

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DES UNIVERSITES ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
INSTITUT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AMENAGEMENT DU LITTORAL
(I.S.M.A.L.)

DEPARTEMENT DE CHIMIE ET POLLUTION MARINE

MEMOIRE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE TECHNICIEN SUPERIEUR EN SCIENCES DE LA MER

OPTION: MOLYSMOLOGIE

THEME

**ANALYSES DES METAUX
LOURDS ET DES PARAMETRES
PHYSICO-CHIMIQUES EN
MILIEU MARIN, LAGUNAIRE
ET EMBOUCHURES DES
OUEDS.**

Présentés PAR: M^{lle} FERHAT Nabila

M'DJELLALI Mostapha

Soutenu devant le jury d'examen:

Mr M. LARID
Mr M. LOUNIS
Mr B. SELLALI
Mr M. BOULAHIDID

Président
Examineur
Examineur
Rapporteur

OCTOBRE 1992

A la mémoire de mes grands-parents.

A mes très chers parents.

A mes adorables soeurs.

A mes chers frères.

A ma meilleure amie SAMIA.

A Mr. HOCINE, Mme HADJI, Mr. STANBOULI , Mme AIDER,

Mme BENZAOUI, Mr. BOIS et Mr. YAKHLEF.

NABILA

A tous ceux et

A toutes celles

dont l'amitié fut

ma lumière.

Mostapha.

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, nous tenons à témoigner nos vifs remerciements à:

Monsieur LARID M., qui nous fait l'honneur de présider ce jury.

Monsieur LOUNIS M., pour avoir accepté de faire partie du jury, examiné et corrigé ce modeste travail .

Monsieur SELLALI B., pour ses orientations et ses critiques constructives, pour avoir pris le temps de corriger ce travail aussi.

Monsieur BOULAHID M., notre promoteur, qui a bien voulu suivre, corriger et orienter notre travail, malgré ses nombreuses occupations.

Monsieur CHOUIKHI A., qui nous a proposé ce sujet; nous le remercions pour ses conseils et ses encouragements.

Nos remerciements les plus respectueux vont aussi à Monsieur BOUDJELLAL B. pour ses conseils nombreux, son aide précieuse, ses orientations, pour le temps et l'importante documentation qu'il a mis à notre disposition sans hésiter jamais, pour le soutien moral qu'il nous apportait, ses encouragements et l'amitié qu'il nous témoignait.

A Mr AZZOUZ M. pour son aide et pour les techniques qu'il nous a faites découvrir tout au long de notre stage MERCI.

A M^{lle} ABDELOUAHAB N. nos remerciements pour ses encouragements et ses conseils .

Nous remercions également l'équipe de l'embarcation "IBTACIM", Mr AOUANE A. pour la documentation qu'il a mise à notre disposition, l'équipe du laboratoire de benthologie qui a répondu à nos nombreuses questions nous faisant ainsi profité de leurs connaissances.

Nous ne saurions oublier l'équipe du laboratoire de physique-audiovisuel pour leurs encouragements, la documentation que Mr BOUSLIMANE D. nous a confiée.

A nos camarades de promotion: Farouk, Samyr, Naïma, Fella, Nabil et Naïma pour l'intérêt qu'ils portaient à notre travail et pour leur amitié nous disons MERCI.

Enfin, que toute personne nous ayant aidée et encouragée soit assurée de notre reconnaissance et de nos remerciements sincères.

SOMMAIRE

Page

INTRODUCTION.....

CHAPITRE I : GENERALITES

- I- Définition de la pollution.....
- II- Etat de la pollution sur le littoral Algérien.....
- III- Aperçu général sur les métaux lourds.....
 - III.1- Définition des métaux lourds.....
 - III.2- Origine des métaux lourds.....
 - III.3- Propriétés physico-chimiques des métaux lourds.....
 - III.4- Cycle biogéochimique des métaux lourds.....
 - III.5- Comportement des métaux lourds dans le milieu marin.....
- IV- Aperçu général sur les paramètres physico-chimiques.....

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

- I - Situation géographique.....
- II- Sédimentologie.....
- III- Apports telluriques.....
- IV- Etat de la pollution.....
- V- Facteurs climatiques.....
- VI- Facteurs hydrologiques.....
- VII- Choix et localisation des stations étudiées.....
- VIII- Choix du matériel sédimentaire.....

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODE

- I- Nettoyage du matériels.....
- II- Travaux effectués "in situ".....
 - II.1 - Prélèvement.....
 - II.2 - Mesure des paramètres physico-chimiques.....

III-	Travaux effectués au laboratoire.....	
III.1-	Eau de mer.....	
III.2-	Traitement du sédiment au laboratoire.....	
IV-	Méthode d'analyse.....	
IV.1-	Etalonnage.....	
IV.2-	Mode de calcul.....	
IV.3-	Justesse et précision de la méthode d'analyse.....	

CHAPITRE IV : ETUDE DE LA MATIERE BIOLOGIQUE

INTRODUCTION.....

Partie A : GENERALITES

I-	Choix du matériel biologique.....	
II-	Répartition géographique des deux espèces de moules étudiées...	
III-	Distinction entre les deux espèces de moules étudiées.....	
IV-	Choix des stations étudiées.....	

Partie B : METHODOLOGIE

I-	Nettoyage du matériels.....	
II-	Prélèvement et congélation.....	
III-	Traitement des moules au laboratoire.....	
IV-	Méthode d'analyse.....	
1-	Etalonnage.....	
2-	Exercices d'intercalibration.....	

CHAPITRE V: RESULTATS ET INTERPRETATIONS

INTRODUCTION.....

I-	Résultats de l'analyse de l'eau.....	
I.1-	Variation spatiale des paramètres physico-chimiques.....	
I.1.1-	Au niveau des oueds.....	
1-	Oued Beni-Messous.....	
2-	Oued Nador.....	
3-	Oued Mazafran.....	
4-	Discussion et conclusion.....	
I.1.2-	Au niveau de la partie orientale de la baie de BOU-ISMAIL.	

I.2-	Analyse binaire.....	.....
	1- Diagramme température - salinité.....	.....
	2- Diagramme température - oxygène dissous.....	.....
	3- Diagramme pH - matière en suspension.....	.....
	4- Diagramme oxygène dissous - matière en suspension....	.....
I.3-	Discussion.....	.....
II-	Résultats de L'analyse de la matière sédimentaire.....	.....
II-1	Variation spatiale des métaux lourds.....	.....
II.1.1-	Au niveau des oueds.....	.....
	1- Oued Beni-Messous.....	.....
	2- Oued Nador.....	.....
	3- Oued Mazafran.....	.....
	4- Discussion et conclusion.....	.....
II.1.2-	Au niveau de la partie orientale de la baie de BOU-ISMAIL.....	.....
	1- Mercure.....	.....
	2- Plomb.....	.....
	3- Cadmium.....	.....
	4- Manganèse.....	.....
	5- Chrome.....	.....
	6- Cuivre.....	.....
	7- Zinc.....	.....
	8- Discussion.....	.....
II.2-	Affinité et corrélation des éléments métalliques.....	.....
II.3-	Comparaison des teneurs en métaux lourds obtenues dans les sites étudiés avec celles signalées dans d'autres régions de la Méditerranée.....	.....
III-	Résultats de l'analyse de la matière biologique.....	.....
III.1-	Evaluation des teneurs en métaux lourds étudiés.....	.....
	1- mercure.....	.....
	2- Plomb.....	.....
	3- Cadmium.....	.....
	4- Manganèse.....	.....
	5- Chrome.....	.....
	6- Cuivre.....	.....
	7- Zinc.....	.....
III.2-	Variation des concentrations en éléments métalliques étudiés en fonction du paramètre biologique "taille".....	.....
	1- mercure.....	.....
	2- Plomb.....	.....
	3- Cadmium.....	.....
	4- Manganèse.....	.....
	5- Chrome.....	.....
	6- Cuivre.....	.....
	7- Zinc.....	.....
	8- Discussion et conclusion.....	.....

CONCLUSION GENERALE.....

BIBLIOGRAPHIE

" Jetons l'oeuvre à la mer, la mer des multitudes. "

Alfred de VIGNY.

INTRODUCTION

Depuis quelques années, la terre connaît un nombre d'accidents industriels considérable, dont l'ampleur et les conséquences qui ne font que croître sont susceptibles d'affecter les maillons de la chaîne trophique. Aussi, la pollution atteint aujourd'hui une bonne partie de notre réseau hydrographique.

Parmi les catastrophes écologiques, l'exemple resté dans l'histoire est celui de la contamination mortelle d'une population japonaise par le méthyl-mercure (Minamata 1950-1970).

Faudra-t-il que d'autres tragédies surviennent pour que l'homme freine enfin avant l'abîme ?

La gravité de ces problèmes a donné lieu à plusieurs conférences à l'échelle internationale pour sauvegarder l'écosystème marin. Dans cette prise de conscience, les pays méditerranéens se sont engagés dans un grand projet intitulé "MED POL" (Plan d'Action Méditerranéen), suite à la convention de Barcelone (1975) sous l'égide du P.N.U.E (Programme des Nations Unies pour l'Environnement). Les principaux objectifs de ce programme consistent à prévenir, réduire et combattre la pollution d'origine tellurique dans la mer méditerranée, ainsi qu'à protéger et améliorer le milieu marin.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre d'un suivi de ce programme et plus précisément MED POL II qui consiste à analyser et évaluer la pollution par les métaux lourds (Mercure, Plomb, Cadmium, Manganèse, Chrome, Cuivre et Zinc) dans le sédiment superficiel de la partie orientale de la baie de Bou-Ismaïl et la chair totale de deux espèces de moules (*Mytilus galloprovincialis* et *Perna perna*) provenant de trois zones différentes (Bordj el Kiffan, Gouraya et Lac Mellah).

Afin d'identifier la source de ces polluants et leurs distribution au niveau de la baie de Bou-Ismaïl, une même analyse métallique sera effectuée dans les sédiments superficiels de la partie aval des trois oueds (Mazafran, Beni Messous et Nador) débouchant dans cette baie. Parallèlement et du fait que le transfert des métaux lourds du sédiment vers les eaux interstitielles ou vis-versa est régie par plusieurs processus (adsorption, désorption, coprécipitation, formation de complexes etc ...), eux même dépendant des caractéristiques physico-chimiques du milieu environnant, une mesure de quelques traceurs classiques (Température, Salinité, pH, Oxygène dissous et Matières en suspension) sera faite dans les eaux de la partie orientale de la baie et dans celles des trois oueds à étudier.

La méthode utilisée pour le dosage des éléments métalliques dans les deux matrices (Sédimentaire et Biologique) est la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique, en employant un appareil de type PERKIN ELMER model "2380" et équipé d'un four à graphite H.G.A. 500. Cette méthode est reconnue pour ces divers avantages (précision, rapidité, sélectivité etc...). Ajoutons que, la validité de nos résultats sera testée par des échantillons standards fournis par le M.E.S.L.(1) de L'A.I.E.A.(2) à Monaco (France).

Le plan suivi pour la réalisation de cette étude sera reparti en cinq chapitres:

Après avoir donné un aperçu général sur les métaux lourds et les paramètres physiques et chimiques au premier chapitre, une description brève de la zone d'étude (baie de Bou-Ismaïl et les trois oueds) sera présentée au deuxième chapitre. Dans le troisième chapitre, nous ferons une mise au point sur la procédure de la mesure des paramètres physico-chimiques, le traitement et la méthode d'analyse appliqués à la matrice sédimentaire. Le quatrième chapitre est divisé en deux parties; La première sera basée sur des généralités concernant les deux espèces de moules et les sites d'étude, tandis que dans la deuxième partie, nous décrirons brièvement la méthodologie adoptée pour la matière biologique. Dans le cinquième et dernier chapitre, nous présenterons les résultats et leurs interprétations. Enfin, la synthèse de ces chapitres, sera faite dans une conclusion générale.

(1) : Marine Environmental Studies Laboratory.

(2) : Agence Internationale de l'Energie Atomique.

" La mer n'a qu'un défaut c'est que, quand on la connaît on ne peut s'en passer. "

Alphonse KARR.

CHAPITRE I : GENERALITES

I - DEFINITION DE LA POLLUTION :

Selon les nations unies, la pollution marine est :

"L'introduction par l'homme dans le milieu marin, y compris les estuaires directement ou indirectement, de substance ou d'énergie entraînant des effets délétères tels que dommage aux ressources biologiques, danger pour la santé humaine, entraves aux activités maritimes y compris la pêche, diminution de la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et réduction des possibilités offertes dans le domaine des loisirs".

De plus, la gravité des différentes pollutions (schéma n°.1) qui peuvent affecter le milieu marin dépend :

- * Du type de pollution "instantanée ou permanente".
- * Du milieu récepteur "ouvert, fermé, semi-fermé".
- * De la nature et de la réactivité de la substance polluante "conservative ou non conservative".

II - ETAT DE LA POLLUTION SUR LE LITTORAL ALGERIEN :

La côte Algérienne, s'étendant sur 1200 Kilomètres, présente peu de baies et de golfes dont les plus importants d'Ouest en Est sont les baies : BENT-SAF, ORAN, ARZEW, BOU-ISMAIL, ALGER, BEJAIA, JIJEL, SKIKDA et ANNABA.

L'installation de nombreuses industries sur la frange littorale a entraînée le peuplement intensif de ces côtes. Cet effet augmente les risques de la pollution de l'environnement marin, car dans la plupart du temps les eaux usées contenant des quantités importantes de déchets, rejoignent ce milieu sans subir de traitement approprié.

A cette pollution urbaine et industrielle sédentaire, s'ajoute celle provoquée par les apports de principaux oueds (TAFNA, CHELIEF, MAZAFRAN, etc...), qui drainent une importante quantité de polluants vers la mer, surtout en période de crue. En période estivale, le tourisme contribue également à la dégradation du milieu marin.

L'Algérie n'étant pas dotée d'une technologie très avancée, il devient difficile de contrôler la pollution qui commence à prendre de l'ampleur. En effet, diverses enquêtes épidémiologiques ont montrées que dans certains sites du littoral, la pollution bactérienne est préoccupante car les taux enregistrés dépassent les limites fixées par l'O.M.S. (ASSEFSAF et SAHLI, 1986 ; in CHOUTKHI et al., 1988).

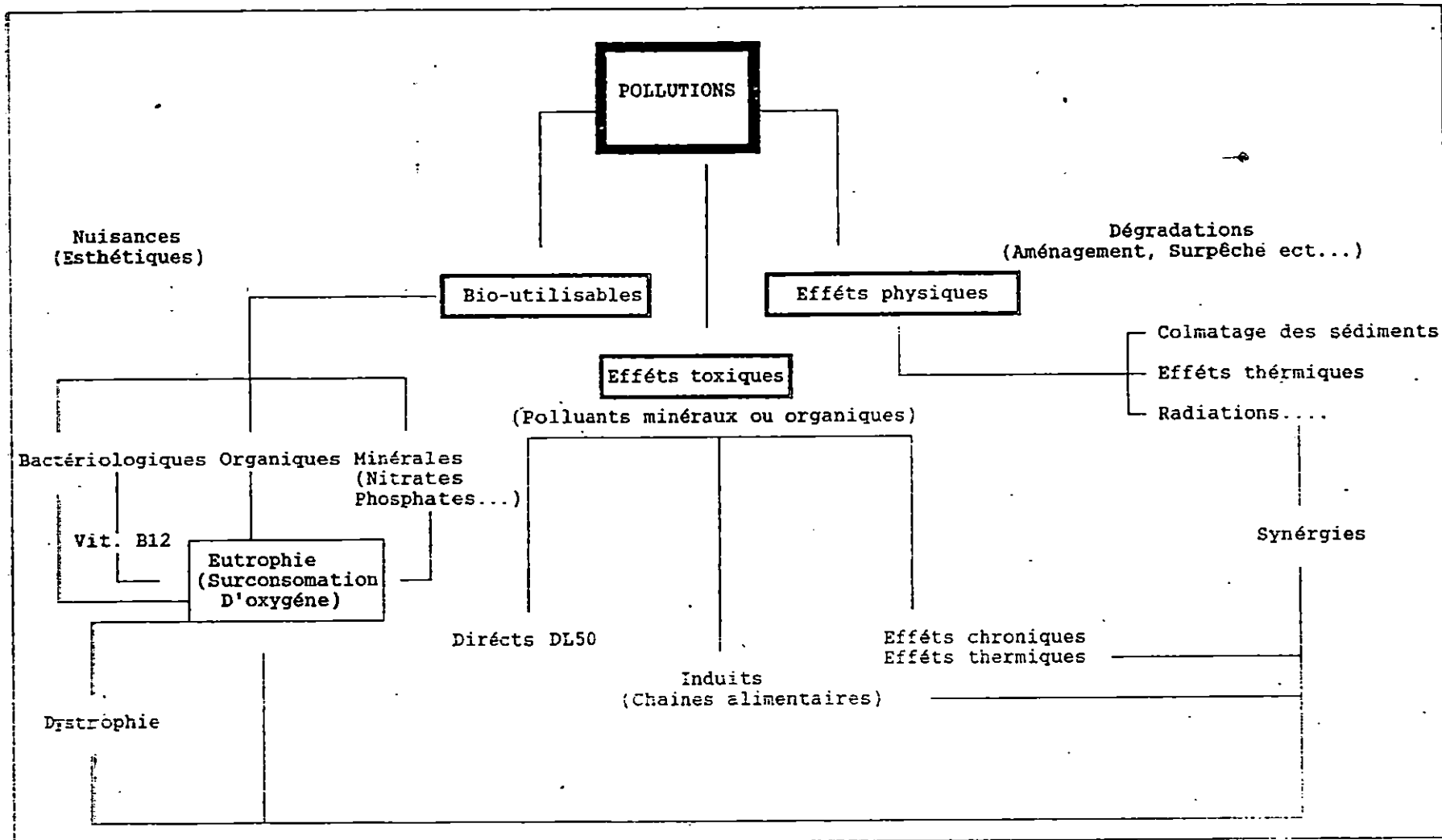


Schéma n°1 : Les différents types de pollutions pouvant affecter le milieu marin (LEGAL, 1988)

- * A l'activité sismique et volcanique fréquente dans la région Méditerranéenne.
- * Au phénomène d'altération des roches par lixiviation ou par érosion éolienne.
- * Au lessivage des terres agricoles par les pluies, les fleuves, les rivières et les oueds drainant une fraction importante de métaux.
- * Au transfert non négligeable réalisé par la voie atmosphérique.

Elle est essentiellement due :

1 - ORIGINE NATURELLE :

Les métaux déversés dans le milieu marin peuvent avoir deux origines majeures et distinctes :

III - 2 - ORIGINE DES METAUX LOURDS :

Le matériel particulaire organique ou inorganique. Dans l'eau de mer, les métaux lourds peuvent se trouver : à l'état ionique, complexes, sous formes colloïdales ou adsorbés sur métalloïdes à l'exception des alcalins et des alcalino-terreux.

Cette appellation fait référence à tous les métaux et

III - 1 - DEFINITION DES METAUX LOURDS :

III - APERÇU GENERAL SUR LES METAUX LOURDS :

Par ailleurs, la surveillance du degré de pollution par des substances organiques (hydrocarbures, phénols, détergents etc...) ou inorganiques (métaux lourds), a montré d'une part que, la pollution chimique est très marquée au niveau portuaire ; elle est révélée par la disparition de certaines espèces sensibles et l'installation d'espèces résistantes. D'autres part, il convient d'accorder une attention plus particulière aux pêcheurs et à leurs familles, ainsi qu'aux employés des restaurants spécialisés dans les poissons et les fruits de la mer ; car ils sont les plus exposés à des risques par la consommation des produits marins contaminés.

de la région d'Alger. En se basant sur l'âge des pêcheurs et leur ancienneté dans le métier, cet auteur a montré que les teneurs obtenues étaient dues essentiellement à la consommation locale de poissons.

AISSI (1981) a analysé le mercure dans l'urine des pêcheurs de la région d'Alger. En se basant sur l'âge des pêcheurs et leur ancienneté dans le métier, cet auteur a montré que les teneurs obtenues étaient dues essentiellement à la consommation locale de poissons.

Dans le même contexte BUAT-MENARD et CHESSELET (1979) ont mis en évidence en Atlantique Nord une corrélation étroite entre les facteurs d'enrichissement en métaux des aérosols et ceux des eaux intermédiaires ou profondes de l'océan.

2 - ORIGINE ANTHROPOGENE :

Les métaux arrivant en mer, proviennent d'une large part :

- * Des rejets domestiques provenant directement des systèmes d'égouts des villes.
- * Des déversements provenant de différentes industries (tab.n.°1).
- * De l'emploi de divers produits (herbicides, pesticides,...) dans l'agriculture.

III - 3 - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES METAUX LOURDS ETUDIES :

Dans l'eau de mer, le mercure, le plomb, le cadmium, le manganèse, le chrome, le cuivre et le zinc sont d'excellents traceurs de la pollution urbaine et industrielle. Ces métaux font partie de deux grands groupes :

- * Métaux essentiels.
- * Métaux non essentiels.

III - 3 - 1 - LES METAUX ESSENTIELS :

Ce sont tous les métaux qui interviennent dans le métabolisme biologique de chaque être vivant, mais pouvant devenir toxiques dès qu'ils dépassent le seuil critique de chaque métal considéré.

Ces oligo-éléments sont au nombre de onze (11) parmi lesquels :

- LE ZINC (Zn) :

Dans l'eau de mer, le zinc est généralement éliminé sous forme d'hydroxyde. Le minimum de solubilité est atteint pour des valeurs de pH allant de 8.5 à 9 environ (O.M.S., 1979). Pour des pH élevés, l'hydroxyde de zinc subit des phénomènes de resolubilisation, tandis que se produit la précipitation d'autres métaux comme le nickel (O.M.S., 1979).

Les chlorures et les sulfates de zinc sont très solubles alors que les carbonates, les oxydes et les sulfures sont insolubles.

Tab. n° 1 : Principales Sources anthropologiques des métaux

Elementa	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
Métallurgie		X	X	X		X		X		X
Imprimerie									X	X
Industrie chimique	X	X	X				X		X	X
Industrie pharmaceutique							X			X
Canalisations									X	
Accumulateurs			X						X	
Raffineries de pétrole			X						X	
Céramiques	X	X	X	X	X			X		
Industrie du verre	X	X	X					X	X	
Agriculture		X	X		X		X	X		
Allumettes						X		X		
Fabrication des colorants						X		X		
Industrie textile				X	X					
Tanneries et cuir	X	X		X	X					
Photographie	X		X	X	X				X	
Papier					X					
Traitement de surface			X		X					
Industrie électro-chimique	X							X		
Réacteurs nucléaires			X							
Parfumerie			X							
Fabrications d'explosifs				X					X	
Energie atomique							X			
Industries électriques			X				X			
Instruments de mesures							X			
Boues d'égouts		X	X	X	X			X	X	X
Industries électrolytique			X							
Cimenteries				X					X	
Galvanoplastie			X	X						
Fonderies							X			
Peintures							X		X	

- LE CUIVRE (Cu) :

Dans un milieu alcalin, le cuivre peut être éliminé par précipitation sous forme d'hydroxyde. Le minimum de solubilité est situé dans un intervalle de pH allant de 9 à 10,3. Par contre, dans un milieu acide, le cation Cu^{++} est soluble.

L'élévation de pH provoque un passage à des formes insolubles, ou difficilement solubles (O.M.S., 1979).

- LE CHROME (Cr) :

Lorsque des traces de $\text{Cr}(\text{OH})_3$ rejoignent l'environnement marin, il est probable que celles-ci se déposent au fond, sous leur forme trivalente qui est la moins nocive (O.M.S., 1979).

L'augmentation de la température provoque l'élévation des effets toxiques de chrome hexavalent, qui est relativement insoluble dans un milieu alcalin et très nocif pour la faune et la flore marine (O.M.S., 1979).

- LE MANGANESE (Mn) :

La dissociation et le dépôt du manganèse dans l'eau de mer sont commandés par les conditions d'oxydo-réduction. Ce métal se dissout en milieu réducteur et se dépose en milieu oxydant.

En dehors des permanganates, les sels de manganèse ne peuvent être nocifs pour la vie aquatique, sauf à des teneurs très élevées.

III - 3 - 2 - LES METAUX NON ESSENTIELS :

Ce sont tous les métaux qui n'ont aucune activité biologique dans l'organisme et dont leur présence (surtout avec de teneurs élevées) provoque des perturbations du métabolisme.

- LE MERCURE (Hg) :

Le mercure est le plus redouté de tous les métaux ; c'est l'unique métal liquide à une température ordinaire et le plus toxique en raison de sa très grande stabilité et de ses effets cumulatifs, en particulier dans les eaux douces (JERNELOV, 1972).

En absence d'oxygène et sous l'action d'ions sulfures, le mercure inorganique (formé surtout dans un milieu alcalin) précipite sous forme de sulfure mercurique et s'accumule dans les sédiments. Quand ces derniers sont oxydants, le sulfure peut alors se transformer par oxydation en sulfate mercurique soluble.

Du point de vue transformation JENSON et JERNELOV (1969) ont signalé qu'un microorganisme non identifié pouvait changer le mercure inorganique en mercure organique et cela dans des conditions d'anaérobies et par l'intermédiaire de la vitamine B12. Mais la présence de sulfure d'hydrogène pourrait réussir à empêcher cette transformation (FAGERSTROIM et JERNELOV, 1977).

- LE PLOMB (Pb) :

La stabilité du plomb dans le milieu marin dépend de plusieurs facteurs : solubilité, absorption, coprécipitation, formation de complexes etc... .

Cet élément est soluble sous forme d'acétate, peu soluble sous forme de chlorure et de sulfate et insoluble sous forme de carbonates et d'hydroxyde.

Certains auteurs ont montré que l'augmentation du pH entraîne une diminution des concentrations du plomb dans le sédiment.

DEGROOT et al. (1976) ont noté que la désorption du plomb augmente avec l'élévation de la salinité.

- LE CADMIUM (Cd) :

Dans l'eau de mer, le cadmium se trouve essentiellement sous forme de $CdCl^+$. Cette association se réalise pour un pH allant de 7 à 9 avec un ordre décroissant : $CdCl_2$, $CdCl^+$, $CdCl_3^-$ et Cd^{++} (ZIRONO et YAMATO, 1972).

A l'état naturel, le cadmium est presque toujours associé au zinc et au plomb. Son pourcentage de complexation augmente avec la salinité (SUNDA et al., 1978).

Le cadmium est typique de la classe des métaux qui présente une distribution "nutriment-type" semblable à celle du phosphate (BRULAND, 1983 ; in COSSA et al., 1989).

III - 4 - CYCLE BIOGEOCHIMIQUE DES METAUX LOURDS :

Le cycle biogéochimique est le cheminement d'une substance donnée par divers processus (physiques, chimiques et biologiques) à travers les principaux réservoirs de la biosphère (fig.n°.1)

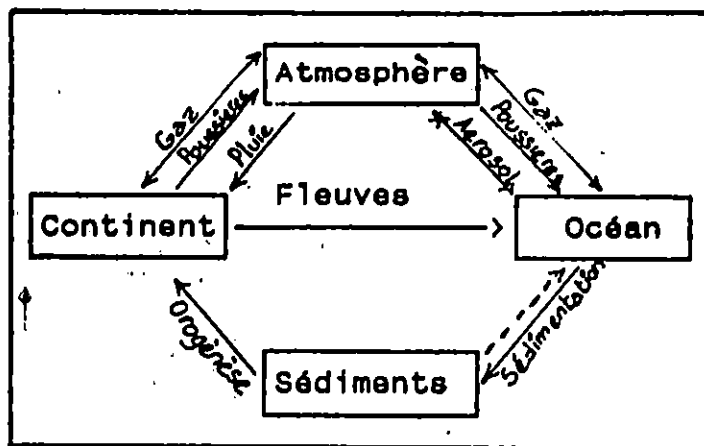


Fig. N°1 : Modèle global de "boîtes"
 (D'après MACKENZIE et al., (1979).
 (in COSSA et al., 1989).

III - 4 - 1 - ECHANGE ENTRE LES DIFFERENTS RESERVOIRS DE LA BIOSPHERE :

Les différents échanges qui peuvent se produire sont résumés dans la figure 2.

III - 4 - 1 - 1 - ECHANGE CONTINENT-ATMOSPHERE-MER :

Au cours de leur transit dans l'atmosphère, la plupart des métaux lourds (dont la présence est engendrée généralement par une forte activité anthropique), retombent directement en mer où sur terre par le biais des précipitations ou par des retombées sèches.

A l'échelle du bassin méditerranéen, CHESSELET *et al.* (1979) ont montré d'une part, que les apports des polluants par voie atmosphérique sont supérieurs à ceux par voie fluviale, d'autre part que la retombée des aérosols marins influe sur la chimie de la matière particulaire en suspension.

Récemment, WILLIAMS *et* HARRISON (1984), BUAT MENARD *et* DUCE (1986) (*in* COSSA *et al.*, 1989) ont montré que la répartition des métaux dans l'atmosphère se fait d'une manière hétérogène, résultant des facteurs météorologiques et amplifiée dans le cas du cadmium. Ce dernier est présent essentiellement sous forme d'aérosol et dont le temps de résidence dans l'atmosphère est de l'ordre de quelques jours.

IV - 4 - 1 - 2 - ECHANGE EAU DOUCE - EAU SALEE :

A l'interface eau douce - eau salée, les métaux subissent des changements de phase en raison des forts gradients physico-chimiques.

En effet, l'augmentation de la salinité, le changement de l'environnement ionique et l'élévation du potentiel d'oxydo-réduction entraînent la floculation des matériaux pseudo-colloïdaux en suspension par suite de l'échange de cation adsorbé (désorption Ca^{++} fluvial et adsorption du Na^+ et Mg^{++} marin) (PAUC, 1987).

III - 4 - 1 - 3 - ECHANGE PHASE DISSOUTE ET PHASE PARTICULAIRE :

L'adsorption et la sédimentation des métaux sur les particules contrôlent les niveaux de concentration et la distribution de nombreux métaux dans le milieu marin.

La matière particulaire formée dans la zone euphotique par le développement du phytoplancton est transférée au zooplancton par voie indirecte (nourriture), puis libérée de nouveau dans la colonne d'eau sous forme de pelotes fécales ou de débris divers. La sédimentation de ces derniers provoque le dépôt de la matière particulaire, entraînant ainsi avec elle les métaux qui lui sont adsorbés à sa surface.

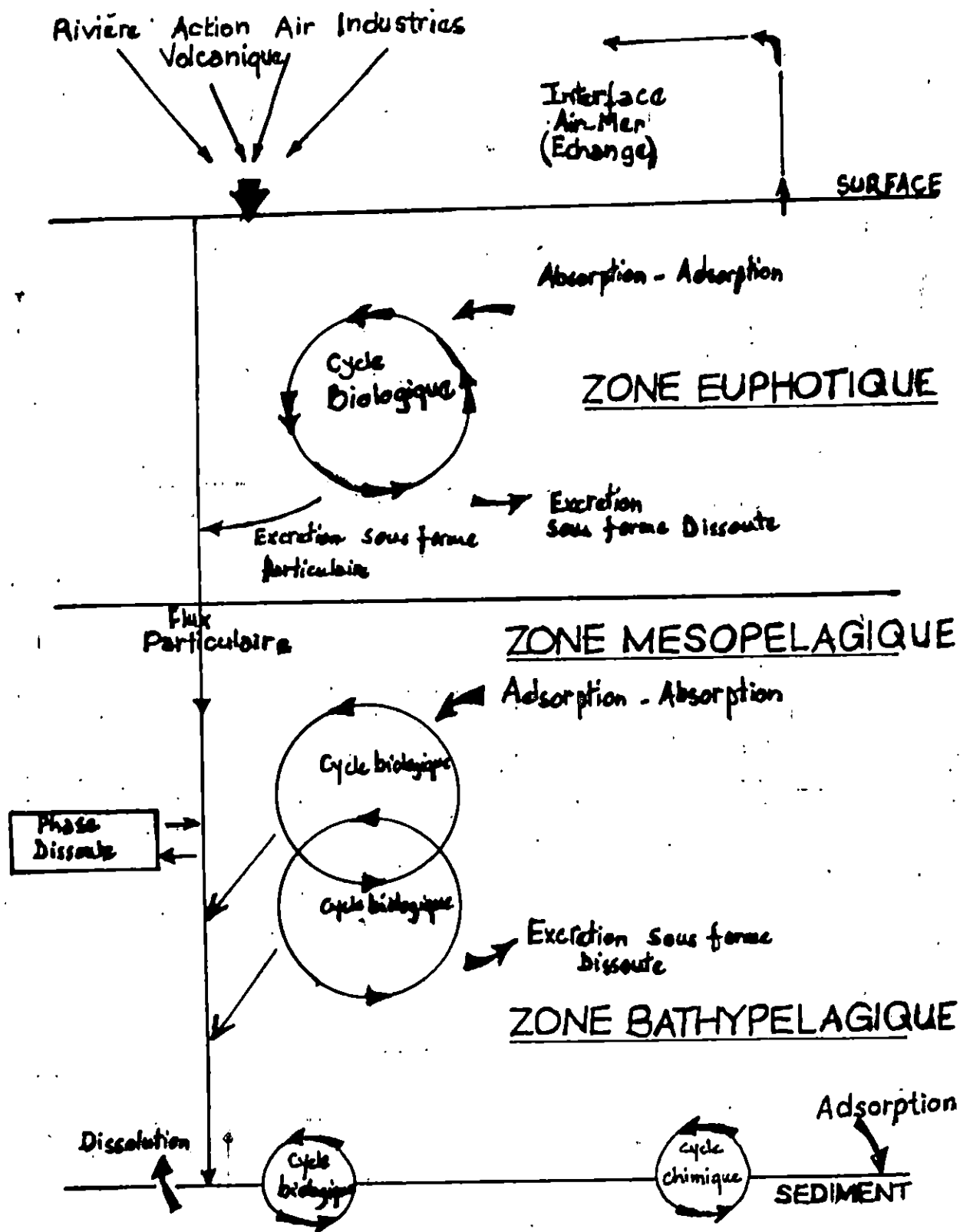


Fig. N°2 : Cycle Biogéochimique des Métaux Lourds dans le milieu Marin.
(UNEP. Athene, 1986)

Ce type de transport vertical par gravité et d'une importance capitale pour le cycle des métaux dans la mer (FOWLER et KNAVER, 1986 in COSSA et al., 1989). Toutefois, plusieurs auteurs ont montré que le cuivre, le zinc et le cadmium sont essentiellement associés à la matière organique, tandis que le plomb semble lié aux argiles, et aux hydroxydes et oxydes de fer et de manganèse.

III - 4 - 1 - 4 - ECHANGE EAU-SEDIMENT :

Les réactions de dégradation de la matière organique initiées dans la colonne d'eau se poursuivent à l'interface eau-sédiment et ce en particulier dans les zones côtières peu profondes où la matière particulaire peu minéralisée parvient sur le fond.

L'oxydation de cette substance sédimentée entraîne une remise en solution de certains métaux à partir de la phase particulaire tandis que d'autres précipitent.

Pour cela, la détermination de la teneur des micropolluants dans les sédiments superficiels ne sont pas de simple reflets du niveau de contamination, mais aussi le résultat d'un compromis cinétique entre le taux de sédimentation, les réactions diagenétiques (diagenèse précoce) et de la bioperturbation.

Pour cette raison, un sédiment récent est loin d'être simplement un piège de polluants ; il apparaît comme un système dynamique susceptible de recycler une partie importante de métaux sédimentés.

III - 5 - COMPORTEMENT DES METAUX LOURDS DANS LE MILIEU MARIN :

III - 5 - 1 - FORME SPECIFIQUE DES METAUX LOURDS DANS LE MILIEU MARIN :

La forme spécifique des métaux lourds dans l'écosystème marin apparaît comme un des paramètres principaux qu'il importe de déterminer pour comprendre et prévoir les principales réactions de transferts physico-chimiques, biologiques et leur impact sur l'environnement marin. (tab. n°.2 et n°.3).

III - 5 - 2 - PRINCIPALES REACTIONS DE TRANSFERT DES METAUX LOURDS DANS LE MILIEU MARIN :

Une fois déversés dans l'environnement marin, les métaux lourds subissent des transformations par des agents physiques, chimique et tout particulièrement biologiques, qui auront tendance à modifier la composition originale de ces métaux et cela par :

Tab. 3 : Distribution selon la taille de quelques espèces chimiques du Cadmium dans les eaux naturelles (adaptés de SIMPSON, (1981), in COSSA et al. 1989).

Solution Vraie	Colloïde	Particulaire
→ 0.01 μm	← 0.4 μm	←
Ions libres	Colloïdes minéraux	Precipités inorganiques et organiques
Complexes inorganiques	Complexes organiques de P.M. élevé	Organismes vivants
Complexes organiques	Métal adsorbé	
exemple : Cd ⁺⁺	exemple : CdCo ₃	exemple : Cd adsorbé sur des particules
CdCl ⁺	CdS	
CdCOOCr	Cd-Acides humiques	Cd adsorbé sur les organismes
	Cd adsorbé sur des hydroxydes	

(P.M: Poids Moléculaire)

Les sont très solubles et jouent un rôle important dans la mise en solution des oligo-éléments métalliques à partir de la phase particulaire. On peut penser par exemple aux complexes chlorés comme $PbCl_4$, $CdCl_4$, $MgCl_4$, etc....

- COMPLEXES INORGANIQUES :

- a - Des complexes simples dans lesquels chaque radical organique est relié à l'ion métallique central par une seule liaison de covalence (complexes organométalliques).
- b - Des intra-complexes ou composés chélatés dans lesquels un radical organique est relié à l'ion métallique par plusieurs liaisons de covalence. Généralement l'ion métallique est pris en pince entre deux ions électronegatifs.

- COMPLEXES ORGANIQUES : Ils sont de deux types :

Ces réactions vont d'une façon générale concurrencer les phénomènes de sorption d'oligo-éléments par les particules sédimentaires. On distingue des complexes organiques et inorganiques.

- FORMATON DE COMPLEXES :

Il s'agit d'une réaction stoechiométrique et réversible. Son importance varie selon l'élément considéré.

- ECHANGE IONIQUE :

Une différence des forces de valence crée une liaison entre le métal et la particule :

2 - SORPTION CHIMIQUE :

Se manifeste à l'interface solide-liquide, même si la surface du métal est chimiquement inactive.

1 - SORPTION PHYSIQUE :

Il existe deux (02) sortes de sorption
Pour de nombreux auteurs, les phénomènes de sorption seraient les processus les plus importants régissant la distribution des métaux dans l'eau de mer. (KLINGEMAN et al., 1965) ; JN MARTIN et al., 1976).

- PHENOMENE DE SORPTION (ABSORPTION-ADSORPTION) :

III - 5 - 3 - BIOACCUMULATION ET BIOMAGNIFICATION :

Selon le comité européen (BERLIN, 1977 ; in CHOUIKHI, 1980)

- La bioaccumulation est la possibilité pour une espèce donnée de concentrer un toxique à partir du milieu extérieur : CONTAMINATION DIRECTE.

- La biomagnification est la possibilité pour un toxique d'être accumulé par une chaîne trophique : CONTAMINATION INDIRECTE (schéma n°.2).

Delà, la bioaccumulation est l'absorption directe du toxique à partir du milieu extérieur (effet bain), ou indirecte par la nourriture.

Par contre, la biomagnification est l'augmentation de la teneur en toxique lorsqu'on s'élève dans la chaîne alimentaire (tab.4 fig.3). Ces deux phénomènes de bioconcentration dépendent de plusieurs facteurs parmi lesquels on trouve : l'espèce, le métabolisme, le sexe, l'âge, le poids et les paramètres physico-chimiques de l'eau environnante.

Enfin, certains auteurs ont montré que le processus de biomagnification n'induit pas toujours à un enrichissement du toxique d'un échelon à un autre, car pour certains métaux les teneurs enregistrées par certains auteurs chez les organismes de la base de la chaîne trophique sont supérieures ou égales à celles obtenues dans ceux proches du sommet de la pyramide (tab.n°.5).

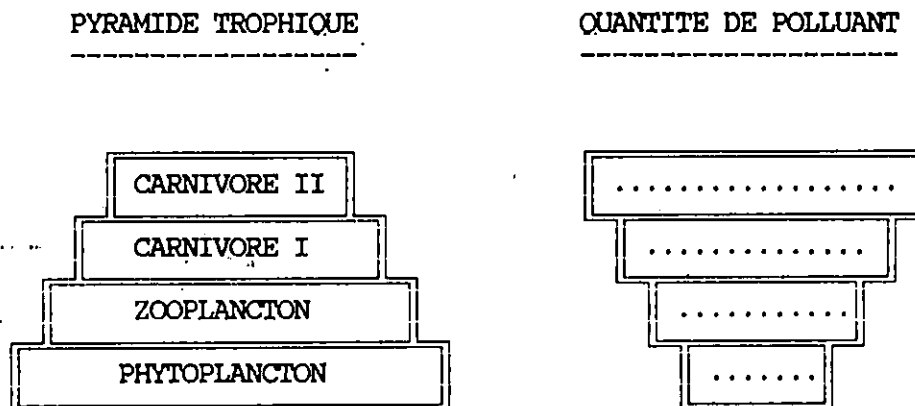


Fig. 3 : TRANSFERT DE POLLUANT PAR BIOACCUMULATION

(D'APRES RAMADE, 1979)

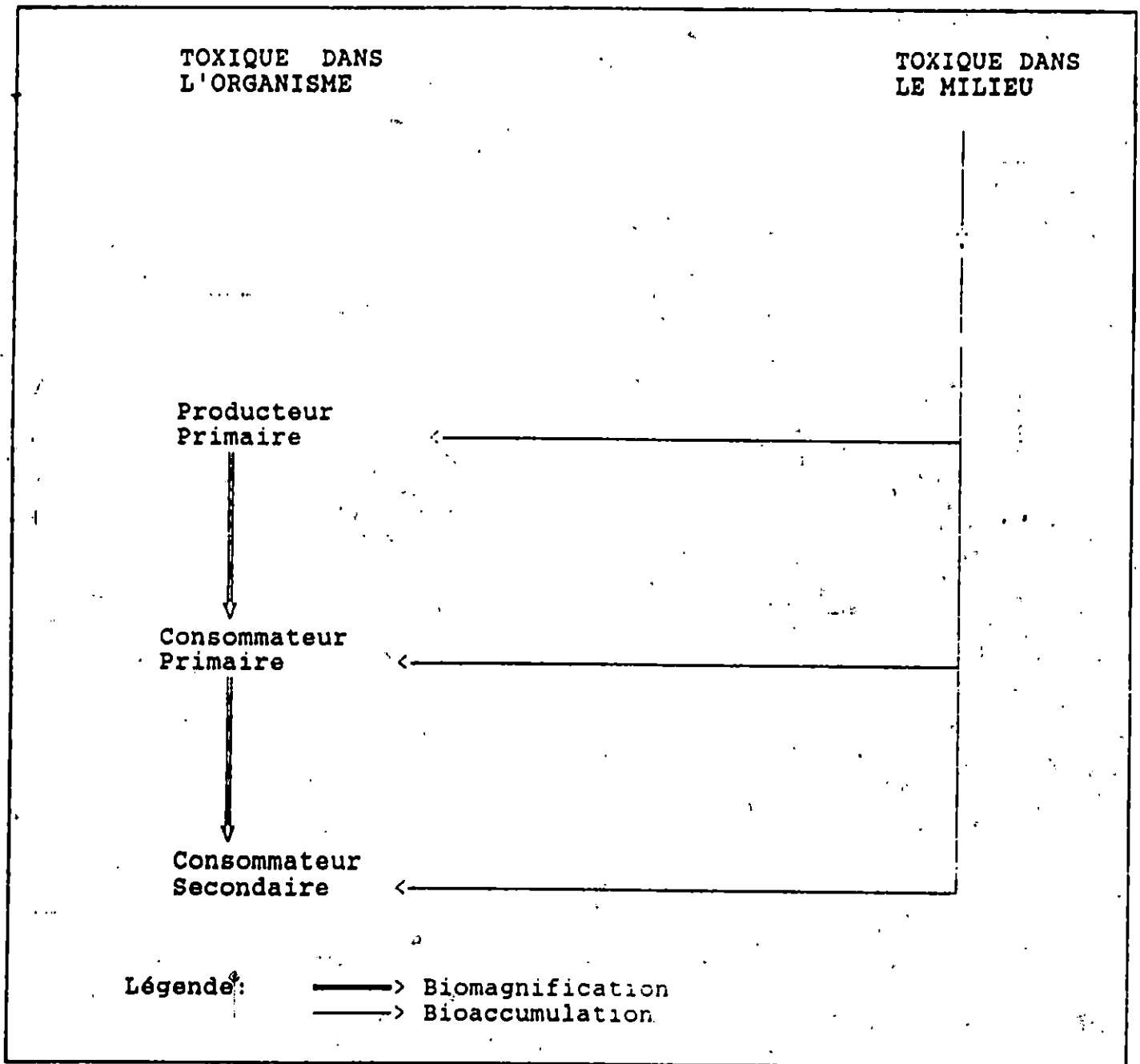


Schéma n°2 : Les voies d'accumulation et de transfert d'un toxique dans trois maillons de la chaîne trophique (CHOUIKHI, 1980).

Tab. n° 4 : Concentrations de quelques métaux lourds dans différents échelons de la chaîne trophique ($\mu\text{g/g}$ - P.S.); O.M.S. (1979).

Element	Eau de mer (ng/ml)	Phytoplancton	Zooplancton (copépodes)	Mollusques (bivalves)	Poissons
Cr	0.3	1.5	1.0	1.5	0.5
Cu	2.0	7.0	10	10	3.0
Pb	0.03	4.0	3.0	5.0	3.0
Zn	4.9	38	113	100	80

Tab. n° 5 : Concentrations de quelques métaux lourds dans les moules et les roussettes du littoral Français ($\mu\text{g/g}$ - P.F.) (Inspiré d'Equinoxe, 1990).

Espèces	Arsenic	Cadmium	Mercure	Plomb
Moule	2.9	0.234	0.032	0.580
Roussette	30.3	0.008 ? -----	0.675	0.051 -----

La limite de toxicité de ce métal (qui est le plus toxique des métaux lourds surtout sous la forme organique) est faible chez les organismes marins : elle est de 0,2 mg/l pour les bactéries (E. Coli), 0,1 mg/g pour le plancton et 0,25 mg/l pour les algues (BOUKHALFA et IZZA, 1987). Chez le mollusque *Crassostrea virginica* la dose létale est de 12 mg/l, elle entraîne une réduction de la croissance des larves de cette espèce.

La pollution de l'environnement marin par le mercure est devenue un problème pressant depuis la tragédie causée par la maladie de MINAMATA.

- LE MERCURE :

III - 5 - 4 - 1 - LES EFFETS TOXIQUES DES METAUX LOURDS :

Dans ce paragraphe, nous présentons les effets toxiques des métaux lourds étudiés sur la faune et la flore marine, puis les différentes interactions qui peuvent se produire entre ces métaux d'une part et leur milieu ambiant d'autre part (tab.n°6).

III - 5 - 4 - IMPACT DES METAUX LOURDS DANS LE MILIEU MARIN :

Enfin, les métallothionéines ont également un rôle néfaste dans le sens où en favorisant la fixation des métaux lourds dans les organismes, ces métalloprotéines augmentent le risque de contamination des échelons de la pyramide trophique.

Dans le cas du cadmium NOEL-LAMBOT et al. (1978) ont montré qu'il existe un seuil des concentrations soit dans l'eau soit dans l'organisme à partir duquel les métallothionéines apparaissent. Mais récemment ENGEL et BROUWER (1986) (In COSSA et al., 1989) ont montré que la synthèse des métallothionéines dans l'organisme est liée essentiellement à la concentration du métal dans les tissus.

Par contre, en dehors de l'intoxication ces protéines pourraient fournir les métaux lourds nécessaires lors de la synthèse des métabolites et assurer l'hémostase des teneurs en éléments métalliques dans la cellule.

En réponse à une intoxication, les métallothionéines ont un rôle protecteur et cela en stockant le surplus des métaux lourds, mais cette détoxification peut être limitée dans le cas où les cellules tubulaires sont insuffisantes pour produire les métallothionéines.

Franchissant la membrane cellulaire, les métaux lourds se lient à des protéines spécifiques parmi lesquelles " les métallothionéines ". Ces dernières sont distinguées du reste par leur absorption dans l'ultra-violet, leur faible poids moléculaire, leur teneur en métaux lourds et leur composition en acides aminés.

III - 5 - 3 - 1 FIXATION DES METAUX LOURDS DANS LES METALLOTHIONÉINES

Tab. n°6 : Facteurs influençant la toxicité des métaux lourds
(O.M.S., 1979).

<p>FORME DU METAL DANS L'EAU DE MER</p>	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">[</td> <td style="padding: 0 10px;">inorganique</td> <td style="padding: 0 10px;">soluble</td> <td style="padding: 0 10px;">[</td> <td style="padding: 0 10px;">ion complexe ion chélaté molécule</td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">organique</td> <td style="padding: 0 10px;">en particules</td> <td style="padding: 0 10px;">[</td> <td style="padding: 0 10px;">colloïdal précipite adsorbe</td> </tr> </table>	[inorganique	soluble	[ion complexe ion chélaté molécule	organique	en particules	[colloïdal précipite adsorbe
[inorganique		soluble	[ion complexe ion chélaté molécule					
	organique	en particules	[colloïdal précipite adsorbe						
<p>PRESENCE D'AUTRES METAUX OU POISONS</p>	<p>action combinée pas d'interaction antagonisme</p>									
<p>FACTEURS INFLUENCANT LA PHYSIOLOGIE DE L'ORGANISME ET EVENTUELLEMENT LA FORME DU METAL DANS L'EAU</p>	<p>Température pH Oxygène dissous lumière salinité</p>									
<p>CONDITIONS DE L'ORGANISME</p> <p>REACTION OBSERVEE DANS LE COMPORTEMENT</p>	<p>phase de développement (oeuf, larve...etc) changement du cycle de la vie (mue, reproduction....) âge et taille. sexe. privation de nourriture. activité.</p> <p>protection supplémentaire (coquille par exemple). adaptation aux effets des métaux. changement de comportement.</p>									

- LE PLOMB :

Chez les jeunes larves de Crassostrea virginica, CALABRESE et NELSON (1974) (in DESLOUS - PAOLI, 1982) ont obtenu une concentration létale supérieure à 6 mg/l. Par contre chez les poissons, il a été constaté que le plomb a des effets nocifs sur les structures membranaires, en particulier les branchies. En effet, à des doses élevées ce métal peut réduire leur croissance, détruit leurs globules rouges et inhibe l'activité de l'ALA-déshydratase, enzyme impliquée dans la synthèse de l'hème (D'AMELIO et al., 1974).

- LE CADMIUM :

Les effets les plus connus sont relatifs à la maladie D'ITAI-ITAI (aïe - aïe) au JAPON, qui se traduit par des troubles du métabolisme et des affections osseuses extrêmement douloureuses.

Pour les organismes marins et d'après SANDERS et CIBIK (1985) (in COSSA et al., 1989), la toxicité du cadmium serait liée à sa forme ionique plutôt qu'au cadmium total ou encore chélaté. En effet, chez les bactéries E. COLI, la limite de la toxicité de l'ion Cd⁺⁺ est de 15mg/l, par contre chez les algues et les crustacés elle est de 0,1mg/l (BOUKHALFA et IZZA, 1987).

Chez les larves de Crassostrea virginica la dose létale de cadmium est de 0,005 mg/l (ZARCOGIAN et MORRISON, 1981 ; in COSSA et al., 1989). Des teneurs plus basses (400 ng/g) sont capables de réduire l'éclosion chez la seiche (ESTABLIER et PASCAL, 1983).

- LE MANGANESE :

La coprécipitation du manganèse avec les hydroxydes de fer peut accroître son accumulation par les algues et les éponges.

CALABRESE et al. (1973) (in DESLOUS - PAOLI, 1982) ont signalé que la concentration létale en 48 heures pour les jeunes larves de Crassostrea virginica est de 16 mg/l, par contre MARTIN et al. (1976) ont montré que les larves d'huîtres seraient tuées à partir d'une concentration plus faible correspondant à 0,15 mg/l.

- LE CHROME :

On considère généralement que c'est la forme hexavalente du chrome qui est la plus toxique. Chez les algues, la photosynthèse peut être réduite d'une façon notable à partir d'une concentration de l'ordre de 4 mg/l.

Le seuil de toxicité du chrome est de 16,2 mg/l chez le copépode Tibire holothuriae (MORAITOU - APOSTOLO POULOU et VERRIPOULOUS, 1980), par contre chez les petits crustacés il est de 42 mg/l (BOUKHALFA et IZZA, 1987).

- LE CUIVRE :

Malgré son importance dans l'activité biologique et à de fortes teneurs, Le cuivre peut provoquer des effets nocifs sur la faune marine.

En effet, au niveau du phytoplancton, ce métal retarde la croissance et trouble l'assimilation des nitrates et des phosphates, d'autant plus que la quantité de cuivre dans le milieu est élevée (AID et al., 1982).

Le cuivre peut inciter une décoloration verdâtre du manteau chez les huîtres (qui sont très sensibles à cet élément) et altérer les centres locomoteurs et l'orientation chez le poisson chat, à partir d'une dose de 0.01 mg/l dans l'eau et une concentration létale de 4.17 mg/l (STEEL, 1983 ; in ABDELOUHAB et NACEUR, 1985).

- LE ZINC :

Chez les bactéries et à de fortes teneurs, le zinc provoque un ralentissement du processus biologique, qui se traduit généralement par une diminution de la respiration et une forte perturbation de l'assimilation de l'azote.

En 1970, HALS TEAD (in DESLOUS - PAOLI, 1982) a montré que le zinc peut être toxique pour les larves des mollusques à partir de 0.4 mg/l. LEE and XU (1984) (in ABDELOUHAB et NACEUR, 1985) ont indiqué que des concentrations supérieures à 0.62 mg/l dans l'eau de mer, sont capables d'inhiber totalement la fertilisation chez les larves d'oursin.

III - 5 - 4 - 2 - SYNERGIE ET ANTAGONISME :

- DEFINITION :

On parle de synergie lorsqu'un élément, non toxique quand il est introduit seul dans l'environnement, le devient en présence d'autres composés, où dans le cas de deux éléments toxiques, lorsque la toxicité résultant de leur association est supérieure à la somme de leurs toxicités respectives. Dans le cas contraire, on parle d'antagonisme.

Le tableau 7 est un exemple du phénomène d'interaction qui peut se produire entre certains métaux.

Tab. n°7 : Interactions entre quelques métaux lourds.

Organisme	Combinaison	Effet	Référence
Diatomées	Fe - Cd	Antagoniste	FOSTER et MOREL (1982) HARRISON et MOREL (1983)
Dino- flagellés	Cd - Se	Antagoniste	PREVOT et SOYER GOBILLARD (1986)
Copépodes	Cu - Cd	Synergique	D'AGOSTINO et FENNEY (1974)
Crabes	Pb - Zn	Synergique	BENJTS-CLAUS et BENJTS (1975)
Moules	Cd - Hg	Antagoniste	BREITT MAYER et COOL. (1980)
Huitres	Hg - Ag	Antagoniste	MCINNES et CALABRESE (1978)

- INFLUENCE DE LA TEMPERATURE ET DE LA SALINITE SUR LE

PHENOMENE DE SYNERGIE ET D'ANTAGONISME :

Pour des jeunes larves de Crassostrea virginica, Mc INNES et CALABRESE (1978) ; (in DESLOUS - PAOLI, 1982) ont constaté que le cuivre, le mercure, l'argent et le zinc sont tous moins toxiques à 25°C qu'à 20°C et 30°C. Une année plus tard, ces auteurs ont décrit que la capacité des embryons de la même espèce test à s'adapter au changement de salinité et de température diminue lorsqu'ils sont exposés à 20 µg/l de cuivre.

Pour le mercure, NELSON et al. (1977) (in DESLOUS - PAOLI, 1982) ont montré qu'à de faibles salinités et à de hautes températures, cet élément exerce un effet synergique pour les juvéniles d'Arcopecten.

Enfin, HRS BRENKO et al. (1977) (in DESLOUS - PAOLI, 1982) ont décrit l'effet synergique du nitrate de plomb, de la température et de la salinité, sur des larves de Mytilus galloprovincialis. Cet effet est minime au conditions de température (15.6°C) et de salinité (34,8‰), mais il augmente dès qu'on s'éloigne de ces valeurs.

- INFLUENCE D'AUTRES FACTEURS :

Parmi d'autres facteurs qui peuvent agir sur la toxicité des éléments métalliques, nous citerons les sédiments et les argiles, dont la présence en abondance influe directement sur le devenir de ces métaux. En effet, FRENET (1979) a montré que l'adsorption et la désorption du mercure par exemple dans les estuaires sont fonctions de la forme chimique des éléments toxiques et aussi de la présence de composés organiques dans les sédiments.

Pour cela, et à l'exception des organismes filtreurs, MARTIN et al. (1976) pensent que les sédiments auraient tendance à jouer un rôle antagoniste sur la toxicité des éléments métalliques. Mais ces derniers peuvent être libérés de nouveau de cette matrice inorganique (sédiment) par l'action de certains produits complexants, par l'intermédiaire des bactéries ou des organismes benthiques servant de nourriture aux organismes pélagiques.

IV - APERCU GENERAL SUR LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES :

Les paramètres physico-chimiques sont des traceurs capables de caractériser et de décrire l'évolution d'une masse d'eau ou d'un phénomène.

Pour cette raison nous nous sommes intéressés à leur étude dans l'eau. De cette dernière et de ses caractéristiques physiques et chimiques dépend l'évolution des teneurs en polluants chimiques dans les sédiments et les organismes marins.

IV - 1 - SALINITE :

Par son influence sur la densité de l'eau de mer, la salinité permet de connaître la circulation océanique, d'identifier les masses d'eaux d'origines différentes et de suivre leur mélange au large comme à la côte ou dans les estuaires.

Cette proportion de sels minéraux dissous dans l'eau de mer, peut freiner le phénomène de bioaccumulation et diminuer la concentration d'oxygène lorsqu'elle augmente.

La salinité est considérée comme l'attribut le plus caractéristique de l'eau de mer, permettant de suivre les variations d'épaisseur du courant algérien et de la dynamique qu'il génère le long des côtes.

IV - 2 - TEMPERATURE :

La température potentielle est un paramètre très important qui permet l'étude des mélanges des masses d'eau et de déterminer la valeur de solubilisation des gaz dissous en particulier l'oxygène.

En cas d'une forte pollution, la température peut devenir un facteur létal, en abaissant fortement le seuil critique d'un polluant et en limitant l'aire de répartition des organismes marins.

Ce paramètre physique peut agir directement sur la sédimentation. Son élévation entraîne une diminution de la viscosité de l'eau, favorisant ainsi une sédimentation rapide.

Les variations de la température des eaux superficielles dépendent de celles de l'atmosphère.

IV- 3 - L'OXYGENE DISSOUS :

Dans l'eau de mer, l'oxygène dissous, dont la teneur est la résultante des facteurs physiques, chimiques et biologiques (photosynthèse, respiration, réaction d'oxydo-réduction etc...), est un paramètre important du milieu qui gouverne la majorité des processus chimiques et biologiques.

C'est un gaz NON-CONSERVATIF, il diminue lorsque la salinité et la température augmentent et croît avec la pression, l'agitation et l'altitude.

Ainsi, ce sont les eaux froides qui renferment le plus d'oxygène, contrairement aux eaux chargées en matière organique qui renferment les plus faibles taux d'oxygène provoqués par sa consommation rapide par les bactéries.

Dans la couche euphotique, il y a une légère sursaturation due à la photosynthèse et à l'échange air-mer, mais dépassant cette zone, la teneur de l'oxygène dissous diminue jusqu'à ce qu'elle atteigne un minimum caractéristique suite à son utilisation par les réactions chimiques d'oxydation, puis augmente à nouveau avec la profondeur.

Par contre au sein du sédiment, la teneur d'oxygène dépend principalement des caractéristiques granulométriques du sédiment de l'épaisseur de la zone de bioturbation et du taux de la matière organique.

En dessous de la zone de bioturbation (zone d'oxydation) il y a la zone sans bioturbation dépourvue totalement d'oxygène et appelée aussi zone réductrice.

IV - 4 - POTENTIEL HYDROGENE (pH) :

Le pH d'une solution exprime son acidité ou son alcalinité, il est défini par l'équation suivante :

$$\text{pH} = - \text{Log} (\text{H}_3\text{O}^+)$$

Le pH de l'eau de mer est alcalin, il est voisin de 8,2. La moindre variation de la teneur en gaz carbonique CO_2 (Respiration, photosynthèse) ou en carbonates CO_3 (précipitation) entraîne un changement du pH.

Pendant le jour, l'activité photosynthétique entraîne d'importantes variations diurnes de pH et cela par l'absorption intense du gaz carbonique et la précipitation des carbonates. Le mécanisme inverse intervient pendant la nuit.

IV - 5 - MATIERE EN SUSPENSION (M.E.S.) :

IV - 5 - 1 - DEFINITION :

La matière en suspension, correspond à l'ensemble des particules solides en suspension dans l'eau et dont la taille est supérieure à 0,45 μm . Elle est essentiellement constituée de deux fractions l'une composée d'argile et de limon, l'autre de la matière organique.

IV - 5 - 2 - ORIGINE :

Au sein de la colonne d'eau, les particules en suspension peuvent provenir :

- * Du phénomène d'érosion des côtes et de la remise en suspension des sédiments.
- * Des apports fluviaux, important en période de crue.
- * Des aérosols transportés vers la mer par les vents.
- * Du détritrus organique ou inorganique.
- * Des organismes vivant librement au sein des eaux et passivement entraînés par elles " bactéries, phytoplancton etc...".

IV - 5 - 3 - ROLE DE LA MATIERE EN SUSPENSION DANS LE MILIEU MARIN :

La présence de la matière en suspension est indispensable dans l'eau de mer, en effet :

- * De nombreux organismes se nourrissent en filtrant l'eau de mer et en retenant tout ce qui est susceptible d'être assimilé.
- * La matière en suspension diffuse fortement les ondes acoustiques et optiques et intervient ainsi directement dans la propagation des ondes sonores et lumineuses.
- * Son dépôt au fond forme le sédiment marin.
- * La matière en suspension est une source importante pour la nutrition de la communauté bactérienne.

Cependant, ces particules en suspension peuvent également avoir un rôle défavorable dans le cas où :

- * Elles augmentent la turbidité des eaux, qui limite la pénétration de la lumière, donc de la photosynthèse.
- * Elles réduisent le biotope des invertébrés entrant dans la chaîne alimentaire.
- * Elles épaississent les cellules épithéliales des branchies des poissons.

IV - 5 - 4 - IMPORTANCE DE L'ETUDE DE LA MATIERE EN SUSPENSION :

Possédant une grande surface spécifique et favorisant des réactions d'interface solide-liquide, les particules insolubles en suspension ont un rôle majeur comme agent vecteur des éléments métalliques d'origine naturelle ou artificielle.

Pour cela, l'étude de la matière en suspension contenue dans l'eau de mer et plus particulièrement dans les eaux côtières constitue un paramètre important, qui marque généralement bien le degré de pollution d'un affluent urbain ou industriel.

**" Tout homme a droit à un environnement de qualité et il
a devoir de le protéger pour les générations futures."**

KERMARREC.

CHAPITRE II :
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I - SITUATION GEOGRAPHIQUE :

- BAIE DE BOU-ISMAIL :

La baie de BOU-ISMAIL (ex. castiglione), située à l'Ouest d'Alger s'étend sur environ 509 km², entre le Massif du CHENOUA, à l'Ouest et la pointe d'EL DJAMILA (ex. LA MADRAGUE), Ras acrata, à l'Est (carte 1).

Dans ce domaine maritime se distinguent deux petites baies :

- * La baie de CHENOUA à l'extrémité Ouest.
- * La baie d'EL DJAMILA dans la partie orientale.

La limite Nord de la baie peut en gros se confondre avec le tracé de la courbe bathymétrique de 200m, qui marque la fin du rebord continental (carte 2). Plusieurs oueds à régime très irrégulier jalonnent cette baie, dont les plus importants sont :

- OUED MAZAFRAN :

Issu de la jonction de l'oued CHIFFA et l'oued DJER (au niveau de la plaine de Mitidja), l'oued MAZAFRAN est limité au Nord par les contreforts du SAHEL, à l'Ouest par la ride N.S de BOURKIKI, à l'Est par une ligne sensiblement N.S passant par l'oued FAYET, DOUERA, les quatre CHEMINS-BOUINAN et au sud par la ligne des contreforts qui s'étendent de BOUINAN à AMEUR EL AIN en passant par BLIDA, EL AFFROUN etc

Cet oued, dont l'embouchure est située à 6 milles environ à l'Est de BOU-ISMAIL, couvre une superficie de 600 km², sa profondeur n'est pas considérable : 2 m en basses eaux, 3 m en période de crue (DIEUZEIDÉ, 1932).

- OUED NADOR :

Situé dans la partie occidentale de la baie de BOU-ISMAIL, l'oued NADOR prend son nom de la cluse de TIPAZA avant de déboucher dans la baie de CHENOUA. Il regroupe les oueds : BOU-YERSEN, BOU-ARDON et MERAD. Sa superficie est de 200 à 230 km².

- OUED BENI-MESSOUS :

L'oued BENI-MESSOUS est situé à 18 km environ d'ALGER. IL traverse les communes de BENI-MESSOUS et CHERAGA au Nord, BOUZAREAH, au niveau d'une agglomération appelée "la tribu" au Nord-Est, DELY-IBRAHIM à l'Est et AIN-BENIAN à l'Ouest.

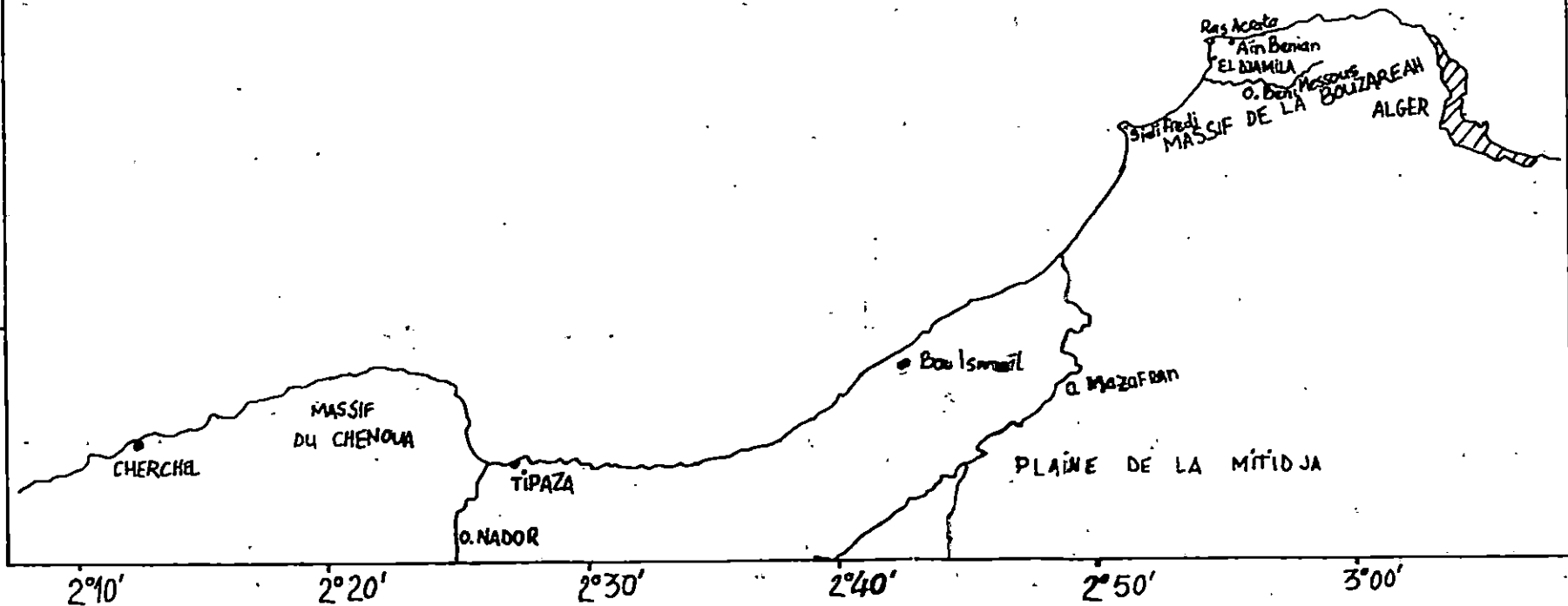
Carte N°1 : Présentation générale de la Baie de Bou-Ismaïl.

Ech. : 0 8km



36°50'

36°40'



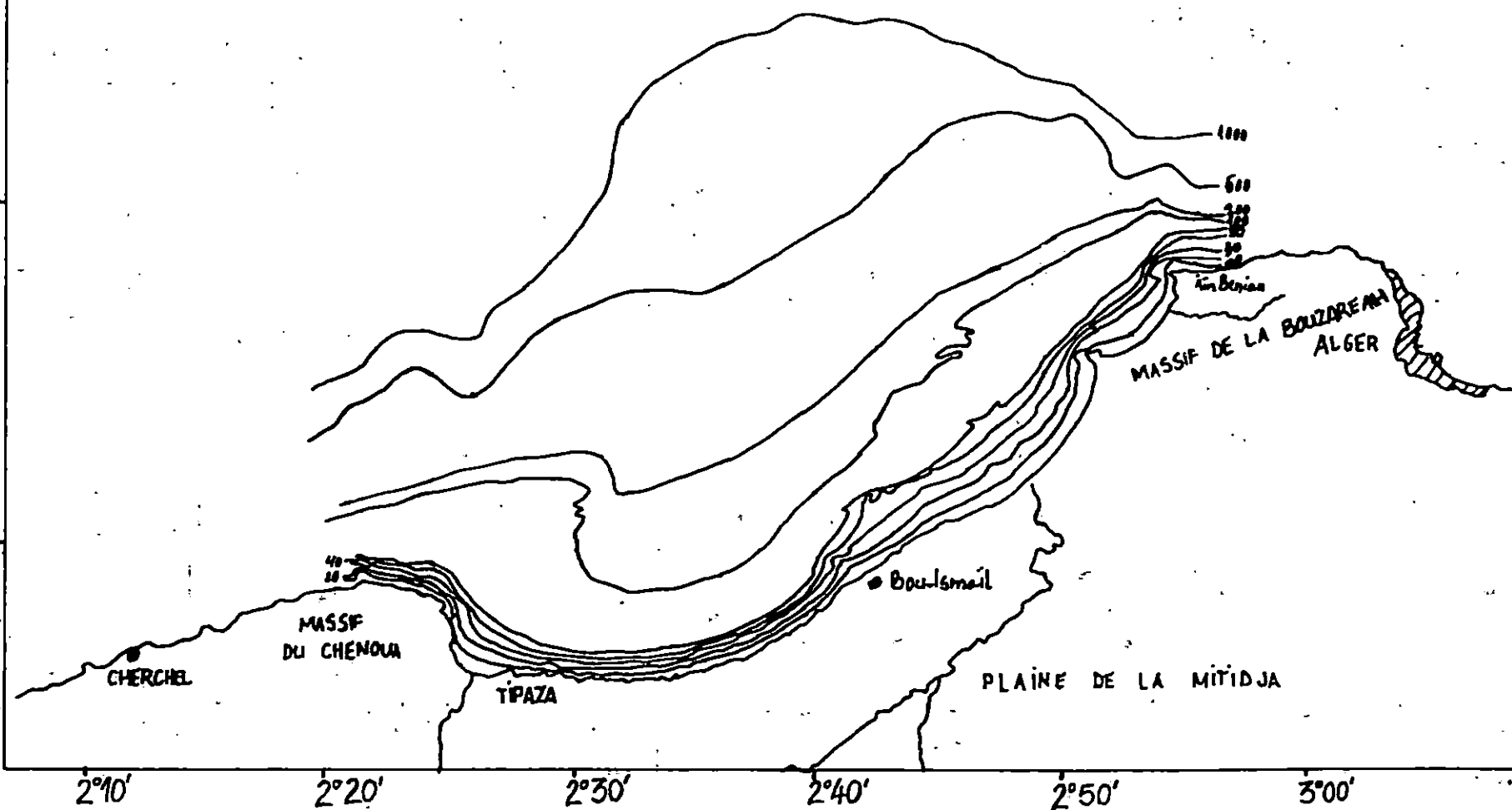
Carte N°2 : Carte Bathymétrique de la Baie de Bou-Ismaïl. (LECLAIRE, 1972)

Ech. : 0 8 km



36° 50'

36° 40'



2° 10'

2° 20'

2° 30'

2° 40'

2° 50'

3° 00'

D'une longueur de 11,5 kilomètres et une pente moyenne de 3%, cet oued couvre une surface de 33 kilomètres carré environ et débouche au niveau d'une mini baie appelée "les dunes". Cette dernière fait partie de la baie d'El DJAMILA ; elle même localisée dans la partie orientale de la baie de BOU-ISMAIL.

II - SEDIMENTOLOGIE :

La carte sédimentaire établie par BOKRETAOUI et BOUTOUILI (1989) (indiquant la présence de quatre faciès sédimentaires principaux), nous a permis de constater une différence nette entre les fonds situés à l'Est et à l'Ouest de la baie de BOU-ISMAIL (carte 3).

* A l'Ouest, les dépôts sont très vaseux ; ils sont dues probablement aux apports des principaux oueds se jetant dans la baie.

* A l'Est du méridien de BOU-ISMAIL, BOU-HAROUN, les fonds sont plus hétérométriques : il s'agit d'avantage de vases-sableuses et de sables vaseux avec des débris coquilliers en importance variable.

La prédominance de la sédimentation vaseuse à l'ouest de la baie, laisse supposer selon plusieurs auteurs parmi lesquels DAGORNE (1970), qu'au droit de CHENOUA, il existe une zone d'abri, en dehors de la grande circulation "Atlantique", où les sédiments en grande partie d'origine terrigène peuvent se déposer. LECLAIRE (1972) propose l'intervention des oueds pour expliquer l'apparition de cette vasière littorale.

Concernant la répartition en surface des lutites sur le plateau continental de la partie orientale de la baie de BOU-ISMAIL, AIT KACI et PAUC (1981) ont montré que l'apparition de plusieurs plages d'envasement précoces situées principalement devant l'oued MAZAFRAN et devant l'oued BENI-MESSOUS (fig.4), résulte du dépôt rapide, proche de l'embouchure, des matériaux en suspension émis par ces oueds, sous l'effet des phénomènes de floculation (fig.5).

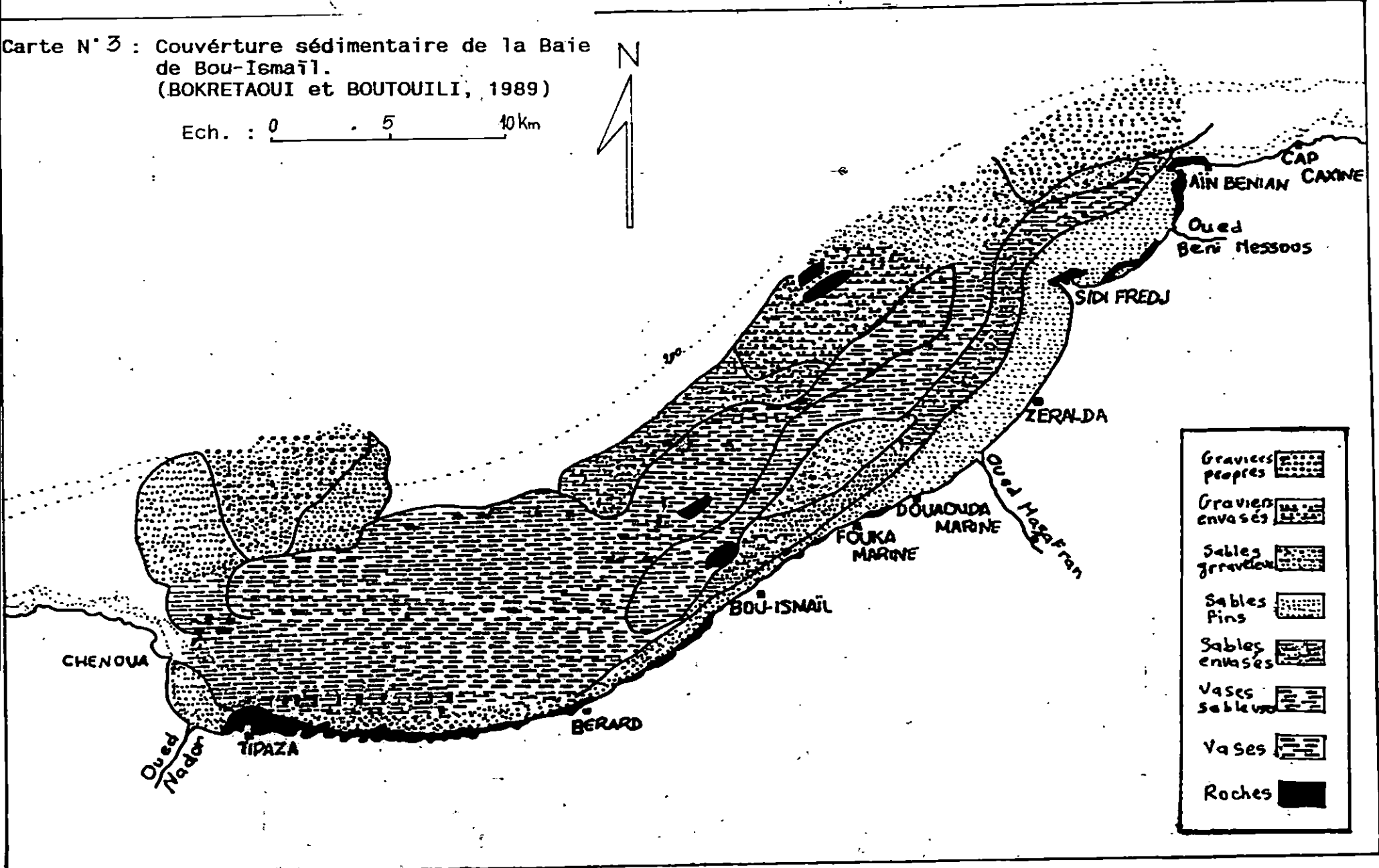
III - APPORTS TELLURIQUES :

En baie de BOU-ISMAIL, les apports solides et liquides sont principalement assurés par l'oued MAZAFRAN, qui draine vers la mer tous les rejets issus des zones industrielles et agricoles existant sur l'atlas de BLIDA et le versant septentrional du bassin de MEDEA. La charge solide de cet oued a été estimée à 7 millions de tonnes pendant la crue du mois d'Avril 1957 (BOKRETAOUI et BOUTOUILI, 1989). Récemment, les travaux de L'A.N.R.H (1990) fournissent un débit liquide de 7,566 m³/s pour l'année 1988 et une charge solide équivalente à 8,25 g/l pour l'année 1989 (tab.8).

* A.N.R.H. : Agence nationale des ressources hydroliques

Carte N° 3 : Couverture sédimentaire de la Baie de Bou-Ismaïl.
 (BOKRETAOUI et BOUTOUILI, 1989)

Ech. : 0 5 10 km



- | | |
|------------------|--|
| Graviers peuprés | |
| Graviers envasés | |
| Sables grossiers | |
| Sables fins | |
| Sables envasés | |
| Vases sableux | |
| Vases | |
| Roches | |

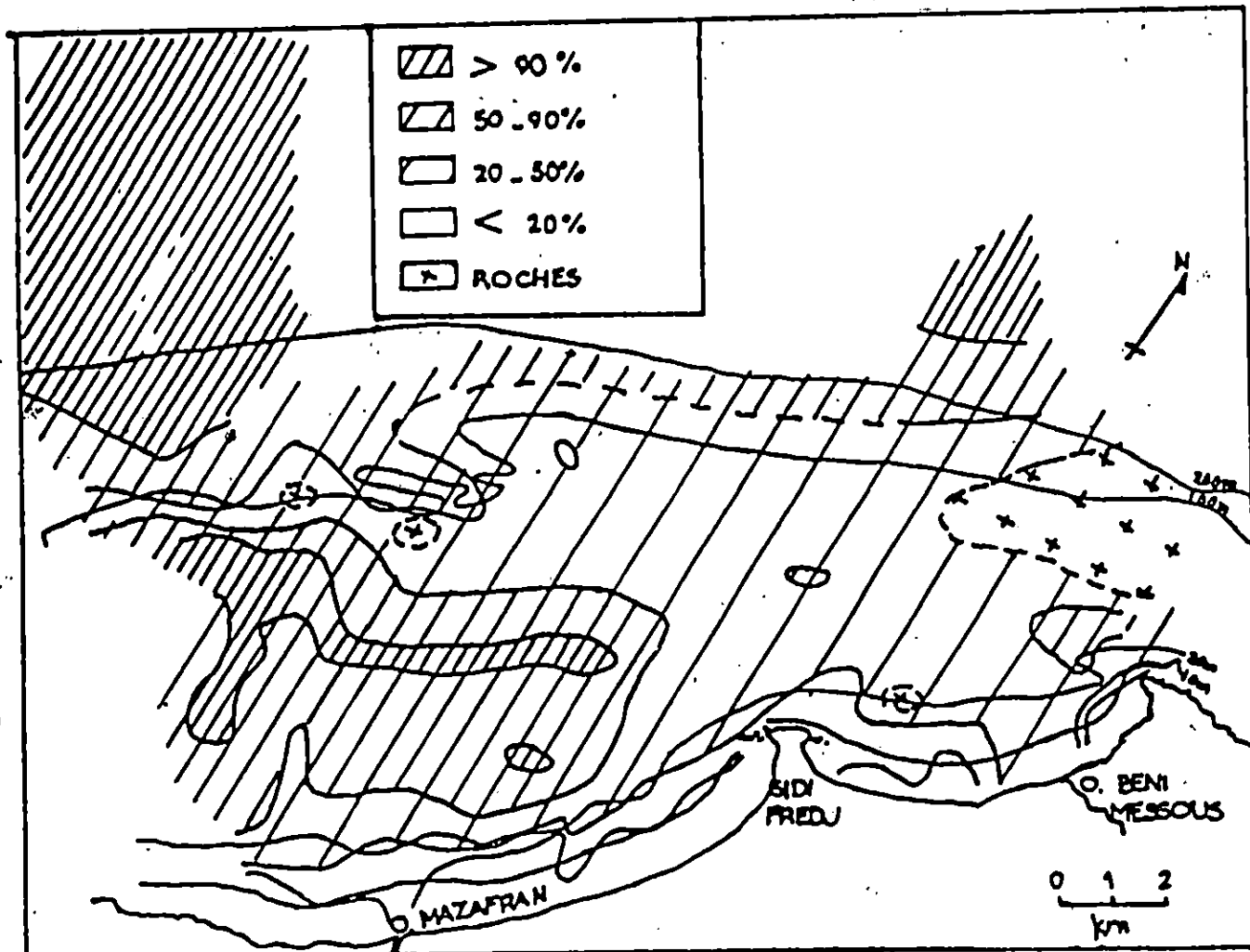


Fig. N° 4 : Teneur en lutites des sédiments de surface.

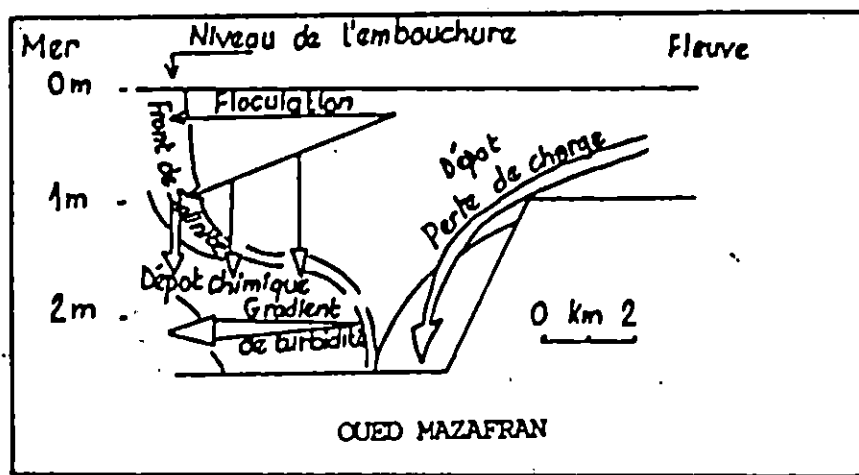


Fig. N° 5 : Phénomène de Flocculation à l'Embouchure de l'Oued Mazafra (PAUC, 1987).

Tab. n° 8 : Debit liquide et solide moyen de l'oued Mazafran relevé à la station FER à CHEVAL. (d'après l'A.N.R.H., 1990)

Années	78-80	80-81	81-82	82-83	83-84	84-85	85-86	86-87	87-88	88-89
Apports										
Apport Liquide (m/s)	7.550	4.464	1.958	4.722	1.565	6.669	3.563	7.491	7.566	*
Apport Solides (g/l)	*	*	4.65	9.71	3.82	6.35	7.97	5.86	3.34	8.25

(* : Pas de données)

Le régime hydrologique de l'oued MAZAFRAN est marqué par un long étiage (de juin à début décembre) avec des débits voisins de zéro et une brutalité conformément aux caractéristiques du climat méditerranéen très accentué (AIT KACI et PAJIC, 1987). En effet, en décembre 1980, ces auteurs ont constaté que l'oued passe en 48 heures d'un débit inférieur à 1 m³/s à des débits journaliers moyens de 130 m³/s, soit des débits instantanés supérieurs à 200 m³/s. (fig 6).

Concernant les autres oueds déversant dans la baie de BOU-ISMAIL, le débit liquide de l'oued BENI-MESSOUS a été estimé à 0,245 m³/s (MAHIOUT, 1989) et la charge solide de l'oued NADOR a été évaluée à 28.10 m³/an, soit environ 0,89 m³/s (BOKRETAOUI et BOUTOUILI, 1989).

IV - ETAT DE LA POLLUTION :

La faible densité de population sur le littoral et l'absence d'importantes industries dans la région, fait que la pollution en baie de BOU-ISMAIL est principalement de type domestique. Elle résulte des déversements continus et réguliers d'eaux usées des villes, des agglomérations côtières et des complexes touristiques le long de la côte de la baie (carte 4). Ces eaux usées, dont l'apport est estimé à 4382 m³/jour (AMARA, 1988), se déversent directement à la mer sans traitement préalable à l'exception de TIPAZA où une station d'épuration existe avec une autre à STAOUALI. Cette dernière conçue pour un nombre de 45.000 habitants, n'est opérationnelle que pour 20.000 habitants environ et cela faute d'aménagement urbain.

La vocation agricole de la région et la nature de son sol (sable) qui nécessite des quantités importantes d'engrais, peuvent provoquer une pollution chimique. En effet, selon la sous direction d'agriculture 50% des engrais sont lessivés vers la mer.

Les principaux oueds qui se déversent dans cette baie sont aussi une source de pollution. Ils drainent vers la mer les eaux de lessivage des terres agricoles chargées de résidus de fertilisants, de pesticides et les eaux des agglomérations avoisinantes.

V - FACTEURS CLIMATIQUES :

- Température atmosphérique :
-

Au niveau de la baie de BOU-ISMAIL et selon la figure 7 établie par KORICHI (1988), nous pouvons distinguer deux périodes :

- Une période chaude d'Avril à Octobre .
- Une période froide de Novembre à Mars .

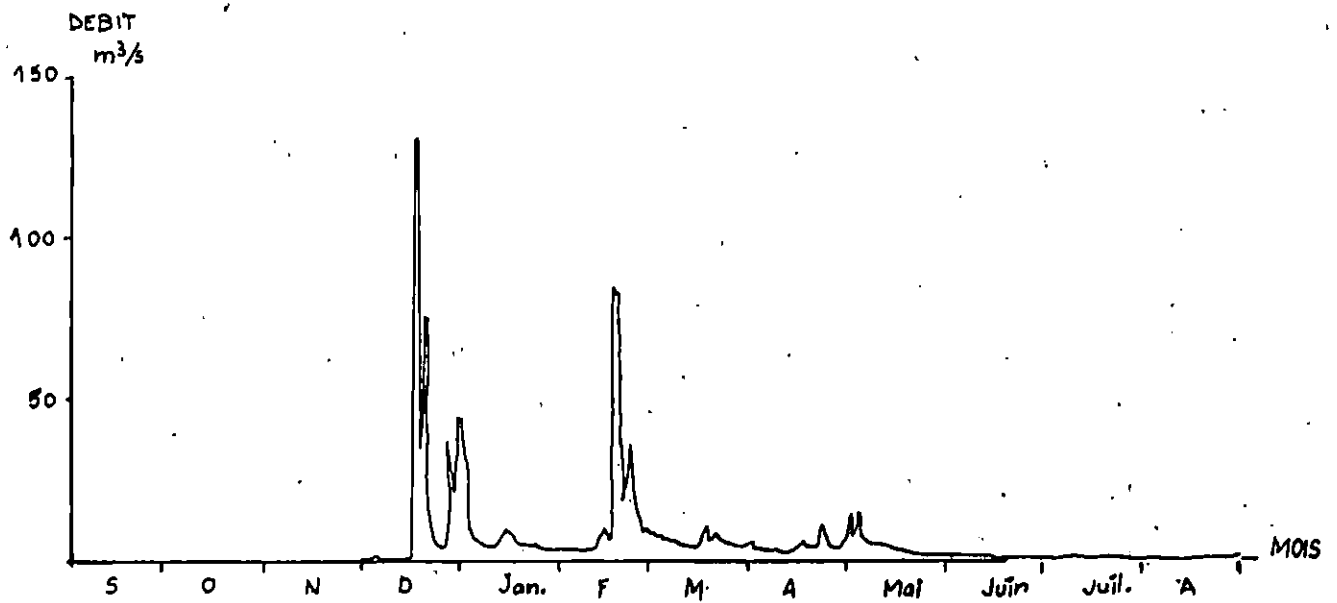
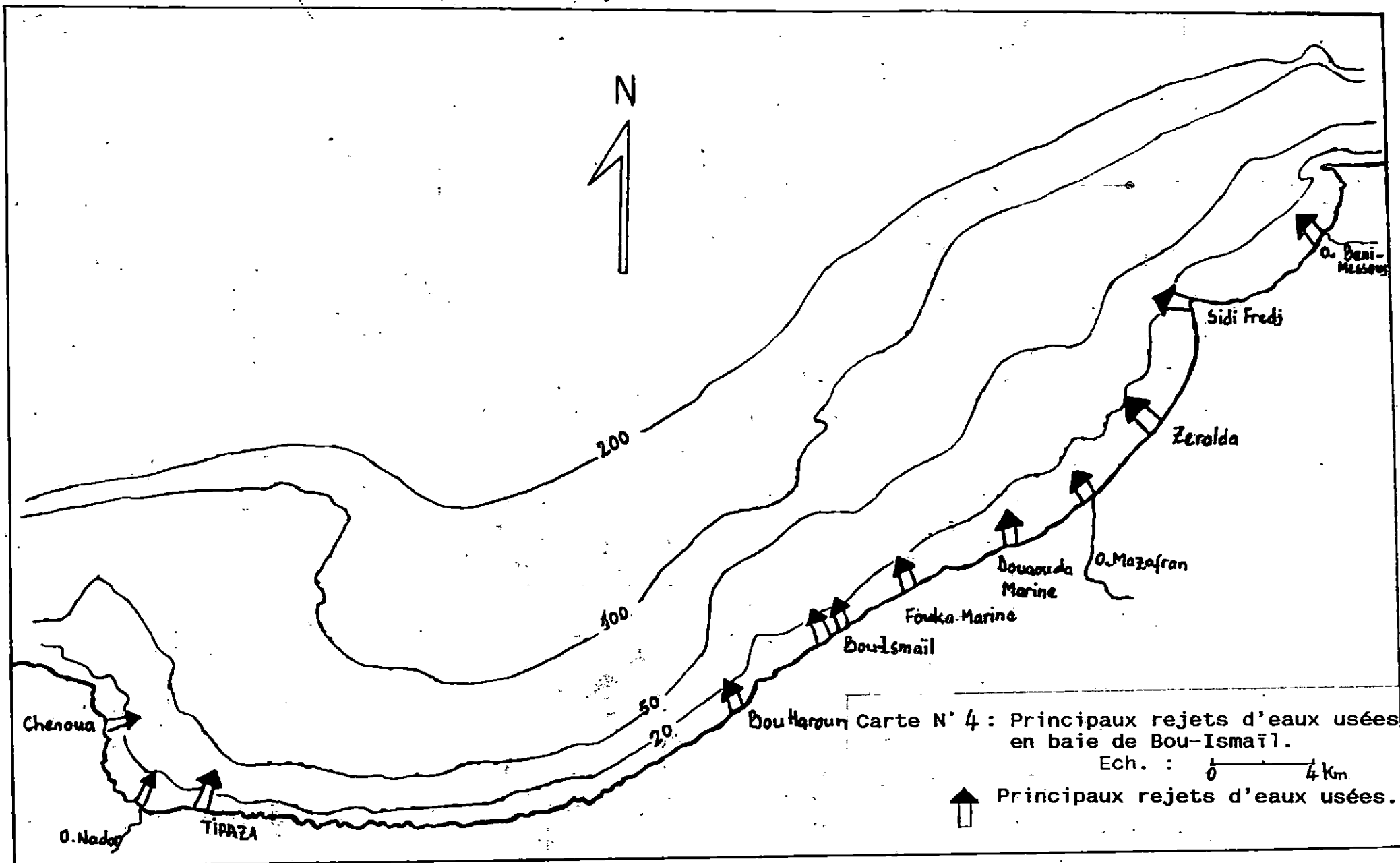


Fig. N° 6 : Débit liquide de l'Oued Mazafran (1980-1981)
(AIT KACI et PAUC, 1981).



Carte N° 4 : Principaux rejets d'eaux usées en baie de Bou-Ismaïl.

Ech. : 0 — 4 km

↑ Principaux rejets d'eaux usées.

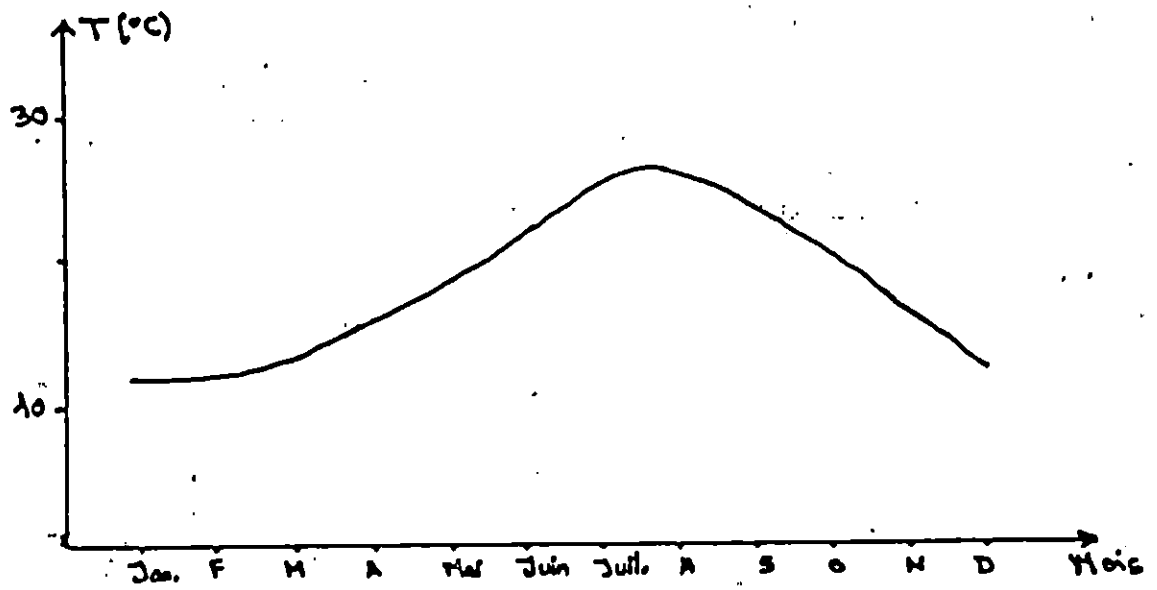


Fig. N° 7 : Températures moyennes (T°) mensuelles de l'air en baie de Bou-Ismaïl (1983-1986). (KORICHI, 1988).

- Précipitations :

La figure 8 montrant l'évolution des moyennes mensuelles des précipitations à BOU-ISMAIL de 1983 à 1986, indique que la pluviosité dans cette région est relativement élevée. Ceci est observé malgré l'absence totale ou presque totale de pluies de juin à septembre.

Récemment, des données relevées à la station de TIPAZA (tab.9) et à la station de FER à CHEVAL (tab.10) montrent un déficit de pluviosité caractérisé par des moyennes faibles et désordonnées.

- VENTS :

Le régime des vents est identique à celui qui caractérise toute la côte Algérienne (carte 5). Au printemps et en été les vents d'Est et de Nord-Est sont dominants, alors qu'en automne et en hiver le vent d'Ouest est dominant. La transition entre ces deux périodes dure en moyenne une dizaine de jours et est marquée par des vents de direction variable.

BOKRETAOUI et BOUTOUILI (1989) ont noté que les vents d'Ouest (dominants et violents) sont responsables de la dérive littorale des sables et provoquent le cheminement de ces derniers vers l'Est.

VI - FACTEURS HYDROLOGIQUES :

- LES HOULES :

Dépendant du régime des vents et suivant le cycle saisonnier, les houles se divisent en deux groupes (GAULET, 1972) :

- Les houles hivernales de direction Ouest à Nord-Ouest avec une période de 8 à 9 secondes, une longueur d'onde de 150 à 170m, une amplitude de 2 à 2,5m (dont le maximum atteint 4 à 6m) et une célérité de 14m/s.

- Les houles estivales de direction Nord à Nord-Ouest avec une période moyenne faible de 6 à 7 secondes, des amplitudes moins élevées de 0,5 à 1m, une longueur d'onde de 130m et une célérité de 10m/s.

Les houles hivernales, arrivent perpendiculairement à la côte et conduisent à une remise en suspension des particules fines, tandis que les houles estivales ont une direction presque tangente à la côte et sont chargées d'étaler le sédiment sur le fond.

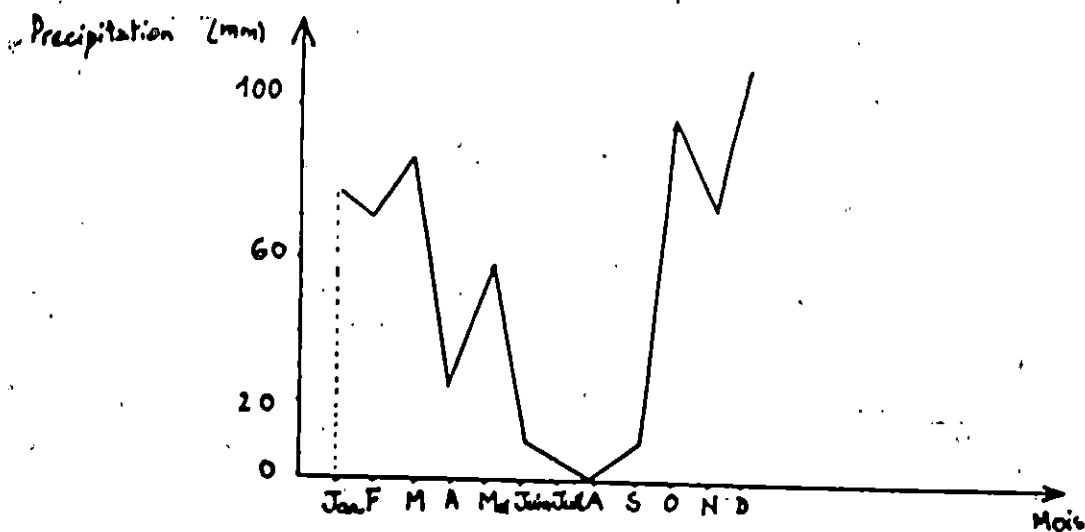


Fig. n°8 : Evolution des moyennes mensuelles des précipitations à Bou-ismail. (Statistique sur quatre années entre 1983-1986 à la station météorologique de TIPAZA). (KORICHI, 1988).

Tab. n°9 : Quantité mensuelle de précipitation et d'évaporations relevée à la station de TIPAZA. (D'après l'O.N.M., 1990)

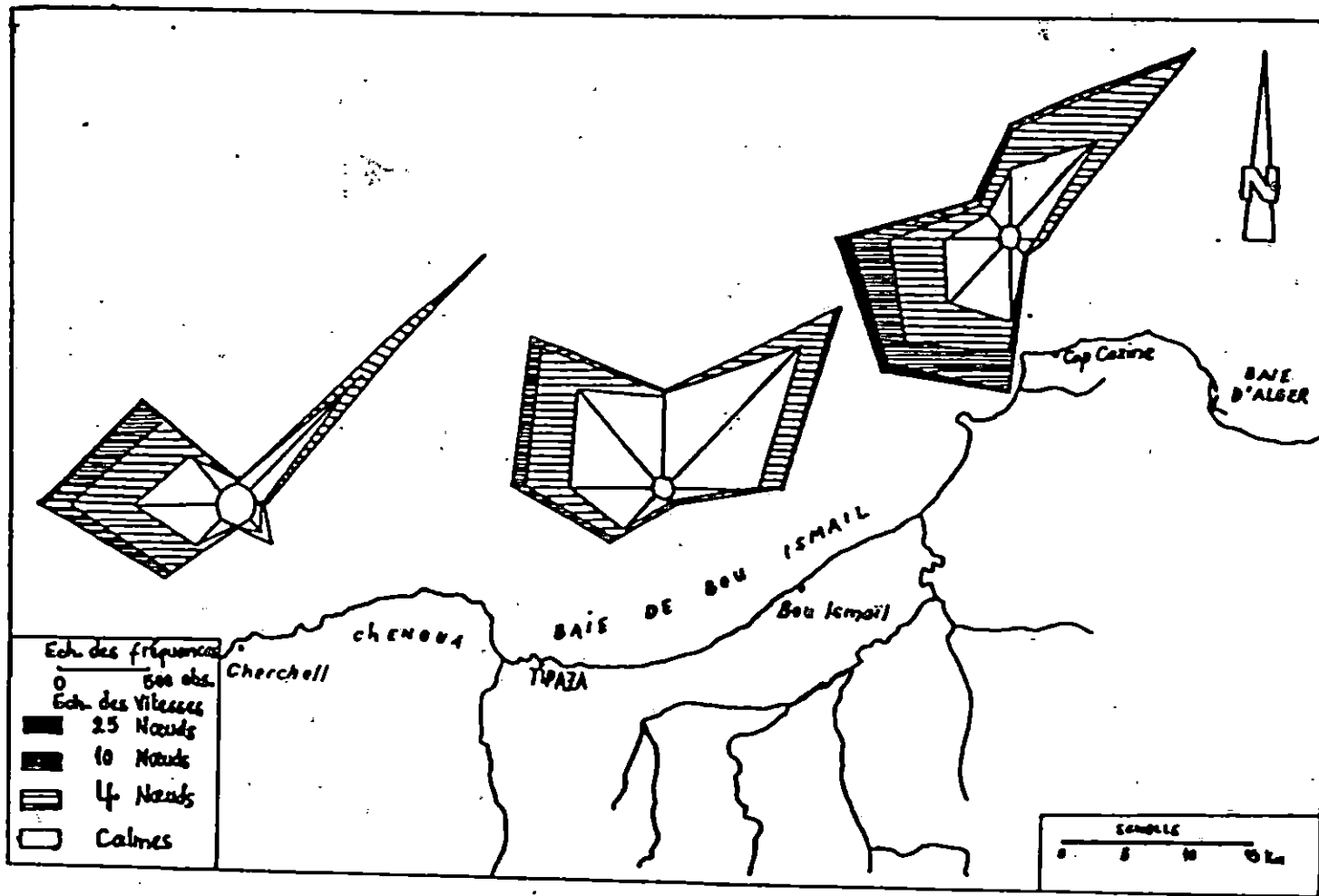
Mois	Janv.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Oct.	Nov.	Dec.
Precipitations (mm)	99.9	1.5	38.1	33.9	18.1	—	6.6	—	5.6	41.9	—
Evaporations (mm)	563	585	650	620	576	—	644	—	686	722	—

(— : Sans donnée.)

Tab. n°10 : Quantité mensuelle de précipitation relevée à la station FER A CHEVAL (d'après l'A.N.R.H., 1990).

Mois de l'année	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.	JAN.	FEV.	MARS	AVR.	MAI	JUI.	JUIL.	AOUT
Precipitations (mm)	30.5	15.9	46.1	12.8	76.4	0.00	48.2	48.8	44.3	0.00	—	0.00

(— : Sans donnée)



Carte n° 5 : Régime des vents en baie de Bou-Ismaïl
(Statistique sur cinq années).
(DAGORNE, 1973)

- LES COURANTS :

Pénétrant par le détroit de GIBRALTAR, le courant Atlantique était considéré comme une veine continue qui coule vers l'Est le long de la côte Algérienne, en se rapprochant d'elle sous l'effet de la force de coriolis, puis se divisant en deux branches. Ce courant prend la dénomination du courant Algérien à cause de son caractère spécifique d'écoulement dans le bassin algérien.

Récemment, de nouveaux schémas fondés sur le caractère dominant de l'hydrodynamisme à moyenne échelle et sur l'image satellitaire (MILLOT et TAUPIER - LETAGE, 1988), ont confirmé que le courant algérien induit des contres courants au niveau de chaque baie ou golfe rencontrés (carte 6). Il devient très turbulent vers 1° à 2° Est où que l'on voit apparaître des méandres puis des tourbillons cycloniques et anticycloniques. A ces derniers sont associées des remontées d'eaux du fond "upwellings", qui entraînent d'importante production biologique.

Ainsi, le bassin algérien est une zone d'accumulation, de transformation et de mélange des eaux Atlantiques.

VII - CHOIX ET LOCALISATION DES STATIONS ETUDIEES :

- Au niveau de la baie :

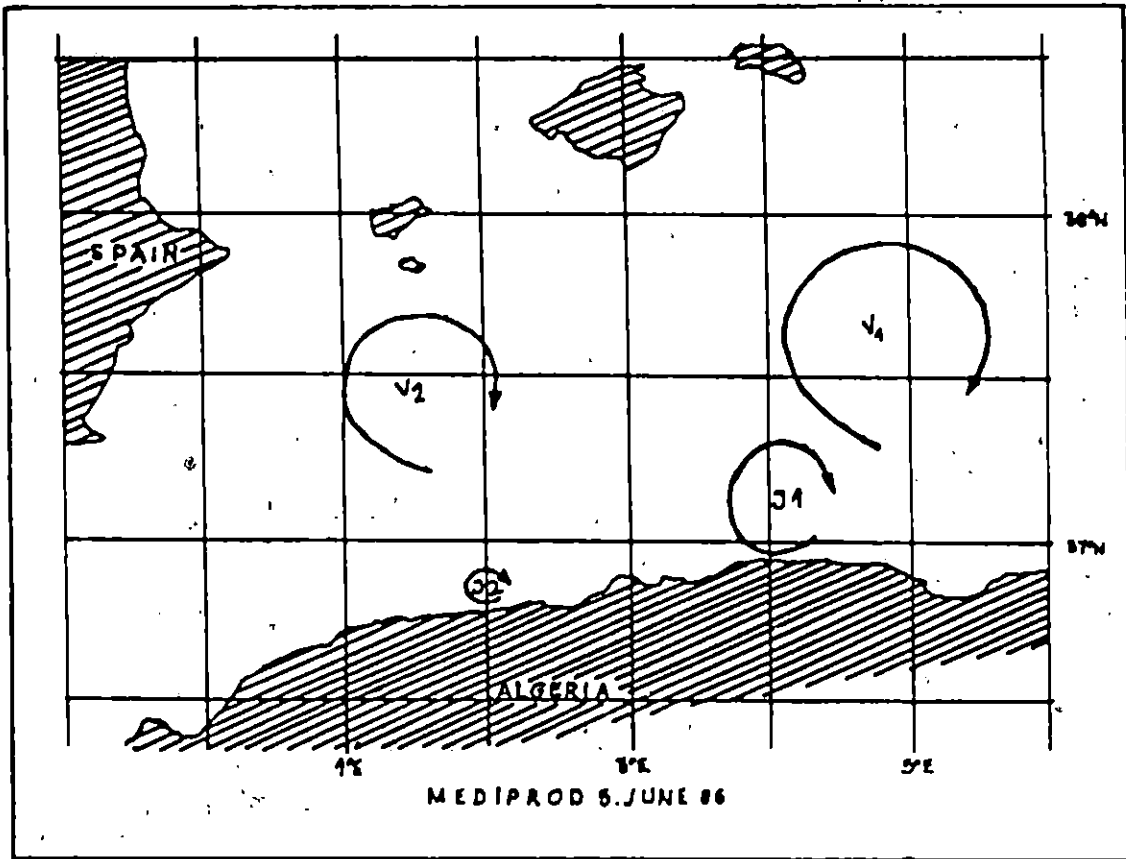
Les prélèvements d'eau et de sédiment ont été effectués au cours d'une mission qui s'est déroulée du 25/08/91 au 27/08/1991 à bord de l'embarcation "IBTACIM".

La trame d'échantillonnage a été réalisée selon huit radiales alignées perpendiculairement à la côte (BC, BE, BW, MC, ME, MW, FM, DM), dont six (BC, BE, BW, MC, ME, MW) sont en relation directe avec les oueds (MAZAFRAN et BENI - MESSOUS) (carte.7).

Au niveau de chaque radiale, deux à quatre stations sont localisées entre les isobathes de 5 à 20 mètres. Les points de prélèvement (soumis aux apports de matériaux terricènes) sont choisis d'une façon à cerner les oueds et à suivre leur trajectoire dans le milieu marin (carte 7.1).

- Au niveau des oueds :

Vue l'importance des apports des principaux oueds débouchant dans la baie de BOU-ISMAIL, des prélèvements d'eau et de sédiment ont été réalisés dans la partie terminale des oueds : MAZAFRAN, NADOR, et BENI-MESSOUS (cartes. 7.2, 7.3, 7.4), dont le but est d'avoir une vision globale sur les affluents fluviaux et surtout de caractériser l'empreinte anthropique liée à la présence de ces oueds que l'on considérait comme générateur de pollution.



Carte n°6 : La situation hydrodynamique dans le bassin algerien en juin 1988 (MILLOT et al., 1988).

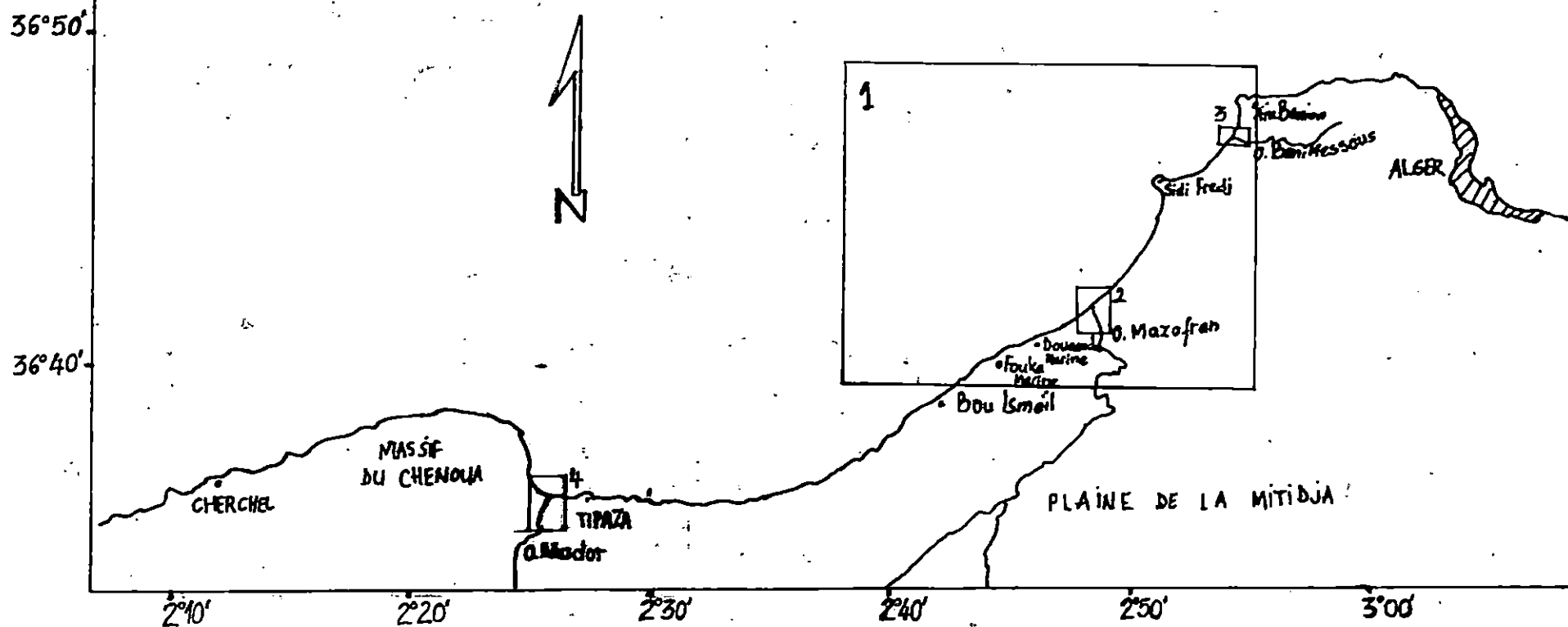
Légende:

J1 }
 J2 } —————> Jeune Tourbillon

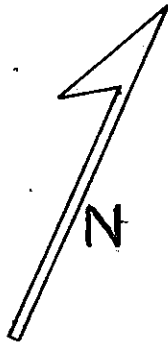
V1 }
 V2 } —————> Vieu Tourbillon

Carte n°7 : Présentation des sites étudiés.

Ech. : 0 8km



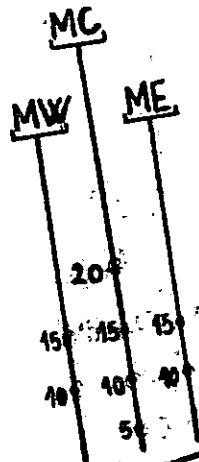
* : Voir agrandissement 7-1, 7-2, 7-3 et 7-4.



Fouka Marine



Douaouda Marine



o. Mazafan

Zéralda

Sidi Fradj

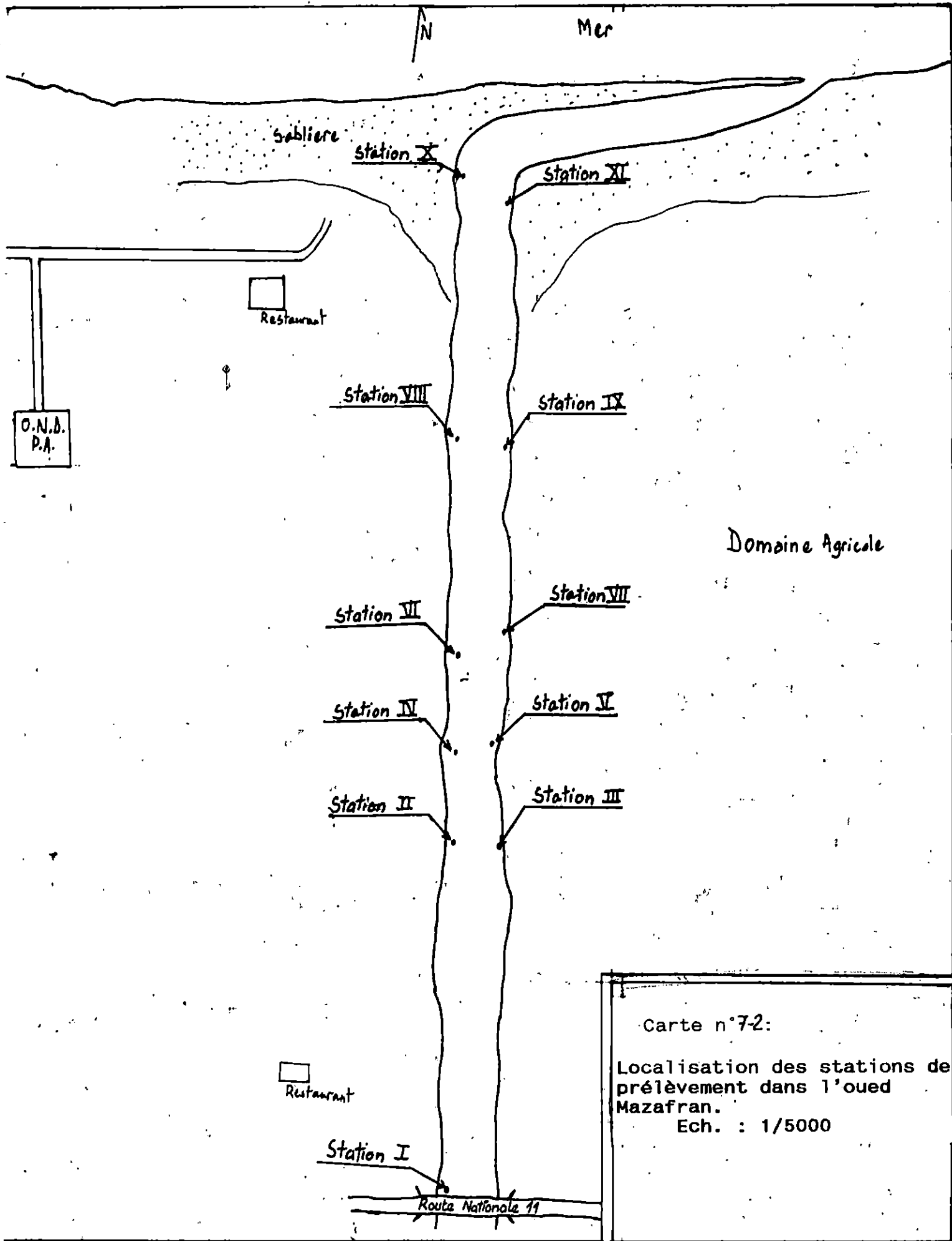


Club des Pins

o. Beni-Messous

El Djamil

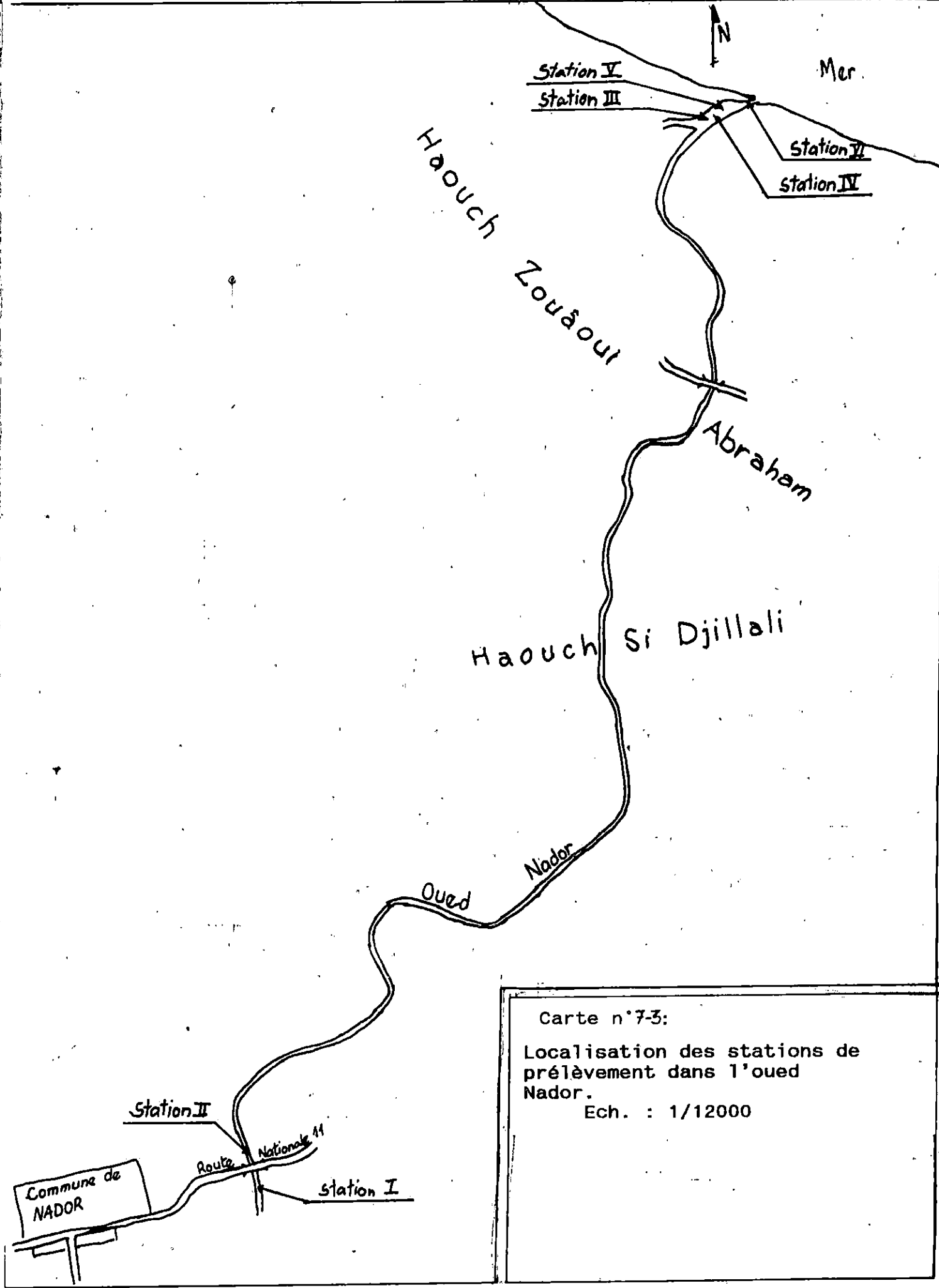
Carte N° 74: Localisation des stations dans la Baie de Bou-Ismaïl. (PARTIE ORIENTALE DE LA BAIE). Ech. : 0 1 2 km



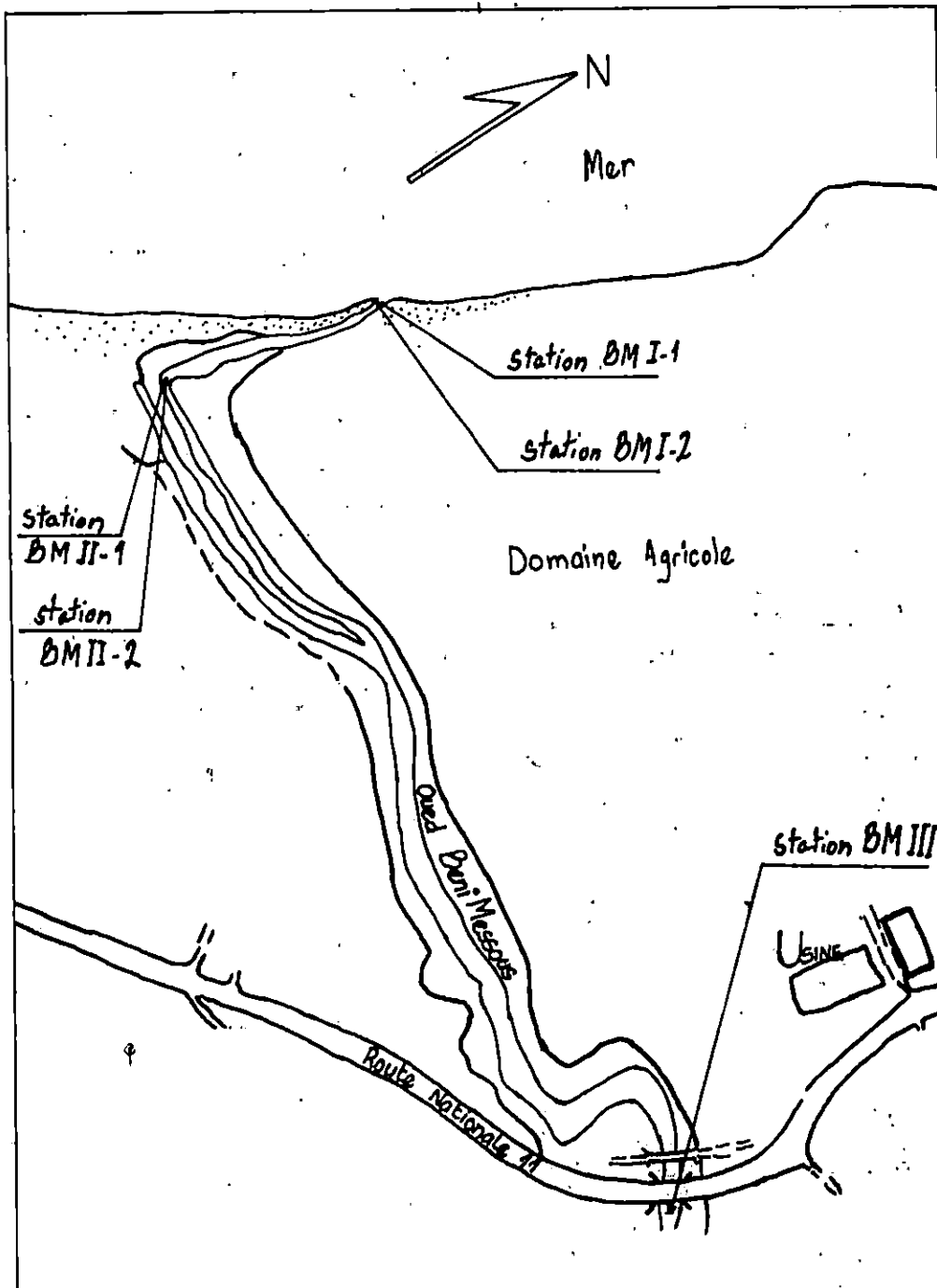
Carte n°7-2:

Localisation des stations de
prélèvement dans l'oued
Mazafran.

Ech. : 1/5000



Carte n°7-3:
 Localisation des stations de
 prélèvement dans l'oued
 Nador.
 Ech. : 1/12000



Carte n° 7-4: Localisations des stations de
prélèvement dans l'oued
Beni-Messous.
Ech. : 1/5000

VIII - CHOIX DU MATERIEL SEDIMENTAIRE :

Dans l'environnement marin, la charge polluante contenue dans les sédiments est la résultante d'une part, des flux de polluants pénétrant dans ce milieu, d'autre part de leur dépôt, leur enfouissement, leur évolution, leur transformation et leur remise en suspension sous l'effet conjugué des conditions hydrodynamiques locales.

Ainsi, le sédiment est un support privilégié pour la détermination de l'état de la pollution d'un système aquatique.

"La technique n'est rien, la manière de l'appliquer est tout".

BANCA.

CHAPITRE III :
MATERIELS ET METHODE

I - NETTOYAGE DU MATERIELS :

Pour éviter toute source de contamination de nos échantillons, nous avons pris un très grand soins lors du lavage des accessoires de manipulation touchant directement ou indirectement nos échantillons.

Pour ce faire, toute la verrerie a été lavée avec des détergents commerciaux, puis rincé à l'eau du robinet. Un second nettoyage avec une eau acidulée à 10% de l'acide chloridrique (HCl) est effectué suivi d'un rinçage à l'eau bidistillée.

II - TRAVAUX EFFECTUES IN SITU :

Vue le manque d'études sur la pollution effectuées dans la baie de BOU-ISMAIL et afin de connaître l'impact des métaux lourds dans cette zone, des prélèvements d'eau (pour la mesure des paramètres physico-chimiques) et de sédiment (pour le dosage des métaux lourds), ont été réalisés aussi bien dans les oueds (BENI-MESSOUS, MAZAFRAN et NADOR) que dans la partie orientale de la baie de BOU-ISMAIL.

II - 1 - PRELEVEMENT :

- EAU :

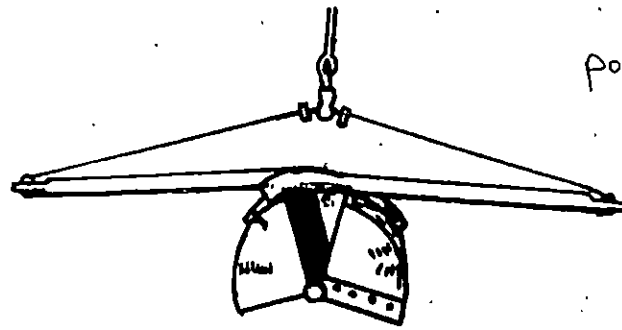
Une fois que la bouteille de prélèvement "type NISKIN" atteint la profondeur désirée, on envoie le messageur le long du câble pour déclencher le système de fermeture de la bouteille. On remonte cette dernière abord du bateau, on rince les flacons étiquetés deux fois avec l'eau de mer à analyser et on les remplit de façon à ne pas provoquer d'éclatement lors de la congélation.

L'eau recueillie à chaque niveau de profondeur est répartie en deux échantillons :

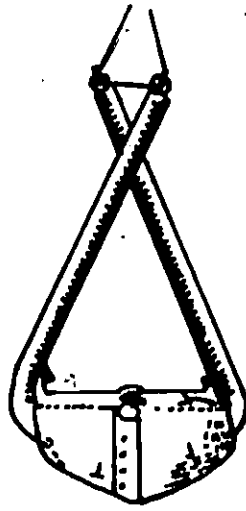
- * L'un servira, dès le retour au laboratoire à la mesure de la matière en suspension.
- * L'autre est utilisé "in situ" pour la mesure de la salinité, de la température, du pH et de l'oxygène dissous.

- S E D I M E N T :

Pour que le prélèvement soit au mieux représentatif de la contamination locale, le sédiment est récolté par une benne "van-veen" (fig.9), permettant de prélever sur une surface de 0,1 m² sans que ce dernier ne soit perturbé par le mouvement de cet enclin au fond.



position ouverte ("armée")



position fermée

Fig. 9 : Schema du fonctionnement de la Benne "VAN VEEN".

Une fois remontée, les échantillons sont récupérés à l'aide d'une spatule inoxydable (évitant le contact avec la paroi de la benne), puis sont mis dans des sacs en plastique sur lesquels sont inscrits tout les coordonnées de chaque station. Les sédiments recueillis sont maintenus à basse température dans une glacière portative jusqu'au retour au laboratoire.

* Pour les prélèvements effectués dans les trois oueds (BENI-MESSOUS, MAZAFRAN et NADOR), la prise des échantillons a été réalisée par nos soins et les stations ont été choisies d'une façon à avoir une vision globale sur les apports fluviaux.

II - 2 - MESURE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES :

II - 2 - 1 - MESURE DE LA TEMPERATURE ET DE L'OXYGENE DISSOUS :

La mesure de l'oxygène peut se faire, soit par la méthode classique de WINKLER, soit par les méthodes modernes de CHROMATOGRAPHIE en phase gazeuse ou ELECTROCHIMIQUE. C'est cette dernière que nous avons utilisée.

Avant toute mesure, l'oxymètre type "WT OXI 92" muni d'une sonde électrolytique est étalonné, en réglant d'abord la température de l'appareil à la température ambiante, puis la pression atmosphérique donnée par le baromètre en mbar et le degré de saturation en % de sat. à la valeur 102%.

On plonge la sonde dans la bouteille de prélèvement, et après stabilisation de la valeur affichée sur l'écran, on prend d'abord la température en °c avec une précision de $\pm 0,1^{\circ}\text{c}$, puis l'oxygène dissous en mg/l avec une précision de $\pm 0,5$ mg/l.

II - 2 - 2 - MESURE DU pH :

Pour la mesure du pH de nos échantillons, nous avons utilisés la méthode ELECTROCHIMIQUE qui consiste à déterminer la différence de potentiel existant entre les deux électrodes.

Avant la mesure, le pH mètre de type "METROM 605" est étalonné par deux solutions étalons de pH connu respectivement acide 4.01 et tampon 7.00 et cela après ajustement de la température de l'appareil à celle de la solution étalon.

Aussitôt, on plonge l'électrode dans l'échantillon et après quelques secondes on note la valeur du pH affichée avec une précision de 0.001. On agite l'échantillon si c'est nécessaire.

L'étalonnage est renouvelé à chaque fois que la valeur affichée sur l'écran prend beaucoup de temps pour se stabiliser et entre chaque station on rince l'électrode avec l'eau bidistillée et on la sèche.

II - 2 - 3 - MESURE DE LA SALINITE :

Deux méthodes essentielles sont actuellement utilisées pour la détermination de la salinité : la méthode VOLUMETRIQUE et la méthode CONDUCTIMETRIQUE.

Pour la mesure de la salinité de nos échantillons, nous avons utilisés la deuxième méthode. Cette dernière est basée sur l'emploi d'un salinomètre (type M.C.5) à électrode, dont la précision est de 0.001.

Cet appareil est étalonné par rapport à de l'eau normale à 35,01‰ de salinité et cela après avoir régler la température à celle de la solution standard par l'emploi d'un thermomètre de laboratoire.

Au niveau de chaque station, on descend la sonde à la profondeur désirée et on prend d'abord la température en degré celsius, puis la salinité en ‰. Entre chaque station on plonge la sonde dans de l'eau bidistillée pour qu'elle ne sèche pas et éviter des contaminations.

*Pour la mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau provenant des oueds et étant dans l'impossibilité de l'effectuée in situ, nous avons conservés l'eau des différentes stations dans des bouteilles en polyéthylène de un (01) litre de volume, que l'on remplit à pleine capacité et gardées à l'obscurité.

Toutefois, la mesure des paramètres physico-chimiques (salinité, température et pH), a été effectuée dès le retour au laboratoire et avec la même procédure que celle effectuée pour l'eau de mer.

III - TRAVAUX EFFECTUES AU LABORATOIRE :

III - 1 - EAU DE MER :

III - 1 - 1 - CONSERVATION DES ECHANTILLONS :

Une fois prélevés, les échantillons d'eau destinés au laboratoire sont conservés à l'abri de la lumière pour éviter tout changement de l'état initial de l'eau marine causé principalement par l'activité bactérienne.

III - 1 - 2 - MESURE DE LA MATIERE EN SUSPENSION (M.E.S.) :

1 - PRINCIPE DE LA METHODE :

La méthode consiste à filtrer un volume connu d'eau de mer sur une membrane filtrante millipores pour retenir toutes les particules supérieures à 0.45 µm.

2 - MATÉRIELS UTILISÉS :

La filtration d'eau de mer nécessite le matériel suivant :

- * Filtres millipores du type "H.A. 0.45 μ m".
- * Boîtes de pétri.
- * Pincettes.
- * Etuve.
- * Désiccateur.
- * Balance à grande précision.
- * Éprouvette de 500 ml de volume.
- * Eau bidistillée.
- * Un ensemble complet pour la filtration (fig.10).

3 - MODE OPÉRATOIRE :

- PRÉPARATION DES FILTRES :

- * Numérotter les boîtes de pétri qui vont contenir les filtres.
- * Rincer les filtres à l'eau bidistillée.
- * Sécher les filtres à l'étuve à 80°C durant deux (02) heures.
- * Laisser les filtres refroidir au désiccateur.
- * Peser chaque filtre à une précision de 0.01 mg (soit P1 ce poids).
- * Remplacer aussitôt chaque filtre dans sa boîte, à l'abri de la lumière et de la poussière.

- FILTRATION :

- * Agiter l'échantillon afin de l'homogénéiser.
- * A l'aide d'une éprouvette de 500 ml, mesurer le volume à filtrer (pour être représentatif, le volume doit être supérieur à 100 ml) soit V ce volume.
- * Verser l'échantillon sur la membrane filtrante, puis faire le vide sans créer de dépression supérieure à 2/3 bar.
- * Supprimer l'aspiration dès que le filtre est à sec, puis verser 5 à 10 ml d'eau bidistillée sur les parois antérieures de l'entonnoir.
- * Recommencer une seconde fois cette opération de rinçage.

-61-

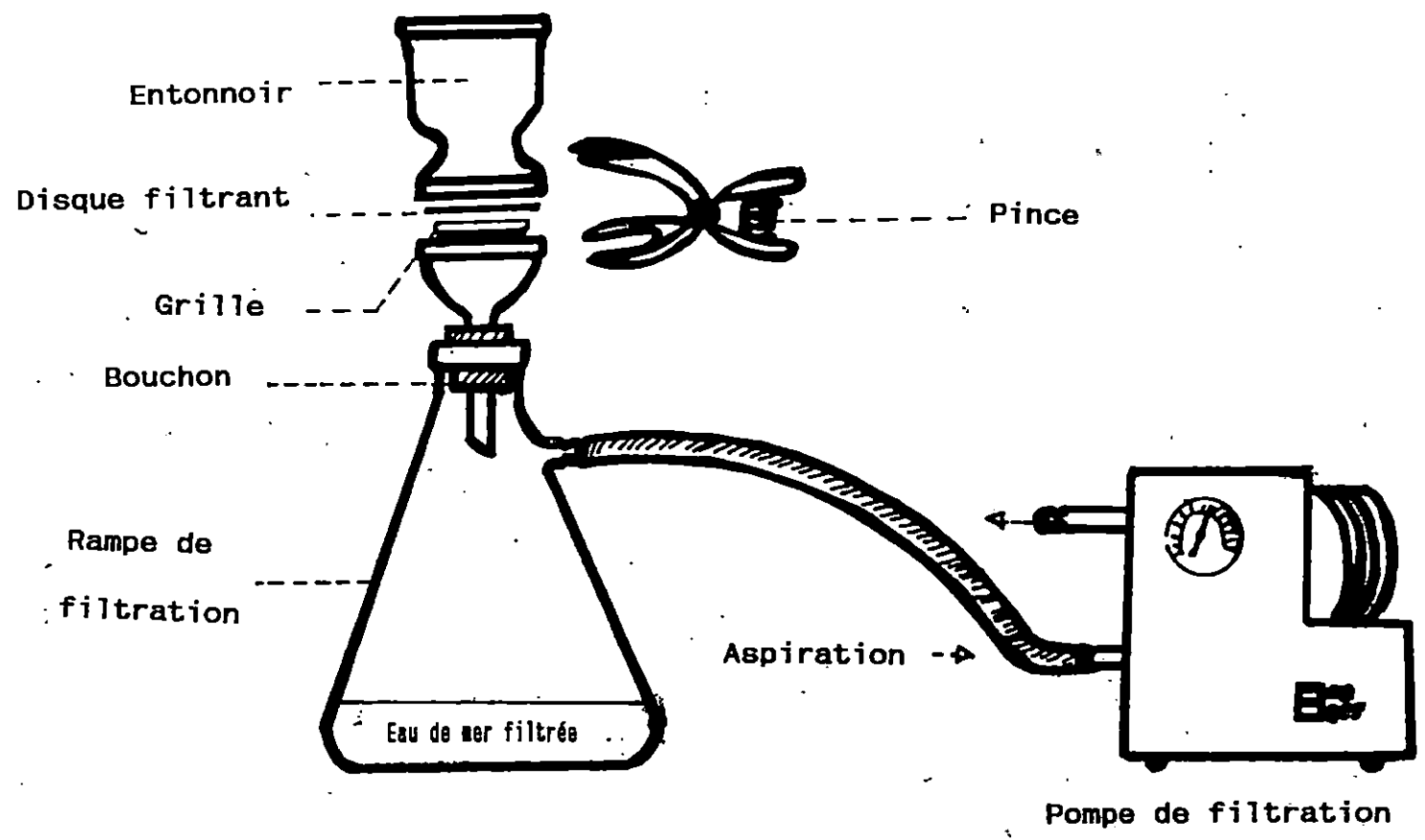


Fig.10 : Un ensemble complet pour la Filtration.

- * Supprimer l'aspiration et remettre chaque filtre dans sa boîte déjà numérotée.
- * Remettre, les boîtes contenant les filtres sans couvercle à l'étuve à 80°C pendant deux heures.
- * Laisser refroidir au dessiccateur et n'en sortir les filtres que juste avant la pesée.
- * Peser chaque filtre "soit P2 son nouveau poids".

- MODE DE CALCUL :

Le calcul de la matière en suspension (M.E.S.) est donné par la formule ou l'expression suivante :

$$\text{M.E.S. mg/l} = \frac{P2 - P1}{V}$$

P1 : Poids du filtre avant la filtration (mg).
 P2 : Poids du filtre après la filtration (mg).
 V : Volume filtré (l).

III - 2 - TRAITEMENT DES SEDIMENTS AU LABORATOIRE :

Les différentes étapes du traitement du sédiment sont (shémas 3):

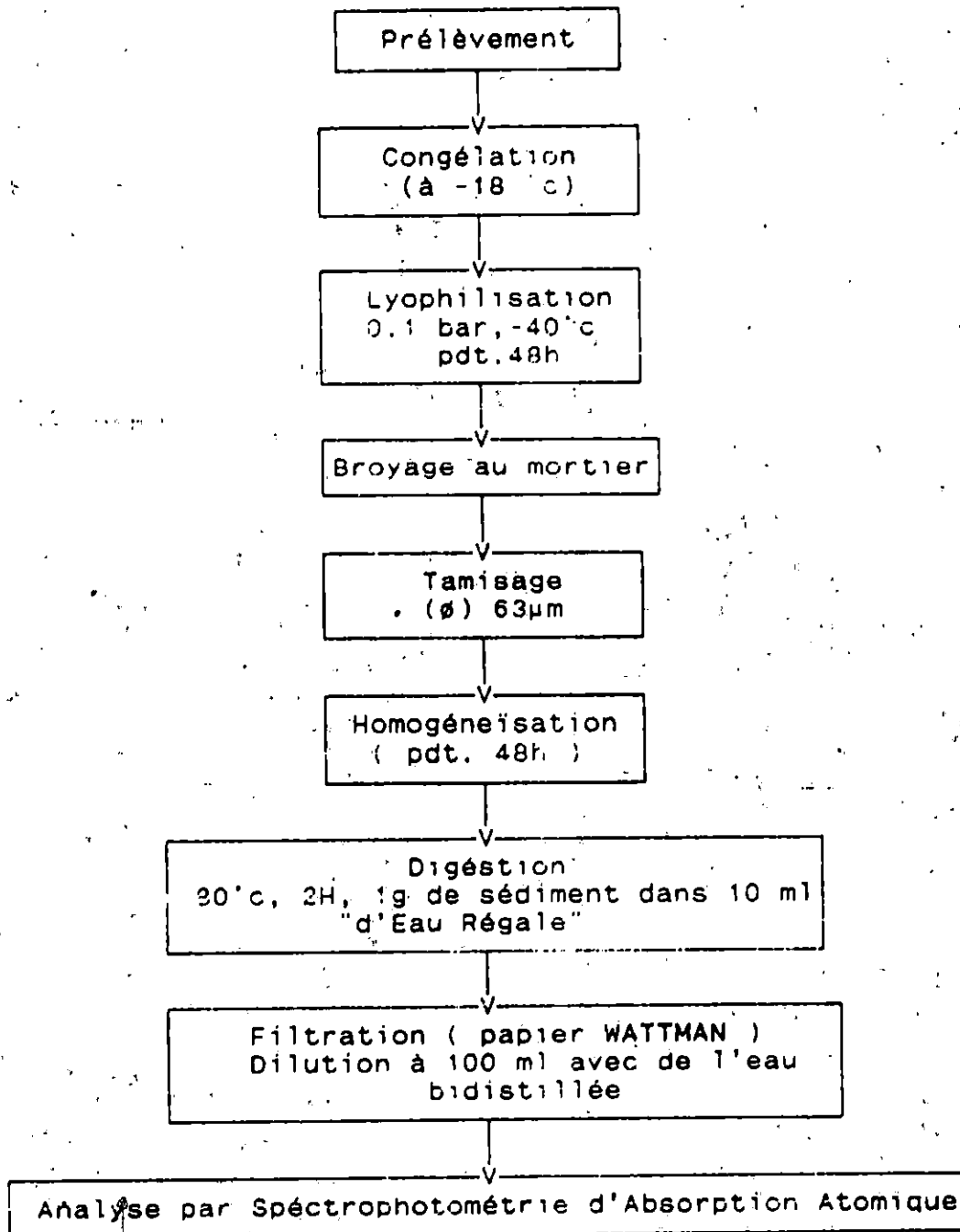
1 - CONSERVATION :

Parvenus au laboratoire, et dans le cas où les sédiments recueillis ne peuvent pas être traités rapidement, ces derniers sont mis dans des boîtes de pétri en verre pesées puis conservées à basse température (-18° c), afin d'éviter toute perte d'éléments volatils.

2 - LYOPHILISATION :

C'est une dessiccation ou déshydratation par sublimation (passage de l'état solide à l'état gazeux sans passer par l'état liquide) du solvant contenu dans la matrice.

Schéma 3 : Résumé des différentes phases de traitement du sédiment.



2 - 1 - MODE OPERATOIRE :

Après une bonne congélation permettant la conservation des propriétés chimiques des sédiments, ces derniers sont pesés puis introduits directement dans le lyophilisateur pendant 48 heures à une température de -40°C et une pression de 0,1 bar.

Durant ces 48 heures, les sédiments sont mélangés et pesés après 24 heures, et une deuxième fois après 48 heures. La différence de poids doit être inférieure à 5%, sinon la lyophilisation est incomplète et on prolonge la durée de cette déshydratation.

les échantillons lyophilisés sont pesés et on note le poids sec (PS).

3 - BROYAGE :

C'est une séparation physique ou mécanique des différentes fractions du sédiment suivant leurs dimensions.

3 - 1 - MODE OPERATOIRE :

Les échantillons lyophilisés et pesés, sont broyés dans un mortier en porcelaine, puis tamisés à travers un tamis de $63\ \mu\text{m}$ d'ouverture de maille. La fraction inférieure à $63\ \mu\text{m}$ est récupérée dans des péluliers en verre on attendant l'homogénéisation.

4 - HOMOGENEISATION :

Dans le but d'uniformiser la répartition des particules sédimentaires constituant le broyat, ce dernier est homogénéisé pendant 48 heures.

5 - DIGESTION :

C'est la mise en solution des métaux lourds et leur alliages adsorbés à la surface des particules formant le sédiment, et la destruction de la matière organique en milieu acide.

5 - 1 - MODE OPERATOIRE :

La minéralisation se fait sous la colonne à reflux (fig.11), dont laquelle chaque ballon contient :

* 1g de sédiment broyé et séché.

* 10 ml d'eau régale (3 volume de HCl à 37% et 1 volume de HNO₃ à 70%).

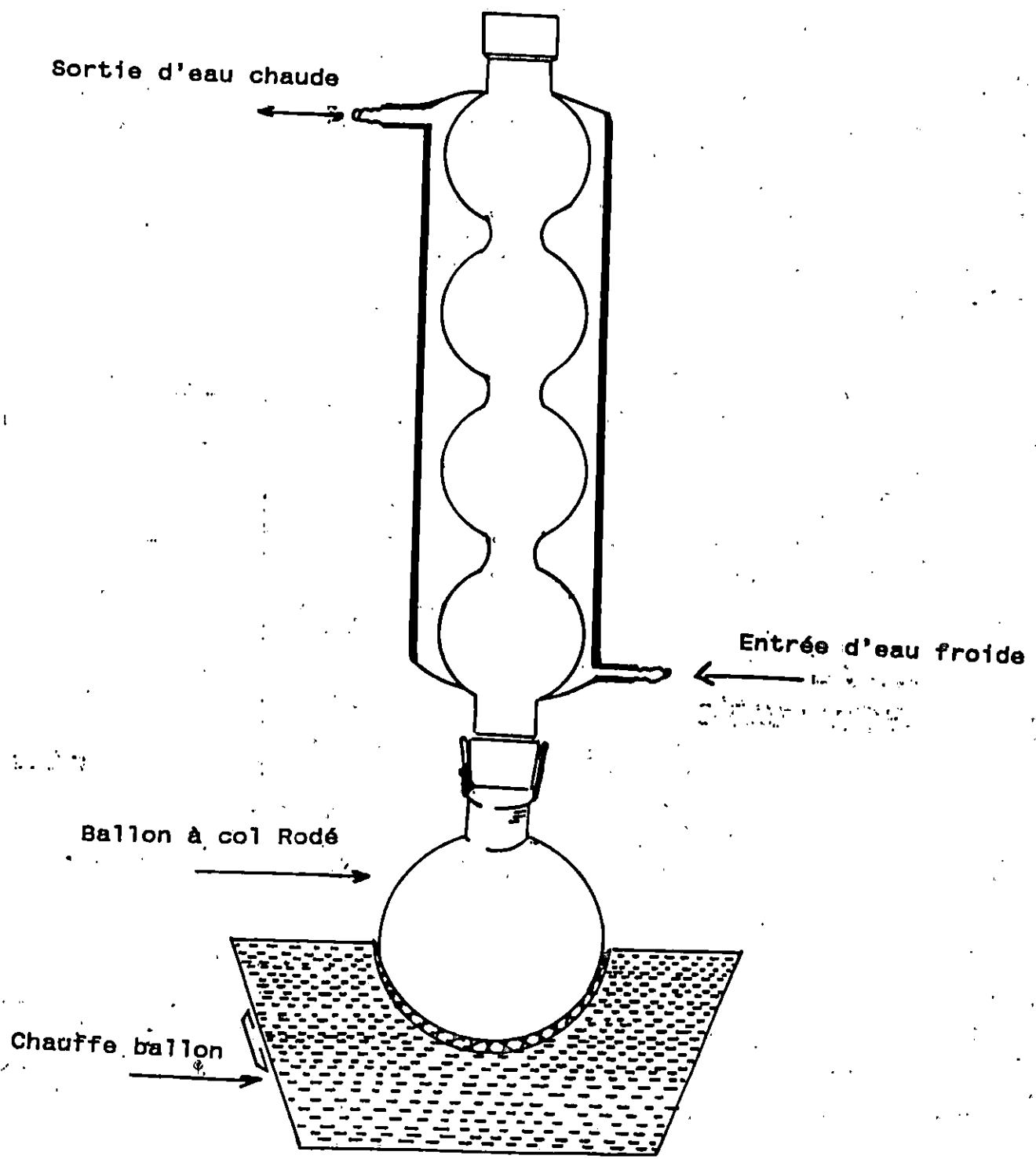


Fig. 11: Colonne à flux continu.

Aussitôt le ballon à col rodé est fixé sous réfrigérant, puis porté à ébullition sur une plaque chauffante à 80°C durant deux (02) heures. Amener juste à sec, le système est arrêté. Après refroidissement et rinçage du réfrigérant avec quelques millilitres d'eau bidistillée, la solution est filtrée sur papier WATTMAN (l'eau du rinçage est aussi filtrée).

Entre chaque échantillon, le dispositif est lavé avec 5 ml d'eau régale (mélange de deux acides concentrés) pendant une (01) heure sous plaque chauffante à 80°C. Ce lavage minimise les sources de contamination et à chaque nouvelle préparation d'eau régale, un blanc ou solution témoin est minéralisé dans les mêmes conditions que l'échantillon.

6 - DILUTION :

L'échantillon minéralisé et filtré, est transvasé dans une fiole de 100 ml. Il est ramené à ce niveau par de l'eau bidistillée, puis fermer avec du papier parafilm.

Ce moyen, nous permet de diminuer la plupart des effets gênants à l'exception des ionisants.

Les fioles sont entreposées dans un réfrigérateur en attendant le dosage par l'Absorption Atomique.

Pour l'analyse du mercure et du plomb dans le sédiment, la digestion a été réalisée sous pressions dans des contenants en teflon, pour éviter la volatilisation de ces métaux.

Pour le mode opératoire, il faut se réfère au paragraphe.III - 5.
Chap. IV partie B, page 88.

IV - METHODE D'ANALYSE :

L'étude de la contamination de la matière organique ou inorganique par les métaux lourds soulève des difficultés analytiques considérables, dont le plus connu est le seuil de détection. Ce dernier est infiniment petit (de l'ordre de $\mu\text{g/g}$) et est varie d'un élément à l'autre.

Pour palier se problème, la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique est la technique la plus utilisée, dont le principe repose sur le passage de l'atome d'un niveau énergétique fondamental à un niveau plus élevé, résultant de l'excitation par les photons sous l'effet de joules.

Des échantillons d'intercalibration SD.M2/TM distribués par le laboratoire MESL de L'A.I.E.A. à MONACO, ont été parallèlement analysés afin de contrôler et valider la méthode analytique.

Pour plus d'information sur la description et la technique de cette méthode d'analyse, nous référerons nos lecteurs à la littérature spécialisée ou aux travaux réalisés précédemment.

- QUELQUES OUVRAGES RECENTS CONSACRES AU DOSAGE DES METAUX LOURDS

PAR L'ABSORPTION ATOMIQUE :

* PINTA (1979)
Recherche et dosage des éléments traces.

* HOENIG, DUPINE et WOLLAST (1981).

L'Atomisation Electrothermique en Spectrophotométrie d'Absorption Atomique et son application dans les études de l'environnement.

* VOINOVITCH (1988)
Analyses des sols, roches et ciments.

- TRAVAUX PRECEDENTS :

* ABDELOUAHAB ET NACEUR (1985)
Contribution à l'étude du comportement de quatre métaux lourds (Zn, Cu, Hg, et Cd) chez deux espèces de moules Mytilus galloprovincialis (L.M.K) et Perna perna (L.) dans la baie d'Alger.

* AOUAMEUR (1990)
Contribution à l'étude du comportement de quelques métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger.

A l'état de traces, les métaux lourds peuvent être analysés par : Spectrophotométrie d'Absorption Moléculaire, Polarographie, Activation Neutronique, Absorption Atomique et Fluorescence X.

Les concentrations des éléments étudiés ont été déterminées par la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (Modèle 2380 PERKIN-ELMER), on utilisant les trois (03) méthodes d'analyse suivantes (tab.11) :

- Flamme air/acétylène pour les métaux essentiels et dont les concentrations sont assez importantes.

- Four à graphite (Modèle HGA 500 de PERKIN-ELMER) équipé d'un injecteur automatique (Modèle A.S. 40 PERKIN-ELMER) pour les éléments métalliques dont les teneurs sont particulièrement faibles : Cd, Pb, etc....

- Vapeurs froides (MHS 10, MERCURY HYDRUR SYSTEM) pour le dosage du mercure (fig.12) :

En effet, le système MHS.10 est un accessoire pour la détermination à haute sensibilité du mercure et des éléments métalliques formants des hydrures volatils.

L'échantillon à analyser sous forme ionique est déposé dans le flacon à réaction. Le borohydrure de sodium (NaBH₄) est emmené dans le flacon de réaction à l'aide de l'azote (N₂), quand une vanne manuelle est actionnée. L'hydrogène libéré pendant la réaction réduit les ions métalliques en hydrures gazeux.

Tab. n°11 : Conditions Spectrophotométriques et Electrothermiques
des métaux lourds analysés par la S.A.A.

		Eléments							
		Zn	Cu	Cr	Mn	Pb	Cd	Hg	
CONDITIONS SPECTROPHOTO METRIQUES.	Longueur d'onde (nm)	213.9	324.8	357.9	279.5	283.3	228.8	279.5	
	Largeur de la fente (nm)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.2	0.7	0.7	
	Intensité (mA): HCL	15	15	25	20	8	-	8	
	Puissance (W): EDL	-	-	-	-	-	5	-	
CONDITIONS ELECTROTHERMIQUES.	Séchage	Vitesse de montée (°c/s)	-	-	-	-	5	9	-
		Température (°c)	-	-	-	-	110	110	-
		Temps (s)	-	-	-	-	20	10	-
	Mise en Cendre	Vitesse de montée (°c)	-	-	-	-	15	12	-
		Température (°c) Première phase	-	-	-	-	400	350	-
		Temps (s)	-	-	-	-	20	20	-
		Vitesse de montée (°c)	-	-	-	-	11	4	-
		Température (°c) Deuxième phase	-	-	-	-	560	460	-
		Temps (°c)	-	-	-	-	45	40	-
	Atomisation	Vitesse de montée (°c)	-	-	-	-	1840	580	-
		Température (°c)	-	-	-	-	2400	2200	-
		Temps (s)	-	-	-	-	6	6	-
		Type d'Atomisation	F.A.A	F.A.A	F.A.A	F.A.A	F.G	F.G	V.F

F.G : Four à Graphite
 F.A.A : Flamme Air/Acétylène
 V.F : Vapeur froide
 HCL : Lampe à cathode creuse
 EDL : Lampe à décharge

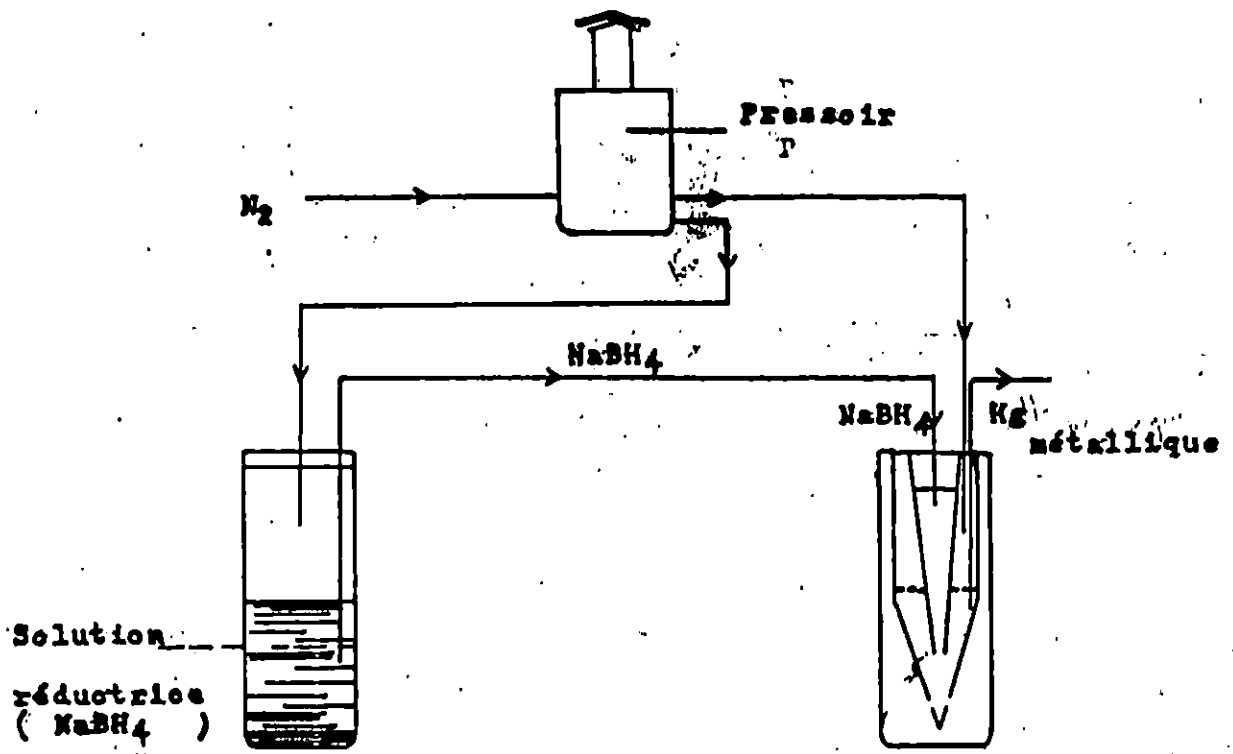


FIG 12: REDUCTION CHIMIQUE

M E T A U X			
	S1	S2	S3
MERCURE (Hg)	3	6	9
PLOMB (Pb)	200	400	600
CADMIUM (Cd)	10	20	30
MANGANÈSE (Mn)	2000	4000	6000
CHROME (Cr)	200	400	600
CUIVRE (Cu)	200	400	600
ZINC (Zn)	500	1000	1500
CONCENTRATION en ng/ml			

DANS LES SEDIMENTS.

Tab. 12 : CONCENTRATIONS DES SOLUTIONS STANDARDS EN METAUX ANALYSES

Enfin, ce n'est qu'à l'aide des étalons que la méthode analytique peut être contrôlée et validée de façon indiscutable.

L'appareil est étalonné à partir des solutions standards préparées au moment de l'analyse d'une série d'échantillons. A partir d'une solution mère contenant 1g/l de l'élément à doser et par dilution, les solutions étalons sont obtenues, dont les concentrations sont proches à celles des échantillons à analyser (tab. 12, fig. 13 et fig. 14).

L'analyse par l'Absorption Atomique fait partie des méthodes dont lesquelles la concentration d'un élément donné est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage ajustée à l'aide des solutions standards, on tenant compte du seuil de détection de chaque métal dosé.

METHODE DES STANDARDS SEULS :

IV - 1 - ETALONNAGE :

A de faibles limites de détection, le système MHS.10 permet une excellente sensibilité.

Dans la détermination du mercure, le NABH4 réduit le mercure à son état métallique sous forme de vapeur dans une cellule en quartz, dans laquelle l'absorption du métal est mesurée.

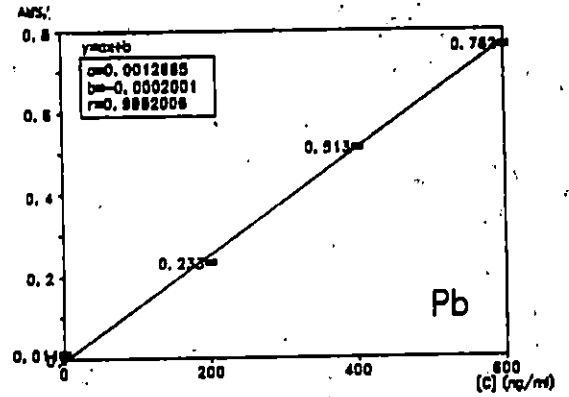
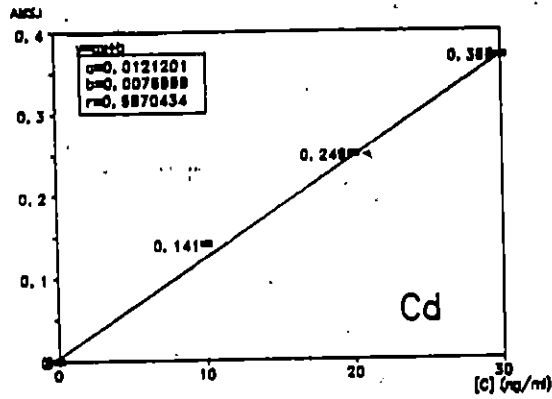
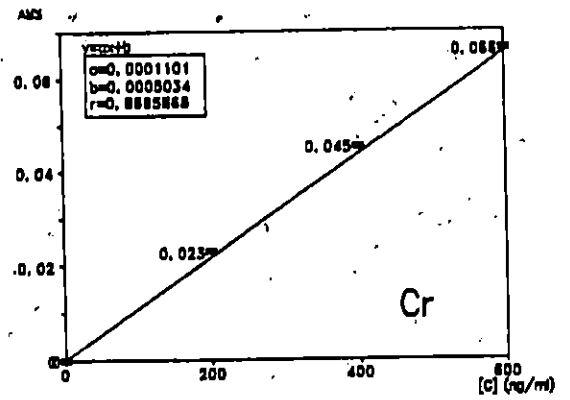
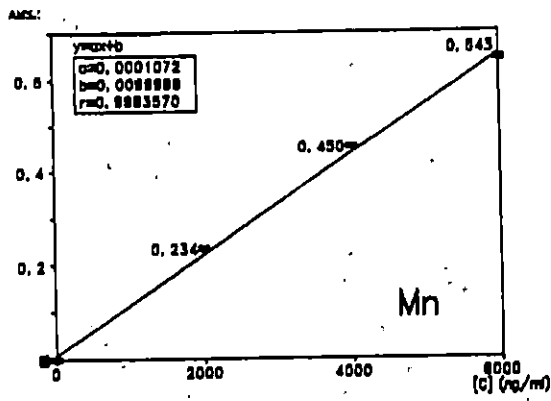
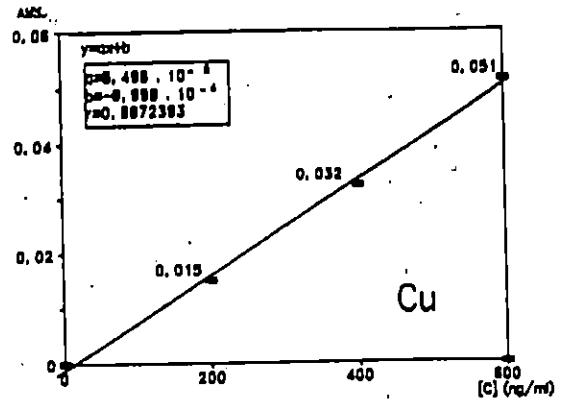
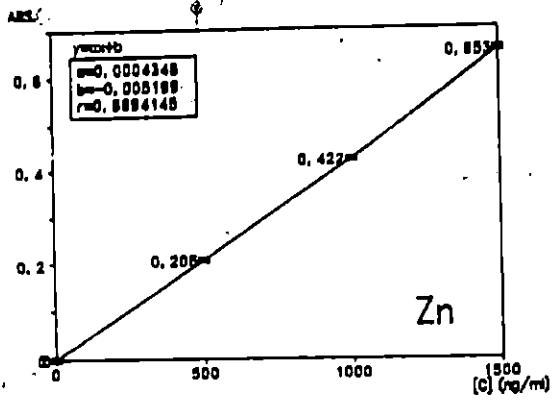
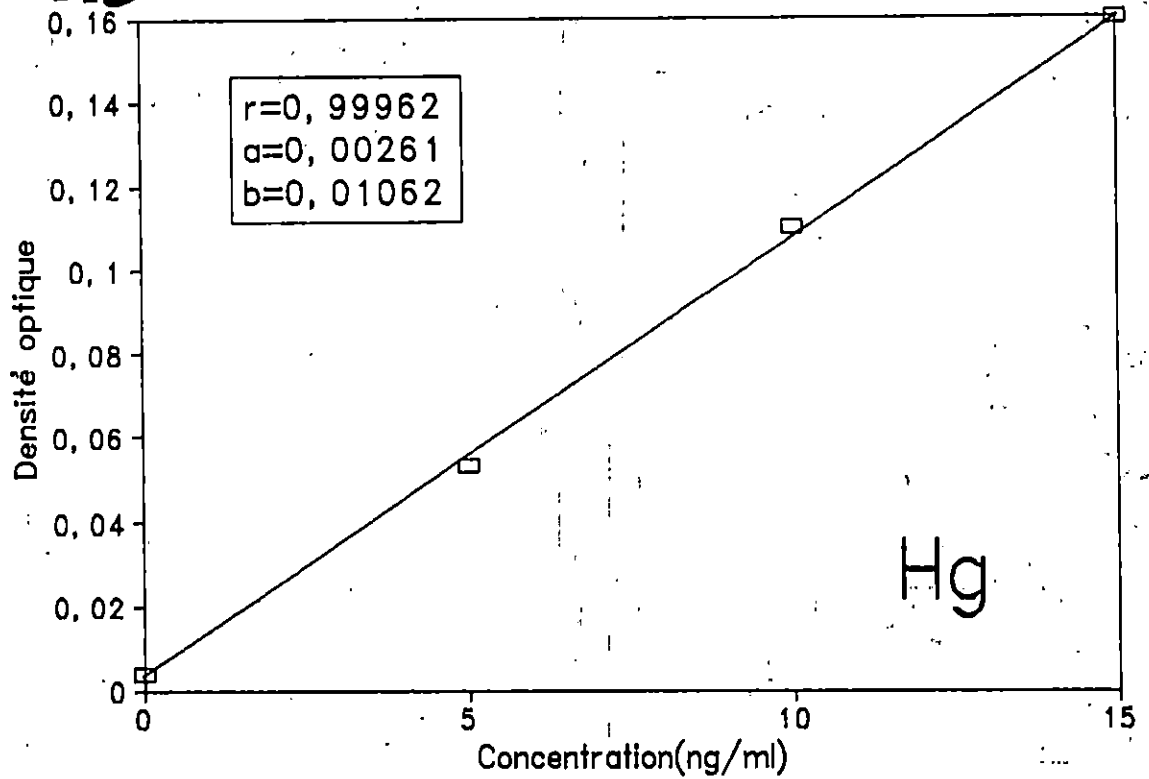


Fig.13: COURBES ETALONS DES SOLUTIONS STANDARDS

fig. 14 : COURBE ETALON DU MERCURE



IV - 2 - MODE DE CALCUL :

Le calcul de la concentration d'un élément métallique dans un échantillon, se fait généralement par la méthode graphique. Mais pour plus de précision nous avons utilisés une calculatrice programmable, dont laquelle on introduit les concentrations des solutions standards et leur densités optiques respectives. La machine fournit la pente, l'ordonnée à l'origine et le coefficient de corrélation.

Une fois programmée, on introduit dans la machine une densité optique, et la concentration correspondante est affichée. La concentration du métal dans l'échantillon est déterminée par la formule suivante :

$$C' (x) \mu\text{g/g} = \frac{(C(x) - C \text{ blanc}) \times V}{P}$$

- C' (x) : Concentration du métal dans 1 gramme (sédiment) ou 0,5 gramme. (moules) lyophilisés, exprimée en $\mu\text{g/g}$ ou mg/kg (PPm).
C (x) : Concentration donnée par la calculatrice ($\mu\text{g/ml}$).
C blanc : Concentration du blanc donnée par la calculatrice ($\mu\text{g/ml}$).
V : Volume de la solution finale après digestion (ml).
P : Poids de sédiment (1 gramme) ou moules (0,5 gramme) minéralisés.

IV - 3 - JUSTESSE ET PRECISION DE LA METHODE D'ANALYSE :

L'analyse des métaux lourds dans les sédiments est une suite d'opérations, toutes solidaires les unes des autres, commençant par le prélèvement de l'échantillon, sa conservation et aboutissant au résultat analytique final. Chacune de ces étapes pourrait être une source d'erreurs. Pour cela, des tests de reproductibilité et des exercices d'intercalibrations ont été effectués pour évaluer la justesse et la précision de la méthode analytique adoptée et de juger la qualité des résultats obtenus (technique utilisée).

IV - 3 - 1-TEST DE REPRODUCTIBILITE DE LA METHODE D'ANALYSE ADOPTEE :

Afin de définir la fiabilité de la méthode d'analyse adoptée pour la détermination des teneurs en éléments métalliques, plusieurs minéralisations ont été effectuées sur l'échantillon standard SD-M2/TM fourni par le laboratoire MESL de l'A.I.E.A. à MONACO et dont les résultats sont regroupés dans le tableau 13. Ce dernier montre que la méthode utilisée pour le traitement des sédiments est fiable pour le zinc, le cuivre, le plomb, le chrome et mercure. Par contre, l'importance des écarts types enregistrés pour le manganèse et le cadmium pourrait être due :

- A la durée de la conservation des échantillons minéralisés, durant laquelle peuvent se manifester des réactions physiques ou chimiques, qui faussent la teneur exacte de l'élément a dosé.

- Au changement de l'eau bidistillée d'une digestion à une autre.

- A la non disponibilité d'un matériel suffisant pour la récupération des échantillons minéralisés (fioles jaugées de la même classe, qui peuvent être à l'origine d'erreurs non homogènes).

IV - 3 - 2 - TEST DE REPRODUCTIBILITE DE L'APPAREIL UTILISE :

Concernant la reproductibilité de l'appareil utilisé (la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique, PERKIN.ELMER modèle 2380), plusieurs lectures ont été effectuées sur un échantillon, dont les teneurs en éléments métalliques étudiés sont moyennes par rapport à celles obtenues dans la totalité de la zone étudiée. Les résultats présentés dans le tableau 14 indique que seuls le cuivre et le cadmium présentent des problèmes d'exactitude du résultat analytique. Cela pourrait être due aux différentes interactions (spectrales, chimiques et physiques) qui peuvent se manifester lors de cette étape. Notons que, ce test n'a pas été réalisé pour :

- Le mercure, a cause de la non disponibilité d'un volume suffisant.

- Le plomb, étant donné que ce métal présente énormément d'intérférences lorsqu'il est analysé au four à graphite. Ceci a été également noté par ASSO (1982) dans le matrice biologique (moules).

IV - 3 - 3 - EXERCICES D'INTERCALIBRATIONS :

Pour chaque série d'échantillons, un dosage supplémentaire est effectué sur un échantillon standard SD.M2/TM fourni par le laboratoire de MESL de l'A.I.E.A à MONACO, dont les valeurs sont connues et certifiées par les laboratoires participants au programme MED.POL-II.

Nous comparons d'abord les valeurs obtenues à celles fixées par le laboratoire de l'A.I.E.A, puis nous calculons le pourcentage de variation selon l'expression suivante :

$$\Omega\% = \frac{Vt - Vr}{Vr} \times 100$$

$\Omega\%$: Pourcentage de variation

Vr : Valeur trouvée

Vt : Valeur réelle.

Tab. n°13: Test de reproductibilité de la méthode d'analyse adoptée sur un échantillon standard (SD.M2/TM) (concentrations exprimées en µg/g - P.S.)

Métaux Tests	Cu	Zn	Mn	Cr	Pb	Cd	Hg
1	31.60	74.60	1042.00	64.15	22.60	00.47	0.063
2	32.15	73.40	1006.00	65.50	22.82	00.42	0.056
3	33.15	73.40	1114.50	64.20	20.75	00.38	0.060
4	32.00	75.00	1221.60	68.90	23.20	00.25	0.055
5	32.75	74.50	1325.42	70.15	24.00	00.30	0.065
6	32.50	73.90	987.90	72.13	22.30	00.27	0.064
\bar{X}	32.36	74.13	1116.23	67.50	22.61	00.34	0.060
S.D	00.51	00.61	121.79	03.07	01.00	0.081	0.003
Er. (%)	01.50	00.80	10.90	04.50	04.40	23.80	05.00
$\bar{X} \pm \text{Er.}$	32.36 ± 01.50	74.13 ± 00.80	1116.23 ± 10.90	67.50 ± 04.50	22.61 ± 04.40	00.34 ± 23.80	0.060 ± 05.00

\bar{X} : Moyenne.
S.D: Ecart-type.
Er.: Erreur relative

Tab. n°14 : Test de reproductibilité de l'appareil utilisé.

Elément	Cr	Cd	Zn	Cu	Mn
Xm. (µg/g)	18.34	0.39	59.59	35.97	422.21
S.D	0.00	0.02	1.62	4.47	5.99
Xm. ± Er	18.34 ± 0 %	0.39 ± 5.13 %	59.59 ± 2.71 %	35.97 ± 12.42 %	422.21 ± 1.42 %

Xm. : Concentration moyenne
S.D : Ecart type
Er : Erreur relative en (%)

Les résultats consignés dans le tableau 15 montrent dans un premier temps, que les valeurs enregistrées pour les sept métaux étudiés sont incluses dans l'intervalle de confiance fixé par le laboratoire de l'A.I.E.A. et dans un deuxième temps, le calcul de l'écart pour cent indique des contaminations pour le cadmium et le mercure (écart pour cent positif) et des pertes pour le chrome (écart pour cent négatif). Les hypothèses admises pour la détermination de la fiabilité de la méthode d'analyse adoptée (test de reproductibilité de la méthode d'analyse adoptée) sont également applicables pour expliquer les pertes et les contaminations enregistrées durant ces exercices.

Tab n°15 : Exercices d'intercalibrations sur l'échantillon standard SD.M2/TM

(Concentrations exprimées en µg/g poids sec.)

Elements	Valeurs de l'A.I.E.A		Valeurs trouvées	Ecart pour cent (%)
	Intervalle de confiance	Moyenne		
Hg	0.046-0.064	0.054	0.060	11.11
Pb	20.10-25.60	22.80	22.61	-00.83
Cd	0.143-0.470	0.225	00.34	51.11
Mn*	1.10-1.19	1.170	1.120	-04.27
Cr	64.00-82.80	77.20	67.50	-12.56
Cu	31.70-34.20	32.70	32.36	-01.04
Zn	72.00-74.30	74.80	74.13	-00.90

* exprimée en g/kg

CHAPITRE IV
ETUDE DE LA MATIERE BIOLOGIQUE

INTRODUCTION

Tenant compte du fait que les bivalves ont un mécanisme de filtration très perfectionné, filtrant de grandes quantités d'eaux et retenant les particules en suspension, d'où les ions métalliques adsorbés à la surface de celles-ci, nous avons choisies les moules (Perna perna et Mytilus galloprovincialis) pour évaluer le degré de pollution de sept (07) métaux lourds (mercure, plomb, cadmium, manganèse, chrome, cuivre et zinc) dans trois (03) zones : la première lacunaire (lac MELLAH) et les deux autres marines (BORDJ EL KIFFAN et GOURAYA).

La station de CHENOUA était considérée jusqu'en 1988 comme station de référence. Cependant, la dégression des moules dans cette zone déjà constaté par AISSI (1980) et ASSO (1982) (in BOUTOUCHENT, 1988) nous a incité à chercher une autre station de référence. Pour cela, un prélèvement de moules à été réalisé à la station de GOURAYA, qui répond a priori à la définition d'une zone de référence.

L'interprétation des résultats obtenus dans la chair totale des moules sera basée sur une comparaison avec les données signalées par d'autres auteurs dans différentes régions de la Méditerranée. Nous suivrons également la variation des concentrations en métaux lourds étudiés en fonction du paramètre biologique "taille", pour expliquer les écarts des valeurs obtenus dans une même espèce prélevée au même endroit et au même moment.

Partie A : GENERALITES

*" Homme, nul n'a sondé le fond de tes abîmes
O, mer, nul ne reconnaît tes richesses intimes "*

BAUDELAIRE.

I - CHOIX DU MATERIEL BIOLOGIQUE :

La moule genre Mytilus et Perna a été choisie pour diagnostiquer la pollution des eaux côtières par les métaux lourds pour plusieurs raisons, dont les plus importantes sont:

- IL est bien connu que leur mode de vie (sessile) les amènent à filtrer des quantités considérables d'eau de mer, en concentrant certaines substances qui s'y trouvent.

- Les moules sont des mollusques communs à tout nos côtes. Leurs larves sont pélaagiques, ce qui évite l'isolation géographique.

- Ce sont des suspensivores qui se placent à un niveau trophique bas, permettant ainsi de prévoir le degré de la contamination des échelons supérieurs de la pyramide trophique.

- En tant que constituant de l'alimentation humaine, la moule a été retenue comme organisme test dans de nombreuses études d'écotoxicologie.

Pour cela, plusieurs auteurs ont focalisé leurs études sur ces espèces, ainsi que la majorité des programmes de surveillance internationaux ont été fondés sur leur utilisation. GOLDBERG (1975) a proposé la moule pour la surveillance de la pollution marine à l'échelle internationale, car ce filtreur répond linéairement à l'augmentation des concentrations de certains contaminants.

* Pour ce qui concerne la biologie de la moule, nous référerons nos lecteurs aux travaux réalisés précédemment : ASSO (1982), ABADA - BOUDJAMA (1983), ABDELOUHAB et NACEUR (1985) et AOUANE (1988).

II - REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES DEUX ESPECES DE MOULES ETUDIEES :

- L'espèce Perna perna se rencontre en Atlantique tropical et subtropical (BRESIL (LUNETTA, 1969), CONGO (CAYRE, 1978) et en Méditerranée (MAROC (EL-KAIM, 1968), TUNISIE (ZAOUALI, 1973) et L'ALGERIE (PALLARY, 1921)), ou sa pénétration est limitée aux côtes Africaines de la région occidentale, ainsi qu'aux côtes Espagnoles jusqu'à MALAGA.

- L'espèce Mytilus galloprovincialis se retrouve en Méditerranée, Adriatique, mer Noire, côtes Atlantique du MAROC, du PORTUGAL, de la FRANCE, du S.W du ROYAUME-UNI et de la Manche occidentale.

Cependant, en ALGERIE des essais de mytiliculture ont favorisé la multiplication de Mytilus galloprovincialis le long de la côte d'Afrique du Nord. Mais actuellement, cette espèce ne dépasse pas le cap de BON. D'après ASSO (1982) la présence de cette espèce dans les zones non portuaires est attribuée à une introduction par les bateaux.

III - DISTINCTION ENTRE LES DEUX ESPECES DE MOULES ETUDIEES :

Les principaux points qui nous permettent de distinguer entre l'espèce Mytilus galloprovincialis et Perna perna sont regroupés dans le tableau 16 et schéma 4.

IV - CHOIX DES STATIONS ETUDIEES :

IV - 1 - STATION DE BORDJ EL KIFFAN :

Située à une dizaine de kilomètres à l'Est d'ALGER (carte 8), BORDJ EL KIFFAN est soumise à une importante pollution, causée principalement par les apports de l'oued EL HARRACH et l'oued EL HAMIS. Durant notre prélèvement de moules en Mars 1991, nous avons constatés la dominance de l'espèce Mytilus galloprovincialis, contrairement à ce qu'il a été indiqué par AOUANE lors de ses prélèvements en MARS 1988 dans le même site. Cet auteur a noté la coexistence des deux espèce Perna perna et Mytilus galloprovincialis. La disparition de l'espèce Perna perna reflète probablement l'évolution de la pollution dans la zone.

IV - 2 - STATION DE LAC MELLAH :

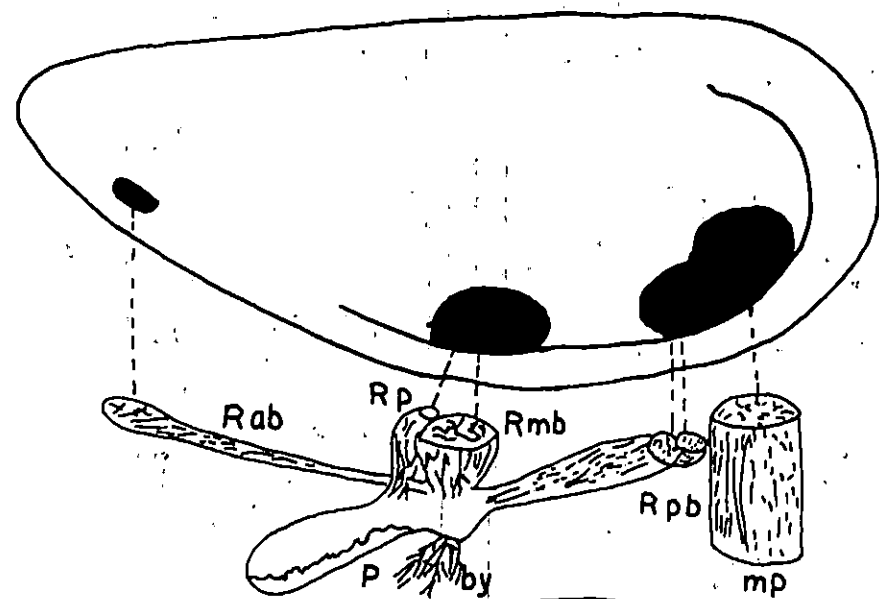
En ALGERIE, la seule lagune digne de ce nom et qui a suscité l'intérêt de plusieurs biologistes est le lac MELLAH. Ce dernier, d'une superficie de 865 ha et d'une profondeur moyenne de 3 mètres, est situé à l'Est de la côte Algérienne, au voisinage de la ville d'El KALA. Il communique avec la mer par un chenal de 1 kilomètre de long, 20 mètres de large et 2,5 mètres de fond. Cette lagune saumâtre reçoit également un apport d'eau douce de plusieurs oueds qui se déversent dans sa partie Nord-Ouest et Sud (carte 8).

D'après sa configuration, le lac MELLAH serait, selon ARRIGNON (1968) (in SEMROUD, 1983) une ancienne vallée fluviale envahie par la mer.

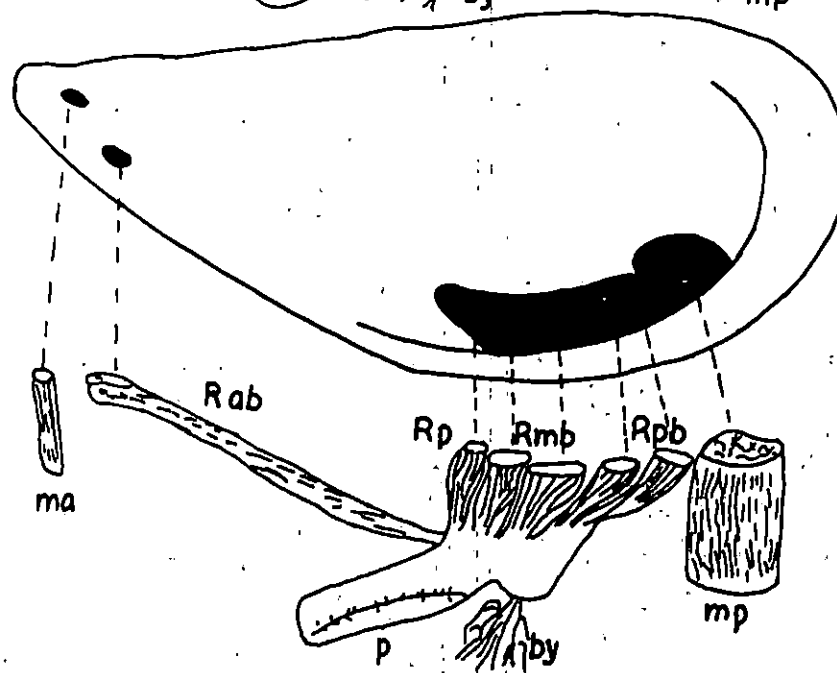
Pour confirmer les résultats obtenus dans cette lagune par BOUPOURCHENT (1988), un prélèvement de moules a été effectué par l'équipe du laboratoire de Benthologie de l'I.S.M.A.L. en Mai 1991 dans la station 37 (carte B) représentée par des moules de culture d'espèce Mytilus galloprovincialis. Cette station est choisie en fonction des travaux de recherche de ce laboratoire, dont l'objectif est l'étude de la dynamique des peuplements benthiques.

Tab. n°16 : Distinction entre les deux espèces de moules étudiées
(Perna perna et Mytilus galloprovincialis).

PERNA PERNA	MYTILUS GALLOPROVINCIALIS
<ul style="list-style-type: none"> - Coquille allongé d'une couleur brun fauve du périotracum avec des reflets verdâtres dans la région postérieure et nacré, brun rosé à l'intérieur des valves. - Absence du muscle adducteur antérieur (Schéma n° 4). - présence de deux dents cardinales. - Présence de deux groupes distincts de muscles sur la partie interne de la coquille. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coquille ramassé d'une couleur généralement noir foncé extérieurement et gris bleuté à violacé plus ou moins teinté de blanchâtre à l'intérieur des valves. - Présence du muscle adducteur antérieur (Schéma n° 4). - Présence de dents cardinales en nombre variable. - Présence d'un bloc uni des muscles adducteurs et rétracteurs sur la partie interne de la coquille.



A



B

A: Perna perna (L.)

B: Mytilus galloprovincialis (L.M.K.)

LEGÈNDES

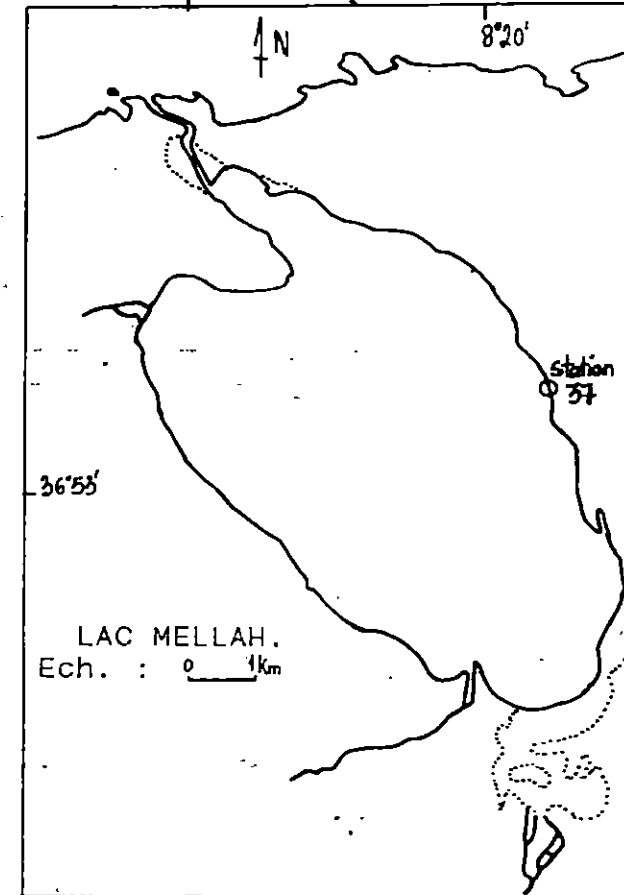
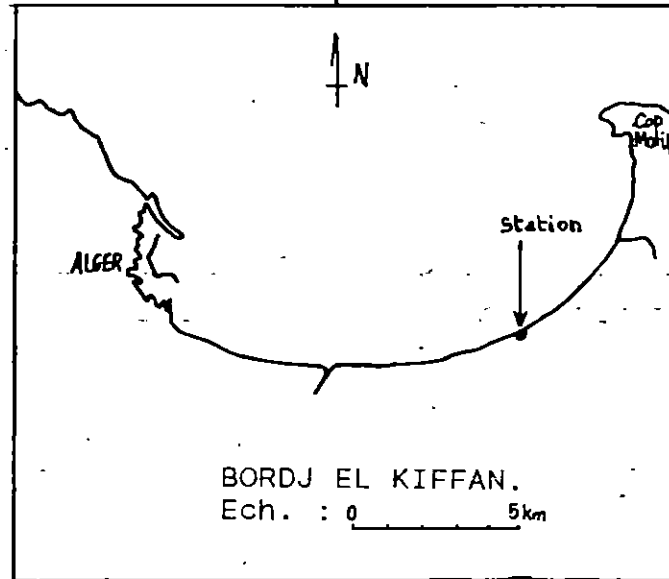
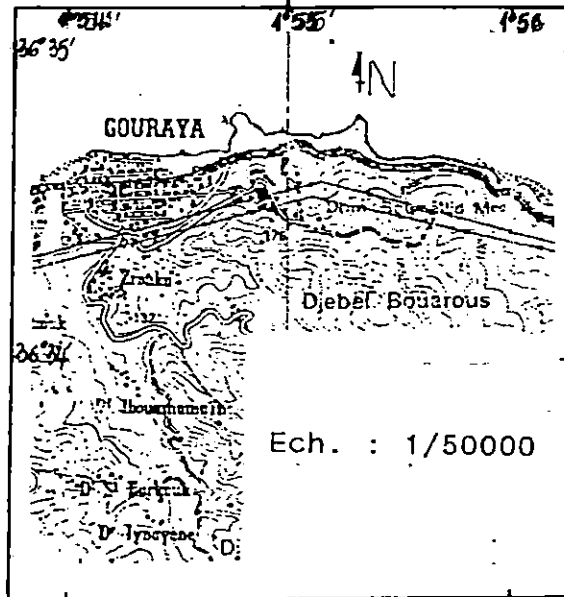
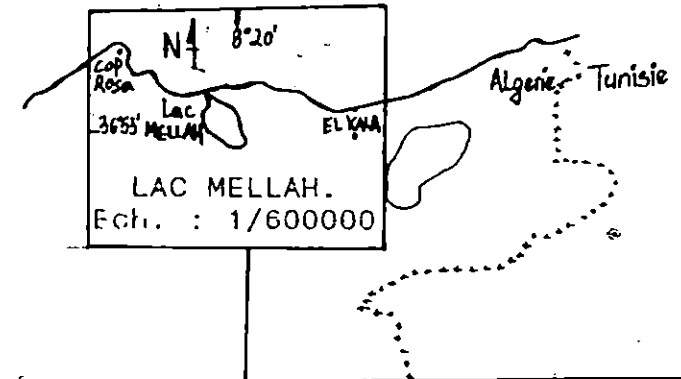
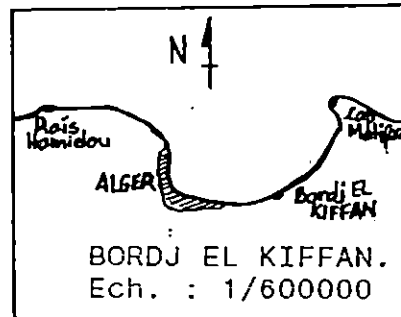
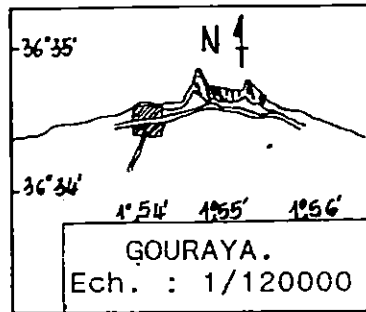
- > by: Byssus, ma: Muscle adducteur antérieur,
- > mp: Muscle adducteur postérieur, p: Pied,
- > Rab: Réfracteur antérieur du byssus,
- > Rmb: Réfracteurs moyens du byssus,
- > Rp: Réfracteurs du pied et Rpb: Réfracteurs postérieur du byssus.

Schéma n°.4 : Disposition Musculaire (d'après LUBET, 1973).

IV - 3 - STATION DE GOURAYA :

Située à 60 kilomètres environ à l'Ouest de CHENOJA, la région de GOURAYA est caractérisée par une faible densité de population, une agriculture peu développée et une activité industrielle pratiquement nulle sur la bordure côtière.

En Mai 1991, un prélèvement de moules a été effectué dans la première pointe (carte 8) représentée par l'espèce Perna perna, dont le but est de vérifier après analyse si cette station peut être considérée comme une zone de référence. Soulignons que, les plus grandes moules (jusqu'à 7.3cm) ont été prélevées au niveau de cette station.



Carte N° 8 : Localisation des stations de prélèvement des moules.

Partie B : METHODOLOGIE

I - NETTOYAGE DU MATERIELS :

en plus du lavage de toute la verrerie utilisée pour le traitement (voir chap.III paraq.I), les godets en teflon servant à la mise en solution de la matière organique ou inorganique (dont le cas du dosage de mercure et de plomb dans le sédiment), sont d'abord lavés avec des détergents, eau acidulée et rincés à l'eau bidistillée, puis par une minéralisation à blanc (3ml de HNO₃ à 70% par godet) toutes les traces de l'ancienne digestion sont éliminées.

II- PRELEVEMENT ET CONGELATION :

Aussitôt, après avoir été recueillis par plongée à l'aide d'un pignard inoxydable, les moules sont mises dans des sacs en plastique sur lesquels sont indiqués la date de prélèvement et le nom de la station. Les moules prélevées sont maintenues à basse température dans une glacière portative jusqu'au retour au laboratoire.

Parvenues au laboratoire, les moules sont congelées à une température de -18°C afin d'empêcher la filtration de l'eau contenue dans l'espace intervalvaire en attendant le tri. BENIDICT et al. (1972) ont montré que les pertes des métaux lourds les plus volatils, (cas du mercure et du plomb) sont inférieures à 10% après neuf (09) mois de congélation.

III - TRAITEMENT DES MOULES AU LABORATOIRE :

Les différentes étapes du traitement des moules sont (schéma 5) :

III-1-TRI :

Après la séparation des deux espèces (Perna perna et Mytilus galloprovincialis), les moules sont réparties en différentes classes de taille, selon la composition de l'échantillon.

Le maintien de la même fourchette d'un échantillon à un autre permet la comparaison des résultats. Pour cette raison les effectifs et les tailles sont notés.

III - 2 - RECUPERATION DES PARTIES MOLLES :

Pour faciliter le travail, les moules sont décongelées puis débarrassées des déchets et d'organismes divers qui peuvent adhérer à leur coquilles. Les valves sont séparées après section des muscles adducteurs ; les parties molles sont détachées à l'aide d'un scalpel et récupérées dans une boîte de pétri étiquetée, puis congelée à -18°C après détermination du poids frais.

III - 3 - LA LYOPHILISATION :

(Voir chap.III paraq.III.2).

Pendant cette étape, nous avons remarqués que le temps de la lyophilisation des moules est plus important que celui des sédiments.

Le produit final est pesé et on calcul le rapport poids frais sur poids sec (PF/PS).

III - 4 - BROYAGE ET HOMOGENEISATION :

Une fois conservées, lyophilisées et pesées, les moules sont d'abord broyées dans un mixeur électrique, puis homogénéisées plus de 48 heures. Cette étape est indispensable, car chaque métal a son site de fixation préférentiel. Le broyat final est transvasé dans un pilulier portant toutes les données de la station, puis rangé jusqu'à la minéralisation.

III - 5 - LA MINERALISATION :

Suite à la comparaison des deux méthodes de minéralisation (voie humide et voie sèche), les laboratoires participant au programme MED-POL II adoptent la minéralisation par voie humide (mettant les éléments à analyser dans leurs état le plus oxydé). Cette dernière est la méthode la plus efficace car elle permet de récupérer le maximum de métaux.

Pour sa réalisation, nous disposons d'une bombe à téflon, qui permet d'éviter les pertes d'éléments volatils et favorise la destruction de la matrice en raison du double effet "pression et température".

Le dispositif est composé de deux plaques superposées (fig.15), dans lesquelles s'incèrent neufs (09) godets.

Dans chaque creuset nous introduisons :

- * 0,5 gramme de l'échantillon sec.
- * 5 millilitres d'un acide moins volatil (acide nitrique à 70%).

Pour chaque série, on réserve trois godets : deux godets pour le témoin (blanc) à raison de 5 millilitres de HNO₃ (acide nitrique à 70%) et un godet pour l'échantillon standard fourni par le MESL de l'A.I.E.A. (Agence International de l'Énergie Atomique).

Le non fonctionnement de la plaque chauffante, nous a oblié de chauffer le tout dans une étuve à une température de 50°C pendant une (01) heure, puis porté à une température de 160°C durant six (06) heures.

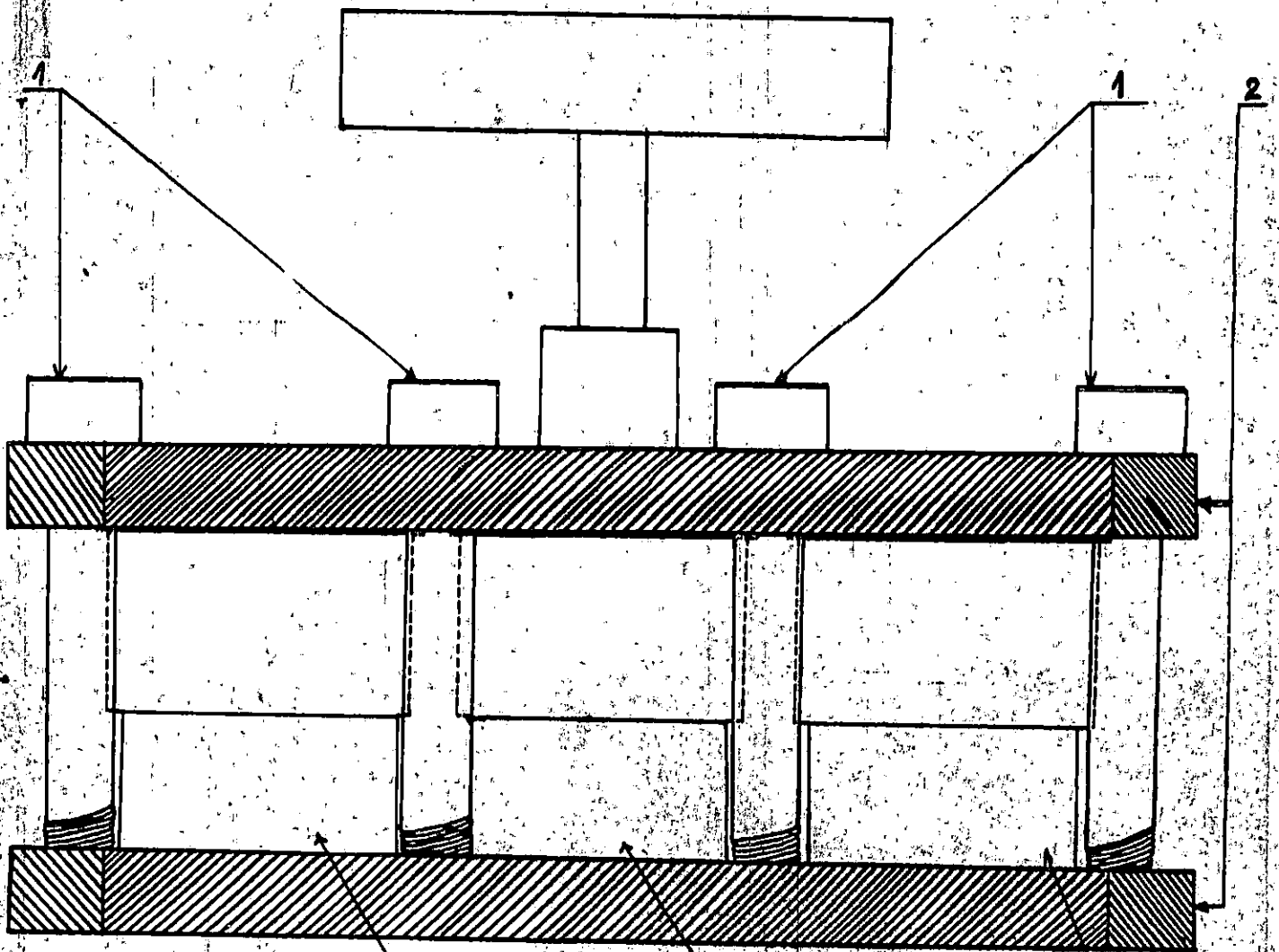


fig. n°15: Bombe à teflon



- 1- Vice de serrage
- 2- Plaque métallique (Acier Inox)
- 3- Godet en teflon

89

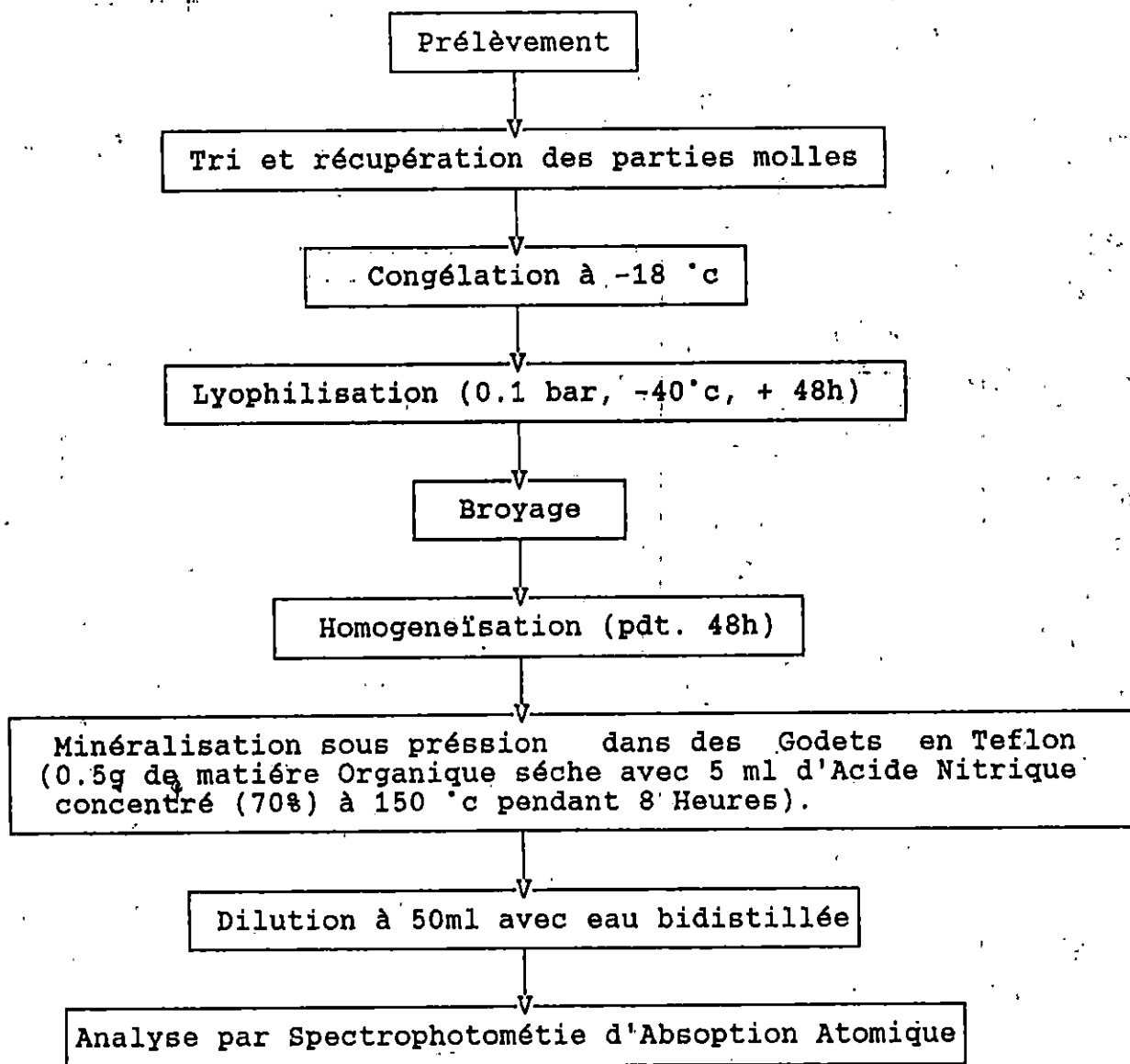
Après le refroidissement de la bombe en teflon, le contenu de chaque godet est transvasé dans une fiole de 50 millilitres, ajustée à ce niveau par de l'eau bidistillée.

Ainsi, les fioles sont stockées dans un endroit frais (réfrigérateur) jusqu'au jour de l'analyse.

IV - METHODE D'ANALYSE :

(voir chap. III paraq. IV)

Schéma n°5 : Résumé des différentes phases de traitement des Moules.



1 - ETALONNAGE :

L'étalonnage de l'appareil (PERKIN - ELMER modèle 2380) est le même que celui effectuée pour la matière inorganique (sédiment). Les concentrations choisies des étalons sont consignées dans le tableau n°17 et fig. n°16 et 17).

Tab. n°. 17 : CONCENTRATIONS EN METAUX LOURDS DES SOLUTIONS STANDARDS
ETUDIEES (EXPRIMEES EN ng/ml).

ETALONS METAUX	S1	S2	S3
MERCURE (Hg)	5	10	15
PLOMB (Pb)	20	40	60
CADMIUM (Cd)	5	10	15
MANGANESE (Mn)	100	200	300
CHROME (Cr)	30	60	90
CUIVRE (Cu)	50	100	150
ZINC (Zn)	1000	2000	3000

2 - EXERCICES D'INTERCALIBRATIONS :

Afin d'apprécier la justesse et la précision de la méthode d'analyse utilisée, nous avons procédé pour chaque série d'échantillons à un dosage supplémentaire sur du matériel biologique standard, fournie par le laboratoire MESL de l'A.I.E.A. à MONACO et codé MA (F) - MED - 86/TM (correspond à la chair de poisson) et TUNA (350) (correspond à de la chair de THON).

Les résultats regroupés dans le tableau 18 montrent d'une part, que seules les valeurs de mercure obtenues dans notre étude ne sont pas incluses dans l'intervalle de confiance fixée par l'A.I.E.A.. D'autre part, le calcul de l'écart pour cent (voir paraq. IV.3.3.) indique des pertes pour le manganèse et le mercure (écart pour cent négatif), et des contaminations pour le plomb, le cadmium et le chrome (écart pour cent positif).

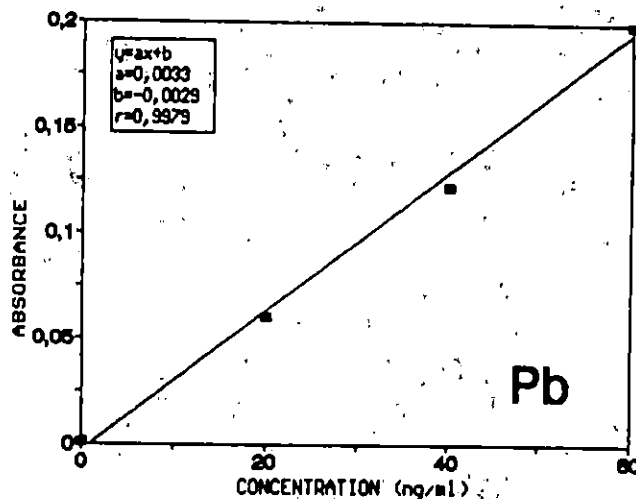
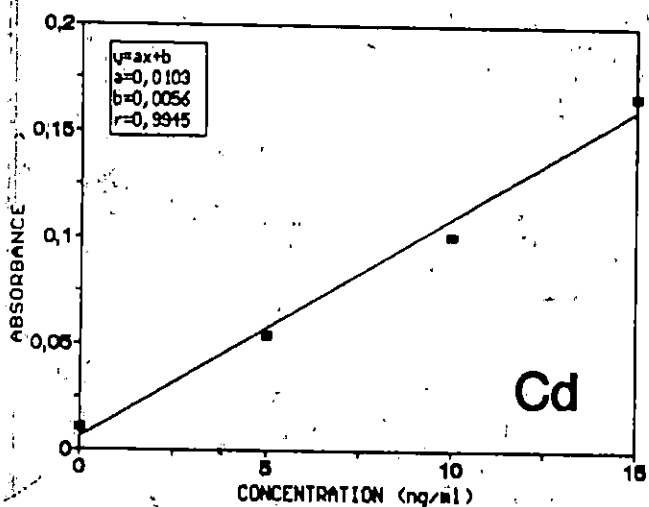
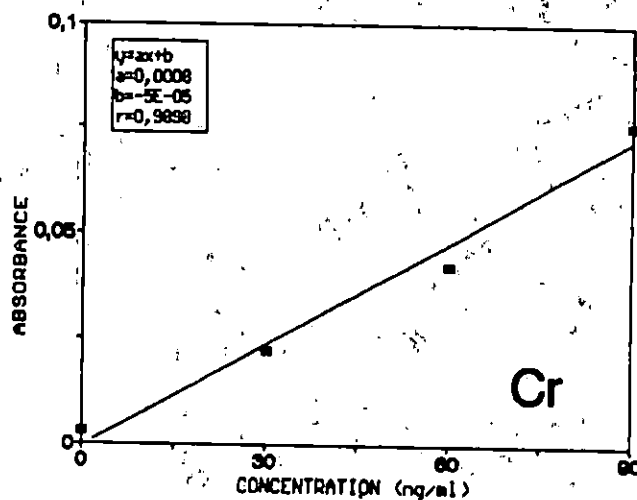
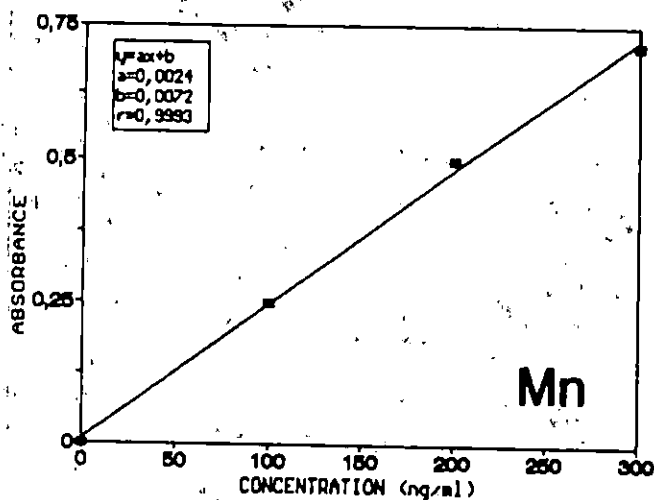
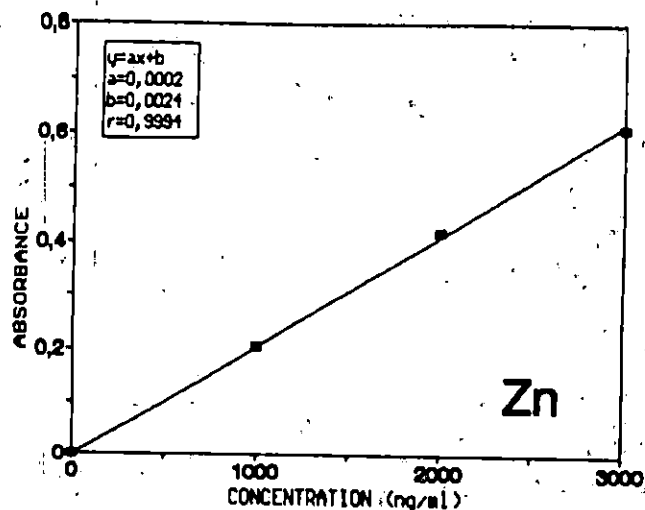
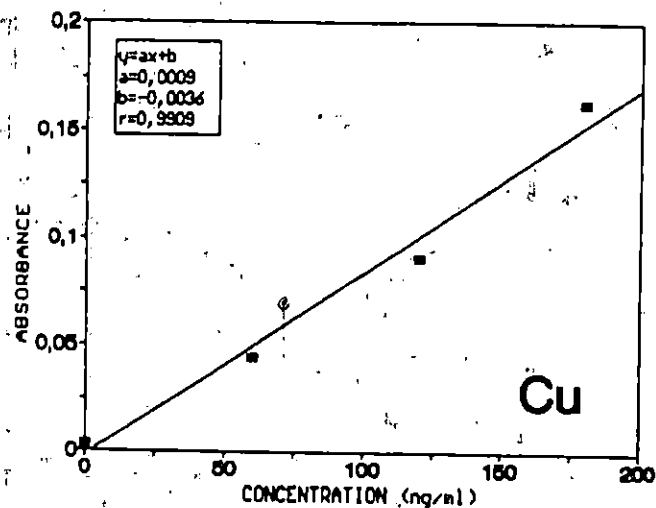


fig. 16: COURBES ETALONS DES METAUX LOURDS

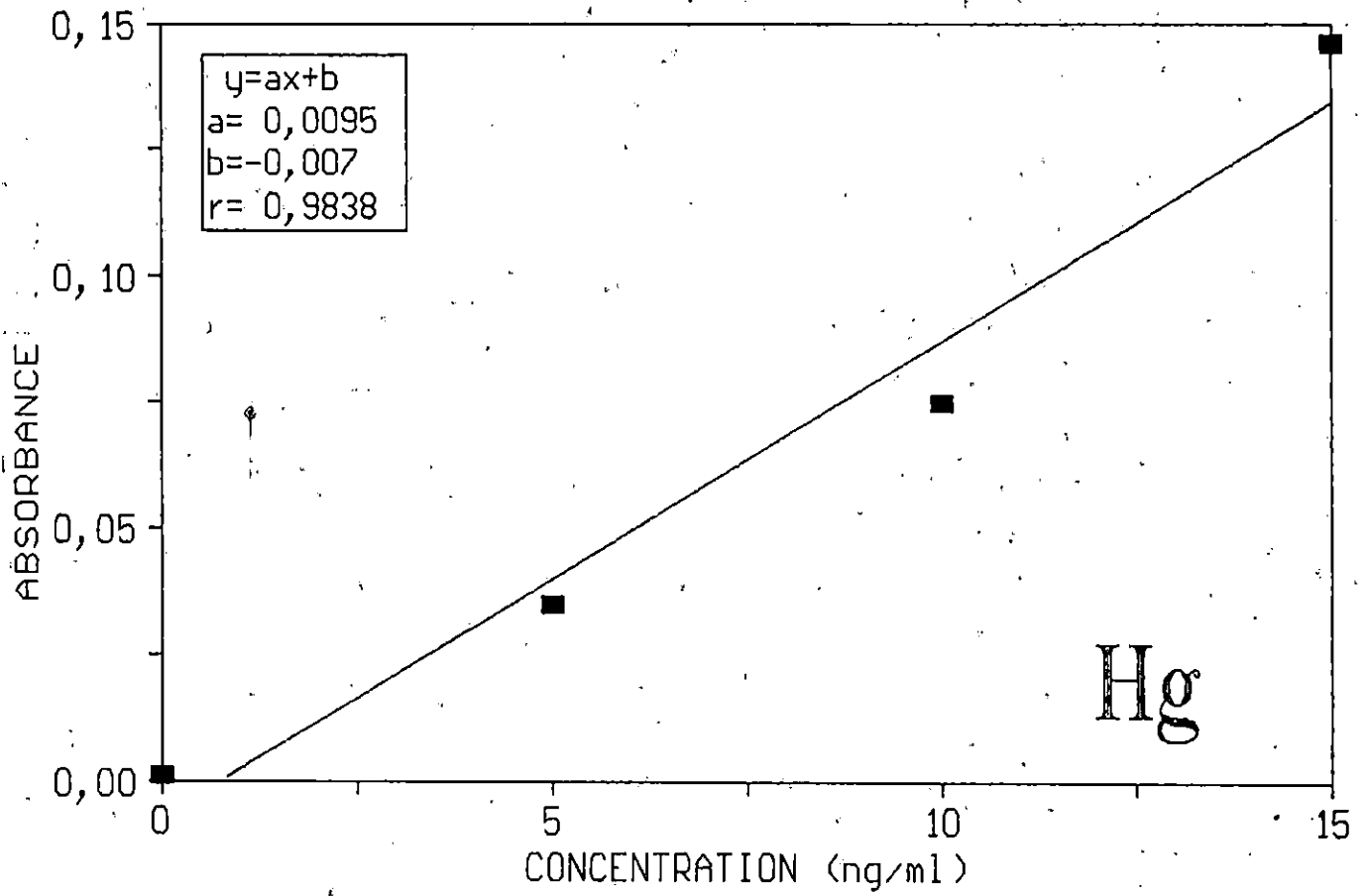


Fig. 17 : Courbe étalon du mercure

D'une manière générale, la méthode adoptée pour le traitement et l'analyse de la matrice biologique (moule) est fiable pour la détermination des teneurs en métaux lourds étudiés. Néanmoins, les contaminations et les pertes enregistrées pourraient être liées :

- * Au fait que la minéralisation a été réalisée à l'étuve (source de pertes pour les éléments les plus volatils) au lieu d'une plaque chauffante.
- * A la durée de conservation des échantillons dans le réfrigérateur.
- * Enfin, au différentes interactions (physiques, chimiques etc...) qui peuvent se produire lors de l'analyse.

" Si demain l'homme devient un constructeur et cesse d'être un destructeur, l'océan redeviendra immortel et il accompagnera une espèce qui sera aussi devenue, grâce à l'océan, immortelle: l'humanité. "

BOMBARD.

CHAPITRE V :
RESULTATS ET INTERPRETATION

INTRODUCTION :

L'analyse des sept (07) éléments métalliques à été réalisée aussi bien dans la matrice inorganique (sédiment) que organique (moules), en raison du rôle important qu'elles jouent dans la détermination de l'impact de la pollution par les métaux en traces sur le milieu aquatique et plus précisément le milieu marin.

Ayant une relation avec la charge polluante, une mesure des paramètres physico-chimiques a été effectuée parallèlement, pour connaître les conditions physiques et chimiques régnant dans les eaux des oueds et celles de la partie orientale de la baie de BOU-ISMAIL.

I - RESULTATS DE L'ANALYSE DE L'EAU :

Les résultats de l'analyse de l'eau sont consignés dans les tableaux 19,20,21,22,23 et 24. Toutefois, soulignons que pour des contraintes techniques, nous n'avons pu mesurer tous les paramètres physico-chimiques au niveau des trois oueds étudiés.

I - 1 - VARIATION SPATIALE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES :

I - 1 - 1 - AU NIVEAU DES OUEDS :

1 - OUED BENI-MESSOUS :

Au niveau de cet oued, deux prélèvements d'eau ont été effectués, dont le but est de connaître la variation des conditions physico-chimiques favorisée par les pluies entre les deux dates de prélèvement.

- SALINITE :

La différence nette de la valeur moyenne de salinité enregistrée au premier prélèvement (32,91 ‰) et celle au deuxième prélèvement (4,1‰), ne pourrait être due qu'à un phénomène locale. Pour le premier prélèvement les importantes valeurs de salinité obtenues peuvent être dues, soit à un apport occasionné, soit à une remonté d'eau de mer dans l'oued, favorisée par les conditions météorologiques et hydrologiques (prélèvement effectué en hiver). Par contre, la chute des valeurs au second prélèvement pourrait être expliqué par le phénomène de dilution (pluies intenses deux jours avant la réalisation du deuxième prélèvement).

- pH :

Les valeurs de pH diffèrent d'un prélèvement à un autre. La valeur moyenne (8,2) enregistrée au premier prélèvement indique une alcalinité légèrement plus importante que celle signalée au second (7,78). Ces fluctuations de pH, comme celles de la salinité pourraient être dues au phénomène de dilution en raison des pluies survenues deux (02) jours avant le deuxième prélèvement.

Etant donné que le pH de l'eau de mer est voisin de 8,2, les valeurs de ce paramètre obtenues au premier prélèvement confirment qu'il y a eu une intrusion d'eau de mer dans l'oued.

2 - OUED NADOR :

- TEMPERATURE :

Au sein de l'oued NADOR la température est variable ; les valeurs sont comprises entre 16,6°C et 18,75°C avec une moyenne de 17,95°C.

La forte valeur est observée à la station II au niveau de laquelle débouche l'écouit de la commune de NADOR, tandis que la faible valeur est enregistrée dans la station IV.

- SALINITE :

Les valeurs de salinité sont comprises dans l'intervalle [4,80 - 9,4‰] avec une moyenne de 6,02‰.

La valeur minimale est mesurée dans la station I (la plus en amont), caractérisée par un fond vaseux, tandis que la valeur maximale est mesurée dans la station IV (la plus proche de l'embouchure), caractérisée par un fond sablonneux.

La salinité augmente au fur et à mesure que nous nous approchons de l'embouchure, laissant ainsi l'empreinte de l'influence d'eau de mer sur la partie aval de cet oued.

- pH :

Le pH augmente de l'amont vers l'aval ; les valeurs varient de 7,66 à 8,31 avec une moyenne de 8,12.

Le maximum est mesuré dans la station VI (la plus proche de l'embouchure).

Le minimum signalé dans la station II pourrait résulter de la présence d'un écouit au niveau de ce point de prélèvement. Cet écouit achemine toutes les eaux usées de la commune de NADOR vers l'oued.

3 - OUED MAZAFRAN :

- TEMPERATURE :

Les valeurs de température enregistrées dans cet oued sont importante ; elles varient de 28°C à 29,40°C avec une moyenne de 28,8°C.

La valeur maximale est observée dans les stations II, IV et VI, tandis que la valeur minimale est obtenue dans la station X.

Ces résultats sont tout a fait admissibles puisque le prélèvement a été effectué en période estivale et que la faible profondeur de l'oued permet une importante influence de la température atmosphérique sur la tranche d'eau douce.

φ - SALINITE :

A l'exception de la valeur 7,7‰ enregistrée dans la station I (la plus en amont), le reste des valeurs de la salinité est peu variable ; elles sont comprises entre 7,90‰ et 8,10‰ avec une moyenne de 7,96‰.

Le minimum est signalé dans la station I, par contre le maximum est obtenu dans la station VI.

La stabilité de ce paramètre dans les stations les plus proches de l'embouchure ne peut être que la conséquence d'un bon mélange.

- pH :

Dans cet oued, où la vitesse d'écoulement est nettement supérieure à celle des deux autres oueds (BENI-MESSOUS et NADOR), le pH est peu variable ; il est compris entre 9,13 et 9,31 avec une moyenne de 9,24.

Si on tient compte des valeurs de température enregistrées dans l'oued MAZAFRAN et sachant que dans des conditions normales l'élévation de la température entraîne une diminution du pH, nous pourrions avancer que cet oued est perturbé. Cependant, seule une analyse chimique profonde pourrait confirmer cette constatation.

4 - DISCUSSION ET CONCLUSION :

L'étude des paramètres : température salinité et pH dans les trois oueds débouchant dans la baie de BOU-ISMAIL, a permis de définir quelques unes des caractéristiques physico-chimiques générales dans la zone de mélange (eau douce - eau salée) et de constater des situations spécifiques à chaque oued.

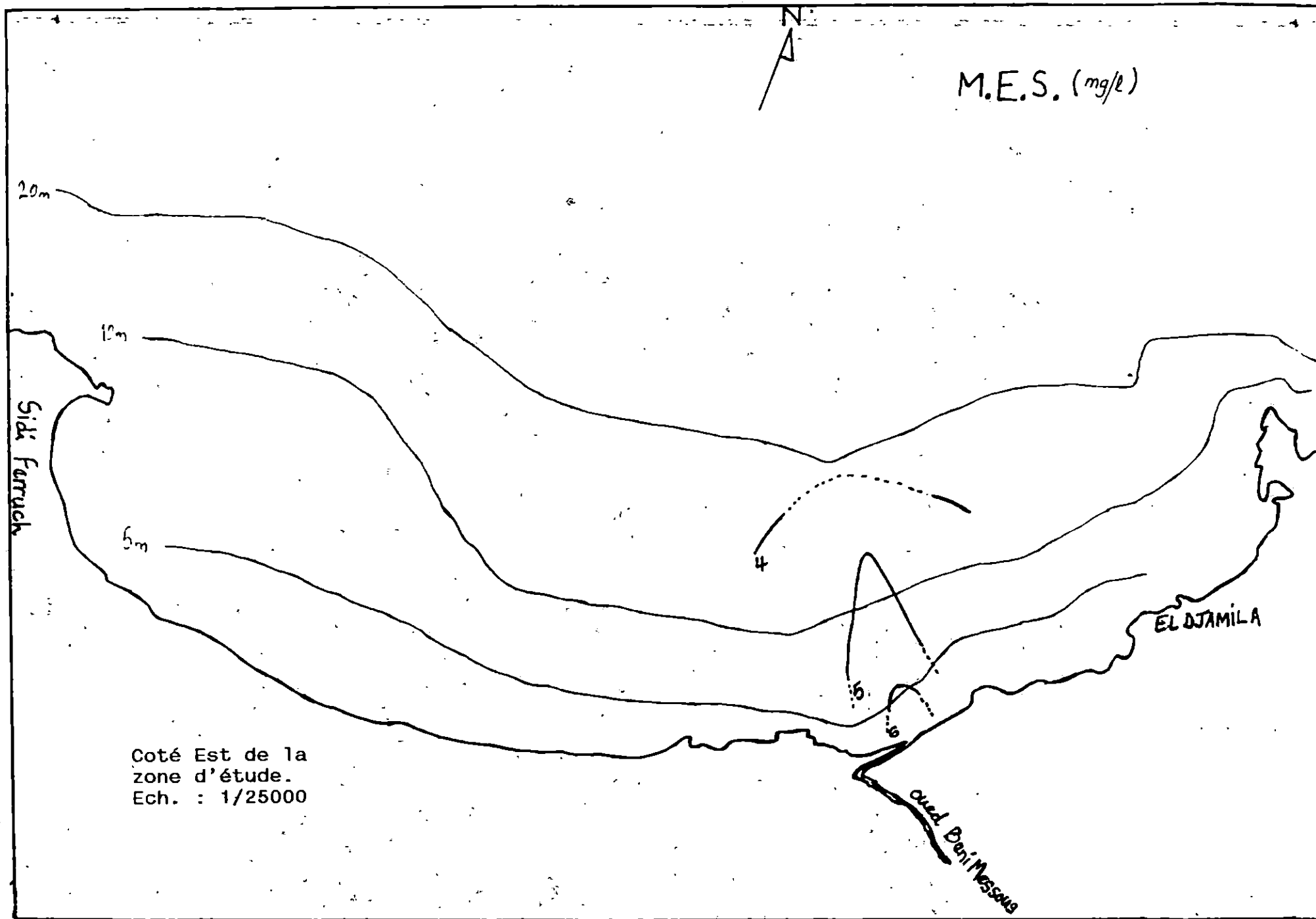
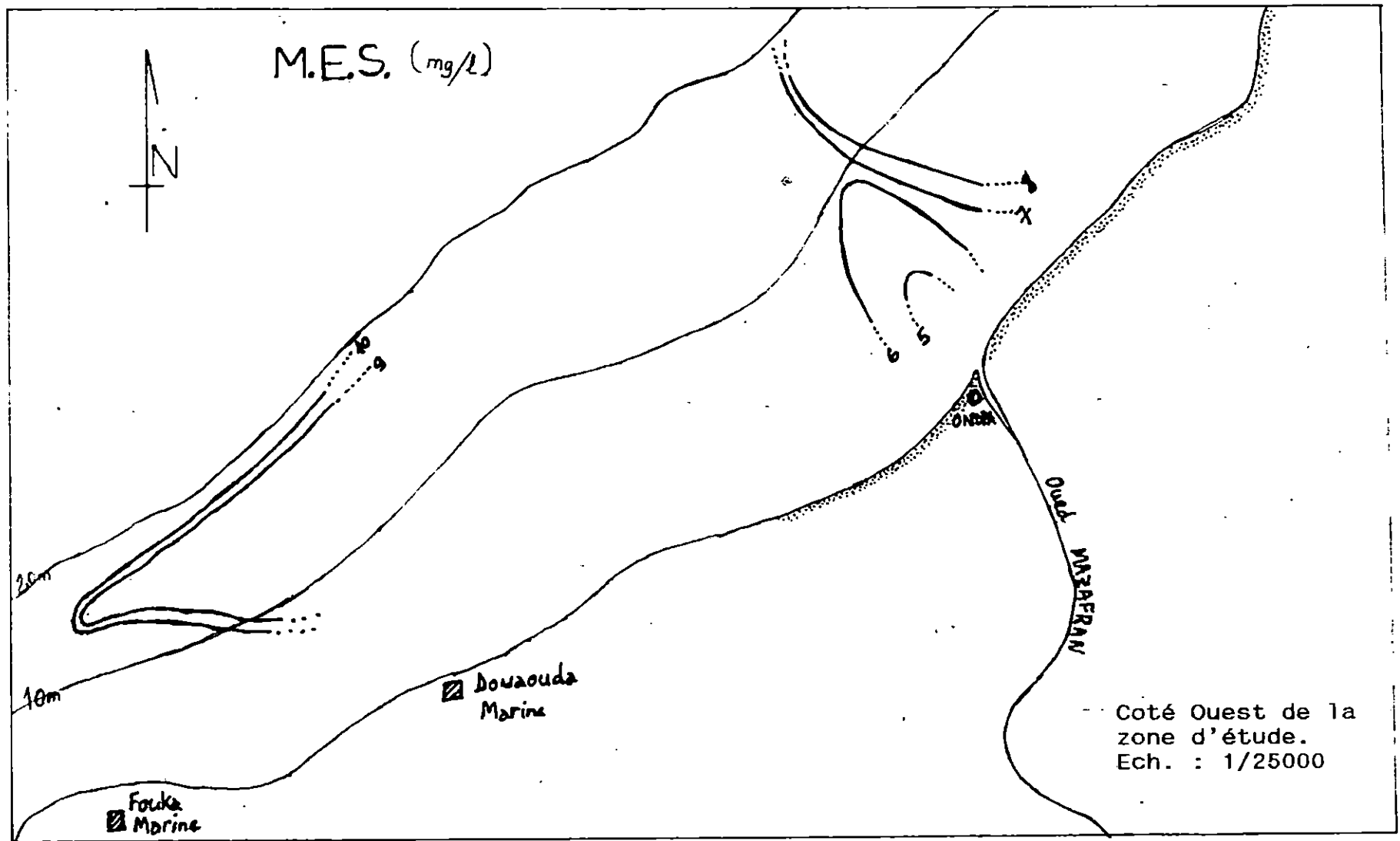


Fig. n° 18 : Variation spatiale de la M.E.S. (Surface).



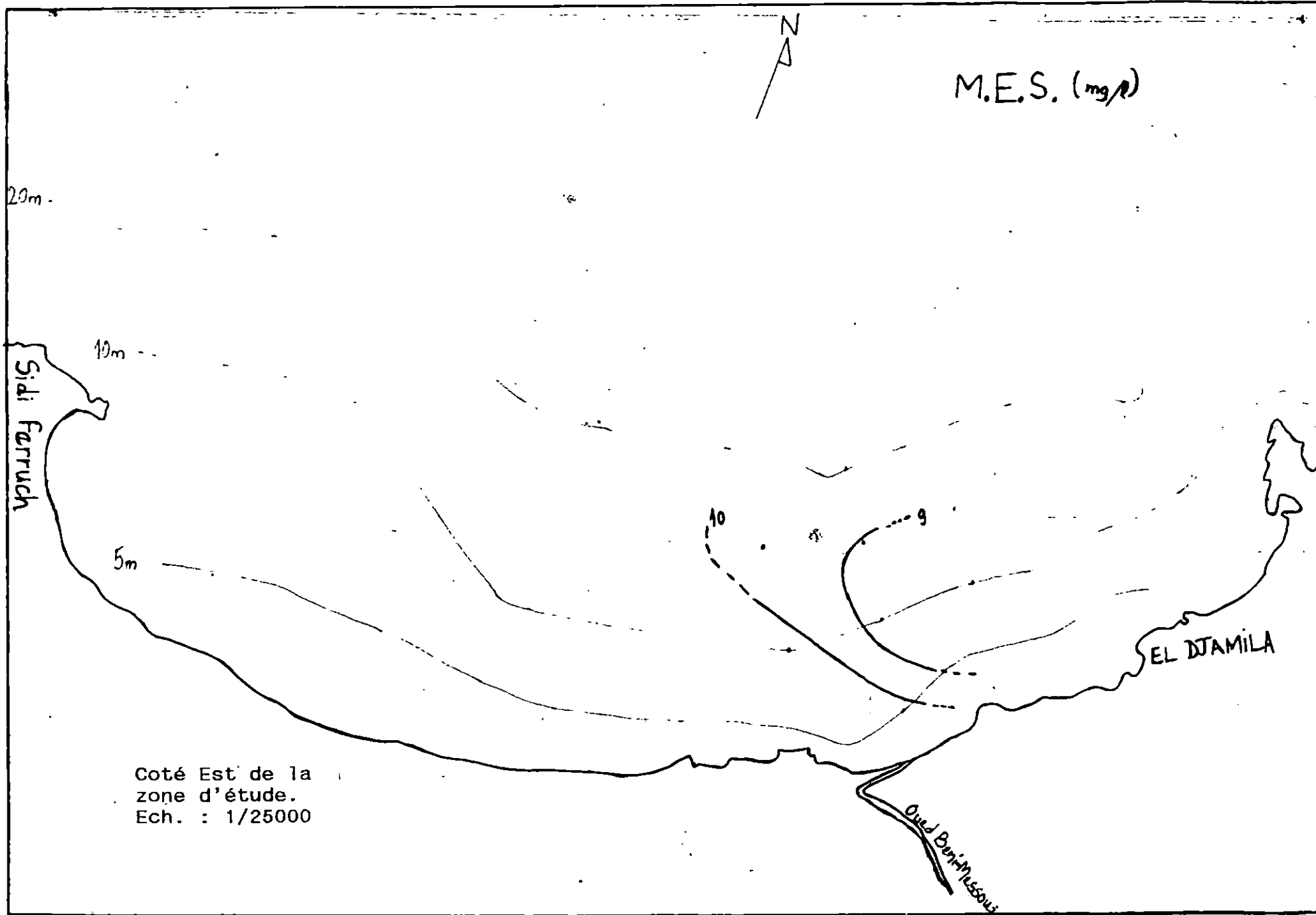


Fig. n° 20 : Variation spatiale de la M.E.S.(Fond).

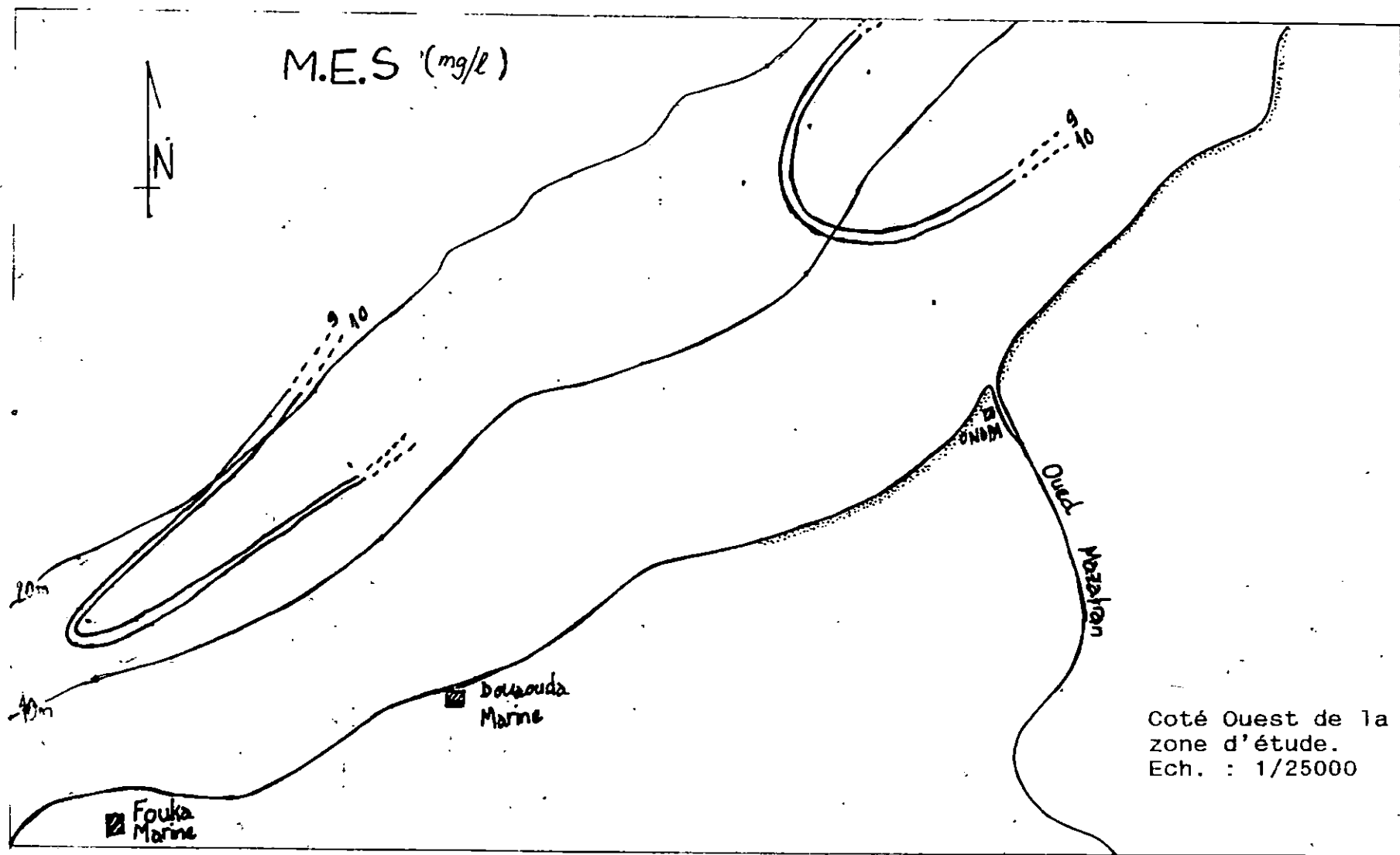


Fig. n° 21 : Variation spatiale de la M.E.S.(Fond).

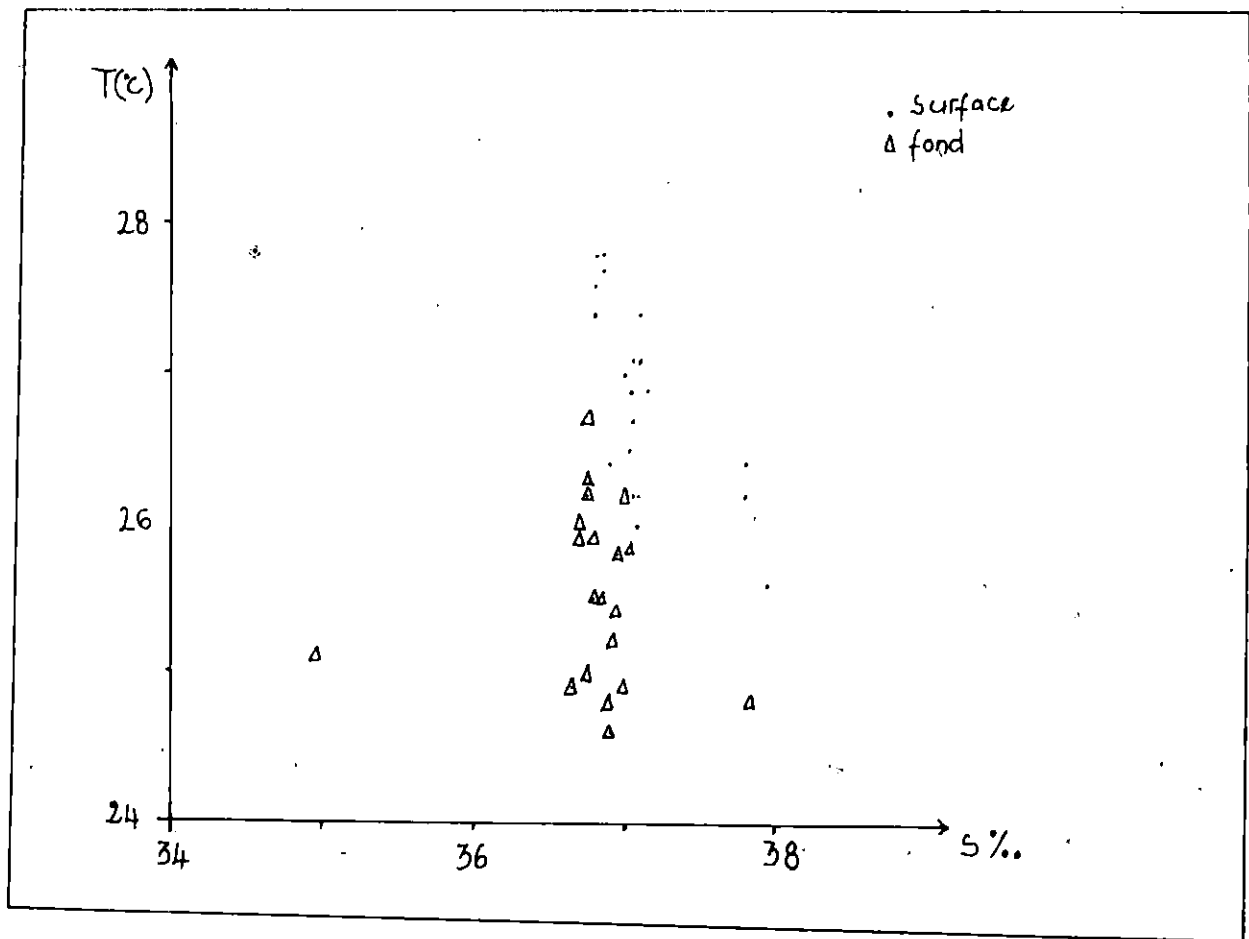


Fig. n°22: Diagramme de corrélation : Température - Salinité

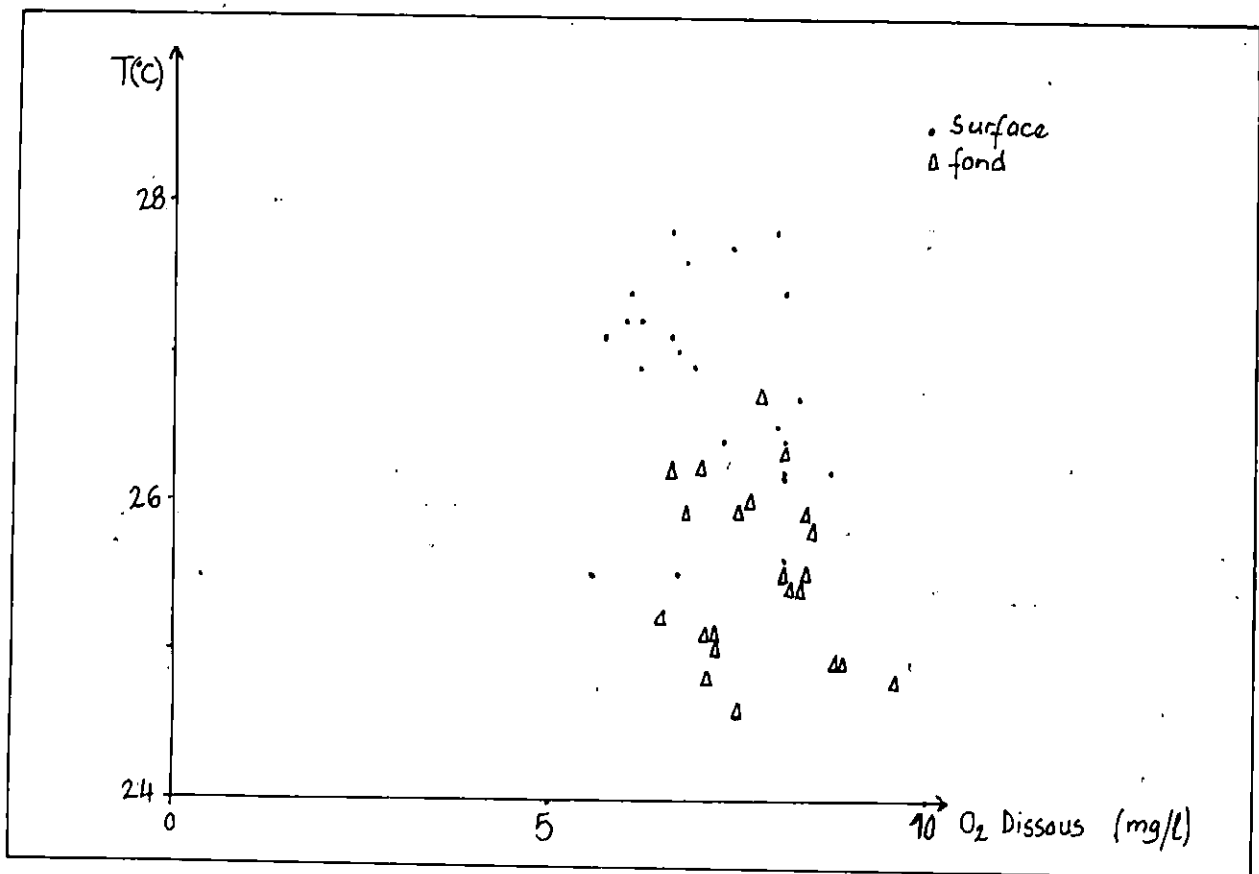


Fig. n°23: Diagramme de corrélation : Température - Oxygène dissous

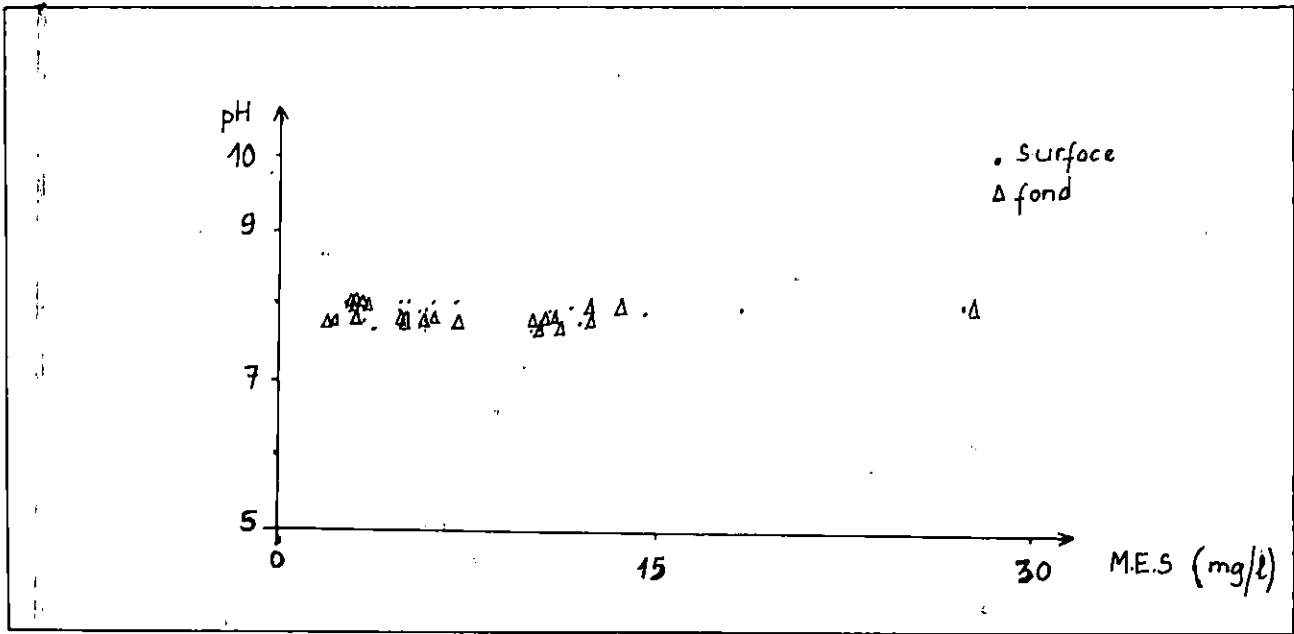


Fig. n°24: Diagramme de corrélation : pH - M.E.S.

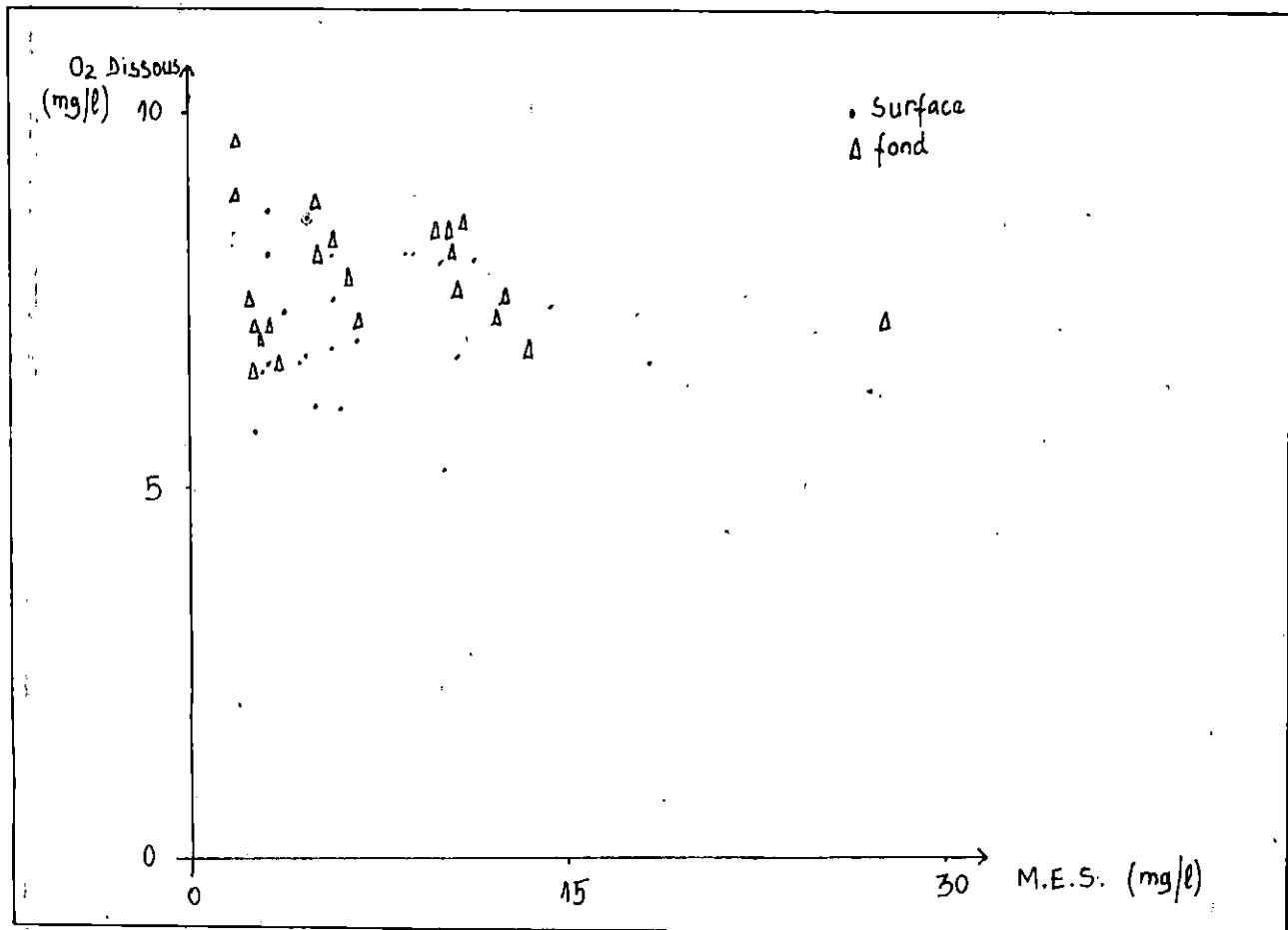


Fig. n°25: Diagramme de corrélation : Oxygene dissous - M.E.S.

- Malgré l'importance des apports d'eaux douces des principaux oueds de la baie de BOU-ISMAIL, les fluctuations de pH ne sont pas importantes. L'effet tampon de l'eau de mer en est la cause principale.

- Les valeurs de l'oxygène dissous enregistrées dans les eaux côtières de la zone étudiée sont variables et importantes ; elles oscillent entre 5,7 mg/l et 9,6 mg/l. Le fort hydrodynamisme (BOKRETAOUI et BOUTOUILLI, 1989) et l'importante activité biologique (REFES, 1989 et HASSAM, 1991) que connaît la baie de BOU-ISMAIL, pourraient être une explication aux valeurs obtenues.

- Pour ce qui est de la matière en suspension, les fortes teneurs sont signalées en face de l'oued MAZAFRAN, mettant ainsi en évidence l'importance des apports en matériaux en suspension de cet oued. Par ailleurs, la répartition de la charge solide en suspension dans les eaux profondes de la baie de BOU-ISMAIL confirme le rôle des houles estivales de direction Nord Nord-Est dans l'étalement du sédiment sur le fond.

L'analyse binaire des paramètres physico-chimiques étudiés nous a permis en établissant le diagramme température - salinité, de montrer l'existence d'une seule masse d'eau caractérisée par des températures variables et élevées et des salinités importantes, dont les valeurs varient dans un intervalle restreint.

Concernant les diagrammes température-oxygène dissous et oxygène dissous - Matière en suspension, les distributions linéaires indiquent l'existence d'une corrélation significative entre chaque couple. Par contre, cette situation n'a pas été observée pour le diagramme matière en suspension - pH (pente presque nulle). Cela est certainement dû à l'effet tampon de l'eau de mer.

II - RESULTATS DE L'ANALYSE DE LA MATIERE SEDIMENTAIRE :

Les résultats des métaux lourds obtenus aussi bien dans les trois oueds que dans la partie orientale de la baie de BOU-ISMAIL, sont consignés dans les tableaux (25,26,27,28,29 et 30).

II - 1 - VARIATION SPATIALE DES METAUX LOURDS :

II - 1 - 1 - AU NIVEAU DES OUEDS :

1 - OUED BENI-MESSOUS :

Malgré l'importante variation de la salinité et du pH entre les deux dates de prélèvement, les métaux lourds analysés dans les sédiments superficiels de l'oued BENI-MESSOUS semblent avoir le même comportement. Nous constatons une diminution des concentrations de l'amont vers l'aval, qui pourrait être due au phénomène de dilution. En effet, MARTIN *et al.* (1976) ont montré que, dans les estuaires, la décroissance des concentrations au fur et à mesure que l'on s'approche de l'embouchure est due à plusieurs processus hydrodynamiques (dilution, dispersion, destruction et réactivité du polluant).

Toutefois, soulignons que le mercure, le cadmium et le manganèse au premier prélèvement et uniquement le cadmium au second ne suivent pas le schéma de la décroissance des teneurs de l'amont vers l'aval. L'augmentation des concentrations en ces métaux à l'embouchure pourrait s'expliquer comme suit :

- Pour le manganèse, la précipitation des oxydes et des hydroxydes de fer à l'interface eau douce - eau salée entraîne le dépôt de ce métal (phénomène de floculation). Ce dernier est essentiellement adsorbé sur ces complexes.

- Dans l'eau douce, le cadmium est généralement associé à des matières colloïdales et particulaires. Lorsqu'il atteint le milieu marin, ce métal subit une désorption des particules solubles et précipité au fond. Ce dépôt explique l'augmentation des teneurs en cadmium à l'embouchure.

- Pour le mercure, l'absence des valeurs dans certaines stations, est due au fait que le seuil de détection de l'appareil utilisé (PERKIN ELMER 2380) est plus grand que les concentrations en ce métal présentent dans les sédiments superficiels de ces stations.

L'analyse des métaux lourds dans les sédiments superficiels de l'oued BENI-MESSOUS, signale une contamination par le plomb et le cadmium, dont les valeurs obtenues sont supérieures à celle fixée comme normale par l'Agence du bassin (1989) (in pollution du RHONE, 1991) (tab.31). Cette contamination est certainement causée par les apports urbains et industriels sans oublier le déversement journalier d'importantes quantités de déchets par l'hôpital BENI-MESSOUS et l'apport atmosphérique concernant le métal volatil "le plomb".

Pour le mercure, le manganèse et le chrome, les teneurs enregistrées sont inférieures à la valeur normale (tab.31).

Concernant le zinc, l'élévation des concentrations au deuxième prélèvement indique qu'il y a eu un apport de ce métal dans l'oued.

2 - OUED NADOR :

Malgré l'inexistence d'importantes unités industrielles dans la région, l'analyse des métaux lourds dans les sédiments superficiels de l'oued NADOR révèle une forte contamination dans ce dernier.

Les valeurs obtenues pour le mercure sont assez importantes ; elles sont comprises entre 0,09 $\mu\text{g}/\text{g}$ et 1,14 $\mu\text{g}/\text{g}$ avec une moyenne de 0,80 $\mu\text{g}/\text{g}$. Les fortes teneurs (1,43 $\mu\text{g}/\text{g}$ et 1,44 $\mu\text{g}/\text{g}$) sont enregistrées respectivement dans les stations II et I caractérisées par un fond vaseux. HADZIDJA et al. (1985) ont montré que le mercure est principalement associé à la fraction fine (vase). La teneur la plus faible (0,09 $\mu\text{g}/\text{g}$) est signalée dans la station VI (la plus proche de l'embouchure). Hormis la valeur 1,36 $\mu\text{g}/\text{g}$ enregistrée dans la station V, nous constatons une diminution des concentrations en mercure de l'amont vers l'aval, causée probablement par le phénomène de dilution.

Dans l'estuaire de KRKA RIVER, MIKAC et al. (1989) ont noté que la décroissance des teneurs en mercure au fur et à mesure que l'on s'approche de l'embouchure, ne pourrait être due qu'au phénomène de dilution et que les fortes teneurs enregistrées dans les stations les plus en amont ne résultaient que d'un apport anthropique.

Pour le plomb, les teneurs enregistrées sont peu variables; elles sont comprises dans l'intervalle [51,07 - 77,75 $\mu\text{g}/\text{q}$] avec une moyenne de (65,51 $\mu\text{g}/\text{q}$). Le maximum (77,75 $\mu\text{g}/\text{q}$) est obtenu dans la station II, au niveau de laquelle débouche l'égout de la commune de NADOR. Le minimum (51,07 $\mu\text{g}/\text{q}$) est signalé dans la station IV. A l'exception de la valeur rencontrée dans la station I (la plus en amont), nous observons une diminution des concentrations en s'approchant de l'embouchure. Cette diminution pourrait être due soit au phénomène de dilution, soit à la salinité dont les valeurs augmentent de l'amont vers l'aval. En effet, DEGROOT et al. (1976) ont montré que la désorption du plomb du sédiment est facilitée par l'augmentation de la salinité.

Concernant le cadmium, les teneurs varient de 0,91 $\mu\text{g}/\text{q}$ à 10,02 $\mu\text{g}/\text{q}$ avec une moyenne de 24,96 $\mu\text{g}/\text{q}$. Les fortes teneurs (9,08 $\mu\text{g}/\text{q}$ et 10,02 $\mu\text{g}/\text{q}$) sont obtenues respectivement dans les stations I et III. Plus en aval, les concentrations sont inférieures à celles citées précédemment, mais restent appréciables. Ceci est certainement dû aux apports agricoles, sans oublier le déversement des eaux usées de la commune de CHENOUA PLAGE dans cette partie de l'oued.

Les teneurs en manganèse sont comprises dans la tranche de valeurs (238,58 - 413,83 $\mu\text{g}/\text{q}$). Le maximum est obtenu dans la station III, tandis que le minimum est signalé dans la station I (la plus en amont). Les fortes teneurs (411,83 $\mu\text{g}/\text{q}$ et 413,83 $\mu\text{g}/\text{q}$) sont enregistrées aussi bien dans un faciès vaseux (station II) que dans un faciès sableux (station III). De là, nous pourrions déduire que le manganèse ne montre aucune corrélation avec le faciès sédimentaire. BENOUD et MALLEM (1991) ont fait la même déduction concernant la distribution du manganèse dans la baie d'Alger.

Pour le chrome, les valeurs appartiennent à l'intervalle [14,19 - 35,75 $\mu\text{g}/\text{q}$] avec une moyenne de 21,46 $\mu\text{g}/\text{q}$. Les fortes teneurs (30,12 $\mu\text{g}/\text{q}$ et 35,75 $\mu\text{g}/\text{q}$) sont obtenues respectivement dans les stations I et II (les plus en amont), mettant ainsi en évidence l'influence de l'égout (présent au niveau de ces points de prélèvement) sur l'oued. La valeur la plus faible (14,19 $\mu\text{g}/\text{q}$) est signalée dans la station V.

Les concentrations en cuivre sont comprises entre 14,79 $\mu\text{g}/\text{q}$ et 47,29 $\mu\text{g}/\text{q}$ avec une moyenne de 25,23 $\mu\text{g}/\text{q}$. Les fortes teneurs sont enregistrées respectivement dans les stations I et II caractérisées par un fond vaseux. AMORE et al. (1983) ont noté l'élévation du taux de cuivre avec l'augmentation de la fraction fine. La valeur la plus faible est enregistrée dans la station V, caractérisée par un fond sableux.

Pour le zinc, les concentrations varient de 66,53 $\mu\text{g}/\text{q}$ à 146,28 $\mu\text{g}/\text{q}$ avec une moyenne de 118,97 $\mu\text{g}/\text{q}$. La valeur maximale est enregistrée dans la station III, tandis que la valeur minimale est signalée dans la station IV. La forte variation des teneurs en ce métal, nous laisse supposer l'existence d'une source localisée.

Ainsi, la contamination des sédiments superficiels de l'oued NADOR est marquée par les métaux non essentiels (mercure, plomb et cadmium), dont les teneurs signalées sont largement supérieures à celle fixée comme normale par l'agence du BASSIN (1988) (in pollution du RHONE; 1990) (tab.31).

Par contre pour les métaux essentiels (manganèse, chrome et cuivre), les valeurs obtenues sont inférieures à celle considérée comme normale (tab.31). La légère augmentation des teneurs enregistrées en zinc par rapport à la valeur normale n'est pas préoccupante.

3 - OUED MAZAFRAN :

Malgré l'importante surface drainée par cet oued, les teneurs enregistrées en mercure sont faibles ; elles sont comprises entre 0,03 $\mu\text{g}/\text{q}$ et 0,12 $\mu\text{g}/\text{q}$ avec une moyenne de 0,07 $\mu\text{g}/\text{q}$. Ces basses valeurs pourraient être dues, soit au phénomène d'alkylation privilégié dans les estuaires (PINEL et al., 1990), permettant ainsi le passage du mercure de sédiment vers l'atmosphère sous forme de diméthylmercure (JENSON et JERNELOV, 1969), soit de la forte alcalinité du milieu. FRENET - ROBIN et al. (1977) ont montré que la fixation du mercure sur les argiles diminue avec l'élévation du pH.

Pour le plomb, les concentrations obtenues appartiennent à l'intervalle [36,26 - 95,40 $\mu\text{g}/\text{q}$] avec une moyenne de 56,60 $\mu\text{g}/\text{q}$. Ces teneurs pourraient résulter d'un apport anthropique influencé par les conditions physico - chimiques régnant dans l'oued. En effet, dans un milieu alcalin la solubilité du plomb baisse ; il a tendance à former des complexes organiques stables se déposant au fond (O.M.S., 1979).

La valeur minimale (36,26 $\mu\text{g}/\text{q}$) enregistrée dans la station X pourrait être due à la nature du fond (vase-sableux). ARNOUX et al. (1980) ont noté que l'augmentation du plomb est beaucoup plus frappante dans un faciès vaseux.

Concernant le cadmium, les valeurs varient de 0,28 $\mu\text{g}/\text{q}$ à 8,07 $\mu\text{g}/\text{q}$ avec une moyenne de 3,12 $\mu\text{g}/\text{q}$. L'élévation de ces teneurs pourrait être expliquée, soit par un apport anthropique puisque la valeur maximale est enregistrée dans la station I (la plus en amont), soit par les valeurs de pH obtenues dans cet oued. COSSA et LASSUS (1989) ont noté qu'en eau douce et à pH supérieur à 8, le cadmium précipite sous forme de carbonates.

Pour le manganèse et à l'exception de la forte teneur trouvée dans la station IX, les concentrations sont peu variables. Elles sont comprises dans la tranche des valeurs (226,92 - 281,48 $\mu\text{g}/\text{q}$) avec une moyenne de 269,91 $\mu\text{g}/\text{q}$. L'uniformité de ces teneurs nous laisse supposer qu'il n'existe pas de source localisée.

Les teneurs en chrome sont comprises dans l'intervalle [13,97-30,14 $\mu\text{g}/\text{q}$] avec une moyenne de 24,27 $\mu\text{g}/\text{q}$. Les fortes concentrations (28,48 $\mu\text{g}/\text{q}$ et 30,14 $\mu\text{g}/\text{q}$) sont enregistrées respectivement dans les stations IV et VI, tandis que la faible concentration est signalée dans la station X.

Pour le cuivre, les teneurs enregistrées appartiennent à l'intervalle [14,79 - 41,42 µg/g] avec une moyenne de 25,17 µg/g. La valeur maximale (41,42 µg/g) est obtenue dans la station IV caractérisée par un fond vaseux, tandis que la valeur minimale (14,79 µg/g) est signalée dans la station X dont la nature du fond est de la vase-sableuse. AMORE et al. (1983) ont noté l'élévation du cuivre avec l'augmentation de la fraction vaseuse.

Les concentrations en zinc varient de 55,91 µg/g à 174,66 µg/g avec une moyenne de 100,2 µg/g. Le maximum est obtenu dans la station VI, par contre le minimum est signalé dans la station V. La forte variation des teneurs obtenues en ce métal, nous laisse supposer que dans cette partie terminale de l'oued, il existe une source localisée.

Ainsi, l'analyse des métaux lourds dans les sédiments superficiels de l'oued MAZAFRAN, révèle une contamination du bassin par le plomb et le cadmium, dont les teneurs enregistrées sont supérieures à celle fixée comme normale par l'Agence du BASSIN (1988) (in pollution du RHONE, 1990) (tab. 31).

Par contre pour le mercure, le manganèse et le chrome, les valeurs trouvées sont inférieures à la teneur adoptée comme normale. L'élévation des teneurs en cuivre et en zinc dans certaines stations évoque l'existence d'un apport locale de ces deux oligo-éléments dans l'oued.

Pour avoir une vision globale et exacte sur l'apport des polluants dans cet oued (considéré comme le principal tributaire de la baie de BOU-ISMAIL) et expliquer la forte variation des concentrations en certains métaux étudiés (plomb, chrome et cadmium) entre les deux rives de l'oued, il serait intéressant qu'un prélèvement soit effectué en période de crue, en examinant tous les facteurs susceptibles de modifier la concentration réelle d'un métal.

4 - DISCUSSION ET CONCLUSION :

En raison de l'essor urbain et industriel que connaît actuellement l'oued MAZAFRAN et d'après les teneurs enregistrées dans cette étude, mettant en évidence l'importante contamination des sédiments superficiels de l'oued NADOR (tab.32), il nous est difficile de classer les oueds en fonction de l'ampleur des concentrations trouvées, puisque les prélèvements n'ont pas été effectués en même période. Néanmoins, le point commun que nous pourrions relever est la contamination des sédiments par les métaux toxiques (mercure, plomb et cadmium) au niveau des trois oueds (fig. 26, 27 et 28), mettant en évidence l'influence du noyau agricole et domestique dans la région.

Pour l'oued MAZAFRAN, les faibles teneurs obtenues par rapport à celles enregistrées dans les deux autres oueds, peuvent être la conséquence de la formation du coin salée et du cordon littoral en période d'étiage, ce qui induit des effets physico-chimiques sur la matière en suspension et perturbe la détermination des valeurs exactes des métaux lourds dans les sédiments.

L'apport anthropique semble gouverner le devenir de la pollution au niveau des deux autres oueds (NADOR et BENI-MESSOUS).

D'une manière générale, l'analyse des métaux lourds dans les sédiments superficiels des trois oueds débouchant dans la baie de BOU-ISMAIL a permis d'une part, de conclure que la chimie des métaux en traces n'obéit pas à une loi unique régissant leur comportement d'une façon identique, d'autre part que les concentrations des éléments métalliques dépendent essentiellement : de la nature des dépôts, du régime hydrologique et météorologique, de l'échange entre la phase dissoute et particulaire, de la morphologie de l'oued et enfin du facteur anthropique qui occupe désormais une place importante et pose le délicat problème de l'estimation de la proportion des métaux présents naturellement au fond.

Ce travail ne constitue qu'une approche globale, préliminaire des problèmes de la pollution qui surviennent dans les oueds. Les teneurs en métaux lourds signalées n'ont qu'une valeur relative. Pour cela, il est nécessaire d'effectuer d'autres études, en différentes saisons de l'année, en augmentant la gamme des métaux à étudier.

Les quelques propositions suivantes, éclairciraient la complexité du comportement des métaux lourds dans les eaux douces :

- Dosage des métaux lourds aussi bien dans les sédiments que dans l'eau interstitielle afin d'élucider les phénomènes de ressolubilisation et de précipitation.

- Etude de la matière en suspension, qui est un bon agent vecteur de nombreux éléments métalliques.

- Faire parallèlement une étude bactérienne, car certains auteurs [JOLY et CLUZEL (1975) , JOLY et al. (1976) et (1979) ; in GAUTHIER et al. (1981)] ont montré que dans les eaux douces, le niveau de contamination des sédiments est en relation avec la proportion de souches résistantes aux métaux lourds.

- Faire une étude granulométrique, afin de déterminer l'affinité d'un métal avec les fractions d'un sédiment.

Enfin mesurer tous les paramètres physico-chimique susceptibles de modifier la concentration réelle d'un métal.

II. - 1 - 2. - AU NIVEAU DE LA PARTIE ORIENTALE DE LA BAIE DE :

BOU-ISMAIL :

1 - MERCURE :

Les teneurs en mercure varient dans l'intervalle [0,02 - 1,93 $\mu\text{g}/\text{g}$] avec une moyenne de 0,36 $\mu\text{g}/\text{g}$.

La valeur minimale est enregistrée dans la radiale BC (en face de l'oued BENI-MESSOUS) à une profondeur de 10 mètres, tandis que la valeur maximale est signalée dans la radiale F (en face de FOUKA MARINE) à 15 mètres de profondeur.

Les faibles concentrations obtenues dans les radiales situées en face de l'oued BENI-MESSOUS pourraient être dues au phénomène d'hydrodynamisme. En effet, BOKRETAOUI et BOUTOUJILI (1989) ont montré que la baie d'EL DJAMILA est soumise à un fort hydrodynamisme, ce qui ne permet pas le dépôt de particules fines. MARTINCIC et al. (1989) ont noté que le mercure est essentiellement associé à la fraction fine.

Malgré les faibles teneurs enregistrées dans l'oued MAZAFRAN, ce dernier pourrait être à l'origine des fortes teneurs en mercure obtenues dans les radiales localisées en face et à l'ouest de cet oued. C'est à dire n'ayant pas pu se déposer dans l'oued et à son embouchure, les particules sur lesquelles est adsorbé le mercure sont évacuées en mer. SMITH et al. (1973) (in MARTIN et al. 1976) ont observé le même phénomène dans l'estuaire de la TAMISE (Angleterre).

La forte variation des valeurs de ce métal peut être en relation avec les teneurs obtenues en oxygène dissous. JERNELOV (1972) a montré que l'échange de mercure entre l'eau et le sédiment (adsorption ou désorption) est en fonction du taux d'oxygène présent dans le sédiment. En effet, lorsque ce dernier est riche en oxygène, le mercure passe du sédiment vers la colonne d'eau par le phénomène d'oxydation et dans le cas contraire, ce métal précipite au fond.

2 - PLOMB :

Les concentrations en plomb sont comprises entre 13,63 $\mu\text{g/g}$ et 34,38 $\mu\text{g/g}$ avec une moyenne de 21,20 $\mu\text{g/g}$.

Le minimum est signalé dans la radiale F (en face de FOUKA MARINE) à une profondeur de 10 mètres, tandis que le maximum est obtenu dans la radiale MC (en face de l'oued MAZAFRAN) à une profondeur de 5 mètres.

Les fortes teneurs (de 29,46 $\mu\text{g/g}$ à 34,38 $\mu\text{g/g}$) sont enregistrées dans la radiale MC, située en face de l'oued MAZAFRAN. Par contre, les faibles concentrations (de 13,63 $\mu\text{g/g}$ à 15,62 $\mu\text{g/g}$) sont obtenues à l'Ouest de ce même oued.

Au niveau de la baie d'EL DJAMILA, les valeurs trouvées dans les radiales localisées en face de l'oued BENI-MESSOUS sont moyennement élevées. Elles sont inférieures à celles enregistrées en face de l'oued MAZAFRAN, plus précisément à la radiale MC et supérieures à celles obtenues à l'Ouest de cet oued.

La forte variation de ce métal pourrait être en relation avec les apports des oueds, qui jalonnent la baie de BOU-ISMAIL. Notons que, l'analyse des sédiments superficiels de ces oueds (MAZAFRAN, NADOR et BENI-MESSOUS) révèle une forte contamination par le plomb.

3 - CADMIUM :

Les concentrations en cadmium varient de 0,05 à 4,15 $\mu\text{g/g}$ avec une moyenne de 0,47 $\mu\text{g/g}$.

Les plus basses valeurs (0,05 $\mu\text{g}/\text{q}$ et 0,09 $\mu\text{g}/\text{q}$) sont signalées respectivement dans la radiale MW à une profondeur de 10 mètres et la radiale ME à une profondeur de 15 mètres.

Les plus fortes valeurs (1,21 $\mu\text{g}/\text{q}$ et 4,15 $\mu\text{g}/\text{q}$) sont enregistrées respectivement dans la radiale BC (en face de l'oued BENI-MESSOUS) à une profondeur de 10 mètres et la radiale F (en face de FOUKA MARINE) à une profondeur de 15 mètres.

La forte variation des teneurs obtenues en cadmium est due à la diversité des sources de pollution, dont la plus importante est l'oued MAZAFRAN qui se déverse entre DOUAOUA MARINE à l'Ouest, le complexe touristique de ZERALDA à l'Est et l'oued BENI-MESSOUS qui débouche dans la baie d'EL DJAMILA. Rappelons que, la valeur moyenne de cadmium signalée dans ces oueds est de 3,12 $\mu\text{g}/\text{q}$ pour le premier (oued MAZAFRAN) et est de 2,23 $\mu\text{g}/\text{q}$ pour le second (oued BENI-MESSOUS).

L'activité que connaît le port de SIDI-FREDJ d'une part et le rejet direct des eaux usées d'autre part contribuent également à l'enrichissement du milieu marin en métaux lourds (entre autres le cadmium). BOUTIER et CHIFFOLEAU (1986) (in COSSA, et al., 1989) font état d'une concentration de 600 ng/l dans la totalité des eaux non traitées en FRANCE.

Selon le PNUE/FAO/OMS (1989) la concentration en cadmium dans la couche superficielle d'un sédiment ne dépend pas uniquement des apports anthropiques, mais aussi d'autres facteurs tels que : la teneur en carbone organique, les caractères minéralogiques, la taille des grains et la vitesse de sédimentation.

4 - MANGANESE :

Les valeurs de manganèse appartiennent à l'intervalle [455,70 - 516,70 $\mu\text{g}/\text{q}$] avec une moyenne de 489,82 $\mu\text{g}/\text{q}$.

La plus faible teneur est obtenue dans la radiale BC (en face de l'oued de BENI-MESSOUS) à une profondeur de 15 mètres, tandis que la plus forte teneur est signalée dans la radiale F (en face de FOUKA MARINE) à une profondeur de 15 mètres.

Les teneurs en manganèse obtenues dans la partie orientale de la baie de BOU-ISMAIL sont appréciables. Elles peuvent être expliquées d'une part, par les apports d'origine agricole et urbaine déversés directement dans la zone contiguë ou par l'intermédiaire des oueds, d'autre part par la nature du sol rouge de la côte de cette baie. DUCHAUFOR (1976) a montré qu'un sol rouge renferme un pourcentage important en manganèse (Mn^{2+}) et en calcium (Ca^{2+}). Notons que, CHESTER et STONNER (1975) ont attribué les fortes teneurs en ce métal au phénomène de floculation qui se produit dans la zone de mélange eau douce-eau salée.

Le manganèse semble présenter une répartition uniforme. BENOUD et MALLEM (1991) ont observé le même comportement de ce métal dans la baie d'ALGER, malgré la nette différence entre les teneurs enregistrées par ces auteurs (dont le maximum est de 370,61 $\mu\text{g}/\text{q}$) et celles obtenues dans la présente étude.

5 - CHROME :

Les valeurs de chrome varient de 68,83 $\mu\text{g}/\text{g}$ à 74,92 $\mu\text{g}/\text{g}$ avec une moyenne de 72,40 $\mu\text{g}/\text{g}$.

La plus faible teneur est située dans la radiale BC (en face de l'oued BENI-MESSOUS) à une profondeur de 5 mètres et la plus forte teneur est localisée dans la radiale D (en face de DOUAOUA MARINE) à une profondeur de 20 mètres.

Dans cette partie de la baie de BOU-ISMAIL, le chrome ne présente aucune affinité avec le faciès sédimentaire, puisque les valeurs obtenues dans le faciès sableux et celles signalées dans le faciès hétérocène (vase-sableux ou sable-vaseux) sont très peu variables.

Le chrome montre une distribution uniforme, semblable à celle du manganèse.

6 - CUIVRE :

Les teneurs en cuivre sont comprises dans la tranche de valeurs (8,90 - 70,44 $\mu\text{g}/\text{g}$) avec une moyenne de 23,77 $\mu\text{g}/\text{g}$.

La plus basse valeur est enregistrée dans la radiale BC (en face de l'oued BENI-MESSOUS) à une profondeur de 10 mètres. Tandis que la plus forte valeur est signalée dans la radiale D (en face de DOUAOUA MARINE) à une profondeur de 15 mètres.

Les valeurs les plus fréquentes (62%) appartiennent à l'intervalle [20,14 - 25,12 $\mu\text{g}/\text{g}$].

Dans la baie d'EL DJAMILA et à l'exception des valeurs 24,18 $\mu\text{g}/\text{g}$ et 24,46 $\mu\text{g}/\text{g}$ enregistrées respectivement dans la radiale BC à une profondeur de 20 mètres et la radiale BE à une profondeur de 15 mètres, le reste des valeurs est faible par rapport à celles signalées dans les radiales situées en face et à l'Ouest de l'oued MAZAFRAN. Ceci pourrait être dû au phénomène d'hydrodynamisme, qui ne permet pas le dépôt des particules fines dans la baie d'EL DJAMILA (BOKRETAOUI et BOUTOUILI, 1989). SPAN *et al.* (1986) ont montré que l'association du cuivre avec la matière organique de la fraction fine est marquée quelque soit son origine.

Les fortes teneurs (70,44 $\mu\text{g}/\text{g}$ et 37,89 $\mu\text{g}/\text{g}$) obtenues dans la radiale F (en face de FOUKA MARINE), ne pourraient être dues qu'à un apport anthropique. Elles sont comparables à celles signalées par BENOUD et MALLEM (1991) dans les stations les plus proches du port d'ALGER.

7 - ZINC :

Les concentrations en zinc sont comprises dans l'intervalle [39,00 - 141,00 $\mu\text{g}/\text{g}$] avec une moyenne de 90,79 $\mu\text{g}/\text{g}$.

Le minimum est situé dans la radiale BC (en face de l'oued BENI-MESSOUS) à une profondeur de 10 mètres, par contre le maximum est localisé dans la radiale D (en face de DOUAÛDA MARINE) à une profondeur de 15 mètres.

Les fortes teneurs allant de 102,5 µg/g à 141,00 µg/g sont enregistrées dans les radiales situées à l'Ouest de l'oued MAZAFRAN ; elle peuvent être dues :

- Soit à un apport anthropique occasionné par l'oued MAZAFRAN (qui draine principalement l'Atlas de BLIDA et le versant septentrional du bassin de MEDEA) et favorisé par la direction Nord Nord-Est des courants en période estivale.

- Soit d'un apport naturel favorisé par l'abondance de cette région en particules biogènes (BOKRETAOUI et BOUTOUILI, 1989), ce qui induit l'enrichissement de la zone en métaux lourds (en particulier le zinc). FOWLER (1977) a noté de très fortes teneurs en zinc dans les pelotes fécales.

8 - DISCUSSION :

La distribution des sept (07) métaux en traces (zinc, cuivre, chrome, manganèse, cadmium, plomb et mercure) dans les sédiments superficiels de la partie orientale de la baie de BOU-ISMAIL, révèle une variabilité des concentrations obtenues et une irrégularité de leur répartition.

En effet, les fortes teneurs en mercure et en plomb (éléments métalliques volatils et très toxiques) sont enregistrées en face de l'oued MAZAFRAN, mettant ainsi en évidence l'importance des apports de ce cours d'eau. Ce dernier draine principalement l'Atlas de BLIDA et le versant septentrional du bassin de MEDEA.

Concernant le cadmium, la forte variation des teneurs obtenues peuvent être liées d'une part, à la diversité des sources de pollution, d'autre part à la variabilité naturelle de ce métal (DESSAINT, 1987). Cela a été également constaté par AOUAMEUR (1990), BENOUD et MALLEM (1991) dans la baie d'ALGER.

Pour le manganèse et le chrome, les concentrations rencontrées sont importantes. Elles sont dues aux apports continentaux déversés directement dans la mer ou indirectement par l'intermédiaire des oueds. L'effet de floculation est très important pour le manganèse dans les zones de mélange (précipitation rapide des particules à l'interface eau douce-eau salée).

Les fortes concentrations en cuivre et en zinc signalées à l'Ouest de l'oued MAZAFRAN peuvent être dues, soit à un apport anthropique causé principalement par cet oued et favorisé par la direction des courants (Nord Nord-Est) en période estivale, soit à un apport naturel facilité par l'abondance de cette zone en particules biogènes (BOKRETAOUI et BOUTOUILI, 1989).

Toutefois, soulignons que les concentrations enregistrées dans la baie d'EL DJAMILIA, en face de l'oued BENI-MESSOUS, sont faibles (pour la plupart des métaux étudiés) par rapport à celles signalées dans le reste de la zone. Le fort hydrodynamisme, la nature du fond (sable) et sa position même dans la baie de BOU-ISMAIL pourraient être une explication à ces teneurs.

II - 2 - AFFINITE ET CORRELATION DES ELEMENTS METALLIQUES :

Afin d'avoir une étude plus ou moins complète, une application de test statique est faite dont le but est de voir le comportement des différents éléments métalliques étudiés et d'estimer les sources probables des polluants dans les différents sites de notre étude.

Ainsi le test X^2 (Khi^2) s'avère nécessaire (SCHWARTZ, 1969) en utilisant une corrélation linéaire (méthode de régression des moindres carrés). Signalons que, ce test ne peut être appliqué que pour un effectif atteignant ou dépassant 5 données. Dans le cas où le risque d'erreur (α) est supérieur à 5%, la différence n'est pas significative; dans le cas contraire c'est à dire, le risque est inférieur ou égale à 5%, la différence est significative et (α) mesurera sont degré de signification.

Sur les tableaux 33, 34, 35 et 36 nous représentons les résultats obtenus pour chaque site de prélèvement.

L'étude de la corrélation entre éléments laisse apparaître un comportement variable d'un site à l'autre. En effet, le comportement que présente le Zn vis à vis du Pb et Cu diffère suivant chaque site de prélèvement.

Pour le couple Zn-Cu, il est caractérisé par des coefficients de corrélation variables, présentant des écarts importants pour chaque site. Au niveau de l'oued BENI-MESSOUS, le couple Zn-Cu présente une corrélation significative ($r = 0,87$) (fig.29). Celle-ci est observée aussi au niveau des sédiments superficiels de la baie ($r = 0,72$). Au niveau de l'oued Nador et MAZAFRAN, l'absence de corrélation entre le Zn et le Cu est constatée. Elle est caractérisée par des coefficients de corrélation faibles respectivement $-0,03$ et $0,22$. Pour le couple Pb-Zn, la corrélation est particulièrement significative ainsi cette affinité est observée au niveau de l'oued MAZAFRAN et NADOR, avec des coefficients de corrélation respectives $0,87$ et $0,47$. Au niveau de la baie le couple Pb-Zn montre une corrélation significative et négative ($r = -0,44$) (fig.30) vérifiée par le test du X^2 , contrairement, dans l'oued BENI-MESSOUS, l'affinité entre le Pb et Zn ($r = 0,11$) est absente.

A l'exception du couple Cd-Pb, où nous observons une corrélation moyenne uniquement dans l'oued MAZAFRAN ($r = 0,49$) (fig.31), l'absence de corrélation entre éléments marqués, caractérise un second groupe de couple : Cu-Cd, Cu-Mn et Mn-Cr, présentant de mauvaises corrélations. La figure 32 représente un exemple de corrélation médiocre (Mn-Cu) caractérisée par un nuage de points dispersés.

Ainsi, dans notre étude, en précisant qu'elle a été réalisée sur vingt-un (21) échantillons répartis sur la partie orientale de la baie de BOU-ISMAIL, et les oueds déjà cités avec un nombre d'échantillons quelque fois très réduits, le couple le plus représentatif donnant des coefficients de corrélation significatifs est le couple Pb-Zn.

Au niveau des sédiments marin, les concentrations du Pb et du Zn évoluent en sens opposé, en allant de l'Est vers l'Ouest. Ceci est dû à la grande concentration en Zn entre MAZAFRAN Ouest et DOUAUDA marine par rapport au Pb qui ne semble pas provenir de la côte, éventuellement de l'oued MAZAFRAN. Ainsi le Zn et le Pb proviendraient de sources différentes, laissant apparaître une corrélation négative, la même situation a été observé, par KHETTIB et REZZOUG (1991) dans les sédiments oranais.

En effet, dans une même zone, deux métaux offrant une bonne corrélation sont des métaux qui évoluent de la même manière. Dans une certaine mesure, l'évolution des teneurs d'un élément donné en fonction d'un autre métal peut nous renseigner sur la source de pollution.

Ainsi la bonne corrélation positive généralement trouvée pour le couple Pb-Zn indique que ces deux métaux sont gouvernés plutôt par un processus géochimique naturel (source naturel) qu'à un apport dû à l'activité industrielle ou humaine en générale (Pollution anthropique).

II - 3 - COMPARAISON DES TENEURS EN METAUX LOURDS OBTENUES DANS LES

SITES ETUDIES AVEC CELLES SIGNALEES DANS D'AUTRES REGIONS

DE LA MEDITERRANEE :

Afin de donner une approche aux teneurs en métaux lourds obtenues dans les trois oueds et la partie orientale de la baie de BOU-ISMAIL, nous avons procédé à une comparaison avec les données trouvées par d'autres auteurs.

- AU NIVEAU DES OUEDS :

- Les valeurs de mercure enregistrées dans les trois oueds sont largement inférieures à celles signalées dans la rivière de FIORA (Italie).

- Pour le plomb, les teneurs obtenues sont comparables à celles trouvées dans le fleuve d'AGLY (FRANCE) et la lagune d'ARCACHAN (FRANCE), supérieures à celles rencontrées dans l'estuaire de la GIRONDE (FRANCE) et la rivière de FIORA (ITALIE), mais inférieures à celles signalées à l'embouchure de l'ADOUR (FRANCE).

- Les concentrations en cadmium sont importantes. Elles sont très élevées par rapport à celles enregistrées dans le fleuve d'AGLY et la rivière de FIORA.

- Concernant le manganèse, les valeurs obtenues sont largement inférieures à celles signalées dans les autres régions de la Méditerranée.

- Pour le cuivre, les teneurs trouvées sont comparables à celles rencontrées dans l'estuaire de la GIRONDE et inférieures à celles signalées dans le fleuve d'AGLY, la rivière de FIORA, la lagune d'ARCACHAN et l'embouchure de l'ADOUR.

Enfin, pour le zinc les concentrations enregistrées sont inférieures à celles trouvées dans les autres sites de la Méditerranée (tab.37).

Delà, nous pouvons conclure que les valeurs rencontrées dans les sédiments superficiels des trois oueds étudiés sont comparables à celles signalées dans les autres régions de la Méditerranée, exception faite pour les teneurs enregistrées en cadmium. Pour ce dernier, il faut identifier la source et limiter le déversement de ce métal et de ses composés dans les cours d'eau en question.

- AU NIVEAU DE LA PARTIE ORIENTALE DE LA BAIE DE BOU-ISMAIL :

En se basant sur les données regroupées dans le tableau 38. Concernant différentes régions du littoral algérien, on peut conclure que seuls les teneurs en cadmium, manganèse, chrome et cuivre sont préoccupantes. Elles sont comparables à celles signalées dans les zones, où les sources de pollution par les métaux lourds sont importantes et nombreuses (baie d'ALGER et la côte occidentale algérienne).

Comparativement à d'autres régions de la Méditerranée, les valeurs trouvées dans la partie orientale de la baie de BOU-ISMAIL se rapprochent de celles enregistrées dans les sites cités dans le tableau 39.

III - RESULTATS DE L'ANALYSE DE LA MATIERE BIOLOGIQUE :

Les tableaux 40,41 et 42 regroupent les résultats obtenus au niveau de chaque station. Dans chaque tableau sont reportés les données suivantes :

- * Date de prélèvement.
- * Taille moyenne en centimètre avec l'écart type noté SD.
- * Effectif traité.
- * Poids moyenne en gramme, calculé à partir du rapport poids frais sur l'effectif.
- * Rapport poids frais sur poids sec, noté PF/PS.
- * La concentration du métal, exprimée en $\mu\text{g}/\text{g}$ de poids sec, notée $\mu\text{g}/\text{g}$ PS.
- * La concentration du métal, exprimée en $\mu\text{g}/\text{g}$ de poids frais, notée $\mu\text{g}/\text{g}$ PF et déterminée par le rapport :

$$\mu\text{g}/\text{g} \text{ PF} = \frac{\mu\text{g}/\text{g} - \text{PS}}{\text{PF/PS}}$$

Pour l'interprétation, ces résultats seront comparés à ceux trouvés dans la littérature ; ils seront donnés sous forme de moyenne.

III - 1 - EVALUATION DES TENEURS EN METAUX LOURDS ETUDIES :

1 - LE MERCURE :

STATION : BORDJ EL KIFFAN

Les analyses ont été effectuées sur 148 individus de l'espèce Mytilus galloprovincialis, dont la taille varie de 3cm à 5,35cm.

La valeur moyenne des concentrations en mercure enregistrées dans les moules prélevées dans la station de BORDJ EL KIFFAN est de :

0,51	$\mu\text{g}/\text{g}$ PS
0,046	$\mu\text{g}/\text{g}$ PF

Ces teneurs sont inférieures à celles enregistrées par ABDELOUAHAB et NACEUR (1985), dont la moyenne est de 0,59 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS et supérieures à celles signalées par MEDINA et al. (1986) à CULLERA avec une moyenne de 0,331 PS.

STATION 2 : GOURAYA

Les analyses ont porté sur un total de 77 individus de l'espèce Perna perna dominante de cette zone et dont la taille varie de 2,7 cm à 7,3cm.

La valeur moyenne de mercure est de :

0,175	µg/g PS
0,029	µg/g PF

Ces faibles teneurs témoignent l'inexistence de source de pollution dans la région. Elles sont inférieures à celles signalées dans les ILOTS SANDJA, considérés comme zone de référence par ASSO (1982) et ABDELOUAHAB et NACEUR (1985) avec des moyennes respectives de 0,226 µg/g PS et 0,85 µg/g PS.

STATION 3 : LAC MELLAH

L'ensemble des analyses a porté sur un total de 55 individus dont la taille est comprise entre 4,5cm et 5,9cm.

La valeur moyenne des concentrations en mercure obtenues pour Mytilus galloprovincialis est de :

0,52	µg/g PS
0,067	µg/g PF

La vocation agricole de la région et le faible échange du lac avec la mer au moment de prélèvement des moules, peuvent être l'origine de ces fortes teneurs. Ces dernières restent dans le même ordre que celles enregistrées dans la station de BORDJ EL KIFFAN.

Comparativement à d'autres régions de la Méditerranée, les valeurs obtenues sont inférieures à celles données par CATSIKI et al. (1986) dans l'Etang de BERRE avec une moyenne de 0,630 µg/g PS.

En conclusion, les stations de Lac MELLAH et de BORDJ EL KIFFAN mettent l'accent sur le danger de la contamination par le mercure, car les concentrations enregistrées sont supérieures à celles admises comme normales (0,09 - 0,27 µg/g PS) par plusieurs pays (I.R.T.P.C. , 1979).

Pour la station de BORDJ EL KIFFAN, les fortes teneurs signalées peuvent provenir des apports fluviaux (Oued d'El-HARRACH et d'EL-HAMIZ) et de la courantologie locale.

En Méditerranée, il est rare de trouver des teneurs en mercure aussi basses que celles obtenues dans la station de GOURAYA.

2 - LE PLOMB :

STATION 1 : BORDJ EL KIFFAN

La teneur moyenne obtenue dans cette station est de :

14,95	µg/g PS
1,38	µg/g PF

L'utilisation du plomb tétraéthyle et tétraméthyle comme produit antidétonnant dans l'essence d'une part, et l'importante circulation routière que connaît cette zone d'autre part, peuvent être à l'origine de ces fortes valeurs. Ces dernières sont largement supérieures à celles signalées dans les différentes régions de la méditerranée (tab.43).

STATION 2 : GOURAYA

Les faibles teneurs obtenues dans cette station sont représentées par une moyenne de :

0,88	µg/g PS
0,15	µg/g PF

Par rapport à d'autres régions du littoral algérien, ces valeurs sont inférieures à celles enregistrées par HABAD *et al.* (1990) au cap DJINET avec une moyenne de 3,59 µg/g PS et supérieures à celles données par BOUTOUCHENT (1988) dans les ILOTS SANDJA dont la moyenne est de 0,63 µg/g PS (tab.44).

STATION 3 : LAC MELLAH

La valeur moyenne obtenue dans les moules prélevées dans cette station est de :

1,075	µg/g PS
0,14	µg/g PF

Ces teneurs sont inférieures à celles enregistrées par BOUTOUCHENT (1988) dont la moyenne est de 4,63 µg/g PS et négligeables à celles signalées dans la station de BORDJ EL KIFFAN.

Comparativement à d'autres régions de la méditerranée, ces valeurs sont inférieures à celles signalées par CATSIKI *et al.* (1986) dans d'Etang de BERRE avec une moyenne de 5,1 µg/g PS.

Ainsi, les fortes teneurs en plomb obtenues dans la station de BORDJ EL KIFFAN montrent la nette influence des noyaux industriels et urbains de la région. Pour les deux autres stations (GOURAYA et lac MELLAH), les valeurs enregistrées sont quasi-normales ; elles sont largement inférieures à la valeur normale 0,70 µg/g PF, adoptée par l'Italie (I.R.P.T.C. , 1979); (tab.45).

3 - LE CADMIUM :

STATION 1 : BORDJ EL KIFFAN

La valeur moyenne des concentrations en cadmium obtenues pour l'espèce Mytilus galloprovincialis est de :

1,96	µg/g PS
0,18	µg/g PF

Ces teneurs sont 4 fois plus fortes que celles données par ABDELOUAHAB et NACEUR (1985), dont le moyenne est de 0,42 µg/g PS.

Par rapport à d'autres région de la Méditerranée, ces valeurs sont similaires à celles données par VOUTSINOÛ et al. (1982) dans le Golfe de SARONIKOS avec une moyenne de 0,18 µg/g PF, inférieures à celles données par TUNCER et al. (1982) à URLA dont la moyenne est de 0,306 µg/g PF et supérieures à celles signalées par MEDINA et al. (1986) à CULLERA avec une moyenne de 0,839 µg/g PS.

Malgré leur importance, ces valeurs restent inférieures à celles enregistrées dans certains ports de la Méditerranée.

* 3 µg/g PS dans le port de MARSEILLE (FOWLER et AREGIONI, 1979)

* 2,8 µg/g PS dans le port de TOULON (FOWLER et AREGIONI, 1979).

* 0,3 µg/g PF dans le port d'IZMIR (TUNCER et UYSAL, 1982).

STATION 2 : GOURAYA

Malgré l'inexistence de source de pollution dans la région, la teneur moyenne en cadmium obtenue est appréciable, elle est de :

1,14	µg/g PS
0,19	µg/g PF

Ces teneurs sont largement supérieures à celles enregistrées par ABDELOUAHAB et NACEUR (1985) dans les ILOTS SANDJA avec une moyenne de 0,47 µg/g PS et à celles de BOUTOUCHENT (1988) signalées à CHENOUA avec une moyenne de 0,57 µg/g PS, mais inférieures à celles obtenues par HABAD et al. (1990) au cap DJINET dont la moyenne est de 1,84 µg/g PS.

STATION : LAC MELLAH

La valeur moyenne des concentrations en cadmium obtenue pour Mytilus galloprovincialis est de :

1,81	µg/g PS
0,23	µg/g PF

Les teneurs sont 3 fois plus importantes que celles enregistrées par BOUTOUCHENT (1988) avec une moyenne de 0,57 µg/g PS. Elles peuvent être dues à la diminution de la salinité dans le lac qui active le métabolisme de la moule, d'où augmentation de la vitesse de la filtration d'eau (D'après PHILLIPS, 1976 ; in ASSO, 1982). Pour confirmer cette hypothèse, des prélèvements d'eau ont été effectués en même temps que les moules, pour mesurer les paramètres physico-chimiques.

La valeur de la salinité mentionnée dans le tableau 46 regroupant les résultats des paramètres physico-chimiques au niveau de la station 37, indique une diminution de la salinité.

En conclusion, les teneurs en cadmium sont préoccupantes dans les trois sites étudiés ; elles dépassent la norme (1µg/g PS) fixée par les U.S.A (I.R.P.T.C., 1983) (tab. n°.45). Les fortes teneurs enregistrées dans la station de GOURAYA, ne peuvent résulter d'un problème analytique puisqu'elles sont obtenues par un contrôle simultané avec les échantillons standards distribués par l'A.I.E.A.. Mais, il se pourrait que nous ayons eu une contamination durant le traitement de ces moules.

4 - LE MANGANESE :

STATION 1 : BORDJ EL KIFFAN

La valeur moyenne des concentrations en manganèse enregistrées dans les moules prélevées dans cette station est de :

17,24	µg/g PS
1,58	µg/g PF

Ces fortes teneurs peuvent provenir des apports fluviaux. En effet, dans leurs études BENOUD et MALLEM (1991) ont montré que les concentrations les plus élevées en manganèse sont obtenues dans les sédiments superficiels de cette zone. Ces auteurs attribuent les fortes concentrations en ce métal aux apports de l'oued EL-HAMIZ.

STATION 2 : GOURAYA

Les teneurs en manganèse obtenues dans cette station sont représentées par une moyenne de :

12,67	µg/g PS
2,08	µg/g PF

Ces teneurs sont légèrement supérieures à celles enregistrées par ASSO (1982) dans trois localités du littoral algérien (CHENOUA, ILOTS SANDJA et le port d'ALGER) avec des teneurs respectives de : 8,3 µg/g PS, 7,4 µg/g PS et 8,29 µg/g PS.

STATION 3 : LAC MELLAH

Les fortes teneurs en manganèse obtenues dans cette lacune sont représentées par une moyenne de :

66,79	µg/g PS
8,57	µg/g PF

Ces fortes valeurs ne peuvent résulter d'une contamination au moment de l'analyse, puisqu'une intercalibration a été faite parallèlement sur des échantillons de référence MA(F) et TUNA (350) distribués par le laboratoire MESL de l'A.I.E.A et qui ont donné des valeurs comprises dans l'intervalle de confiance (tab.18).

Malgré l'incertitude de ces valeurs, nous avons essayé de les expliquer par les phénomènes locaux suivants :

- Phénomène chimique : si on tient compte de la valeur du pH (7,75) mesurée dans cette station et sachant que le manganèse se dissout en milieu réducteur et se dépose en milieu alcalin, nous pouvons supposer que ces fortes teneurs sont dues au processus de remobilisation à partir du sédiment, vu que la profondeur à cette station est de 0,70m et que la teneur de la matière en suspension mesurée est importante, équivalente à 31 mg/l (tab.46).

- Phénomène hydrologique : l'accumulation du manganèse par les moules prélevées dans ce lac, peut être influencée par l'apport des différents oueds qui le jalonnent et qui lessivent les terres agricoles entourant cette lacune. Dans le même contexte, CATSIKI et al. (1986) ont pu mettre en évidence l'influence des eaux de la DURENCE sur la bioaccumulation de quelques métaux lourds par les mollusques prélevés dans l'Etang de BERRE.

Ainsi, les valeurs trouvées du manganèse dans les stations de BORDJ EL KIFFAN et GOURAYA ne sont pas inquiétantes. Elles sont inférieures à la teneur normale 25 µg/g PS fixée par BRYAN (1976) (in ASSO, 1982) chez Mytilus edulis. Pour le lac MELLAH, les fortes teneurs enregistrées doivent être confirmées ou infirmées par une autre étude dans la région.

5 - LE CHROME :

SECTION 1 : BORDJ EL KIFFAN

Les teneurs en chrome obtenues dans cette station sont représentées par une moyenne de :

8,85	µg/g PS
0,81	µg/g PF

Comparativement à d'autres régions de la Méditerranée, ces valeurs sont relativement élevées (tab.43).

STATION 2 : GOURAYA

Les teneurs en chrome obtenues dans cette station sont représentées par une moyenne de :

1,25	µg/g PS
0,20	µg/g PF

Comparativement à d'autres régions de la Méditerranée, ces valeurs sont relativement élevées (tab.43).

STATION 3 : LAC MELLAH

La valeur moyenne des concentrations en chrome obtenues pour les moules provenant de cette station est de :

3,35	µg/g PS
0,43	µg/g PF

Ces teneurs sont 2 fois plus basses que celles enregistrées dans la station de BORDJ EL KIFFAN.

Ainsi, les teneurs en chrome enregistrées dans les trois stations étudiées ne sont pas inquiétantes : elles sont inférieures à la valeur 0,99 µg/g PF admise comme normale par les U.S.A (I.R.P.T.C., 1979).

6 - LE CUIVRE :

STATION 1 : BORDJ EL KIFFAN

La valeur moyenne des concentrations en cuivre est de :

16,35	µg/g PS
1,49	µg/g PF

Ces teneurs sont supérieures à celles enregistrées par ABDELOUAHAB / et NACEUR (1985) avec une moyenne de 9,78 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS. La multiplication de l'usage de ce métal dans différentes industries nautiques comme composé de certaines peintures anti-salissures, peut être une explication à cette importante augmentation depuis 1985.

Par rapport à d'autres régions de la Méditerranée, ces valeurs sont supérieures à celles données par TUNCER et al. (1982) à URLA avec une moyenne de 0,877 $\mu\text{g}/\text{g}$ PF et inférieures à celles du port de FOS enregistrées par AUGIER et al. (1990), dont la moyenne est de 17,5 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS.

STATION 2 : GOURAYA

Les valeurs obtenues dans les moules prélevées dans cette localité, sont représentées par une moyenne de :

10,28	$\mu\text{g}/\text{g}$ PS
1,72	$\mu\text{g}/\text{g}$ PF

Comparativement aux travaux déjà réalisés dans le littoral algérien, nous constatons que nos teneurs sont supérieures à celles signalées par ABDELOUAHAB et NACEUR (1985) dans les ILOTS SANDJA avec une moyenne de 6,43 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS, inférieures à celles obtenues par ASSO (1982) à CHENOUA dont la moyenne est de 13,17 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS et celles de HABAD et al. (1990) enregistrées au cap DJINET avec une moyenne de 24,27 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS.

STATION 3 : LAC MELLAH

La valeur moyenne des concentrations en cuivre pour les moules provenant de cette lagune est de :

5,28	$\mu\text{g}/\text{g}$ PS
0,76	$\mu\text{g}/\text{g}$ PF

BOUTOUCHENT (1988) avait trouvé une moyenne de cuivre égale à 4,53 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS. Cet auteur a enregistré un maximum de 5,94 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS chez les moules de petite classe de taille. De là, nous constatons une tendance à une légère augmentation entre les deux périodes d'étude. La teneur moyenne enregistrée dans cette station est 2 fois plus basse que celle signalée dans la station de BORDJ EL KIFFAN.

Si nous comparons les valeurs enregistrées dans les trois stations à la valeur 10 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS proposée par BRYAN (1976) (in ASSO, 1982) comme teneur normale chez les mollusques bivalves, nous pourrions constater que cette valeur est supérieure à celle obtenue dans la station du lac MELLAH, comparable à celle signalée à GOURAYA et inférieure à celle enregistré à BORDJ EL KIFFAN. De là, nous concluons que seule la station de BORDJ EL KIFFAN présente une légère contamination par ce métal.

7 - LE ZINC :

STATION 1 : BORDJ EL KIFFAN

La valeur moyenne des concentrations en zinc pour Mytilus galloprovincialis est de :

166,85 $\mu\text{g/g}$ PS
15,23 $\mu\text{g/g}$ PF

Ces teneurs sont largement inférieures à celles enregistrées par ABDELOUAHAB et NACEUR (1985) dont la moyenne est de 210,1 $\mu\text{g/g}$ PS. Par rapport à d'autres régions de la Méditerranée, ces concentrations sont inférieures à celles obtenues par VOUTSINOÛ et al. (1982) dans le Golfe de SARONIKOS avec une moyenne de 24,6 $\mu\text{g/g}$ PF et à celles de AUGIER et al. (1990) signalées dans le port de FOS avec une moyenne de 524,5 $\mu\text{g/g}$ PS.

STATION 2 : GOURAYA

Les teneurs en zinc obtenues dans les moules prélevées dans cette station sont représentées par une moyenne de :

111,07 $\mu\text{g/g}$ PS
19,23 $\mu\text{g/g}$ PF

Ces valeurs sont comparables à celles enregistrées par ABDELOUAHAB et NACEUR (1985) dans les ILOTS SANDJA, dont la moyenne est de 109,9 $\mu\text{g/g}$ PS, inférieures à celles de ASSO (1982) obtenues à CHENOÛA avec une moyenne de 133,7 $\mu\text{g/g}$ PS et à celles de HABAD et al. (1990) signalées au cap DJINET avec une moyenne de 217,66 $\mu\text{g/g}$ PS.

STATION 3 : LAC MELLAH

Les basses teneurs obtenues dans cette station sont représentées par une moyenne de :

63,48 $\mu\text{g/g}$ PS
8,14 $\mu\text{g/g}$ PF

Ces valeurs confirment celles données par BOUTOUCHENT (1988), dont la moyenne est de 69,75 $\mu\text{g/g}$ PS. Elles sont largement inférieures à celles signalées par CATSIKI et al. (1986) dans l'Etang de BERRE avec une moyenne de 226,0 $\mu\text{g/g}$ PS.

En conclusion, les valeurs trouvées dans les trois stations ne semblent pas préoccupantes ; elles sont largement inférieures à la teneur normale (380 $\mu\text{g/g}$) fixée par l'Italie (I.R.P.T.C., 1979) (tab.45).

III - 2 - VARIATION DES CONCENTRATIONS EN ELEMENTS METALLIQUES ETUDIES

EN FONCTION DU PARAMETRE BIOLOGIQUE "TAILLE" :

De nombreux auteurs ont essayé de compléter leur études sur les moules en s'intéressant aux différentes variations des concentrations en éléments traces en fonction des divers paramètres biologiques parmi-lesquels :

- ASSO (1982) a suivi la variation des teneurs de cinq métaux lourds chez l'espèce Perna perna en fonction du cycle saisonnier.

- MADAR et al. (1981) ont pu mettre en évidence chez Mytilus galloprovincialis, l'existence d'un système hormonal, jouant un rôle important dans la physiologie de cette espèce.

- METAYER et al. (1985) ont noté la variation de quatre métaux lourds chez les moules et les huîtres en fonction de l'âge et du poids.

- ABDELOUAHAB et NACEUR (1985) ont étudié la répartition de quatre métaux lourds selon les organes (organotropisme).

Dans ce qui suit, nous nous proposons de suivre les variations de la charge polluante individuelle en fonction de la taille.

Seuls les individus des moules prélevés dans les stations de BORDJ EL KIFFAN et du lac MELLAH, seront étudiés dans cette partie.

Pour ceux provenant de la station de GOURAYA, l'important écart de la taille de ces individus ne nous permet d'établir cette corrélation.

D'après le cycle sexuel proposé par BOUKROUFA (1982) (in ABDELOUAHAB et NACEUR, 1985) (fig.33), pour les deux espèces de moules les plus fréquentes dans nos côtes (Mytilus galloprovincialis et Perna perna), nous constatons que les dates de prélèvement correspondent :

* A une maturation pour les moules prélevées à la station de BORDJ EL KIFFAN.

* A une prépuberté pour les moules prélevées à la station du lac MELLAH.

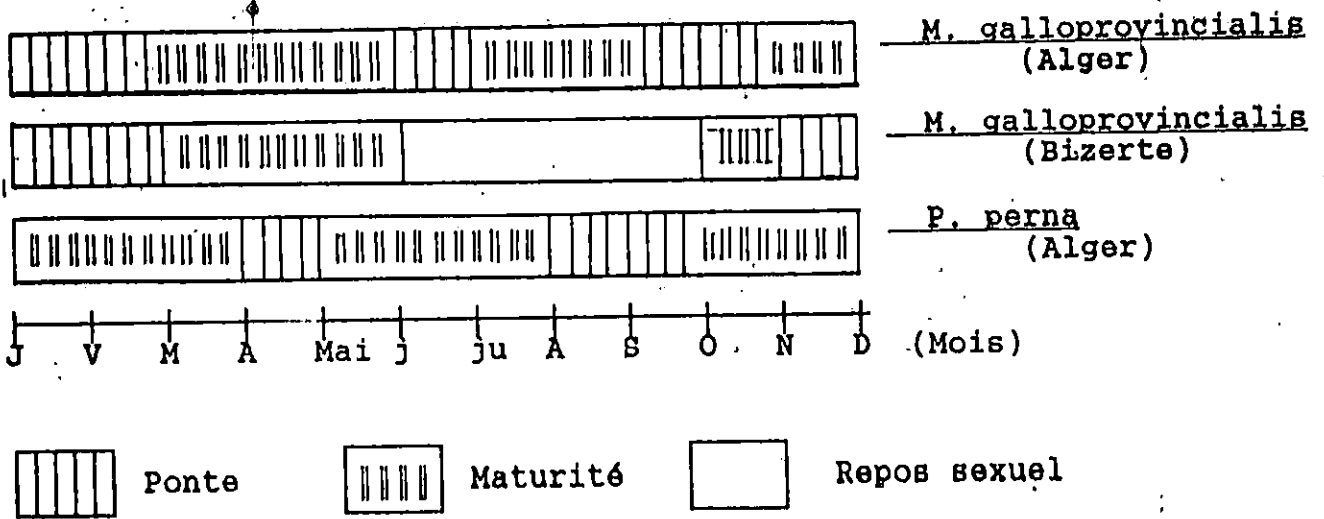


Fig. n° 33: Cycle sexuel des deux espèces de moules étudiées (d'après BOUKROUFA, 1982).

155

1 - MERCURE :

La figure 34, montre une stabilité de la teneur en mercure chez les moules prélevées dans la station de BORDJ EL KIFFAN et dont la taille ne dépasse pas 4,38cm. THIRAJD et al. (1991) ont expliqué cette homogénéité des valeurs par un équilibre dynamique entre les flux d'entrée et de sortie qui traversent les tissus des organismes. Chez les moules de grande classe de taille (>4.38 cm), l'assimilation du mercure diminue jusqu'à atteindre un minimum de 0.3 µg/g PS, correspondant à une taille de 5,22 cm. ABDELOUHAB et NACEUR (1985) ont observé la même variation chez l'espèce Perna perna prélevée au port d'ALGER. Ces auteurs expliquent la diminution des concentrations en mercure chez les moules de grande classe de taille par l'apparition d'un mécanisme de détoxification.

En ce qui concerne les moules provenant du lac MELLAH, la situation se présente inversement à celle observée pour les moules prélevées à la station de BORDJ EL KIFFAN ; c'est à dire que les teneurs en mercure augmentent avec la taille. Nous supposons que cette augmentation est due soit à un apport anthropique, soit à des processus biochimiques intimes, qui immobilisent le mercure sous différentes formes.

2 - PLOMB :

La variation du plomb est importante chez les moules prélevées à la station de BORDJ EL KIFFAN (fig.34). Elle se présente par une chute brutale chez les moules de petite classe de taille (3,61cm) correspondant à une valeur maximale de 18,91 µg/g PS, puis par une reprise à partir d'une taille moyenne de 4,38cm correspondant à une valeur minimale de 11,48 µg/g PS. L'augmentation de la teneur en plomb chez les individus de grande taille (>4,38cm) pourrait être due soit à :

- Une accumulation au cours du temps.
- Une élimination lente du plomb chez les moules de grande taille.
- Un stockage du métal sous forme non toxique.

Pour les moules prélevées au lac MELLAH, les faibles teneurs en plomb comprises dans l'intervalle [1,06 - 1,09 µg/g PS], peuvent expliquer la stabilité de ce métal en fonction de la taille.

3 - CADMIUM :

Chez les moules de petite classe de taille provenant de la station de BORDJ EL. KIFFAN, l'accumulation du cadmium augmente avec la taille jusqu'à atteindre un maximum de 3,02 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS correspondant à une taille moyenne de 4,38cm. Au delà de cette dernière, les moules de grande taille diminuent le taux d'assimilation du cadmium (fig.34). Ces observations ne sont pas les mêmes que celles données par FISCHER (1983). Ce dernier a montré que la concentration en cadmium diminue chez les petites moules, puis augmente chez les adultes.

Cette situation paradoxale à la première vue, peut être en relation avec le facteur biologique "Age". En effet, METAYER et al. (1985) ont montré que ce paramètre peut influencer sur l'accumulation du cadmium au cours de la vie des moules.

Malgré l'importance des teneurs en cadmium obtenues dans les moules prélevées dans la station de lac MELLAH, nous n'avons pas constatés de variation des concentrations en fonction de la taille (fig.34). Cela, pourrait être due soit à un équilibre du flux d'entrée et de sortie du métal à travers la membrane cellulaire, soit à la phase de la reproduction de ces individus de moules.

4 - MANGANESE :

Les concentrations en manganèse enregistrées dans les moules prélevées dans la station de BORDJ EL. KIFFAN diminuent progressivement avec la taille (fig.34), le maximum 20,32 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS est obtenu chez les moules de petite classe de taille, tandis que le minimum 11,88 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS est signalé chez les moules de grande classe de taille.

Cette situation est identique à celle rencontrée par ASSO (1982) chez l'espèce Perna perna prélevée dans les ILOTS SANDJA. Elle pourrait être expliquée par le taux de filtration qui diffère d'une classe de taille à une autre. En effet, SERBANESCO et al. (1980) ont montré que chez l'espèce Mytilus galloprovincialis, les individus de petite classe de taille (< 5cm) filtrent dans des conditions normales

274 ml/heure, tandis que ceux d'une taille moyenne (5 - 7cm) filtrent 233 ml/heure et ceux d'une taille plus grande, (>7cm) filtrent seulement 190 ml/heure. A ces volumes d'eau correspondent normalement, des quantités différentes de matière en suspension.

Pour les moules prélevées à la station de lac MELLAH, nous observons une stabilité de la teneur en manganèse en fonction de la taille.

5 - CHROME :

Pour la station de BORDJ EL KIFFAN, la diminution de la teneur en chrome est accentuée avec l'accroissement de la taille des moules. Le maximum 11,20 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS est obtenu dans les individus de petite classe de taille, tandis que le minimum 6,06 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS est enregistré dans ceux de la grande classe de taille (fig.34). Cette diminution pourrait être due au taux de filtration, qui diffère d'une classe de taille à une autre.

L'accroissement du taux d'accumulation du chrome en fonction de la taille des individus de moules prélevées dans le lac MELLAH, pourrait être en relation avec l'étape du cycle sexuel. En effet, LATOUCHE et Mix (1982) (in ABDELOUAHAB et NACEUR, 1985) ont montré qu'en période de pré ponte, la mise en réserve des glucides, lipides et protides entraîne une augmentation de certains éléments métalliques dans les moules.

6 - CUIVRE :

Une fois atteinte la valeur maximale 24,02 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS. Les moules de petite classe de taille diminuent le taux d'accumulation du cuivre jusqu'à un minimum de 11,11 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS correspondant à une taille moyenne de 4,38cm. Au delà de cette dernière, les moules accumulent légèrement le cuivre avec l'accroissement de leurs tailles (fig.34).

Ces fluctuations peuvent être en relation avec les fortes teneurs en cadmium enregistrées dans ces mêmes individus de moules. BRÉTHET et al. (1985) ont montré que les fortes teneurs en cadmium provoquent une diminution de la fixation du cuivre chez les moules.

La stabilité de la teneur en cuivre chez les moules prélevées à la station de lac MELLAH, pourrait être en relation avec la période de prélèvement qui correspond à une pré ponte.

7 - ZINC :

Pour la station de BORDJ EL KIFFAN, le zinc diminue parallèlement avec la croissance de la taille des moules. La valeur maximale 209,26 $\mu\text{g}/\text{g}$ PS a été enregistrée dans la plus petite classe de taille (3,61cm), tandis que la valeur minimale 98,95 $\mu\text{g}/\text{g}$ a été signalée dans la plus grande classe de taille (5,22 cm) (fig.35).

Ces observations concordent avec celles faites par ASSO (1982) pour l'espèce Perna perna prélevée à la station du port d'ALGER. Cet auteur explique cette situation par la vitesse de filtration d'eau qui diminue d'une classe de taille à une autre.

Pour les moules provenant de la station du lac MELLAH, nous observons une légère diminution de la teneur en zinc en fonction de la taille.

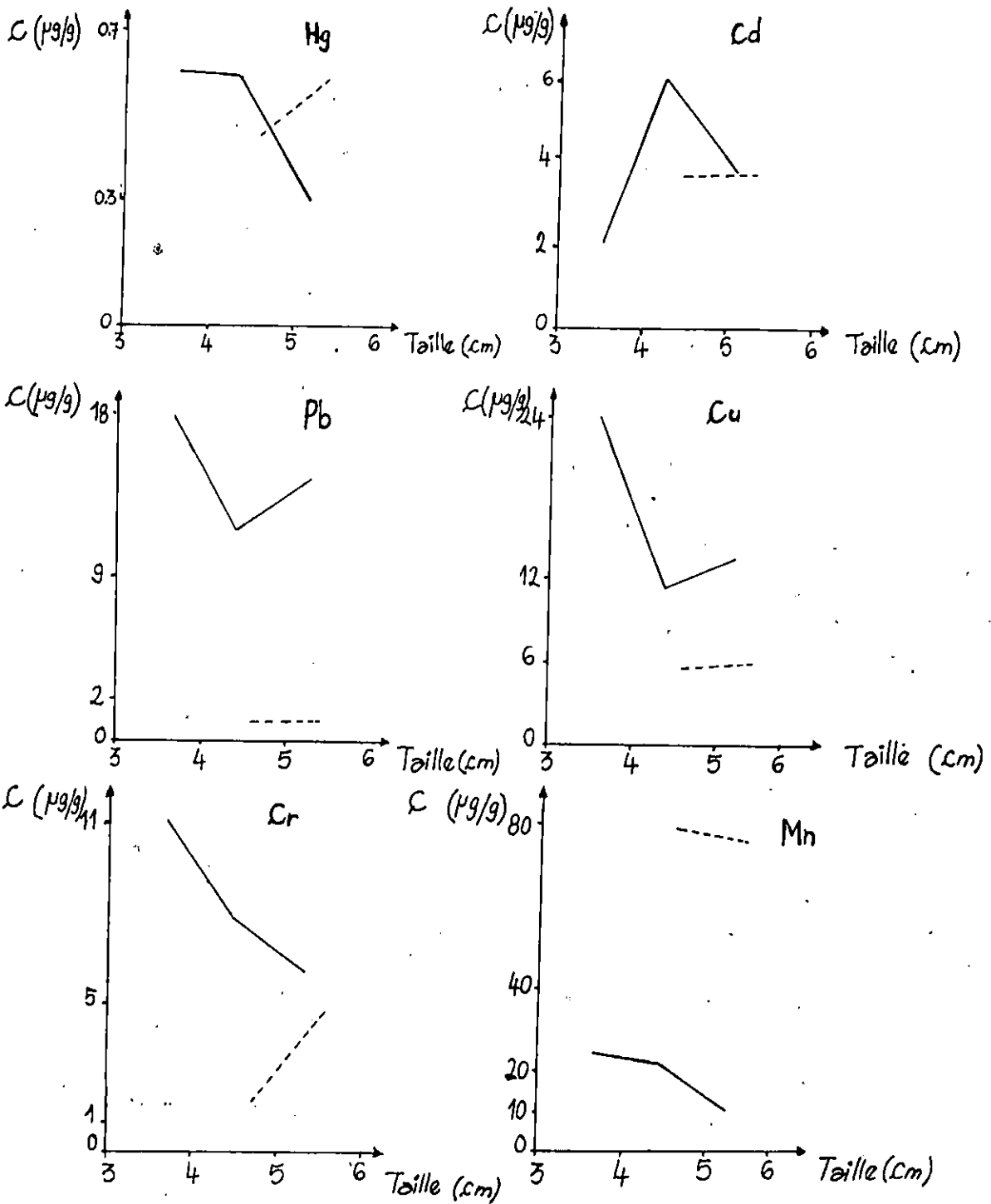


Fig. n°34: Variation de la teneur en Hg, Cd, Pb, Cu, Cr et Mn en fonction de la taille chez l'espèce Mytilus galloprovincialis. (concentrations exprimées en $\mu\text{g/g}$ poids sec).

Station - - - - Lac Mellah
 - - - - Bordj El Kiffan

8 - DISCUSSION ET CONCLUSION :

De l'étude de la variation des concentrations en métaux lourds en fonction du paramètre biologique "taille", il ressort que :

- Ayant un métabolisme plus actif, les moules de petite classe de taille accumulent certains éléments métalliques plus que les moules de grande classe de taille. Cette constatation est en accord avec celle faite par ASSO (1982) et ABDELOUAHAB et NACEUR (1985).

- Les concentrations en métaux lourds dans les moules dépendent du taux de filtration. En effet, METAYER et al. (1985) ont mis en évidence l'existence d'une corrélation significative entre la quantité de l'eau filtrée et la concentration du plomb présente dans les moules et les huîtres prélevées dans la baie de BOURGNEUF.

- Le cycle de la reproduction intervient également dans l'expression des teneurs en métaux lourds. Le cas des moules prélevées dans le lac MELIAH est particulièrement démonstratif. En effet, la légère augmentation de la charge de certains éléments métalliques avec la taille des moules provenant de ce lac, confirme que nos analyses ont été effectuées essentiellement sur les moules maturées. LATOUCHE et MIX (1982) (in ABDELOUAHAB et NACEUR, 1985) ont montré qu'en période de pré- ponte, la mise en réserve de glucides, lipides et protides entraîne une augmentation des concentrations en certains éléments métalliques.

- Les fluctuations des concentrations en métaux lourds en fonction de la taille pourraient être liées également aux caractéristiques du milieu ambiant (profondeur, agitation, qualité de l'eau et de la nourriture) et aux perturbations d'ordre physiologiques spécifique à chaque espèce.

Enfin, pour avoir une image plus exacte sur la qualité de l'eau de mer, nous proposons :

- D'utiliser une population jeune de moules, permettant ainsi de refléter plus fidèlement les changements qui surviennent dans le milieu ambiant.

- Faire des prélèvements en dehors de la période de maturation des gonades, pour éviter les fluctuations rencontrées dans notre étude.

- Prendre des moules, dont la taille est reconnue par le laboratoire de l'A.I.E.A, afin de faciliter la comparaison des valeurs obtenues avec celles signalées par d'autres auteurs.

Le but de ce travail consistait d'une part, à maîtriser les techniques analytiques liées à la détermination des teneurs en quelques métaux lourds (Hg, Pb, Cd, Mn, Cr, Cu et Zn) dans deux matrices différentes; d'autre part, à envisager les sources probables de ces polluants métalliques et à estimer le degré de pollution dans les sites étudiés.

La méthode de traitement adoptée et l'analyse réalisée par la Spectrophotométrie d'Absorption Atomique se sont avérées fiables. Ceci a été confirmé par la mise en oeuvre des exercices d'intercalibration et des tests de reproductibilité sur des échantillons standards.

La mesure de quelques paramètres hydrologiques (pH, Température, et salinité) dans les trois oueds étudiés, montre que les phénomènes physiques peuvent foncièrement modifier ou altérer les caractéristiques chimiques des eaux de ces biotopes.

Tandis que dans la partie orientale de la baie de Bou-Ismaïl, la mesure des paramètres physico-chimiques indique que grâce à l'importante ouverture de cette baie (sur 40 Km), les eaux de la côte communiquent aisément avec les eaux du large, ce qui permet la dilution des apports terrigènes.

L'analyse des métaux lourds dans la matrice sédimentaire de la partie aval des trois oueds étudiés semble inquiétante, en particulier pour les métaux toxiques (Hg, Pb et Cd) dont les teneurs obtenues sont supérieures à celles admises comme normales. Toutefois, du fait que le nombre d'échantillons est restreint et que les prélèvements n'ont été effectués que dans la partie terminale de ces cours d'eau, il est difficile de donner un aperçu général sur l'évolution des polluants métalliques introduits à l'amont de l'oued, puis éliminés vers le milieu receveur par l'intermédiaire de l'embouchure (siège de processus de floculation).

Par ailleurs, la répartition des métaux lourds dans les sédiments superficiels de la partie orientale de la baie de Bou-Ismaïl, laisse apparaître une irrégularité de leur comportement. Les fortes teneurs en mercure, plomb, chrome, cuivre et zinc sont enregistrées en face et à l'Ouest de l'oued Mazafran. L'importance des apports de cet oued, l'hétérogénéité de la nature du fond (vase-sableuse ou sable-vaseux) et l'abondance de cette zone en particules biogènes pourraient être l'origine de ces importantes concentrations. Pour le cadmium, l'hétérogénéité de sa répartition spatiale peut être liée à la diversité des sources de pollution par ce métal et à sa variation naturelle (DESSAINT, 1987). Concernant le manganèse, les concentrations obtenues sont considérables; elles sont en relation avec le phénomène de floculation et de précipitation qui se manifestent à l'interface eau douce - eau salée.

L'étude des corrélations entre les éléments métalliques, nous a permis de constater que ces affinités ne pourraient être établies que dans un milieu non pollué, où les teneurs ne varient que par une source naturelle.

L'analyse des éléments métalliques réalisée dans la matrice biologique (moules), décèle une différence des concentrations entre les trois stations étudiées. Ceci est en relation avec les conditions hydrologiques et anthropologiques qu'elles subissent.

En effet, pour la station de Bordj-El-Kiffan, les teneurs signalées sont dues essentiellement au trafic maritime que connaît la baie d'Alger et au apports drainés par l'oued El-Harrach. Ajoutons à cela l'influence du port d'Alger, qui est un véritable entonnoir de polluants de toute nature constituant une source de pollution importante et permanente.

En ce qui concerne le lac Mellah, le régime hydrologique de cette lagune et l'influence des apports telluriques entraînés par les oueds qui l'alimentent, sont en grande partie responsables des teneurs signalées en mercure, cadmium et manganèse. Les concentrations obtenues en cadmium et en zinc concordent avec celles notées par BOUTOUCHENT (1988).

Hormis le cadmium, les teneurs en métaux lourds trouvées dans la station de Gouraya sont faibles par rapport à celles obtenues dans les deux stations précédentes et à celles enregistrées par BOUTOUCHENT (1988) dans la station de Chenoua. Rappelons que, cette dernière était considérée comme étant une station de référence. Pour ces raisons, nous proposons la station de Gouraya comme nouvelle station de référence favorable pour l'étude des fluctuations naturelles des teneurs en micro-polluants. L'origine des traces en cadmium trouvées dans cette station reste inconnue. Pour cela, il est souhaitable qu'une autre étude plus détaillée soit effectuée dans la région de Gouraya.

De la variation des teneurs en éléments métalliques en fonction du paramètre biologique "taille", il apparaît que le taux d'accumulation de ces polluants (dans la plus part des cas étudiés) est plus important chez les moules de petite classe de taille que celles de grande classe de taille. Cela est certainement en relation avec la quantité d'eau filtrée, le cycle de reproduction et les caractéristiques physico-chimiques du milieu ambiant.

D'une manière générale, les résultats obtenus dans cette modeste étude, montre que l'état de la pollution par les métaux lourds dans la matrice sédimentaire de la partie orientale de la baie de Bou-Ismaïl n'est pas inquiétant ; mais son évolution à long terme est à craindre. Pour ce qui est de la matrice biologique, la station de Bordj-El-Kiffan révèle un degré de pollution critique.

Enfin, pour mieux connaître la toxicité d'un élément métallique introduit dans le milieu aquatique, il serait intéressant de déterminer la forme sous laquelle le métal se trouve dans la matrice.

ABADA-BOUDJAMA Y.M., (1983) - Etude dynamique de deux populations de moules *Mytilus galloprovincialis* (L.M.K.) et *Perna perna* (L.) de Bordj el Kiffan. Thèse 3^{ème} cycle, U.S.T.H.B., 138p.

ABDELOUAHAB N. et NACEUR I., (1985) - Contribution à l'étude du comportement de quatre métaux lourds (zinc, cuivre, mercure et cadmium) chez deux espèces de moules *Mytilus galloprovincialis* (L.M.K.) et *Perna perna* (L.) présentes dans la baie d'Alger. Mémoire de D.E.S., U.S.T.H.B., 87p.

AID F., GAUMER G. et SAMSON-KECHACHA F.L., (1982) - Action du cuivre sur des populations naturelles phytoplanctoniques de la baie d'Alger. V^{ème} journées d'étud., pollutions, Cannes, C.I.E.S.M., pp 795-800.

A.I.E.A. (Agence Internationale de l'Energie Atomique), (1986) - Intercalibration of analytical methods on marine samples.

AISSI A., (1981) - Etude préliminaire sur une population de pêcheurs de la région d'Alger exposée au mercure par la consommation de poisson. Rapp. du laboratoire de pollution. C.R.O.P., 6p.

AIT KACI AHMED D. et PAUC H. (1981) - Le rôle de l'oued MAZAFRAN dans la sédimentation fine en baie de Bou-Ismaïl. Pelagos 6(1), pp 1-14.

AIT KACI AHMED D. et PAUC H., (1987) - La sédimentation en baie de Bou-Ismaïl et les apports en suspension de l'oued MAZAFRAN (Algérie) - variations saisonnières. Géologie Méditerranéenne. Tome XIV, n°3, pp 175-179.

AMARA R., (1988) - Contribution à l'étude dynamique de la pollution en zone côtière. cas de Bou-Ismaïl ex. Castiglione. Mémoire de D.E.S., I.S.M.A.L., 109p.

AMORE C., CASTAGNA A., CURRAO A., GIUFFRIDA F., SRRO F. et SINATRA F. (1983) - Relationship between Heavy metals and sediments in the southern Ionian continental shelf. Marine pollution bulletin, vol.14, n°9, pp 325-356.

A.N.R.H., (1990) - Agence Nationale des Ressources Hydrologiques à BIR MOURAD RAIS.

AOUAMEUR D., (1990) - Contribution à l'étude de certains métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger. Mémoire d'Ingénierat en Halieutique, I.S.M.A.L., 69p.

AOUANE R., (1988) - Contribution à l'étude de la contamination de deux moules : *Mytilus galloprovincialis* (L.M.K.) et *Perna perna* (L.) par les composés organochlorés dans le littoral algérois. Mémoire de D.E.S., I.S.M.A.L., 150p.

- ARNOUX A., MONOD J.L., TATOSSIAN J., BLANC A. et OPPETIT F., (1980) - La pollution chimique des fonds du Golfe de FOS. Vème journées Etud. Pollutions, Cagliari, C.I.E.S.M., pp 447-458.
- ARNOUX A., TATOSSIAN J. et DIANA C., (1983) - Bilan de la pollution mercurielle totale dans les sédiments en bordure et au large de la région marseillaise. PNUE/FAO/OMS - Evaluation de l'état de la pollution de la Mer Méditerranée par le mercure et les composés mercuriels. MAP Technical Reports series n° 8. UNEP, Athens, 1987, pp 23-30.
- ASSO A., (1982) - Contribution à l'étude de polluants métalliques chez la moule *Perna perna* (L.) dans la région d'Alger. Thèse de Doctorat en océanographie Biologique, Université AIX- Marseille II, 138p.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G. et VALERE R., (1984) - Etude du degré de contamination par les métaux lourds des sédiments de la zone de rejet des eaux usées de l'agglomération marseillaise (CORTIOU - BOUCHE du RHONE - FRANCE). J. Rech. Oceanogr., 1984, Vol.9, n°2, pp 78-80.
- AUGIER H., DESMERGER R., EGEEA M., IMBERT E., PARK W. et RAMONDA G. (1990) - Teneurs en métaux et la taille de la coquille chez la moule *Mytilus galloprovincialis* (L.M.K.). Précautions d'utilisation en Molysmologie. Rapp. comm. int. Mer Médit., 32,1 (1990), p 126.
- BAKALEM A., GRIMES S., KHENE Z., REFES W. et SEMMAR N., (1991) - Rapport préliminaire de la mission du 28/05 au 01/06/1991 au lac MELLAH (El-KALA). Rapport du laboratoire de benthologie, I.S.M.A.L., 7p.
- BENIDICT M.M., BISHOP J.N., BURNS C.A., FERGUSON W.S., GAGE J.C., LYON W.S., MESMAN B.B., SHEA J.F. et SMITH R.G., (1972)- Analytical Methodology for mercury. Discussion paper in : Environmental mercury contamination (Hartung, R. et Dinman, B.D., eds), ann. Arbon science publ., 161p.
- BENIJTS - CLAUS C. et BENIJTS F., (1975) - The effet of low lead and zinc concentration on the larval development of the mud crab *Rhithropanopeus harrisü* Gould - in : Sublethal effect of toxic chemical and aquatic animals KOEMAN J.H. et STICK J.J. edit. - Amsterdam: Elsevier scientific publishing company, pp 43-52 - Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 45(1) 1981 (1982), pp 73-83.
- BENOUD D. et MALLEM T.M., (1991) - Contribution à l'étude de comportement de quelques métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger. Mémoire de Technicien Supérieur, I.S.M.A.L., 93p.

- BITAM S., (1991) - Evaluation du taux de mercure dans le sédiment de la baie d'Alger. Mémoire de Technicien Supérieur, I.S.M.A.L., 37p.
- BOKRETAOUI S. et BOUTOUILI T. S., (1989) - Baie de BOU-ISMAIL - Etudes des paramètres physiques et chimiques - Approches biosédimentaire. Mémoire d'Ingeniorat, I.S.M.A.L., 92p.
- BOUKHALFA F. et IZZA S., (1987) - Contribution à la quantification de la pollution dans le lac de REGHAIA : Dosage des métaux lourds dans les sédiments. Mémoire d'Ingeniorat, Ecole National Polytechnique, 86p.
- BOUTIER B. et CHIFFOLEAU J.F., (1986) - La contamination par le cadmium en Gironde et son extension sur le plateau continental. Rapport IFREMER n° DERO - 86. 12 - MR, 28p.
- BOUTOUCHENT T., (1988) - Contribution à l'étude de la pollution par quatre métaux lourds (zinc, plomb, cadmium, cuivre) chez deux espèces de moules *Mytilus galloprovincialis* (L.M.K.) et *Perna perna* (L.) et mise en évidence de l'auto-épuration dans l'intérêt d'une Mytiliculture en mer ouverte. Mémoire de Technicien Supérieur, I.T.P.A., 88p.
- BREDER R., NÜRNBERGH W. et STOEPLER M., (1980) - Toxic trace levels in water and sediments from the Estuaire of the Southern Ligurien and Northern Tyrherian Coasts. V^{es} journées Etud. Pollutions, Cagliari, C.I.E.S.M., pp 285-292.
- BREITTMAYER J. Ph., GUIDO R. et TUNCER S., (1980) - Effet du cadmium sur la toxicité de mercure vis-à-vis de la moule *Mytilus edulis* (L.) - Chemosphère, Vol.9, pp 725-728.
- BREITTMAYER J. Ph. et GUTIERREZ-GALINDO E. A., (1981) - Toxicité aigüe d'association de mercure et de zinc vis-à-vis de la moule *Mytilus edulis* (L.) - Chemosphère, Vol. 10, n° 7, pp 795-798.
- BRETHET B., AMIARD J.C., AMIARD -TRIQUET C. et METAYER C., (1985) - Accumulation de quatre métaux (Cd, Pb, Cu, Zn) chez les animaux marins côtiers et leurs interactions mutuelles. sec. 32 pull. 13, ADERMA, pp 287-299.
- BUAT-MENARD P. et CHESSELET R., (1979) - Variable influence of the atmospheric flux on the trace metals chemistry of oceanic suspended matter. Earth Planet. Sci. Tett., 42, pp 399-441. V^{es} journées Etud. Pollutions, Cagliari, C.I.E.S.M. (1980), pp 1005-1009.
- BUSCAIL R., GAUWET G. et CAMBON J.P., (1984) - Apports des éléments métalliques par les fleuves côtiers Méditerranéens : Importance du piégeage dans les Etangs et devant les embouchûres (littoral du Languedoc - Roussillon - Golfe de Lion, France). VII^{es} journées Etud. Pollutions, Lucerne, C.I.E.S.M. (1985), pp 31-43.

- CARRUESCO C., LAPAQUELLERIE Y., LABOURG P.J. et PRUNIER D., (1986) - Impact des métaux lourds sur un environnement lagunaire : Le Bassin d'ARCACHON. Bull. Inst. Geol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, n°39, pp 85-93.
- CATSIKI A.V. et ARNOUX A., (1986) - Etude de la variabilité des teneurs en (mercure, cuivre, zinc et plomb) de trois espèces de Mollusques de l'Etang de BERRE (FRANCE) - Marine Environment Research 21(1987), pp 175-187.
- CAULET J., (1972) - les sédiments organogènes du précontinent algérien. Mémoire Museum National Histoire Naturelle Paris. Serie C, Tome 25, 289p.
- CAYRE P., (1978) - Etude de la moule *Perna perna* (L.) et des possibilités de Mytiliculture en république populaire de CONGO. Cahier O.R.S.T.O.M., série océanographie, n° 16, pp 9-17.
- CESSELET R., BARON D., BENARD H. et BUAT-MENARD P., (1979) - La chimie des métaux lourds dans l'aérosol de la Méditerranée Occidentale et son influence sur la chimie des particules en suspension. IV^{es} journées Etud. Pollutions Antalya, C.I.E.S.M. (1980), pp 81-90.
- CHESTER R. et STONER J.M., (1975) - Trace elements in totale particulate materiel from surface sea water. Nature, 255, pp 50-51.
- CHOUIKHI A., (1980) - Choix et mise au point de chaînes alimentaire en "eau douce" permettant de mettre en évidence le caractère bioaccumulatif d'un polluant. Thèse de Doctorat es. sciences pharmaceutiques. Université de Paris Sud, 312p.
- CHOUIKHI A., NACEUR I. et SELLALI B., (1988) - Action des polluants sur les écosystèmes côtiers. Exemple du littoral algérois. Sem. Maghrébin de l'Amen. du Terr. 29-31/1988, TLEMEN, 14p.
- CONTU A., SARRITZU G., BORDIGONI M., MELONI P. and SHISTU M., (1988) - Metals concentrations in superficial sediments from the Gulf of Olbia, sardinia. Rapp. comm. Int. Mer Medit. 31, 2, p 38.
- COSSA D. et LASSUS P., (1989) - Le cadmium en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie. Rapports scientifiques et techniques de l'IFREMER, n°16, 111p.
- DAGORNE A., (1970) - Remarques préliminaires sur la sédimentation pré-littorale en baie de BOU-ISMAIL (Ouest Alger). Annales Algériennes de géographie, n°7, pp 73-78.
- DAGORNE A., (1973) - Sédimentologie et bionomie benthique en baie de Bou-Ismaïl. Pelagos, 6 (2): pp 40-53.
- D'AGOSTINO A. et FENNEY C., (1974) - The effect of copper and cadmium on the development of *Tigriopus japonius* - in : Pollution and physiology of marine organisms /VERNBERG F.J. et W.B., edit-NEW YORK: Academic Press, pp 445-463 - Rev. Trav. Inst. Pêches Marit., 45(1) 1981 (1982), pp 73-83.

- D'AMELIO V., RUSSO G. et FERRARO D. , (1974) - The effect of heavy metals on protein synthesis in Grustaceous and fish. Rev. Int. oceanogr. Medic., XXXIII pp 111-117. Tethys 8(4) 1976 (1978), pp 345-355
- DEGROOT A., SALMONS W., et ALLERSMA E., (1976) - Processes affecting heavy metals in estuarine sediments. Burton, J.D., Liss , P.S., eds., Estuarine chemistry, Academic press, New York, pp 131-157
- DESLOUS-PAOLI J.M., (1982) - Toxicité des éléments métalliques dissous pour les larves d'organismes marins : Données bibliographiques. Rev. Trav. Inst. Pêches marit. 45(1) 1981 (1982), pp 73-83.
- DESSAINT F., (1987) - Répartition spatiale des métaux lourds dans les sédiments sableux en Manche Orientale et en Mer du Nord. J. rech. Oceanogr. , 12, 3 et 4, pp 90-93.
- DIEUZEIDE R., (1932) - L'empoisonnement des eaux de l'oued MAZAFRAN. Deuxième fascicule. - Bull. Trav. pub. (Station d'Aquaculture et de pêche de CASTIGLIONE), pp 187-198.
- DUCHAUFOUR P., (1976) - Atlas écologique des sols du monde. Série MASSON, 175p.
- EDDALIA N., (1990) - Sels nutritifs et M.E.S. dans la baie d'Alger et le Golfe d'Arzew. Identification des masses d'eaux et de la pollution. Mémoire d'Ingénieur, I.S.M.A.L., 103p.
- EL-KAIM B., (1968). - Recherches bionomiques sur les biocénoses de substrat solide de l'oued BOU-REGUIG (MAROC). Bull. soc. sc. nat. phy. Maroc, Tome 47, pp 295-316.
- EQUINOXE, (1990) - Environnement littoral, IFREMER , n° 32, pp 43-45.
- ESTABLIER R. et PASCAL E., (1983) - Efecto del cadmio, el cobre sobre el desarrollo de los huevos de spina officinals tinnero. Inverst. Pesq., pp 143-150. PNUE/FAO/OMS - Evaluation de l'état de la pollution de la Mer Méditerranée par le cadmium et les composés de cadmium. MAP Technical Reports series n°34. UNEP, Athens, 1989, pp 65-81.
- ETCHEBER H. , JOUANNEAU J.M. et LATOUCHE C. , (1977) - Méthodologie d'étude de la distribution de quelques oligo-éléments métalliques associés aux sédiments d'un estuaire - cas de la GIRONDE. Rev. Int. Océanogr. Med. tome XVIII (1977), pp 91-95.
- FAGERSTRÖM T. et JERNELOV A. , (1977) - Formation of methylmercury from pure mercuric sulphid in Aerobic organic sediment. Water Research, 5, 121p.
- FISCHER H., (1983) - Shell Weight as an independant variable in relation to cadmium content of mollucus. Mar. Ecol., 12, pp 59-75.

- FOSTER P.L. et MOREL F.M.M., (1982) - Reversal of cadmium toxicity in a diatom : an interaction between cadmium activity and iron. Limnol. Oceanogr., 27 , pp 745-752.
- FOWLER S.W. et OREGIONI B., (1976) - Trace metals in mussels from N.W. Mediterranean. Mar. Poll. Bull., 7, 2, pp 26-29.
- FOWLER S.W., (1977)- Trace elements in Zooplankton particule products. Reprinted from Nature, vol.269, n° 5623, pp 51-53, september ,1, 1977. MAC Millon Journales ltd, 1977.
- FRENET-ROBIN M. et BOITEAU H.L., (1977) - Etude du mode de fixation du mercure inorganique et du Methyl-mercure sur les minéraux argileux en suspension. Rev. Int. Oceanogr. Med. Tome XLVIII, pp 67-71.
- FRENET M. (1979) - Phénomènes de fixation et de désorption du mercure sur les argiles dans les eaux à salinité variable. Application à l'estuaire de la Loire. J. Rech. Océanogr. 4 (4), pp 35 - 38.
- GAUTHIER M., FLATAU G. et BERNARD P., (1981) - Tolérance au plomb, au cadmium et au vanadium et résistance aux antibiotiques chez les bactéries hétérotrophes de sédiments marins portuaires ou littoraux. Rev. Int. Oceanogr. Med. Tomes LXIII- LXIV 1981, pp 65-83.
- GOLDBERG E.D., (1975) - The mussel watch - Ajust step in global marine monitoring. Mar. Poll. Bull., 6(7), 111p.
- HABAD H.D., MATOUK T. et ZAIR A. , (1990) - Approche à un aménagement aquacole en mer ouverte. Site de cap Djinet (Est d'Alger). Mémoire d'Ingéniorat en Halieutique, I.S.M.A.L., 143p.
- HADZIDJA O., JURACIC M., LUIC M. , TONKOVIC M. et JERICEVIC B., (1985) - The carbohydrates in relation to minerologic and granulometric composition of surface sediments in the KARST Estuary (River KRKA Estuary), YUGOSLAVIA. Estuarine coastal shelf sci., 21, pp 701-709.
- HARRISON D.P. et MOREL M.M., (1983) - Antagonism between cadmium and iron in the marine diatom *Thalassiosira weissflogii* J. phycol. 19, pp 495-507. Rapp. scient. et tech. de l'IFREMER, n°16, 1989, 111p.
- HASSAM N., (1991) - Contribution à l'étude des peuplements macrobenthiques de la baie de Bou-Ismaïl: Secteur EST. Mémoire de Magister en océanographie biologique, I.S.M.A.L., 146p.
- I.R.P.T.C. (International Register of Potentially toxic Chemicals), (1979) - Data profiles for chemicals for the evaluation of their hazards to the Mediterranean sea, p. 218, 267, 423 et 551.

I.R.P.T.C Bulletin, (1983) - Cadmium 6, 1, pp 16-17.

JENSON S. et JERNELÖV A., (1969) - Nature 223, 753. Sciences et Pêches, Bull. Inst. Pêches marit., n°209, décembre (1971), pp 1-16.

JERNELÖV A., (1972) - Turnover of mercury in aquatic systems, in Environment Research 1969/1971, report by the national swedish Environment protection Bond, Stockholm, pp 26-27.

KHETTIB N. et REZZOUG S., (1991) - Contribution à l'étude de quelques métaux lourds dans les sédiments superficiels de la côte occidentale algérienne. Mémoire d'Ingénieur, I.S.M.A.L., 142p.

KORICHI H.S., (1988) - Contribution à l'étude biologique de deux espèces de Saurels : *Trachurus trachurus* et *Trachurus méditerranéus* et la dynamique de *Trachurus trachurus* en baie de Bou-Ismaïl (ALGER). Thèse de Magister en Oceanographie I.S.M.A.L., (ALGER), 260p.

LECLAIRE L., (1972) - La sédimentation Holocènes sur le versant méridional du bassin Algéro - Baléares (Précontinent Algérien). Mémoire Museum Histoire Naturelle. Paris. Série C, Tome 24, 391p.

LE GAL Y., (1988) - Biochimie marine. Edit. Masson. 285p.

LUBET P., (1973) - Exposé synoptique des données biologique sur la moule *Mytilus galloprovincialis* (L.M.K., 1819). Synop. FAO Pêche 88.

LUNETTA J.E., (1969) - Fisiologia de reproduca dos mexilhoes (*Mytilus perna*). Bol. Fac. Filos. Cienc. Univ. SAO Paolo, Biol. mar., N.S., Vol. 26, pp 33-111.

MADAR J., SILDAN N., PORA E.A., GRACIUM C. et MOLNER E., (1981) - Quelques aspects de réglage endocrinien du métabolisme glucidique chez *Mytilus galloprovincialis* (L.M.K.) de la Mer Noire. Rapp. comm. Int. Mer méd., 27, 4, pp 153-161.

MAHIOUT L., (1990) - Quelques aspects de la dynamique de la pollution bactérienne dans l'embouchure de l'oued Beni-Messous, Mémoire d'Ingénieur, I.S.M.A.L., 88p.

MAMI M., (1990) - Contribution à l'étude de la pollution par quelques éléments métalliques (Zn, Cu, Pb, Cr, Mn, Fe et Cd) dans les sédiments du port d'Arzew, Mémoire d'Ingénieur, U.S.T.H.B. (I.S.T.), 114p.

MARTIN J.M., MEYBECK M., SALVADORI F. et THOMAS A.J., (1976) - Pollution chimique des estuaires : Etat actuel des connaissances. Rapport scientifique et technique, n°22, C.N.E.X.O., 286p.

- MARTINCIC D., NURN BERG H.W. et BRANICA M. , (1987) - Bioaccumulation of metal by bivalves from the LIMSKI KANAL (North Adriatic Sea) - Copper distribution between *Mytilus galloprovincialis* (L.M.K.) and ambient water. The science of the total environment, 60, pp 121-142.
- MARTINCIC D., KWOKAL Z. and BRANICA M., (1989) - Distribution of Zn, Pb, Cd et Cu between different size fractions of sédiments from the Krka River Estuary and the KORNATI Islands (central Adriatic Sea). Marine Chemistry, 28, pp 109-126.
- Mc INNES J.R. et CALABRESE A., (1978) - Response of embryos of the American Oyster, *Crassostrea virginica* to heavy metals at different temperature - in : physiology and behaviour of marine organisms/Mc LUSKY,(D.S.) et BERRIT (A.J.) - Oxford et New York : Pergamon Press. Pev. Trav. Inst. Pêches marit., 45 (1) 1981 (1982), pp 73-83.
- MEDINA J., HERNANDEZ F. , PASTOR A., BEFERULL J.B. et BARBERA J.C., (1986) - Determination of mercury, cadmium and lead in marine organisms by flameless Atomic Absorption Spectrophotometry. Marine Pollution Bulletin Vo.17, n°1, pp 41-44.
- METAYER C., AMIARD J.C. , TRIQUET C. et BERTHET B. , (1985) - Facteurs biologiques et écologiques contrôlant le niveau d'éléments traces (cadmium, plomb, cuivre et zinc) chez les moules et les huîtres de la baie de BOURNEUF - Bull. soc. sc. Nat. Ouest de la FRANCE, nouvelle série, tome 7(2), pp 53-69.
- MIKAC N. , KWOKAL Z. , MAY K. et BRANICA M. , (1989) - Mercury distribution in the KRKA RIVER Estuary (Easter Adriatic Coast) - marine Chemistry, 28, pp 109-126.
- MILLOT C. et TAUPIER-LETAGE I., (1988) - Surface circulation in the Algerian bassin during 1984. Oceanologica Acta, "Océanographie pélagique Méditerranéenne", Ed. H. MINAS et P. NIVAL, pp 79-85.
- MORAITOU - APOSTOLO POULOU M. et VERRIPOULOS G., (1980) - Toxicity of chromium to the marine planktonic copepod *Acartia clausi*. (in press) V^{es} Journées Etud. Pollutions, Cagliari, C.I.E.S.M., pp 797-802.
- NOEL LAMBOT F. , BOUQUEGNEAU J.M. , FRANKENNE F. et DISTECHE A., (1978) - Le rôle des métallothionéines dans le stockage des métaux lourds chez les animaux marins. Rev. Inter. Oceanogr. Med. 49, pp 13-18
- OBIOLS J, and PEIRO L., (1980) - Heavy metals in marine sediments from DELTA del Ebro. V^{es} Journées Etud. Pollutions. Cagliari, C.I.E.S.M., pp 391-394.
- O.M.S. (Organisation Mondiale de la Santé) , (1979) - Principes et directives applicables au déversement de déchets dans le milieu marin. Plan d'Action pour la Méditerranée, 555p.

- O.N.M., (1990) - Office Nationale Algérienne de la météorologie de Dar-El-Beida.
- PALLARY P., (1921) - Histoire de la moule d'Afrique. Bull. soc. Hist. Nat. Af. N. Tome 12, n°5, pp 105-115.
- PAUC H., (1987) - La dynamique de matière en suspension à l'interface fluviomarine. Etude du coin salé de l'oued MAZAFRAN (Ouest algérois). Coll. Intern. Oceanol. Perpignan, C.I.E.S.M., pp 33.
- PINEL R., ASTRUC M. DONRD O., (1990) - Les organométalliques en traces dans l'environnement aquatique - Actualité chimique. Mai - Juin pp 110-116.
- PINTA M., (1979) - Spectrométrie d'Absorption Atomique. Applications à l'analyse chimique. Tome I (2^{ème} édition) Ed. MASSON / O.R.S.T.O.M., 259p.
- PNUE/AIEA/COI, (1986) - Etudes biogéochimiques de certains polluants au large de la Méditerranée (MED POL VIII). MAP Technical Reports Series n° 8, UNEP, Athens, 42p.
- PNUE / FAO / OMS, (1989) - Evaluation de l'état de la pollution de la Mer Méditerranée par le cadmium et les composés de cadmium, MAP Technical Reports séries n° 34, UNEP, Athens, 175p.
- POLLUTION DU RHONE., (1990) - Projet Mer Méditerranée, GREENPEACE. 62p.
- PRAVDIC V. and JURACIC M., (1988) - The environmental capacity approach to the control of marine pollution: the case of copper in the KRKA River Estuary, Chemistry and Ecology, vol.3, pp 105-117.
- PREVOT P. et SOYER - GOBILLARD M.O., (1986) - Combined action of cadmium and selenium on two marine dinoflagellates in culture, *Prorocentrum micans* Ehrenberg and *Grupthecodinium cohnii* Beick. J. Protozool, 33, pp 42-47.
- RAMADE F., (1979) - Ecotoxicologie. 2^{ème} édition MASSON, 5p.
- REFES W., (1989) - Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la baie de BOU-ISMAIL : les peuplements benthiques d'EL Djamila. Mémoire d'Ingéniorat en Halieutique, I.S.M.A.L., 99p.
- R.N.O., (1980) - Rapport du réseau national d'observation 1980. commentaires des résultats obtenus en 1980 sur les points d'appui 30, 15, 4, 16, 31, 9, 32. Ministère de l'environnement et du cadre de vie, C.N.E.X.O., 19p.
- SANDERS J.G. et CIBIK S.J., (1985) - Réduction of growth rate and resting spore formation in a marine diatom to low levels of cadmium. Mar. Environ. Res., 16, pp 65-180.

- SCHWARTZ D., (1969) - Méthodes statistiques à l'usage des medecins et des biologistes 3^{ème} Edit. FLAMMARION MEDECINE - SCIENCES, 318p.
- SEMROUD R., (1983) - Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens : Le lac Mellah (El Kala, Algérie). Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle, C.R.O.P., 120p.
- SERBANESCU O., MUNTEANU G., PECHEANU I. et MIHNEA R., (1980) - *Mytilus galloprovincialis* de la côte roumaine de la Mer Noire. Facteur de concentration en métaux lourds. V^{es} journées Etud. Pollutions, cagliari, C.I.E.S.M., pp 573-576.
- SPAN D., FRENEX F., SERRA C. et LAZARO V.F., (1986) - Répartition homogène du matériel déposé dans les zones prodeltaïques de la Méditerranée Occidentale. Rapport, Comm. Inter. Mer Medit., 30, 2, p 63.
- SUNDA W.G., ENGEL D.W. and THUOTTE R.M., (1978) - Effect of chemical speciation on toxicity of cadmium to grass schrimp, *Palaemonetes pugio*: Importance of free cadmium ions. Environ. sci. Technol., 12(4), pp 409-413.
- TAGUINE K., (1989) - Contribution à l'étude de la pollution par quatre métaux lourds (Cd, Pb, Cu et Cr) dans trois zones du littoral algérien : ALGER, ARZEW et SKIKDA. Mémoire de Technicien Supérieur, I.S.M.A.L., 62p.
- THIBAUD Y. et NOEL J., (1991) - Evaluation des teneurs en mercure, méthylmercure et selenium dans les poissons et les coquillages des côtes françaises de la Méditerranée - PNUE / FAO : Rapports finaux sur les projets de recherche traitant du mercure, de la toxicité et des techniques analytiques - MAP Technical Reports series n°51, UNEP, Athens, 1991, pp 1-18.
- TUNCER S. et UYSAL H., (1982) - Etude des métaux lourds chez les Mollusques dans les différentes zones de la baie d'IZMIR (Turquie). V^{ies} journées d'étud. Pollutions, Cannes, C.I.E.S.M., pp 307-313.
- VERNET J.P., RAPIN F., FERNEXE F., FAVARGER P.Y. et VANDIEVOET E., (1979) - Etude de la répartition du mercure dans le sédiment superficiel marin du plateau continental de la côte d'Azur (France Méditerranée). Rev. Int. Oceanogr. Medi., Tome L III et L IV.
- VOINOVITCH I.A., (1988) - Analyse des sols, roches et ciments. Méthodes choisies. MASSON, 437p.
- VOUTSINOU - TALIADORI F., (1982) - Monitoring of some metals in some marine organisms from the SARONIKOS GULF. V^{èmes} journées Etud. Pollutions, Cannes, C.I.E.S.M., pp 329-333.

ZAOUALI J. , (1973) - Notes sur la présence de *Perna perna* (L.) (*Mytilus africanus* chemn.) dans la région de BIZERTE. Bull. de l'Inst. Oceanogr. de SALAMBO, Vol.2, pp 637-642.

ZIRONO A. and YAMATO S. , (1972) - A pH dependant model for the chemical speciation of copper, zinc, cadmium and lead in sea water. Limnology and Oceanography, 17, pp 661-671.