localement de fortes proportions de débris coquilliers. Notons enfin que la bordure droite de l'estuaire montre un gradient plus progressif que celle de la rive gauche, dans les teneurs en calcaire.

8. Carte des teneurs en carbone organique (fig. II-13, Annexe)

Les classes retenues sont les suivantes : < 0,5 %, 0,5-1 %, 1-1,5 %, 1,5-2 %, 2-2,5 %, 2,5-3 %, 3-3,5 %, 3,5-4 %, > 4 %.

Teneurs inférieures à 0,5 %. Les faibles teneurs en carbone organique sont très fréquentes, et correspondent au chenal, au goulet, à l'embouchure et à l'estran.

Teneurs de 0,5 à 1 %. On trouve ces teneurs à proximité du port d'Etaples et dans la slikke aval des deux rives ; sur la rive droite les sédiments renfermant ces pourcentages se trouvent aussi dans la partie médiane du schorre. Des teneurs comparables existent en outre localement dans la zone protégée par le banc du Pilon.

Teneurs de 1 à 1,5 %. Ces teneurs sont caractéristiques de la plus grande partie du schorre de la rive gauche, ainsi que de taches isolées en rive droite.

Teneurs de 1,5 à 2 %. Il s'agit de valeurs particulièrement caractéristiques du schorre de la rive droite, ainsi que d'un liseré en bordure du club nautique du Touquet.

Teneurs de 2 à 2,5 %. On trouve ces teneurs très localement sur la rive droite, en amont et sur la bordure aval près du massif dunaire, ainsi que dans la partie aval du schorre de la rive gauche.

Teneurs de 2,5 à 3 %. Il s'agit de pourcentages peu fréquents, rencontrés en bordure gauche de l'estuaire, à l'aval du champ de course et à proximité du royon, ainsi qu'à hauteur de la courbure de la digue insubmersible. En

rive droite, ces teneurs se situent dans la partie médiane et externe du schorre.

Teneurs de 3 à 3,5 %. Deux tâches se dessinent en rive gauche, face au port d'Etaples près de l'aéroport, et près du Touquet.

Teneurs de 3,5 à 4 % et supérieures à 4 %. Une tache isolée à teneurs élevées en carbone organique se trouve sur le schorre de la rive droite, près de la zone d'habitation située en amont. Elle correspond probablement à une pollution d'origine ménagère.

Conclusion

Le carbone organique est relativement abondant dans les secteurs de l'estuaire riches en fraction fine, et paraît directement lié aux propriétés d'adsorption des minéraux argileux : ses teneurs maximum se situent sur le schorre puis sur la slikke et la zone abritée en arrière du Pilori. Cela doit déterminer des relations privilégiées, dans les milieux vaseux, entre sédimentation et pollution, qu'il serait utile d'examiner de façon approfondie. En revanche les dépôts sableux sont pauvres en matière organique, avec toutefois des teneurs variables selon le lieu. Notons que le schorre de la rive droite montre dans son ensemble une plus grande homogénéité que celui de la rive gauche. Il offre également les teneurs maximales, à proximité de la zone d'habitation. Le schorre de la rive gauche présente des valeurs moyennes plus importantes, sans doute du fait de sa position plus à l'abri des tris hydrodynamiques.

9. Distribution des minéraux argileux (fig. II-14, Annexe et II-15)

Les minéraux argileux ont été étudiés sur 41 échantillons répartis dans l'ensemble du domaine estuarien. Les minéraux identifiés dans la fraction $< 2 \mu\text{m}$ sont la chlorite, l'illite, les interstratifiés irréguliers (10-14 Å) et (14-14 Å), la vermiculite, la smectite et la kaolinite. L'illite et la smectite constituent les espèces dominantes, l'illite dominant de peu la smectite. Les espèces les moins abondantes sont la vermiculite, parfois présente sous forme de traces, et la chlorite toujours présente. Les pourcentages de kaolinite sont peu variables, de l'ordre de 15 %. D'une manière générale, l'estuaire de la Canche est caractérisé par une distribution médiocrement ordonnée des minéraux argileux. L'abondance relative de la smectite, par rapport à l'illite, a été mesurée par le rapport des hauteurs des pics à 18 et 10 Å, sur les diagrammes de diffraction X des échantillons traités à l'éthylène-glycol. Les classes suivantes ont été définies pour ce rapport : 0,4-0,6 ; 0,6-0,8 ; 0,8-1 et per-

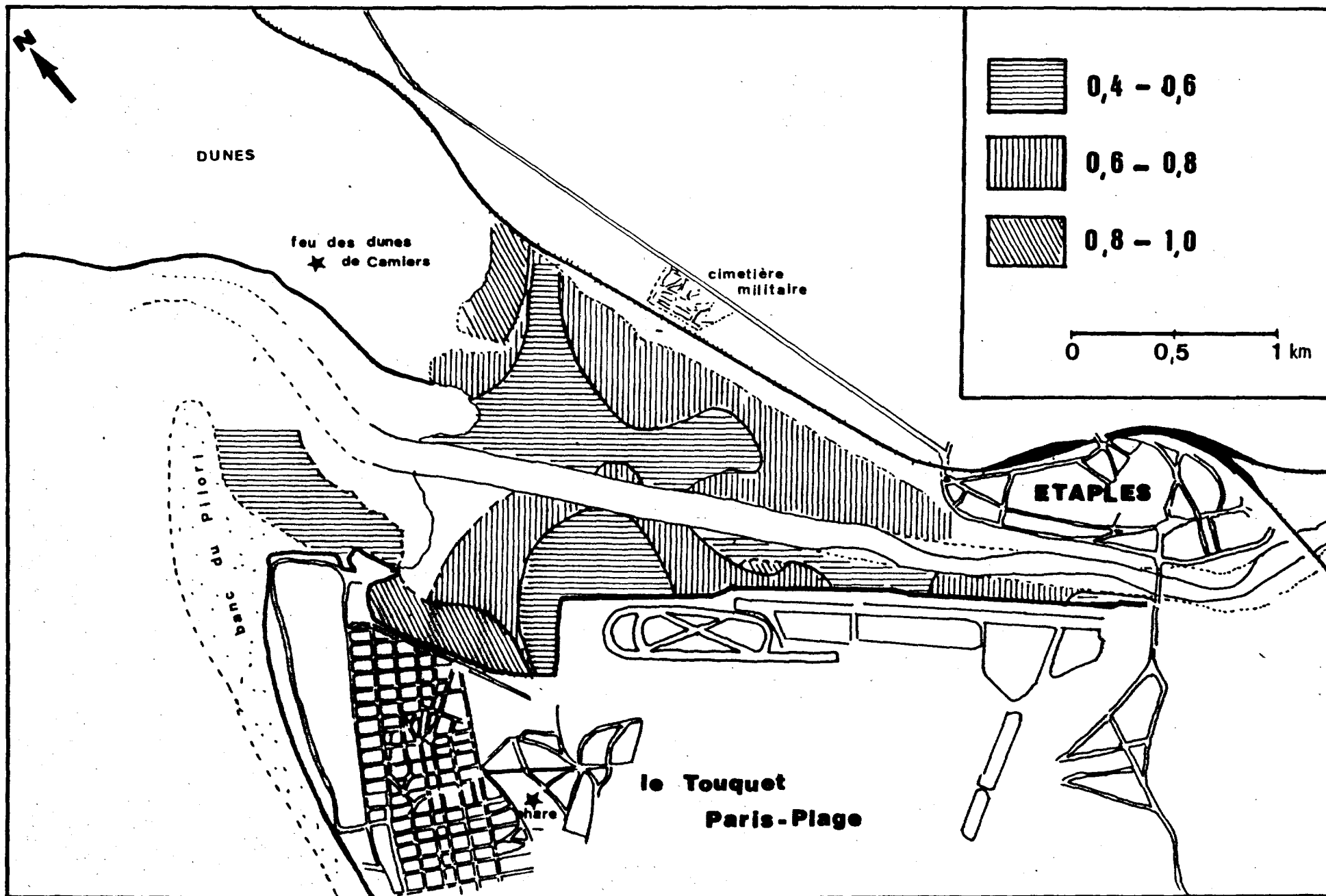


Figure II-15 Canche, rapport Smectite/Illite.

mettent de préciser les résultats (fig. II-15).

Classe de 0,4-0,6. Cette classe correspond aux sédiments les moins riches en smectite : ils se répartissent en bordure du chenal, là où l'hydrodynamisme est le plus marqué, et notamment en rive droite. On retrouve également des teneurs faibles en smectite à l'abri du banc du Pilori : dans ce cas il pourrait s'agir d'une dégradation du minéral dans le milieu organique acide qui marque ces dépôts réduits, et il se pourrait qu'un largage préférentiel des polluants adsorbés s'effectue alors.

Classe de 0,6-0,8. Cette classe intermédiaire correspond aux sédiments de la partie amont de l'estuaire, et de la plus grande partie des zones externes du schorre : il s'agit sans doute de zones d'agitation moyenne atténuée, où les smectites sont moins vannées que dans le cas précédent.

Classe de 0,8-1. Les sédiments correspondants sont localisés en aval, à la zone nord proche du massif dunaire et à la rive gauche, à proximité de la ville du Touquet. Il s'agit de secteurs à l'abri des dunes du Touquet et du pli de Camiers, où s'opère une décantation privilégiée des particules fines, à haut pouvoir de flottaison et à portance élevée, comme les smectites.

Conclusion

Les données préliminaires de la minéralogie des cortèges argileux montrent l'importance de l'illite, suivie de près par la smectite particulièrement sensible à la rétention ou au largage des polluants. La distribution fine des minéraux paraît correspondre d'une part à des variations de l'hydrodynamisme moyen, la smectite augmentant vers les zones protégées, d'autre part à des dégradations sélectives en milieu réducteur.

10. Conclusion

Situé dans une région à fort marnage, l'estuaire de la Canche se trouve pour la majeure partie de sa surface en milieu intertidal. L'étude granulométrique donne des informations sur le cheminement des sables et leur rapport avec l'énergie ambiante. D'une façon générale, les zones nord sont plus exposées, plus sableuses, plus oxydées que les zones sud. Le carbone organique, les carbonates de calcium sont principalement liés aux sédiments fins. Toutefois certains sédiments grossiers renferment des proportions importantes de débris coquilliers calcaires et marquent les zones de laisse de mer, ainsi que des zones tourbillonnaires à la pointe du banc du Pilon.

Les sédiments fins se répartissent principalement sur le schorre, la slikke et la zone abritée par le banc du Pilon. Ces zones peuvent représenter des pièges à pollution, les sédiments fins étant véhiculés et fixateurs de divers polluants. A ce risque s'ajoute l'augmentation relative d'espèces argileuses à fort pouvoir d'échange, comme les smectites. Les polluants peuvent être ensuite concentrés par les organismes mangeurs de vases, vivant dans ces milieux.

Les sables se localisent principalement dans la partie centrale de l'estuaire, vers son embouchure et sur l'estran. Leur distribution, suivie avec précision par divers paramètres granulométriques, met en évidence les principaux domaines hydrodynamiques, d'intensité généralement croissante vers le large mais avec des chenaux préférentiels. A proximité de la zone franchement marine, les sédiments plus grossiers témoignent d'un vannage important, et de l'action des courants alternatifs du flot et du jusant.

La situation sédimentologique de l'estuaire de la Canche, fixée pour la période du printemps 1982, constitue, par la multiplicité des approches entreprises, une référence utile pour le suivi à venir de ce domaine fluctuant et fragile.

III - V - ETUDE DE L' AA- CARTES DE DISTRIBUTION

1. Généralités

L'Aa prend sa source au Sud du village de Bourthes près d'Ergny (Mont d'Artois) et draine, par un cours de 80 km de longueur, un bassin versant d'environ 390 km². Avant de pénétrer dans la plaine flamande, elle coule sur des formations d'âge Crétacé supérieur et Tertiaire (in Calatayud, 1981), puis est canalisée à partir de Saint-Omer, dans les pays des wateringues où ses eaux sont partagées entre le canal de la Colme et le canal de l'Aa. Là, elle draine le Quaternaire de la plaine des Flandres, traverse Gravelines et atteint la mer entre deux jetées (fig. II-16).

L'estuaire primitif de l'Aa a disparu et a été remplacé pour des causes d'ensablement, à l'Ouest de son ancienne embouchure, par le cours forcé que l'on connaît aujourd'hui. Creusé une première fois en 1440, ce canal fut refaçonné dans sa forme actuelle vers 1787. L'Aa tourne légèrement autour de Gravelines, forme un coude à l'aval de cette ville et se dirige vers la mer avec un cours rectiligne. Son estuaire canalisé sépare les villes de Grand Fort-Philippe sur sa rive gauche et de Petit Fort-Philippe sur sa rive droite. A marée basse on observe le chenal de l'Aa, au tracé méandrique, entre deux berges de sable vaseux accolées aux jetées. La dégradation des digues provoque la chute de blocs artificiels dans la vase des berges.

Des prélèvements répartis d'amont en aval, dans l'estuaire de l'Aa (fig. II-17), ont permis des études parallèles à celles menées pour la Canche et ont donné lieu à diverses cartes commentées ci-après. En raison de son tracé rectiligne et de son cours forcé au travers des différentes agglomérations, cet estuaire ne présente pas les variations latérales caractéristiques des estuaires. De ce fait, une carte des faciès n'a pas été jugée utile. Les données chiffrées des analyses sont regroupées dans le tableau II-13.

2. Carte des teneurs en sable (fig. II-18, Annexe)

L'analyse granulométrique met en évidence un estuaire bien individualisé, en dépit de la rectitude d'ensemble et de l'homogénéité apparente. Diverses zones apparaissent, en fonction de leur teneur moyenne en sable.

Teneurs de 5 à 10 %. Les sédiments très peu sableux se situent dans le port de plaisance (entre les deux écluses), sur la rive droite en aval du coude de l'estuaire et en face de Petit Fort-Philippe.

Teneurs de 10 à 20 %. Les sédiments se rencontrent sur la rive droite en amont de la courbe de l'estuaire, face à la station de sauvetage, et sur la rive gauche de part et d'autre de cette station.

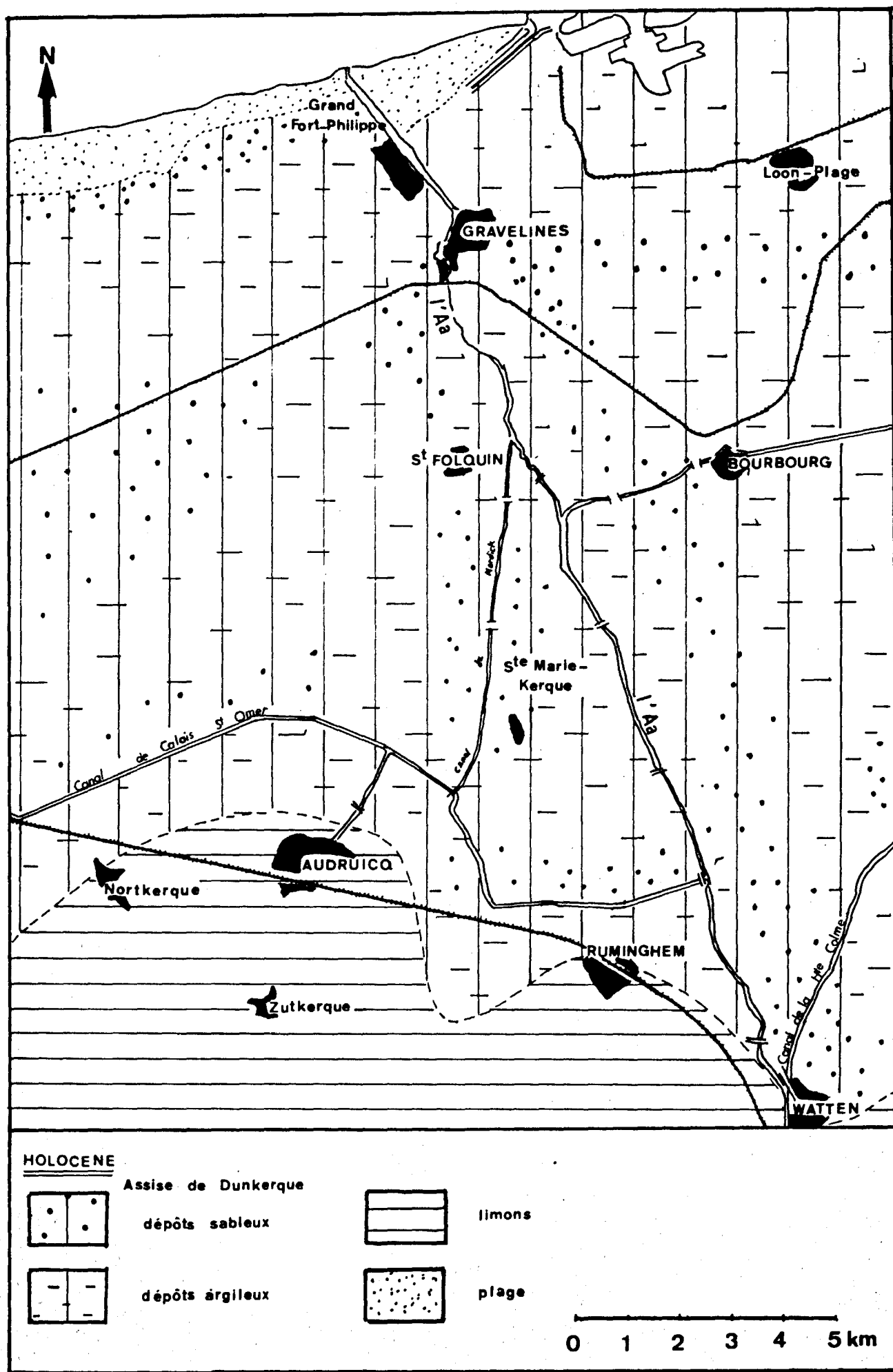


Figure II 16 Cadre géologique et géographique de l'Aa (partie aval)

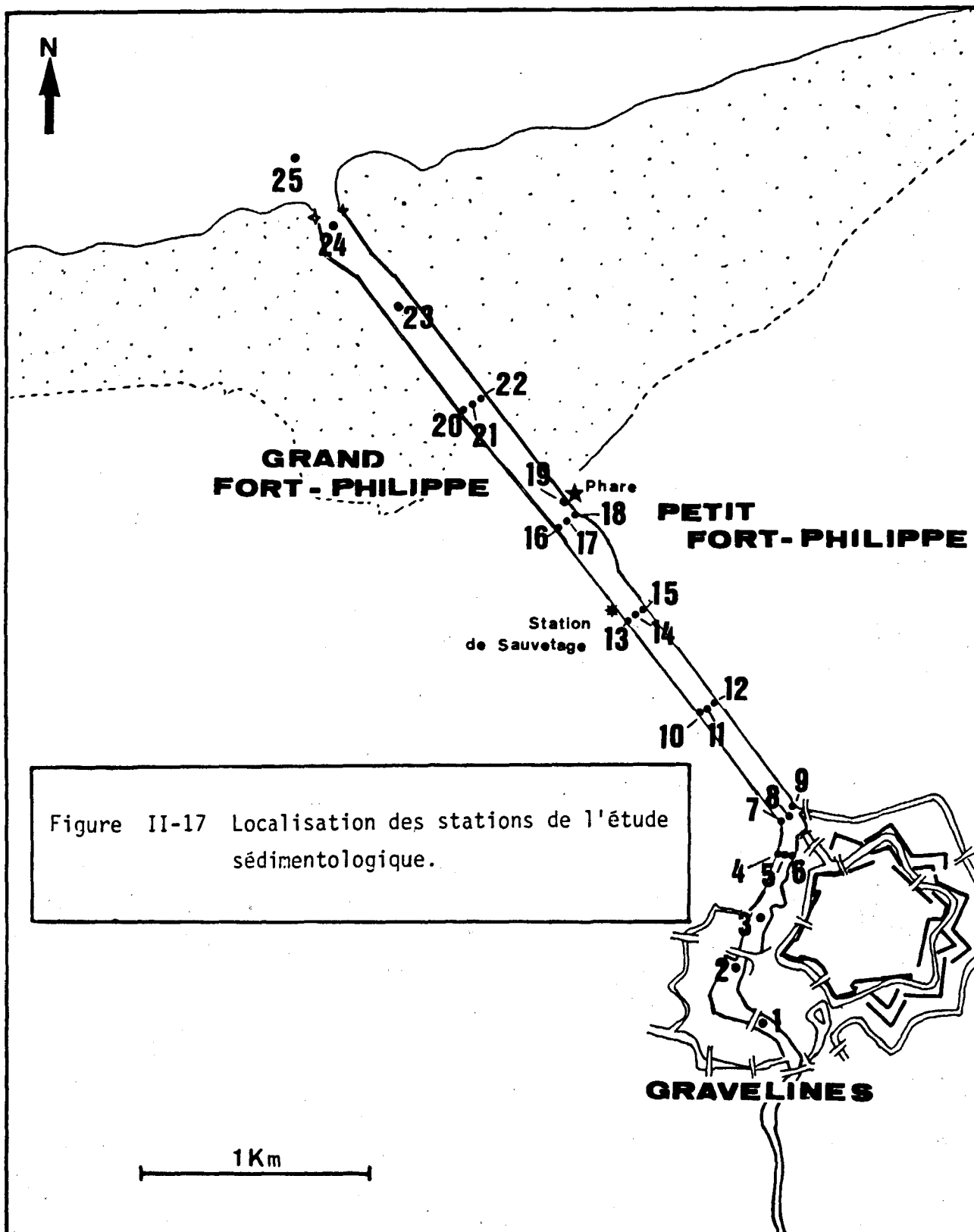


Figure II-17 Localisation des stations de l'étude sédimentologique.

Ech.:	% >63 µm:	% fines:	Mode	Grain	Classement:	Asymétrie	% CO ₃ Ca:	% C org:	Minéraux argileux en %								
			principal:	moyen					So	SK	C	I	(10-14):	(14-14):	V	Sm	K
:	:	:	µm	µm	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
1 :	88 :	12 :	125 :	160 :	1,35 :	1,35 :	18 :	1,39 :	5 :	20 :	10 :	10 :	:	:	35 :	25 :	
2 :	9 :	91 :	8 :	7 :	2,40 :	0,95 :	32 :	2,47 :	5 :	25 :	10 :	10 :	:	:	30 :	20 :	
3 :	98 :	2 :	160 :	180 :	1,12 :	1,05 :	13 :	0,14 :	5 :	25 :	10 :	5 :	:	:	35 :	20 :	
4 :	45 :	55 :	8 :	25 :	3,11 :	0,77 :	30 :	1,01 :	5 :	30 :	10 :	10 :	:	:	25 :	20 :	
5 :	99 :	1 :	160 :	220 :	1,28 :	1,19 :	15 :	0,21 :	5 :	30 :	5 :	5 :	:	:	35 :	20 :	
6 :	19 :	81 :	8 :	12 :	5,98 :	0,49 :	33 :	2,02 :	5 :	30 :	10 :	10 :	:	:	25 :	20 :	
7 :	14 :	86 :	8 :	9 :	2,52 :	1,03 :	38 :	2,04 :	5 :	30 :	5 :	5 :	:	:	35 :	20 :	
8 :	62 :	38 :	160 :	46 :	4,74 :	0,07 :	20 :	0,79 :	5 :	25 :	15 :	10 :	:	:	25 :	20 :	
9 :	40 :	60 :	8 :	22 :	5,36 :	1,10 :	30 :	1,01 :	5 :	30 :	10 :	5 :	:	:	30 :	20 :	
10 :	14 :	86 :	8 :	11 :	2,78 :	0,78 :	39 :	1,96 :	tr :	30 :	15 :	5 :	:	:	30 :	20 :	
11 :	98 :	2 :	160 :	170 :	1,13 :	0,99 :	12 :	0,74 :	5 :	25 :	10 :	5 :	:	:	35 :	20 :	
12 :	9 :	91 :	8 :	9 :	2,76 :	0,82 :	43 :	1,9 :	5 :	30 :	15 :	5 :	:	:	25 :	20 :	
13 :	14 :	86 :	8 :	13 :	2,43 :	0,82 :	36 :	1,5 :	5 :	30 :	10 :	5 :	:	:	30 :	20 :	
14 :	20 :	80 :	8 :	13 :	2,94 :	0,90 :	38 :	1,94 :	5 :	30 :	10 :	10 :	:	:	25 :	20 :	
15 :	5 :	95 :	8 :	7,2 :	2,24 :	0,78 :	37 :	:	5 :	30 :	10 :	10 :	:	:	25 :	20 :	
16 :	36 :	64 :	8 :	25 :	2,63 :	1,24 :	36 :	1,36 :	5 :	30 :	10 :	5 :	:	:	30 :	20 :	
17 :	43 :	57 :	160 :	33 :	3,51 :	1,3 :	30 :	1,12 :	5 :	30 :	10 :	10 :	:	:	25 :	20 :	
18 :	6 :	94 :	8 :	7 :	3 :	1,07 :	40 :	2,12 :	5 :	30 :	10 :	5 :	:	:	30 :	20 :	
19 :	100 :	0 :	160 :	230 :	1,21 :	1,03 :	5 :	0,2 :	:	:	:	:	:	:	:	:	
20 :	40 :	60 :	160 :	28 :	2,77 :	0,9 :	8 :	0,9 :	5 :	30 :	10 :	5 :	:	:	30 :	20 :	
21 :	99 :	1 :	315 :	290 :	1,26 :	0,93 :	16 :	0,4 :	5 :	35 :	15 :	10 :	:	:	15 :	20 :	
22 :	50 :	50 :	8 :	40 :	4,05 :	0,55 :	36 :	1,13 :	5 :	30 :	10 :	5 :	:	:	30 :	20 :	
23 :	99 :	1 :	315 :	310 :	1,19 :	0,88 :	21 :	0,53 :	5 :	35 :	10 :	5 :	:	:	25 :	20 :	
24 :	97 :	3 :	315 :	290 :	1,3 :	0,85 :	25 :	0,69 :	5 :	35 :	15 :	10 :	:	:	15 :	20 :	
25 :	99 :	1 :	400 :	490 :	1,59 :	1,32 :	70 :	0,47 :	:	:	:	:	:	:	:	:	

Tableau II-16 - Données sédimentologiques.

Teneurs de 20 à 30 %. Les vases assez sableuses se localisent dans la partie médiane de l'estuaire.

Teneurs de 30 à 50 %. Les dépôts vaso-sableux s'étendent sur la rive gauche en aval du port de plaisance et sur la rive droite à mi-estuaire. Ils se prolongent sur les deux rives vers l'aval.

Teneurs de 50 à 70 %. Les sables vaseux se trouvent dans la partie coudée de l'estuaire, au niveau du chenal.

Teneurs de 80 à 90 %. Il s'agit de sables peu vaseux, distribués en amont du port de plaisance.

Teneurs de 90 à 100 %. Les sables presque purs se rencontrent surtout aux extrémités de l'estuaire, à l'amont et à l'aval :

- depuis la deuxième écluse jusqu'à la partie coudée de l'estuaire ;
- en aval de ce coude, jusqu'au premier tiers de l'estuaire ;
- de Petit Fort-Philippe jusqu'à l'extrémité aval des digues empierrées.

Conclusion

L'estuaire présente une nette variation latérale des teneurs en sable sur une bonne partie de son cours. De l'amont à la partie médiane, en effet, les teneurs les plus élevées se trouvent alternativement sur une rive puis sur l'autre. Il existe par ailleurs une nette variation longitudinale : les extrémités du chenal sont particulièrement riches en sable, au contraire de sa partie médiane. Le gradient granulométrique semble être dû à l'action des houles et des courants de marée, depuis l'aval, opposée à l'effet de chasse lors de l'ouverture des écluses, depuis l'amont. Le port de plaisance de Gravelines offre un faible pourcentage de sable et constitue un milieu favorable à la décantation.

3. Carte des teneurs en fraction fine (fig. II-19, Annexe)

La carte représente la distribution dans l'estuaire des particules inférieures à 63 μm , et correspond à la réplique de la carte des teneurs en sable.

Teneurs inférieures à 5 %. Les sédiments se répartissent de la façon suivante : extrémité amont (après la deuxième écluse), secteur aval de

la partie coudée de l'estuaire, de la partie médiane de l'estuaire jusqu'à sa partie aval.

Teneurs de 10 à 20 %. Les sédiments se situent juste en amont de la première écluse.

Teneurs de 30 à 50 %. Il s'agit de sédiments dont la répartition est limitée à la partie coudée de l'estuaire, au niveau du chenal.

Teneurs de 50 à 70 %. Les vases sableuses se situent à la rive gauche, en aval du port de plaisance ; sur la rive droite du coude de l'estuaire ; à la partie médiane de l'estuaire ; et aux berges situées en aval de la partie médiane.

Teneurs de 70 à 80 %. Les sédiments se localisent dans le chenal, légèrement vers l'amont, ainsi qu'aux alentours de la station de sauvetage :

Teneurs supérieures à 90 %. Les vases presque nues se situent dans le port de plaisance, et sur la rive droite de la partie médiane de l'estuaire.

Conclusion

Les deux berges sont caractérisées par une relative uniformité quant aux teneurs en fraction fine des sédiments. La berge de la rive droite, en amont de la partie médiane de l'estuaire, présente des teneurs en fraction fine supérieures à celles de la rive gauche. Par ailleurs, la partie coudée de l'estuaire montre certaines particularités. La rive droite possède dans sa partie médiane un pourcentage de fines inférieur à celui des parties situées à l'amont et à l'aval. Le chenal par contre renferme une proportion en fines largement plus importante (30 à 50 %) que celles de ses extrémités amont et aval (inférieur à 5 %). Cette particularité peut résulter de l'effet de chasse lors de l'ouverture des écluses : le courant provoqué par l'ouverture des vannes viendrait heurter la rive droite et favoriser un vannage des éléments les plus fins. La partie médiane de l'estuaire est caractérisée par une proportion en particules fines assez importante (50 à 70 %). Il se pourrait que ceci corresponde à des secteurs de profondeur plus grande, favorisant le dépôt des vases. Cette question doit être précisée lors des levés bathymétriques à venir.

4. Carte de distribution des modes (fig. II-20, Annexe)

L'estuaire de l'Aa offre une certaine uniformité dans la répartition du mode, mises à part certaines particularités locales. Ainsi, le port de

plaisance est caractérisé par un sédiment de mode 8 μm , alors que le fleuve juste en amont du port est marqué par un mode plus grossier de 125 μm .

En aval du port et jusqu'à sa partie médiane, le cours est caractérisé par un mode dominant de 160 μm pour le chenal, et par un mode dominant de 8 μm pour les slikkes de bordure. Parfois se détache un autre mode de 125 μm en amont de la courbe de l'Aa et de la station de sauvetage, de 8 μm dans la partie médiane de l'estuaire.

De la partie médiane de l'estuaire jusqu'à l'embouchure les sédiments présentent un mode grossier de 315 μm . A son extrémité aval l'estuaire est caractérisé par un sable bimodal, le mode secondaire étant de 160 μm . La barre littorale est également constituée par un sédiment bimodal, le mode principal correspondant à la fraction granulométrique de 400 μm et le mode secondaire à celle de 160 μm . Les fractions grossières sont riches en débris calcaires. Ceux-ci diminuent vers les fractions granulométriques fines, mais demeurent encore prépondérantes vers le mode de 160 μm . Aussi les restes calcaires peuvent déterminer dans les slikkes de cette partie d'estuaire un mode de 160 μm , aux côtés de celui de 8 μm .

Conclusion

Du port de plaisance à Petit Fort-Philippe, le chenal présente un mode dominant de 160 μm . Le mode de 8 μm correspond aux rives de cette partie de l'estuaire. Vers l'aval le sédiment présente un mode principal de 315 μm . Ces valeurs permettent de caractériser globalement la distribution granulométrique et hydrodynamique dans l'estuaire de l'Aa.

5. Carte de distribution du grain moyen (fig. II-21, Annexe)

Le port de plaisance se caractérise par un grain moyen inférieur à 63 μm , sauf dans sa partie amont (125 à 175 μm).

Du port de plaisance à la partie courbe de l'estuaire, le grain moyen est de 175 à 250 μm .

Puis jusqu'au milieu de l'estuaire le grain moyen est inférieur à 63 μm , mais une auréole se dessine peu en aval de cette partie coudée, avec un grain moyen de 125 à 175 μm .

De la partie médiane de l'estuaire jusqu'à l'extrémité des deux jetées, le grain moyen est constant et beaucoup plus grossier (de 250 à 350 μm).

Enfin, sur la barre littorale se trouve le grain moyen le plus élevé (350 à 500 μm), qui correspond aux forces hydrodynamiques maximum.

Conclusion

Par sa répartition le grain moyen traduit clairement les variations

de l'hydrodynamisme particulier de l'estuaire canalisé de l'Aa. En aval du port marqué par les processus de décantation, les courants épisodiques liés aux ouvertures des écluses sont violents. Puis intervient fréquemment une relative décantation, particulièrement sur les berges de l'estuaire. Enfin vers l'aval les effets du flot et du jusant déterminent de nouveaux tris, maximum au niveau de la barre d'embouchure.

6. Carte des teneurs en calcaire (fig. II-22, Annexe)

Les carbonates, dont les proportions dans les sédiments fluctuent généralement de 10 à plus de 50 %, présentent une distribution relativement ordonnée.

Teneurs de 10 à 15 %. Ces proportions en calcaire se rencontrent dans les sédiments du chenal, en aval du port de plaisance ainsi que de la partie coudée : cela semble souligner la faiblesse des apports carbonatés depuis l'amont.

Teneurs de 15 à 20 %. Ces pourcentages se trouvent en amont du port de plaisance, dans la partie coudée ainsi que légèrement en aval de la partie médiane de l'estuaire.

Teneurs de 20 à 30 %. Ces teneurs, plus importantes, caractérisent le cours inférieur de l'estuaire, ainsi que son embouchure : il est probable que les tests calcaires, dont l'origine est surtout marine, sont partiellement vannés par rapport aux particules de quartz, par suite de leur portance fréquemment élevée.

Teneurs de 30 à 35 %. Ces teneurs se rencontrent dans la partie médiane, au droit du phare de Petit Fort-Philippe, sur la rive droite de la partie coudée, et sur les deux rives en amont de ce secteur.

Teneurs de 35 à 40 %. Elles se localisent, d'une part sur la berge de la rive droite, en aval de Petit Fort-Philippe, d'autre part dans la partie médiane de l'estuaire où les deux rives présentent des teneurs semblables. Ces teneurs en calcaire se prolongent en outre en amont, sur toute la largeur de l'estuaire, puis sur la rive gauche jusqu'à la partie coudée. Il s'agit de teneurs élevées, correspondant principalement à des débris coquilliers relativement accumulés dans ces zones d'hydrodynamisme moyen.

Teneurs supérieures à 50 %. Ces teneurs se rencontrent sur la barre littorale. Il s'agit de sable en grande partie coquillier, qui est abondant

dans ce secteur soumis aux actions hydrodynamiques les plus puissantes : ce sont surtout des coquilles entières ou peu brisées, apportées récemment à la sédimentation et non encore évoluées.

Conclusion

Les teneurs en carbonate de calcium augmentent de l'amont vers la partie médiane de l'estuaire, par suite des effets d'amortissement des courants et d'une influence marine croissante. Toutefois, une diminution locale de ces teneurs s'observe dans une zone intermédiaire, entre la partie coudée et le milieu de cet estuaire, par suite de tris hydrodynamiques. De la partie médiane de l'estuaire à l'embouchure, les teneurs en calcaire s'accroissent à nouveau, avec un maximum de coquilles non brisées vers la barre d'embouchure.

7. Carte des teneurs en carbone organique (fig. II-23, Annexe)

Les teneurs en carbone organique varient de 0,14 à 2,47 %. Il a été défini cinq classes : < 0,5 %, 0,5-1 %, 1-1,5 %, 1,5-2 %, 2-2,5 %.

Teneurs inférieures à 0,5 %. Ces très faibles teneurs en carbone organique se situent à l'aval du port et de la partie médiane de l'estuaire, ainsi que sur la barre littorale : il s'agit de sédiments brassés, pauvres par ailleurs en fraction sédimentaires fines.

Teneurs de 0,5 à 1 %. Les sédiments renfermant ces teneurs s'étendent à l'aval de la partie coudée de l'estuaire.

Teneurs de 1 à 1,5 %. Ces teneurs caractérisent les sédiments situés de part et d'autre de la partie courbée, en rive gauche à l'amont et en rive droite à l'aval. On les retrouve dans l'estuaire médian et sur la rive droite lui faisant suite à l'aval.

Teneurs de 1,5 à 2 %. Ces teneurs marquent les sédiments des berges situées en aval de la partie courbée ; en outre elles caractérisent les sédiments du chenal au niveau de Petit Fort-Philippe. Il s'agit de sédiments fins, en partie décantés.

Teneurs de 2 à 2,5 %. Les teneurs maximum en carbone organique s'observent dans le port de plaisance, ainsi que de part et d'autre de la partie courbée de l'estuaire, en rive droite pour ce qui est de l'amont et en rive gauche en ce qui concerne l'aval. On les retrouve à proximité de Petit Fort-Philippe. Ce sont des faciès fins de décantation ou d'accumulation organique d'origine artificielle.

Conclusion

Les plus faibles teneurs se trouvent dans le chenal, en amont de la partie coudée de l'estuaire, où les chasses ont un effet dominant. La valeur la plus forte se localise dans le port de plaisance (2,47 %). Ceci est en liaison avec le milieu plus décanté, les dépôts argileux et les rejets propres au port. Le pourcentage de carbone organique semble varier dans le même sens que les valeurs des carbonates. Toutefois, pour des proportions équivalentes de calcaire, les teneurs en carbone organique apparaissent plus élevées sur la rive droite que sur la rive gauche.

8. Distribution des minéraux argileux (fig. II-24, Annexe)

L'étude des minéraux argileux porte sur 23 échantillons répartis dans l'ensemble de l'estuaire. La chlorite, l'illite, les interstratifiés irréguliers (10 à 14 Å) et 14-14 Å, la smectite et la kaolinite constituent le cortège des minéraux argileux. L'illite et la smectite dominent l'assemblage et varient de proportion, d'amont en aval ; leur distribution est détaillée ci-après. La chlorite et la kaolinite présentent des quantités pratiquement constantes d'amont en aval. La proportion relativement importante de smectite est susceptible de déterminer des échanges privilégiés de polluants.

Illite

Dans le chenal, les proportions de l'illite dans les sédiments augmentent de 20 à 35 %, lorsque l'on se déplace d'amont en aval dans l'estuaire. Une exception s'observe localement en amont de la partie coudée. Sur les berges, les quantités d'illite sont comparables d'amont en aval (30 %). Seul le point médian présente une différence avec un accroissement de sa valeur pour la rive droite (35 %).

Smectite

Les teneurs des smectites varient en sens inverse de celles de l'illite. D'amont en aval ces valeurs diminuent de 35 à 15 %. Toutefois il apparaît quelques anomalies dans cette variation continue : dans le port de plaisance (30 %), en aval de la partie coudée (35 %) et localement vers l'aval (25 %). Les quantités de smectites présentent des valeurs comparables entre les deux berges, et ceci d'amont en aval. Il existe cependant quelques variations, avec notamment un enrichissement local sur la rive gauche.

Le rapport smectite/illite, calculé à partir des hauteurs des pics à 18 et 10 Å sur les diagrammes de diffraction X des échantillons traités à l'éthylène glycol, permet de préciser cette évolution (fig. II-25). Ce rapport

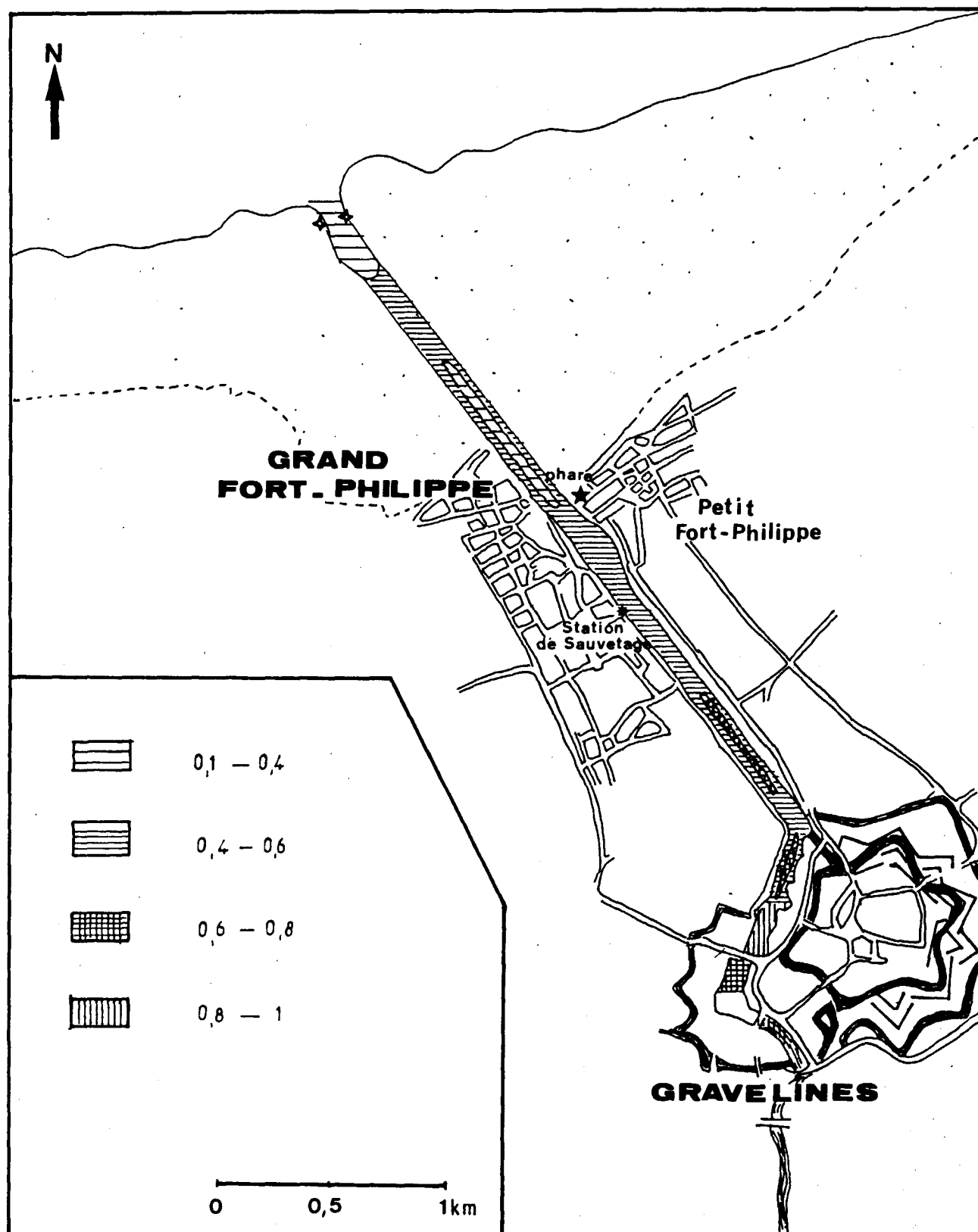


Figure II 25 Aa: Rapport smectite/illite.

est toujours plus élevé sur la rive droite que sur la rive gauche. Comme les smectites sont habituellement réputées pour se déposer dans des conditions calmes, il existerait un hydrodynamisme plus important en rive gauche. Dans le chenal ce rapport est plus important à l'amont qu'à l'aval, à quelques exceptions près. Le rapport plus faible en aval laisse présager l'existence d'un hydrodynamisme plus intense, qui déterminerait un obstacle à la sédimentation des smectites, et leur maintien privilégié dans les suspensions en transit vers le large. Cette interprétation, qui devrait être confirmée par une étude minéralogique détaillée des suspensions, est argumentée par la diminution des fractions sédimentaires fines en direction de l'embouchure.

Conclusion

Dans le chenal de l'Aa, l'illite augmente de proportion vers l'aval, à l'inverse de la smectite. Les rives présentent en revanche des valeurs peu variables tout au long de l'estuaire, si ce n'est une légère augmentation des smectites en rive droite. Ces fluctuations ordonnées sont essentiellement déterminées par les conditions de décantation, défavorables aux smectites, et doivent être confrontées aux données des polluants transitant par l'estuaire.

9. Conclusion

Par sa morphologie rectiligne et les particularités des forces hydrodynamiques en jeu, l'Aa présente du point de vue sédimentaire, un double gradient longitudinal, centré sur sa partie médiane. Ceci conduit à identifier un appareil estuarien bien individualisé sédimentologiquement, en dépit des apparences immédiates. Vers les extrémités, les sédiments sont enrichis en sable, au contraire de la partie médiane qui est plus envasée. Les paramètres sédimentologiques permettent de préciser et de chiffrer cette différence longitudinale, qui paraît déterminée par l'action de la houle et des courants de marée à l'aval, et par celle des effets de chasse portuaire lors de l'ouverture des écluses en amont. La partie médiane de l'estuaire est caractérisée par la présence d'un sédiment bimodal (160 μm et 8 μm), d'un faible grain moyen et d'un pourcentage en calcaire élevé. Le carbone organique offre dans cette partie de l'estuaire des teneurs notables et, comme dans le port de Gravelines, des complexes organo-minéraux et des piègeages de polluants y sont a priori favorisés. Seuls les minéraux argileux, avec des teneurs opposées de l'illite et de la smectite présentent un gradient longitudinal unique d'amont en aval ; les quantités d'illite augmentent vers l'aval, par maintien probable en suspension des smectites plus petites, mieux flottables et moins sensibles à la floculation. L'abondance particulière des smectites, minéraux à pouvoir d'échange élevé, ainsi que les gradients minéralogiques constatés, suggèrent

une influence déterminante dans le piégeage, le transfert et le largage des produits de la pollution, issus notamment de l'amont.

II - VI - CARACTERES SEDIMENTOLOGIQUES PROPRES AUX DEUX ESTUAIRES . CONCLUSION

L'étude sédimentologique superficielle des estuaires de la Canche et de l'Aa a été conduite dans le but de disposer d'une référence dans le comportement des phases minérales, vis-à-vis des polluants en transit vers la mer. Des cartes diverses ont été établies, qui permettent de caractériser l'état 1982 de la sédimentation dans ces systèmes-frontières perturbés. Dans le prochain stade des investigations, il sera nécessaire de situer cet "état 1982" par rapport à deux autres échelles de temps, l'échelle à court terme en considérant par exemple l'histoire d'un cycle de marée, l'échelle à moyen terme en recherchant l'évolution survenue depuis quelques dizaines d'années et en la projetant dans le futur proche. Cette démarche devra s'inscrire dans une approche pluridisciplinaire précise.

Dès à présent, on peut souligner les particularités de chacun des deux estuaires, qui apparaissent comme deux modèles très différents de milieux de transition entre continent et océan.

D'une manière générale, la Canche est caractérisée par une diversification sédimentaire latérale marquée et par un chenal presque exclusivement sableux, ce qui correspond à une vidange très importante lors des périodes de jusant. En revanche, l'Aa est essentiellement marquée par une différenciation longitudinale, cependant que son chenal, qui occupe la plus grande partie de l'estuaire, comprend une fraction importante de sédiments envasés, liés à un hydrodynamisme moyen plus faible (pentes plus faibles de la plaine maritime, port à écluses en amont, ...). Cette différence de fond entre les deux estuaires est a priori déterminante dans le transit et le devenir des polluants au niveau du chenal, car les fractions sédimentaires fines, souvent riches en argile, ont des propriétés d'adsorption et d'échange privilégiées. Il est probable que le cours de l'Aa, plus riche en vase et de surcroît plus riche en minéraux argileux de la famille des smectites (à pouvoir d'échange particulièrement élevé), offre dans son chenal une vulnérabilité plus grande du point de vue du stockage et du largage des polluants. Pour la Canche, la mise en réserve des polluants se fait a priori plutôt sur les bordures de l'estuaire, dans les parties les plus éloignées de l'axe du chenal, au niveau des zones envahies seulement par les plaines mers de vives eaux, où les faciès sont les plus envasés et les plus riches en smectites.

La Canche est caractérisée par des faciès sédimentaires très variés et complexes, qui s'ordonnent de manière comparable de part et d'autre du chenal, avec toutefois des gradients en partie dissymétriques : la zone gauche de l'estuaire est soumise à un hydrodynamisme moyen moins fort que la zone droite, du fait de l'orientation générale du cours oblique par rapport

aux vents et aux courants dominants. Cela conduit, sur la partie gauche de la slikke et du schorre, à des sédiments relativement enrichis en fractions silteuses et argileuses, en carbonates finement divisés, en argiles smectitiques, et localement en matières organiques. Tout à fait à l'aval de l'estuaire, en arrière du poulier sableux du Pilori, s'individualise une zone réductrice, propice à la décantation des argiles, à la vie benthique et à la fixation des polluants, mais qui forme également un piège pour le sable soufflé depuis les dunes du Touquet ; cela peut provoquer des dépôts thixotropiques et instables (sables mouvants). Dans cette zone abritée, où les vases sont plus abondantes au niveau d'anciens chenaux, les argiles au pouvoir d'adsorption le plus élevé, comme les smectites et les édifices interstratifiés irréguliers, paraissent en partie dégradées en milieu organique réduit, ce qui pourrait déterminer un largage sélectif de certains polluants.

En rive droite de l'estuaire de la Canche, les faciès sont en moyenne plus sableux et moins réducteurs, à l'exception d'enrichissements organiques locaux liés à la proximité de la ville d'Etaples. Les décantations de matériels fins sont favorisées dans les zones déprimées et abritées par les dunes, où s'effectue une certaine contamination par du sable éolien.

Au-delà de l'embouchure le chenal de la Canche, déjeté vers le Nord par suite de la progression du banc du Pilori, se résout en une zone à très fort hydrodynamisme, avec érosion marquée de la côte septentrionale et dégagement de niveaux de tourbes fossiles. Les marqueurs granulométriques, remarquablement représentés par la distribution du mode et du grain moyen, mettent en évidence les tris intenses de l'estran, la présence de deux zones divergentes de courants portant vers le large, et des secteurs locaux à courants tourbillonnaires où se concentrent des débris coquilliers calcaires.

Au total, la Canche apparaît comme un modèle d'estuaire complexe et complet, bien que de dimensions relativement restreintes, et constitue de ce fait un terrain privilégié pour l'étude détaillée des transferts de suspensions et sédiments, et des produits chimiques inféodés, à la fois longitudinalement et latéralement. C'est sur la Canche que des études pluridisciplinaires précises devraient permettre de qualifier et de quantifier, de la manière la plus représentative, l'état et le devenir des pollutions, considérées dans le cadre de l'antagonisme entre les actions naturelles et l'influence humaine.

L'Aa, bien que canalisée et de dimensions plus limitées que la Canche, offre également des caractères sédimentaires originaux, notamment différenciés d'amont en aval, et déterminés par un antagonisme entre des actions hydrodynamiques naturelles et artificielles. Les teneurs en sable diminuent depuis le port de Gravelines jusque vers le milieu de l'estuaire (Petit Fort-Philippe) où se trouvent les faciès les plus envasés et les plus organiques,

puis réaugmentent en direction de l'aval jusqu'à être maximum au niveau de la barre d'embouchure. Ce double gradient longitudinal de la granularité, symétrique par rapport à la partie moyenne de l'estuaire, s'explique par les actions hydrodynamiques des marées, décroissantes depuis la barre d'embouchure en direction de l'amont, opposées aux effets de chasse lors de l'ouverture des écluses portuaires, décroissants depuis Gravelines en direction de l'aval. Latéralement s'observent des enrichissements relatifs en fractions fines, alternativement en rive droite ou en rive gauche, selon les effets de réfraction des principaux courants en jeu, dans la partie droite ou coudée de l'estuaire. Ici aussi, la distribution du mode et du grain moyen permet de préciser la répartition des principaux ensembles granulométriques, dans cet estuaire canalisé, à première vue peu variable du point de vue sédimentaire.

Une autre distribution longitudinale distincte intéresse les cortèges argileux de l'Aa, qui présentent vers l'aval un enrichissement relatif en illite par rapport aux smectites. Cette différenciation paraît principalement déterminée par des mécanismes de sédimentation différentielle, conduisant à un maintien des smectites dans les suspensions et à un dépôt préférentiel des illites vers l'aval. Elle peut avoir des répercussions notables sur le plan du transfert des polluants. Ces derniers, a priori davantage adsorbés sur les particules de smectites, pourraient tendre, d'une part à s'accumuler davantage à l'amont du chenal estuarien, d'autre part à être exportés préférentiellement en aval de l'embouchure. Cette hypothèse doit être testée par de nouvelles recherches combinées. De même, les effets des accumulations organiques, dans le port de Gravelines et dans d'autres faciès envasés, doivent être considérés sur le plan des interactions entre substrat minéral, complexes organominéraux et polluants. Au total l'Aa représente, du point de vue sédimentologique, un modèle privilégié d'estuaire perturbé, de manières diverses, par les interventions humaines.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN G. P., 1972 .- Etude des processus sédimentaires dans l'estuaire de la Gironde. *Thèse Sc. Nat.*, Univ. Bordeaux I, Talence, n° 353, 314 p., 134 fig., 13 tabl.
- AUFFRET J. P. et COLBEAUX J. P., 1977 .- Etude structurale du Boulonnais et de son prolongement sous-marin en Manche orientale. *Bull. Soc. géol. France*, (7), 19, 5 : 1 047-1 055, 3 fig., 1 tabl.
- AVOINE J., 1981 .- L'estuaire de la Seine : sédiments et dynamique sédimentaire. *Thèse 3ème cycle*, Caen, 236 p., et annexes.
- BOUEDINA A., 1978 .- Caractères géochimiques et paléoenvironnement de la série des calcaires de Drimas, Péloponnèse septentrional : Grèce. *D. E. A.*, Lille, 51 p. ronéot.
- BRIQUET A., 1930 .- Le littoral du Nord de la France et son évolution morphologique. 484 p. ; A. Colin, Paris.
- CALATAYUD P., 1981 .- Alluvionnement argileux dans deux bassins versants du Nord de la France. *D. E. A.*, Lille, 51 p. ronéot.
- CALINE B., 1982 .- Le secteur occidental de la baie du Mont Saint-Michel. (Morphologie, sédimentologie et cartographie de l'estran). *Doc. B. R. G. M.*, n° 42, 250 p.
- DUBOIS G., 1924 .- Recherches sur les terrains quaternaires du Nord de la France. *Mém. Soc. géol. Nord*, T. VIII, n° 1.
- DUPONT J. P., 1975 .- Présence de biolithosores à *Pygospio elegans* Clarapède (Polychètes sédentaires) dans la baie de Somme. *C. R. Acad. Sc.*, Paris, T. 280, sér. D : 1 773.
- DUVAL J., 1973 .- Productivité primaire en baie de Canche. *Thèse 3ème cycle*, Lille I, 90 p.
- HOLTZAPFFEL T., 1981 .- Minéralogie des argiles dans les roches anté-Crétacé supérieur d'Othrys (Grèce continentale). *D. E. A.*, Lille, 52 p. ronéot.
- MCCAMMON ., 1962 .- Moments measures and the shape of size frequency distributions. *J. Geol.*, vol. 70 : 89-92.
- MUNAUT A. V. et GILOT E., 1977 .- Recherches palynologiques et datations¹⁴ C dans les régions côtières du Nord de la France.
I : Phases transgressives et stabilisations dunaires flandriennes dans l'estuaire de la Canche (Pas-de-Calais). *Bull. Ass. franc. Etude Quaternaire*, n° 52 : 17-25.
- ROBINE P., 1962 .- Evolution morphologique d'une région située entre la Bresle et le Nord du bassin de la Canche. (Etude photogéologique). 132 p. ronéot., C. D. U., Paris.

SOMME J., 1977 .- Les plaines du Nord de la France et leur bordure. Etude géomorphologique. T. 1, 810 p., Libr. H. Champion, Paris.

VERGER F., 1968 .- Marais et wadden du littoral français. 541 p., Biscaye Frères, Bordeaux.

43555

05L02992

ESTUAIRES 82

MICROBIOLOGIE - MICROPOLLUANTS DES EAUX

DÉPARTEMENT ENVIRONNEMENT
LITTORAL ET GESTION DU MILIEU
MARIN

Aa
Carde
Aulhi
bonne

INSTITUT PASTEUR DE LILLE

SERVICE DES EAUX

FEVRIER 83

ESTUAIRES 82

MICROBIOLOGIE

R. Delesmont

J.M. Delattre

LABORATOIRE LITTORAL

MICROPOLLUANTS DES EAUX

J.C. L'Hopitault

A. Philippo

P. Thomas

LABORATOIRE DE CHIMIE DES EAUX

SERVICE DES EAUX

INSTITUT PASTEUR DE LILLE

FEVRIER 1983

Etude réalisée avec le concours financier
de l'Etablissement Public Régional

(délibérations 81-275 du 21.12.81 et
82-054 du 8.3.82)

SOMMAIRE

CHAPITRE III : MICROBIOLOGIE

	Pages
III - I - INTRODUCTION	112
III - II - TECHNIQUES D'ETUDE	112
- Prélèvements	114
- Analyses microbiologiques	114
III - III - RESULTATS	
- Aa	117
- Canche	122
- Authie	128
- Somme	135
III - IV - DISCUSSION	140
- Nombre de germes totaux	140
- Structure de la microflore	142
- Vibrions halophiles	144
- <i>Salmonella</i>	144
- Indicateurs fécaux et flux de pollution	145
- Conclusions	147

CHAPITRE IV : MICROPOLLUANTS CHIMIQUES

IV - I - INTRODUCTION	150
IV - II - PRELEVEMENTS	151
IV - III - METHODOLOGIE ANALYTIQUE	156
IV - IV - RESULTATS	158
- Aa	159
- Canche	164
- Authie	167
- Somme	171
IV - V - FLUX DE POLLUTION	176
IV - VI - CONCLUSIONS	180

BIBLIOGRAPHIE	181
ANNEXES 1 : Aa : concentrations de métaux toxiques	183
2 : Aa : concentrations de pesticides et plastifiants	184-85
3 : Canche : métaux	186
4 : Canche : pesticides et plastifiants	187-88
5 : Authie : métaux	189
6 : Authie : pesticides et plastifiants	190-91
7 : Somme : métaux	192
8 : Somme : pesticides et plastifiants	193-94

CHAPITRE III : POLLUTION MICROBIENNE

R. DELESMONT

J.M. DELATTRE

CHAPITRE III

POLLUTION MICROBIENNE DES ESTUAIRES

III - I-INTRODUCTION

Cette étude fait suite au programme Hydrobios (1) réalisé en 1980 et qui a permis d'établir une cartographie de la pollution bactériologique et chimique au large (3 à 10 km) des côtes de la région Nord de la France.

A la côte, des mesures régulières de pollution microbienne sont réalisées, dans le cadre de la surveillance des zones de baignades pour les Services de l'Action Sanitaire et Sociale : 43 points de mesures sont ainsi répartis sur le littoral, mais pas dans les estuaires.

Cette étude vise donc à compléter la cartographie de la qualité microbienne dans la région. Elle est également une première approche du rôle joué par les estuaires dans l'origine et le transport des bactéries polluant le milieu marin.

III - II- TECHNIQUES D'ETUDE

La pollution microbienne est surtout étudiée ici sous l'aspect sanitaire, c'est-à-dire celui du risque d'infection, lié notamment à la baignade ou à la consommation de produits de la mer récoltés dans l'estuaire ou sa zone d'influence.

Dans un estuaire, le risque sanitaire peut avoir deux origines :

- apport par la rivière d'agents infectieux d'origine terrestre : pollution fécale notamment ;

- développement des germes marins ou estuariens pathogènes : vibrions notamment.

La pollution fécale apporte des virus, des parasites animaux, des bactéries pathogènes et d'autres non pathogènes. Ces éléments sont en transit dans les eaux ou en survie dans les sédiments ou la biomasse.

On a recherché, pour caractériser la pollution fécale :

- les coliformes, les Escherichia coli et les streptoques fécaux, non pathogènes mais indicateurs de pollution fécale dénombrés régulièrement pour la surveillance des zones de baignades, pour le contrôle sanitaire des coquillages, et, en 1980, pour l'étude des eaux de la région (campagne Hydrobios).

- les Salmonella, agents pathogènes (des thyphoïde, paratyphoïdes et salmonelloses mineures).

Les vibrions halophiles stricts comprennent, entre autres, deux espèces très proches, Vibrio alginolyticus et V. parahaemolyticus. La première est peu ou pas pathogène et abonde en été dans l'eau de mer cotière de nos régions. La seconde, qui comprend des souches pathogènes agents de redoutables toxi-infections alimentaires par les produits de la mer, serait inféodée aux salinités intermédiaires (5 - 10 p 1000). Les eaux marines franches ($S > 30 \%$) de la région n'en révèlent que très rarement, mais les estuaires n'avaient pas été explorés jusqu'ici.

Trois paramètres permettant de caractériser la qualité générale du milieu ont été également mesurés :

- le nombre total de cellules bactériennes (germes totaux)
- le nombre de germes viables sur milieu de ZoBell (à base d'eau de mer)
- le nombre de germes viables sur gélose à l'eau douce

Le nombre de germes totaux et la proportion de germes viables augmentent avec l'eutrophisation du milieu, la proportion de germes viables avec et sans eau de mer traduisant les influences marines ou au contraire terrestres dans le milieu.

Prélèvements

Les trois campagnes prévues ont été effectuées sur chaque estuaire, à marée haute.

Les prélèvements ont été réalisés conjointement avec ceux destinés aux études hydrobiologiques (chapitre I), sédimentologiques (chapitre II) et chimiques (chapitre IV).

Les échantillons transportés sur glace ont étéensemencés au laboratoire dans les trois heures suivant la fin des prélèvements ; à l'exception de ceux destinés aux dénombrements en épifluorescence, fixés sur place par addition de formol et analysés dans la semaine.

Analyses microbiologiques

1) Coliformes totaux, Escherichia coli et Streptocoques fécaux

La méthode utilisée pour ces dénombrements, dite du nombre le plus probable (N.P.P), est une méthode en milieu liquide à trois tubes par dilution. Elle consiste à ensemencer plusieurs séries de trois tubes par une gamme de dilution de 10 en 10.

Les manipulations sont réalisées en deux temps pour chacun des indicateurs étudiés :

- dans un premier temps un test présomptif est effectué sur un milieu riche, qui permet une bonne revivification des populations bactériennes mais n'est pas spécifique.

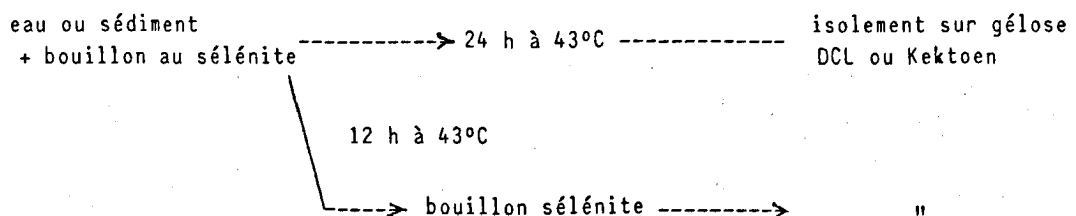
- dans un second temps un test confirmatif effectué avec un milieu sélectif et, éventuellement, une température plus élevée permet de s'assurer que les populations dénombrées sont bien celles recherchées.

	Tests présomptifs	Confirmation
Coliformes totaux	Bouillon lactosé au bromocrésol pourpre (48 h à 30°C)	Bouillon lactosé bilié au vert brillant (48 h à 37°C)
<u>Escherichia coli</u>	"	Milieu de Schubert (24 h à 44°C)
Streptocoques fécaux	Bouillon de Rothe (48 h à 37°C)	Bouillon de Litsky (48 h à 37°C)

2) Salmonella

La recherche des Salmonella a été réalisée sur un litre d'eau ou 10 g de sédiments humide.

Schéma d'analyse



Les colonies isolées sont identifiées par voie biochimique avant confirmation sérologique.

3) Germes totaux

Une méthode microscopique directe, en épifluorescence, est utilisée pour le dénombrement des bactéries totales.

Les échantillons sont fixés au moment des prélèvements avec 2 % de formol.

L'eau est filtrée sur membrane Nucléopore noire (0.2 μm). On procède ensuite à la coloration avec une solution d'acridine orange tamponnée. La préparation est examinée au microscope en épifluorescence sous éclairage ultra-violet.

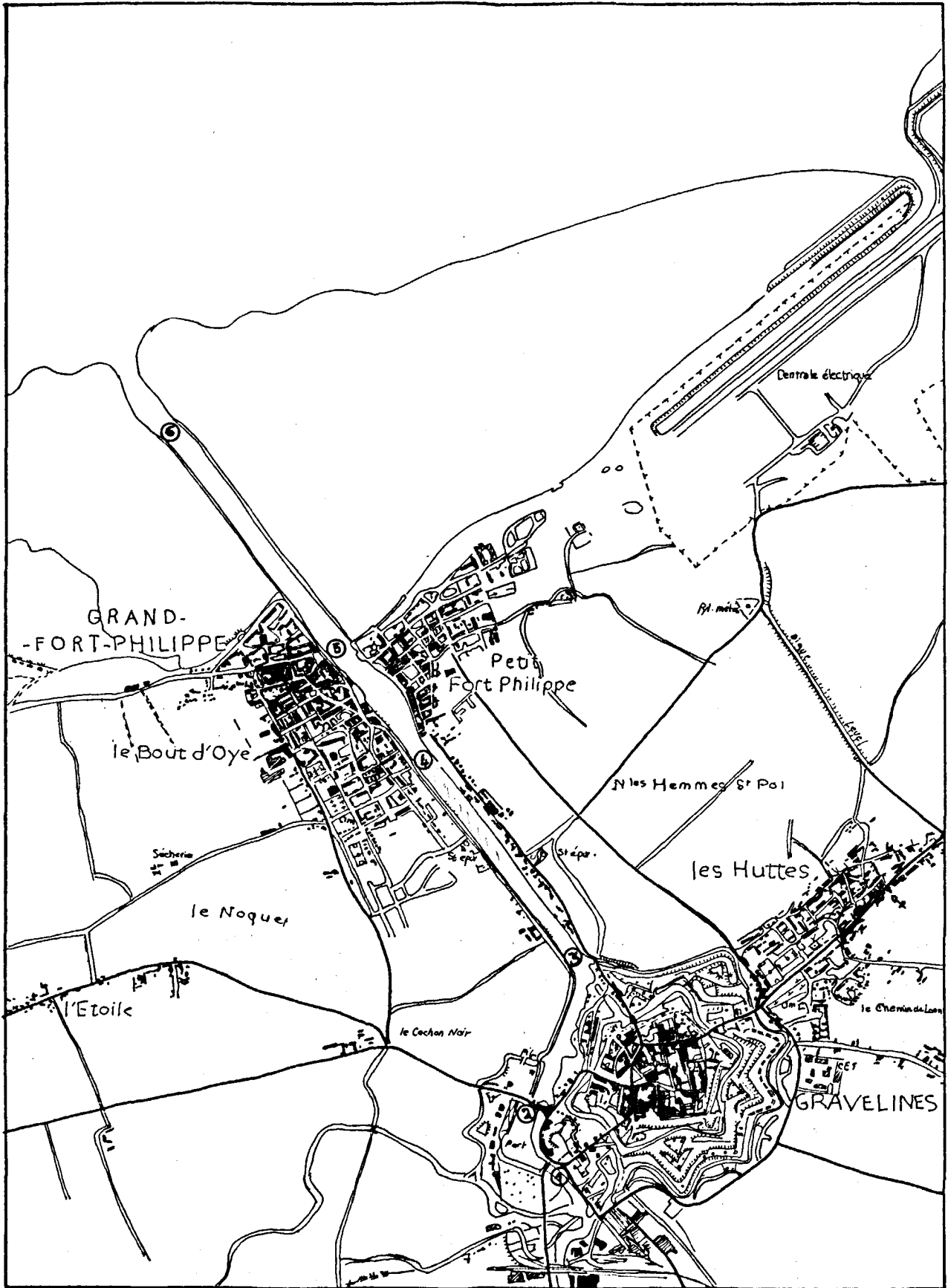
4) Germes viables

On ensemence en surface 0.1 ml de l'eau de mer et de ses dilutions au 1/10^e, 1/100^e..., sur gélose 2216 E de ZoBell. Après trois semaines d'incubation, on procède au comptage du nombre de colonies bactériennes. Chaque résultat est la moyenne de deux dénombrements entièrement distincts.

Un dénombrement de germes viables sur gélose douce (GED) a été ajouté pour permettre d'apprécier, par différence, la proportion de germes exigeants en eau de mer. Chaque dilution a donc été ensemencée, en parallèle, sur le même milieu de ZoBell mais avec, comme base, de l'eau distillée au lieu de l'eau de mer.

5) Vibrions halophiles

La recherche de vibrions halophiles a été rendue semi-quantitative, par filtration de plusieurs volumes : 1000 ml, 100 ml, 10 ml... Les membranes sont portées dans des tubes de milieu BTB d'Akiyama. Dès le début de la culture (6 à 18 h), on procède à l'isolement sur gélose T.C.B.S. Les colonies suspectées d'être des vibrions halophiles sont alors identifiées par voie biochimique.



ESTUAIRE DE L'AA

Aa

En raison de la petite taille de cet estuaire, 6 stations de prélèvements seulement ont été retenues. Les derniers apports polluants se font au point 5 au niveau de la fin des agglomérations de Petit-Fort-Philippe et de Grand-Fort-Philippe.

Cet estuaire est entièrement canalisé ce qui en fait un modèle simple au point de vue hydrodynamique.

Les phénomènes de dispersion ne se font que peu sentir, car la section de l'estuaire est pratiquement constante sur la totalité du cours. On observe une remontée saline qui peut atteindre le point n°1 en profondeur bien que l'eau douce coule en permanence, à la surface, vers la mer.

Pollution fécale

La charge en bactéries fécales est élevée principalement dans le chenal entre le port de Gravelines et Petit-Fort-Philippe. Par contre les apports en amont de Gravelines semblent moins importants. A marée haute, une nette décroissance des nombres de bactéries fécales est observée entre Petit-Fort-Philippe et la sortie de l'estuaire.

Les sédiments sont vaseux sur l'ensemble des points étudiés (à l'exception du point n°6 : sableux), et ils sont très contaminés par rapport à l'eau qui les surmonte. Ceci est particulièrement marqué pour les ports de Gravelines et Petit-Fort-Philippe où ce rapport atteint 1000 pour les Streptocoques fécaux.

Les recherches de *Salmonella*, sur l'eau et les sédiments des trois premiers points, se sont toutes avérées négatives.

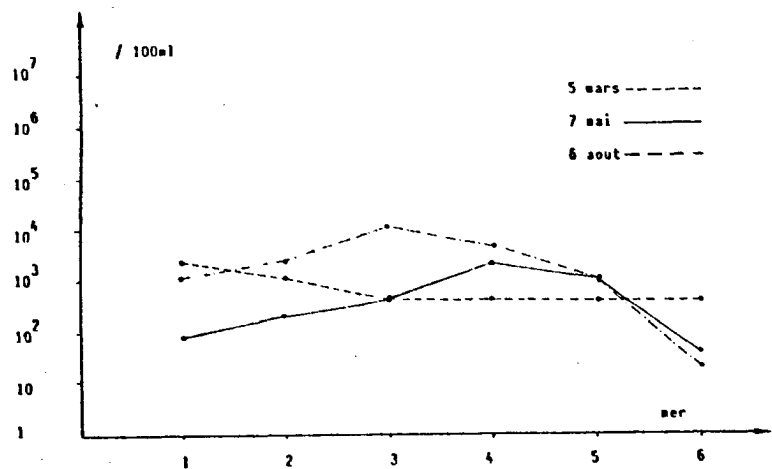
Microflore

Les nombres totaux de cellules bactériennes décroissent lentement mais régulièrement de l'amont vers la mer. Il en est de même pour les germes cultivables sur milieu à l'eau de mer et sur milieu non salé. La proportion de germes cultivables sur milieu à l'eau douce reste élevée au point n°6 (extrémité des digues).

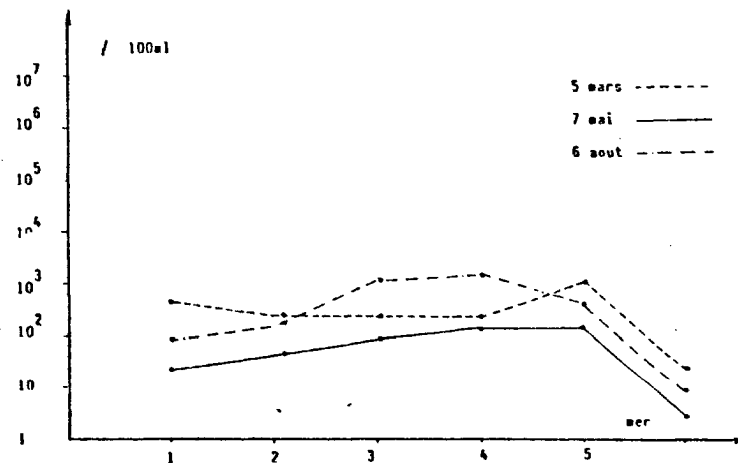
Les vibrions halophiles isolés sont tous du type *alginolyticus*. Leur présence est liée à la température de l'eau: absents en mars ($< 1/l$), ils apparaissent en mai, et abondent en août ($\geq 10^5 /L$)

Date 1982	Lieu	T° °C	Salinité %	EAU							SEDIMENTS		
				Nb total ZoBell/ml	Nb total Ged/ml	Nb total Fluo./ml	Vibrions /litre	Coli.T. /100ml	E.coli. /100ml	Strepto.F. /100ml	Coli.T. /100g	E.coli /100g	Strepto.F. /100g
05.03	1	-	0.45					1.1 10 ⁴	2.4 10 ³	4.6 10 ²	1.1 10 ⁶	4.6 10 ⁴	2.1 10 ⁴
	2	-	0.54					1.1 10 ⁴	1.1 10 ³	2.4 10 ²	1.1 10 ⁶	1.1 10 ⁵	2.4 10 ⁶
	3	7°5	1.33			2.7 10 ⁶		4.6 10 ³	4.6 10 ²	2.4 10 ²	4.6 10 ⁵	4.6 10 ⁴	1.1 10 ⁴
	4	-	1.04	5.7 10 ⁴	5.0 10 ⁴	1.7 10 ⁶	< 1	4.6 10 ³	4.6 10 ²	2.4 10 ²	2.4 10 ⁷	4.6 10 ³	4.6 10 ³
	5	7°2	1.93	3.0 10 ⁴	3.5 10 ⁴	1.5 10 ⁶	< 1	1.1 10 ⁴	4.6 10 ²	1.1 10 ³	1.1 10 ⁵	1.1 10 ⁶	4.6 10 ⁵
	6	6°2	29.77	6.4 10 ⁴	4.9 10 ⁴	1.5 10 ⁶	1	1.1 10 ³	4.6 10 ²	2.3 10 ¹	1.1 10 ⁵	4.6 10 ³	2.4 10 ⁴
07.05	1	11°7	0.51					2.4 10 ³	9.3 10 ¹	2.3 10 ¹	1.5 10 ⁶	4.6 10 ⁵	2.4 10 ⁴
	2	11°6	0.71					2.4 10 ²	2.4 10 ²	4.3 10 ¹	4.6 10 ⁵	4.6 10 ⁴	1.1 10 ⁵
	3	11°6	4.05			8.7 10 ⁶		2.4 10 ³	4.6 10 ²	9.3 10 ¹	1.1 10 ⁵	1.1 10 ⁵	2.4 10 ³
	4	11°7	2.49	1.7 10 ⁵	5.8 10 ³	8.4 10 ⁶	< 1	4.6 10 ³	2.4 10 ³	1.5 10 ²	2.4 10 ⁵	4.6 10 ⁴	1.1 10 ⁵
	5	11°8	3.26	1.3 10 ⁵	8.0 10 ³	7.5 10 ⁶	1	4.6 10 ³	1.1 10 ³	1.5 10 ²	2.4 10 ⁶	1.5 10 ⁵	2.4 10 ⁵
	6	10°9	32.81	9.4 10 ⁴	2.1 10 ³	7.2 10 ⁶	10	4.3 10 ¹	4.3 10 ¹	< 3	-	-	-
06.08	1	22°0	0.58					4.6 10 ³	1.1 10 ³	9.3 10 ¹	-	-	-
	2	21°7	-					1.1 10 ⁴	2.4 10 ³	1.5 10 ²	4.6 10 ⁵	4.6 10 ⁴	2.1 10 ⁴
	3	21°7	3.14			8.7 10 ⁶		1.1 10 ⁴	1.1 10 ⁴	1.1 10 ³	1.1 10 ⁵	7.5 10 ³	2.4 10 ³
	4	21°5	-	2.7 10 ⁵	8.0 10 ⁴	5.7 10 ⁶	1.5 10 ⁴	2.4 10 ⁴	4.6 10 ³	1.5 10 ³	2.4 10 ⁵	4.6 10 ³	4.6 10 ³
	5	21°6	7.06	3.9 10 ⁴	6.5 10 ³	1.9 10 ⁶	2.4 10 ⁵	1.1 10 ³	1.1 10 ³	4.6 10 ²	2.4 10 ⁵	2.4 10 ⁵	1.1 10 ⁶
	6	20°9	-	2.0 10 ⁴	3.6 10 ³	1.5 10 ⁶	4.6 10 ⁴	2.4 10 ²	2.3 10 ¹	0.9 10 ¹	1.1 10 ⁴	2.4 10 ³	7.5 10 ³

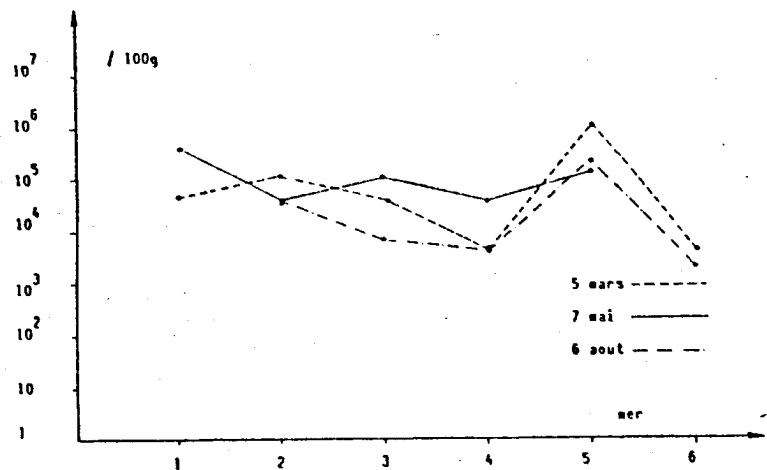
Aa: Résultats des 3 campagnes de mesures



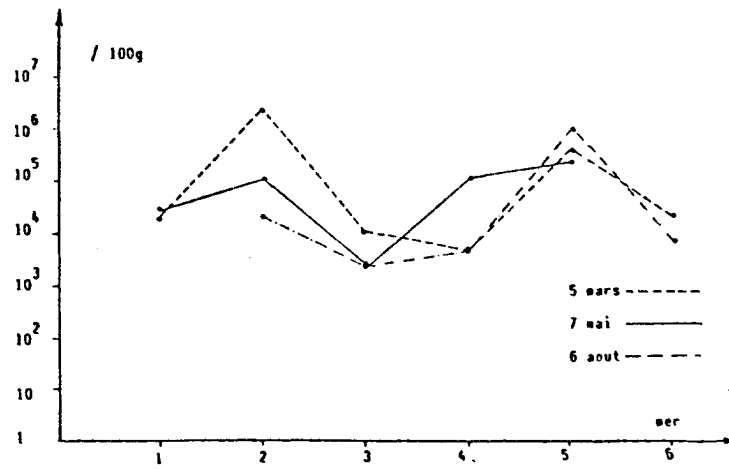
Aa: Dénombrement des E.coli dans l'eau



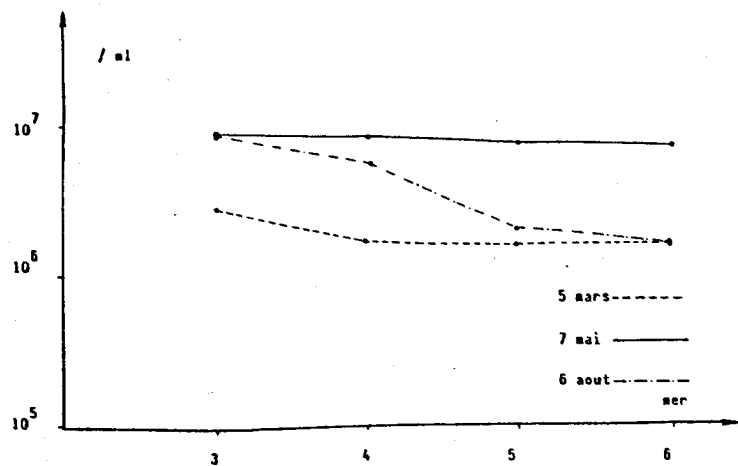
Aa: Dénombrement des Streptocoques fécaux dans l'eau



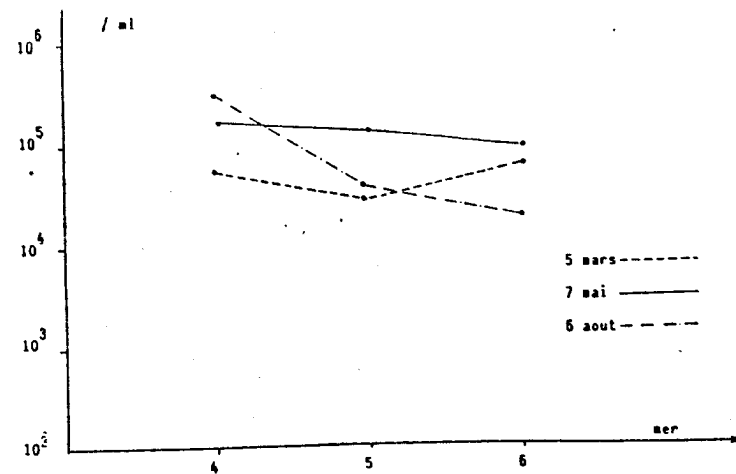
Aa: Dénombrement des E.coli dans les sédiments



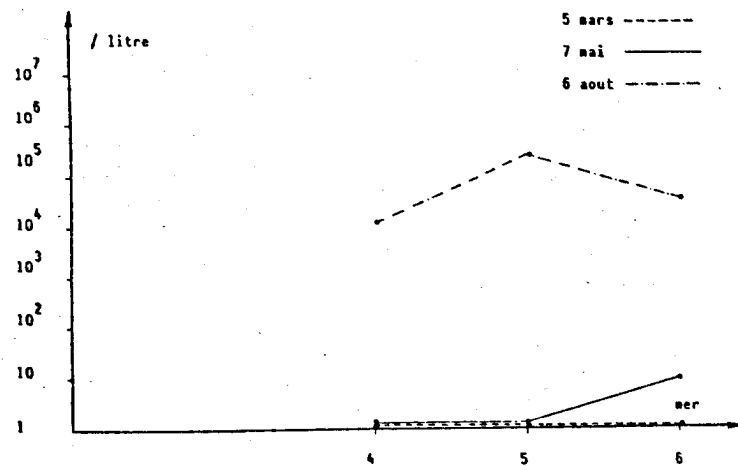
Aa: Dénombrement des Streptocoques fécaux dans les sédiments



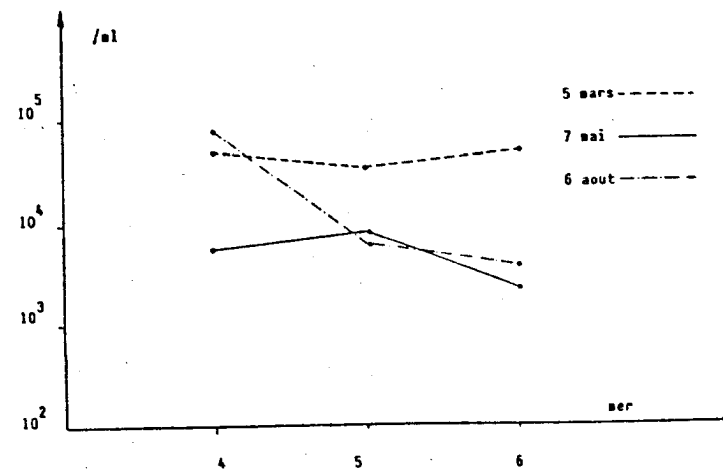
Aa: Dénombrement des germes totaux dans l'eau



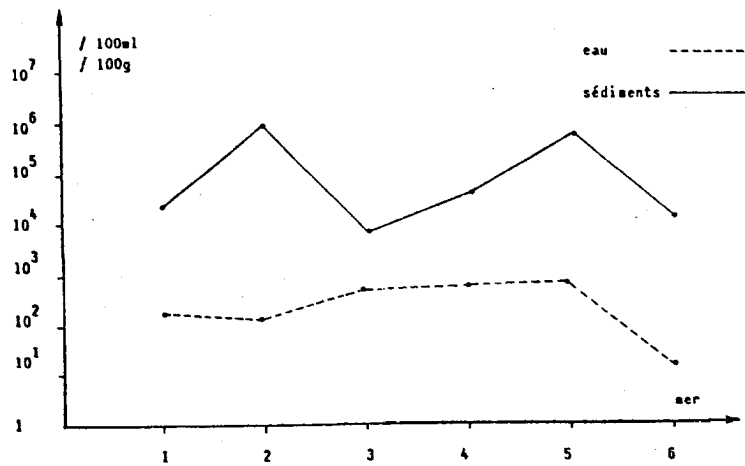
Aa: Dénombrement des germes aérobies viables sur milieu de ZoBell



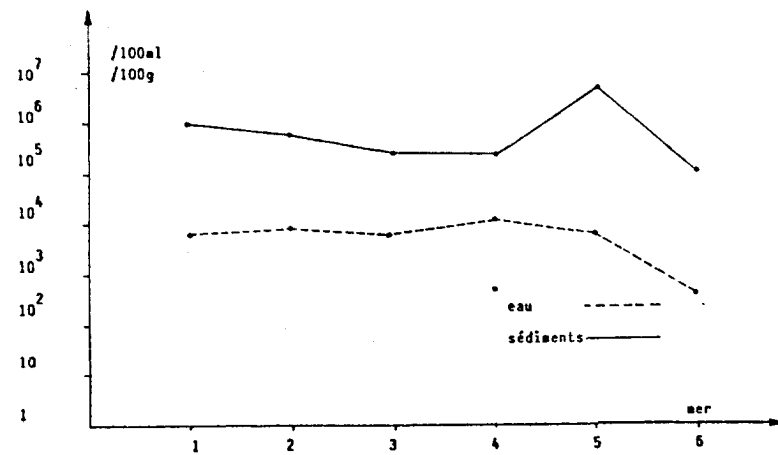
Aa: Dénombrement des vibrions halophiles



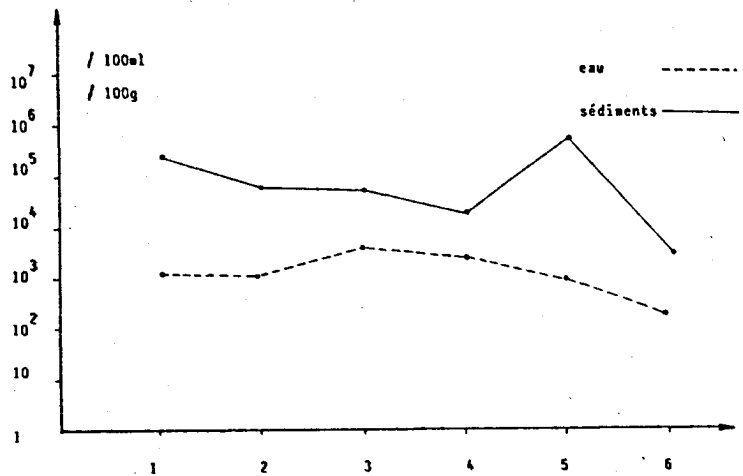
Aa: Dénombrement des germes aérobies viables sur gélose eau douce



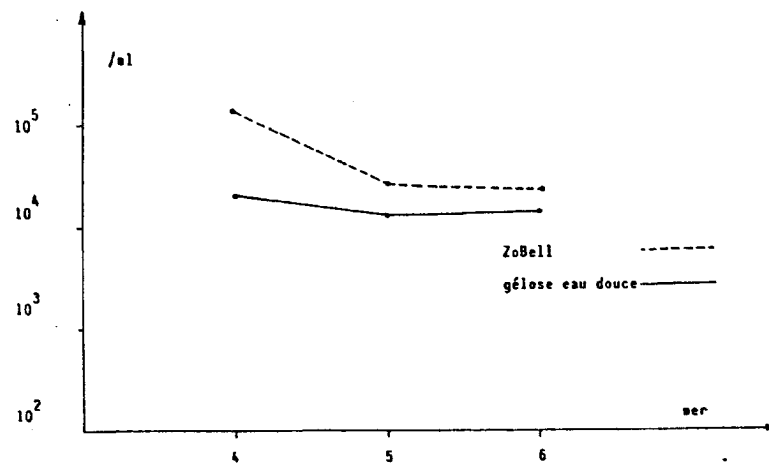
Aa: Dénombrement des Streptocoques fécaux (moyenne des 3 séries)



Aa: Dénombrement des coliformes totaux (moyennes des 3 séries)



Aa: Dénombrement des E. coli (moyennes des 3 séries)



Aa: Dénombrement des germes aérobies viables dans l'eau (moyennes des 3 séries)

Canche

L'estuaire de la Canche présente pour partie des similitudes avec l'estuaire de l'Aa, car il est canalisé entre Etaples et le champ de course du Touquet. Cependant la seconde partie de l'estuaire est naturelle et très évasée, et le cours de la rivière n'est pas régularisé par des écluses.

D'où une remontée de l'eau de mer loin en amont, et des épaisseurs d'eau plus faibles à marée haute sur une grande partie de l'estuaire.

Pollution fécale

La pollution bactériologique de l'eau est la plus importante des quatre estuaires étudiés. Des valeurs de l'ordre de 10 000 / 100ml en *Escherichia coli* sont atteintes fréquemment. Les concentrations en *Escherichia coli* et Streptocoques fécaux ne décroissent qu'entre la pointe du Touquet et l'embouchure. Les apports polluants semblent avoir lieu au niveau de la ferme Haudique d'Etaples et probablement du Touquet.

Les sédiments sont moins pollués que ceux de l'Aa, ils sont d'ailleurs moins vaseux (à l'exception des trois premiers points). Les sédiments des points n°2 (ferme Haudique) et n°3 (Etaples) qui correspondent à des sédiments fins et à des eaux très contaminées sont les plus chargés en bactéries fécales.

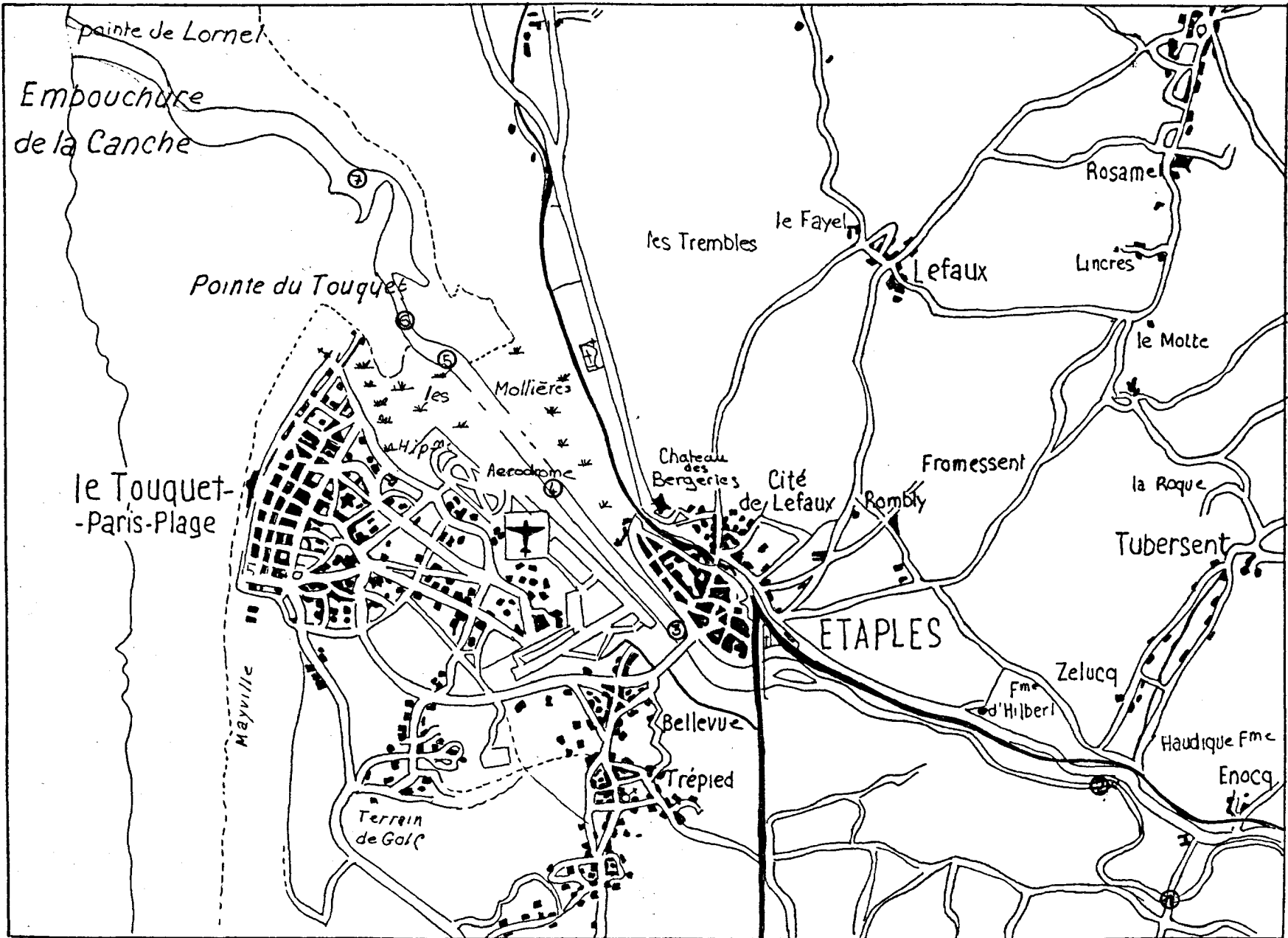
La recherche de *Salmonella* n'a été positive que pour la campagne du 04 février 1982.

<u>point n°2</u> (ferme Haudique)	- eau	: <i>Salmonella</i> Derby
	- sédiments	: <i>Salmonella</i> Heidelberg
<u>point n°3</u> (Etaples)	- eau	: recherche négative
	- sédiments	: <i>Salmonella</i> Derby

Microflore

Les nombres totaux de bactéries ne présentent pas de gradient côte/mer; au contraire le maximum d'abondance est représenté par les points n°4 et n°5 (chenal). Les germes viables sur milieu non salé sont très abondants (10^5 / ml); ils présentent une nette décroissance de l'intérieur des terres vers la mer. Il en est de même pour les germes sur milieu de ZoBell salé.

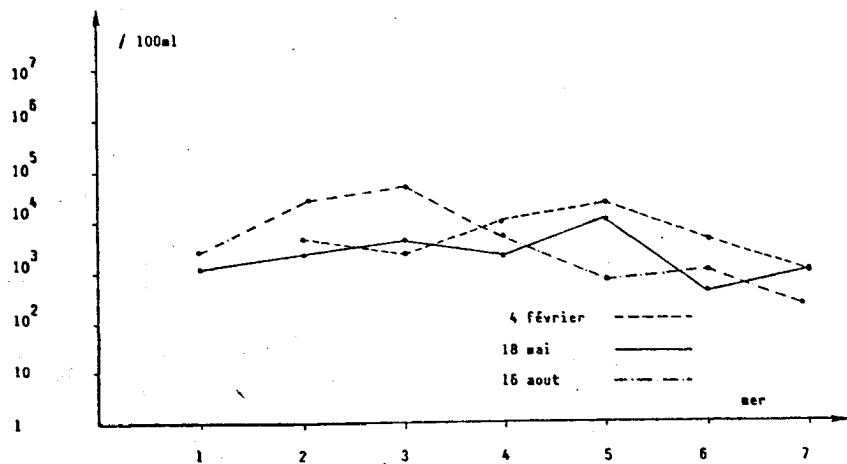
Les vibrions halophiles sont de type *alginoliticus* et présentent le même cycle lié à la température que sur l'Aa.



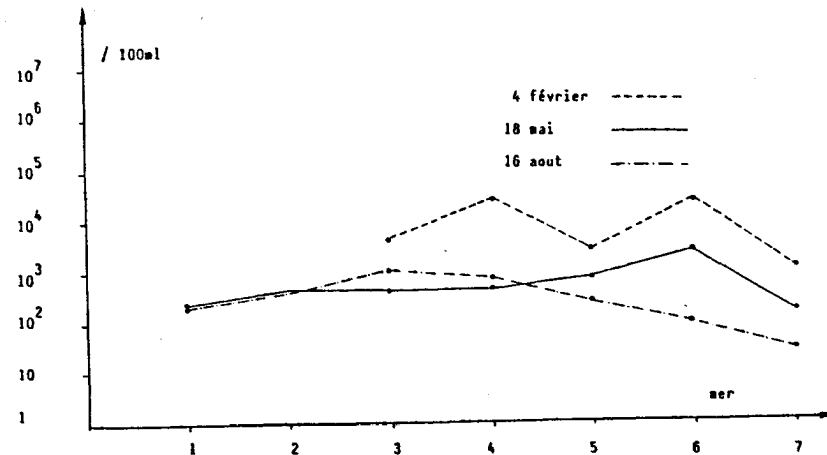
ESTUAIRE DE LA CANCHE

Date 1982	Lieu	T° °C	Salinité %	EAU							SEDIMENTS		
				Nb total ZoBell/ml	Nb total Ged/ml	Nb total Fluo./ml	Vibrions /litre	Coli.T. /100ml	E.coli /100ml	Strepto.F. /100ml	Coli.T. /100g	E.coli /100g	Strepto.F. /100g
04.02	2	-	0.24			1.7 10 ⁶		1.1 10 ⁵	4.6 10 ³	-	4.6 10 ⁵	1.1 10 ⁵	2.4 10 ⁴
	3	-	0.23			1.0 10 ⁶		2.4 10 ³	2.4 10 ³	4.6 10 ³	4.6 10 ⁵	2.4 10 ⁵	4.6 10 ⁴
	4	7°2	0.38	4.3 10 ⁴	4.0 10 ⁵	1.2 10 ⁶	< 1	1.1 10 ⁴	1.1 10 ⁴	2.4 10 ⁴	4.6 10 ⁴	4.6 10 ³	1.1 10 ⁴
	5	7°1	0.38	3.2 10 ⁴	3.2 10 ⁵	1.0 10 ⁶	< 1	2.4 10 ⁴	2.4 10 ⁴	2.4 10 ³	4.6 10 ⁴	4.6 10 ³	2.4 10 ⁴
	6	6°9	0.52	1.1 10 ⁵	2.9 10 ⁵	1.8 10 ⁶	1	2.4 10 ⁴	4.6 10 ³	2.4 10 ⁴	1.1 10 ⁵	2.4 10 ⁴	2.4 10 ⁴
	7	5°0	22.50	4.0 10 ⁴	3.8 10 ⁴	1.2 10 ⁶	1	1.5 10 ³	1.1 10 ³	1.1 10 ³	2.4 10 ⁴	2.4 10 ⁴	1.1 10 ⁴
	18.05	1	14°2	0.25					1.1 10 ³	1.1 10 ³	2.4 10 ²	4.6 10 ³	4.6 10 ³
2		13°9	0.25					2.4 10 ³	2.4 10 ³	4.6 10 ²	4.6 10 ⁵	4.6 10 ⁵	1.5 10 ³
3		14°1	0.26			5.0 10 ⁶		4.6 10 ³	4.6 10 ³	4.6 10 ²	2.4 10 ⁴	2.4 10 ⁴	4.6 10 ³
4		13°6	0.63	2.5 10 ⁵	1.2 10 ⁵	6.8 10 ⁶	10 ²	2.4 10 ³	2.4 10 ³	4.6 10 ²	4.6 10 ³	4.6 10 ³	2.4 10 ⁴
5		13°1	5.33	8.3 10 ⁵	5.3 10 ⁴	1.4 10 ⁷	10 ²	1.1 10 ⁴	1.1 10 ⁴	7.5 10 ²	4.6 10 ³	4.6 10 ³	1.5 10 ⁴
6		12°7	12.61	4.4 10 ⁵	4.6 10 ⁴	1.1 10 ⁷	10 ³	4.6 10 ²	4.6 10 ²	2.4 10 ³	4.6 10 ³	4.6 10 ³	4.3 10 ²
7		12°7	28.12	3.4 10 ⁵	1.5 10 ³	1.0 10 ⁷	10 ³	1.1 10 ³	1.1 10 ³	1.5 10 ²	7.0 10 ²	7.0 10 ²	4.0 10 ²
16.08	1	-	0.33					2.4 10 ³	2.4 10 ³	2.4 10 ²	4.6 10 ⁴	2.4 10 ³	9.3 10 ²
	2	15°2	0.34					2.4 10 ⁴	2.4 10 ⁴	4.6 10 ²	4.6 10 ⁶	4.6 10 ⁵	2.4 10 ⁴
	3	15°8	6.54			5.0 10 ⁶		1.1 10 ⁵	4.6 10 ⁴	1.1 10 ³	1.1 10 ⁵	1.1 10 ⁴	4.6 10 ³
	4	17°6	25.58	1.4 10 ⁵	2.4 10 ⁴	7.7 10 ⁶	10 ⁵	7.5 10 ³	4.6 10 ³	7.5 10 ²	4.6 10 ³	4.6 10 ³	1.5 10 ³
	5	18°4	30.50	9.0 10 ⁴	2.5 10 ³	5.4 10 ⁶	10 ⁴	7.5 10 ²	4.6 10 ²	2.4 10 ²	4.6 10 ⁴	4.6 10 ³	1.5 10 ³
	6	18°6	31.09	4.0 10 ⁴	2.6 10 ³	5.2 10 ⁶	10 ⁴	2.4 10 ³	7.5 10 ³	2.4 10 ¹	1.1 10 ⁴	2.4 10 ³	1.5 10 ³
	7	18°2	31.83	9.0 10 ⁴	2.6 10 ³	5.4 10 ⁶	10 ⁴	1.1 10 ³	1.1 10 ²	9.3 10 ¹	2.4 10 ³	2.4 10 ²	4.6 10 ²

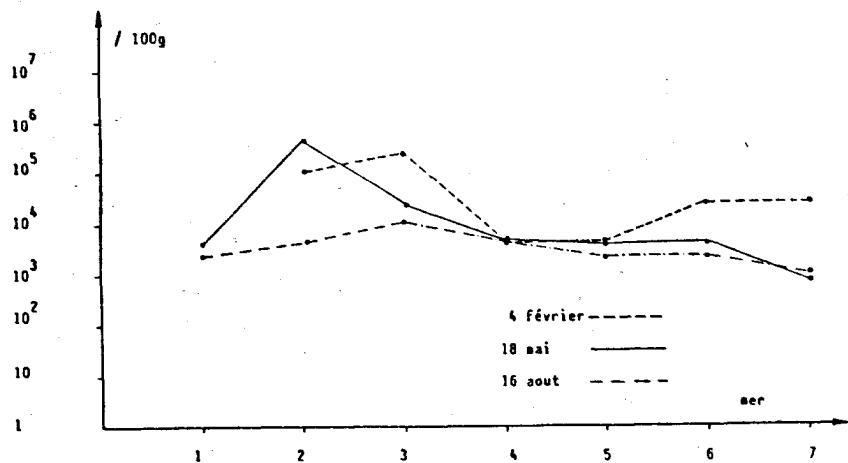
CANCHE: Résultats des 3 campagnes de mesures



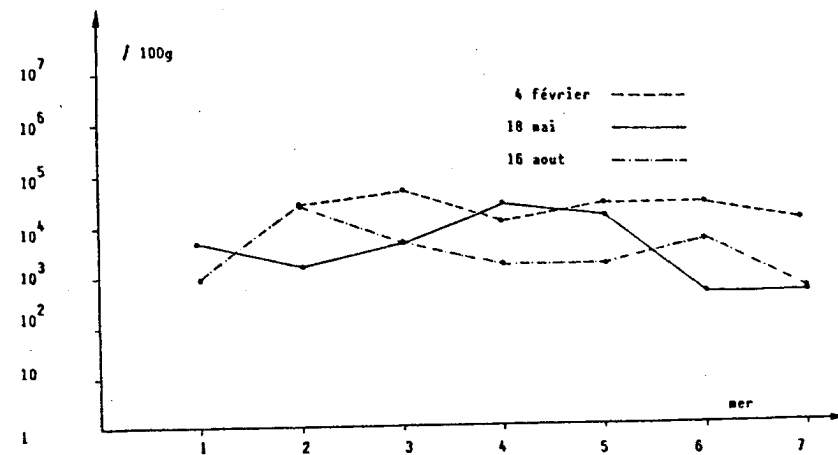
CANCHE: Dénombrement des E.coli dans l'eau



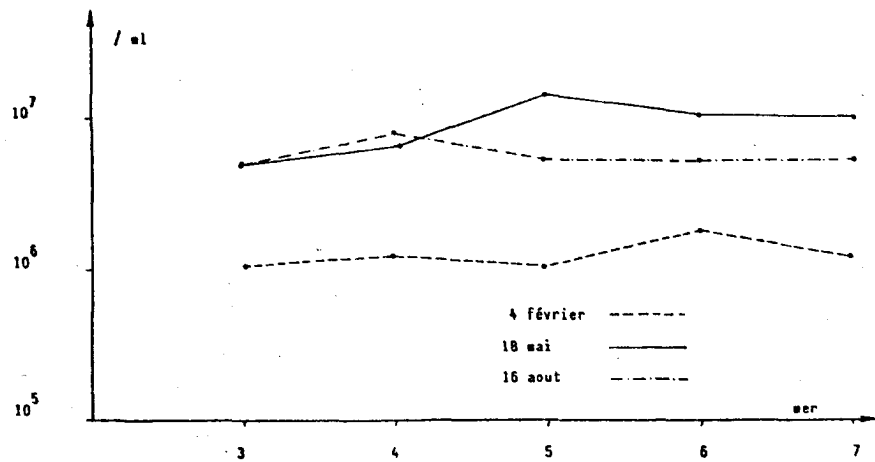
CANCHE: Dénombrement des Streptocoques fécaux dans l'eau



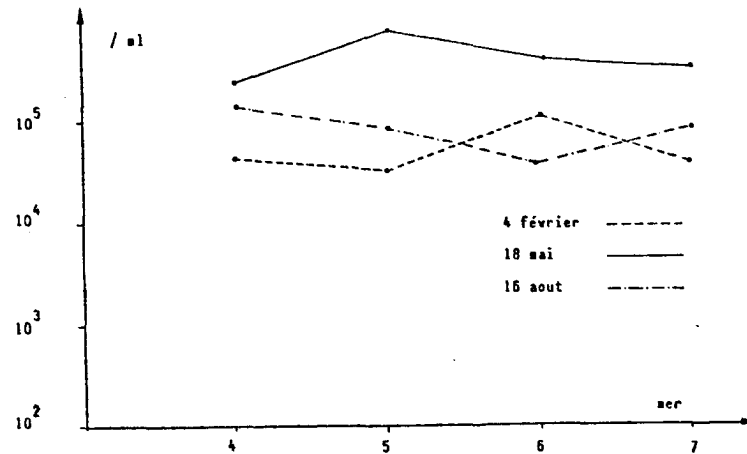
CANCHE: Dénombrement des E.coli dans les sédiments



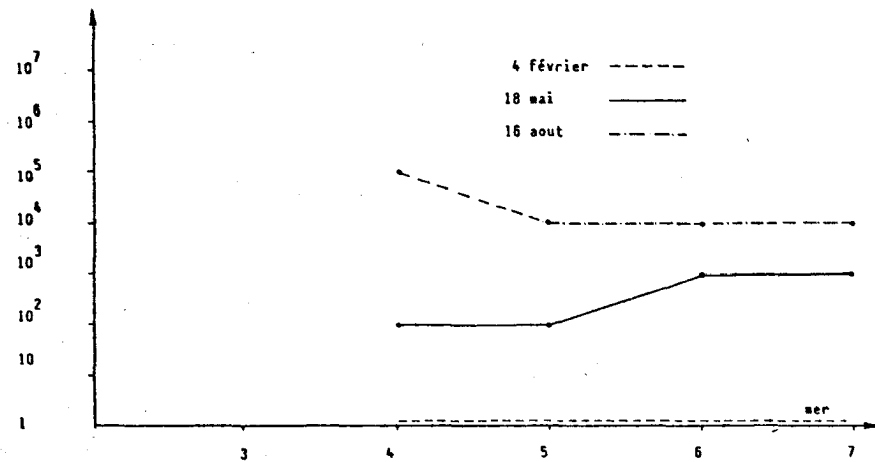
CANCHE: Dénombrement des Streptocoques fécaux dans les sédiments



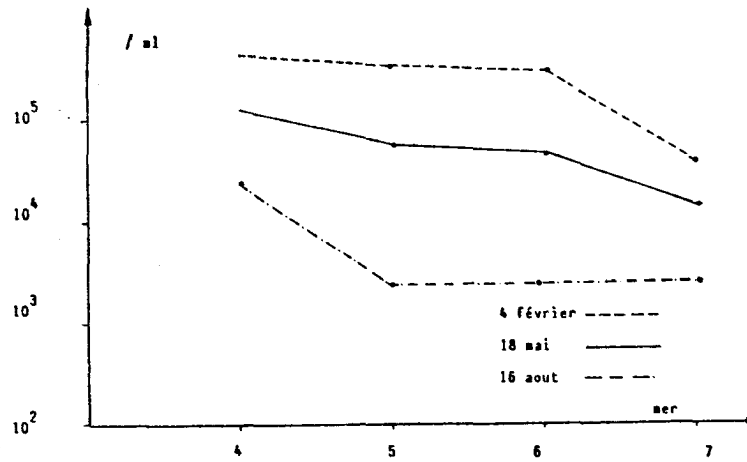
CANCHE: Dénombrement des germes totaux dans l'eau



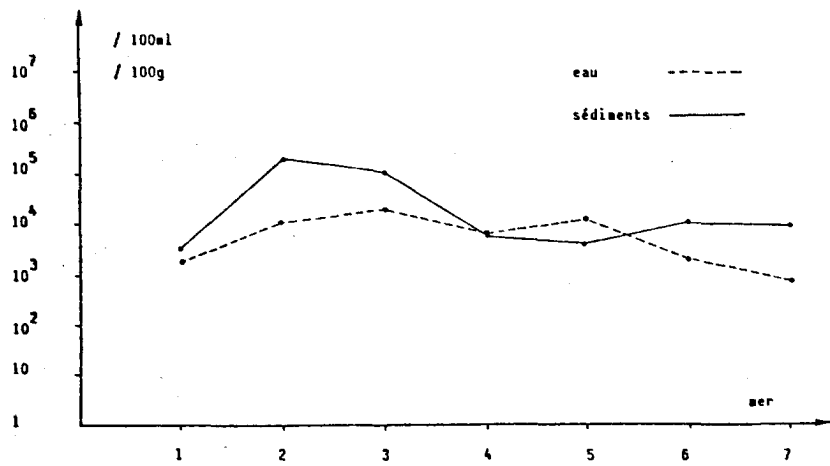
CANCHE: Dénombrement des germes aérobies viables sur milieu de ZoBell



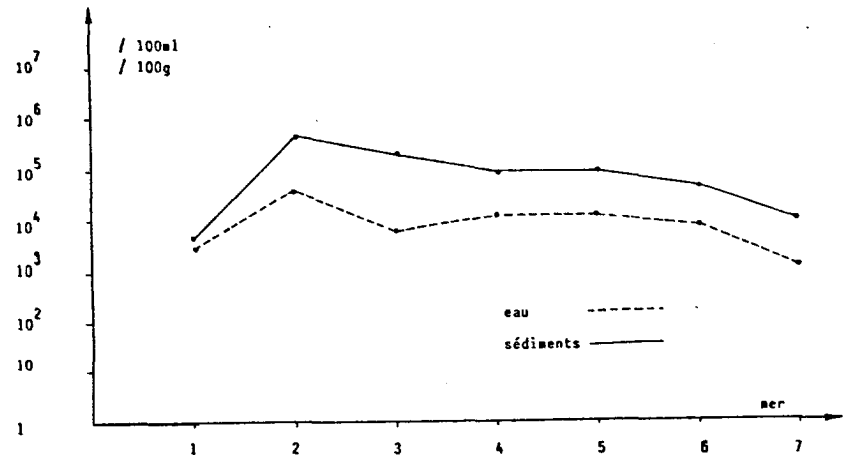
CANCHE: Dénombrement des vibrions halophiles



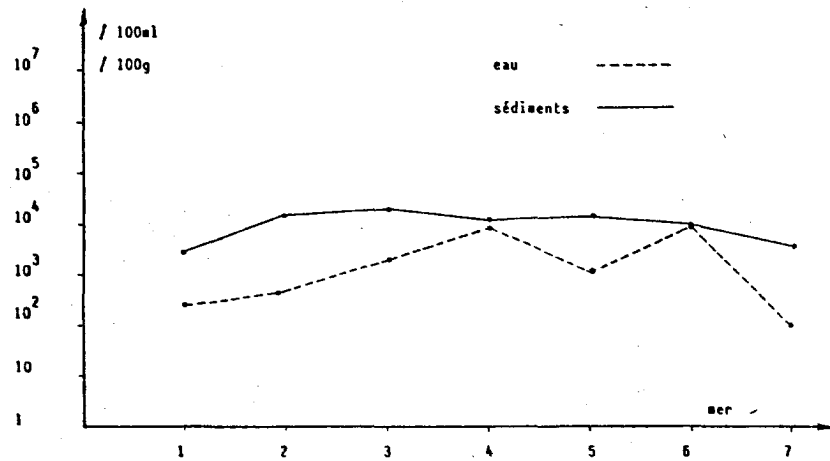
CANCHE: Dénombrement des germes aérobies viables sur gélose eau douce



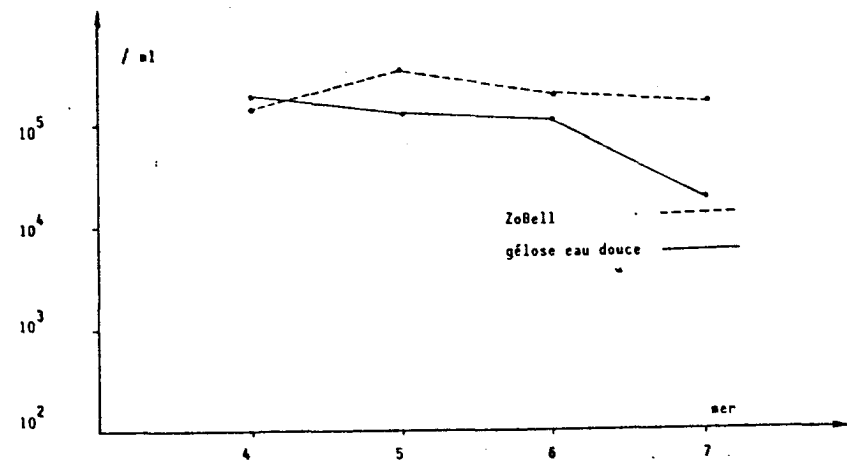
CANCHE: Dénombrement des E.coli (moyennes des 3 séries)



CANCHE: Dénombrement des coliformes totaux (moyennes des 3 séries)



CANCHE: Dénombrement des Streptocoques fécaux (moyennes des 3 séries)



CANCHE: Dénombrement des germes aérobies viables dans l'eau (moyennes des 3 séries)

Authie

L'estuaire de l'Authie est le moins aménagé des quatre estuaires étudiés: on n'y a pas construit de digue constituant un chenal étroit et le cours de la rivière n'est pas régularisé par des écluses.

D'après les études réalisées par les services des Ponts et Chaussées Maritimes on voit que des apports bactériens importants se font au sud par le canal de la Retz et au nord par Le Fliers.

Pollution fécale

Les concentrations en germes fécaux, relativement élevées au fond de l'estuaire, décroissent quand on se dirige vers la mer. Ceci est particulièrement marqué pour *Escherichia coli* qui atteint les valeurs les plus faibles rencontrées dans cette étude au point le plus au large.

Les teneurs en Streptocoques fécaux et *Escherichia coli* des sédiments sont, de façon très régulière, 10 fois plus élevées que celles de l'eau.

Aucune *Salmonella* n'a été trouvée lors des campagnes de mesures du 27 mars et du 07 juillet. La seule recherche positive est celle du 13 octobre au point n°3 (La Madelon de l'Authie)

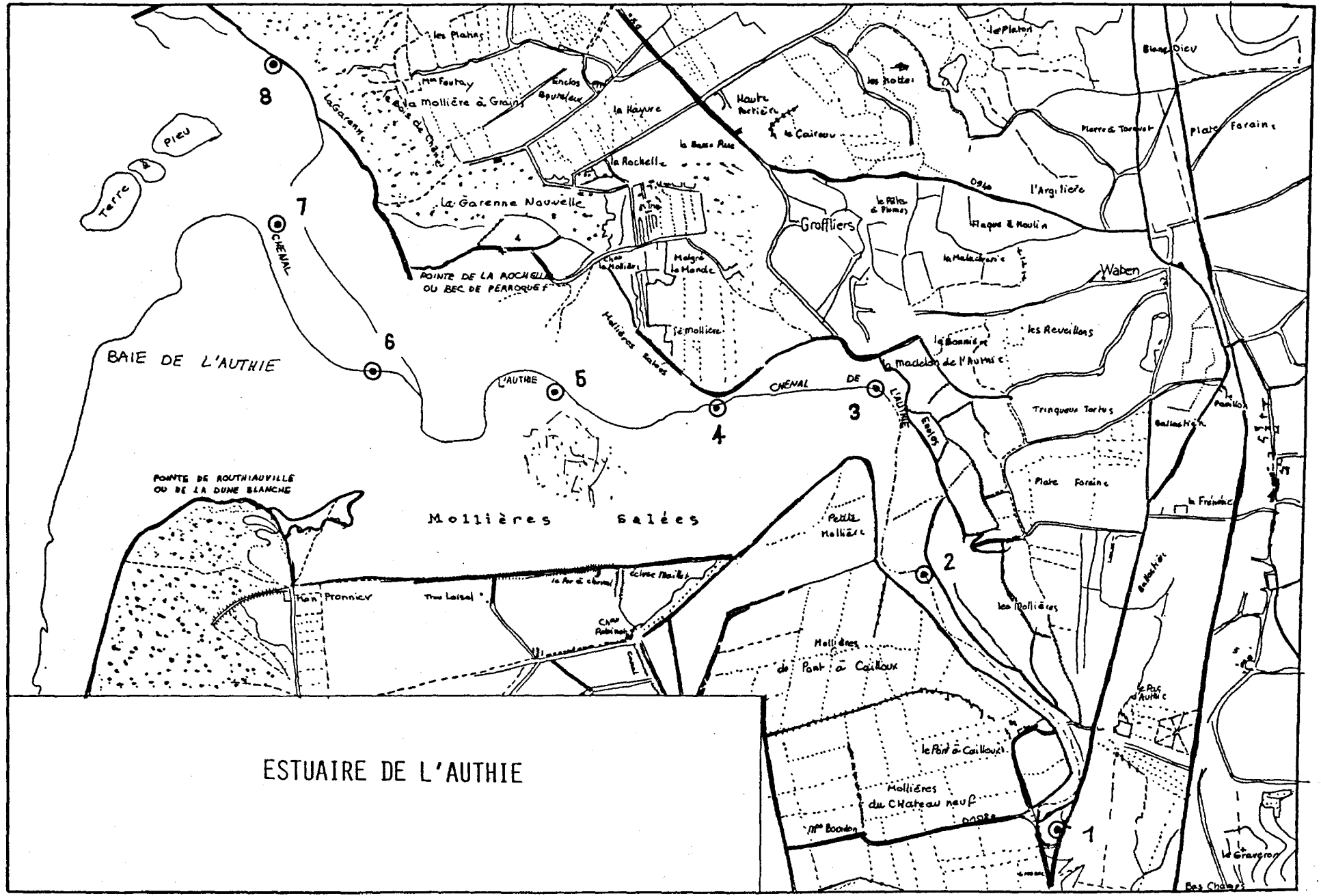
- eau: *Salmonella* sérotype typhi-murium
- sédiments: *Salmonella* sérotype typhi-murium.

Microflore

Les nombres totaux de cellules bactériennes sont constants tout au long de l'estuaire; il en est presque de même pour les germes cultivables sur milieu salé, par contre les germes cultivables sur milieu non salé présentent une décroissance de la côte vers la mer.

Concernant les vibrions halophiles, on peut faire les mêmes remarques que précédemment (température).

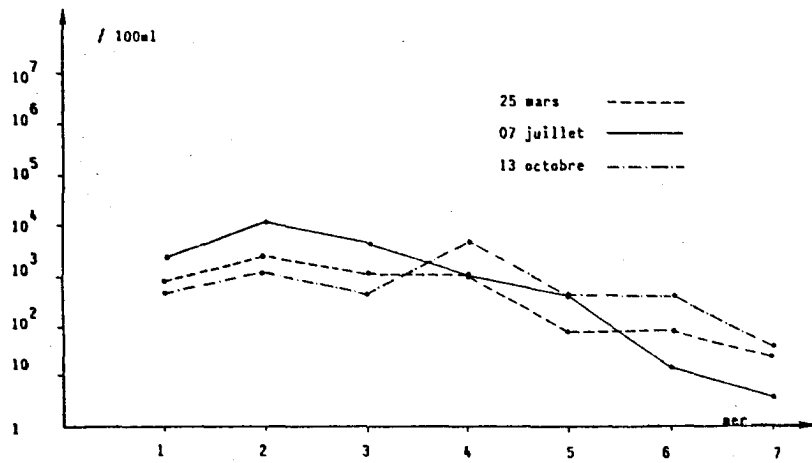
On n'observe pas non plus de préférence pour les zones à salinité intermédiaire.



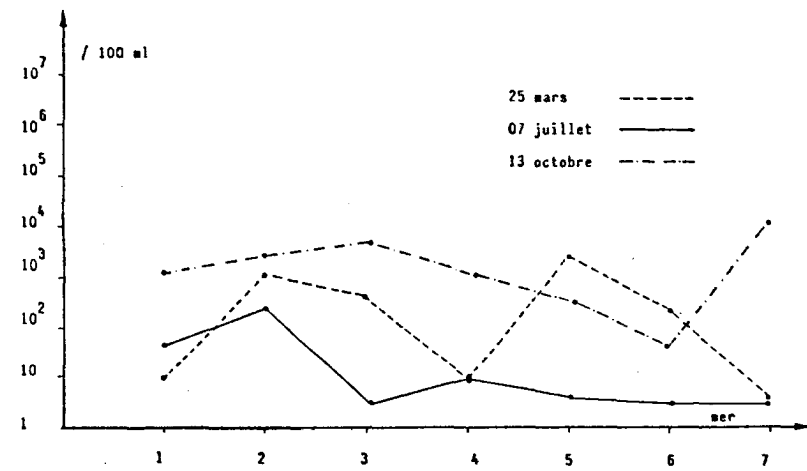
ESTUAIRE DE L'AUTHE

Date 1982	Lieu	T° °C	Salinité %	EAU							SEDIMENTS		
				Nb total ZoBell/ml	Nb total Ged/ml	Nb total Fluo./ml	Vibrions /litre	Coli.T. /100ml	E.coli /100ml	Strepto.F. /100ml	Coli.T. /100g	E.coli /100g	Strepto.F. /100g
25.03	1	10°5	0.22					4.6 10 ³	7.5 10 ²	0.9 10 ¹	2.4 10 ³	2.4 10 ³	2.4 10 ³
	2	10°1	0.62					2.4 10 ⁴	2.4 10 ³	1.1 10 ³	2.4 10 ⁶	1.1 10 ⁵	4.6 10 ⁴
	3	9°3	8.10					1.1 10 ⁴	1.1 10 ³	4.6 10 ²	2.4 10 ⁴	1.1 10 ⁴	2.4 10 ³
	4	8°9	27.84	4.7 10 ³	4.8 10 ³	1.8 10 ⁶	< 1	1.1 10 ³	1.1 10 ³	0.9 10 ¹	2.4 10 ³	2.4 10 ³	2.4 10 ³
	5	8°3	30.50	4.3 10 ³	1.5 10 ³	1.8 10 ⁶	< 1	1.1 10 ²	1.1 10 ¹	0.9 10 ³	2.4 10 ⁴	2.4 10 ³	2.4 10 ⁴
	6	7°8	31.83	5.0 10 ³	1.1 10 ³	1.9 10 ⁶	< 1	2.4 10 ²	9.3 10 ¹	2.4 10 ²	4.6 10 ⁴	4.6 10 ²	1.1 10 ³
	7	7°6	31.72	6.0 10 ³	8.6 10 ²	1.9 10 ⁶	< 1	2.4 10 ¹	9.3 10 ¹	2.4 10 ¹	4.0 10 ²	4.0 10 ²	2.4 10 ³
07.07	1	15°5	0.34					1.1 10 ⁴	2.4 10 ³	4.3 10 ¹	1.1 10 ⁵	1.1 10 ⁴	2.4 10 ³
	2	15°3	0.70					2.4 10 ⁴	1.1 10 ⁴	2.4 10 ²	1.1 10 ⁵	1.1 10 ⁴	2.4 10 ³
	3	17°0	2.02			2.4 10 ⁶		1.5 10 ³	4.6 10 ³	< 3	2.1 10 ⁴	2.4 10 ³	2.4 10 ³
	4	17°8	22.29	1.5 10 ⁵	1.5 10 ⁴	3.5 10 ⁶	10 ⁴	4.6 10 ³	1.1 10 ³	0.9 10 ¹	1.1 10 ⁴	1.5 10 ³	4.6 10 ³
	5	17°8	26.76	4.8 10 ⁴	2.5 10 ³	3.4 10 ⁶	10 ³	4.6 10 ²	4.6 10 ²	0.4 10 ¹	4.6 10 ³	9.0 10 ²	< 30
	6	17°4	32.37	4.4 10 ⁴	4.6 10 ²	3.2 10 ⁶	10 ³	4.3 10 ¹	1.5 10 ¹	< 3	< 30	< 30	4.0 10 ²
	7	17°4	31.78	5.4 10 ⁴	6.1 10 ²	3.1 10 ⁶	10 ³	2.3 10 ¹	0.4 10 ¹	< 3	< 30	< 30	< 30
13.10	1	11°7	0.27					1.1 10 ⁴	4.6 10 ²	1.1 10 ³	4.6 10 ⁴	1.1 10 ⁴	2.4 10 ⁴
	2	11°5	0.28					2.4 10 ⁴	1.1 10 ³	2.4 10 ³	4.6 10 ⁴	2.4 10 ³	2.4 10 ⁵
	3	11°6	0.80			1.8 10 ⁶		1.1 10 ⁴	4.6 10 ²	4.6 10 ³	1.1 10 ⁵	4.6 10 ⁴	1.5 10 ⁴
	4	12°1	0.94	2.8 10 ⁴	5.7 10 ⁴	2.2 10 ⁶	10 ²	2.4 10 ⁴	4.6 10 ³	1.1 10 ³	2.4 10 ⁴	1.1 10 ⁴	1.1 10 ⁴
	5	13°1	27.67	4.9 10 ⁴	6.7 10 ³	2.2 10 ⁶	10 ³	4.6 10 ³	4.6 10 ²	4.6 10 ²	2.4 10 ⁴	2.4 10 ³	2.4 10 ³
	6	13°5	31.28	3.2 10 ⁴	3.9 10 ³	1.9 10 ⁶	10 ²	1.1 10 ³	4.6 10 ²	4.3 10 ¹	1.1 10 ⁴	2.4 10 ³	4.6 10 ³
	7	13°5	31.32	4.1 10 ⁴	9.0 10 ³	1.9 10 ⁶	10 ³	1.1 10 ³	4.3 10 ¹	1.1 10 ⁴	4.6 10 ³	9.0 10 ²	4.6 10 ⁴

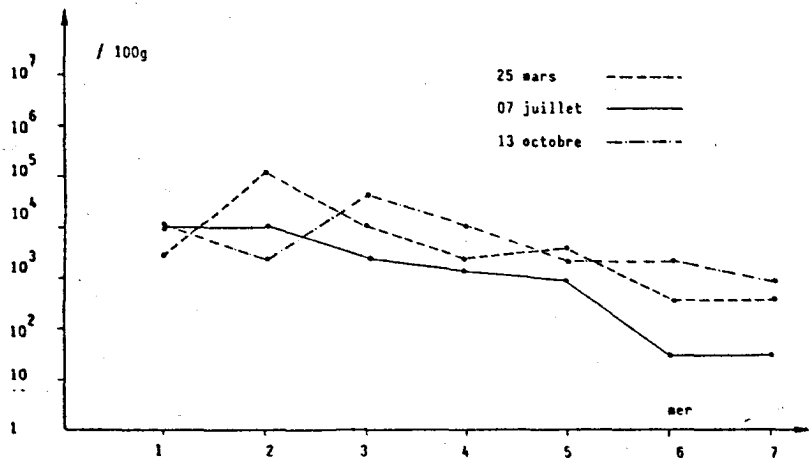
AUTHIE: Résultats des 3 campagnes de mesures



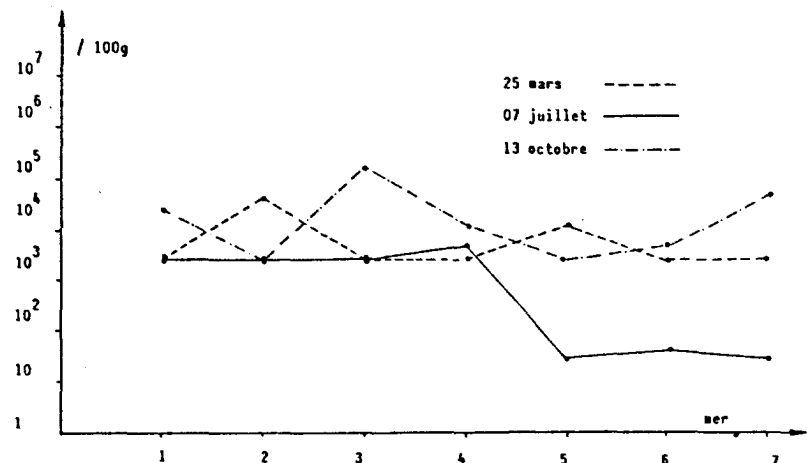
AUTHIE: Dénombrement des E.coli dans l'eau



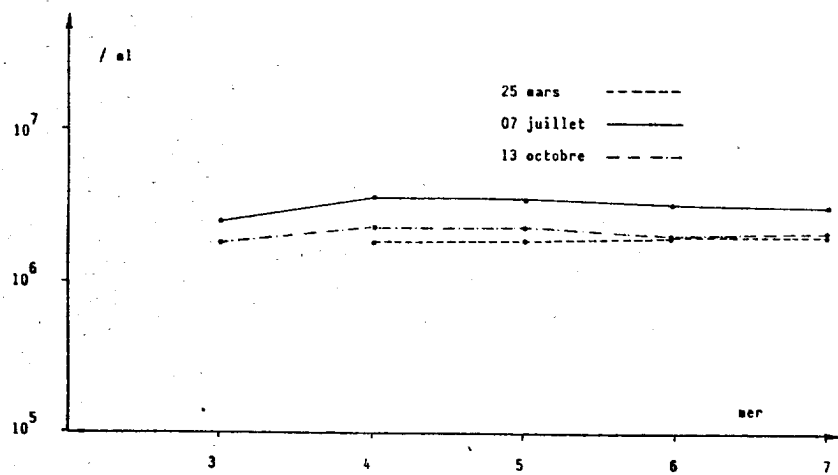
AUTHIE: Dénombrement des Streptocoques fécaux dans l'eau



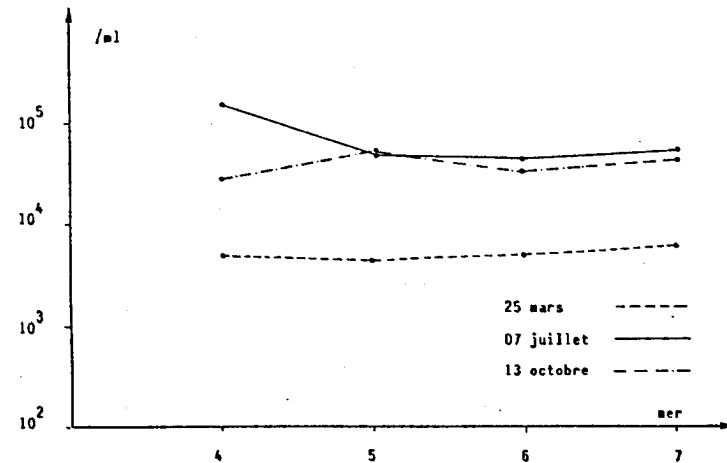
AUTHIE: Dénombrement des E.coli dans les sédiments



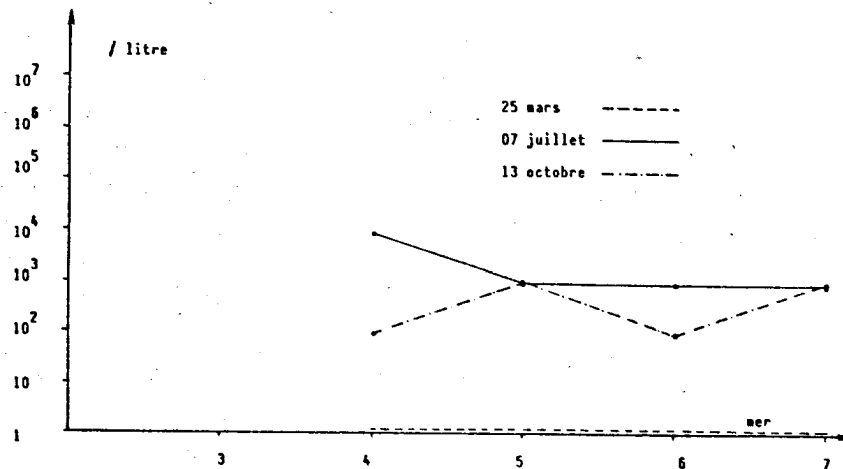
AUTHIE: Dénombrement des Streptocoques fécaux dans les sédiments



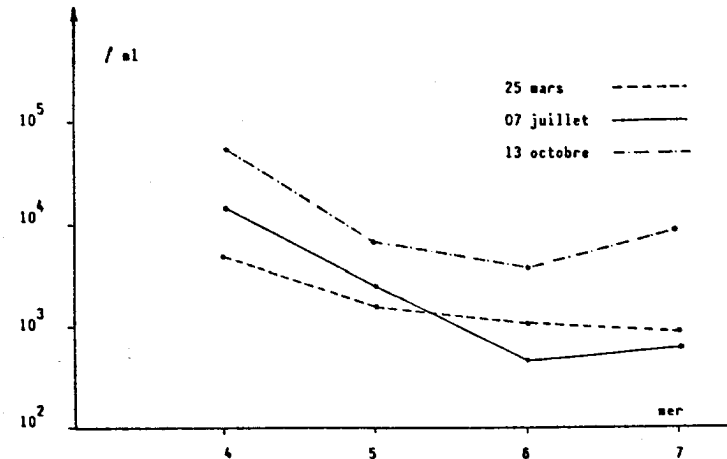
AUTHIE: Dénombrement des germes totaux dans l'eau



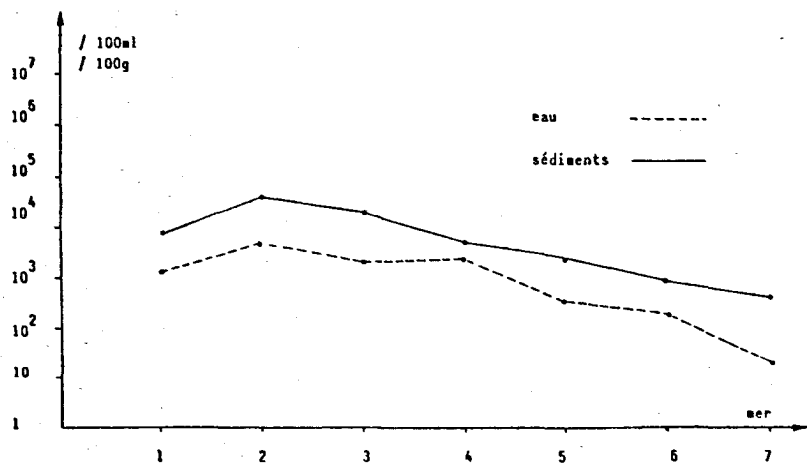
AUTHIE: Dénombrement des germes aérobies viables sur milieu de ZoBell



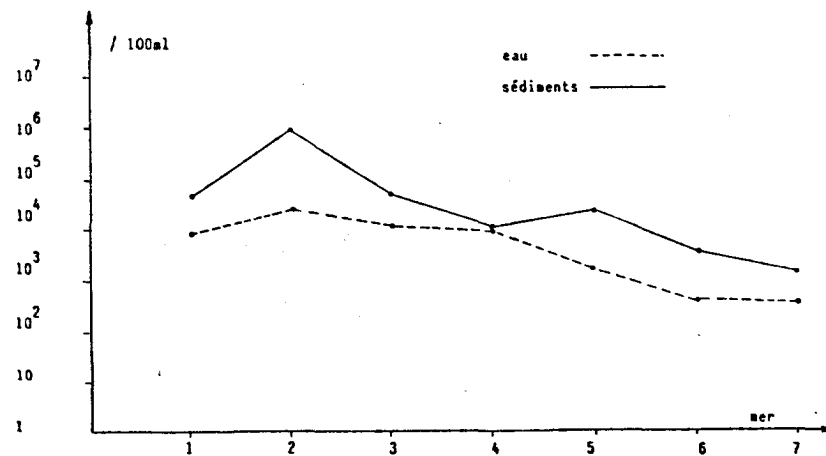
AUTHIE: Dénombrement des vibrions halophiles



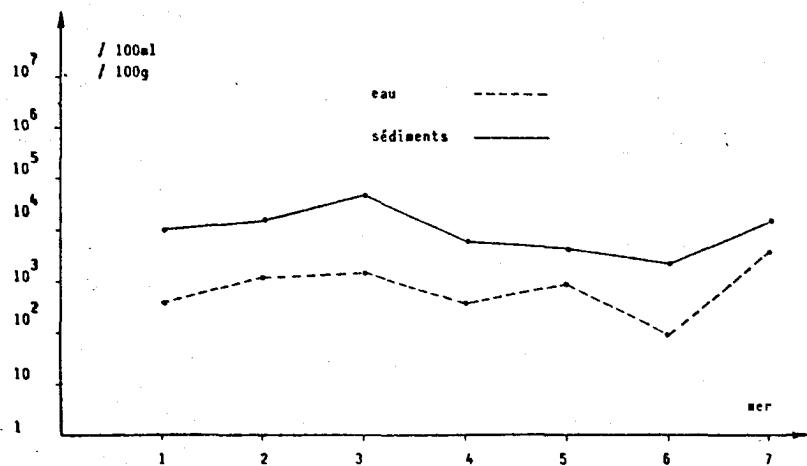
AUTHIE: Dénombrement des germes aérobies viables sur gélose eau douce



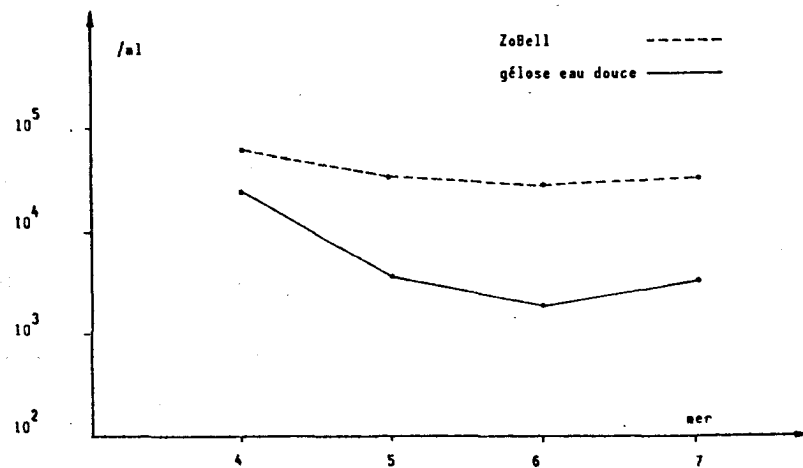
AUTHIE: Dénombrement des E.coli (moyennes des 3 séries)



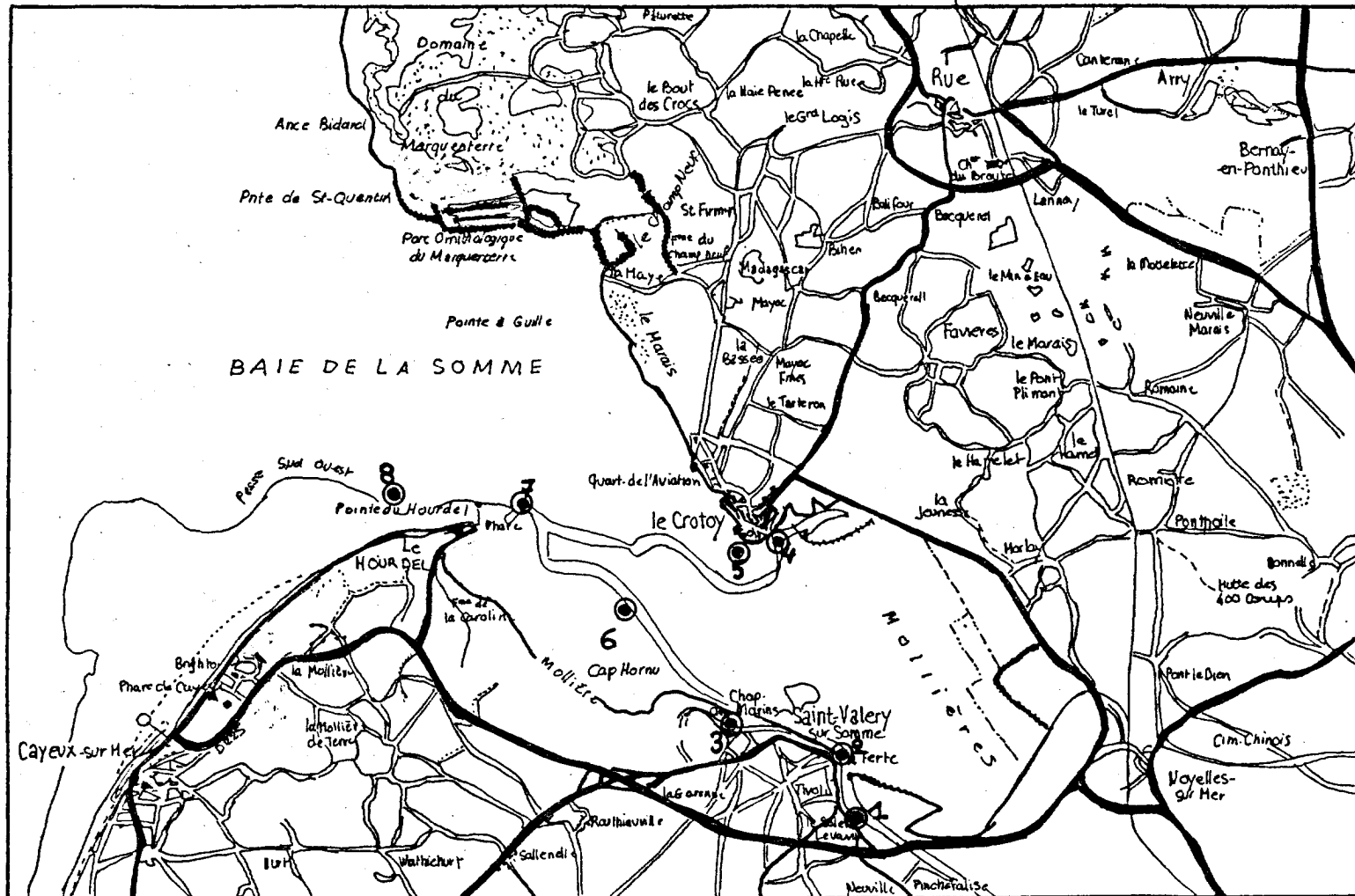
AUTHIE: Dénombrement des coliformes totaux (moyennes des 3 séries)



AUTHIE: Dénombrement des Streptocoques fécaux (moyennes des 3 séries)



AUTHIE: Dénombrement des germes aérobies viables dans l'eau (moyennes des 3 séries)



ESTUAIRE DE LA SOMME

Somme

Cet estuaire est le plus important des quatre étudiés.

Il présente d'autre part la particularité d'être alimenté par deux sources principales distinctes: la Somme elle-même et le canal de la Maye, avec les agglomérations de St Valéry d'une part et du Crotoy d'autre part.

Les interprétations en termes d'apport et de transport de polluant doivent donc être faites en considérant ces sources distinctes, d'où la représentation en "Y" adoptée pour les figures.

La numérotation des points est ici différente de celle adoptée par la Station Marine de Wimereux (voir carte).

Pollution fécale

Les concentrations en germes fécaux sont très importantes au fond de l'estuaire pour St Valéry et Le Crotoy. Les niveaux de contamination atteints sont comparables à ceux de la Canche. Les points les plus au large (n°6 et n°7) sont par contre peu contaminés, moins que ceux de la Canche par exemple. Mais on se trouve ici en présence de plus grandes dilutions comme en témoignent les salinités élevées rencontrées dans l'estuaire (30‰).

Les sédiments sont à l'image de l'eau, très contaminés dans la Somme canalisée, le chenal de St Valéry et devant Le Crotoy (sédiments fins et vaseux). Les sédiments des points n°6 et n°7 sont constitués de sable assez gros et ne montrent qu'une faible contamination.

La recherche de *Salmonella* a été positive lors de la campagne du 14 octobre en deux points et sur l'eau uniquement:

- point n°1 (amont St Valéry): *Salmonella* sérotype typhi-murium
- point n°3 (extrémité de la digue de St Valéry): *Salmonella* sérotype typhi-murium

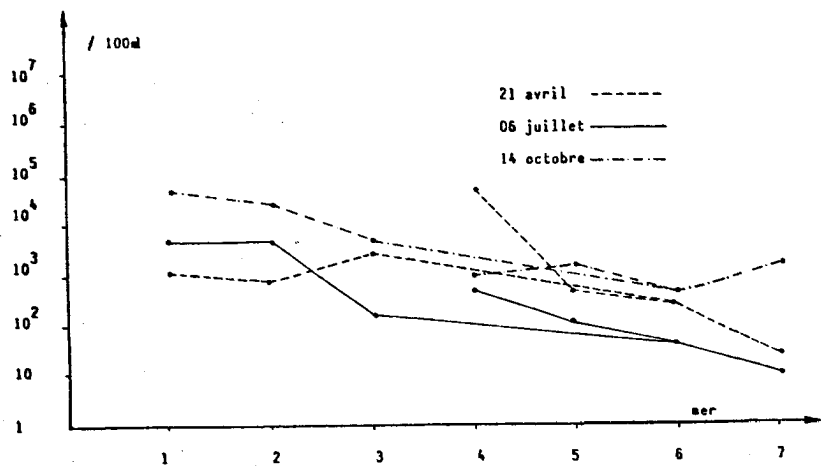
Microflore

Les nombres de germes totaux présentent un gradient côte-large assez marqué, on note en particulier, des nombres de germes totaux très élevés au débouché de St Valéry. Ce gradient est beaucoup moins marqué pour les germes viables. Les germes dulçaquicoles sont en proportion beaucoup plus faibles que dans les autres estuaires ce qui traduit un caractère marin plus marqué.

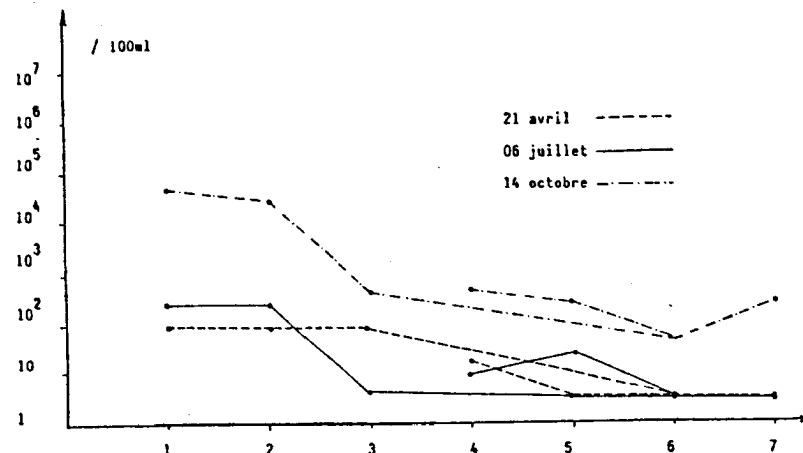
Les vibrions halophiles isolés sont du genre *alginolyticus* et montrent le même cycle annuel lié à la température de l'eau que sur les autres estuaires étudiés.

		EAU									SEDIMENTS		
Date 1982	Lieu	T° °C	Salinité ‰	Nb total ZoBell/ml	Nb total Ged/ml	Nb total Fluo./ml	Vibrions /litre	Coli.T. /100ml	E.coli /100ml	Strepto.F. /100ml	Coli.T. /100g	E.coli /100g	Strepto.F. /100g
21.04	1							4.6 10 ³	1.1 10 ³	9.3 10 ¹	1.1 10 ⁵	2.4 10 ⁴	2.4 10 ⁴
	2	11°9	0.41					4.6 10 ³	7.5 10 ²	9.3 10 ¹	2.4 10 ⁵	4.6 10 ⁴	4.6 10 ⁴
	3	10°9	10.75					2.4 10 ⁴	2.4 10 ³	9.3 10 ¹	1.1 10 ⁴	30	< 30
	4	-	14.90	4.4 10 ⁵	2.2 10 ⁴	4.4 10 ⁶	< 1	1.1 10 ⁴	4.6 10 ⁴	1.5 10 ¹	2.4 10 ³	9.0 10 ²	< 30
	5	10°3	31.02	4.6 10 ⁵	8.0 10 ³	4.5 10 ⁶	< 1	4.6 10 ²	4.6 10 ²	< 3	2.4 10 ³	9.0 10 ²	< 30
	6	9°6	31.02	4.8 10 ⁵	2.4 10 ³	4.3 10 ⁶	< 1	4.6 10 ³	2.4 10 ²	< 3	2.4 10 ³	< 30	4.0 10 ²
	7	9°6	32.11	8.5 10 ⁵	8.0 10 ¹	5.7 10 ⁶	5	1.5 10 ²	2.3 10 ¹	< 3	9.0 10 ²	< 30	< 30
06.07	1							2.4 10 ⁴	4.6 10 ³	2.4 10 ²	-	-	-
	2	17°8	0.56					4.6 10 ³	4.6 10 ³	2.4 10 ²	1.1 10 ⁶	2.4 10 ⁵	2.4 10 ⁵
	3	17°3	25.68			6.5 10 ⁷		4.6 10 ²	1.5 10 ²	0.4 10 ¹	9.0 10 ²	4.0 10 ²	4.0 10 ²
	4	17°5	19.83	5.2 10 ⁵	8.1 10 ³	2.1 10 ⁷	10 ³	4.6 10 ²	4.6 10 ²	0.9 10 ¹	2.4 10 ³	9.0 10 ²	< 30
	5	17°5	23.76	4.3 10 ⁵	4.9 10 ³	3.6 10 ⁶	10 ⁵	4.6 10 ²	9.3 10 ¹	2.3 10 ¹	4.0 10 ²	< 30	< 30
	6	17°3	31.04	9.8 10 ⁴	3.5 10 ²	3.4 10 ⁶	10 ⁴	4.3 10 ¹	4.3 10 ¹	< 3	4.6 10 ³	9.0 10 ²	< 30
	7	17°3	30.84	8.0 10 ⁴	7.9 10 ²	3.4 10 ⁶	10 ³	2.3 10 ¹	0.9 10 ¹	< 3	2.4 10 ⁴	4.6 10 ³	< 30
14.10	1	13°0	0.31					4.6 10 ⁴	4.6 10 ⁴	4.6 10 ⁴	-	-	-
	2	13°0	1.38					2.4 10 ⁴	2.4 10 ⁴	2.4 10 ⁴	1.1 10 ⁶	1.5 10 ⁵	2.4 10 ⁵
	3	13°2	27.57			1.7 10 ⁶		1.1 10 ⁴	4.6 10 ³	4.6 10 ²	4.6 10 ⁶	4.6 10 ⁵	1.5 10 ⁵
	4	12°2	26.68	4.9 10 ⁴	8.4 10 ³	1.9 10 ⁶	10 ³	4.6 10 ³	1.1 10 ³	4.6 10 ²	1.5 10 ⁵	1.5 10 ⁵	2.4 10 ⁴
	5	12°2	24.31	4.6 10 ⁴	5.5 10 ³	1.9 10 ⁶	10 ²	4.6 10 ³	1.5 10 ³	2.4 10 ²	2.4 10 ³	9.0 10 ²	9.0 10 ²
	6	13°5	24.33	1.3 10 ³	3.8 10 ³	1.7 10 ⁶	10 ²	2.4 10 ³	4.6 10 ³	4.3 10 ¹	-	-	-
	7	13°5	31.66	5.3 10 ³	1.1 10 ³	1.5 10 ⁶	10 ²	4.6 10 ³	1.5 10 ³	2.4 10 ²	-	-	-

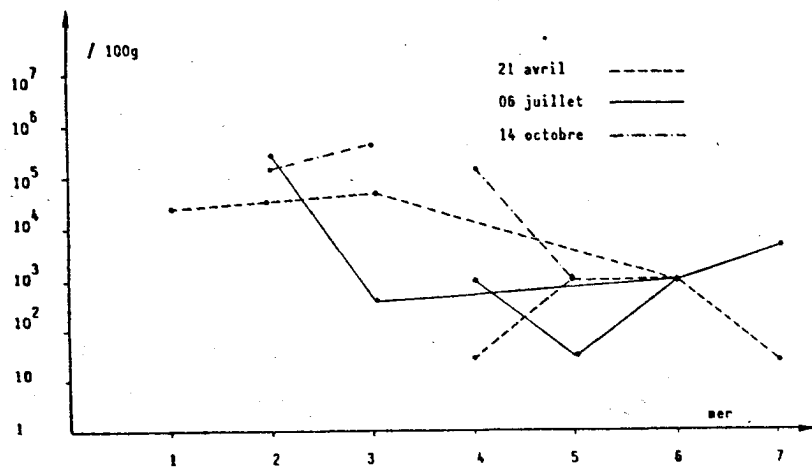
SOMME: Résultats des 3 campagnes de mesures



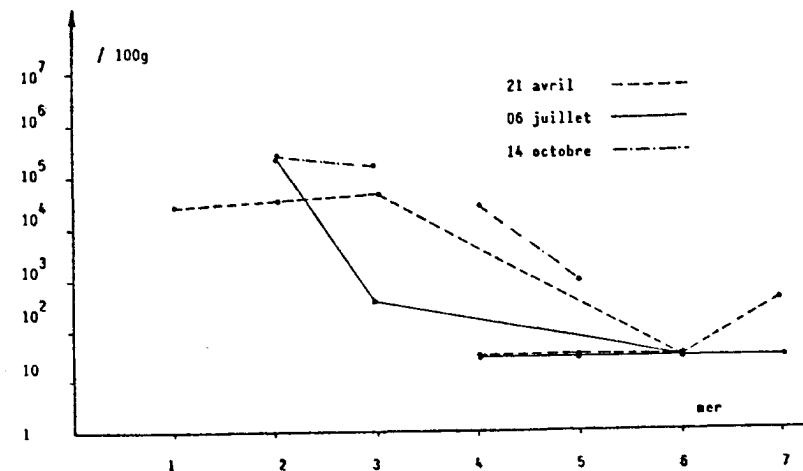
SOMME: Dénombrement des E.coli dans l'eau



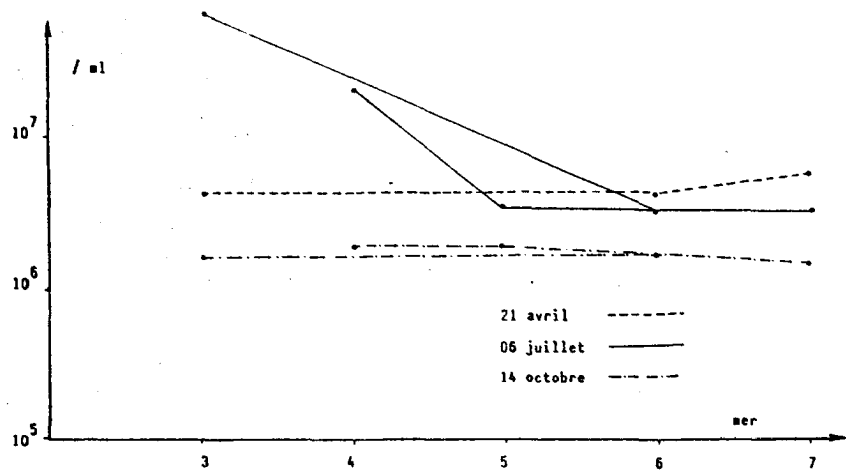
SOMME: Dénombrement des Streptocoques fécaux dans l'eau



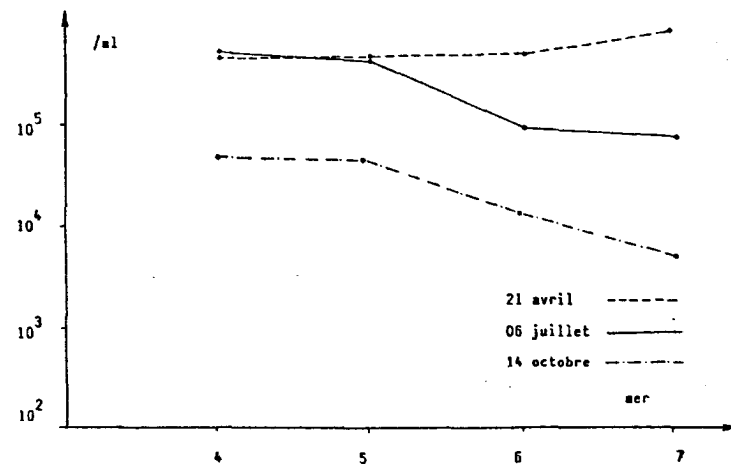
SOMME: Dénombrement des E.coli dans les sédiments



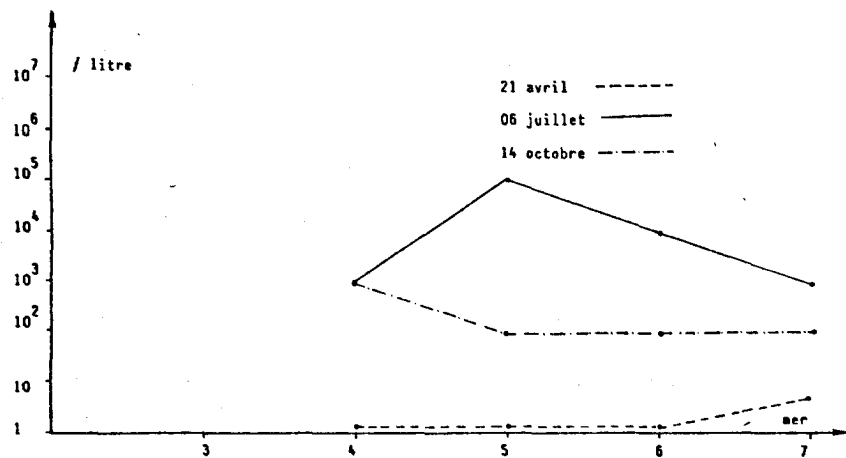
SOMME: Dénombrement des Streptocoques fécaux dans les sédiments



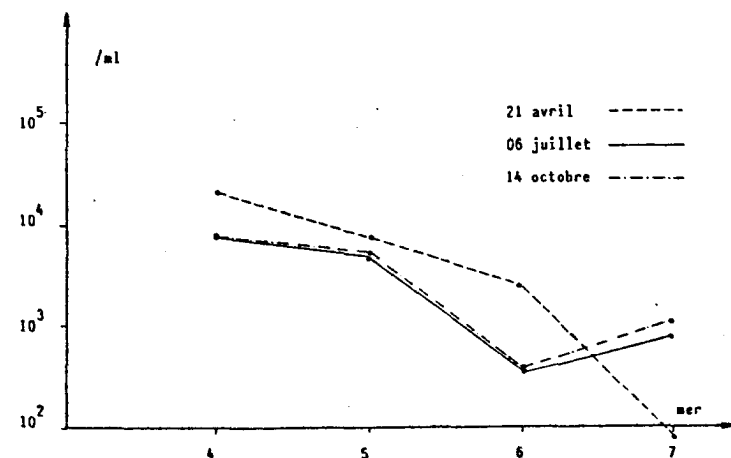
SOMME: Dénombrement des germes totaux dans l'eau



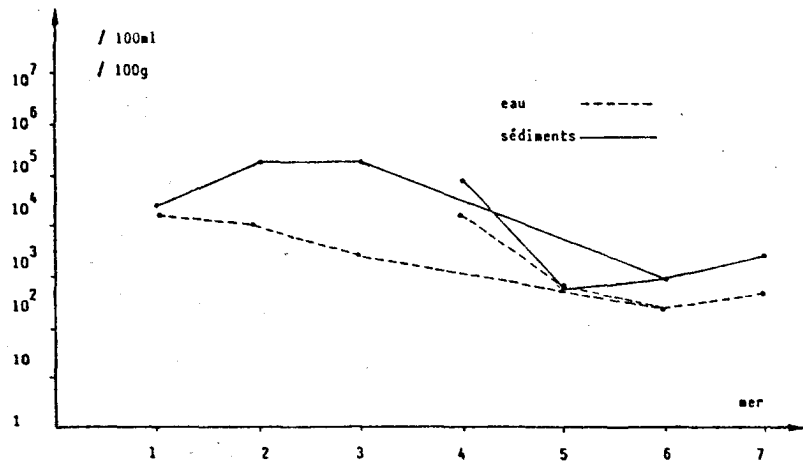
SOMME: Dénombrement des germes aérobies viables sur milieu de ZoBell



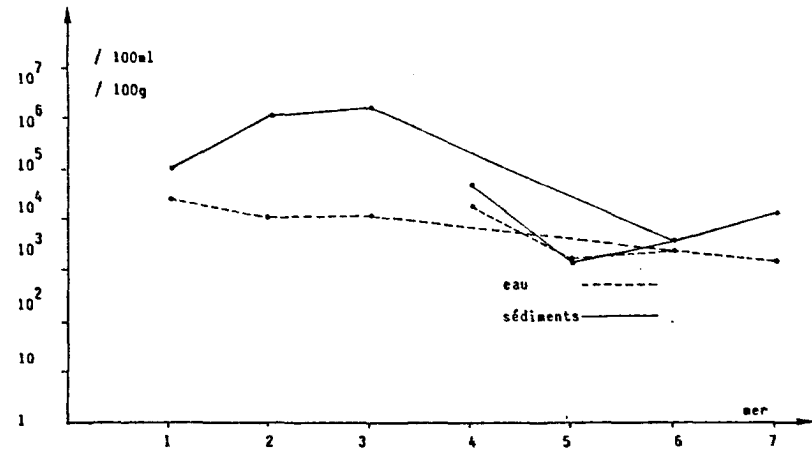
SOMME: Dénombrement des vibrions halophiles



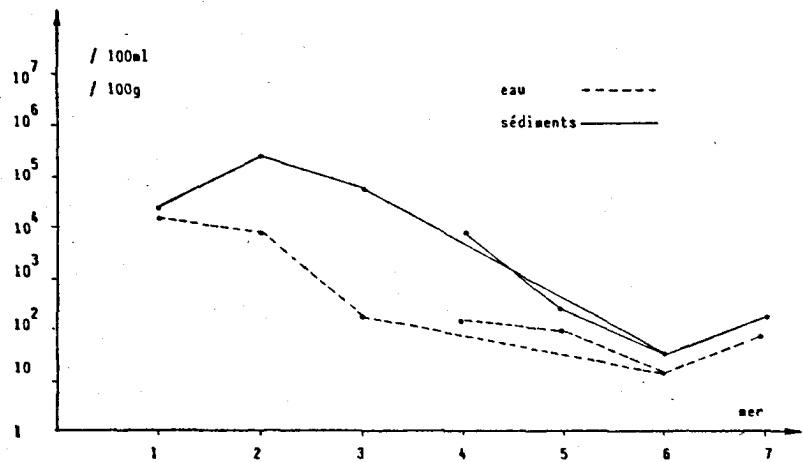
SOMME: Dénombrement des germes aérobies viables sur gélose eau douce



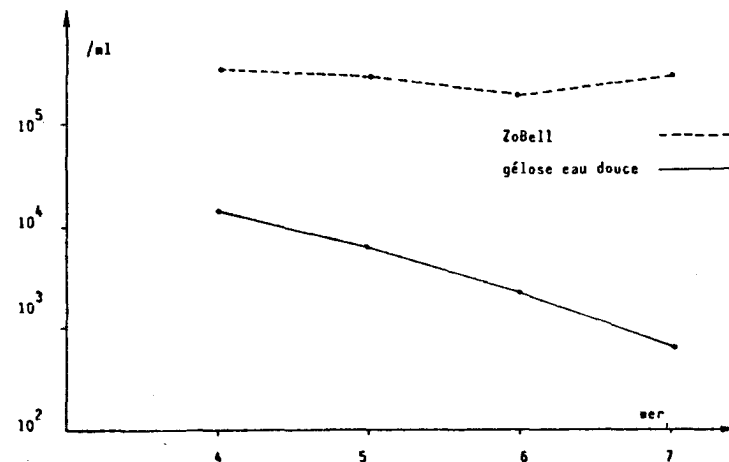
SOMME: Dénombrement des E.coli (moyennes des 3 séries)



SOMME: Dénombrement des coliformes totaux (moyennes des 3 séries)



SOMME: Dénombrement des Streptocoques fécaux (moyennes des 3 séries)



SOMME: Dénombrement des germes aérobies viables dans l'eau (moyenne des 3 séries)

III - V-DISCUSSION

- Nombres de germes totaux

Les nombres de germes totaux observés au cours de cette étude sont peu variés : presque toutes les valeurs sont situées entre 10^6 et 10^7 /ml. C'est qu'en effet le nombre de bactéries dans les eaux cotières n'est pas tellement plus faible qu'en rivière. Ainsi à Gravelines on observe en moyenne $2,1 \cdot 10^6$ /ml (moyenne de 350 mesures hebdomadaires 1976-1982). C'est plutôt la proportion de cellules viables qui est affaiblie en mer (3.4 % à Gravelines).

Cependant le dénombrement des germes totaux en épifluorescence étant très précis, il y a lieu d'en expliquer les variations même faibles.

Certaines valeurs élevées, notamment les quelques unes supérieures à 10^7 /ml, sont sans doute le reflet d'apports directs d'eaux polluées : elles sont alors trouvées à l'amont (ex : points 3 : Le Crotoy ; et 4 : St Valéry, dans la Somme le 6.7.82, respectivement à $6,5 \cdot 10^7$ et $2,1 \cdot 10^7$, l'aval étant 3,4-3, $6 \cdot 10^6$ /ml).

Par contre dans la Canche le 18.5 l'augmentation se situe entre les points 4 et 5, et peut traduire une influence des rives urbanisées :

- n° : 3	$5,0 \cdot 10^6$ / ml	salinité : 0,26 ‰
4	$6,8 \cdot 10^6$	0.63
5	$1,4 \cdot 10^7$	5.33
6	$1,1 \cdot 10^7$	12.61
7	$1,0 \cdot 10^7$	28.12

Hormis ces deux cas, les variations atteignent rarement un facteur 2 entre l'amont et l'aval. En particulier on n'a jamais observé de pic important, entre amont et aval, dans la zone de mélange où pourrait se former un bouchon vaseux avec accumulation de cellules bactériennes.

Pour les points nettement marins ($S \geq 25$ ‰), les variations de nombre total semblent bien liées à des facteurs saisonniers (toutes les valeurs $> 4 \cdot 10^6$ sont en Avril-Mai) plutôt qu'aux variations de salinité, à la position du point dans l'estuaire ou même qu'à l'estuaire étudié :

germes par ml

 10^7 10^6 10^5

----- 1976.79
- - - - - 1981
————— 1982

N° semaine

10

20

30

40

50

DENOMBREMENT DES GERMES TOTAUX EN EPIFLUORESCENCE A GRAVELINES

ainsi on a 3 à $3,5 \cdot 10^6$ dans la Somme et dans l'Authie les 6 et 7 Juillet, et 1,5 à $2,2 \cdot 10^6$ dans ces estuaires les 13 et 14 Octobre. Partout où l'influence marine est prépondérante ($S > 25 \%$), on observerait le même cycle annuel de la biomasse bactérienne régionale, variant assez peu (de $5 \cdot 10^5$ à $5 \cdot 10^6$ /ml à Gravelines) en fonction des saisons, mais de façon très reproductible d'année en année. (fig. page (N°1))

- structure de la microflore

La structure de la microflore des eaux littorales peut être caractérisée par les proportions F/Z/G (nombre total F/nombre Z de germes viables sur gélose de ZoBell à base d'eau de mer/nombre G de germes viables sur gélose douce). L'écart entre Z et G augmente avec le caractère marin du milieu. L'écart entre F et les germes viables (Z, G) diminue avec l'eutrophisation.

Ainsi dans l'Authie on a , vers l'amont (point 4 ; $S < 1 \%$) :

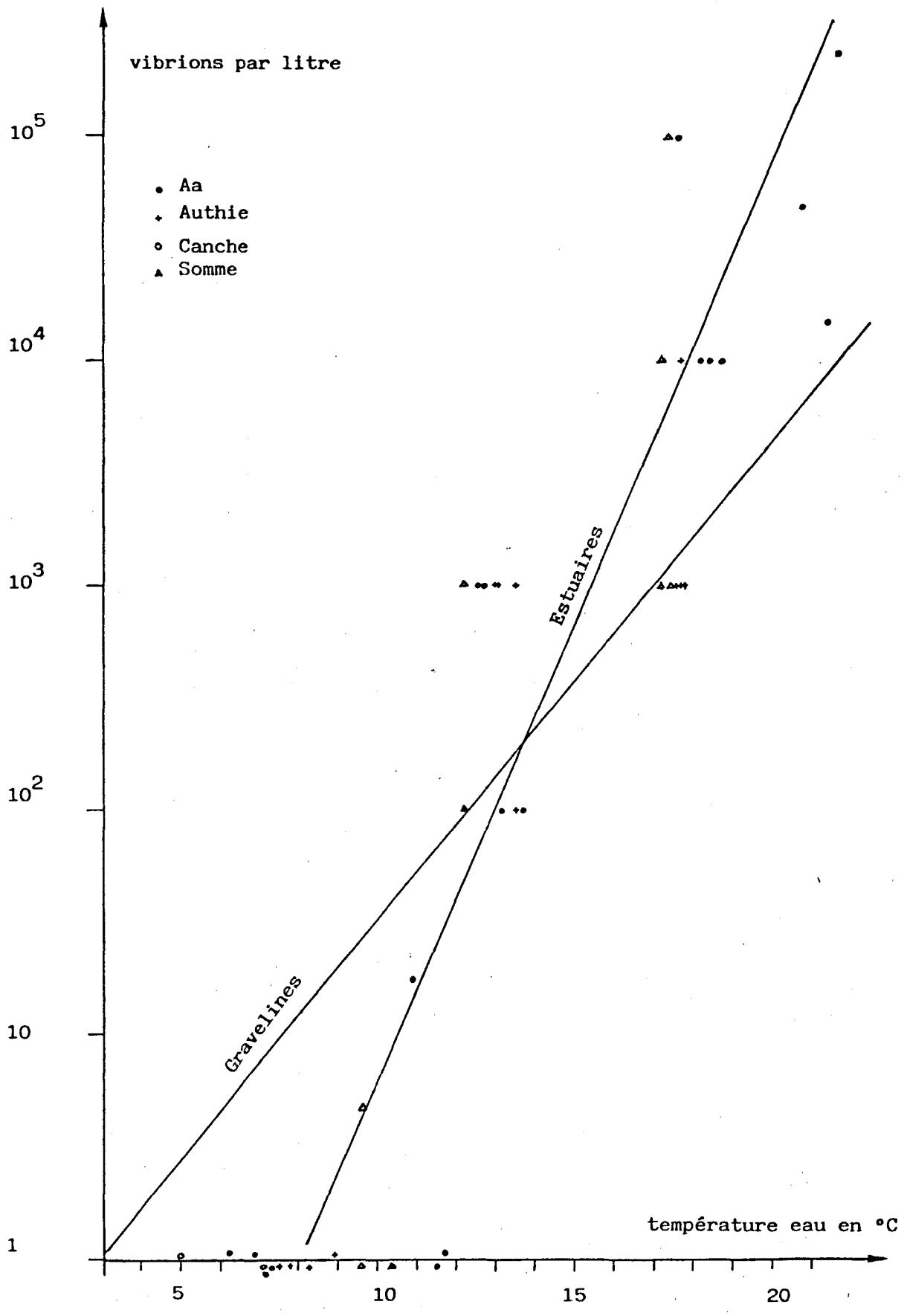
F/Z/G = 1000 /127/259, (moyenne des 3 séries)

et à l'embouchure (point 7, $S > 30 \%$) : F/Z/G = 1000/14/1.8

De même dans la Canche : point 4 ($S < 1 \%$) : 1000/36/175

point 7 ($S > 30 \%$): 1000/25/0.31

La structure des populations, au moins sous cet aspect, varie donc plus que le nombre total de germes entre l'amont et l'aval de ces estuaires. Dans l'Aa par contre malgré d'aussi grandes différences de salinité (point 4 < 2 ; point 7 $> 30 \%$) les proportions F/Z/G évoluent peu : 1000/33/15 au point 4 ; 1000/23/12 au point 7. La Somme présente a son embouchure (point 7) un point nettement "marin" (1000/59/0.32) mais l'influence marine se ressent jusqu'au point 5 (1000/81/2) et 6 (1000/49/0.95) et même au delà, si bien que la référence "amont" fait défaut. Encore une fois, la structure de la population bactérienne semble très liée à la salinité.



Vibrions halophiles: influence de la température

- Vibrions halophiles

Les autres catégories de germes recherchés (Vibrio, Salmonella, Coliformes et Streptocoques fécaux) forment une fraction infime de la microflore totale ($< 10^{-4}$).

Les vibrions isolés dans cette étude sont tous du type alginolyticus. Aucun Vibrio parahaemolyticus pathogène n'a été mis en évidence. Cette espèce, typiquement estuarienne, affectionne les zones de salinité intermédiaire, et son absence peut s'expliquer par le fait qu'il n'existe pas dans les estuaires étudiés de zones dessalées permanentes : la vidange est totale à chaque marée, et à basse mer ne subsistent que des chenaux où circulent des eaux douces.

Le cycle d'abondance des vibrions halophiles est lié à la température de façon positive. Les études menées pour la surveillance écologique de la centrale de Gravelines ont permis de dégager la relation suivante en 1982 :

$$\log (\text{vibrion/l}) = 0.214 \theta - 0.594$$

$$(r = 0.801 ; 512 \text{ valeurs})$$

Cette relation avec la température, mise en évidence en eau de mer à Gravelines est vérifiée pour l'ensemble des quatre estuaires étudiés. Cependant la dépendance avec la température est encore plus marquée, sans doute parce que des maxima plus élevés sont atteints, en relation avec les apports nutritifs (carbone organique). La température d'apparition des vibrions au seuil de 1/litre est plus élevée qu'en mer.

$$\log (\text{vibrion/l}) = 0.409 \theta - 3.278$$

$$(r = 0.897 ; 34 \text{ valeurs})$$

- Salmonella

Les recherches de Salmonella positives ont eu lieu uniquement en saison froide (février et octobre). Cela peut être rapproché des apports plus importants au printemps et en automne, liés à la pluviométrie ou à une survie prolongée de ces germes aux températures les plus basses.

Estuaire	Date	Point de prélèvement		Sérotype
Canche	4.2.82	2	eau	<u>S. Derby</u>
		3	sédiments	<u>S. Heidelberg</u>
Authie	13.10.82	3	eau	<u>S. typhi-murium</u>
			sédiments	<u>S. typhi-murium</u>
Somme	14.10.82	1	eau	<u>S. typhi-murium</u>
		3	eau	<u>S. typhi-murium</u>

Récapitulatif des souches de Salmonella isolées

Les souches ont été isolées de façon comparable dans l'eau et les sédiments. Aucune Salmonella n'a été isolée dans l'Aa.

Aucune remarque particulière ne peut donc être faite en ce qui concerne la contamination par les Salmonella, ni pour les sérotypes isolés (ordinaires dans les eaux douces intérieures de la région), ni pour les nombres (pas de bouchon vaseux très riche en Salmonella comme en Loire).

- Indicateurs fécaux et flux de pollution

Malgré la rareté relative des Salmonella, il est possible d'estimer les flux de pollution fécale pour les principaux estuaires de la région, avec toutes les réserves qui s'imposent à propos de l'estimation des débits (moyennes 1978-82 sauf pour la Slack et le Wimereux : chiffre 1981). Ces données proviennent du Service des Voies Navigables et de Ciplinor, les données bactériologiques venant du Service des Ponts et Chaussées Maritimes et de nos propres déterminations.

Le calcul réalisé pour la Liane est sûrement en deçà de la réalité car les rejets de l'agglomération boulonnaise ont lieu en aval des dernières écluses et ne sont pas pris en compte ici (ni en débit, ni surtout en E.coli).

ESTUAIRES	Débit moyen m ³ /s	<u>E.coli</u> (100 ml) * concentration moyenne	Apport annuel (x 10 ¹⁵)	% respectifs des apports
Exutoire de Dunkerque	2.3	100000	73	30.2
Aa	4.6	2000	2.9	1.2
Slack	0.67	2000	0.6	0.3
Wimereux	1.1	20000	6.9	2.9
Liane **	6.5	20000	41	17
Canche	10.2	10000	32	13.3
Authie	6.5	2000	4.1	1.7
Somme	25.7	10000	81	33.4
* sur les points "amont" ** non compris Boulogne sur Mer				

Estimation des flux de pollution fécale par les 8 voies d'eau principales de la région

On remarque que les quatre estuaires de cette étude représentent environ la moitié des apports fluviaux de la région en E.coli. Les apports de l'Aa et de l'Authie sont très faibles à l'échelle régionale. La Somme constitue avec le canal exutoire de Dunkerque les deux grandes sources de pollution fécale. Il faut aussi mentionner la Liane qui, avec l'agglomération boulonnaise, constitue probablement une source importante ; comparable aux deux premières.

Il est possible d'établir un classement selon l'importance des apports fécaux à la mer en quatre catégories qui sont dans l'ordre décroissant :

- 1) Somme
 - Canal exutoire de Dunkerque
 - Liane
- 2) Canche
- 3) Aa
 - Wimereux
 - Authie
- 4) Slack

Ce classement indique un ordre de priorité pour les actions à entreprendre concernant l'assainissement de l'arrière pays. Il n'est par contre pas un reflet fidèle des risques sanitaires par zones : ceux-ci sont liés en effet plus aux pointes de pollution qu'aux moyennes, et, d'autre part, aux capacités d'auto-épuration dans les estuaires (au moins pour la Somme, la Canche, l'Authie et la Slack). Ces phénomènes d'auto-épuration ne peuvent cependant pas être explicités par les résultats en nombre limité obtenus au cours de cette étude.

- Conclusions

Les quatre estuaires étudiés dans la région Nord présentent une pollution fécale nette : ils reçoivent la moitié des E.coli drainés vers la mer par les rivières et canaux de la région.

D'autres sources, cependant, que les rivières et canaux, peuvent avoir une grande importance pour le littoral : un égout débitant 1 l/s à 10^8 E.coli / 100 ml représente en effet le même apport qu'un estuaire comme l'Authie ou l'Aa ($10 \text{ m}^3/\text{S}$; 10^3 E.coli / 100 ml en moyenne). Ces sources n'ont pas été répertoriées ici. Il en existe notamment dans certaines zones portuaires urbanisées (Boulogne, Calais), et la part attribuée aux estuaires étudiés dans le flux total de la pollution fécale de la région doit être diminuée d'autant.

Enfin la part de pollution des estuaires doit encore être réduite en fonction de l'auto-épuration dont ils sont sans doute le siège. Cette étude ne permet pas d'en faire une estimation détaillée, ni de définir l'influence des estaires sur les zones de baignade adjacentes. Il est possible qu'existent des problèmes localement que ne peut pas révéler la surveillance sanitaire actuelle des zones de baignade *, les zones les plus exposées étant celles situées au Sud de l'estuaire (le courant de jusant leur apportant la pollution de l'estuaire quand il se vide).

* En effet les prélèvements ont lieu vers l'heure de marée haute, et les eaux douces polluées sont alors refoulées vers l'amont par la marée.

De même il existe un problème sanitaire - reconnu celui-là-pour les zones situées dans les estuaires eux-mêmes (baignade interdite à St Valéry S/Somme ; épuration obligatoire des coquillages de l'Authie et de la Somme).

Outre ces caractéristiques de distribution spatiale, la pollution estuarienne se caractérise aussi par des possibilités de pointes momentanées, liées à la remise en suspension des sédiments, d'autant plus contaminées qu'ils sont fins, par les crues, tempêtes ou grandes marées. Ces pointes de rejet par les estuaires vers la mer pourraient influencer d'assez larges zones, mais momentanément.

En dehors de ces aspects locaux ou momentanés, la présente étude permet de classer les estuaires étudiés comme des sources moyenne (Somme) assez faible (Canche), ou même faibles (Authie, et Aa malgré son aspect) dans le flux régional de pollution microbienne arrivant à la mer.

C H A P I T R E I V

APPORTS DE MICROPOLLUANTS CHIMIQUES AU NIVEAU DES ESTUAIRES

J.C. L'HOPITAULT

A. PHILIPPO

P. THOMAS

CHAPITRE IV

APPORTS DE MICROPOLLUANTS CHIMIQUES AU NIVEAU DES ESTUAIRES

IV - I - INTRODUCTION

A la suite des campagnes d'inventaire de la pollution des sédiments ("Hydrobios") (1,2) et des mollusques (3), il est apparu que les estuaires de la région Nord de la France sont contaminés par des métaux lourds, des pesticides, des polychlorobiphényles, des phtalates et des hydrocarbures, qui sont collectés dans les bassins versants et transportés par les rivières jusqu'au domaine marin.

Cette étude concerne l'estimation des flux de micropolluants chimiques arrivant dans les estuaires de l'Aa, la Canche, l'Authie et la Somme, afin de les comparer à d'autres sources de contamination (dragages des ports, apports atmosphériques,...)

Le transport des polluants dans les estuaires sera abordé aussi, mais, comme l'ont montré de nombreuses études antérieures, la très grande diversité des matériaux et des processus physico-chimiques mis en jeu rend difficile toute généralisation : chaque estuaire a des particularités dans l'évolution des micropolluants, et le programme d'échantillonnage mis en place pour l'approche des flux parvenant à l'estuaire est bien trop modeste pour une étude fine du devenir dans l'estuaire.

IV - I I - P R E L E V E M E N T S

Les échantillons d'eau ont été prélevés par la Station Marine de Wimereux à l'aide d'un préleveur à commande d'ouverture équipé d'un flacon en verre de 2,5 litres. Les eaux ont été échantillonnées à faible profondeur ce qui permet de recueillir l'eau douce du fleuve au point amont malgré la remontée, à pleine mer, de l'eau salée (en particulier dans la Somme où l'on observe un "coin salé").

Les prélèvements ont été le plus souvent réalisés à pleine mer mais pour trois campagnes (une pour l'Aa, deux pour la Somme), ils ont été effectués à la fois à pleine mer et à basse mer (campagnes doubles).

Les eaux prélevées sont réparties :

- pour l'analyse des métaux, dans des flacons en polyéthylène et acidifiées à 1 % avec de l'acide nitrique Suprapur,
- pour l'analyse des pesticides, dans des flacons en verre préalablement rincés à l'éther de pétrole bi-distillé,
- pour l'analyse des hydrocarbures, dans des flacons en verre rincés au tétrachlorure de carbone de qualité Uvasol.

Pour la numérotation des points de prélèvement, on a adopté par convention l'ordre suivant (cartes figures 1, 2, 3, 4) :

- point 1 : point en amont de l'estuaire, dans la zone d'eau douce
- point 2 : point intermédiaire dans une zone de mixage entre l'eau douce et l'eau de mer
- point 3 : point en aval de l'estuaire, dans la zone marine

Le tableau 1 donne la correspondance avec les points "Hydrobiologie" :

N ^{os} Points	Aa	Canche	Authie	Somme
1	2	2	1	7
2	3	4	3	2
3	5	6	6	4

Tableau 1 - Correspondance des points "Micropolluants" et "Hydrobiologie"

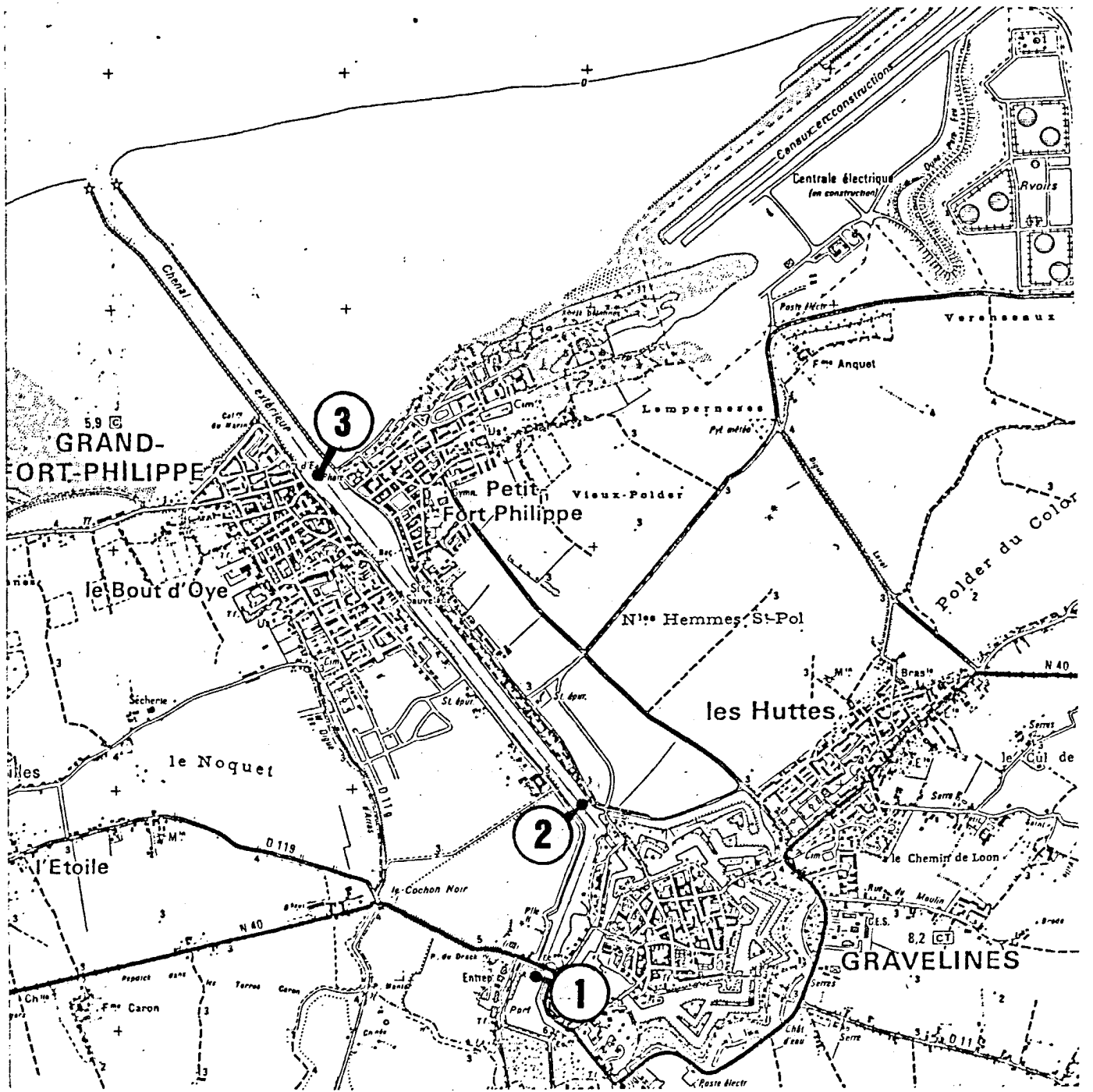


Figure 1

ESTUAIRE DE L'AA

Situation des points de prélèvements "micropolluants"

Echelle : 1/50.000



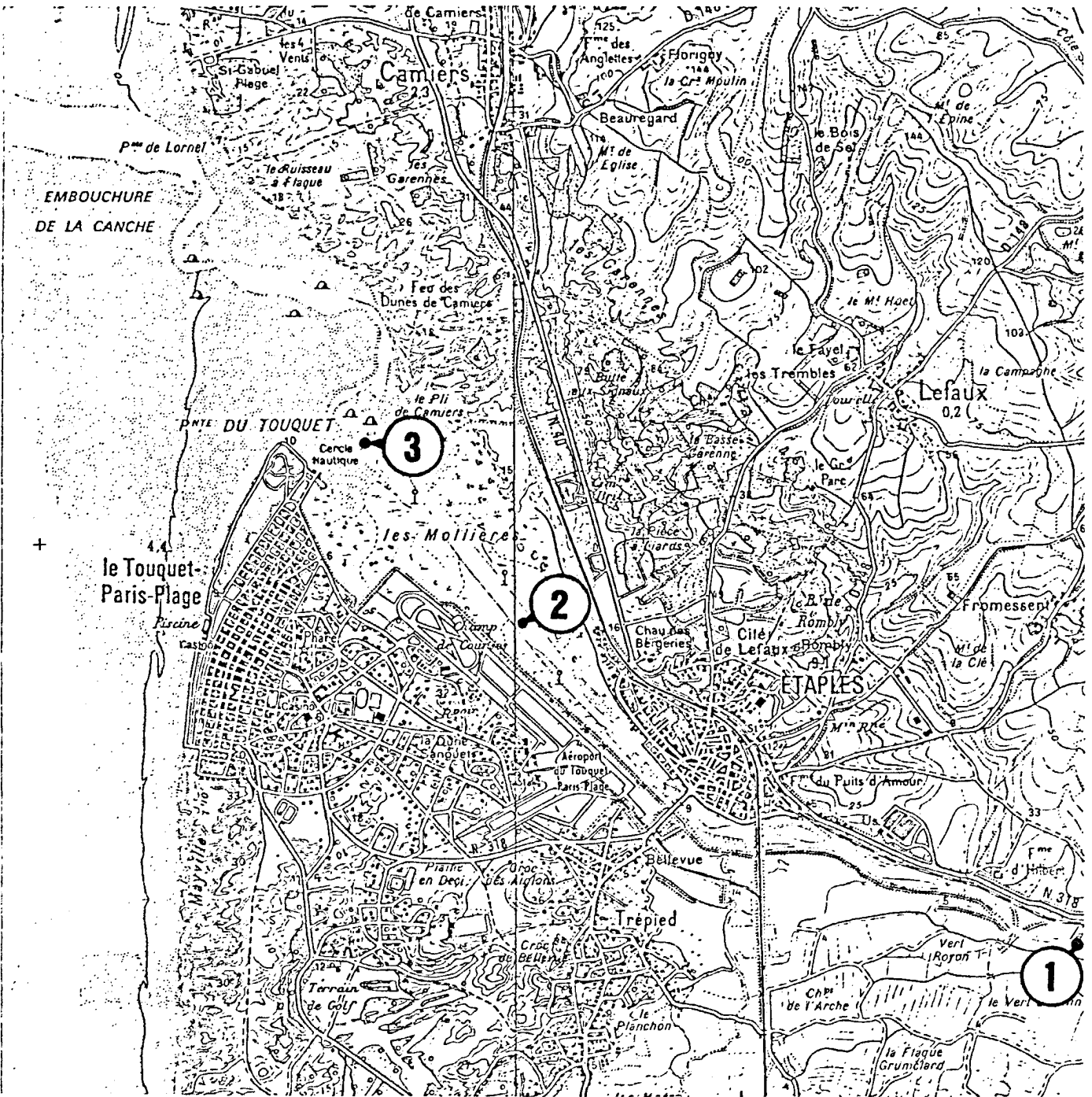


Figure 2
ESTUAIRE DE LA CANCHE
Situation des points de prélèvements "micropolluants"

Echelle : 1/50.000

0 1 km

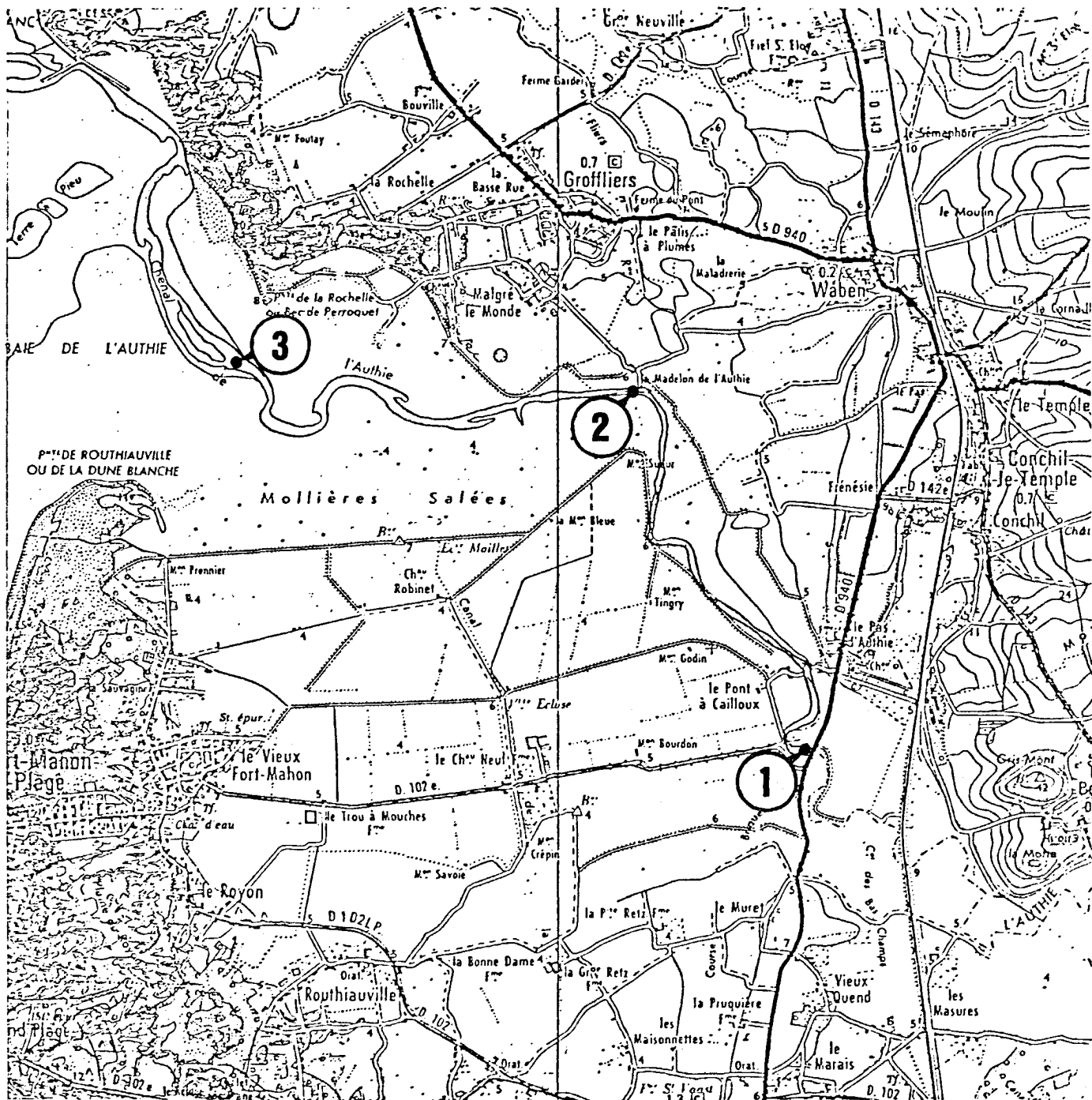


Figure 3

ESTUAIRE DE L'AUTHIE

Situation des points de prélèvements "micropolluants"

Echelle : 1/50.000



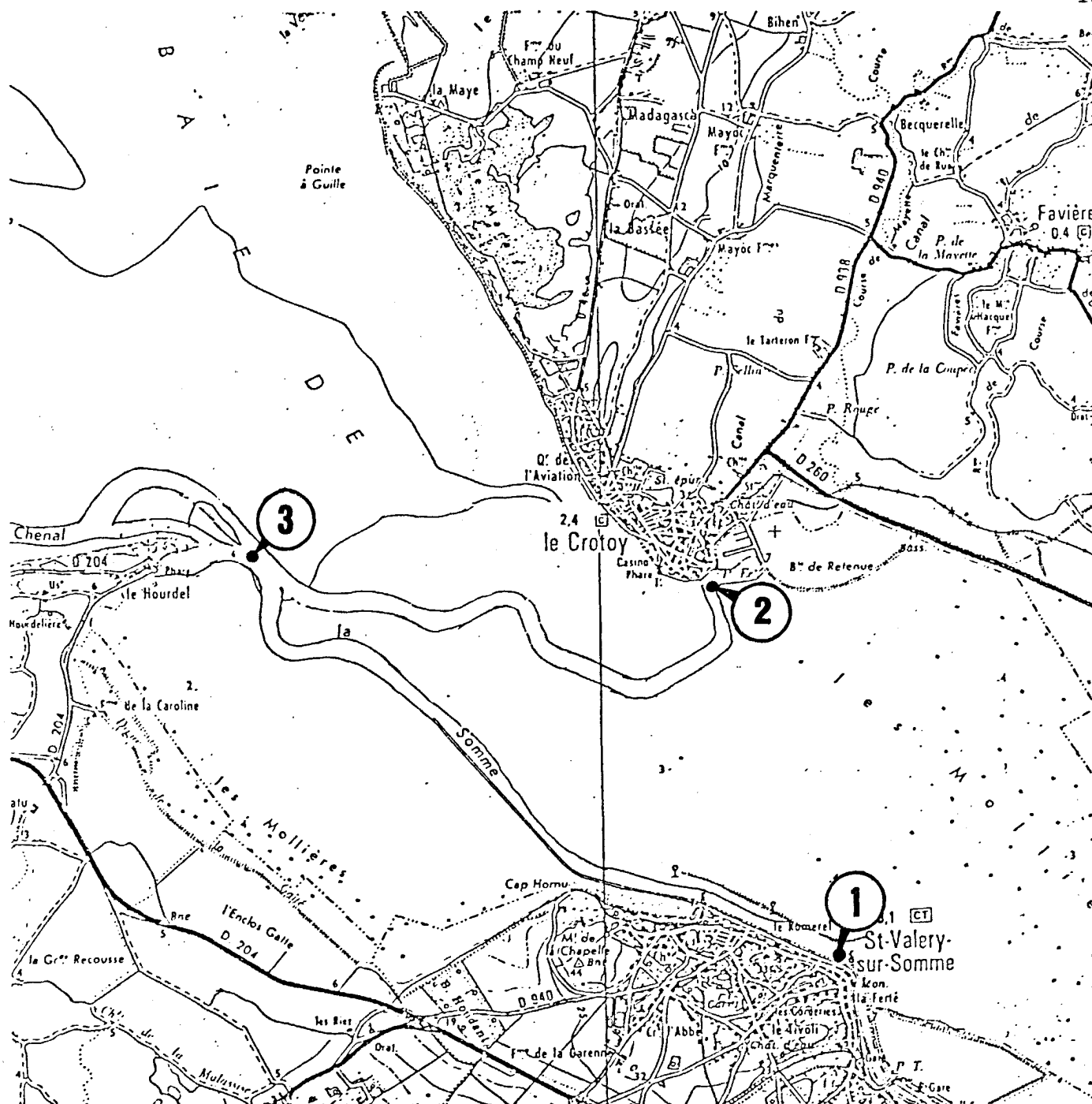


Figure 4

ESTUAIRE DE LA SOMME

Situation des points de prélèvements "micropolluants"

Echelle : 1/50.000

0 1 km



IV - III - METHODOLOGIE ANALYTIQUE

Les micropolluants des eaux estuariennes existent à la fois sous formes dissoutes et particulaires, ces dernières provenant des eaux douces, de floculations dans la zone de mixage de l'eau douce avec l'eau salée et de la remise en suspension des sédiments par les courants de marée (4-11).

Le but initial de l'étude étant d'apprécier les apports dûs aux fleuves, il était donc nécessaire de doser les polluants sous toutes leurs formes.

L'extraction des pesticides et hydrocarbures par solvants répond à cette exigence.

Par contre en ce qui concerne les métaux, on a utilisé pour atteindre une bonne sensibilité la polarographie à redissolution anodique (D.P.A.S.V) pour Zn, Cd, Pb, Cu, et l'absorption atomique en vapeur froide (pour Hg). Or ces techniques ne permettent pas d'accéder directement aux métaux totaux : un prétraitement de l'échantillon est nécessaire. Pour le mercure, la minéralisation au permanganate (12), qui donne des "blancs" trop élevés, supérieurs aux teneurs en mercure des eaux (13), a été rejetée. Seul le mercure minéral a donc été dosé.

Pour les autres métaux, la seule acidification à pH 4,5 (12) est insuffisante pour libérer les métaux de certaines formes particulières ou organiques (4,5,10).

Les échantillons ont donc été acidifiés à pH \sim 1,5 (4,8,9,10,11) ce qui permet de libérer 60-100 % du cadmium et du zinc, 40-100 % du plomb et 25-100 % du cuivre, d'après Duinker (9,10). Il reste encore un résiduel de métaux non-libérables qu'il faut alors minéraliser.

La minéralisation par voie chimique donnant des "blancs" souvent élevés et non reproductibles (14), on a été conduit à compléter l'effet de l'acidification par une irradiation aux rayons ultra-violet qui détruit les derniers complexes organo-métalliques, élargit la "fenêtre" de potentiel utilisable en D.P.A.S.V (dosage du zinc en milieu très acide) et ne contamine pas l'échantillon.

Des comparaisons avec des minéralisations à HNO_3 permettent d'estimer la fraction du métal effectivement dosé à :

Zn : 74-100 %, Cd : 78-100 %, Pb : 74-100 %, Cu : 35-100 %
(60 % en moyenne).

Les techniques d'analyse utilisées sont donc les suivantes :

1) Métaux

Zn, Cd, Pb, Cu : - acidification à pH \sim 1,5 par HNO_3 Suprapur,
- minéralisation pendant une nuit aux rayons U.V.
(185 et 254 nm) dans des tubes en quartz,

- dosage : polarographie impulsionnelle à redissolution anodique; appareillage : P.A.R 174A + SMDE 303 + A.E.C 315

Hg

- : - acidification à pH \approx 1,5
- réduction par SnCl₂
- dosage : absorption atomique en vapeur froide; appareillage : VARIAN AA 175 avec cellule de 170 mm

2) Hydrocarbures (12,15)

500 ml d'eau amenés à pH = 5 avec de l'acide chlorhydrique sont extraits par 50 ml de CCl₄, Uvasol, pendant 15 minutes. 10 ml de l'extrait sont purifiés sur une colonne de Florisil (5 g) puis dosés par spectrophotométrie dans l'infra-rouge (Perkin-Elmer 157 G), en s'étalonnant avec du décane.

3) Pesticides organo-chlorés, polychlorobiphényles (PCB) et phtalates (12)

Un litre d'eau à analyser est extrait par successivement 80,50,40 et 30 ml d'éther de pétrole bi-distillé dans une ampoule à décanter agitée mécaniquement.

Le flacon ayant contenu l'eau est rincé à l'éther de pétrole. Les extraits réunis sont séchés sur sulfate de sodium anhydre, concentrés à 1 ml et injectés (1 μ l).

- Appareillage :
- chromatographe ERBA FV 4160, injecteur "on-column", détecteur à capture d'électrons ECD HT 25
 - colonne capillaire : 15 m x 0,32 mm ϕ interne, phase OV1 (0,15 μ m)
 - programmation de température : 70°C (1 mn) \rightarrow 127°C (7°C/mn) \rightarrow 200°C (3°C/mn)

IV - I V - R E S U L T A T S

Les résultats de l'ensemble des analyses effectuées pendant l'année 1982 aux différentes stations sont regroupées dans les tableaux des annexes 1 à 8.

De façon générale, on note pour tous les estuaires de fortes variations des concentrations en métaux, qui peuvent atteindre un rapport de 1 à 30. Malgré des pointes, les valeurs observées ne peuvent pas être considérées comme très anormales. Les maxima enregistrés (Zn : 70 µg/l Cd : 2,2 µg/l, Pb : 8,6 µg/l, Cu : 24 µg/l) sont souvent dépassés dans d'autres estuaires (5,10) et atteintes dans diverses eaux côtières d'Europe (16).

Toute comparaison devrait tenir compte de l'état d'urbanisation et d'industrialisation du bassin. A cet égard, on peut seulement remarquer que l'Authie présente des teneurs en métaux lourds plutôt élevées compte tenu de la faible urbanisation en amont.

Pour les pesticides et les plastifiants, on retrouve aussi d'importantes variations des concentrations (1 à 25 environ). Les maxima (YHCH : 67, PCB : 470, phtalates : 23000 ng/l) sont comparables aux concentrations relevées lors des campagnes de surveillance des rivières et canaux (Inventaire National).

Deux polluants, le mercure et les hydrocarbures, ont été trop rarement détectés pour permettre une exploitation des résultats. Ils ne seront repris qu'au paragraphe V.

A) ESTUAIRE DE L'AA

1) Métaux lourds

L'évolution saisonnière des concentrations en zinc, cadmiun, plomb et cuivre a été schématisée sur les graphes de la figure 5. Les concentrations sont en général maximales au point 1 (en amont, derrière une écluse) et diminuent vers l'aval. On peut toutefois noter quelques inversions avec des teneurs aux points 2 et 3 supérieures à celles du point 1, en particulier aux mois de février (Pb, Cu) et d'avril (Zn, Cd, Pb, Cu). Les inversions peuvent être reliées à des apports supplémentaires par des émissaires et la station d'épuration de Gravelines, ou bien à une remise en suspension des sédiments par les courants de marée, au point 3 (en avril : MeS : 136 mg/l).

L'évolution saisonnière des concentrations est assez régulière avec, au point 1, un maximum en fin d'année et un minimum au printemps. Un tel pic hivernal a déjà été observé ailleurs (7). Par contre, un minimum au printemps semble moins courant. Un piégeage par le plancton (7), que l'on peut relier aux fortes teneurs de chlorophylle (178 µg/l) de mai, la faible pluviométrie et la présence d'écluses isolant l'AA des marées peuvent favoriser la sédimentation des matières en suspension et donc l'appauvrissement, à cette époque, des eaux en métaux toxiques.

Le transport des métaux (figure 6) n'apparaît pas identique à marée haute et à marée basse. Les concentrations au point 1 (amont) sont, à basse mer, supérieures ou égales à celles relevées à pleine mer : l'ouverture des écluses provoque un courant suffisant pour entraîner les MeS et les métaux liés qui, autrement, sédimentent. Aux points 2 et 3 (aval) les concentrations à basse mer sont voisines de celles du point 1 (eau douce homogène dans tout l'estuaire) alors qu'elles chutent à pleine mer par dilution de l'eau douce dans l'eau de mer (cuivre excepté).

2) Micropolluants organiques

Contrairement aux métaux, les pesticides (γHCH, DDT), les PCB et les phtalates présentent un maximum au mois de mai (figure 7).

L'entraînement des pesticides par les pluies de printemps est assez fréquent et se ferait, contrairement aux métaux, plus sous forme dissoute, libre ou liée aux acides humiques, que particulaire, ce qui confirmerait diverses observations antérieures (6,9,10,11).

Le lindane et, dans une moindre mesure les phtalates, présentent de plus deux maxima importants (septembre, novembre) encadrant un net minimum en octobre, mois dont la pluviométrie élevée (123 mm d'eau) a pu entraîner une dilution des apports en pesticides.

Les variations des concentrations avec la marée (figure 8) sont faibles pour les phtalates et les PCB. Pour les pesticides et surtout l'αHCH, l'augmentation, à basse mer, et la diminution, à pleine mer, des concentrations au point 2 pourraient indiquer un apport par un émissaire.

Figure 5

ESTUAIRE DE L'AA

Métaux

- Point n° 1
- - - Point n° 2
- Point n° 3

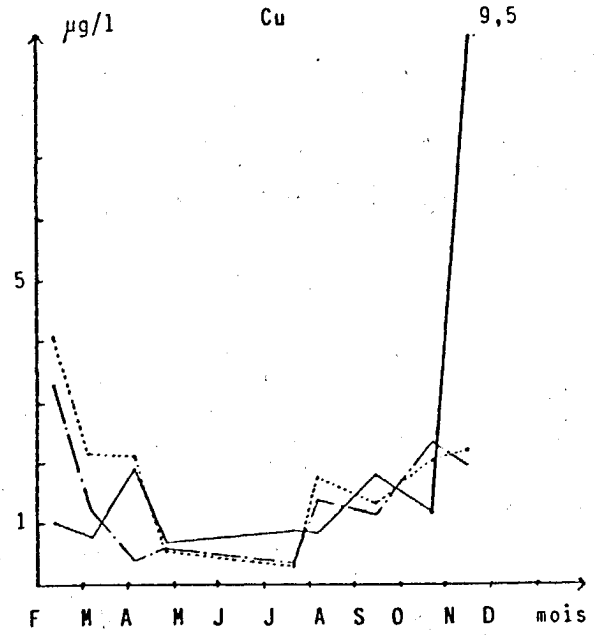
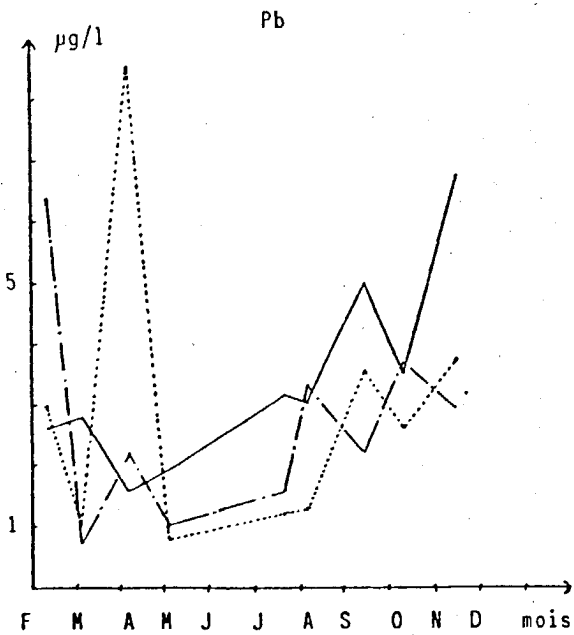
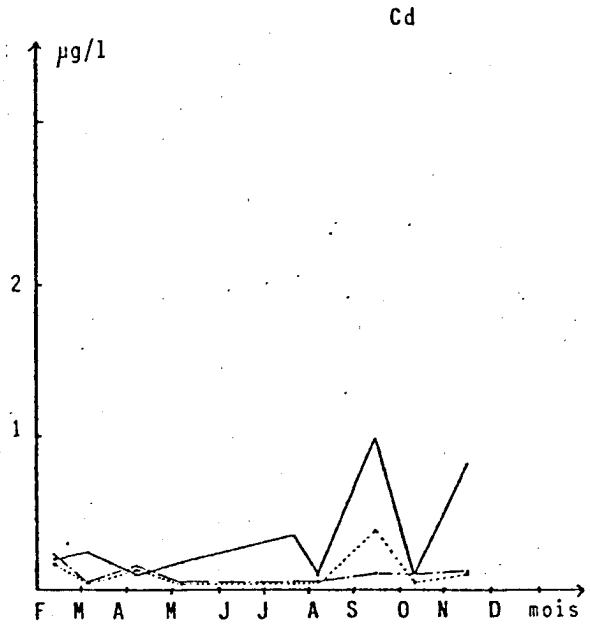
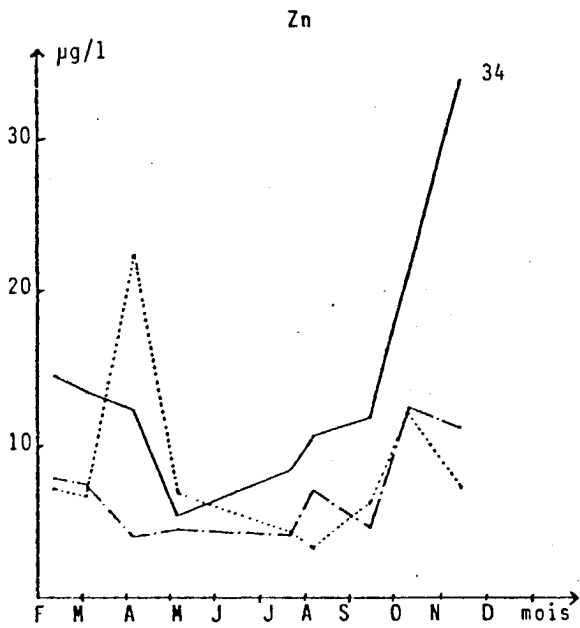


Figure 6

ESTUAIRE DE L'AA

Campagne double du 05 - 03 - 1982

Métaux

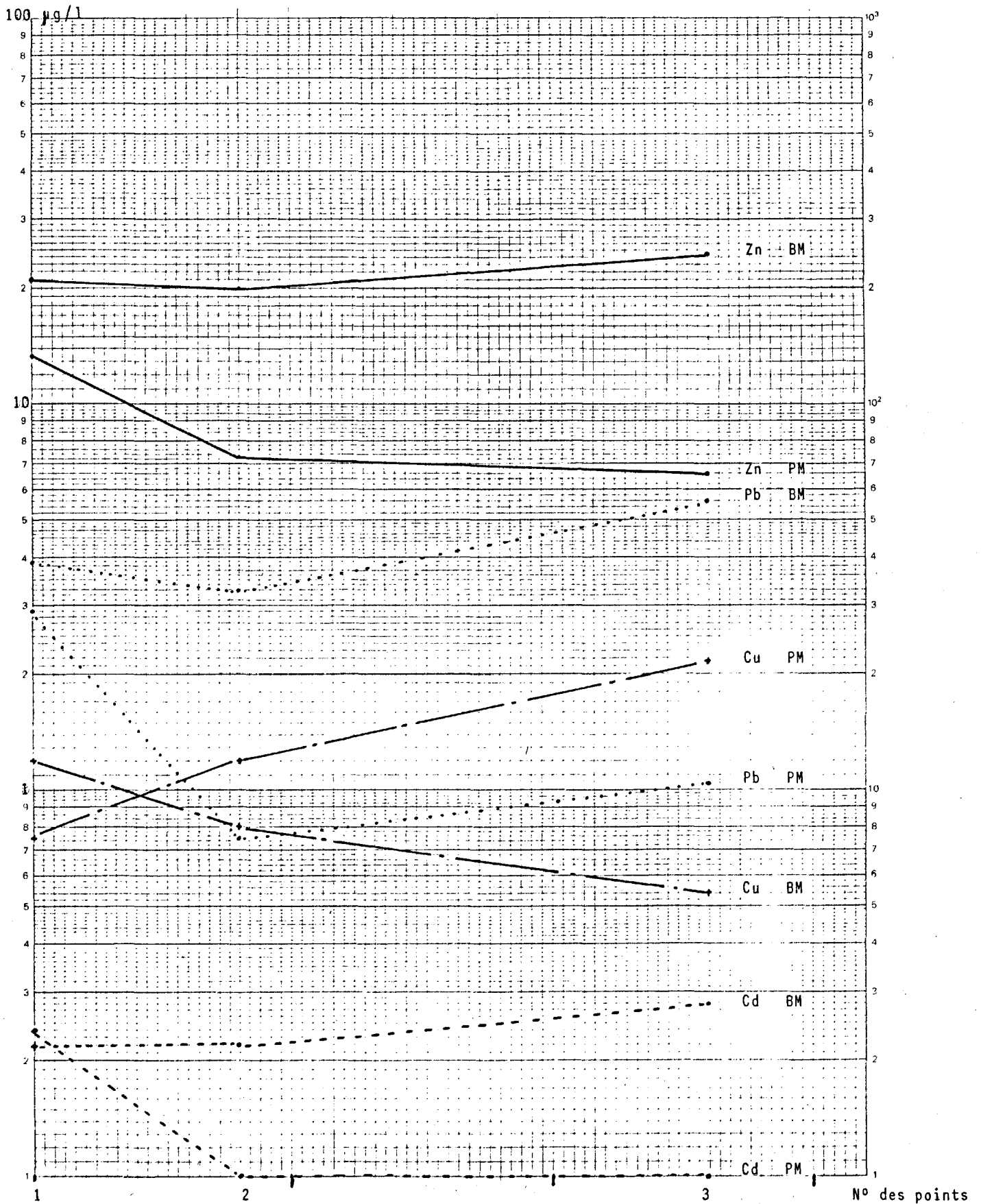


Figure 7

ESTUAIRE DE L'AA
Pesticides et plastifiants

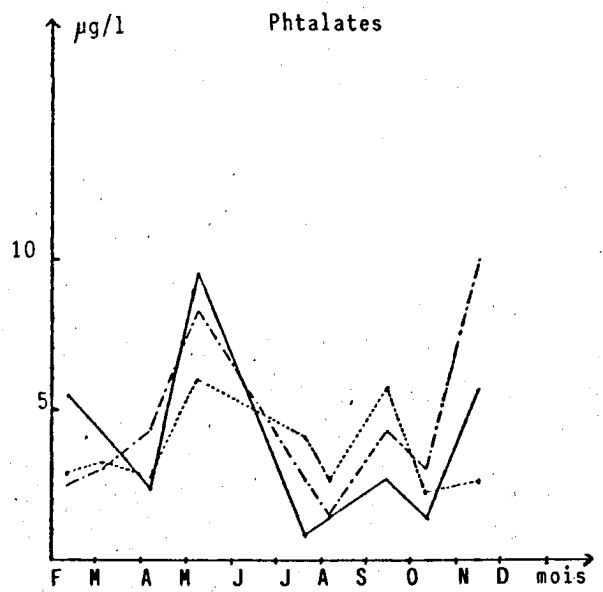
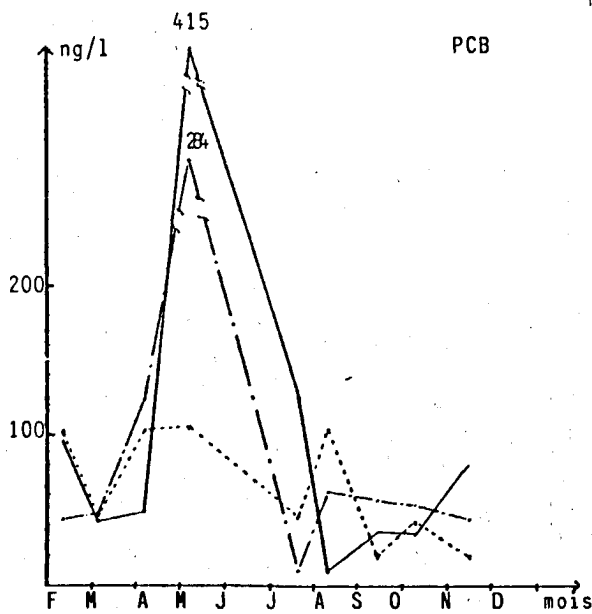
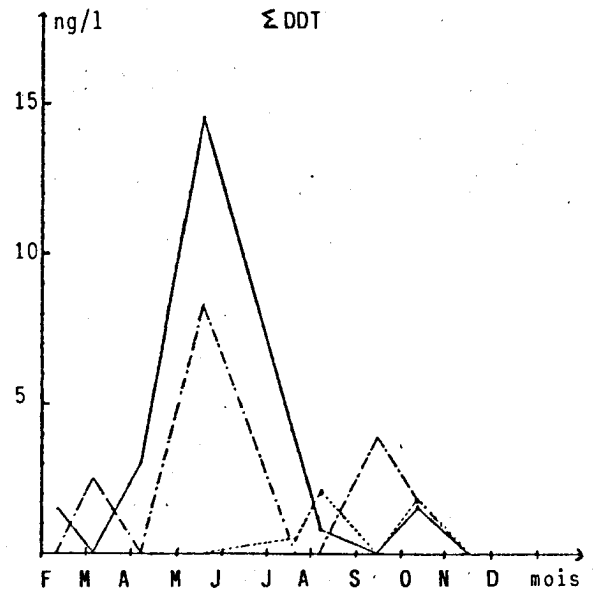
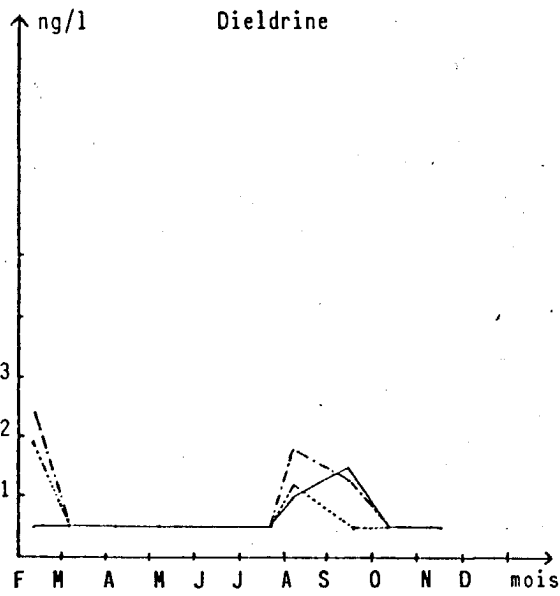
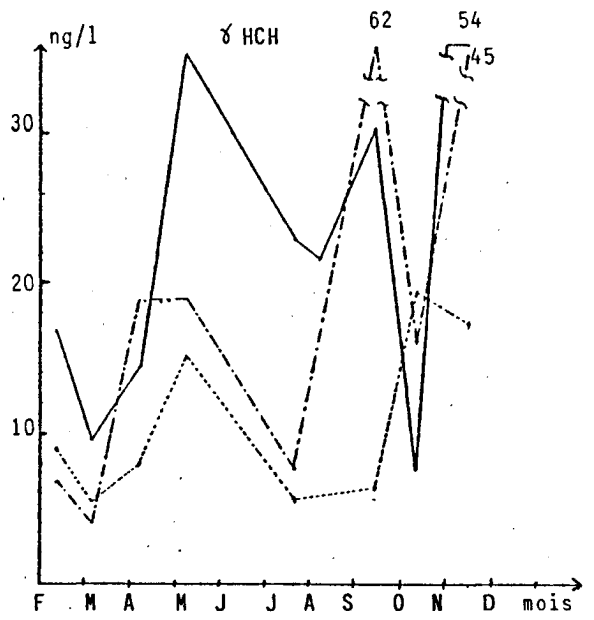
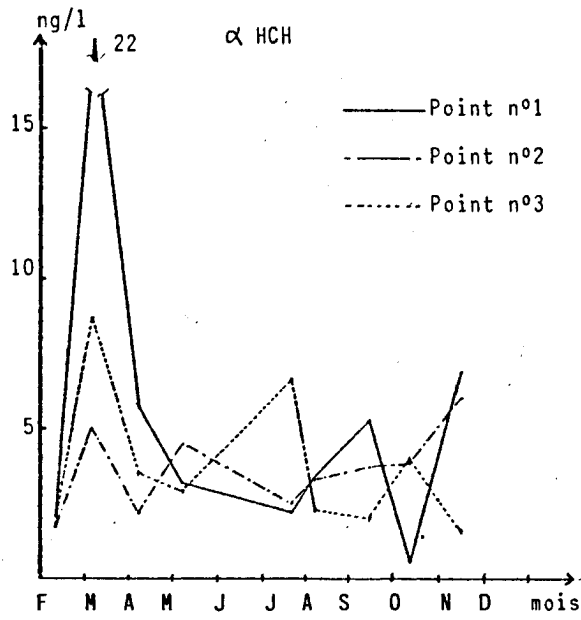
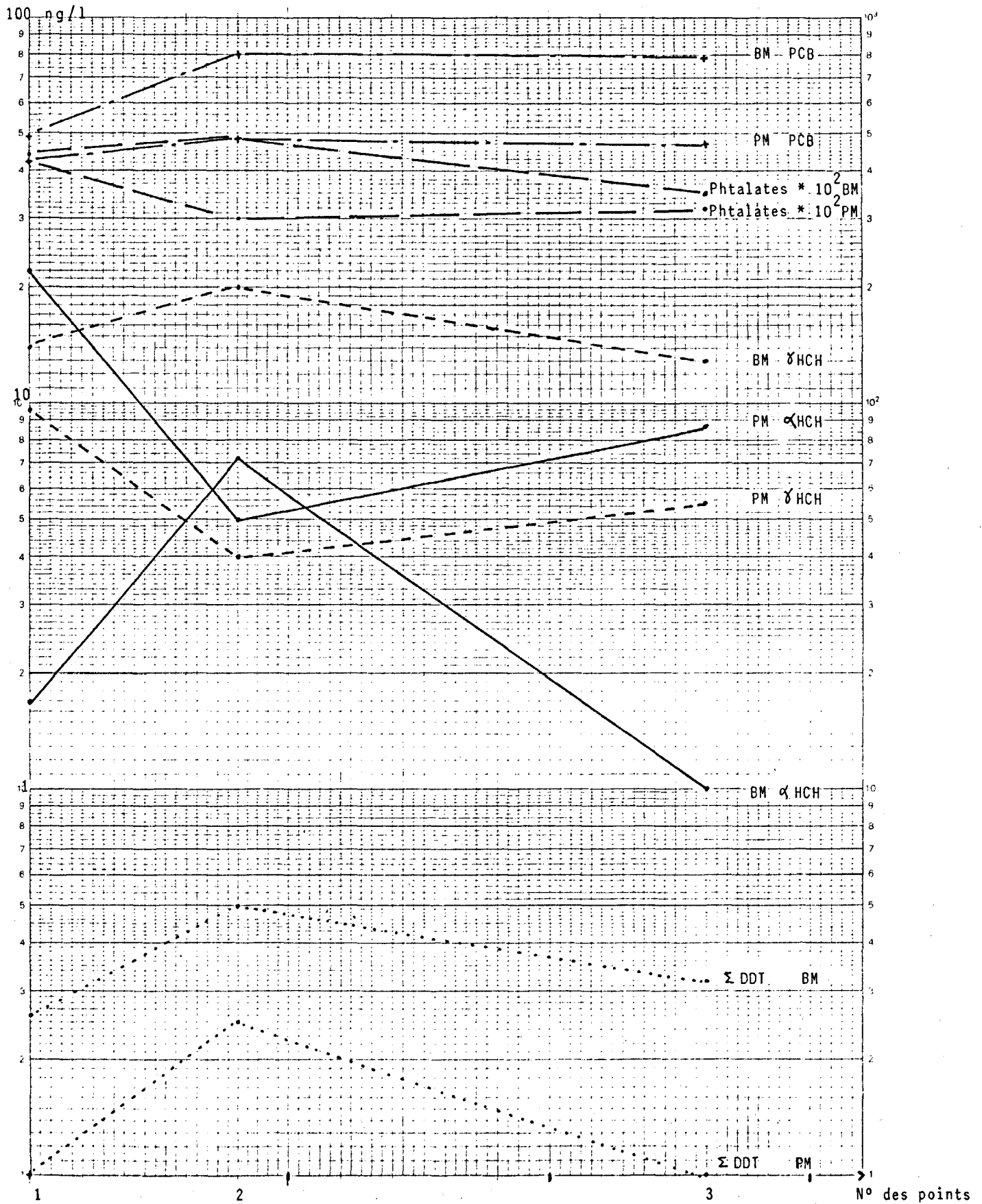


Figure 8

ESTUAIRE DE L'AA

Campagne double du 05 - 03 - 1982

Pesticides - Plastifiants



B) ESTUAIRE DE LA CANCHE

1) Evolution des métaux lourds (figure 9)

Mise à part la remontée des concentrations en fin d'année, l'évolution des métaux de la Canche est très différente de celle de l'Aa.

Le plomb et surtout le zinc, le cadmium et le cuivre, très comparables dans leurs profils, présentent des concentrations plus importantes de mai à septembre avec un minimum accusé en octobre, qui semblent évoluer à l'inverse de la pluviométrie. Les métaux sous forme dissoute et surtout de très fines particules liées aux matières organiques (7, 9,10,11) auraient un flux sensiblement constant, plus ou moins dilué en fonction des pluies (7).

Un faible courant d'étiage serait capable d'entraîner ces métaux particulaires, à la différence de l'Aa dont les écluses freinent le transport des particules.

Les variations et les inversions des concentrations aux points 2 et 3 semblent provenir, comme pour l'Aa, de rejets (Etaples et aéroport au point 2) et de variations dans les teneurs en MeS à l'embouchure (point 3) par remise en suspension de sédiments.

2) Evolution des micropolluants organiques (figure 10)

On observe, comme dans l'Aa, deux maxima au printemps et en fin d'été mais il faut noter que les concentrations des points 1 à 3 sont complètement inversées, avec un gradient croissant d'aval en amont. Il n'existe pas de relation apparente avec les MeS qui pourrait indiquer une influence du bouchon vaseux de l'estuaire.

La contamination des eaux semble provenir d'apports situés en aval du point 1 (Etaples et Le Touquet).

Figure 9

ESTUAIRE DE LA CANCHE

Métaux

— Point n°1
 - - - Point n°2
 Point n°3

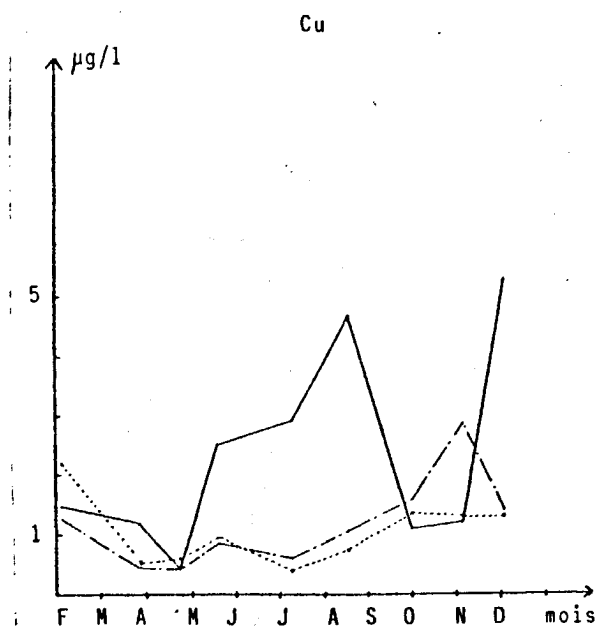
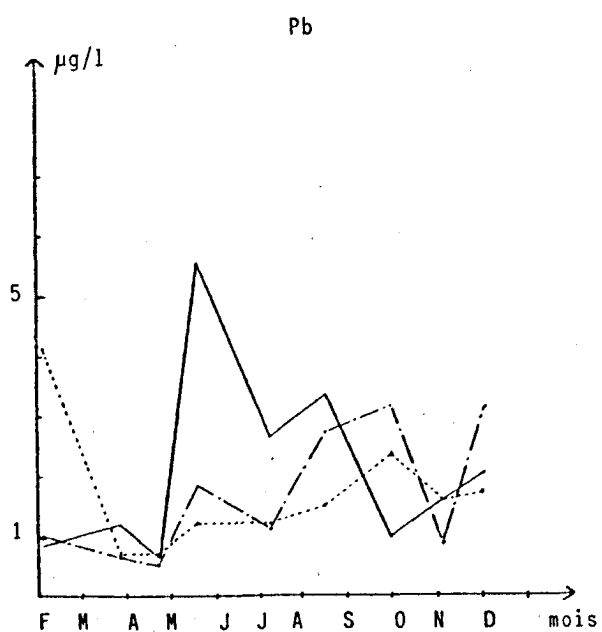
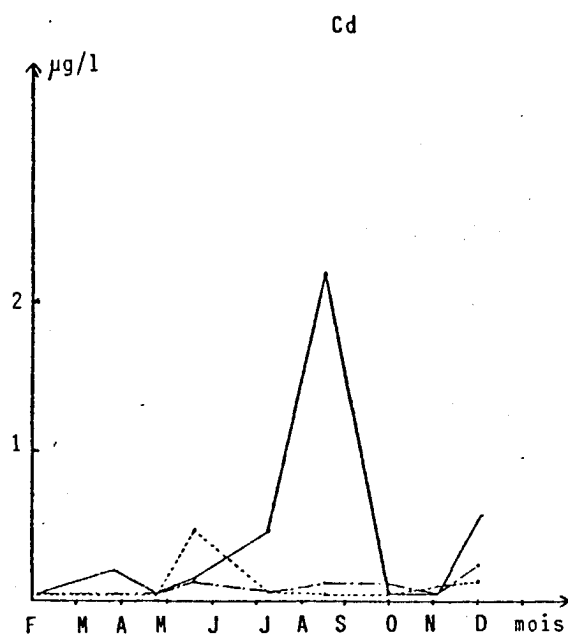
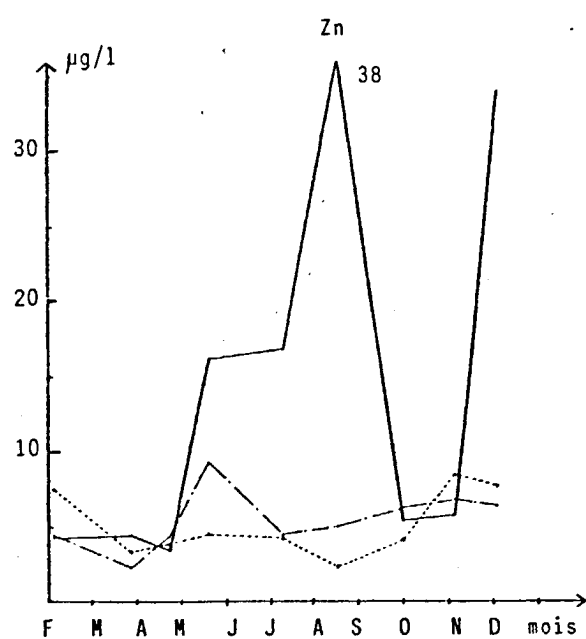
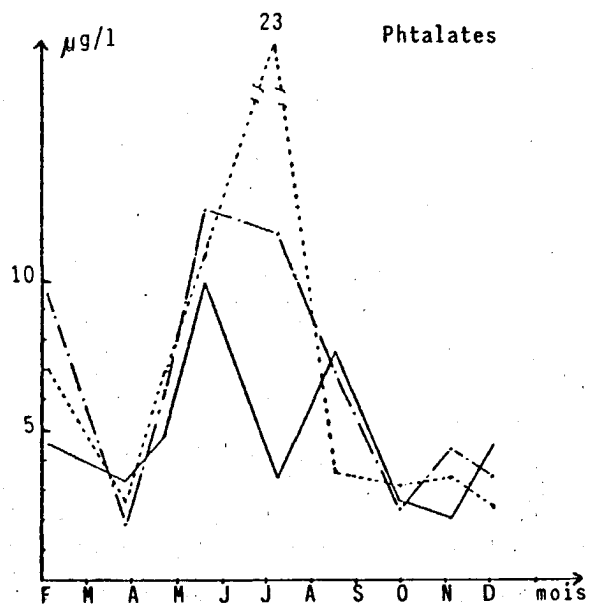
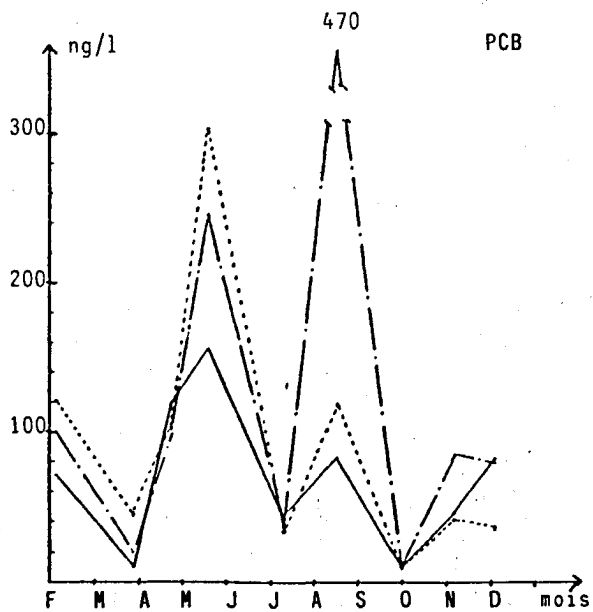
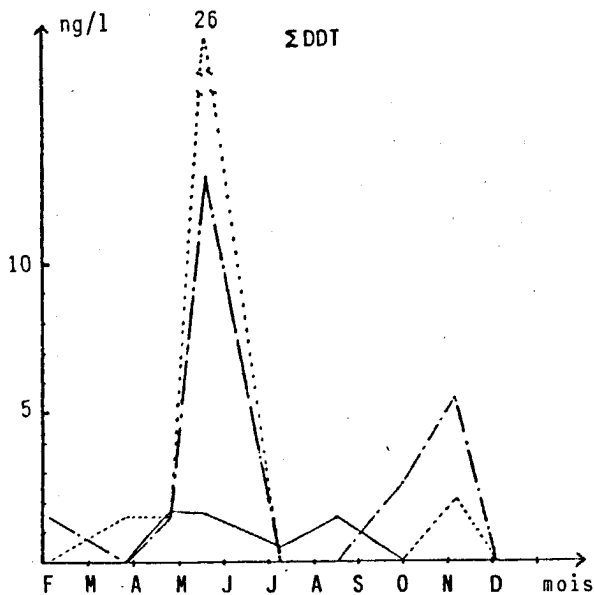
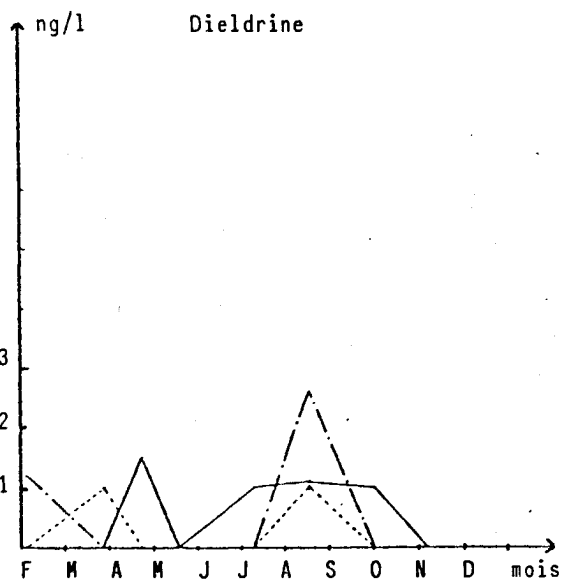
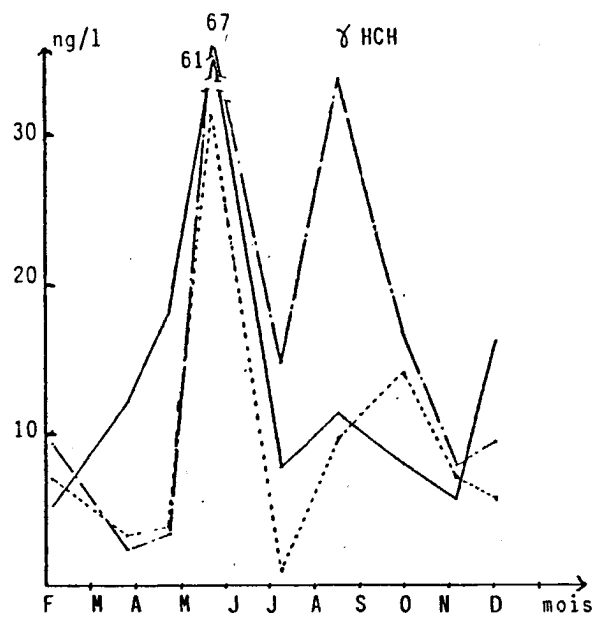
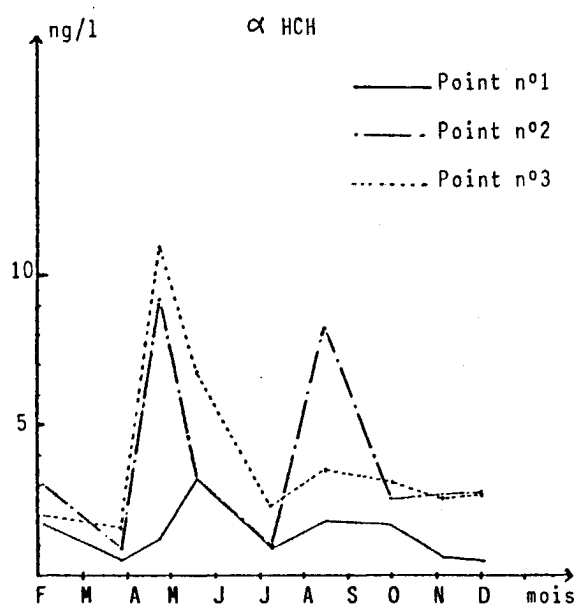


Figure 10

ESTUAIRE DE LA CANCHE
Pesticides et plastifiants



C - ESTUAIRE DE L'AUTHIE

1) Evolution des métaux lourds

On retrouve dans l'Authie (point 1) une évolution tout à fait comparable à celle observée dans la Canche, avec un maximum de métaux en été et en fin d'année (figure 11). De même, les concentrations aux points 2 et 3 varient avec la remise en suspension des sédiments par la marée, dont l'influence est ressentie loin en amont. Il est possible d'apprécier la stabilité des formes métalliques dans cet estuaire, d'une part parce que de grandes variations de salinité y ont été relevées, et que d'autre part aucun rejet polluant ne vient s'ajouter au débit principal dans l'estuaire même, non urbanisé.

Les concentrations en métaux ont donc été représentées (figure 12) en fonction de la salinité (7), et si une simple dilution de l'eau douce par l'eau de mer avait lieu, les points représentés seraient alignés sur la droite de dilution (métaux conservatifs). Si au contraire des floculations intervenaient (métaux non-conservatifs), les concentrations des métaux ne seraient plus alignées, mais chuteraient brutalement même pour de très faibles salinités (6,7,9,10,11). On constate effectivement une brusque chute des concentrations pour :

Zn : 6 courbes sur 9 (représentées en trait plein)

Cd : 7 courbes sur 9

Pb : 5 courbes sur 9

Cu : 5 courbes sur 9

Les quatre métaux étudiés semblent donc être plutôt non-conservatifs. La chute de leurs concentrations se produit pour des salinités allant de 1 ‰ à 10 ‰, ce qui est comparable à d'autres observations (0 à 20 ‰ (6)).

2) Evolution des micropolluants organiques (figure 13)

Les concentrations relevées sont parmi les plus faibles des estuaires étudiés. Seul le lindane, encore utilisé, présente des concentrations plus importantes. Les inversions de concentration entre les stations sont nombreuses et apparemment aléatoires, hormis un possible apport de lindane au niveau de la Madelon (point 2), par le Fliers.

Figure 11

ESTUAIRE DE L'AUTHIE

Métaux

— Point n°1
 - - - Point n°2
 ····· Point n°3

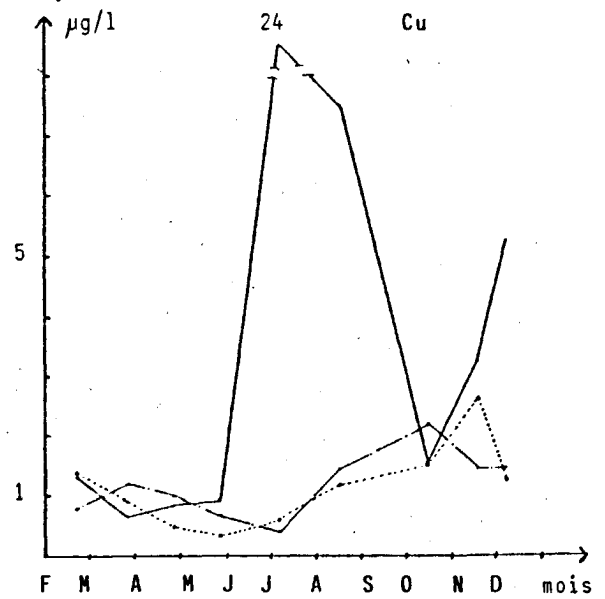
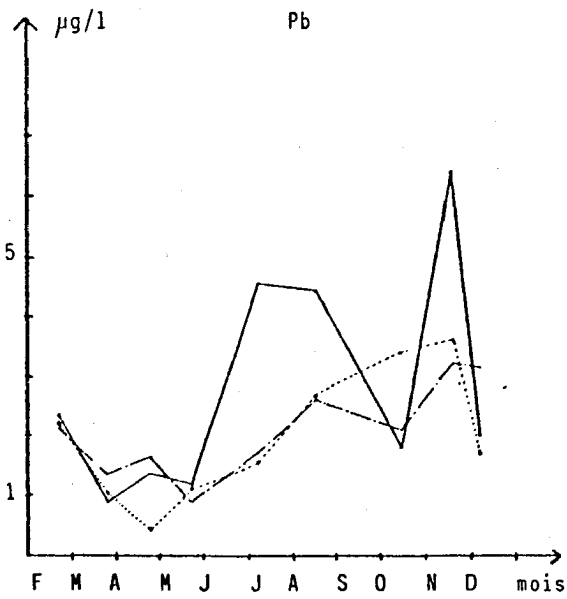
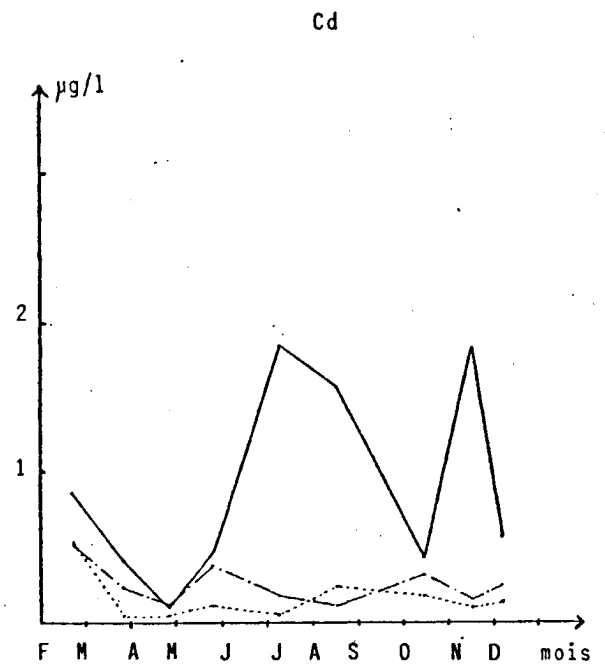
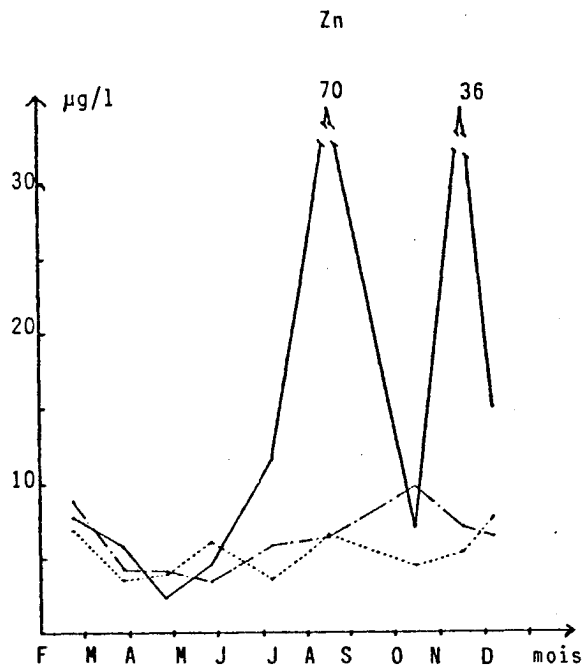


Figure 12

AUTHIE

Variation des concentrations en métaux
en fonction de la salinité

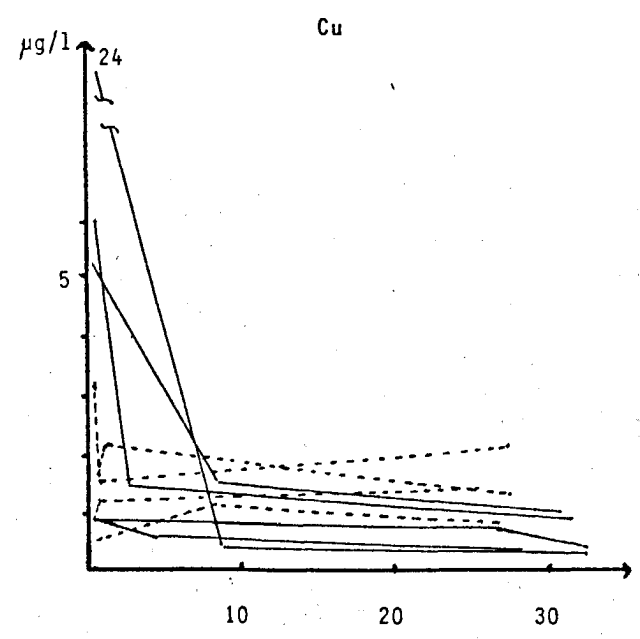
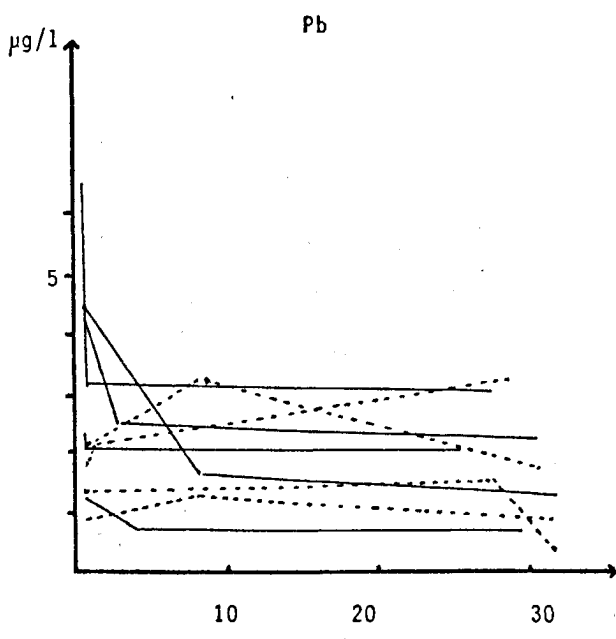
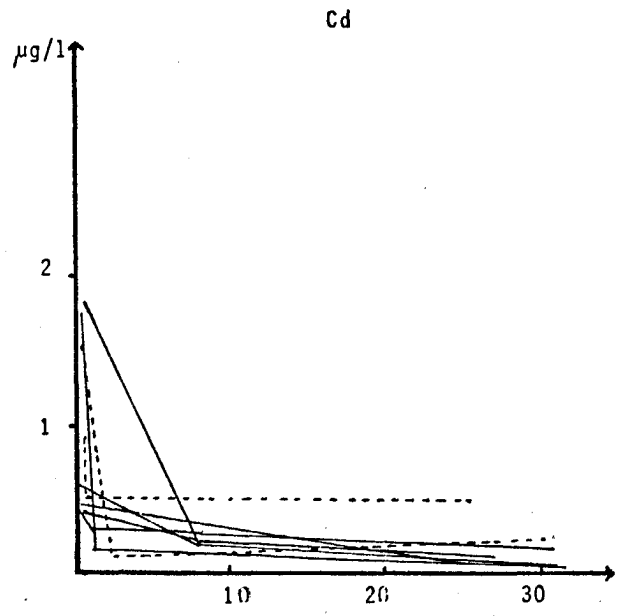
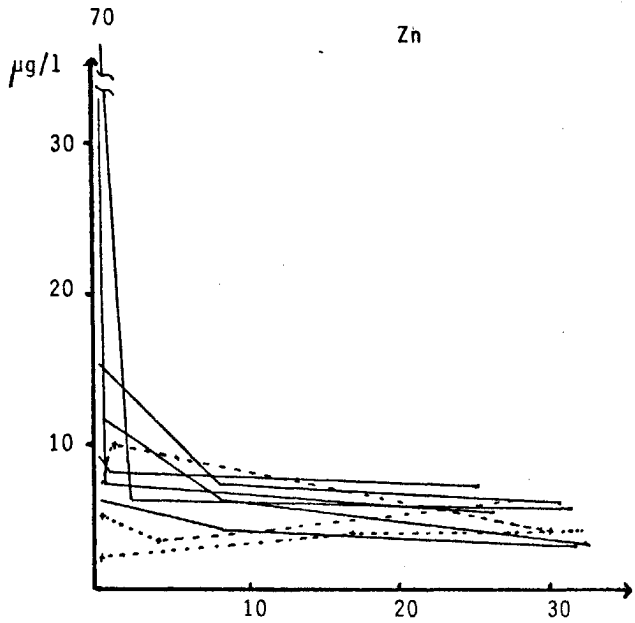
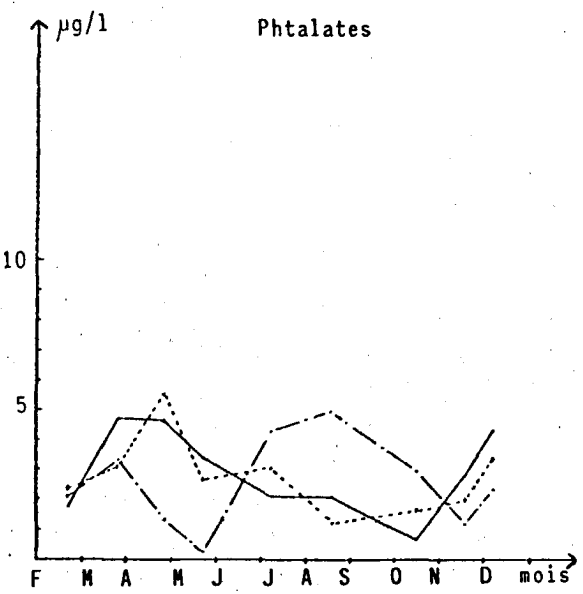
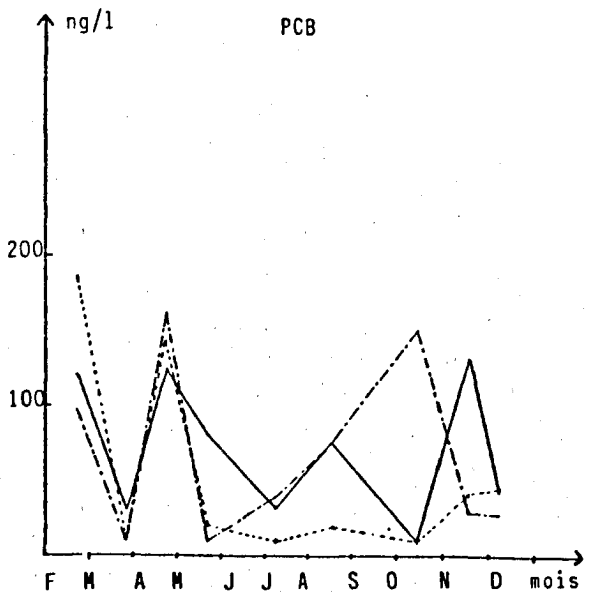
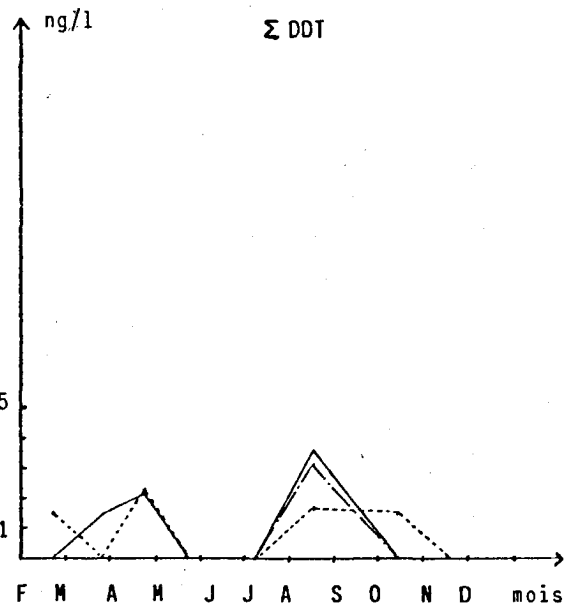
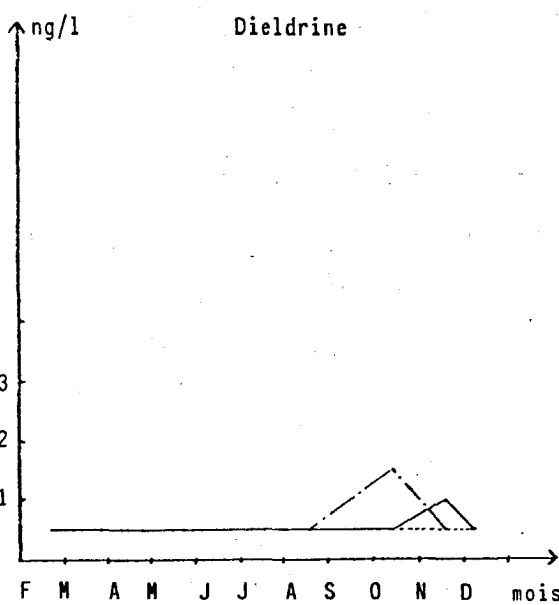
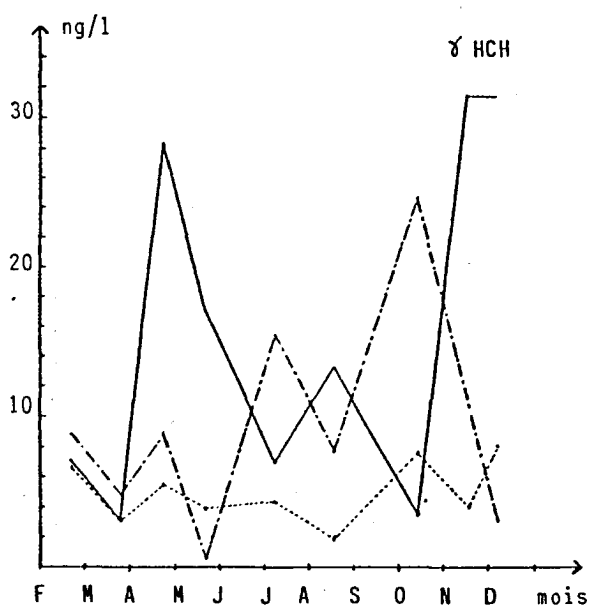
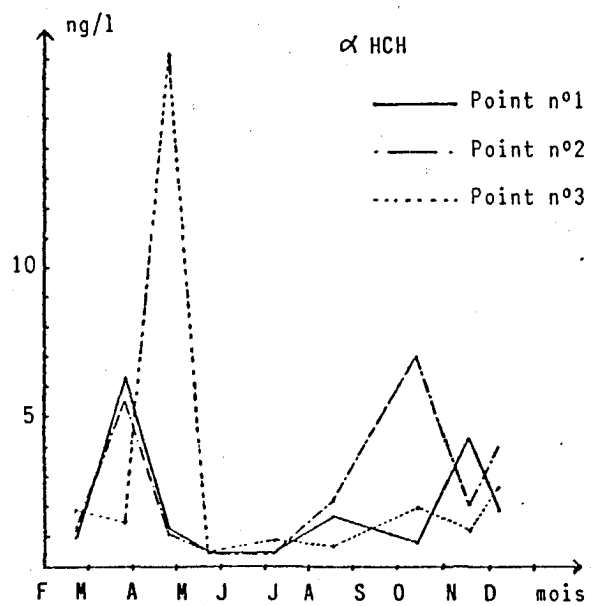


Figure 13

ESTUAIRE DE L'AUTHE
Pesticides et plastifiants



D - ESTUAIRE DE LA SOMME

1) Evolution des métaux lourds

Bien qu'ayant un débit régulé, comme l'Aa, la Somme (figure 14) se rapproche plus de l'Authie et de la Canche avec les maxima de métaux, au point 1, en mai et novembre.

A pleine mer, les apports du Crotoy (point 2) sont généralement plus faibles que ceux de la Somme. Leur évolution est également différente avec un minimum de plomb, cadmium et cuivre au printemps. Comme l'Aa, l'exutoire du Crotoy est fermé par une écluse qui délimite un bassin d'eau calme favorable à la sédimentation et dont l'ouverture, à basse mer, provoque une chasse de matières en suspension et de métaux liés, particulièrement visible pendant la campagne double (figure 15).

2) Evolution des micropolluants organiques

La Somme présente, au printemps, le même maximum que celui des autres estuaires (figure 16). Par contre, le maximum de fin d'année est inexistant ou très atténué (HCH, PCB). L'exutoire du Crotoy est plutôt moins chargé en pesticides. A basse mer, (figure 17), les concentrations sont dans l'ensemble assez homogènes du point 1 au point 3. A pleine mer, on constate également peu de variations entre le point 2 et le point 3 mais la salinité au point 2 (30,8 ‰) indique que l'échantillon est essentiellement constitué d'eau de mer et qu'il n'y a pas d'apports (écluse du Crotoy fermée).

Figure 14

ESTUAIRE DE LA SOMME

Métaux

- Point n°1
- - - Point n°2 (Le Crottoy)
- Point n°3

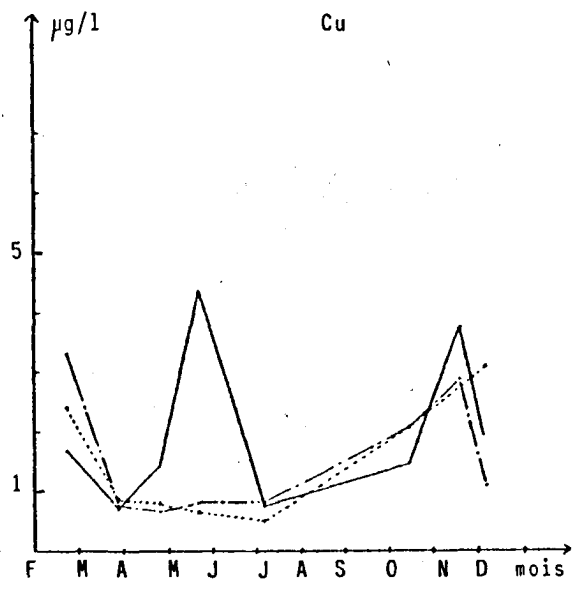
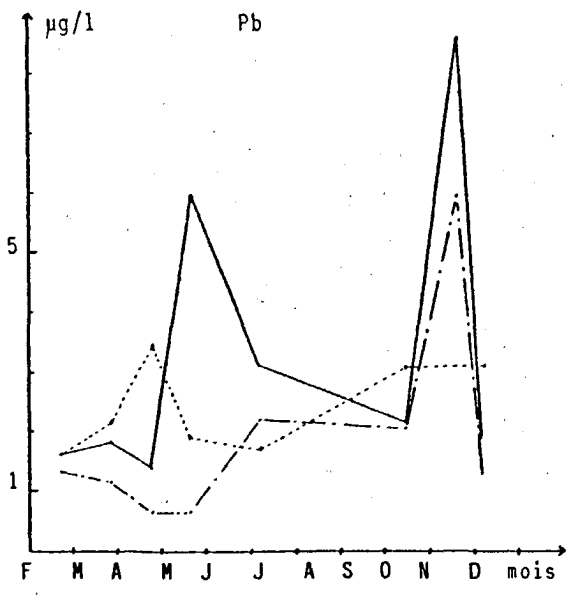
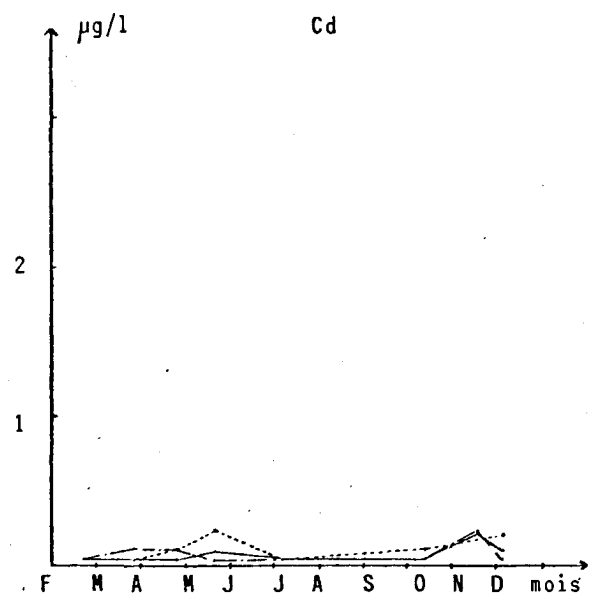
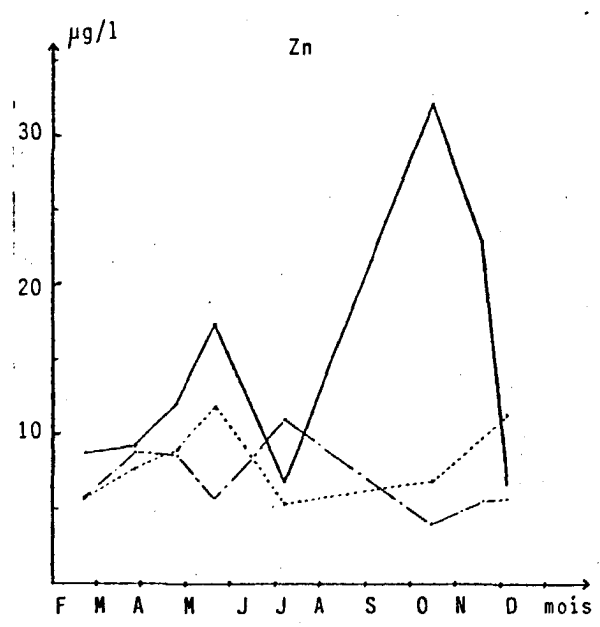


Figure 15

ESTUAIRE DE LA SOMME
Campagne double du 03 - 12 - 1982
Métaux

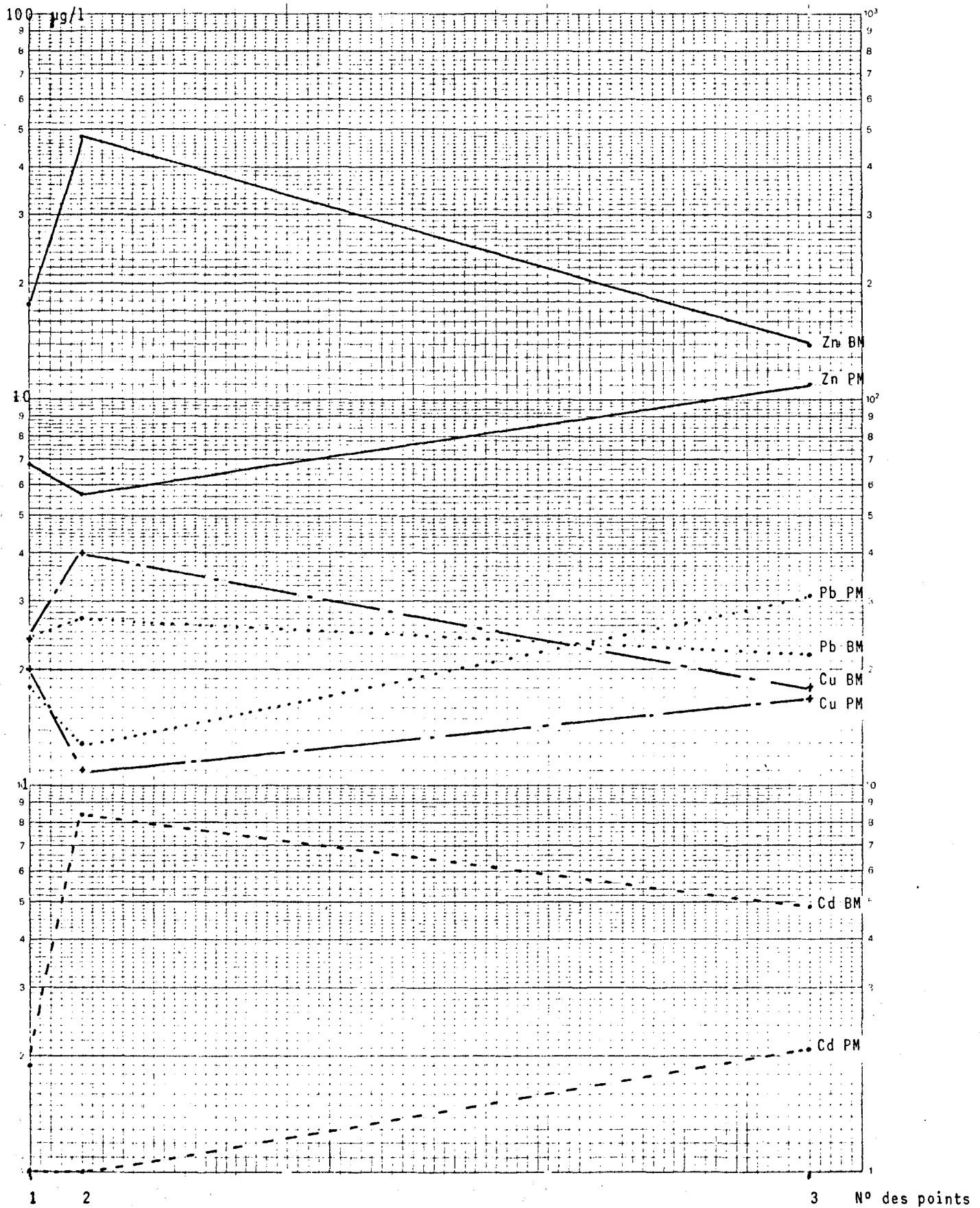


Figure 16

ESTUAIRE DE LA SOMME
Pesticides et plastifiants

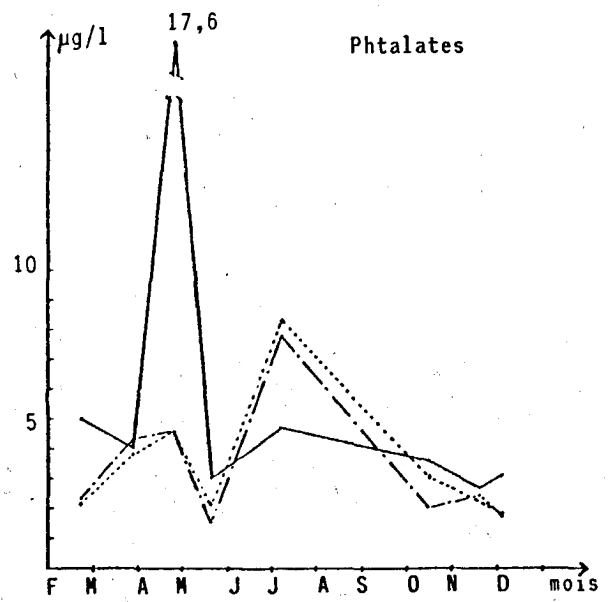
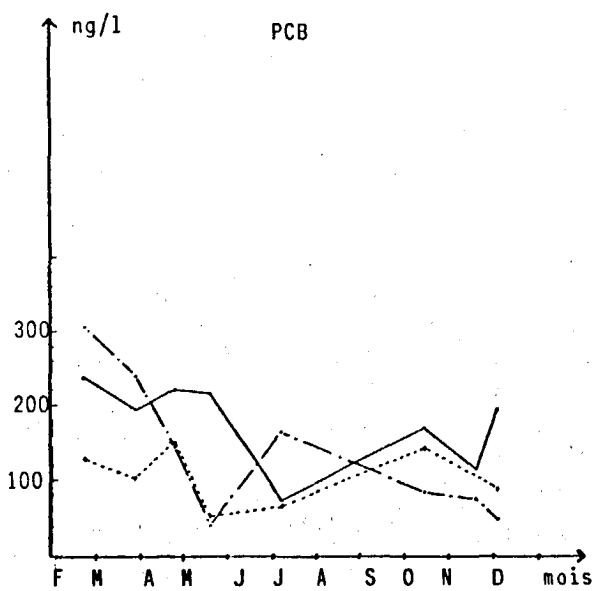
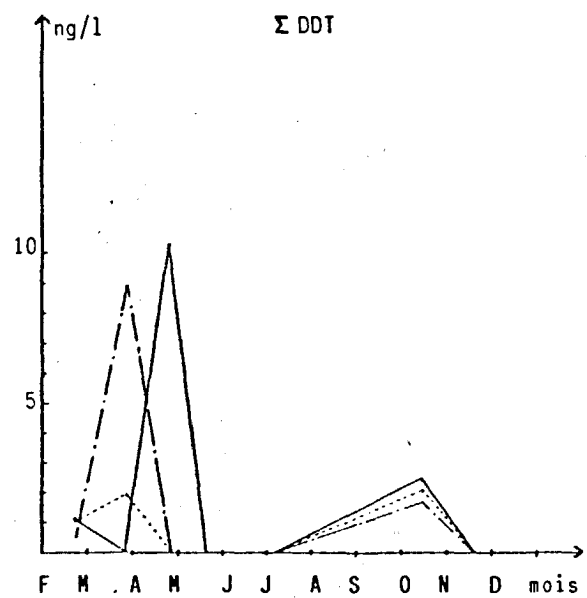
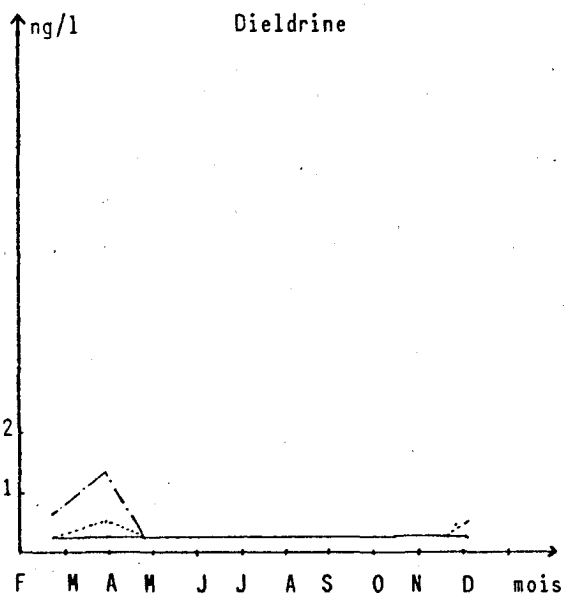
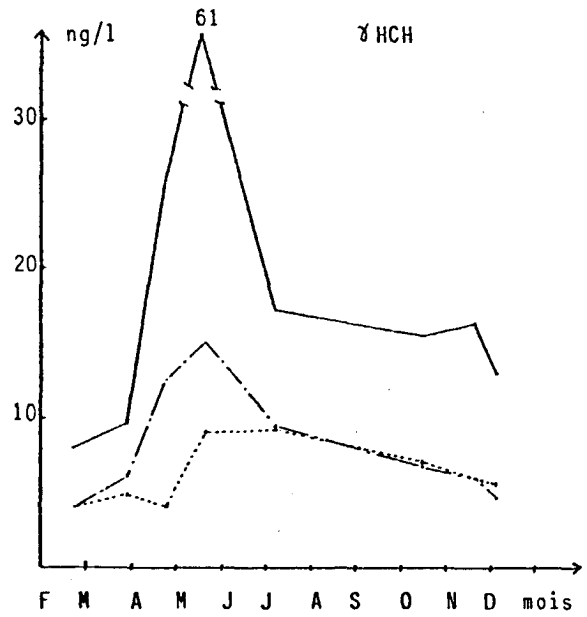
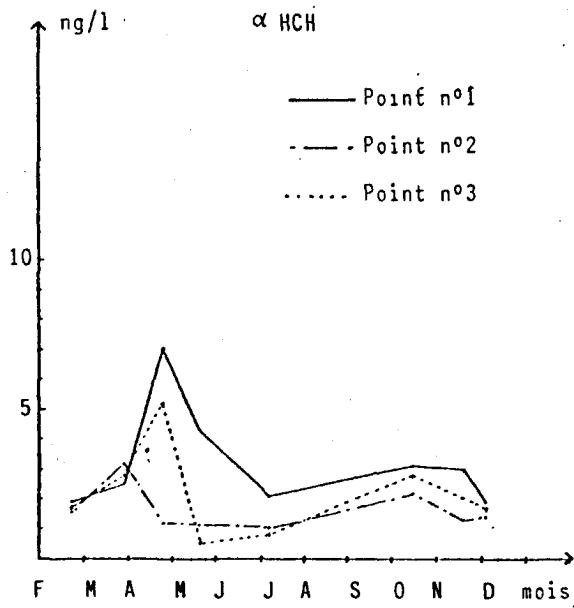
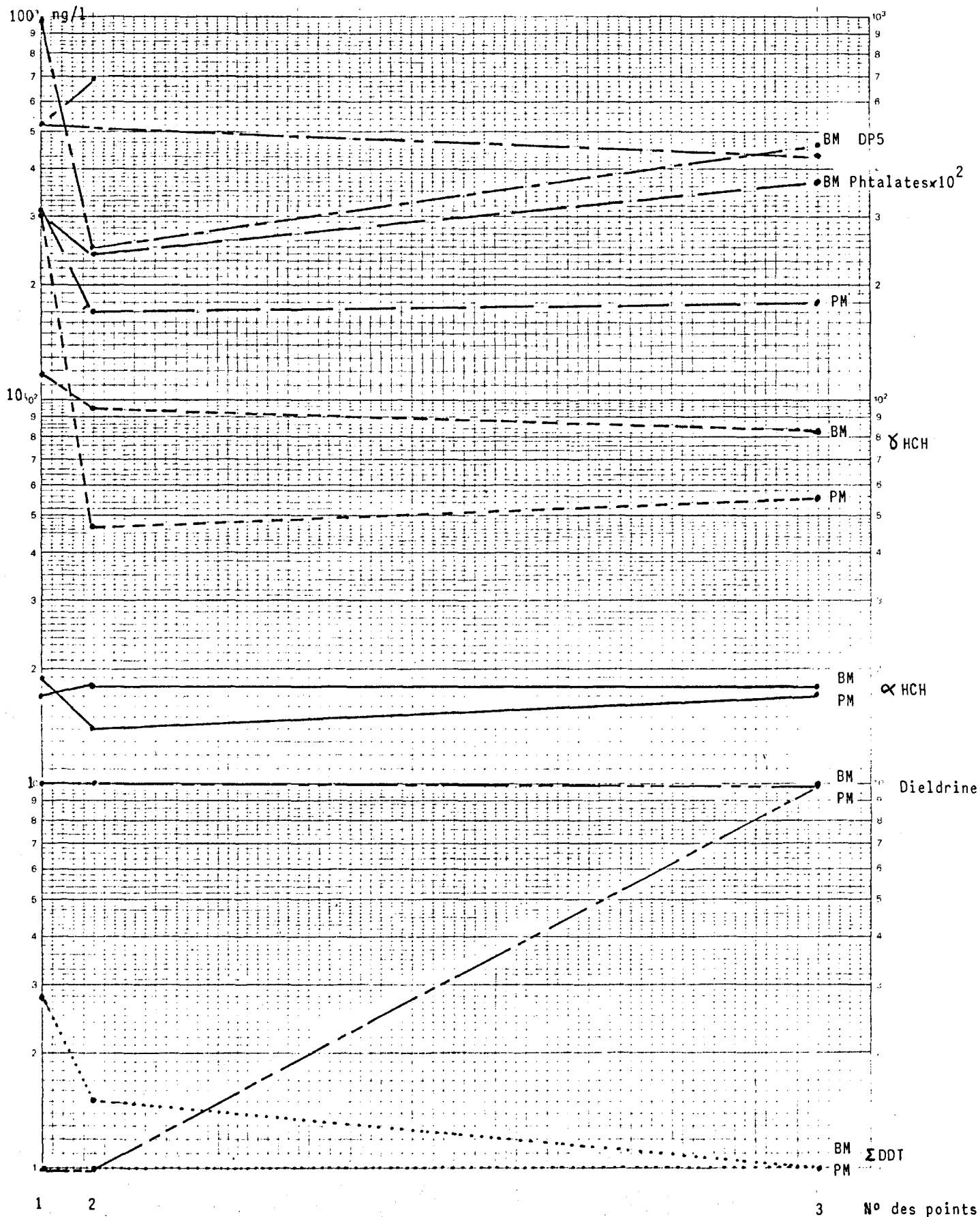


Figure 17

ESTUAIRE DE LA SOMME

Campagne double du 03 - 12 - 1982
Pesticides - Plastifiants



IV-V FLUX DE POLLUTION DES ESTUAIRES

A partir des concentrations de polluants et des débits des quatre estuaires étudiés, les flux de pollution ont été calculés pour chaque mois puis sommés pour obtenir les flux annuels. Les débits utilisés sont les débits moyens sur cinq années (1975-1979) (16), ceux pour l'année 1982 n'étant pas encore disponibles lors de la rédaction de cette étude.

Pour les mois où il n'y a pas eu de prélèvements, les concentrations ont du être extrapolées.

Le tableau 2 donne les flux annuels des polluants majeurs des quatre estuaires. En tonnage, la contamination la plus importante est celle du zinc (23,5 T/an au total), suivie par celles du plomb et du cuivre assez voisines (4 à 5 T/an). Le mercure n'a pratiquement jamais été détecté au seuil de la méthode analytique utilisée (0,05 µg/l). Des déterminations dix fois plus sensibles, par concentration sur fil d'or, ont été réalisées sur douze échantillons. Là encore, les concentrations en mercure des eaux restent inférieures au seuil de détection (0,005 µg/l). Le flux annuel de mercure semble donc pouvoir être estimé à moins de 0,7 kg pour l'Aa, 1,6 kg pour la Canche, 1 kg pour l'Authie et 4 kg pour la Somme (Total région : < 7,3 kg/an).

Parmi les polluants organiques, les phtalates sont majoritaires (9,2 T/an), suivis des polychlorobiphényles (0,17 T/an). Les pesticides ont des flux très faibles (< 1 kg/an) sauf pour le DDT et ses métabolites (≈ 5 kg/an), très rémanents et autrefois très utilisés, et pour les hexachlorocyclohexanes (α HCH : 5,6 et γ HCH : 32,4 kg/an) encore utilisés (lindane).

Pour les hydrocarbures totaux, seules quatre valeurs positives ont été enregistrées, sur environ 120 analyses, aucune n'exédant 0,1 mg/l. La contamination est faible quand on la compare à celle d'autres estuaires (Seine, Gironde,...) où des valeurs positives sont retrouvées plus systématiquement.

Le manque de sensibilité des techniques normalisées (infrarouge) conduit à une estimation très élevée du flux maximum (37 T/an), le flux réel étant vraisemblablement très inférieur.

Afin d'apprécier l'importance des apports de chacun des estuaires, leurs flux estimés ont été comparés aux flux calculés à partir du flux régional, au prorata des débits.

Le tableau 3 montre les écarts (%) entre ces deux flux, un écart positif indiquant un excès du polluant considéré par rapport à la moyenne régionale. On constate :

- pour l'Aa : un apport plus important de plomb et de pesticides (α, γ HCH, DDT)
- pour la Canche : des apports plutôt faibles de métaux (cadmium excepté : (+ 10 %) mais plutôt élevés en DDT, PCB et phtalates, polluants qui avaient déjà été remarqués dans les mollusques et sédiments de la zone (1,2,3).

*debit
PNO
debits 82*

- Pour l'Authie : un très important apport de cadmium (+ 168 %), déjà noté comme contaminant des mollusques (3). Les autres polluants, et en particulier les pesticides, donnent des flux plutôt faibles.
- pour la Somme : les apports sont moyens, excepté celui du cadmium (-48 %), mais il faut remarquer que des quatre estuaires, la Somme apporte la moitié des quantités d'eau douces à la mer et donc pèse fortement sur la moyenne régionale.

TABLEAU 2 : Estimation des flux de polluants en kg/an

*Métaux lourds
cyclohexane
hexane*

Lindane

*Dichlorodiphényl
trichlorobenzène*

*Dichloro-
biphenyles*

*Polychloro-
biphenyles
industriels
plastiques*

	Zn	Cd	Pb	Cu	α HCH	γ HCH	Σ DDT	PCB	Phtalates
Aa	2400	50	700	450	0,9	4,1	0,6	19	830
Canche	4100	110	930	750	1,3	6,7	1,6	41	2670
Authie	3200	170	570	950	0,9	3,4	0,3	20	730
Somme	13800	130	2770	2200	2,5	18,2	2,4	87	4970
Total	23500	460	4970	4350	5,6	32,4	4,9	167	9200

TABLEAU 3 : Apports relatifs des fleuves par rapport à la moyenne régionale

	Zn	Cd	Pb	Cu	α HCH	δ HCH	Σ DDT	PCB	Phtalates
Aa	+ 4,1	+ 11,2	+ 43,9	+ 5,1	+ 63,3	+ 29,6	+ 24,5	+ 16,3	- 8,2
Canche	- 19,8	+ 10,1	- 13,8	- 20,7	+ 6,9	- 4,6	+ 50,7	+ 13,4	+ 33,6
Authie	- 1,4	+ 168	- 16,7	+ 58	+ 16,7	- 23,9	- 55,8	- 13	- 42,8
Somme	+ 7,3	- 48,3	+ 1,8	- 7,5	- 18,5	+ 2,7	- 10,4	- 4,2	- 1,3

IV - V C O N C L U S I O N S

Les apports de métaux lourds dans les quatre estuaires étudiés dans la région (Aa, Canche, Authie et Somme) apparaissent relativement faibles. Une estimation des flux annuels donne les valeurs suivantes : Zn : 23,5 T, Cd : 0,5 T, Pb : 5 T, Cu : 4,4 T, Hg < 10 kg.

Parmi les micropolluants organiques, les phtalates sont majoritaires (9,2 T/an), suivis des polychlorobiphényles (~ 0,2 T/an). Les flux de pesticides sont très faibles, le plus important étant celui du lindane (32 kg/an), seul pesticide organo-chloré encore utilisé.

Excepté pour le plomb, les apports des estuaires seraient donc du même ordre de grandeur que les apports atmosphériques rapportés pour la région (17) : Zn : 54 T, Cd : 1 T, Pb : 50 T, Cu : 6 T. Ils sont par contre beaucoup plus faibles, d'un facteur 25 à 100, que les apports dûs aux opérations de dragage des ports et au rejet des vases draguées en mer : Zn : 1095 T, Cd : 3,2 T, Pb : 531 T, Cu : 112 T.

On ne constate pas de grosses différences entre les concentrations des quatre estuaires étudiés : les apports sont, en première approximation, proportionnels aux débits. Ainsi la Somme apporte autant que les trois autres. Toutefois, quelques particularités peuvent être notées : l'Aa apparaît plus chargée en plomb et en pesticides (HCH, DDT), la Canche en cadmium et surtout en pesticides (DDT), P.C.B et phtalates, l'Authie en cuivre et cadmium.

Des variations saisonnières sont observées, avec des concentrations maximales à la fin du printemps et en été d'une part, au début de l'hiver d'autre part. L'Aa échappe à cette règle vraisemblablement à cause de la régulation du débit par des écluses qui favorise la sédimentation des micropolluants liés aux matières en suspension, essentiellement les métaux, mais ne modifie pas la concentration des micropolluants dissous (phtalates, HCH).

Une autre sédimentation intervient lors du mixage des eaux douces avec l'eau de mer, ce qui apporte une diminution des concentrations des eaux en métaux mais, au contraire, un enrichissement du sédiment. Ceci est confirmé par les analyses de sédiments (1,2) et de mollusques (3) qui montrent une forte contamination localisée dans l'estuaire même, alors que la contamination est moins perceptible dès que l'on s'éloigne de l'embouchure, les polluants non floculés étant dispersés dans des volumes d'eau de mer très importants. La forme d'existence d'un polluant semble ainsi conditionner son devenir dans le milieu marin.

B I B L I O G R A P H I E

- 1 - INSTITUT PASTEUR DE LILLE - 1980 -
Hydrobios 80 : Microbiologie des eaux, micropolluants des sédiments
cartes et commentaires. Monographie : 70 p.
- 2 - INSTITUT PASTEUR DE LILLE - 1982 -
Hydrobios II : Pollution chimique des sédiments du littoral du Nord
de la France. Monographie (à paraître)
- 3 - INSTITUT PASTEUR DE LILLE - 1982 -
Mollusques 82 : Pollution chimique des moules et coques du littoral
Nord de la France. Monographie : 93 p.
- 4 - L'HOPITAULT, J.C., PHILIPPO, A., POMMERY, J., THOMAS, P., ERB, F., - 1981 -
Evolution d'une eau de surface au cours des traitements de potabili-
sation. Comportement des espèces métalliques au contact des matières
humiques
J. Fr. d'Hydro. ; 12 ; (34) : 7-28
- 5 - GEYER, R.A., - 1981 -
Mar. Environ. Poll., t II ; Elsevier, Amsterdam : 574 p.
- 6 - OLAUSSON, E., CATO, I., - 1980 -
Chemistry and biogeochemistry of estuaries, John Wiley and Son,
Chichester : 452 p.
- 7 - FORSTNER, V., WITTMANN, G.T., - 1981 -
Metal pollution in the aquatic environment, 2e édition, Springer-Verlag,
Berlin : 486 p.
- 8 - MARTIN, J.M., - 1980 -
Cycle des éléments chimiques dans les estuaires
Oceanis ; 5 : 517-520
- 9 - D'JINKER, J.C., HILLEBRAND, M.T.J., NOLTING, R.F., WELLERSHAUS, S., KINGO
JACOBSEN, N., - 1980 -
The river Varde A : Processes affecting the behaviour of metals and
organochlorines during estuarine mixing.
Netherlands J. Sea Res. ; 14, (3) : 237-267

- 10 - DJINKER, J.C., HILLEBRAND, M.T.J., NOLTING, R.F., WELLERSHAUS, S., - 1982 -
The river wesen : Processes affecting the behaviour of metals and organochlorines during estuarine mixing
Netherlands J. Sea Res. ; 15 (2) : 170-195
- 11 - DJINKER, J.C., HILLEBRAND, M.T.J., NOLTING, R.F., WELLERSHAUS, S., - 1982 -
The river Elbe : Processes affecting the behaviour of metals and organochlorines during estuarine mixing.
Netherlands J. Sea Res. ; 15 (2) : 141-169
- 12 - C.N.E.X.O.,
Manuel des méthodes de prélèvements et d'analyses, t 2 ; 101 p.
- 13 - COURAU, P.,
Analyse du mercure minéral dans l'eau de mer par absorption atomique sans flamme
Additif au Manuel des méthodes de prélèvements et d'analyses, CNEXO.
- 14 - HART, B.T., DAVIES, S.H.R., - 1978 -
A study of the physico-chemical forms of trace metals in natural waters and waste-waters
Australian Government Publishing Service, Canberra : 191 p.
- 15 - AFNOR - 1979 -
Dosage des hydrocarbures totaux - Norme française T 90-203
- 16 - CNEXO - 1981 -
Synthèse des travaux de surveillance 1975-1979 du R.N.O : 358 p.
- 17 - WARTEL, M., - 1982 -
Apports atmosphériques. Monographie : 36 p.
- 18 - INSTITUT PASTEUR DE LILLE - 1983 -
Dragages 82 - Influence du dragage des ports sur la pollution marine dans la région Nord-Pas-de-Calais. Monographie : 133 p.

ANNEXE 1

ESTUAIRE DE L'AA

Métaux

Concentrations exprimées en µg/l

N° STATION	Date/heure	Marée	Zn	Cd	Pb	Cu	Hg
1	11-2/15 H 50		14,6	0,20	2,62	1,04	0,05
2	11-2/15 H 00	PM : 15 H 18	7,9	0,24	6,39	3,27	0,06
3	11-2/14 H 30	C : 96	7,1	0,17	2,97	4,09	0,06
1 *	5-3/11 H 30		21	0,22	3,89	1,22	< 0,05
2 *	5-3/10 H 00	PM : 8 H 39	20	0,22	3,33	0,80	< 0,05
3 *	5-3/ 9 H 00	C : 48	24,5	0,28	5,47	0,53	< 0,05
1	5-3/14 H 45		13,5	0,25	2,83	0,77	< 0,05
2	5-3/16 H 10	PM : 8 H 39	7,4	< 0,10	0,75	1,22	< 0,05
3	5-3/15 H 45	C : 48	6,7	< 0,10	1,05	2,14	< 0,05
1	7-4/13 H 30		12,3	< 0,10	1,58	1,90	< 0,05
2	7-4/12 H 00	PM : 13 H 41	4,0	0,17	2,23	0,40	< 0,05
3	7-4/11 H 20	C : 88	22,5	0,14	8,52	2,11	< 0,05
1	7-5/12 H 32		5,4	0,18	1,97	0,71	< 0,05
2	7-5/14 H 25	PM : 13 H 51	4,5	< 0,10	1,02	0,60	0,08
3	7-5/13 H 50	C : 86	6,8	< 0,10	0,80	0,57	0,07
1	20-7/14 H 15		8,3	0,36	3,16	0,88	< 0,05
2	20-7/13 H 00	PM : 13 H 25	4,0	< 0,10	1,57	0,36	< 0,05
3	20-7/12 H 35	C : 89	4,3	< 0,10	1,25	0,27	< 0,05
1	6-8/15 H 45		10,6	< 0,10	3,02	0,85	< 0,05
2	6-8/14 H 40	PM : 15 H 09	7,0	< 0,10	3,33	1,38	< 0,05
3	6-8/14 H 10	C : 80	3,2	< 0,10	1,29	1,75	< 0,05
1	14-9/10 H 45		11,8	0,98	5,00	1,80	< 0,05
2	14-9/10 H 05	PM : 11 H 12	4,6	0,11	2,22	1,14	< 0,05
3	14-9/ 9 H 45	C : 59	6,2	0,39	3,54	1,33	< 0,05
1	11-10/ 8 H 55		21,1	< 0,10	3,50	1,20	< 0,05
2	11-10/ 7 H 55	PM : 7 H 02	12,5	0,10	3,70	2,34	< 0,05
3	11-10/ 7 H 30	C : 45	12,2	< 0,10	2,68	2,02	< 0,05
1	15-11/15 H 00		34	0,83	6,75	9,52	< 0,05
2	15-11/14 H 05	PM : 12 H 49	11,2	0,12	2,94	1,98	< 0,05
3	15-11/13 H 45	C : 89	7,3	0,11	3,75	2,17	< 0,05

PM : Heure + 1 de la Pleine Mer à Boulogne

C : Coefficient de la marée

* : Prélèvements effectués à Basse Mer

ANNEXE 2

ESTUAIRE DE L'AA

Pesticides et plastifiants

Concentrations exprimées en ng/l

N°	Date.	HCB	α HCH	β HCH	γ HCH	δ HCH	H	HE	A	D	PCB
1	11-2	0,9	2,1	4,0	16,8	1,0	-	-	-	-	96
2	11-2	-	1,7	1,5	6,8	-	-	-	-	2,4	43
3	11-2	1,2	1,8	0,8	9,0	-	-	-	-	1,9	102
1	5-3	0,8	22,4	1,6	9,6	-	-	-	-	-	42
2	5-3	0,6	5,0	-	4,0	-	-	-	-	-	48
3	5-3	1,4	8,7	1,0	5,5	-	-	-	-	-	47
1*	5-3	0,7	1,7	2,5	14,3	1,5	-	-	-	-	49
2*	5-3	1,8	7,2	2,0	19,9	-	-	-	-	1,1	80
3*	5-3	1,9	1,0	1,4	13,0	-	-	-	0,6	1,1	79
1	7-4	0,7	5,8	-	14,3	-	-	-	-	-	49
2	7-4	1,5	2,2	1,7	18,9	2,0	-	-	-	-	126
3	7-4	1,1	3,5	1,1	7,9	1,0	-	-	-	-	104
1	7-5	8,1	3,2	3,5	35,4	-	-	-	-	-	415
2	7-5	2,8	4,5	1,7	18,9	-	-	-	-	-	284
3	7-5	7,0	2,9	7,0	15,1	-	-	-	-	-	106
1	20-7	1,4	2,2	1,0	23,0	-	-	0,5	-	-	125
2	20-7	0,8	2,5	6,3	7,6	-	-	0,5	-	-	-
3	20-7	0,8	6,6	1,0	5,6	-	0,7	0,5	-	-	45
1	6-8	0,8	3,4	2,9	21,7	2,6	-	-	-	1,0	-
2	6-8	0,8	3,3	2,5	22,0	-	-	-	-	1,8	62
3	6-8	0,5	2,3	-	6,2	-	-	-	-	1,2	104
1	14-9	0,6	5,3	-	30,4	-	1,6	-	-	1,5	35
2	14-9	0,9	3,7	2,2	62,2	-	3,5	0,7	-	1,3	56
3	14-9	0,6	2,0	1,6	7,1	-	-	-	-	-	20
1	11-10	-	0,6	-	7,7	-	-	-	-	-	34
2	11-10	-	3,8	-	16,2	-	-	-	-	-	53
3	11-10	-	4,0	-	19,5	4,5	-	-	-	-	42
1	15-11	-	6,9	-	54,3	-	-	-	-	-	80
2	15-11	-	6,0	-	45,2	-	-	-	-	-	44
3	15-11	-	1,6	-	17,5	-	-	-	-	-	20
Seuil		0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0	20

HCB : hexachlorobenzène
H : heptachlore
A : aldrine
PCB : polychlorobiphényles (DP5 + DP6)

HCH : hexachlorocyclohexane
HE : heptachlore époxyde
D : dieldrine

* Prélèvements effectués à Basse Mer

(-) Résultat inférieur au seuil analytique

ANNEXE 2 (suite)

ESTUAIRE DE L'AA

Pesticides, plastifiants (en ng/l)

et hydrocarbures totaux (en mg/l)

N°	PP'DDE	OP'DDD	PP'DDD	OP'DDT	PP'DDT	DMP	DEP	DBP	DMEP	DEHP	Hc
1	-	-	-	-	-	180	3240	880	-	1130	-
2	-	-	-	-	-	50	290	690	80	1280	-
3	-	-	-	-	-	100	290	690	-	1650	-
1	-	-	-	-	-	100	290	1190	170	2450	-
2	-	-	1,0	1,5	-	-	320	1220	-	1460	-
3	-	-	-	-	-	-	440	990	50	1730	-
1*	-	-	1,1	1,5	-	190	610	1600	216	1780	-
2*	-	1,5	1,3	2,2	-	110	880	1420	280	2150	-
3*	-	-	1,0	1,7	-	60	430	1420	370	1250	-
1	-	-	-	1,5	1,5	-	130	860	90	1250	-
2	-	-	-	-	-	250	290	770	-	3040	-
3	-	-	-	-	-	-	300	870	-	1580	-
1	-	2,9	2,9	3,3	3,3	270	1750	3120	-	4380	-
2	-	2,2	2,2	2,2	2,2	-	1250	2930	-	4090	-
3	-	-	-	-	1,7	-	1330	2510	-	2150	-
1	0,7	-	-	-	3,1	210	-	550	-	100	-
2	-	-	-	-	-	640	620	660	-	750	-
3	0,5	-	-	-	-	60	1970	650	-	1380	-
1	0,8	-	-	-	-	-	200	490	-	700	-
2	-	-	-	-	-	-	-	500	-	950	-
3	-	-	2,1	-	-	90	570	820	-	1160	-
1	-	-	-	-	-	1230	100	300	-	990	-
2	-	-	3,9	3,9	-	2680	-	650	-	970	-
3	-	-	-	-	-	1270	2890	460	-	1150	-
1	-	-	-	1,6	420	90	310	100	100	500	-
2	-	-	1,80	-	1300	240	640	-	-	870	-
3	-	-	1,7	-	610	270	460	-	-	920	-
1	-	-	-	-	-	520	2460	1060	-	1670	-
2	-	-	-	-	-	310	7640	960	-	1040	-
3	-	-	-	-	-	120	790	720	-	960	-
Seuil	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	50	50	50	50	50	0,05

DMP : diméthylphtalate

DEP : diéthylphtalate

Hc : hydrocarbures

DMEP : diméthoxyéthylphtalate

DEHP : di (2-éthyl hexyl) phtalate

* Prélèvements effectués à Basse Mer

ANNEXE 3

ESTUAIRE DE LA CANCHE

Métaux

Concentrations exprimées en µg/l

N° STATION	Date/Heure	Marée	Zn	Cd	Pb	Cu	Hg
1	4-2/ -		4,1	< 0,10	0,79	1,47	< 0,05
2	4-2/11 H 20	PM : 7 H 57	4,2	< 0,10	1,00	1,26	< 0,05
3	4-2/10 H 15	C : 55	7,5	< 0,10	4,16	2,21	< 0,05
1	26-3/15 H 30		4,4	0,20	1,21	1,18	< 0,05
2	26-3/14 H 10	PM : 12 H 54	2,1	< 0,10	0,63	0,44	< 0,05
3	26-3/12 H 45	C : 102	3,3	< 0,10	0,73	0,54	< 0,05
1	22-4/14 H 00		3,3	< 0,10	0,64	0,43	< 0,05
2	22-4/12 H 43	PM : 12 H 08	4,4	< 0,10	0,50	0,43	< 0,05
3	22-4/11 H 20	C : 84	3,8	< 0,10	0,71	0,60	< 0,05
1	18-5/11 H 30		16,2	0,14	5,79	2,50	< 0,05
2	18-5/ 9 H 30	PM : 8 H 49	9,3	0,15	1,85	0,83	< 0,05
3	18-5/ 9 H 00	C : 44	4,5	0,47	1,20	0,91	< 0,05
1	8-7/16 H 30		16,9	0,47	2,69	2,88	< 0,05
2	8-7/15 H 15	PM : 14 H 26	4,5	< 0,10	1,11	0,58	< 0,05
3	8-7/13 H 20	C : 74	4,2	< 0,10	1,21	0,38	< 0,05
1	16-8/12 H 00		38,0	2,19	3,33	4,67	< 0,05
2	16-8/10 H 45	PM : 10 H 15	5,0	0,11	2,73	1,03	< 0,05
3	16-8/10 H 00	C : 62	2,3	< 0,10	1,50	0,74	< 0,05
1	30-9/10 H 51		5,4	< 0,10	0,98	1,11	< 0,05
2	30-9/10 H 00	PM : 10 H 32	6,3	0,11	3,17	1,32	< 0,05
3	30-9/ 9 H 35	C : 61	4,1	< 0,10	2,33	1,35	< 0,05
1	5-11/15 H 15		5,8	< 0,10	1,59	1,20	< 0,05
2	5-11/14 H 40	PM : 14 H 23	6,9	< 0,10	0,92	2,83	< 0,05
3	5-11/14 H 10	C : 89	8,5	0,10	1,52	1,29	< 0,05
1	2-12/14 H 30		34	0,58	2,03	5,23	< 0,05
2	2-12/13 H 00	PM : 12 H 42	6,4	0,25	3,16	1,40	< 0,05
3	2-12/12 H 20	C : 102	7,7	0,14	1,72	1,28	< 0,05

PM : Heure de la Pleine Mer à Boulogne sur mer
C : Coefficient de la marée

ANNEXE 4

ESTUAIRE DE LA CANCHE

Pesticides et plastifiants

Concentrations exprimées en ng/l

N°	Date	HCB	α HCH	β HCH	γ HCH	δ HCH	H	HE	A	D	PCB
1	4-2	0,8	1,7	12,8	5,3	-	1,0	2,2	-	-	71
2	4-2	1,4	2,0	12,1	7,1	-	-	4,7	-	-	121
3	4-2	0,7	2,8	12,0	7,3	-	-	3,6	-	-	85
1	26-3	0,5	0,5	1,0	12,2	-	-	-	-	-	-
2	26-3	-	0,9	-	2,4	-	-	-	-	-	20
3	26-3	0,5	1,6	-	3,3	-	-	-	-	-	45
1	22-4	0,7	1,2	1,5	18,3	2,3	-	-	-	1,5	120
2	22-4	0,8	9,2	1,5	3,4	2,3	-	-	-	-	102
3	22-4	1,0	11,4	1,8	3,9	2,6	-	-	-	-	103
1	18-5	2,8	3,2	2,6	61,1	5,0	-	-	-	-	157
2	18-5	5,6	3,2	-	67,6	-	-	-	-	-	246
3	18-5	2,1	6,8	17,4	31,4	-	-	-	-	-	304
1	8-7	0,7	0,9	4,1	7,9	-	0,5	-	11,4	1,0	44
2	8-7	2,2	2,0	1,0	14,8	-	-	1,8	-	-	37
3	8-7	1,0	2,3	1,0	0,5	-	0,5	-	8,2	-	34
1	16-8	1,4	1,8	0,6	11,5	-	-	0,5	-	1,1	83
2	16-8	2,9	8,2	6,0	33,9	-	5,9	3,4	-	2,6	470
3	16-8	0,6	3,5	2,3	9,8	-	0,8	1,1	-	1,0	119
1	30-9	1,1	1,7	-	8,2	-	-	-	-	1,0	-
2	30-9	1,0	2,6	-	16,6	-	-	-	-	-	-
3	30-9	1,4	3,1	-	14,1	-	-	-	-	-	-
1	5-11	-	0,6	-	5,2	-	-	-	-	-	46
2	5-11	-	2,7	-	8,0	-	-	-	-	-	85
3	5-11	-	2,6	-	7,3	-	-	-	-	-	42
1	2-12	0,6	-	-	16,3	-	-	-	-	-	83
2	2-12	-	2,8	-	9,5	-	-	-	-	-	80
3	2-12	-	2,7	-	5,8	-	-	-	-	-	37

HCB : hexachlorobenzène
H : heptachlore
A : aldrine
PCB : polychlorobiphényles (DP5 + DP6)

HCH : hexachlorocyclohexane
HE : heptachlore époxyde
D : dieldrine

(-) Résultat inférieur au seuil analytique

ANNEXE 4 (suite)

ESTUAIRE DE LA CANCHE

Pesticides et plastifiants (en ng/l)

et hydrocarbures totaux (en mg/l)

N°	PP'DDE	OP'DDD	PPP'DDD	OP'DDT	PP'DDT	DMP	DEP	DBP	DMEP	DEHP	Hc
1	-	-	-	-	-	230	2580	750	40	960	-
2	-	-	-	-	-	980	4120	710	130	1060	-
3	-	-	-	-	-	210	2850	690	120	930	-
1	-	-	-	-	-	-	300	510	-	2460	-
2	-	-	-	-	-	-	170	550	-	1080	-
3	-	-	-	-	-	-	250	920	-	1430	-
1	-	-	-	1,7	-	60	540	1230	-	3020	-
2	-	-	-	1,5	-	60	2390	990	-	2870	-
3	-	-	-	1,5	-	-	2580	1850	-	2500	-
1	-	-	1,6	-	-	-	2750	3120	-	4000	-
2	-	3,7	4,8	4,4	-	-	2670	3440	-	6230	-
3	-	1,5	11,2	13,3	1,7	-	2670	3720	-	4390	-
1	0,5	-	-	-	-	-	1030	1230	-	1150	-
2	-	-	-	-	-	60	8830	1340	-	1340	-
3	-	-	-	-	-	110	11640	10000	-	101	-
1	-	-	-	-	1,5	2060	2470	990	-	2100	-
2	-	-	-	-	-	-	740	2300	-	3910	-
3	-	-	-	-	-	260	1570	640	-	1350	-
1	-	-	-	-	-	290	150	660	-	1540	-
2	-	-	2,6	2,6	-	640	190	720	-	750	-
3	-	-	-	-	-	1160	200	910	-	870	-
1	-	-	-	-	-	220	200	620	-	1000	-
2	-	-	1,5	2,4	1,77	1040	170	920	-	2220	-
3	-	-	-	-	2,1	510	170	850	-	1880	-
1	-	-	-	-	-	290	490	1380	-	2310	-
2	-	-	-	-	-	140	280	1440	-	1570	-
3	-	-	-	-	-	190	250	910	-	1030	-

DMP : diméthylphtalate
 DEP : diéthylphtalate
 Hc : hydrocarbures

DMEP : diméthoxyéthylphtalate
 DEHP : di (2-éthyl hexyl) phtalate

(-) Résultat inférieur au seuil analytique

ANNEXE 5

ESTUAIRE DE L'AUTHIE

Métaux

Concentrations exprimées en µg/l

N° STATION	Date/Heure	Marée	Zn	Cd	Pb	Cu	Hg
1	21-2/12 H 15		7,9	0,87	2,29	1,29	< 0,05
2	21-2/11 H 10	PM : 10 H 51	8,8	0,52	2,11	0,76	< 0,05
3	21-2/10 H 40	C : 57	7,0	0,51	2,21	1,36	< 0,05
1	25-3/14 H 45		5,8	0,41	0,91	0,65	< 0,05
2	25-3/12 H 55	PM : 12 H 19	4,2	0,22	1,34	1,20	< 0,05
3	25-3/12 H 05	C : 94	3,6	< 0,10	1,03	0,88	< 0,05
1	23-4/14 H 15		2,2	0,10	1,38	0,87	< 0,05
2	23-4/13 H 15	PM : 12 H 47	4,1	0,11	1,67	0,98	< 0,05
3	23-4/12 H 35	C : 97	4,0	< 0,10	0,47	0,47	< 0,05
1	21-5/12 H 50		4,5	0,47	1,20	0,91	< 0,05
2	21-5/11 H 45	PM : 11 H 31	3,4	0,38	0,89	0,68	< 0,05
3	21-5/11 H 30	C : 83	6,0	0,11	1,17	0,37	< 0,05
1	7-7/15 H 10		11,6	1,86	4,55	24,0	< 0,05
2	7-7/14 H 10	PM : 13 H 52	5,9	0,19	1,72	0,43	< 0,05
3	7-7/13 H 10	C : 74	3,5	< 0,10	1,54	0,63	0,05
1	17-8/12 H 00		70	1,58	4,42	7,02	0,07
2	17-8/11 H 05	PM : 11 H 21	6,3	0,11	2,59	1,41	< 0,05
3	17-8/10 H 45	C : 74	6,5	0,24	2,64	1,15	< 0,05
1	13-10/10 H 15		7,0	0,44	1,81	1,66	< 0,05
2	13-10/ 9 H 10	PM : 9 H 07	9,8	0,32	2,08	2,19	< 0,05
3	13-10/ 8 H 30	C : 59	4,4	0,18	3,41	1,67	< 0,05
1	17-11/13 H 45		36	1,82	6,41	3,26	< 0,05
2	17-11/12 H 45		7,0	0,15	3,21	1,43	< 0,05
3	17-11/12 H 25		5,4	0,10	3,58	2,63	< 0,05
1	6-12/16 H 35		15	0,58	2,03	5,23	< 0,05
2	6-12/15 H 49	PM : 12 H 58	6,4	0,25	3,16	1,40	< 0,05
3	6-12/15 H 28	C : 68	7,7	0,14	1,72	1,28	< 0,05

PM : Heure de la Pleine Mer à Boulogne sur mer
C : Coefficient de la marée.

A N N E X E 6
ESTUAIRE DE L'AUTHIE
Pesticides et plastifiants
Concentrations exprimées en ng/l

N°	Date	HCB	α HCH	β HCH	γ HCH	δ HCH	H	HE	A	D	PCB
1	21-2	0,7	1,0	1,2	7,1	-	-	-	-	-	119
2	21-2	0,9	1,2	1,2	8,9	-	-	-	-	-	97
3	21-2	1,0	1,9	0,9	6,6	-	-	1,0	-	-	186
1	25-3	-	6,3	-	3,1	-	-	-	-	-	31
2	25-3	-	5,5	-	4,8	-	-	-	-	-	-
3	25-3	-	1,5	-	3,0	-	-	-	-	-	-
1	23-4	0,7	1,3	1,8	28,3	4,0	-	-	-	-	125
2	23-4	0,6	1,1	1,9	8,8	3,5	-	-	-	-	162
3	23-4	0,7	17,1	2,6	5,4	3,2	-	-	-	-	144
1	21-5	-	0,5	1,0	17,04	-	-	-	-	-	81
2	21-5	-	-	-	0,50	-	-	-	-	-	-
3	21-5	-	-	-	3,92	-	-	-	-	-	20
1	7-7	0,5	-	-	7,0	1,1	-	-	-	-	32
2	7-7	-	-	-	15,45	-	-	-	-	-	39
3	7-7	-	0,9	-	4,39	1,0	-	-	-	-	-
1	17-8	0,6	1,7	-	13,3	-	-	0,5	-	-	76
2	17-8	0,6	2,2	-	7,7	-	-	0,5	-	-	76
3	17-8	-	0,7	-	1,9	-	-	-	-	-	20
1	13-10	-	0,8	-	3,5	-	-	-	-	-	-
2	13-10	1,9	7,0	-	24,7	-	-	-	-	1,5	150
3	13-10	-	2,0	-	7,6	-	-	-	-	-	-
1	17-11	0,5	4,3	-	31,5	-	-	-	-	1,0	132
2	17-11	-	2,1	-	10,1	-	-	-	-	-	29
3	17-11	-	1,2	-	4,0	-	-	-	-	-	41
1	6-12	-	1,9	-	31,4	-	-	-	-	-	47
2	6-12	-	4,0	-	3,0	-	-	-	-	-	27
3	6-12	-	2,7	-	8,1	-	-	-	-	-	44

HCB : hexachlorobenzène
H : heptachlore
A : aldrine

HCH : hexachlorocyclohexane
HE : heptachlore époxyde
D : dieldrine

(-) Résultat inférieur au seuil analytique

ANNEXE 6 (suite)

ESTUAIRE DE L'AUTHIE

Pesticides, plastifiants (en ng/l)

et hydrocarbures totaux (en mg/l)

N°	PP'DDE	OP'DDD	PP'DDD	OP'DDT	PP'DDT	DMP	DEP	DBP	DMEP	DEHP	Hc
1	-	-	-	-	-	-	270	720	50	670	-
2	-	-	-	-	-	-	300	860	100	800	-
3	-	-	-	-	-	70	290	760	90	1120	-
1	-	-	1,5	-	-	-	170	840	-	3710	-
2	-	-	-	-	-	-	180	700	-	2410	-
3	-	-	-	-	-	-	80	1230	-	1710	-
1	-	-	-	2,2	-	60	480	1240	-	2890	0,06
2	-	-	-	-	-	20	800	1170	-	1340	0,07
3	-	-	-	2,3	-	80	740	1300	50	3330	-
1	-	-	-	-	-	-	1330	1220	-	730	-
2	-	-	-	-	-	-	-	230	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	1660	500	-	420	-
1	-	-	-	-	-	-	310	810	-	1000	-
2	-	-	-	-	-	-	2720	810	-	750	-
3	-	-	-	-	-	-	1670	830	-	530	-
1	-	-	3,6	3,6	-	110	-	690	-	1300	-
2	-	-	3,2	3,2	-	1260	1890	650	-	1160	-
3	-	-	-	1,7	-	-	150	700	50	330	-
1	-	-	-	-	-	200	50	220	-	240	-
2	-	-	-	-	-	540	270	930	-	1240	-
3	-	-	1,5	1,5	-	430	80	510	-	620	-
1	-	-	-	-	-	250	410	920	-	1190	-
2	-	-	-	-	-	320	40	110	-	780	-
3	-	-	-	-	-	280	140	550	-	1020	-
1	-	-	-	-	-	390	410	1190	-	2330	-
2	-	-	-	-	-	-	190	900	-	1280	-
3	-	-	-	-	-	760	570	970	-	1080	-

DMP : diméthylphthalate
 DEP : diéthylphthalate
 Hc : hydrocarbures

DMEP : diméthoxyéthylphthalate
 DEHP : di (2-éthyl hexyl) phthalate

(-) Résultat inférieur au seuil analytique

ANNEXE 7

ESTUAIRE DE LA SOMME

Métaux

Concentrations exprimées en µg/l

N° STATION	Date/Heure	Marée	Zn	Cd	Pb	Cu	Hg
1	22-2/11 H 40	P	8,8	< 0,10	1,63	1,67	< 0,05
2	22-2/12 H 05	PM : 11 H 33	5,8	< 0,10	1,32	3,28	< 0,05
3	22-2/11 H 00	C : 69	5,8	< 0,10	1,63	2,41	< 0,05
1	27-3/12 H 10		9,2	< 0,10	1,78	0,69	< 0,05
2	27-3/13 H 00	PM : 13 H 29	8,7	0,11	1,15	0,73	< 0,05
3	27-3/14 H 05	C : 106	7,8	< 0,10	2,13	0,82	< 0,05
1	21-4/11 H 45		12,0	< 0,10	1,37	1,37	< 0,05
2	21-4/13 H 00	PM : 11 H 28	8,5	0,11	0,67	0,67	< 0,05
3	21-4/11 H 05	C : 69	9,0	0,12	3,44	0,77	< 0,05
1	19-5/ 9 H 55		17,4	0,10	5,96	4,32	< 0,05
2	19-5/10 H 25	PM : 9 H 55	5,8	< 0,10	0,67	0,78	< 0,05
3	19-5/ 9 H 35	C : 55	11,9	0,25	1,92	0,63	< 0,05
1	6-7/13 H 35		7,0	< 0,10	3,10	0,76	< 0,05
2	6-7/14 H 20	PM : 13 H 16	11,0	< 0,10	2,20	0,80	< 0,05
3	6-7/12 H 40	C : 72	5,4	< 0,10	1,70	0,50	< 0,05
1	14-10/10 H 40		32	< 0,10	2,13	1,43	< 0,05
2	14-10/ 8 H 50	PM : 10 H 06	4,0	< 0,10	2,02	2,06	< 0,05
3	14-10/ 9 H 30	C : 73	6,9	0,11	3,08	2,06	< 0,05
1 *	18-11/10 H 20		42	0,38	7,30	7,00	< 0,05
2 *	18-11/ 9 H 10	PM : 13 H 30	19	0,20	3,20	3,13	< 0,05
3 *	18-11/ 9 H 45	C : 81	32	0,46	7,00	3,80	< 0,05
1	18-11/13 H 35		23,0	0,21	8,60	3,75	< 0,05
2	18-11/13 H 00	PM : 13 H 30	5,6	0,22	5,96	2,88	< 0,05
3 **		C : 81					
1 *	3-12/ 9 H 30		17,5	0,19	2,39	2,00	< 0,05
2 *	3-12/ 8 H 30	PM : 13 H 26	47	0,84	2,71	4,00	< 0,05
3 *	3-12/ 9 H 05	C : 99	14,5	0,49	2,16	1,86	< 0,05
1	3-12/12 H 35		6,8	0,10	1,88	2,00	< 0,05
2	3-12/13 H 00	PM : 13 H 26	5,7	< 0,10	1,30	1,11	< 0,05
3	3-12/11 H 45	C : 99	11,3	0,21	3,10	1,75	< 0,05

PM : Heure de la Pleine Mer à Boulogne sur Mer

C : Coefficient de la marée

* : Prélèvements effectués à Basse Mer

** : Pas d'échantillon (Mer trop agitée)

ANNEXE 8

ESTUAIRE DE LA SOMME

Pesticides et plastifiants

Concentrations exprimées en ng/l

N°	Date	HCB	α HCH	β HCH	γ HCH	δ HCH	H	HE	A	D	PCB
1	22-2	0,5	1,9	1,2	8,0	-	0,6	-	-	-	119
2	22-2	1,1	1,5	-	4,0	-	0,8	0,7	-	1,3	153
3	22-2	-	1,7	1,0	4,0	-	-	1,0	-	-	65
1	27-3	0,7	2,5	1,1	9,7	1,1	-	-	-	-	97
2	27-3	1,5	3,2	1,0	6,0	-	-	-	-	2,6	120
3	27-3	0,5	2,8	1,1	4,9	-	-	-	-	1,0	52
1	21-4	0,7	7	2,3	26,4	9,4	-	-	-	-	111
2	21-4	0,5	1,2	1,0	12,5	1,3	-	-	-	-	73
3	21-4	0,6	5,2	1,0	4,1	2,0	-	-	-	-	75
1	19-5	1,7	4,3	-	61,3	14,7	-	-	-	-	109
2	19-5	3,1	1,1	-	15,0	-	-	-	-	-	21
3	19-5	-	-	-	9,0	-	-	-	-	-	26
1	6-7	0,5	2,1	1,6	17,3	2,8	-	-	-	-	37
2	6-7	0,7	1,0	-	9,5	5,4	-	0,5	-	-	83
3	6-7	0,8	0,8	2,6	9,3	4,3	-	-	-	-	33
1	14-10	0,6	3,1	-	15,5	4,0	-	-	-	-	86
2	14-10	-	2,2	-	6,8	3,6	-	-	-	-	43
3	14-10	0,5	2,8	-	7,1	5,9	-	-	-	-	72
1*	18-11	-	2,3	-	24,3	-	-	-	-	-	40
2*	18-11	-	3,9	-	26,4	-	-	-	-	-	102
3*	18-11	0,7	3,7	-	32,5	1,0	-	-	-	-	63
1	18-11	0,5	3,0	-	16,4	1,0	-	-	-	-	58
2	18-11	-	1,3	-	6,0	-	-	-	-	-	38
3**											
1*	3-12	-	1,7	-	11,8	1,9	0,5	-	-	1,0	52
2*	3-12	0,7	1,8	-	9,6	-	0,5	-	-	1,0	69
3*	3-12	-	1,8	-	8,4	-	-	-	-	1,0	43
1	3-12	-	1,9	-	13,0	1,0	-	-	-	-	98
2	3-12	0,5	1,4	-	4,7	-	-	-	-	-	25
3	3-12	0,5	1,7	-	5,6	-	0,7	-	-	-	45

HCB : hexachlorobenzène
H : heptachlore
A : aldrine
PCB : polychlorobiphényles (DP5 + DP6)

HCH : hexachlorocyclohexane
HE : heptachlore époxyde
D : dieldrine

* Prélèvements effectués à Basse Mer

** Pas d'échantillon (mer trop agitée)

(-) Résultat inférieur au seuil analytique

ANNEXE 8 (suite)

ESTUAIRE DE LA SOMME
Pesticides, plastifiants (en ng/l)
et hydrocarbures totaux (en mg/l)

N°	PP'DDE	OP'DDD	PP'DDD	OP'DDT	PP'DDT	DMP	DEP	DBP	DMEP	DEHP	Hc
1	-	-	1,1	-	-	70	360	3400	-	1110	-
2	-	-	0,5	-	-	70	220	790	60	1130	-
3	-	-	1,0	-	-	50	310	820	-	910	-
1	-	-	-	-	-	-	240	850	-	2880	-
2	-	2,1	2,9	2,4	-	-	-	1300	-	2960	-
3	-	-	-	1,9	-	-	-	1220	-	2530	-
1	0,5	-	-	4,4	5,4	62	1310	3010	-	13190	-
2	-	-	-	-	-	-	730	1870	-	1940	0,09
3	-	-	-	-	-	-	970	1410	-	2120	0,06
1	-	-	-	-	-	-	400	1020	-	1560	-
2	-	-	-	-	-	-	183	590	-	700	-
3	-	-	-	-	-	-	530	710	-	830	-
1	-	-	-	-	-	70	2360	640	-	1620	-
2	-	-	-	-	-	80	4970	860	-	1840	-
3	-	-	-	-	-	120	5250	910	-	2000	-
1	-	-	2,4	2,4	-	860	360	580	-	1750	-
2	-	-	1,7	1,7	-	340	210	410	-	1010	-
3	-	-	2,1	2,1	-	60	1220	560	110	1030	-
1*	-	-	-	2,3	-	200	160	550	320	700	-
2*	0,9	-	-	-	-	520	350	900	-	2260	-
3*	-	-	-	-	-	1780	220	740	50	1880	-
1	-	-	-	-	-	240	290	820	-	1390	-
2	-	-	-	-	-	110	240	700	-	1340	-
3**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1*	-	-	-	1,5	2,3	250	410	820	80	1460	-
2*	-	-	-	1,5	-	90	260	900	120	1090	-
3*	-	-	-	-	-	550	220	690	-	2230	-
1	-	-	-	-	-	270	340	1140	-	1370	-
2	-	-	-	-	-	50	180	700	-	800	-
3	-	-	-	-	-	70	170	730	70	740	-

DMP : diméthylphtalate
DEP : diéthylphtalate
Hc : hydrocarbures

DMEP : diméthoxyéthylphtalate
DEHP : di (2-éthyl hexyl) phtalate

* Prélèvements effectués à Basse Mer

** Pas d'échantillon (mer trop agitée)

(-) Résultat inférieur au seuil analytique

PO N O NEL

CANCHE

LOCALISATION
DES STATIONS
DE L'ETUDE
SEDIMENTOLOGIQUE

Figure II-5

0 05 1 15 km



ETAPLES

Le Touquet
Paris - Plage

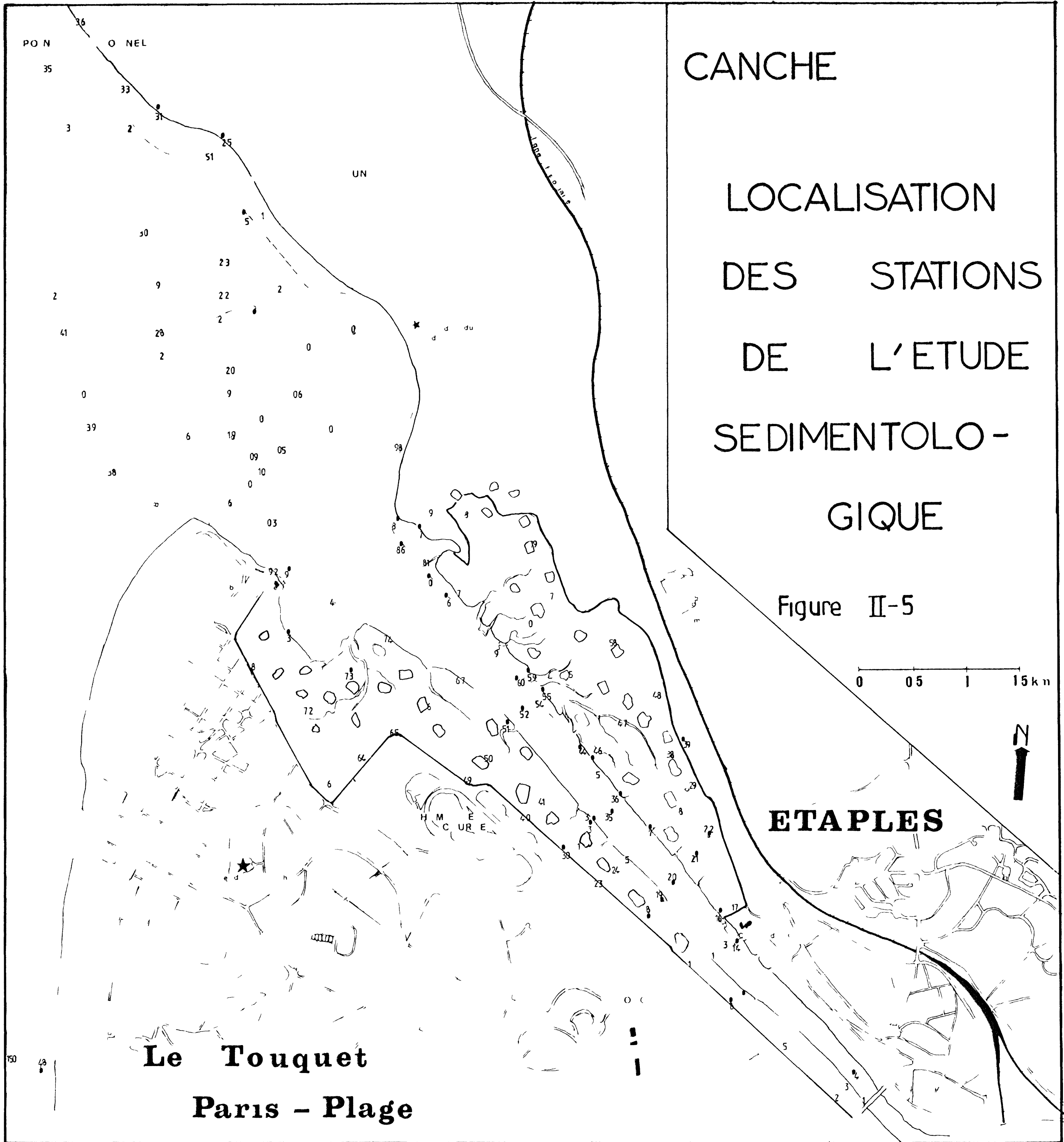
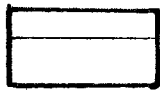



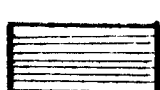



Figure II-6 CANCHE
 CARTE DES
 FACIES

-  FACIES SAIBLEUX
-  DUNES
-  SABLES ET VASE (28% charg.)
-  SCHORRE
-  SLIKKE
-  SABLES HUMIFERES TOURBE

0 05 1 15 km



ETAPLES

Le Touquet
Paris - Plage

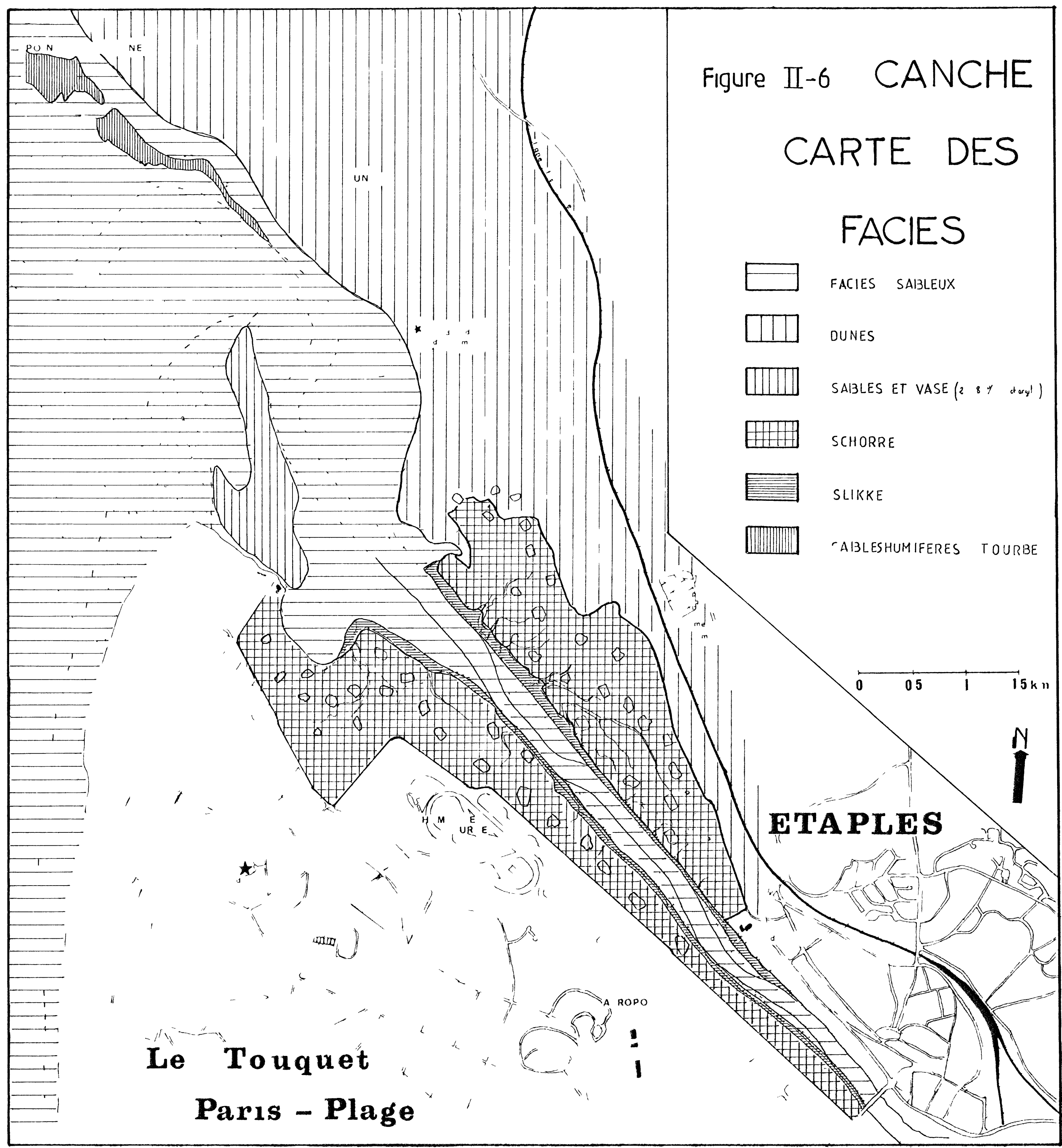


Figure II-8

CANCHE % DE SABLE

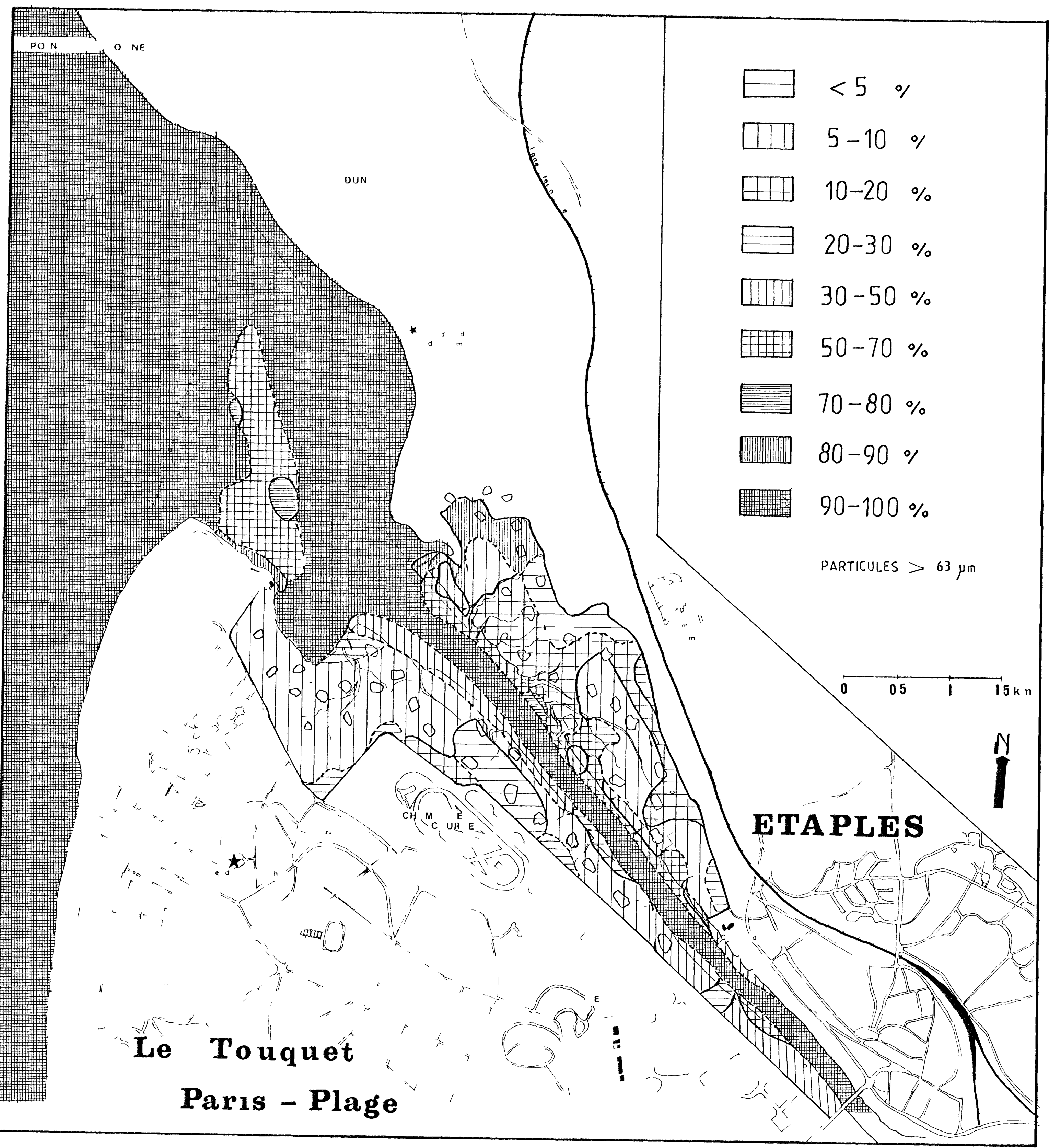


Figure II-9 CANCHE % DE FRACTION FINE

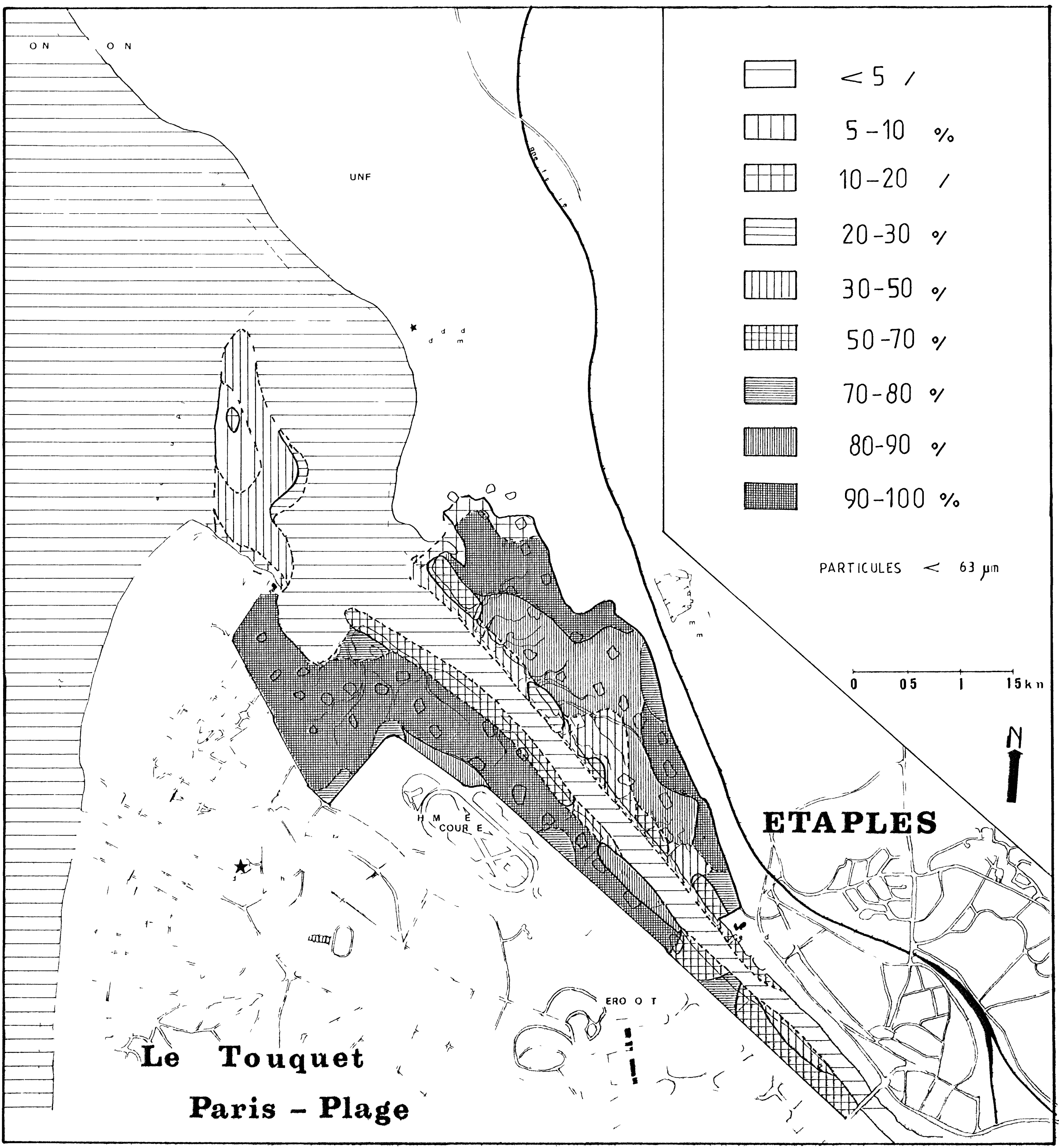


Figure II-10 CANCHE CARTE DES MODES

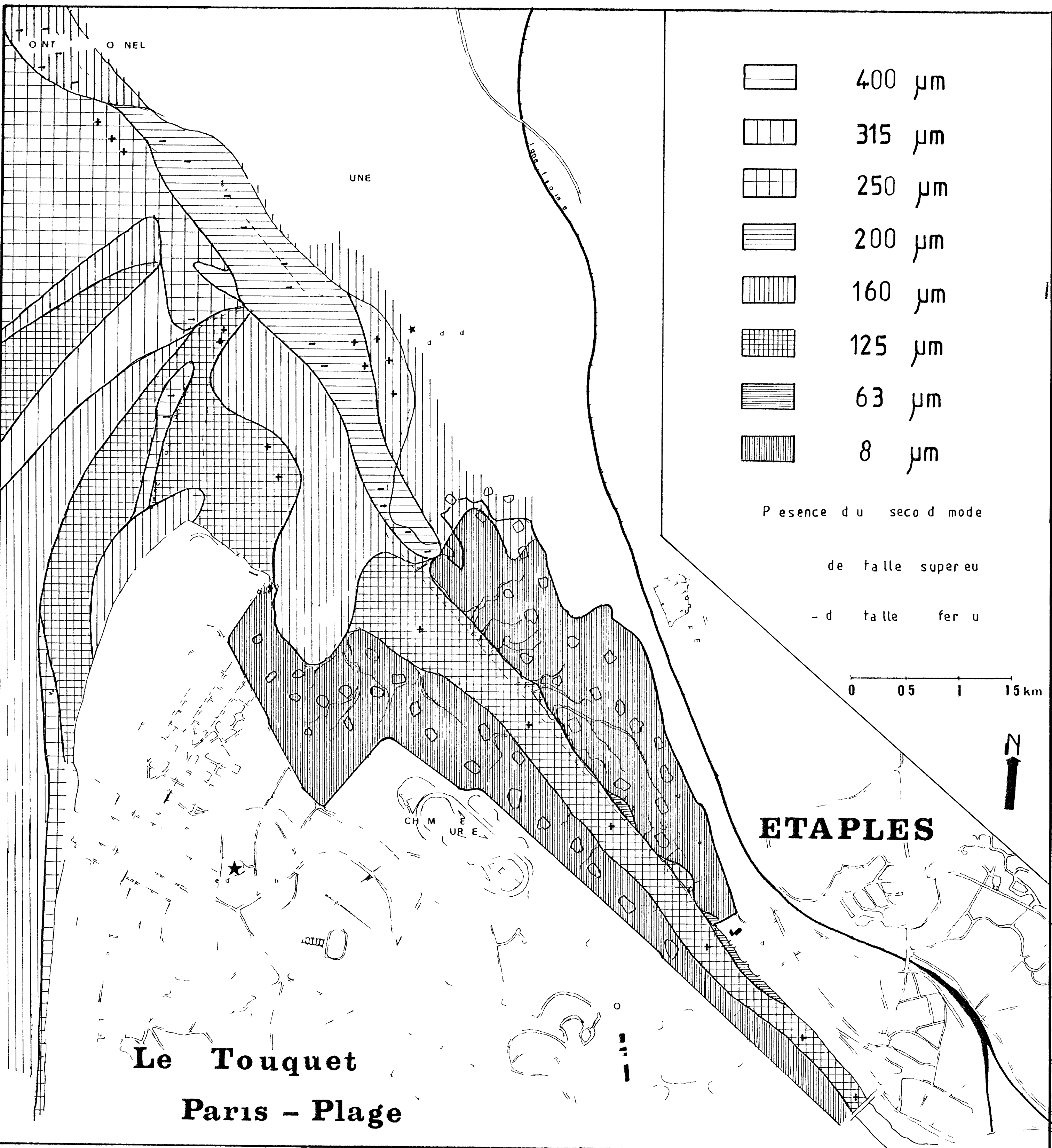


Figure II-11

CANCHE

GRAIN

MOYEN

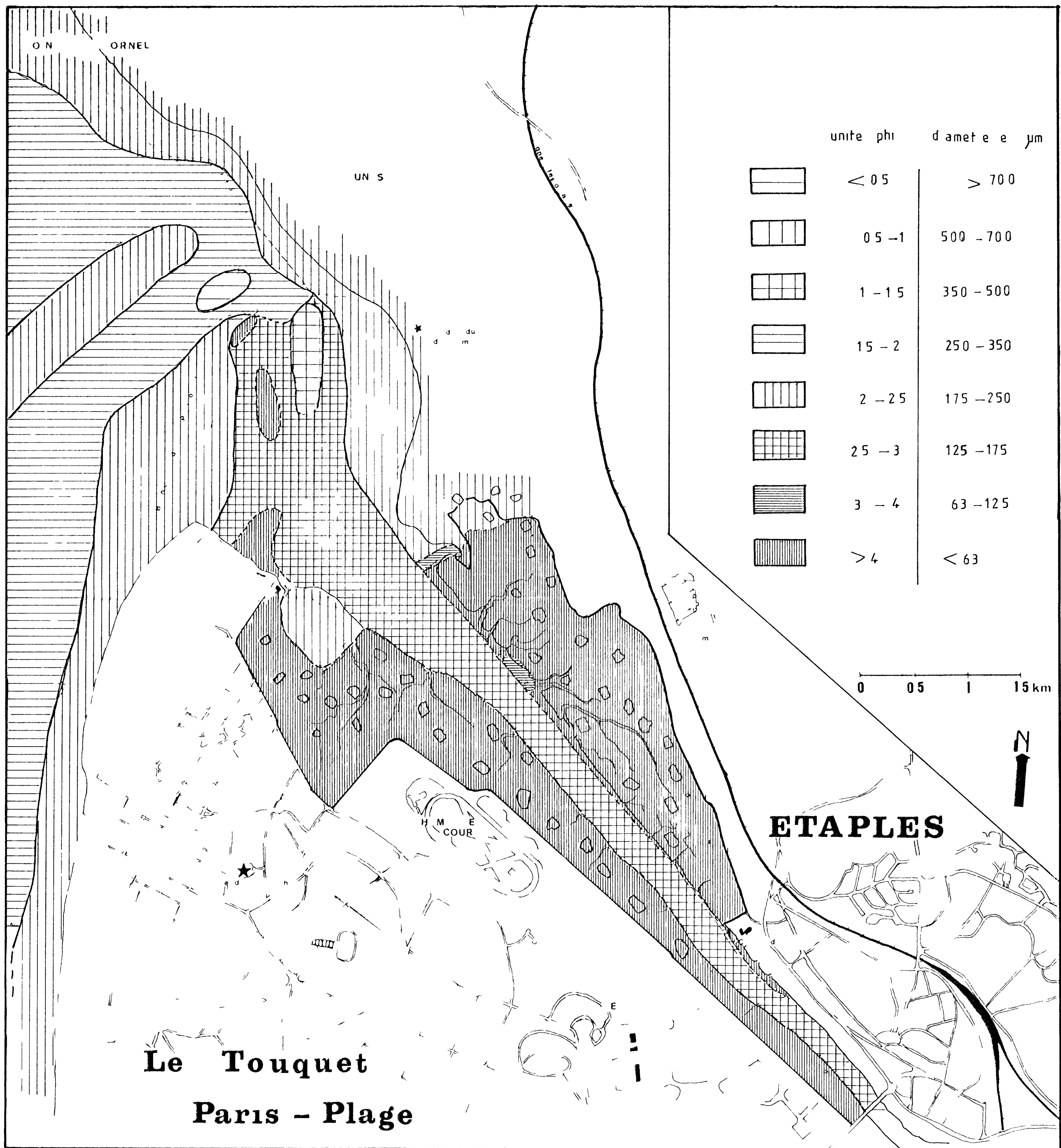


Figure II-12 CANCHE % DE CALCAIRE

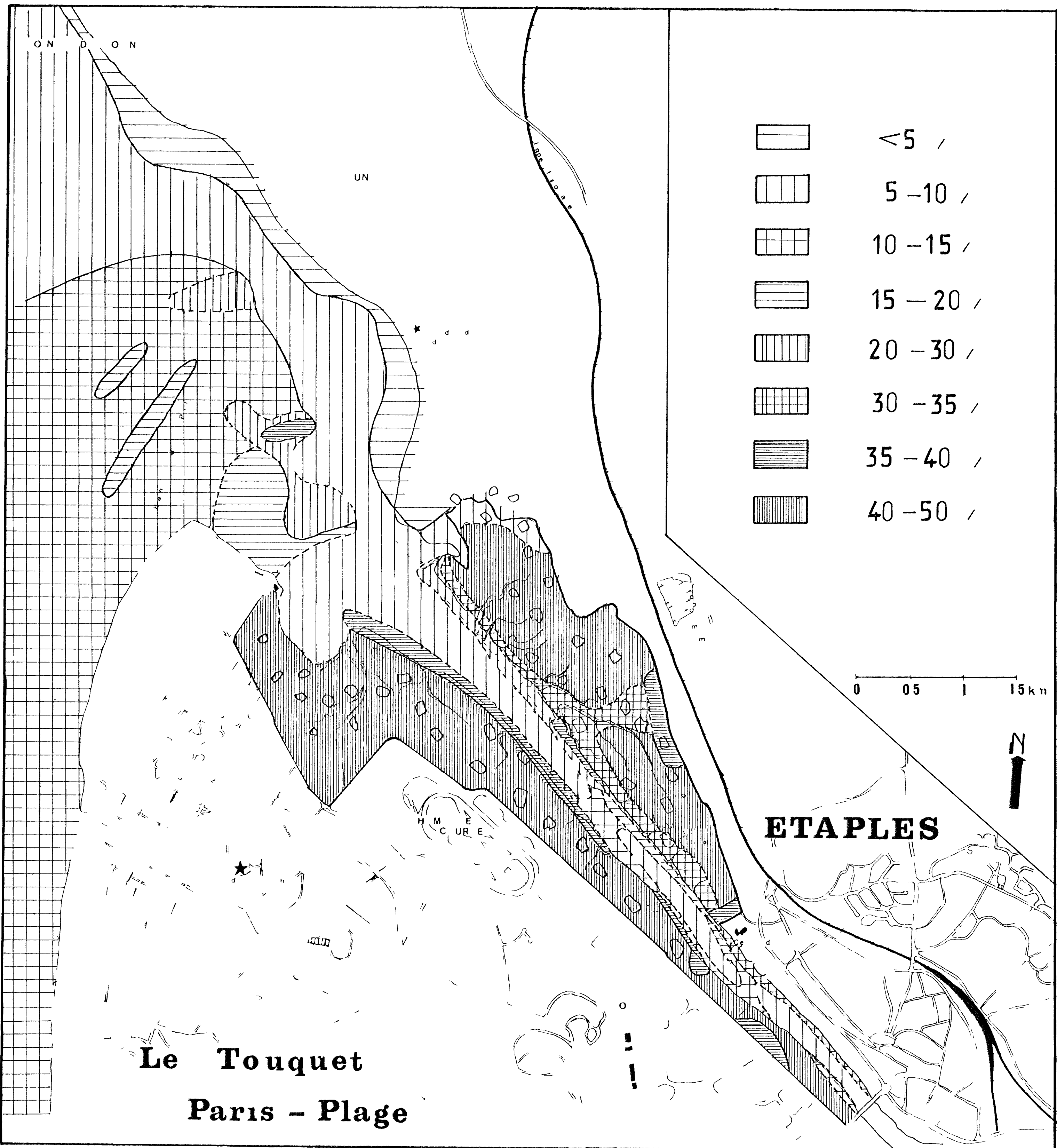


Figure II-13 CANCHE % DE CARBONE ORGANIQUE

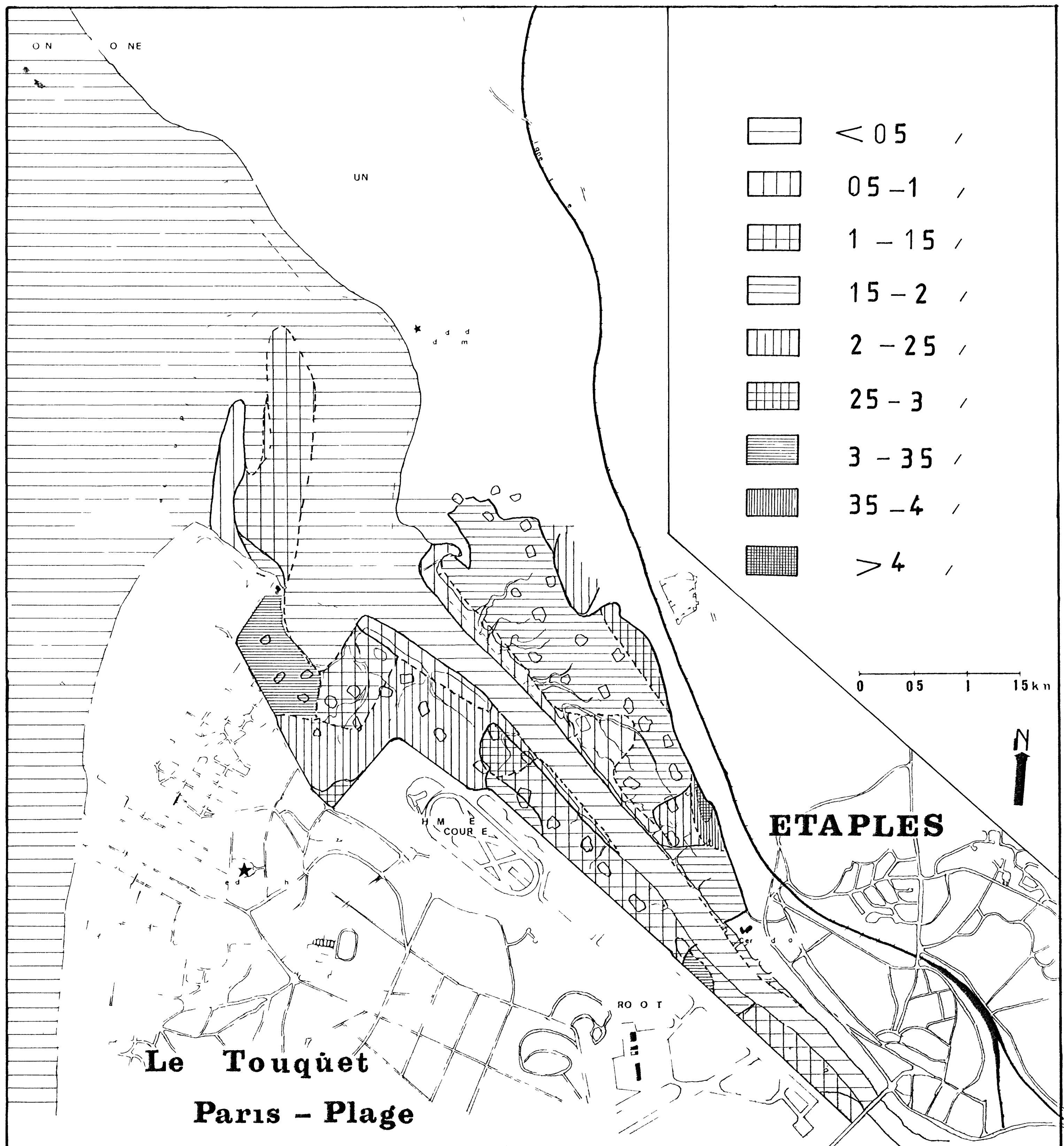


Figure II-14 CANCHE DISTRIBUTION
 DES MINERAUX ARGILEUX

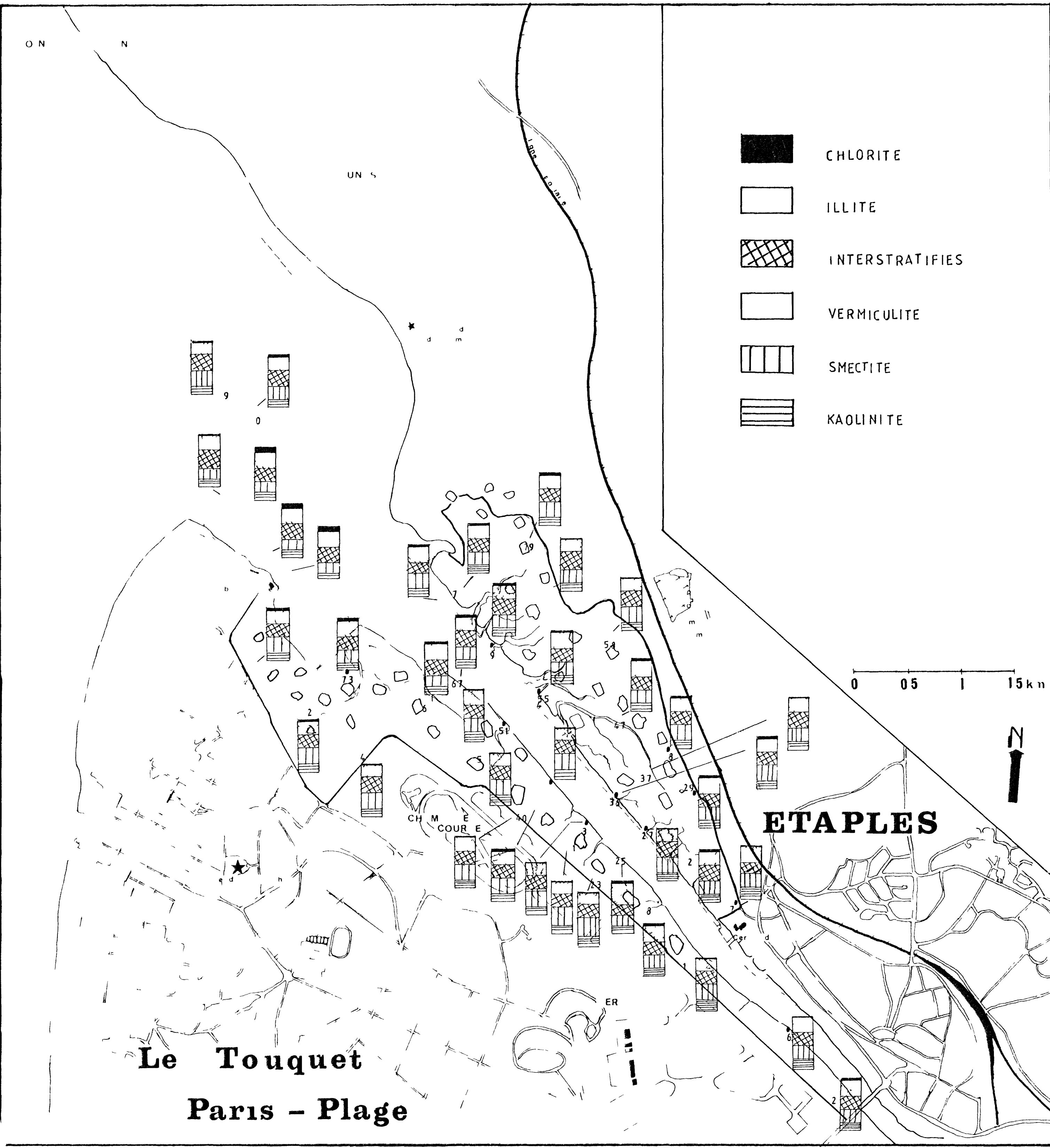


Figure II-18 AA % DE SABLE

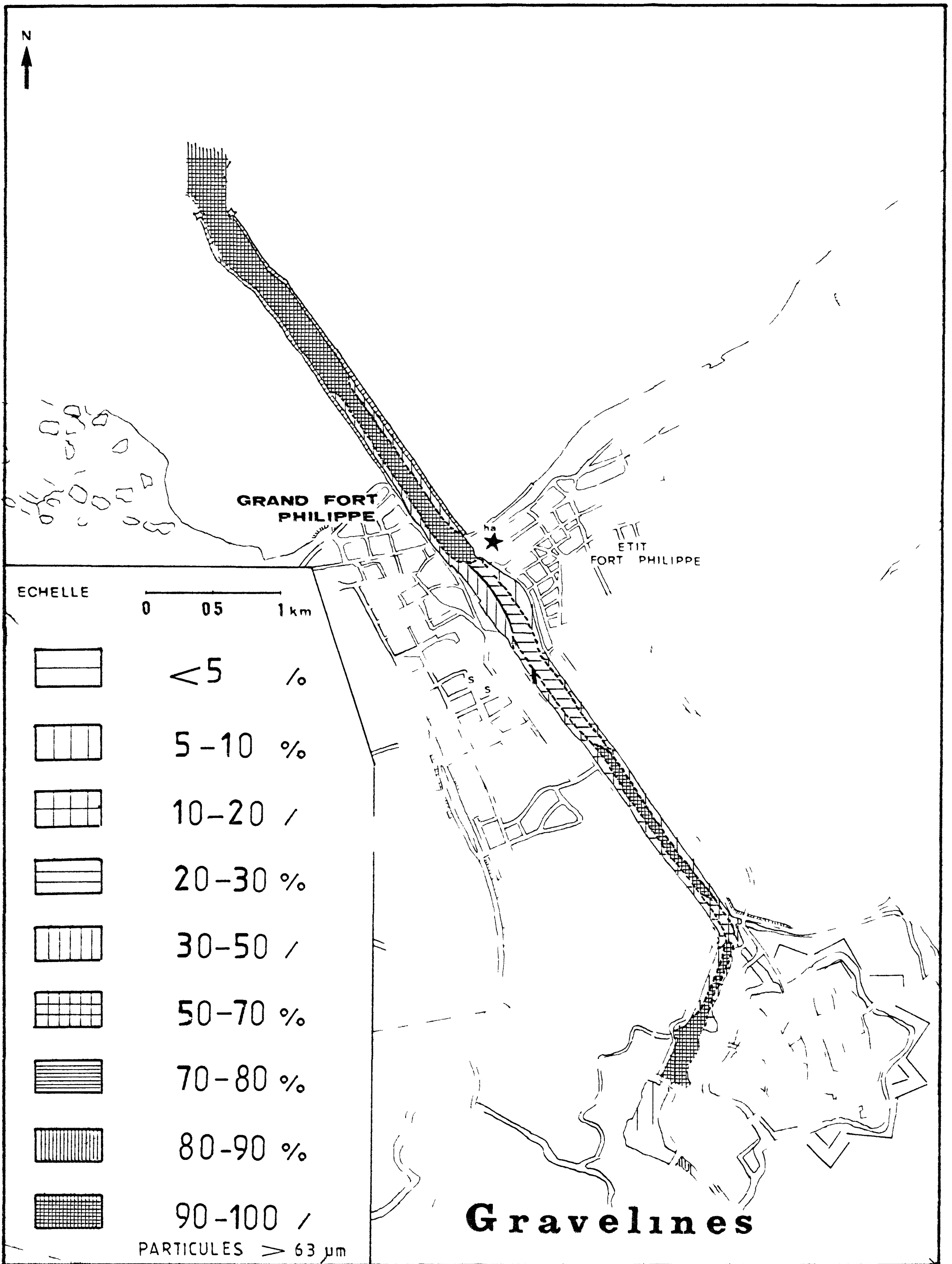


Figure II 19

AA % DE FRACTION FINE

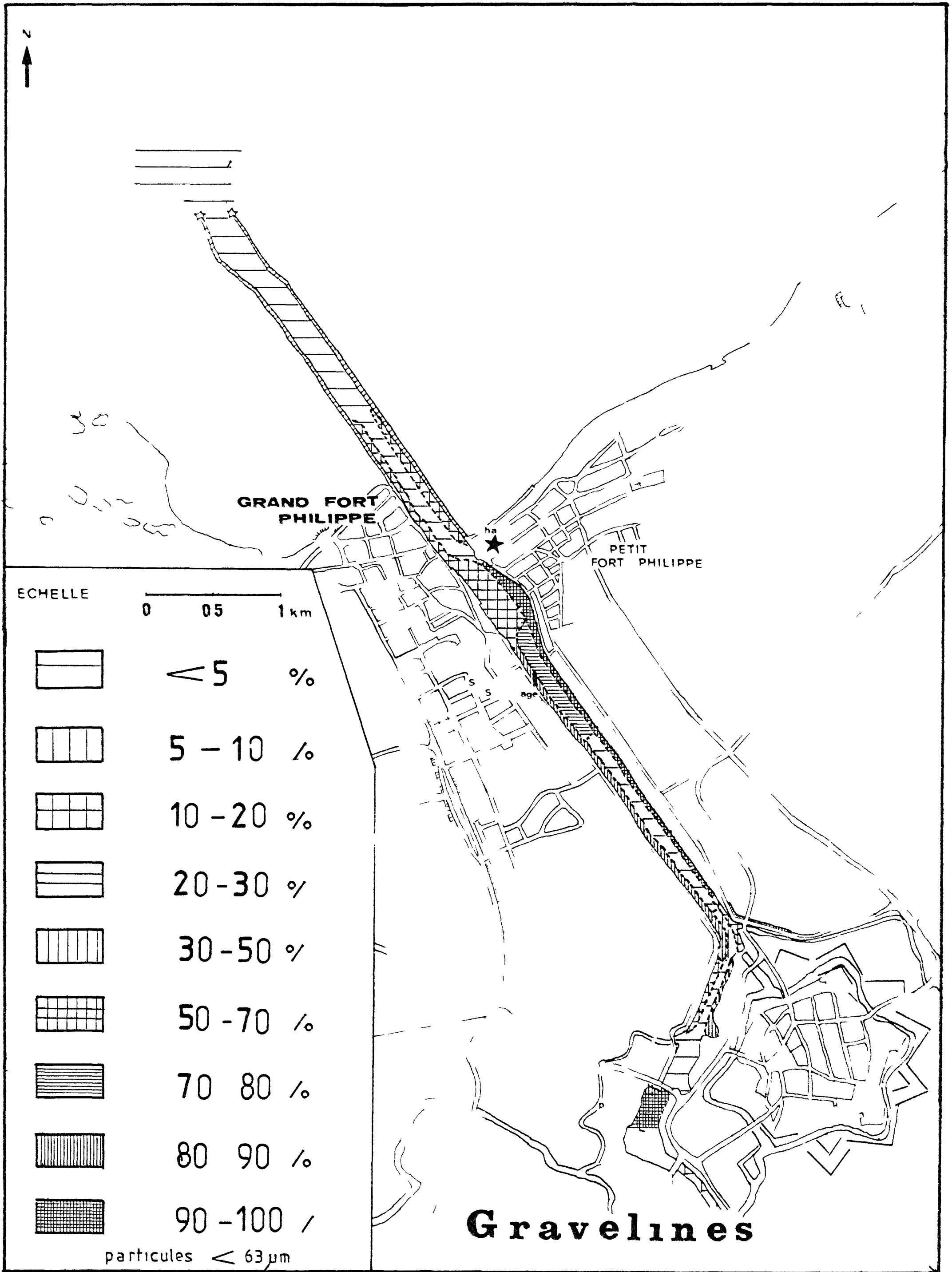


Figure II-20 AA CARTE DES MODES

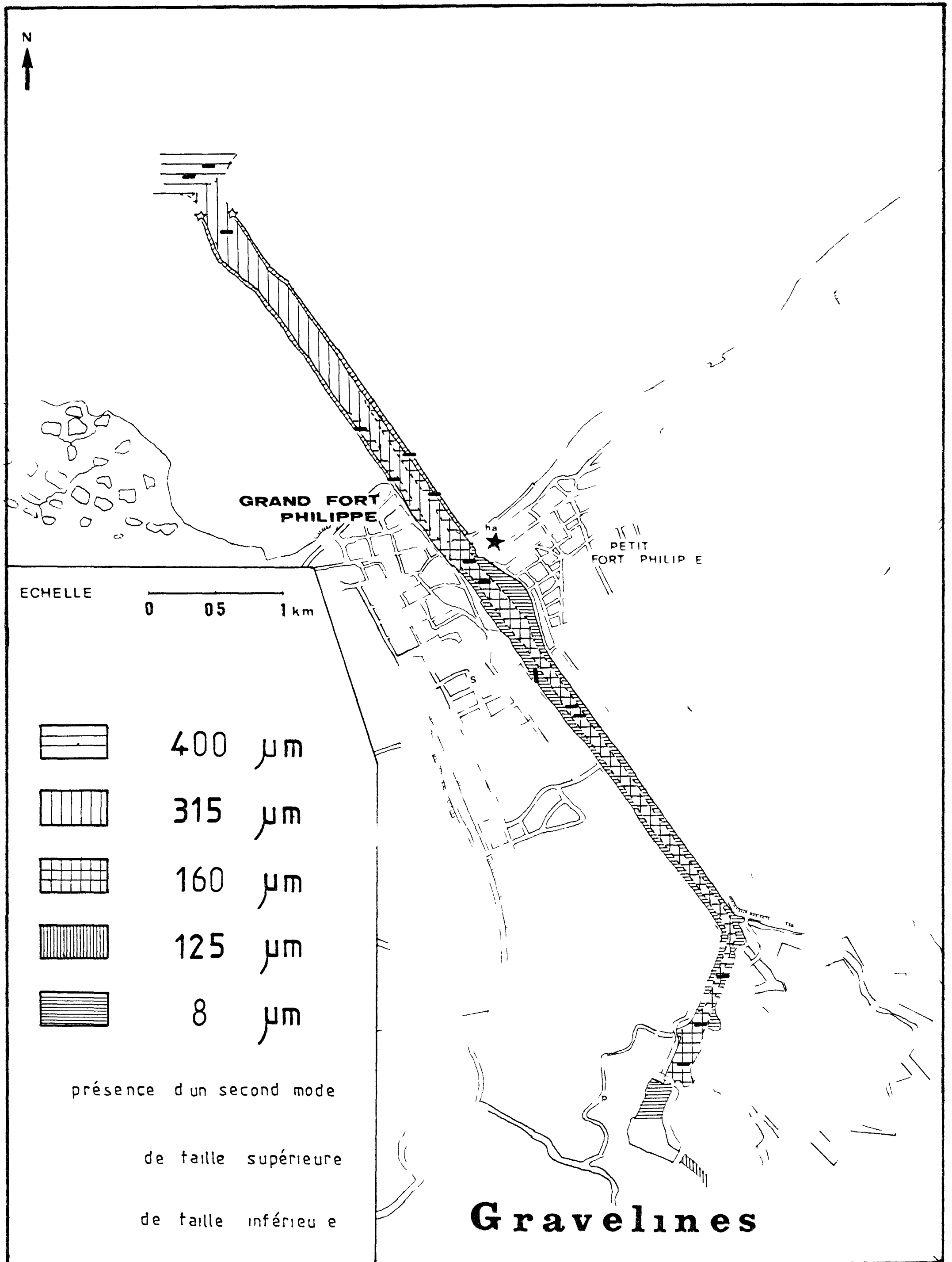


Figure II-21 AA

GRAIN MOYEN

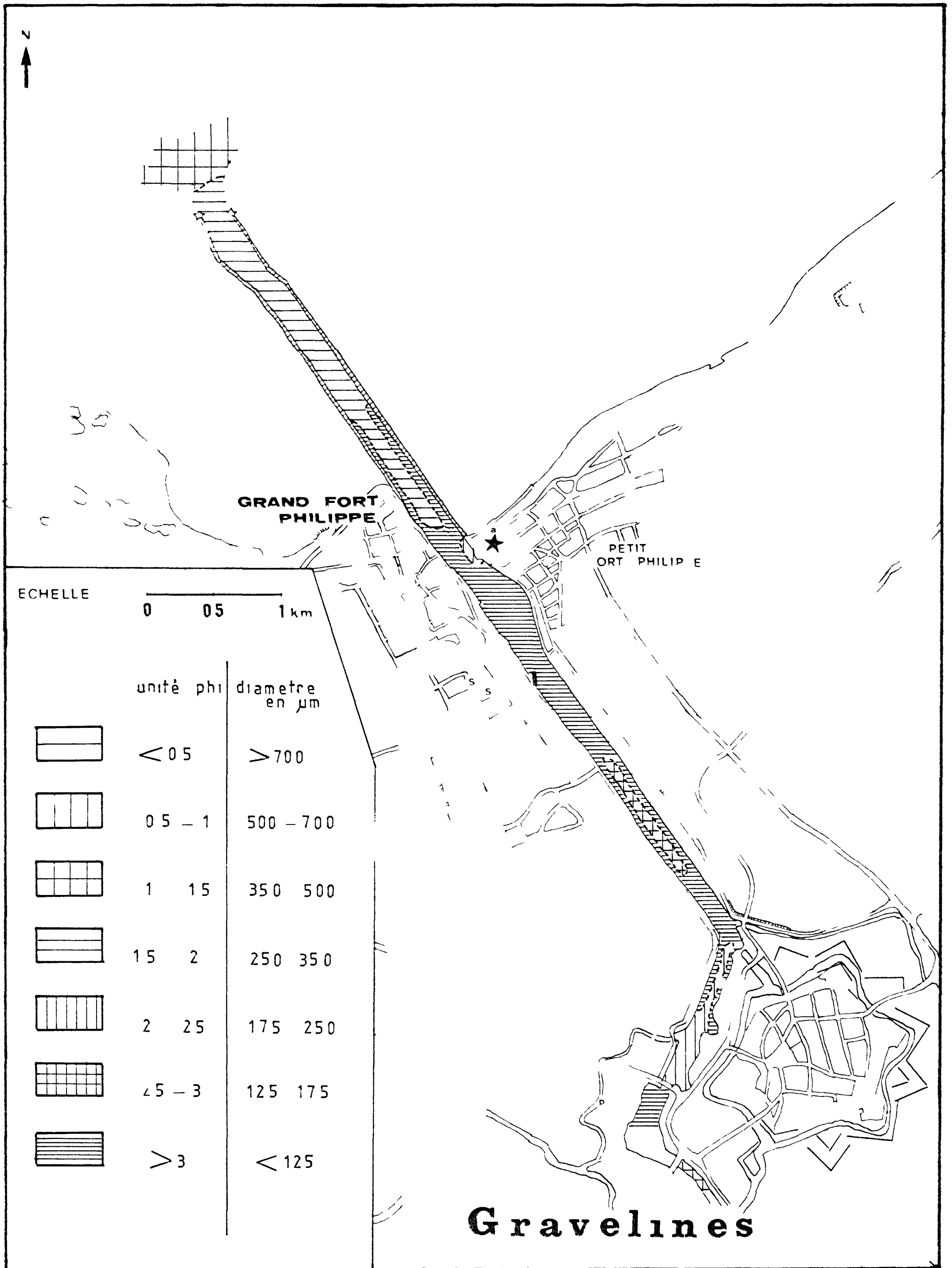


Figure II-22 AA % DE CALCAIRE

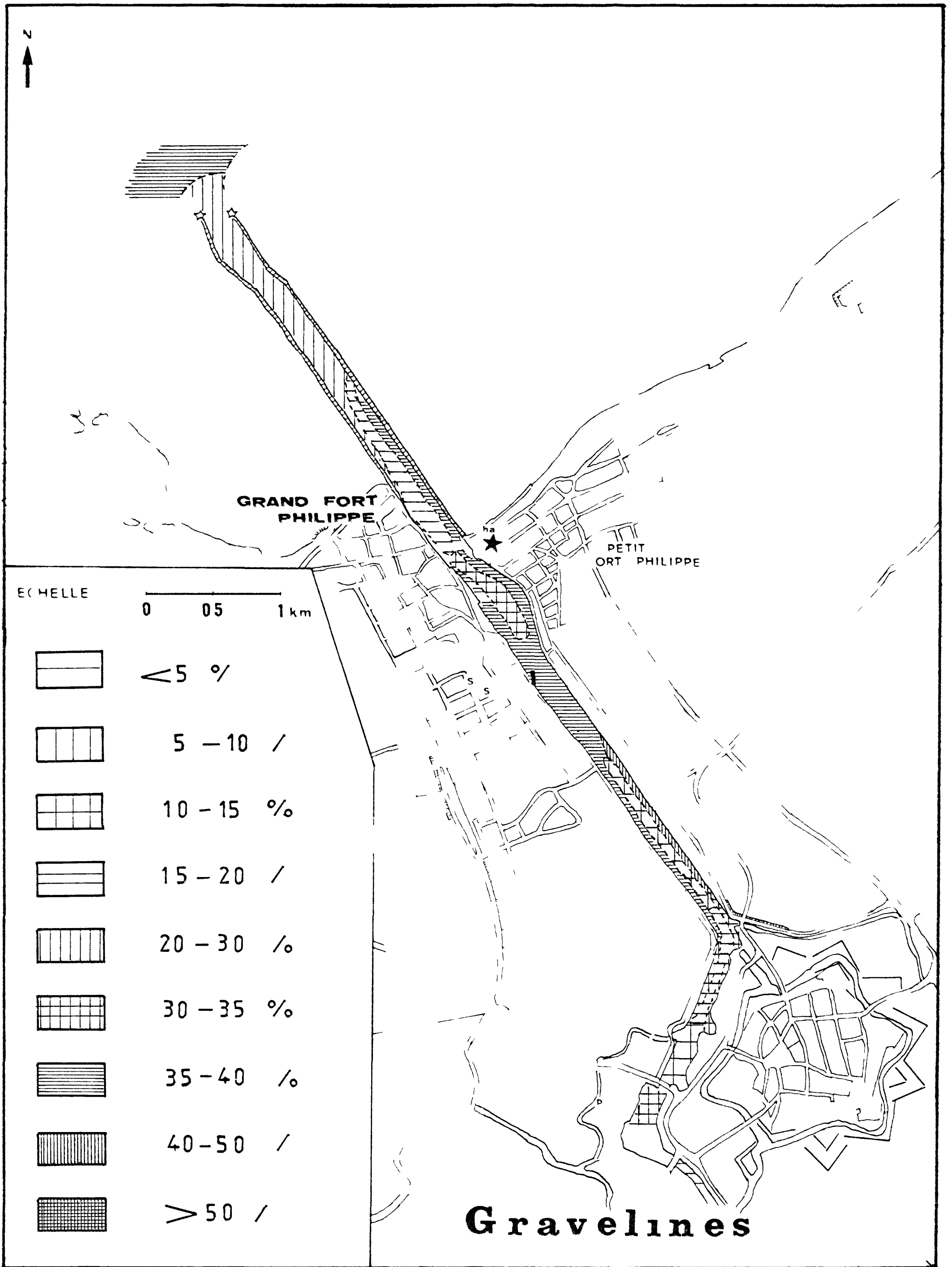


Figure II - 23

AA % DE CARBONE ORGANIQUE

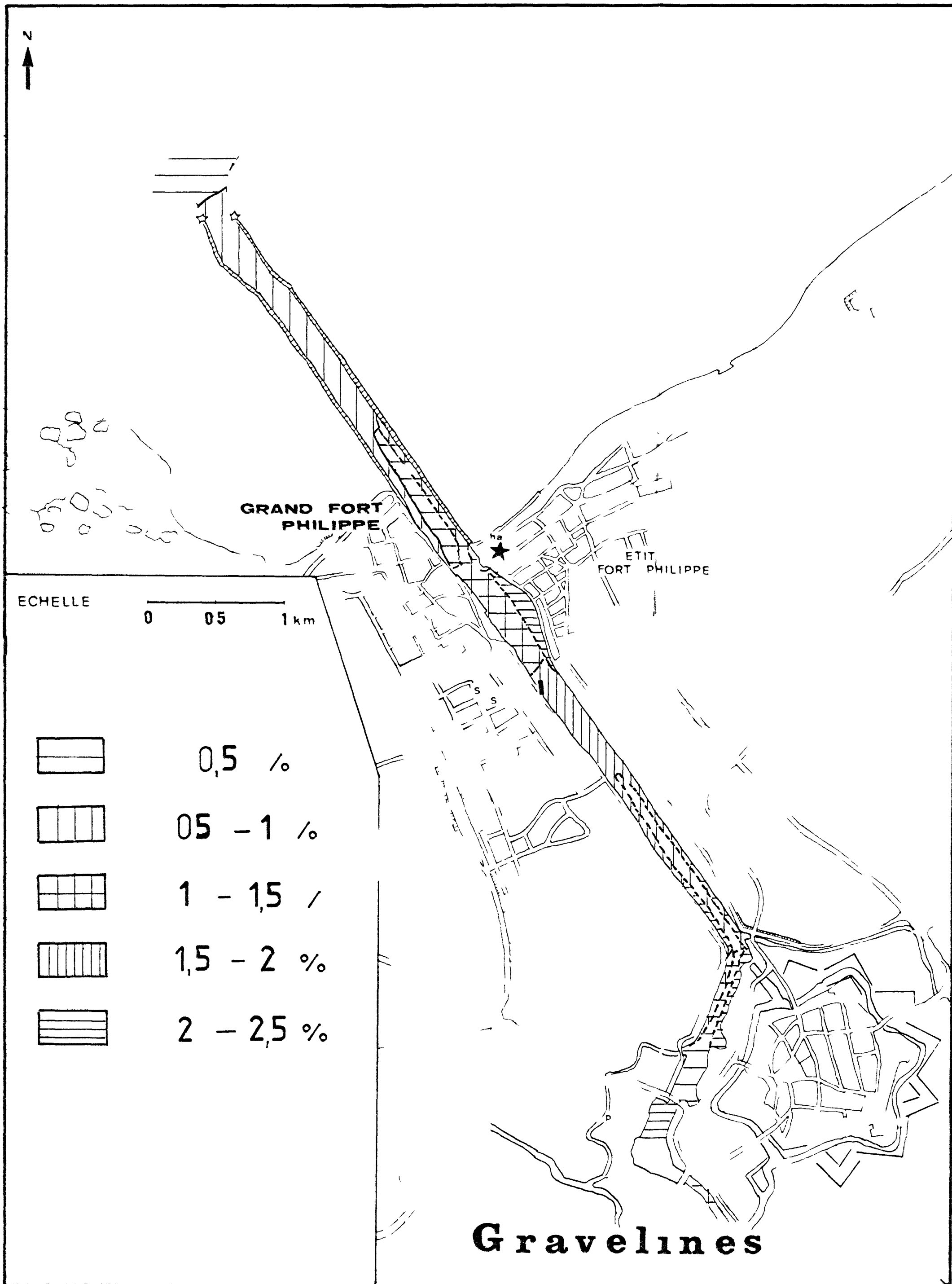


Figure II-24

AA

DISTRIBUTION

DES MINERAUX

ARGILEUX

