

# MEMOIRE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR  
D'ETAT EN HALIEUTIQUE

OPTION : MOLYSMOLOGIE ET CHIMIE MARINE

## THEME

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE QUELQUES METAUX  
LOURDS DANS LES SEDIMENTS SUPERFICIELS  
DE LA COTE OCCIDENTALE ALGERIENNE

Préparé par : KHETIB Naïma  
REZZOUG Samya

Soutenu Le : 25 Juin 1991

Devant la commission du Jury suivant :

Mr M. LARID ..... PRESIDENT  
Mlle H.S KORICHI ..... EXAMINATEUR  
Mr B. SELLALI ..... EXAMINATEUR  
Mr M. BOULAHIDID ..... RAPPORTEUR

Nous exprimons notre gratitude aux membres du laboratoire de chimie marine et de pollution qui ont mis à notre disposition les conditions nécessaires pour la réalisation de notre mémoire.

Nos remerciements vont à :

- Mr M. LARID qui a bien voulu , nous faire l'honneur de présider le jury et d'examiner ce travail.
  
- Mr B. SELLALI , qui de par son expérience et ses conseils, a contribué pour mener à terme ce travail.
  
- Melle H.S. KORICHI qui, malgré ses nombreuses occupations, a bien voulu nous être disponible.
  
- Mr M. BOULAHIDID , notre promoteur, qui a suivi et dirigé ce projet.

Que Mr M. AZZOUZ et Mr B. BOUDJELLAL veuillent bien accepter notre profonde reconnaissance pour leur aide précieuse, leurs conseils leur disponibilité et leurs encouragements. Ainsi que Mr B. Naceur , sans lequel les prélèvements d'échantillons auraient été difficiles à réaliser.

Nos remerciements les plus respectueux vont aussi à Mr A. BAKALEM et Mr R. BELKASSA de nous avoir aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

- S O M M A I R E -  
-----

INTRODUCTION  
-----

PARTIE 1 : Généralités . . . . .	4
PARTIE 2 : Concentrations des métaux lourds dans l'eau de mer . .	16
Relations sédiments -métaux lourds- organismes marins..	20
PARTIE 3 : Cycle biogéochimique des métaux lourds dans le milieu marin. . . . .	25
PARTI 4 : Bioaccumulation . . . . .	29
Biomagnification	
Toxicité	
PARTIE 5 : Présentation de la zone d'étude . . . . .	58
PARTIE 6 : Matériel et méthodes . . . . .	72
PARTIE 7 : Résultats et interprétation . . . . .	81
Conclusion . . . . .	123
Bibliographie. . . . .	127

" Homme libre, toujours tu chériras la mer "

BAUDELAIRE.

- I N T R O D U C T I O N -  
-----

Elle s'appelle terre, elle devrait s'appeler " Oceanos " ou "Maris". Formée à 71 % d'eau, notre planète est un gigantesque aquarium où la vie saisit le moindre prétexte pour apparaître. Les êtres vivants... L'Homme se sont adaptés et ont vécu en harmonie avec la nature jusqu'en 1750 où le génie scientifique des Hommes créa une nouvelle science : la chimie de synthèse. L'Homme, dès lors s'initia à la fabrication de produits irrecyclables, permanents... éternels, dans le but de satisfaire ses besoins vitaux. Ce geste provoqua un conflit-entre-tui et-la nature. Une lente addition s'accéléra ainsi avec la société de consommation puis de gaspillage et cela dura deux cents ans. Aujourd'hui, cette addition est dite pollution. La toxicité des produits créés par l'Homme prend petit à petit la place de la vie. Lavoisier postula " rien ne se crée, rien ne se perd, tout se transforme " le dirait-il encore de nos jours ?

Partout à travers le monde, des mers et des océans sont présents, mais la Méditerranée, cette mer quasi-fermée est un cas à part. Elle n'appartient à aucun système océanique, elle est l'exception dans l'unité de l'océan. Agréssée par des produits en majorité à finalité toxique, elle présente aujourd'hui tous les symptômes alarmants de la pollution, signes négatifs de notre-civillisation actuelle.

Afin de sauvegarder cette ressource vitale, un programme inter-gouvernemental ( programme MED-POL-F.A.O. ) a été adopté.

La présente étude concerne l'analyse de certains métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Mn, Pb et Zn) dans les sédiments superficiels de la zone occidentale algérienne, par l'emploi de la méthode d'analyse du spectrophotomètre d'absorption atomique. Ce projet est réparti en sept (07) parties. Les six (06) premières concernent des généralités sur les métaux lourds, leur concentration dans l'eau et dans le sédiment marin, une approche théorique de la toxicité des polluants métalliques sur la chaîne trophique marine et l'Homme, une description de la zone d'étude et des procédés de traitements et d'analyse des échantillons. La dernière partie se rapporte aux résultats obtenus, à leur interprétation, une critique de la méthode employée y est retrouvée, une conclusion générale et une bibliographie clôturent le projet en question.

- P A R T I E : 1 -

-----  
G E N E R A L I T E S  
-----

1 - Définitions	
1.1 - Les métaux	6
1.2 - Les métalloïdes.	6
1.3 - Les alcalins.	6
1.4 - Le alcalino-terreux.	7
2 - Les métaux lourds.	7
2.1 - Les métaux essentiels ou oligoéléments	7
2.2 - Les métaux non essentiels.	8
3 - Origine des métaux.	9
3.1 - Origine naturelle	9
3.2 - Origine anthropogène.	10
3.2.1 - Sources anthropogènes d'origine certaine.	11
- L'Arsenic ( As )	11
- Le Cadmium ( Cd )	11
- Le Chrome ( Cr )	12
- Le Cuivre ( Cu )	12
- Le Manganèse ( Mn )	13
- Le Plomb ( Pb )	13
- Le zinc ( Zn )	14
3.2.2 - Sources anthropogènes d'origine incertaine.	15

## 1 - Définitions : (31) (34)

### 1.1 - Les Métaux :

" Corps simples, doués d'un éclat particulier appelé éclat métallique, conduisant bien en général la chaleur et l'électricité, et qui possède la propriété de donner, en se combinant avec l'oxygène au moins un oxyde basique ".

" tous les métaux sont solides à la température ordinaire, sauf le mercure qui est liquide. Ils sont doués de propriétés mécaniques : dureté, tenacité, malléabilité, ductilité qui conditionnent leurs nombreux emplois ".

Exemples de métaux : l'or, l'argent, le platine, le fer, le cuivre, le zinc, le plomb, le mercure.....

### 1.2 - Les Métalloïdes :

" Synonyme ancien de non métal ". " Corps simple non-métallique " " les non-métaux, ou métalloïdes, sont mauvais conducteurs de la chaleur et de l'électricité, ils n'ont pas en général, d'éclat métallique, et tous leurs composés oxygénés sont des oxydes neutres ou des oxydes acides. Les non-métaux sont : l'hydrogène, le fluor, le chlore, le brome, l'iode, l'oxygène, le soufre, le sélénium, le tellure, l'azote, le phosphore, l'arsenic, le carbone, le silicium, le bore ".

### 1.3 - Les Alcalins : ( ou métaux alcalins )

Les métaux alcalins sont univalents, très oxydables comme le lithium, le sodium, le potassium, le rubidium, le césium. Le francium, la combinaison avec l'oxygène donne un alcali.

#### 1.4 - Les alcalino - terreux :

" Se dit des métaux du groupe du calcium ( calcium, strontium, baryum et radium )".

#### 2 - Les métaux lourds :

Tous les métaux et les non-métaux, hormis les métaux alcalins et les alcalino-terreux sont des " métaux-lourds ". Les métaux lourds, retrouvés dans l'eau sous forme dissoute, particulaire ou complexée, adsorbés dans les sédiments ou transformés par les bactéries, sont classés en deux groupes distincts :

- les métaux essentiels,
- les métaux non-essentiels.

#### 2.1 - Les métaux essentiels ou oligoéléments :

Les métaux essentiels ou oligoéléments au nombre de onze (11) sont considérés comme indispensables pour les organismes vivants ( SCHROEDER et Coll., 1970 in 7 p.3 )

Ce sont : le fer, le cuivre, le zinc, le cobalt, le manganèse, le chrome, le molybdène, le vanadium, le selenium, le nickel et l'étain.

Ces éléments rentrent dans les réactions biochimiques de la matière vivante et ont ainsi un rôle nutritionnel

( UNDERWOOD, 1956 in 7 p.3 )

( PEQUEGNAT et COLL., 1969 in 59 p.2 ) ont calculé qu'il faut tout au plus 2,7 ppm en poids sec ( PS) de zinc pour satisfaire les besoins biochimiques des organismes marins.

De plus ce métal est un constituant essentiel pour plus de cent (100) enzymes telles que les déshydrogénases et les carboxypéptidases.

Les métaux essentiels sont le plus souvent liés à des protéines.

#### Exemples :

Le fer contenu dans l'hémoglobine et le manganèse présent dans la chlorophylle.

Seuls ces métaux se retrouvent sous forme de nodules rencontrés dans les plaines abyssales des océans ( ASSO, 1982 )(7)

#### 2.2 - Les métaux non-essentiels :

Les métaux non-essentiels n'ont jusqu'à présent aucun intérêt dans les processus biologiques connus des organismes vivants. Néanmoins accidentellement ingérés et en quantités infimes, ont un rôle toxique. Ils sont donc nommés " métaux toxiques ".

#### Exemple : Le plomb

Des protéines ou métalloprotéines dont les métallothionéines ont la propriété de fixer les métaux toxiques ( NOEL -

LAMBOT ET COLL. , 1978 in 7 p.4-7. Elles se retrouvent chez différents organismes marins et sont ~~considérées~~ comme des pièges à cadmium et dont la synthèse est stimulée chez les vertébrés par la présence de ce métal.

Tous les métaux essentiels ou non essentiels deviennent relativement toxiques lorsqu'ils dépassent le seuil limite spécifique à chacun .

Exemples : Le sélénium, lorsque sa concentration varie entre

0,01 et 0,04 ppm ( DE MARTELIERE, 1983 in 62 p. 4 )

La concentration moyenne de cadmium pour un homme âgé de

cinquante (50) ans est de l'ordre de quinze (15) à cent

(100) µg ( TIMIZAR, 1989 ) ( 65 ) .

### 3 - Origine des métaux :

La toxicologie ou science des pollutions doit s'intéresser

à toutes les agressions subies par le milieu marin

( FONTAINE, 1976 in 7 p. 4 ) .

L'apport de polluants dans l'environnement aquatique a

deux origines essentielles et distinctes :

- une origine naturelle,

- une origine anthropogène.

### 3.1 - Origine naturelle :

L'apport naturel en métaux est fourni par différentes voies

et les phénomènes naturels suivants :

- Les fleuves, les rivières et les oueds particulièrement au

moment des grandes crues.

- La voie atmosphérique non négligeable, surtout les vents et

les pluies, ( JOHNSTON, 1976 in 7 p. 4 ) met en évidence

l'importance quantitative des poussières entraînées,

par les vents du secteur sud en Afrique du nord ( 30 à 500

millions de tonnes par an ). En dehors de leurs teneurs nat-

urelles, les poussières constituent de véritables pièges à

polluants ( SELALI, 1986 ) ( 59 ) .

- l'érosion et le lessivage des sols côtiers.
- Les activités sismiques et volcaniques non négligeables dans la région méditerranéenne.
- Les phénomènes géothermiques intéressent les métaux les plus volatiles, tel que le mercure et le plomb ( LABEYRIE, 1982 in 62 p. 5 ).
- Les gisements sous-marins
- La possibilité de chute de météorites.

### 3.2 - Origine anthropogène :

La contamination du milieu marin par les métaux lourds anthropogéniques représente, selon GROUSSET et DONARD (1989) (28) un danger plus important que celui des rejets d'hydrocarbures ou même d'éléments radioactifs.

Ainsi, les métaux traversent les masses d'eau sous formes dissoute et particulaire et sont assimilés par les organismes marins. D'après BOUAM (1989) (15), le cuivre, le plomb, le zinc, le cadmium, le chrome, le mercure et le fer sont les principaux ions métalliques présents dans les effluents. Les industries jouent un rôle prédominant dans la pollution du milieu marin.

Les eaux usées domestiques et agricoles y contribuent aussi. Désormais toute activité humaine semble agressive vis-à-vis de l'environnement.

### 3.2.1 - Sources anthropogènes d'origine certaine :

#### - L'arsenic ( As ) :

(	métallurgie du verre	1		
(		1		
(	métallurgie de la céramique	1		
(		1		
Arsenic-	les tanneries	1	-> obtention du	-> mer
(		1		
(	les teintures	1	déchet ASO2	
(		1		
(	les pesticides	1		

utilisation de l'arsenic                      devenir du déchet

cent (100) à cinq cents (500) µg d'arsenic (ASO2) se retrouvent dans un (01) litre d'eau de mer, selon l'OMS (1979) (46).

#### - Le Cadmium ( Cd ) :

(	métallurgie	1		
(		1		
(	pétrochimie	1		
(		1		
Cadmium-	galvanoplastie	1	-> déchet du	-> mer
(		1		
(	production d'engrais phos-	1	cadmium.	
(	phatés.	1		
(		1		
(	opérations de traitement	1		
(		1		
(	électrolytique.	1		

utilisation du cadmium                      devenir du déchet

7000 Tonnes de déchets de Cadmium par an, sont déversés en mer ( TIMIZAR, 1989 ) (65).

- Le Chrome ( Cr ) :

	( électroplacage, alliages	1	
C	(	1	
	( tanneries	1	
H	(	1	
	( teintures des textiles et de la laine	1	-> déchet du -> mer
R	(	1	chrome.
	( chromates utilisés comme inhibiteurs	1	
O	(	1	
	( d'anticorrosion.	1	
M	(	1	
	( production des pigments et des plasti-	1	
E	(	1	
	( que. _____	1	

utilisation du chrome.

devenir du déchet

- Le cuivre ( Cu ) :

	( traitement du métal par électrodéposition	1	
	(	1	
	( traitement des conducteurs électriques	1	
	(	1	
	( industrie des bijoux et objets ornementaux	1	
C	(	1	
	( industrie chimique	1	-> déchet du -> mer
U	(	1	cuivre.
	( conservation du bois, fabrication de	1	
I	(	1	
	( cellulose du papier.	1	
V	(	1	
	( production des engrais	1	
R	(	1	
	( raffinage du pétrol	1	
E	(	1	
	( construction mécanique, navale, batiments	1	
	(	1	
	( alliage. _____	1	

utilisation du cuivre

devenir du déchet.

50 % de la production mondiale de cuivre est utilisée dans l'électricité.

- Le Manganèse ( Mn ) :

	( Sidérurgie ( fonte, acier) )		
	( )	-> déchet de	-> Mer
Manganèse -	( )	Manganèse	
	( industrie chimique )		
	( )		
	( piles électriques, verrerie )		
	( )		

utilisation du Manganèse                      devenir du déchet

95 % du manganèse produit est utilisé en sidérurgie.

5 % sont utilisés en industrie chimique.

= le plomb ( pb ) :

	( l'électroplacage des métaux	1	
	( peintures	1	
	( produits photographiques	1	
P	( allumettes, explosifs	1	
L	( alliage	1	
O	( caractères d'imprimerie (journeaux)	1	-> déchet du -> mer
M	( blindage des cables électriques	1	plomb.
B	( plomberie	1	
	( enduits anti-rouille.	1	
	( pesticides	1	
	( céramique	1	
	( armerie	1	
	( batterie	1	
	( additif antidétonnant dans l'essence	1	
	(	1	

utilisation du plomb

devenir du dechet.

- Le Zinc ( Zn ) :

	( Industries de galvanisation	1	
	(	1	
	( ( électrozingage )	1	
	(	1	
	( installations de galvanisation de l'acier	1	
	(	1	
Z	( production de la pâte de cellulose	1	-> déchet du
	(	1	Zinc.
I	( et du papier journal ( imprimerie )	1	1
	(	1	1
I	( électricité	1	1
N	(	1	<del>1</del>
	( eau réfrigérante	1	<del>Mer</del>
C	(	1	
	( production des vernis et de la viscosité	1	
	(	1	
	( bâtiment ( émissaire, peintures et répara-	1	
	(	1	
	( tion navale)	1	
	(	1	
	( nombreux alliages	1	

utilisation du zinc

devenir du déchet.

Des experts des principales institutions de l'O.N.U ont estimé la charge polluante annuelle en zinc en méditerranée à 25 000 tonnes ( TIMIZAR, 1988 ) (64) .

L'utilisation des métaux lourds dans l'industrie humaine est de plus en plus importante et variée. Les déchets, souvent non biodégradables donc irrecyclables, suivent un même et unique chemin :

le milieu marin. Celui ci, de plus en plus menacé manifeste tous les symptômes alarmants de la pollution.

### 3.2. - Sources anthropogènes d'origine incertaine :

Certaines sources dont l'origine est incertaine, contribuent à la pollution du milieu marin. MERLINI (1980 in 9 p.61) suppose que le manganèse, le nickel et le mercure seraient susceptibles de se retrouver dans le pétrole brut. Une marée noire entraînerait donc une contamination du milieu aquatique par ces métaux. Cette pollution est aléatoire lorsqu'il s'agit de rejets pétroliers évoluant au grés des vents et des courants. Elle est plus ou moins concentrée pour les installations off-shore. De même les pipe-lines, traversant le milieu marin, y participeraient en cas de fuites, d'érosion ou de ruptures provoquées par des phénomènes naturels tels que les raz-de-marées.

" La mer est comme cela : elle efface ces choses de la terre  
parcequ'elle est ce qui y'a de plus-important au monde "

LE CIEZIO (- EULLABY ).

- P A R T I E 2 -

CONCENTRATION DES METAUX LOURDS DANS L'EAU DE MER  
RELATIONS SEDIMENTS - METAUX LOURDS - ORGANISMES MARINS.

1. - Concentration des métaux lourds dans l'eau de mer.	
1.1 - Tableau des concentrations des métaux lourds ( As, Cd, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn ) dans l'eau de mer (RODIER et COLL., 1978) (52).	18
1.2 - Tableau des concentrations du cadmium pour les côtes Algériennes ( ASSO, 1982 ) (7)	19
1.3 - Réglementation de la concentration du plomb dans la mer méditerranée.	19
2 - Relations sédiments - métaux lourds - organismes marins :	
2.1 - Définition du sédiment	20
2.2 - Répartition zonale des sédiments marins	21
2.3 - Relations sédiments - métaux lourds	21
2.4 - Relations sédiments - métaux lourds - organismes marins	22
2.5 - Variations de la concentration des métaux lourds dans les sédiments marin en fonction des saisons.	23

1 - Tableau des concentrations des métaux lourds ( As, Cd, Cr, Cu Mn, Pb et Zn ) dans l'eau de mer selon Rodier et Coll.(1978) (52):

	F.A.O (1971)	GOLDBERG (1963)
Eléments	Concentration (mg/l)	Concentration (mg/l)
As	0,002	0.003
Cd	0,00002	0.0001
Cr	0.00004	0.00005
Cu	0.001	0.003
Mn	-	0.002
Pb	0.00002	0.00003
Zn	0.002	0.1

Les concentrations des métaux lourds dans l'eau de mer ( F.A.O, 1971 ) sont inférieures à celles de GOLDBERG(1963). Cela n'implique pas que la contamination du milieu marin par les métaux lourds est moindre en 1971. Toutefois, l'évolution de la technologie a permis ces dernières années de fournir des résultats plus précis, sans oublier que les conditions physicochimiques et biologiques du milieu marin ainsi que les variations climatiques... interviennent dans ces changements.



En 1978, la réglementation la plus rigoureuse concernait la Yougoslavie. Dans un pays comme la FRANCE où l'industrie est en avant plan, la réglementation de la concentration du plomb dans l'eau de mer est moins sévère que celle de la YOUGOSLAVIE. La TUNISIE n'étant pas dotée d'une technologie de pointe ne peut pas détecter avec précision des quantités infimes de plomb. . . . .

Toutefois, sa réglementation adopte une concentration qui semblerait tolérable dix (10) fois plus grande que celle de la YOUGOSLAVIE et cinq (05) fois plus grande que celle de la FRANCE .

Le changement des réglementations des concentrations des polluants métalliques d'un pays à un autre dénote une mauvaise perception de la nocivité exacte de ces polluants. Cependant, rien ne prouve qu'une réglementation est respectée de manière permanente ou que la surveillance de la pollution par les métaux lourds dans l'eau de mer soit continue.

En Algérie, à notre connaissance aucune réglementation concernant les métaux lourds dans l'eau de mer n'a été adoptée. L'évolution de ce genre de pollution doit être sévèrement contrôlée . Une réglementation adéquate doit être mise au point dans les plus brefs délais.

## 2 - Relations sédiments - métaux lourds - organismes marins :

### 2.1 - Définition du sédiment :

" Ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant séparément subi un certain transport " ( FOUCAULT et RAULT, 1988 )(24).

## 2.2 - Répartition zônale des sédiments marins :

Le sédiment marin, ou d'un milieu aquatique en général, est un immense laboratoire de chimie où se produisent des transformations biogéochimiques. Il est généralement réparti verticalement en deux zones :

- zone d'oxydation ou de bioturbation : zone aérobie, en contact permanent avec l'eau de mer. Les organismes benthiques assurent le mélange de cette zone avec le milieu aquatique.
- zone de réduction, sans bioturbation : zone anaérobie en contact avec la zone de bioturbation, où les échanges de matières s'effectuent essentiellement par diffusion par l'intermédiaire des eaux interstitielles. Des cas extrêmes de répartition verticale sont observés, ainsi un sédiment peut être à zone uniquement réductrice (milieu fermé) les caractéristiques biophysico-chimiques et granulométriques du sédiment interviennent dans la distribution spatiale des métaux lourds. Ainsi, la masse sédimentaire est le lieu de réserve des polluants métalliques.

## 2.3 - Relations sédiments - Métaux lourds :

Les taux métalliques déterminés au niveau de la couche superficielle du fond marin proviennent des apports exogènes. Ainsi RAPIN et COLL. (1981) (in 59 p.77) ont démontré que l'augmentation des concentrations métalliques à la surface des sédiments n'est due qu'à l'évolution de la pollution et non pas à une migration des métaux de bas en haut à travers la colonne sédimentaire.

### Exemples :

. Le cadmium se trouve dans le sédiment pour 80 % associé aux carbonates ou adsorbé aux éléments particulaires. Effectivement selon HARDING et WHITTON ( 1978 in 9 p.322), La grande partie des métaux, en particulier le cadmium, est retenue dans les sédiments.

. Selon les conditions du milieu, le cuivre se retrouve associé à des sulfures dans des sédiments réducteurs.

. Le plomb se retrouve adsorbé aux hydroxydes de fer sous forme d'hydroxydes et peut être de sulfates voir de sulfures.

. Le chrome, en zone polluée, se retrouve sous forme d'hydroxydes ou de chromates, il a peu d'affinité chimique pour la matière organique.

Ces métaux se retrouvent parfois sous des formes chimiques peu stables, le stockage dans le sédiment n'est pas forcément définitif. La qualité des sédiments est donc un reflet de la qualité du milieu marin.

#### 2.4 - Relations sédiments - métaux lourds - organismes marins :

La contamination du sédiment par les métaux lourds a une répercussion directe ou indirecte sur la vie marine.

L'interaction des métaux lourds avec les bactéries dans le sédiment a un rôle important dans la complexation ou le relargage des polluants métalliques du sédiment.

La faune et la flore marine constituent une fraction non négligeable de ce sédiment : fraction organogène.

La flore intervient dans la stabilisation du sédiment. Ainsi certaines zones où la flore est détruite voient disparaître 50 à 90 % de leurs sédiments ( MINIA, 1987 ) (40).

Le sédiment procure à la plante les éléments nécessaires à son développement en même temps que les métaux emmagasinés. La faune benthique peut réutiliser et remobiliser les métaux du sédiment marin. MONIER et WILLIAMS ( 1938 in 22 p.41 ), Montrent que l'accumulation du plomb industriel dans les couches superficielles du sédiment côtier entraîne une augmentation de sa concentration dans les coquillages. Selon BOKRETAOUI et BOUTOUILI ( 1989 ) (17), des relations étroites existent entre la répartition de la faune benthique des substrats meubles et la texture des sédiments. Le sédiment a un rôle écologique dans la répartition des espèces benthiques.

#### 2.5 - Variations de la concentration des métaux lourds dans les sédiments marins en fonction des saisons :

A de faibles profondeurs les conditions oxydoréductrices du sédiment marin sont liées aux variations biophysico-chimiques ( bactéries, température, salinité, oxygène dissous, PH...), elles même, dépendent des saisons et du changement climatique. En conséquence certains métaux lourds subissent des transformations modifiant la composition du sédiment. C'est le cas ci-dessous observé par FORSTNER ( 1982 in 50 p.107 ) dans une région de la méditerranée ( Baie des Anges, FRANCE ) :

. En été : Le cadmium précipite sous forme de sulfures de cadmium. Les conditions sont très réductrices car le milieu est stagnant. Ainsi, en cette saison le sédiment serait riche en sulfures de cadmium.

. En hiver : Une désorption et un relargage d'une partie des ions métalliques précipités s'observent. Les conditions sont oxydantes le milieu est brassé. Ainsi en hiver, le sédiment s'appauvrit en métaux lourds.

Ces phénomènes ont une grande importance pour l'évaluation de la toxicité potentielle d'un sédiment contaminé.

"La vie est la caractéristique la plus importante de la mer....

Nous sommes tous des enfants de la mer "

BOMBARD.

- P A R T I E : 3 -

CYCLE BIOGEOCHIMIQUE DES METAUX LOURDS DANS LE  
MILIEU MARIN.

- Cycle biogéochimique des métaux lourds dans le milieu marin :

Le déroulement général du cycle biogéochimique semble s'effectuer selon deux grandes étapes. Une première consisterait en un piégeage des polluants métalliques par les particules en suspension, la biomasse marine et le sédiment en fonction des conditions physicochimiques du milieu marin et cela par :

\* précipitation : phénomène qui s'opère lorsque le polluant métallique en solution chute par gravitation au fond du milieu marin. Cependant en eau profonde certains métaux pourraient retourner en solution bien avant d'atteindre le fond.

\* Adsorption : phénomène qui s'opère lorsque les molécules ou les ions métalliques se fixent à la surface des composantes marines ( particules, organismes marins, sédiments )..

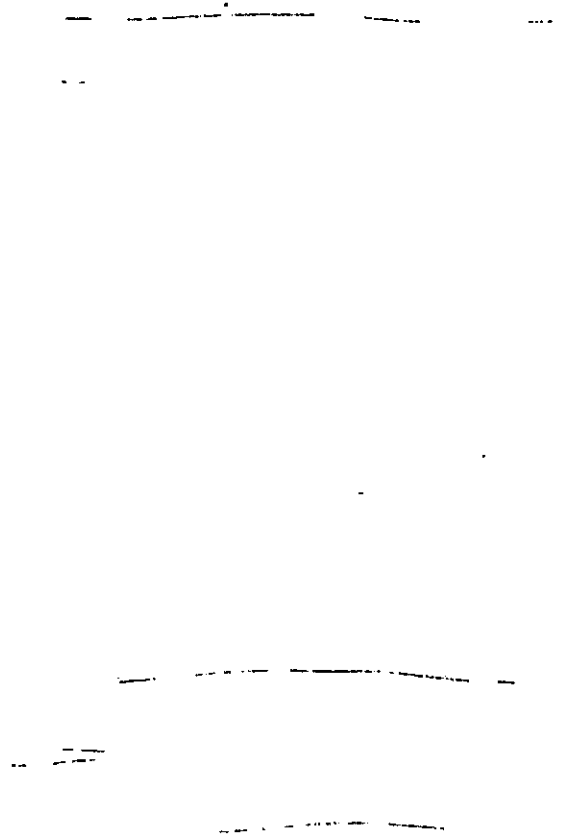
\* Absorption : C'est le passage du polluant métallique dans un organisme marin.

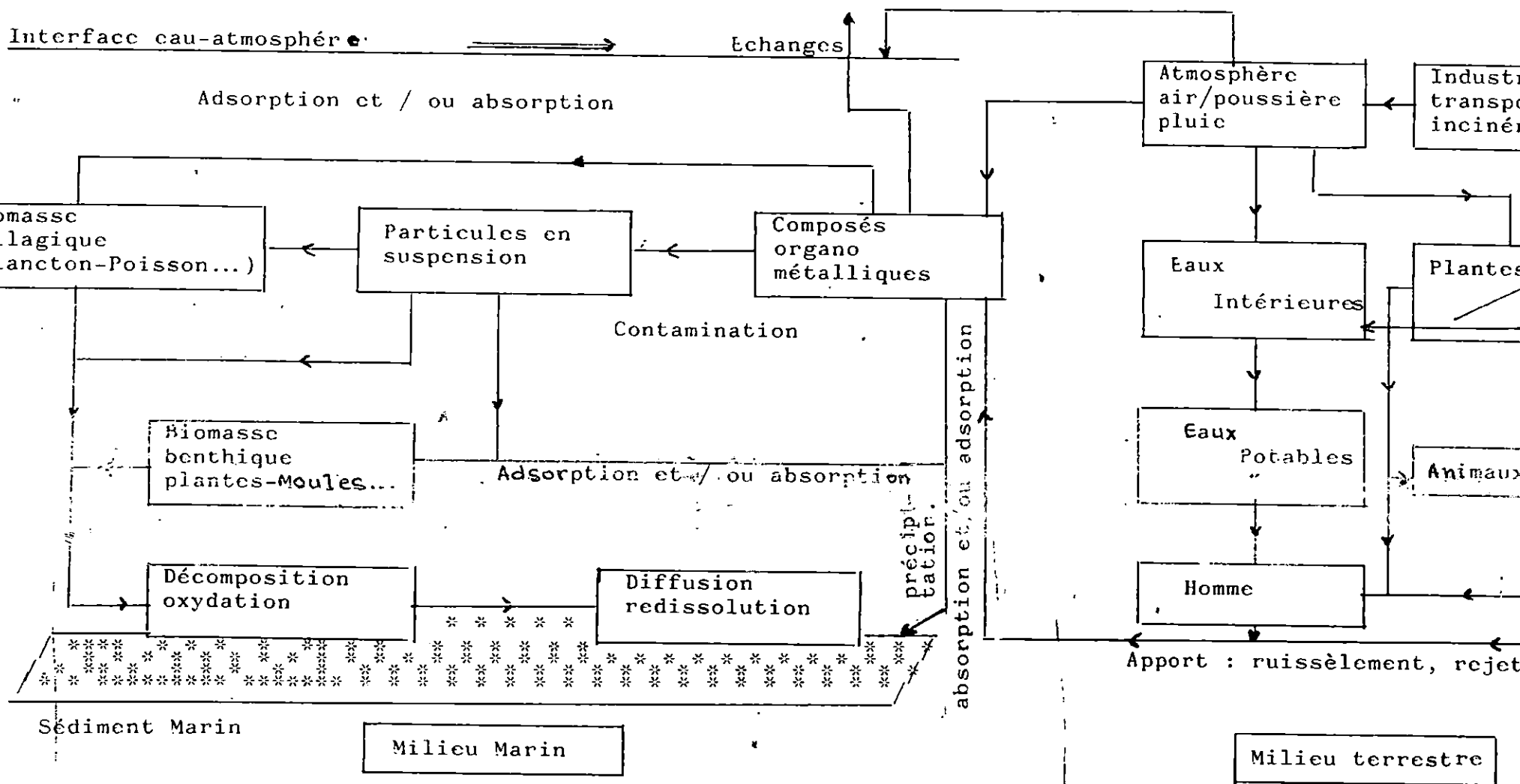
\* Sédimentation : phénomène s'opérant lorsque les ions métalliques se superposent formant ainsi des couches sédimentées. " Les animaux benthiques participent à l'accélération du dépôt des particules et leurs métaux lourds associés en les consolidant dans des matières fécales ". ( SOROKIN, 1972 in 6 p. 6 )

Ainsi les animaux benthiques participent à la sédimentation du milieu marin.

. Une deuxième étape inverse à la première consisterait à un relargage de ces polluants par **désorption** ou sorption, phénomène inverse à l'adsorption, par **diffusion** ou propagation dans le milieu marin, par **redissolution** ou remise en solution des produits précipités par **décomposition** et reminéralisation des matières organiques et parfois **même** par une redistribution, par le biais des organismes marins.

Le schéma de la figure n°1 page 28 illustre ces phénomènes.





1: Schéma général du cycle biogéochimique des métaux lourds dans le milieu marin et en rapport avec le milieu terrestre (inspiré de martin, 1977 in la recherche N° 78, 1977 et de U.N.E.P et coll ; 1986 in AQUAMEUR 1990)

"Qu'est ce qu'un poison ? Toutes les choses sont toxiques et aucune n'est exempte de poison. C'est la dose qui fait le poison."

PARACELSE.

- PARTIE : 4 -

-----  
BIOACCUMULATION

-----  
BIOMAGNIFICATION

-----  
TOXICITE

1 - Bioaccumulation et Biomagnification :	.33
2 - Toxicité . . . . .	.34
2.1- Définition. . . . .	.34
2.2- Manifestations de la toxicité . . . . .	.34
- Selon CHOUIKHI ( 1980 ) (20). . . . .	.34
* La toxicité aiguë	
* La toxicité chronique.	
- Selon THOMAZEAU ( 1981 ) (63) . . . . .	.35
* La toxicité aiguë	
* La toxicité sub létale	
- Selon RAMADE( 1979 ) (49). . . . .	.35
* La toxicité à long terme	
2.3 - Nocivité d'un polluant. . . . .	.37
2.3.1- La persistance. . . . .	.37
2.3.2 - La bioaccumulation. . . . .	.37
2.3.3 - La toxicité . . . . .	.37
3 - Mode de pénétration d'un toxique dans l'organisme : . . . . .	.38
- La voie respiratoire. . . . .	.38
- La voie trans-tégumentaire. . . . .	.38
- La voie trophique . . . . .	.38
4 - Action des produits toxiques sur la chaîne trophique marine .	.38
5 - Les effets des polluants métalliques ( l'Arsenic, le Cadmium, le chrome, le cuivre, le Manganèse, le plomb et le zinc ) sur différents organismes marins et sur l'Homme. . . . .	.40

Cas de l'Arsenic :	.40
- Les algues.	.40
- Les échinodermes.	.41
- Les mollusques.	.41
- Les crustacés.	.41
- Les poissons.	.42
- Les oiseaux et les mammifères marins.	.42
- L'Homme.	.42

Cas de Cadmium :	.43
- Les bactéries.	.43
- Le plancton.	.43
- Les annélides et les échinodermes.	.44
- Les mollusques.	.44
- Les crustacés.	.44
- Les poissons.	.45
- Les mammifères marins.	.45
- L'Homme.	.46

Cas de Chrome :	.47
- Les mollusques.	.47
- L'Homme.	.47

Cas du Cuivre :	.47
- Les mollusques.	.47
- Les crustacés.	.47
- Les poissons.	.47
- L'Homme.	.48

Cas du Manganèse :	.48
- Les mollusques . . . . .	.48
- Les crustacés . . . . .	.48
- Les poissons : . . . . .	.48
Cas du plomb :	.48
- Les végétaux . . . . .	.48
- Les mollusques . . . . .	.49
- Les poissons . . . . .	.49
- Les oiseaux aquatiques . . . . .	.49
- Les organismes prédateurs marins. . . . .	.49
- L'Homme. . . . .	.50
Cas du Zinc :	.51
- Les mollusques . . . . .	.51
- Les crustacés . . . . .	.51
- Les poissons . . . . .	.53
- L'Homme . . . . .	.53
6 - Interactions des métaux lourds ( Antagonisme - synergie ) .	54
6.1 - Définitions. . . . .	54
6.2 - Interactions . . . . .	54
- Exemple 1 : Le phytoplancton. . . . .	55
- Exemple 2 : Les mollusques . . . . .	55
- Exemple 3 : Les poissons . . . . .	56
- Exemple 4 : Les mammifères et l'Homme. . . . .	56

1 - Bioaccumulation et Biomagnification :

- La conception Anglosaxonne ( ISENSEE et COLL, 1973 in 20 p.12) :

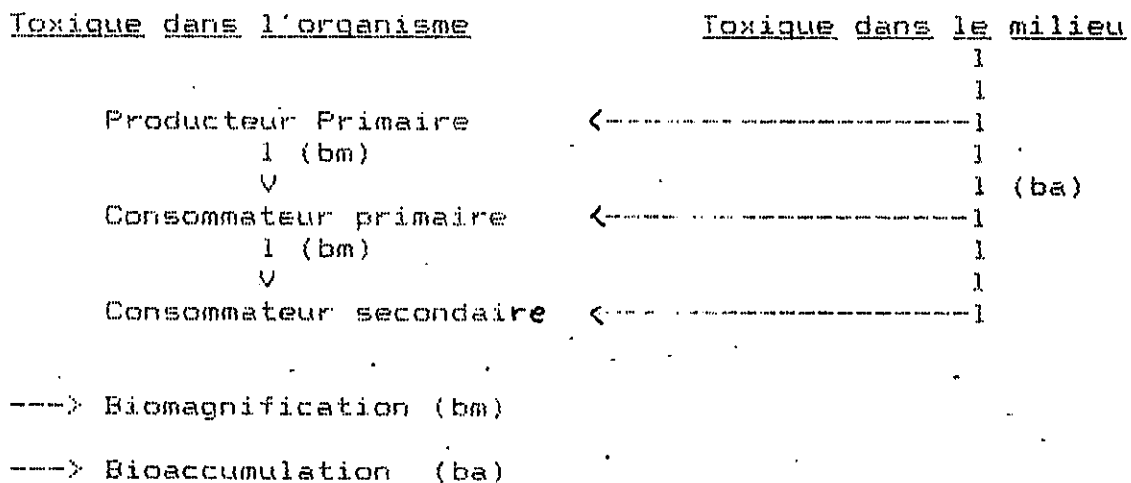
La " bioaccumulation " est l'accumulation d'un toxique par tous les processus.

La " biomagnification " est la concentration d'un toxique après consommation du plus petit organisme de la chaîne par le plus grand.

- Le comité Européen ( Berlin, 1977 in 20 p.12 ) :

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 cumulé par une chaîne trophique : contamination indirecte.



1		1
1	• Schéma des voies d'accumulation et de transfert	1
1		1
1	d'un toxique dans trois ( 03 ) maillons de la chaîne	1
1		1
1	trophique ( CHOUKHI, 1980 ) (20)	1
1		1
1		1

Ainsi la biomagnification est la possibilité d'accumuler un polluant. Ce processus de concentration continu tout le long de la chaîne trophique et le seuil de toxicité peut alors être atteint indirectement.

La bioaccumulation regroupe la biomagnification ainsi que les phénomènes de contamination directe de l'animal à partir du milieu extérieur : effet de bain ( ASSO, 1982 ) ( 7 ) .

Les métaux lourds font partie des substances toxiques de bioaccumulation ( HAMZAQUI, 1983 ) ( 29 ) .

## 2 - Toxicité :

### 2.1 - Définition : ( 32 ) .

"Quotient de la quantité d'une substance nécessaire pour tuer un animal par le poids de cet animal exprimé en kilogrammes"  
Le rejet d'un agent contaminant dans le milieu environnant d'un organisme, peut provoquer :

- une absence d'effet,
- une métabolisation,
- un effet toxique
- une bioaccumulation directe ou une biomagnification par l'intermédiaire de la chaîne alimentaire.

### 2.2 - Manifestation de la toxicité :

- Selon CHOUIKHI ( 1980 ) ( 20 ) . on distingue :

#### \* La toxicité aiguë :

"C'est le résultat d'une absorption unique à forte dose ou du maintien d'un organisme pendant un temps relativement court dans un milieu donné renfermant une concentration définie de la substance étudiée. Un effet létal en sera la conséquence".

\* La toxicité chronique :

"C'est le résultat de faibles doses administrées pendant de longues périodes, ou du maintien prolongé ou répété d'un organisme dans un milieu donné, ayant pour conséquence des troubles métaboliques ou physiologiques susceptibles d'aboutir à la mort".

- Selon THOMAZEAU (1981) ( 63 ) on distingue :

\* La toxicité aiguë :

La toxicité aiguë provoque la mort ou de très graves troubles physiologiques après un court délai suivant l'absorption en une ou plusieurs fois par voie transtégumentaire, pulmonaire ou buccale d'une dose assez importante d'un composé nocif.

Les actions aiguës peuvent toucher divers organes à savoir les système nerveux et circulatoire ou modifier certaines enzymes ainsi le cyanure absorbé à de faibles doses en valeur absolue ( une dizaine de p.p.m ) bloque le processus de la respiration.

\* La toxicité sublétales :

Cette toxicité a un effet insidieux par modifications histologiques et physiologiques influençant ainsi :

- Le comportement par perte d'équilibre, par paralysie partielle ou par immobilisation complète ( F.A.O, 1981 ) ( 23 )

- La reproduction et la croissance sans toutefois provoquer de mortalité rapidement observable.

- Selon RAMADE ( 1979 ) ( 49 )

En plus des toxicités observées par THOMAZEAU ( 1981 ) ( 63 ) on distingue une troisième toxicité.

\* La toxicité à long terme :

La toxicité à long terme se manifeste par "les effets toxiques produits non pas par l'absorption en une brève période de doses assez fortes, mais au contraire, de l'exposition à de très faibles concentrations, parfois même à des doses infimes, à des substances polluantes dont la répétition d'effets cumulatifs finit par provoquer des troubles beaucoup plus insidieux".

CHOUIKHI ( 1980 ) ( 20 ) et THOMAZEAU ( 1981 ) ( 63 ) définissent deux types de toxicité :

La toxicité aiguë et la toxicité chronique ou sublétales, alors que RAMADE ( 1979 ) ( 49 ) distingue un troisième type de toxicité : la toxicité à long terme. TRUHAUT (1974 in 49 p.3-5) rejoint l'hypothèse de RAMADE (1979) ( 49 ) et avance que le terme d'"intoxication chronique" souvent utilisé pour qualifier les effets de la toxicité à long terme est impropre : une lésion irréversible et par conséquent "chronique" peut en réalité découler d'un phénomène initial de toxicité aiguë.

De part la diversité des polluants, de leur complexité et nocivité, de part la diversité des organismes, leurs réactions vis-à-vis de ces polluants et en fonction de leur environnement, il semble difficile de préciser avec exactitude une dose limite ou seuil à partir de laquelle tout organisme vivant est atteint.

## 2.3 - Nocivité d'un polluant :

La nocivité d'un polluant dépend de trois conditions ( AMIARD, 1988 ) ( 3 ) :

- La persistance,
- la bioaccumulation,
- la toxicité.

### 2.3.1 - La persistance :

Pour les métaux, cette condition est toujours maximale.

### 2.3.2 - La bioaccumulation :

La bioaccumulation comme la persistance est également toujours maximale à l'exception de quelques éléments susceptibles d'être régularisés par certains organismes mais dépend de nombreux facteurs biotiques et abiotiques.

### 2.3.3 - La toxicité :

Cette troisième condition dépend :

- de la nature du métal
- des caractéristiques du milieu
- de la présence d'autres toxiques
- de la concentration du métal, ainsi selon le P.N.U.E et L'O.M.S ( 1979 ) ( 46 ). "Le concept de toxicité ou d'une façon générale de capacité de nuire d'une substance donnée dépend directement de sa concentration et du sort biogéochimique qui lui est réservé dans les eaux réceptrices".

### 3 - Mode de pénétration d'un toxique dans l'organisme :

En toxicologie on distingue trois voies d'absorption ou trois modes de contamination ( RAMADE, 1979 ) ( 49 ).

#### - La voie respiratoire :

C'est le mode prépondérant de contamination par les polluants atmosphériques ou aquatiques.

#### - La voie trans-tégumentaire :

C'est le mode de contamination directe à partir des polluants du milieu extérieur.

#### - La voie trophique :

C'est une absorption radiculaire chez les plantes ou digestive chez les animaux.

On ne peut séparer, chez les animaux aquatiques, les voies de pénétration tégumentaires de celle par ingestion car elles se produisent ipso-facto simultanément.

### 4 - Action des produits toxiques sur la chaîne trophique marine :

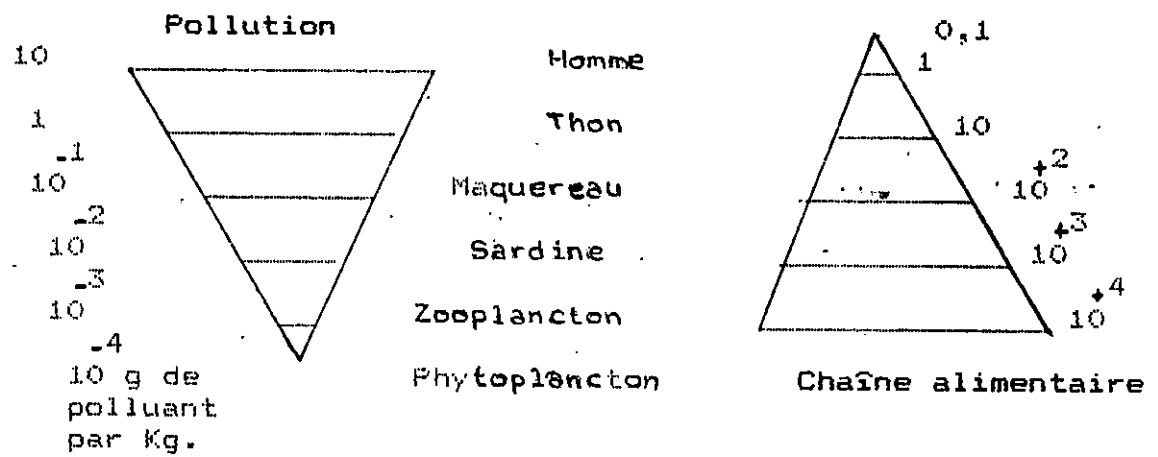
Tous les niveaux de la pyramide trophique sont sous l'action des substances chimiques rejetées dans le milieu marin. Elles se concentrent tout le long de la chaîne alimentaire allant du plancton aux fruits de mer et aux poissons avant de se retrouver sur la table du dernier maillon, situé au sommet de cette chaîne, l'Homme.

"L'estimation du seuil de toxicité ne doit pas porter seulement sur une espèce type et à un seul niveau de la pyramide mais vis-à-vis de la chaîne alimentaire artificiellement constituée, comprenant plusieurs maillons représentatifs de groupes biologiques" (CHOUIKHI, 1980 ) ( 20 ) .

L'espèce de la chaîne alimentaire qui semblera la plus touchée, la plus menacée permettra d'estimer le seuil de toxicité. Cette espèce pouvant supporter le toxique l'accumulera pour le prédateur. Les espèces benthiques en rapport étroit avec le sédiment, sont sujettes à la contamination par les métaux lourds contenus dans ce sédiment. Elles contribuent par conséquent à l'intoxication de la chaîne trophique.

Dans l'ordre de toxicité des métaux lourds, selon le degré de menace décroissant on distingue d'après BOUTOUCHENT ( 1988 ) (18) : le mercure, le cadmium, le plomb, le zinc, le cuivre...

"Les agents polluants n'agissent en aucun cas dans la nature sur des individus isolés, mais au contraire sur des populations et des communautés". ( RAMADE, 1979 ) ( 49 ).



1		1
1	Schéma combiné de l'évolution de la pollution en	1
1	fonction de la chaîne alimentaire.	1
1	( BOMBARD, 1978 ) ( 14 ) .	1
1		1

selon le schéma ci-dessus, dans 10 000g de phytoplancton, il y a 0.001 g de polluant /kg, dans le zooplancton, il y aura

0.001g/kg, dans la sardine il y aura 0.01g/kg, dans le maquereau 0.1g /kg, dans le thon 1 g/kg et dans l'Homme, il y aura 10 g de

polluant / kg.

Les concentrations les plus grandes se rencontrent chez les espèces des niveaux trophiques élevés ( AUBERT et COLL., 1976

in 19 p.184 ).

5 - Les effets des polluants métalliques ( l'Arsenic, le cadmium

le chrome, le cuivre, le manganèse, le plomb et le zinc ) sur

différents organismes marins et sur l'Homme :

5 - 1 - Cas de l'Arsenic :

La forme minérale soluble, la plus connue de l'arsenic est

l'arsénieux ( l'anhydride As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ).

Du point de vue toxicologique, il y a fondamentalement deux

formes d'arsenic, chez les organismes marins qui sont à consid-

dérer :

- l'arsénobétaine ou l'arsenic organique, domine dans la plus

part des fruits de mer.

- l'arsenic inorganique, la plus toxique.

BYRON et ses collaborateurs ( 1967 ) et W.H.O ( 1981 ) ( in 27

p.44 ) ont noté dans la forme minérale que l'arsenic trivalent

( As (III) ) est plus toxique que l'arsenic pentavalent ( As (V) )

- Les Algues :

Les algues brunes contiennent en général une quantité considé-

rable d'arsenic : 1 à 100 mg/kg de poids sec ( F.S ) ( G.E.S.A.M.F.,

1986 ) ( 27 ) .

Alors que les algues rouges et vertes en contiennent beaucoup moins : 1 à 20 mg/kg de (P.S) (G.E.S.A.M.P, 1986 ) (27).

En outre, les travaux de LUNDE (1973) ( in 16 p. 76 ) confirment que les algues et autres organismes contiennent de l'arsenic sous forme d'arsénolipides et notamment d'arsénophospholipides.

- Les Echinodermes :

L'arsenic trivalent ( AS (III) ) et l'arsenic pentavalent (AS(V)) Selon PAGANO et ses collaborateurs ( 1982 ) ( in 27 p.36) produisent à certaines concentrations, des anomalies au niveau des gamètes et des embryons d'oursins.

- Les Mollusques :

Chez les gastéropodes et les bivalves, les concentrations d'arsenic sont de l'ordre de 1 à 25 mg/Kg de poids frais (P.F), bien que les valeurs élevées peuvent refléter la pollution des eaux côtières KARBE et COLL (1977 ) ( in 27 p.27).

- Les Crustacés :

En général, les crustacés contiennent 1 à 50 mg d'arsenic/Kg de (P.F)( G.E.S.A.M.P, 1986)(27). Paradoxalement à la crevette rose qui, elle, contient une quantité anormalement élevée d'arsenic soit plus d'une centaine de mg/kg de chair, sa consommation est sans aucune manifestation d'arsenicisme. Cet arsenic non cumulatif contenu dans la chair de crevette existe sous forme organique désigné sans le nom de ( Shrimp arsenic ) par ceux qui l'ont découvert ( COULSON et COLL, 1985 in 16 p.79).

- Les Poissons :

Les téléostéens contiennent généralement 1 à 10 mg d'arsenic/kg de poids frais ( P.F ) ( G.E.S.A.M.P, 1986 )(27).

La mortalité des poissons est parfois due à ce métal.

L'arsenic trivalent ( AS (III) ) doit être considéré comme étant aussi intensément toxique pour le poisson que le mercure, le cadmium, le chrome, le zinc ou le cuivre.

- Les Oiseaux et les Mammifères marins :

En ce qui concerne ces organismes marins, il est à signaler que les niveaux d'arsenic dans leurs tissus sont généralement bas.

( G.E.S.A.M.P, 1986 ) (27).

- L'Homme :

L'Homme est exposé à l'arsenic par l'air, l'eau potable, les boissons et la nourriture. Cependant, les niveaux d'arsenic dans l'alimentation humaine sont généralement bas à l'exception des fruits de mer : le fruit de mer est la source principale de consommation d'arsenic par l'Homme ( G.E.S.A.M.P, 1986 )(27) .

Les effets de l'arsenic sur l'organisme humain se manifestent d'une manière générale par :

- des troubles digestifs

- le choléra arsenical, provoquant la mort en 12 ou 48 heures.

En cas de survie, il y a apparition de troubles nerveux et cutanés ( BOUDENE ,1986 ) (16).

L'O.M.S et W.H.O ( 1967 ) ( in 16 p.80 ) fixent la dose journalière acceptable pour l'Homme adulte à 50 ug/kg de poids et par jour, soit environ 3,5 mg/jour acceptable pour l'arsenobé-taine, mais trop élevée s'il s'agit d'arsenic minérale.

## 5.2 - Cas du Cadmium :

La découverte du cadmium remonte à 1817 ( COSSA, 1989 in 21p.15)  
Selon PHILIPPS ( 1980 ) ( in 21 p.15 ) la toxicité du cadmium a  
été réellement reconnue à partir de 1970. Elle se range à un  
niveau égal à celui de l'argent et du mercure.

La toxicité du cadmium serait liée à sa forme ionique plutôt  
qu'au cadmium total ou encore au cadmium chélaté. ( COSSA et  
LASSUS, 1989 ) (21).

### - Les Bactéries :

Les bactéries fixent le cadmium sédimentaire. L'accumulation peut  
atteindre de fortes concentrations sans pour autant susciter des  
effets pathologiques. Toutefois, les bactéries modifient l'état  
chimique des métaux par diverses voies ( IVERSON et BRICKMAN  
in 9 p. ).

### - Le Plancton :

Les concentrations de cadmium au niveau du phytoplancton sont  
de l'ordre de 0,4 à 6,5ug/g alors qu'au niveau du zooplancton,  
elles sont de l'ordre de 0,8 à 9,6 ug/g ( MARTIN et KNAUER, 1973  
in 21 p.37 ). Suivant la nature du phytoplancton, il  
semble exister d'après WOLTER et COLL ( 1984 ) ( in 21 p.56 ).  
différents degrés d'accumulations du cadmium. Cependant, le  
phytoplancton est plus sensible que les bactéries ou les champi-  
gnons à la toxicité du cadmium

- Les Annélides et les Echinodermes :

Les annélides et les échinodermes apparaissent comme résistants au cadmium puisqu'aucun effet, selon KUIPER (1981 in 21 p.69) n'est enregistré à moins de 100 ug/l. En outre, l'annelide Nereis diversicolor est considéré comme étant l'espèce la plus résistante au cadmium (EISLER, 1971 in 21 p.69).

- Les Mollusques .

Chez les mollusques l'absorption du cadmium à partir du milieu marin est la voie d'absorption préférentielle. Les branchies sont les organes d'entrée primordiale. La teneur en cadmium augmente parallèlement avec la croissance des dimensions des moules ce qui signifie que cet élément s'accumule progressivement dans leur corps (SERBANESCU et COLL, 1980) (60).

Un mollusque bivalve accumule le cadmium principalement dans l'hépatopancréas et dans le rein (COSSA, 1989 in 21 p.51).

La toxicité du cadmium sur les larves de mollusques provoquent des répercussions sur le développement larvaire. Certains auteurs estiment que les larves ayant déjà formé une coquille, bien que plus sensibles que les adultes peuvent déjà s'isoler du milieu (LASSUS, 1989 in 21 p.67 - 68).

- Les Crustacés :

Le groupe des crustacés est le plus sensible au cadmium, bien que certaines espèces de cirripédés soient capables, comme les mollusques, de s'isoler du milieu ambiant par fermeture de l'opercule (EISLER, 1971 in 21 p.68). Néanmoins le phénomène de l'exuviation chez les crustacés permettrait à ses derniers de se défaire d'une partie du cadmium absorbé (LASSUS, 1989 in 21 p.68)

Certains mollusques et crustacés peuvent accumuler de fortes quantités de cadmium sans pour autant sembler être affectés ... ( COSSA et LASSUS, 1989 ) ( 21 ).

- Les Poissons :

Chez les Téléostéens, les concentrations en cadmium varient suivant les organes. Les plus fortes concentrations se retrouvent notamment dans le foie et dans le rein (COSSA, 1989 in 21 p.39-40). WESTERNHAGEN et ses collaborateurs ( 1980 ) ( in 21 p.71 ), considèrent le foie comme l'organe principal d'accumulation. En effet, la présence du cadmium dans le foie a été observée pour différentes espèces de poissons plats ( METAYER et COLL, 1982 ) (39). D'une manière générale, chez les poissons, les organes les plus sensibles seraient dans l'ordre : le cœur, les branchies, la muqueuse intestinale, le sang et les reins ( LASSUS 1989 in 21 p.65).

L'âge, le sexe, le développement des gonades, la température et la salinité sont des facteurs importants modifiant la toxicité du cadmium.

- Les Mammifères marins :

Chez les mammifères marins, les niveaux de cadmium sont comme pour les poissons plus élevés dans les reins et dans le foie que dans le muscle ( COSSA, 1989 in 21 p.40 ).

Au cours de la vie du phoque commun ROBERT et ses collaborateurs (1976 ) ( in 21 P.40 ) rapportent une accumulation croissante de cadmium dans le foie.

- L'Homme :

Notre organisme contient en moyenne 1 ug de cadmium à la naissance, 30 à 40 mg à l'âge adulte ( FRIBERG et COLT, 1974 ) ( in 16 p. 83 ) et entre 10 à 30 mg à l'âge de 50 ans ( COSSA et LASSUS, 1989 ) ( 21 ) .

D'après ( TIMIZAR, 1989 ) ( 65 ) pour l'Homme, la contamination par le cadmium se fait par le biais de :

- l'alimentation et l'eau
- le tabagisme.

En moyenne 5 % du cadmium ingéré est réellement absorbé par les êtres humains, en fait 50 à 65 % du cadmium se fixe dans le rein et le foie ( BOUDENE, 1986 ) ( 16 ) .

La maladie " Itai - Itai " apparue au Japon en 1968, à cause d'une ingestion démesurée de cadmium, est une preuve que celui-ci peut causer des dégâts importants chez l'Homme.

L'intoxication au cadmium, chez l'être humain, se manifeste soit par des nausées, des troubles gastro-intestinaux aigus, des hypertension, des cancers et parfois même par une prostration pouvant aller de 15 minutes à 24 heures ( in 56 p.84 ) .

Selon : W.H.O. et F.A.O (1972) ( in 22 p.51 ) la dose maximale assimilable serait fixée à 400 ug de cadmium / individu / semaine.

### 5.3 - Cas du chrome :

#### - Les Mollusques :

Les concentrations de chrome observées dans les tissus du gastéropode marin Monodonta turbinata sont liées au temps d'exposition, à la concentration du polluant et au temps de détoxification. ( VERRIPOULOS et COLL., 1989 ) (68)

#### - L'Homme :

Le chrome hexavalent provoque chez l'Homme des hémorragies gastrointestinales, des ulcérations thermiques. Parfois, il induit des cancers des voies respiratoires et affecte le métabolisme du glucose. ( RODIER et COLL., 1978 ) (52)

Toutefois, les besoins journaliers en chrome, chez les adultes sont compris entre 5 et 10 ug ( BOUDENE , 1986 ) (16)

### 5.4 - Cas du Cuivre :

#### - Les Mollusques :

Chez la seiche, Sépia officinalis, l'organe qui accumule le plus de cuivre est l'hépatopancréas ( SHIPP et HEVERT, 1978 in 7 p.83 )

#### - Les Crustacés :

Le cuivre, métal associé à de nombreuses activités cellulaires est, chez les crustacés, stocké dans l'hémocyanine, l'équivalent de l'hémoglobine des vertébrés ( ASSO, 1982 ) (7).

#### - Les Poissons :

Chez les poissons, le cuivre s'accumule dans le foie et les gonades. En outre, la concentration de ce métal est proportionnelle à l'âge de l'individu ( METAYER et COLL., 1982 ) (39).

L'Homme :  
La dose maximale de cuivre, tolérable chez l'Homme est de  
3.7 mg /kg ( BERHARD, 1982 in 59 p.65)

#### 5.5 - Cas du Manganèse :

##### - Les Mollusques :

Les teneurs en manganèse, chez l'huître Crassostrea angula-  
ta varient en fonction du sexe et de l'état de maturité des gona-  
des ( ESTABLIER et PASCUAL, 1974 in 7 p.86 )

##### - Les Crustacés :

Chez les crustacés ( BRYAN, 1976 in 7 p.86 ) constate que  
98 % de la charge en manganèse se trouve dans la carapace.  
Ainsi, pour cet auteur, la présence du manganèse doit être asso-  
ciée au métabolisme du calcium.

##### - Les Poissons :

La toxicité du manganèse, chez les poissons, est très faible  
comparée à celle du cuivre et du zinc, de plus, sa vitesse  
d'absorption est très réduite ( ASSO, 1982 ) (7).

#### 5.6 - Cas du Plomb :

##### - Les végétaux :

Le plomb interfère avec les réactions biochimiques normales  
qui se passent dans les cellules végétales ( KOEPPE, 1970 in 22 p.  
41).

Il est ainsi, probablement concentré dans les organismes supé-  
rieurs, situés jusqu'au bout de la chaîne alimentaire marine.

- Les Mollusques :

Le processus de contamination par le plomb de bivalves et de gastéropodes décrit par VINCENTE et ses collaborateurs (1978 in 7 p.79) se traduit par une accumulation préférentielle du métal au niveau de l'appareil digestif, des appareils génitaux et des oeufs. Cette dernière contamination se transmet donc aux descendants.

- Les Poissons :

En général, chez les poissons, le plomb tout comme le cuivre augmente avec l'âge. Il s'accumule dans le foie, les reins et la colonne vertébrale.

- Les Oiseaux aquatiques :

Le plomb, métal utilisé par l'Homme dans diverses activités entre autre la chasse, est la cause de bien de nombreuses morts d'oiseaux aquatiques. Ces derniers succombent par empoisonnement en ingérant les plombs de chasse perdus.

- Les Organismes Prédateurs :

DE GOEJ et ALII (1971) ( in 13 p.5 ).

Ont montré que les organismes prédateurs étaient plus contaminés que les autres organismes par ce métal. Toutefois, l'accumulation des métaux en générale est préférentielle. La plus importante est dans le foie et les reins.

"L'activité néfaste de l'intoxication par le plomb, chez l'Homme est décrite depuis la fin du siècle dernier sous le nom de saturnisme, maladie qui se traduit par des douleurs abdominales et des atteintes neurologiques invalidantes". (ASSO, 1982) (7).

"La voie digestive a toujours joué un rôle essentiel dans les intoxications par le plomb" (BOUDENE, 1986) (16).

L'intoxication par le plomb provoque chez l'être humain des perturbations de la synthèse de l'hémoglobine, affecte le système nerveux, les reins et les voies respiratoires, altèrent le métabolisme des cellules dans le corps ; le plomb est un inhibiteur des enzymes (HERBERG et COLL, 1970) ( in 22 p.41 ).

Selon ASSO (1982) (7), il n'existe pas de "normes" fixant les doses maximales de plomb assimilables par l'Homme sur une période donnée.

## 5.7 - Cas du Zinc :

### - Les Mollusques :

Les huîtres contiennent 20 à 100 mg de zinc par 100 g de poids frais (PF) (BOUDENE, 1986) (16).

La concentration du zinc, du cuivre et du fer diminue, chez les moules (Mytilus galloprovincialis), au fur et à mesure de l'augmentation de leur taille. Cette situation paradoxale à la première vue, peut être expliquée selon SERBANESCU et ses collaborateurs (1980) (60) en tenant compte de leur taux de filtration, qui diffère, d'une classe de grandeur à l'autre.

### - Les Crustacés :

Chez les crevettes, les concentrations de zinc et d'argent sont plus élevées au niveau de l'exosquelette qu'au niveau des tissus internes (BERTINE et COLDBERG, 1972 in 25). ALAYSE - DANET et ses collaborateurs (1979 in 69) attribuent la régression du développement de la rate d'Artémia au zinc qui perturbe les systèmes d'amylase et de trypsine.

La sensibilité du copépode marin Tisbe holothuriae vis-à-vis du zinc diffère d'après VERRIPOULOS et MORAITOU-APOSTOLOPOULOU (1989) (69) en fonction de ses différents stades de vie. La femelle adulte est la plus résistante.

D'une manière générale, les teneurs en zinc, chez les organismes benthiques varient selon l'espèce (SELLALI, 1986) (59).

- Les Poissons :

Chez les poissons, selon BOUDENE (1986) le zinc se retrouve rarement. Néanmoins, chez les poissons plats en général, le zinc s'accumule dans les reins, les gonades, la peau et les branchies (METAYER et COLL., 1982) (39). En outre, les concentrations les plus élevées sont détectées dans les gonades en période de maturation sexuelle dans les reins et dans les organes externes (peau et branchies). Les teneurs sont de même ordre de grandeur pour le foie, le tube digestif et la colonne vertébrale, tandis que les muscles présentent toujours les concentrations les plus faibles.

Chez certains organismes marins, comme chez certaines espèces de poissons, les concentrations en métaux lourds peuvent varier en fonction de l'âge, de la taille et/ou du poids. Toutefois, selon BEN HASSEL et MOLINA (1981) (13), les concentrations en zinc dans le muscle de scorpaena porcus n'augmentent pas proportionnellement avec la taille et ne varient guère, dans le muscle de scorpaena porcus femelle, avec l'âge.

En outre, chez les poissons plats en général, les concentrations de zinc et de cadmium ne diffèrent pas significativement en fonction du poids (METAYER et COLL., 1982) (39).

D'après PAPADOPOULOU et ses collaborateurs (1976) (42).

Le zinc contenu dans les otolithes du poisson scomber japonicus colias est inversement proportionnel à l'âge et à la taille.

Selon HARDISTY et ses collaborateurs (1974 b in 39 p.41), les variations de zinc avec l'âge sont sujettes à des fluctuations locales et saisonnières.

- L'Homme :

Le zinc est un métal lourd, jouant un rôle prédominant dans le métabolisme des acides nucléiques. Ces derniers interviennent dans la réplication, la réparation cellulaire et la croissance tissulaire ( BOUDENE, 1986 ), (16). Ainsi, les besoins journaliers en zinc sont chez :

- Les enfants de 10 mg,
- Les adultes de 15 mg.

Selon KIRCHEGESSNER et WEIGAND (1983) ( in 30 ).

Chez l'Homme, ce métal est considéré comme non cumulatif et les concentrations sont maintenues au même niveau jusqu'à un âge avancé.

La dose de zinc létale pour l'Homme est fixée d'après ASSO (1982) (7) et SELLALI (1986) (59) à 500 ug / Kg du poids du corps et par jour. Du point de vue réglementation, l'O.M.S donne selon BOUTOUCHENT (1988) (18) une valeur ou la dose hermétique pour l'Homme est de 675 mg.

Le zinc, le manganèse, le chrome, le nickel et le fer "ont en commun une toxicité extrêmement faible vis-à-vis des mammifères et de l'Homme en particulier tout au moins lorsqu'ils sont introduits par voie digestive" (AUBERT et COLL., 1965-1982, 1982-1983) (9). Les plantes aquatiques selon VERRIPOULOS et MORAITOU-APOSTOLOPOULOU (1989) ( 69 ) tendent à réfléchir les métaux lourds dans le milieu marin : ces organismes ne sont pas aptes à les réguler ou ne possèdent pas de fonctions de régulations adéquates aux métaux lourds.

D'après LIYSAL (1980) (66), CATSIKI et ARNOUX (1986) (19) le niveau des métaux lourds chez les organismes marins dépend des espèces, de la taille, de l'environnement et des saisons.

De cette étude, il en ressort que les mollusques semblent être les organismes marins les plus sensibles aux différentes contaminations métalliques. La coquille de la moule, Mytilus edulis, constitue un bon indicateur de pollution par les métaux lourds pour MAHYADUI et ses collaborateurs (1989) (8).

Toutefois, plusieurs études sur les mollusques marins semblent montrer que ces organismes sont de bons indicateurs de pollution. En outre, les mammifères marins de par leur durée de vie relativement longue sont aussi de bons indicateurs des éléments traces dans le milieu marin ( JEAN-CAURANT, 1987 ) (30 ) et peuvent être utilisés pour détecter la pollution marine par les métaux lourds.

## 6 - Interactions des métaux lourds (Antagonisme - Synergie) :

### 6.1 - Définitions :

- Antagonisme : "Opposition d'action entre deux produits".

(LUCAS et COLL., 1984) (34)

- Synergie : Action simultanée de deux ou plusieurs produits.

### 6.2 - Interactions :

Dans un milieu marin, les métaux lourds rencontrés simultanément n'induisent pas nécessairement la superposition de leurs effets.

Nombreux sont les facteurs qui agissent sur le comportement des métaux lourds entre eux, parmi eux :

- Les facteurs physico-chimiques :

Selon les conditions du milieu ( température, salinité, PH, l'oxygène dissous....) un métal peut se retrouver sous différentes formes chimiques et ainsi réagir de différentes manières vis-à-vis d'autres métaux.

- Les Facteurs biologiques :

L'interaction des métaux lourds se fait de diverses façons au sein de différentes espèces et parfois même au sein de la même espèce, cela en fonction de l'état physiologique de l'espèce en question.

En fait tous ces facteurs sont liés les uns aux autres et la compétition des métaux lourds n'est que plus complexe.

Toutefois, quelques exemples tenteront d'éclaircir quelque peu ces phénomènes.

- Exemple 1 : Le Phytoplancton ;

Selon STRATTON et CORKE (1979) ( in 9 p.311) certains métaux lourds ( cuivre, zinc ) interagissent en antagonisme ou en synergie selon certaines espèces de diatomées.

D'autre part, chez certaines diatomées un effet antagoniste fer - cadmium est observé.

- Exemple 2 : Les Mollusques :

Une exposition simultanée des moules au Cadmium et au Mercure augmente la durée de vie moyenne . Le Cadmium et le Mercure ont donc des effets antagonistes. En outre, plus la concentration du cadmium est élevée, plus l'effet du mercure est moindre.

Il semble, toutefois, que le mercure et le cadmium se fixent sur des protéines différentes, ce qui élimine l'hypothèse de la simple compétition ( GUIDO, 1980 in 9 p.324).

- Exemple 3 : Les Poissons :

SCOTT et ses collaborateurs ( 1978 in 21 p.82 ) montrent des corrélations positives sur Gadus morhua entre le taux de cadmium dans le muscle et le mercure ou le sélénium dans le foie. D'autre part, chez les poissons en général, la présence simultanée du cuivre et du zinc provoque un effet synergétique ( VERRIPOULOS et DIMAS, 1988 ) (67).

- Exemple 4 : Les Mammifères et l'Homme :

Chez de nombreux mammifères marins ( HELLE, 1981; HONDA et TATSUKAWA, 1983 in 30 ) ou mammifères terrestres, comme d'ailleurs chez l'Homme ( SCHROEDER et COLL., 1967 in 30 ), les concentrations de zinc augmentent proportionnellement avec celles du cadmium dans le foie ou le rein. Chez l'Homme un régime alimentaire riche en calcium diminue l'imprégnation par le plomb ( BARTON et COLL, 1978 in 16 p.83 ). Cette action antagoniste s'observe également avec le zinc et le fer en moindre degré.

Les exemples cités ci-dessus montrent une multitude de cas possibles d'interactions des métaux lourds au sein du milieu marin. Toutefois, c'est avec les métaux lourds et en particulier le fer, le plomb, le zinc, le cuivre et le sélénium que des interactions du cadmium de types antagoniste et synergique ont pu être mis en évidence ( LASSUS, 1989 in 21 p.82 ).

Le zinc et le cadmium sont en général considérés comme antagonistes ( ASSO, 1982 ) (7) et sont donc en compétition pour le même site de nombreuses métallothionéines (WITTMAN, 1979 in 21 p.81). Leur présence simultanée réduit la toxicité du zinc ( PAVICIC , 1980 in 1).

L'association du cuivre avec d'autres métaux, cuivre - zinc ou cuivre - mercure semble avoir des effets synergiques (ASSO, 1982) (7). L'augmentation de la toxicité du zinc se produit par l'addition du cuivre ( AUBERT et COLL., 1965 - 1982, 1982 -1983)(9) . Une synergie cadmium - zinc - Cuivre a été décrite par EISLER et GARDNER (1973) ( in 21 p.81 ) entraînant un taux élevé de mortalités chez certains organismes marins.

La diversité des facteurs du milieu marin et leurs actions sur le comportement des polluants métalliques ne permet pas d'avancer des faits constants pouvant nous servir de base pour interpréter ce genre de phénomène dans un milieu différent de celui en question.

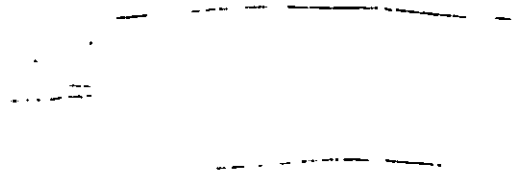
" Homme , nul n'a sondé le fond de tes abîmes,  
ô mer, nul ne connaît tes richesses intimes ,  
tant vous êtes jaloux de garder vos secrets "

BAUDELAIRE.

- P A R T I E : 5 -

-----  
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE  
-----

1. Le littoral Algérien : . . . . .	.60
1.1. Présentation et principales sources de pollutions . . . . .	.60
1.2. Les apports terrigènes . . . . .	.60
1.3. Le courant Algérien . . . . .	61
1.4. Salinité - Température des eaux du littoral Algérien . . . . .	.62
2. Zone d'étude : . . . . .	.62
2.1. Présentation de la zone d'étude . . . . .	.62
2.2. Choix de la zone d'étude . . . . .	.64
2.3. Les apports solides des régions OUEST du littoral Algérien . . . . .	68
2.4. Réseau hydrographique de la zone d'étude . . . . .	.69
2.5. Nature du sédiment - Granulométrie. . . . .	69



## 1 - Le Littoral algérien :

### 1.1 - Présentation et principales sources de pollutions :

"Le littoral algérien se présente comme une succession de baies plus au moins ouvertes séparées par des régions très escarpées". ( LECLAIRE, 1968 in 54 p.5). Il s'étend sur plus de 1 200 Km de côtes.

Le réseau hydrographique aboutissant à la mer compte 24 Oueds et 16 embouchures sur la côte (TIMIZAR, 1988) (64 ).ce réseau alimente le milieu marin en apports terrigènes. La densité humaine la plus élevée se situant au niveau de la côte et aux alentours des cours d'eau, contribue également à la pollution marine. D'autant plus que le littoral algérien abrite quatre zones industrielles et portuaires d'importance (TIMIZAR,1988) (64) :

- Deux (02) zones à l'Est : SKIKDA et ANNABA,
- Une (01) zone au Centre : ALGER - OUED SMAR,
- Une (01) zone à l'Ouest : ORAN - ARZEW.

ainsi que celles de GHAZAQUET, MOSTAGANEM, BEJAIA et JIJEL.

Les zones participent aussi à la pollution du milieu marin de par leurs rejets industriels.

### 1.2 - Les apports terrigènes :

Les quantités de matériaux charriés par les oueds Algériens sont très peu connues.

A partir d'une somme de mesures publiées dans l'annuaire d'hydrologie de l'Algérie de 1947 à 1958 LECLAIRE (1972) (33) avance un bilan approximatif des apports terrigènes rejetés dans le milieu marin.

Ainsi 22 millions de tonnes de débris solides forment les moyennes annuelles des principaux oueds algériens, additionnant à ces apports ceux des oueds secondaires, la quantité chariée serait de 40 à 60 millions de tonnes par an, ROSFELDER (1972 in 33 ) estime à environ 150 millions de tonnes par an, l'apport total en matériel fin sur la marge algérienne.

### 1.3 - Le courant algérien :

Les côtes algériennes subissent l'action indirecte du courant atlantique. Celui-ci dégénère en méandres et en tourbillons cycloniques et anticycloniques le long des côtes maghrébines. Il dérive ainsi vers l'Est et constitue le courant algérien. Les tourbillons anticycloniques atteignent des diamètres de l'ordre de 100 Km. Selon TAUPIER et ses collaborateurs (1988) ( in 70 p. 13 ) leur passage induit des Up Wellings côtiers qui contribuent éventuellement au transfert des polluants. En effet, "l'hydrodynamique méditerranéenne intervient dans la répartition des métaux lourds" (AUBERT et COLL., 1979-1980) (10).

Un courant profond ou oriental de sens opposé au précédent dérive de l'Est vers l'Ouest.

Les risques d'accumulation profonde des polluants marins sont à craindre malgré le brassage permanent de la mer par la houle et les courants déjà cités : environ 80 ans sont nécessaires à la méditerranée pour renouveler la totalité de ses eaux. De récentes recherches effectuées par les membres de l'organisation GREENPEACE, laissent entendre que ce renouvellement nécessite pratiquement deux (02) siècles.

## 1.4 - Salinité - Température des eaux du littoral algérien :

Une évaporation intense s'observe dans le bassin méditerranéen. En effet, "les pertes en eau par évaporation sont supérieures aux précipitations et aux apports fluviaux". (MAOUCHE, 1987) (35). Néanmoins, des fleuves permanents en volume d'eau, jouent un rôle dans la régulation de la salinité. Cette dernière va en augmentant du détroit de Gibraltar au bassin oriental. Le littoral algérien subit ces variations. Le gradient de concentration augmente d'Ouest en Est. La présence d'oueds saisonniers le long des côtes algériennes n'a pas de rôle particulier dans la dilution des eaux côtières en ce qui concerne la température, celle des eaux superficielles algériennes varie en moyenne de 16 à 27°C en été et est de l'ordre de 14°C en hiver.

La température et la salinité sont globalement constantes sur l'ensemble de la couche superficielle, jusqu'à la profondeur de 100 à 200 m (ADUAMEUR, 1990) (6).

## 2- Zone d'étude :

### 2.1 - Présentation de la zone d'étude :

Le prélèvement d'échantillons des sédiments superficiels a été effectué dans la région Ouest du littoral algérien entre TENES et la frontière ALGERO-MAROCAINE, sur un linéaire côtier d'environ 400 Km. Les prélèvements ont été réalisés à bord du bateau Océanographique, le "M.S. BENYAHIA", au cours du mois de Février 1990, par des membres du Laboratoire de chimie marine.

Les durées des opérations de cette campagne sont résumées dans le tableau ci-après ( tableau 1 p 63 ).

La trame d'échantillonnage a été réalisée selon quatorze (14) radiales perpendiculaires à la côte, allant par ordre alphabétique de G à T. Au niveau de chacune des radiales, des stations localisées entre les isobathes de - 10m à - 60m ont fait l'objet de prélèvements. Sur quarante trois (43) stations, trois (3) de profondeur 20m situées sur les radiales L, N et O, présentent un fond rocheux. Elles sont ainsi dépourvues d'échantillons. Selon les conditions et spécificités locales (Largeur du plateau continental, importance urbaine et industrielle...) le nombre de stations peut varier pour chaque radiale.

Tableau des durées des opérations de

la campagne de Février 1990.

1	Opérations de la campagne	Durée (heure)	1
1	Prélèvement par station	1/2	1
1	Transit entre station	1/4	1
1	Transit entre radiales	5	1
1	Campagne	240	1
1	( dix (10) jours )		1

## 2.2 - Choix de la zone d'étude :

La région Ouest, située entre Ténès et la frontière Algéro-Marocaine, a été choisie pour la présente étude en raison d'une urbanisation et d'une industrialisation importantes ainsi que d'un accroissement démographique constant au niveau des villes. Ces sources de pollutions sont rapportées dans le tableau (2. p.65, 66) et au niveau de la carte (n°1 p. 67). D'autre part, une analyse par télédétection a montré que les eaux côtières algériennes sont "moyennement polluées" à l'Est et au Centre et "très polluées" à l'Ouest du pays (TIMIZAR, 1988) (64).



1	1		1	1
1	1		1	1
1	Q	1	RAS BOCCBUS ET RAS	1
1		1	ACIA	1
<hr/>				
1	R	1	GHAZAQUET	1
1		1	- Port	1
1		1	- Industries Métallurgi-	1
1		1	ques.	1
1		1	- Rejet d'eaux de refroi-	1
1		1	dissement.	1
1		1	- Industrie chimique (usi-	1
1		1	ne d'électrolyse de zinc	1
1		1	et de production du cad-	1
1		1	mium).	1
1		1	- Tourisme estival - Eaux	1
1		1	usées.	1
<hr/>				
1	S	1	MERSA BEN M'HIDI	1
1		1	(Zône militaire )	1
<hr/>				
1	T	1	OUED TAFNA	1
1		1	- Apports terrigènes	1
1		1	..	1
<hr/>				



### 2.3- Les apports solides des régions Ouest du littoral algérien

Les débits solides annuels des oueds décroissent de l'Ouest vers l'Est et ceci en fonction des caractères bioclimatiques et lithologiques ( A.N.R.H, 1969 -1970 ) (5 ). Dans les régions Ouest, l'origine des matériaux en suspension, transportés, est due:

- au climat aride à l'intérieur du pays, caractérisé par de faibles précipitations.
- au caractère lithologique limoneux et marnocalcaire.
- à la couverture végétale moins dense que celle des régions de l'Est.

En effet, les apports terrigènes ~~provenant de vastes régions des~~ hautes plaines du Cheliff et de versants de l'ATLAS-TELLIEN sont dus à la faiblesse du couvert végétal. Il en ressort que l'absence totale d'une protection arbustive et un régime de pluie généralement torrentiel sont les principales causes d'un accroissement rapide des matériaux transportés.

### 2.4 - Réseau hydrographique de la Zone d'étude :

Les grands oueds rencontrés le long de la côte occidentale algérienne, à partir de TENES sont par ordre d'importance :  
Le Cheliff, la Macta et la Tafna.

TABLEAU 3 : Tableau de quelques caractéristiques des grands oueds de la côte occidentale Algérienne (A.N.R.H,1969-1970)

OUEDS	CARACTERISTIQUES	APPORTS SOLIDES ANNUELS ( MT/AN ) *
Cheliff	Qued permanent dimension : 700 KM constitué de sables et d'aluvions.	630
Macta	Qued permanent	295
Tafna	Qued permanent	155

\* - Millions de tonnes / an.

Des prélèvements de sédiments superficiels ont été effectués au niveau du Cheliff ( radiale J ) et de la Tafna ( radiale T ) et près d'un oued de moindre importance l'oued kiss ( radiale S ) . Les débits mentionnés au niveau du tableau (ci-avant) concernent uniquement l'année 1969 - 1970. Ils permettent une approche des rejets terrigènes dans le milieu marin. Toutefois, les variations de pluviométrie annuelle et la situation géographique influencent d'une manière certaine les apports dont il est question.

#### 2.5 - Nature du sédiment - Granulométrie :

La nature de la couverture sédimentaire de la zone d'étude ( Ténès - frontière Algéro-Marocaine ) est illustrée au moyen de trois (03) cartes sédimentaires ( 2 - 3 - 4 p.71 ) dressées par LECLAIRE ( 1972 ) ( 33 ). Cependant, la carte sédimentaire de la région de Ténès n'a pu être représentée : actuellement,

à notre connaissance, cette dernière n'a pas encore été établie.  
En ce qui concerne la granulométrie, selon CHARLOU et JOANNY (1983)  
(in 4 p. 285) un sédiment peut présenter un aspect granulométrique  
varié allant de la vase fine au sable grossier, dans une même zone  
géographique.

Cartes montrant la nature de la couverture  
actuelle et récente du sédiment marin de la  
côte ouest algérienne (région de Ténès exclue).

(in LECLAIRE., 1972)(33).

" Les dons que l'océan fera à l'Homme de l'avenir sont des richesses  
qui n'existent que dans la mer "

BOMBARD.

- P A R T I E : 6 -

MATERIEL ET METHODES

1 - Mode opératoire :	.74
1.1 - Nettoyage des instruments	.74
1.2 - Prélèvement d'échantillons	.74
1.3 - Conservation	.75
1.4 - Traitement des sédiments	.75
1.4.1 - La lyophilisation	.75
1.4.2 - Le Broyage et le Tamisage	.76
1.4.3 - L'homogénéisation	.76
1.4.4 - La Digestion ou Minéralisation	.76
2 - Analyse des échantillons :	.78
2.1 - La spectrophotométrie d'absorption atomique	.78
2.1 - Le spectrophotomètre d'absorption atomique.	.79
3 - Etalonnage	.79

## 1 - Mode opératoire :

### 1.1 - Nettoyage des instruments :

Les métaux lourds se retrouvent à l'état de traces dans le milieu environnant. Une contamination des échantillons est plus que probable si les conditions optimales d'hygiène et de propreté de tout instrument et de verrerie utilisés pendant le traitement et le stockage des échantillons, ne sont pas réunies. Pour cela, toute la vaisselle doit subir préalablement les opérations de lavage suivantes :

- Lavage aux détergents commerciaux,
- Rinçage à l'eau du robinet,
- Rinçage à l'eau acidulée ( acide sulfurique à 5 % )
- Rinçage à l'eau distillée

### 1.2 - Prélèvement d'échantillons :

Les métaux lourds se retrouvent dans les interstices des sédiments marins. Le plomb, ainsi que d'autres métaux, du fait de la présence d'organismes fouisseurs peuvent atteindre une profondeur de plusieurs centimètres.

La présente étude s'intéresse aux dix (10) premiers centimètres du fond marin, appelés : sédiments superficiels. Ces derniers sont prélevés au moyen d'une benne de type "Van-Veen" sur une surface d'un dixième (  $1/10$  ) de mètre carré. Les sédiments récupérés à l'aide d'un godet en plastique, renouvelé à chaque prélèvement, sont ceux n'ayant eu aucun contact avec les parois de la benne. Afin d'éviter tout risque de contamination.

### 1.3 - Conservation :

Les sédiments sont recueillis directement de la benne dans des sachets en plastique, bien fermés et étiquetés. S'ils ne peuvent pas être traités rapidement, les échantillons sont conservés à basse température ( température de congélation  $-18^{\circ}\text{C}$  ), afin d'éviter toute perte d'éléments volatils.

### 1.4 - Traitement des sédiments :

Une quantité de sédiment de poids frais (PF) d'environ 100 g est prélevée de chaque échantillon et est étalée dans une boîte de pétri. Une fois congelés, les échantillons ainsi préparés sont lyophilisés.

#### 1.4.1 - La lyophilisation :

La lyophilisation est une technique permettant la déshydratation de l'échantillon congelé par sublimation à basse température (  $-40^{\circ}\text{C}$  ) et sous vide (  $10^{-1}$  bar ) pendant 48 Heures. Au bout de 24 heures, les échantillons sont retirés du lyophilisateur et remués à l'aide d'une spatule en acier inoxydable, afin de permettre une déshydratation complète de l'échantillon. La lyophilisation est préférable à la déshydratation à l'étuve. Cette dernière entraîne une perte des métaux lourds les plus volatils en particulier le mercure et le plomb. Les échantillons lyophilisés sont pesés et on note le poids sec ( PS ).

#### 1.4.2 - Le Broyage et le Tamisage :

Les échantillons lyophilisés sont broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine, puis tamisés au moyen d'un tamis de 63 µm d'ouverture de maille. La fraction inférieure ou égale à 63 µm est récupérée et stockée dans des piluliers en verre.

#### 1.4.3 - L'Homogénéisation :

Le sédiment est constitué de particules diverses. L'affinité avec le métal est fonction de la taille et de la nature de la particule sédimentaire. Ainsi, dans le but d'uniformiser la répartition des particules sédimentaires au sein de l'échantillon le lyophilisat ou "fraction tamisée" est récupéré et homogénéisé pendant 48 heures.

#### 1.4.4 - Digestion ou minéralisation :

La digestion ou minéralisation est une opération d'extraction de métaux lourds des particules sédimentaires. La minéralisation s'effectue :

- Par voie humide, celle-ci permet la récupération maximale des métaux lourds en traces (PINTA, 1979) (45).
- En milieu acide. L'opérateur doit nécessairement manipuler sous une hotte aspirante et se munir du matériel de protection adéquat (masque à gaz, lunettes et gants).
- A chaud et sous colonne à reflux ( figure 2, p 77 )

La digestion concerne 1g de sédiment, elle dure deux (02) heures à une température constante de 80°C et nécessite un (01) volume de 10ml d'"eau régale". Cette dernière est la combinaison d'un

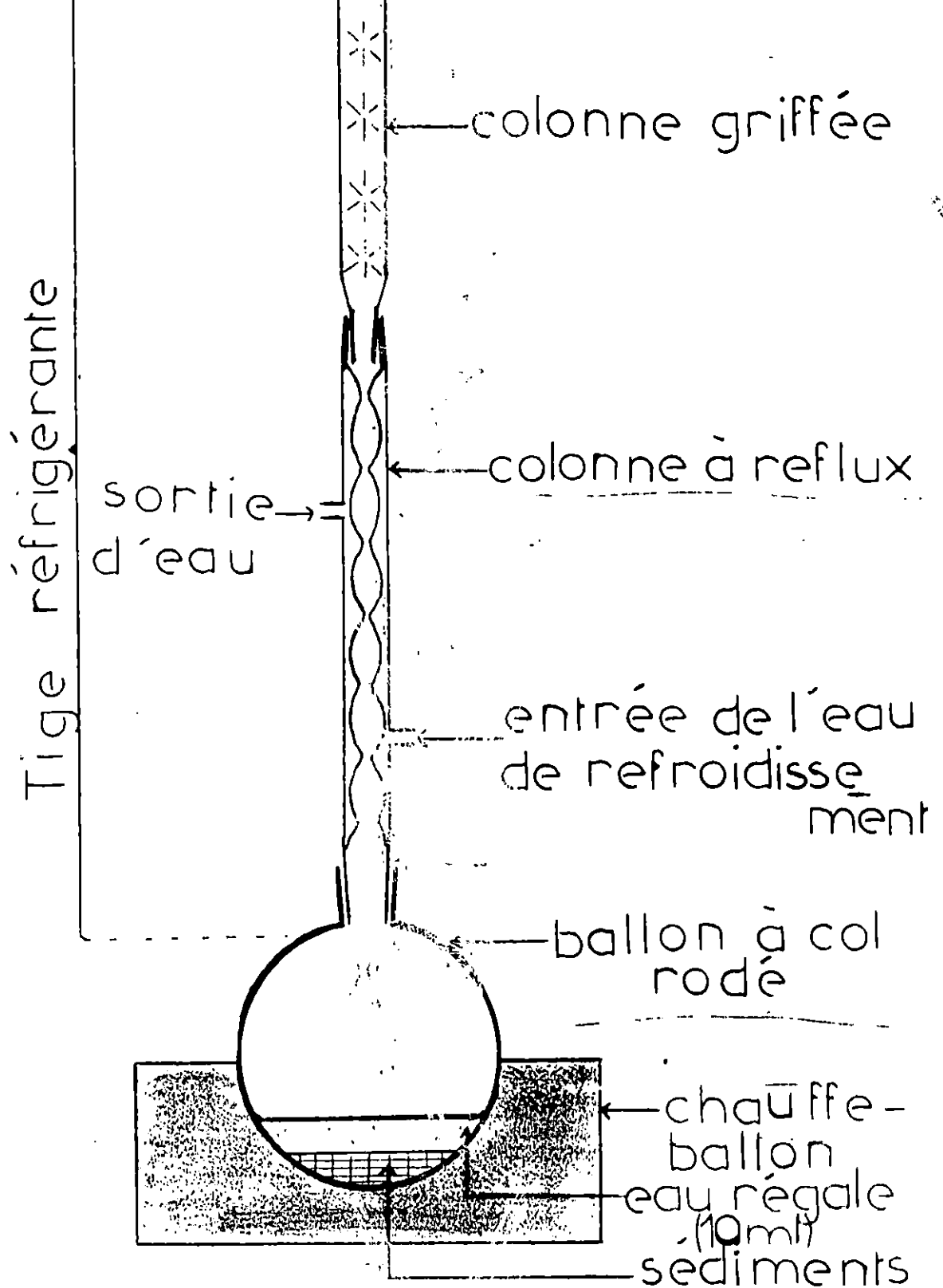


Fig.2 Schéma de l'appareil de minéralisation des sédiments (1g)

(01) volume d'acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) à 69 % et de trois(3) volumes d'acide chlorhydrique ( $\text{HCl}$ ) à 37 % .

Ce mélange attaque partiellement les particules sédimentaires en mettant uniquement en solution les polluants métalliques adsorbés. Au bout de deux (02) heures et après refroidissement, le contenu du ballon est filtré (filtre "WATHAN") dans une (01) fiole jaugée de 100ml (classe A), puis dilué avec de l'eau distillée. La solution obtenue est directement analysable. Cependant, si l'analyse ne se fait pas instantanément, la fiole est bouchée et conservée à basse température pour éviter toute évaporation.

Après chaque minéralisation, une digestion à blanc est effectuée. Elle nécessite 5ml d'eau régale et une (01) durée d'une heure.

A chaque nouvelle préparation d'eau régale, un blanc ou solution témoin est préparé dans les mêmes conditions.

Un second blanc peut être préparé à la fin d'une série d'échantillons.

## 2 - Analyse des échantillons :

### 2.1 - La spectrophotométrie d'absorption atomique :

La spectrophotométrie d'absorption atomique est une (01) méthode analytique permettant de déterminer la concentration d'une (01) substance par l'absorption d'une (01) radiation spécifique à l'élément chimique contenu dans la substance. En l'occurrence, cette technique déterminera un (01) à un (01) tous les métaux lourds contenu dans les échantillons à analyser et dont la concentration est au minimum égale à la limite de détection de l'appareil utilisé.

## 2.2 - Le spectrophotomètre d'absorption atomique :

L'instrument utilisé pour l'analyse des échantillons est un (01) PERKIN-ELMER 2380, de type double faisceau, équipée d'un (01) générateur d'hydrures MHS 10 et d'un (01) four à graphite HGA 500, avec injecteur automatique.

Pour de plus amples informations concernant le principe de la méthode et les éléments constitutifs du spectrophotomètre d'absorption atomique utilisé, se référer aux travaux précédents (SELLALI, 1986 (59); AQUAMEUR, 1990(6); BENOUD et MALLEM, 1991(e)).

Les conditions de travail pour chaque métal sont rapportées dans le tableau ci-après ( tableau4).

L'absorption atomique avec flamme est une technique d'analyse rapide. En revanche, l'absorption atomique avec four est une méthode de mise en oeuvre moins rapide, plus délicate et fournissant une précision des mesures inférieures à la précédente. En outre, la technique d'atomisation avec four est une méthode sensible ( de l'ordre du ng/ml ) ; "elle permet de doser des éléments à des teneurs très inférieures à celles atteintes en absorption atomique classique" (PINTA, 1979) (45).

## 3 - Etalonnage :

La méthode utilisée est celle des standards seuls. Pour chaque métal à analyser, les gammes étalons sont préparées, quelque peu avant l'analyse, à partir de solutions mères, chacune à 1g/l. (Tableau 5, p. 80 ). Ces dernières peuvent être conservées une année.

		ELEMENTS							
		As	Cd	Cr	Cu	Mn	Pb	Zn	
CONDITIONS SPECTROPHOTO- METRIQUES	Longueur d'onde (nm)	193,7	228,8	357,9	324,8	279,5	283,3	213,9	
	Largeur de la fente (nm)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,2	0,7	0,7	
	Intensité (ma)(HCL)(1)	-	-	25	15	20	-	15	
	Puissance (w)(EDL)(2)	8	5	-	-	-	10	-	
CONDITIONS ELECTROTHERMIQUES	SECHAGE	Vitesse de montée (°C/S)	8	9	-	-	-	5	-
		Température (°C)	100	110	-	-	-	110	-
		Temps (s)	10	10	-	-	-	20	-
	MISE EN CENDRES	Vitesse de montée (°C/S)	2	12	-	-	-	15	-
		Température (°C) Première phase	130	350	-	-	-	400	-
		Temps (s)	15	20	-	-	-	20	-
		Vitesse de montée (°C/S)	34	8	-	-	-	11	-
		Température (°C) Deuxième phase	300	460	-	-	-	560	-
		Temps (s)	5	15	-	-	-	15	-
		Vitesse de montée (°C/S)	30	-	-	-	-	-	-
		Température (°C) Troisième phase	90	-	-	-	-	-	-
		Temps (s)	20	-	-	-	-	-	-
	ATOMISATION	Type	F.G	F.G	F.A.A	F.A.A	F.A.A	F.G	F.A.A
		Vitesse de montée (°C/S)	1400	1740	-	-	-	1840	-
		Température (°C)	2000	2200	-	-	-	2400	-
		Temps (s)	1	1	-	-	-	1	-

(1) HCL : Lampe à cathode creuse.

(2) EDL : Lampe à décharge.

F.G : Four à graphite.

F.A.A. : Flamme Air/acétylène.

Les concentrations des valeurs analysées doivent être comprises dans l'intervalle de concentrations des solutions standards :

"La justesse du résultat en dépend" ( PINTA, 1979 ) (45).

Pour cela, un choix judicieux des concentrations de la gamme étalon est établi au préalable. Ce choix est basé sur la connaissance approximative des concentrations de métaux lourds supposées être retrouvées dans le sédiment marin.

**TABEAU 5 : Tableau des concentrations des solutions standards des métaux lourds étudiés.**

Métaux étudiés.	Concentrations des solutions (ug/l) dans 100ml d'eau bidistillée.		
	S	2	3
Arsenic (As)	0,1	0,2	0,3
Cadmium (Cd)	0,01	0,02	0,03
Chrome (Cr)	0,5	1	1,5
Cuivre (Cu)	0,5	1	1,5
Manganèse (Mn)	1	2	3
Plomb (Pb)	0,1	0,2	0,3
Zinc (Zn)	1	2	3

" 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 " .

HOMBARD

- P A R T I E : 7 -

-----  
R E S U L T A T S E T I N T E R P R E T A T I O N  
-----

1. Résultats . . . . .	. 83
2. Distribution géographique des éléments métalliques . . . . .	. 92
2.1. L'arsenic . . . . .	. 92
2.2. Le Cadmium . . . . .	. 92
2.3. Le Chrome . . . . .	. 93
2.4. Le Cuivre . . . . .	. 94
2.5. Le Manganèse . . . . .	. 94
2.6. Le Plomb . . . . .	. 95
2.7. Le Zinc . . . . .	. 96
3. Affinités et corrélation des éléments métalliques. . . . .	. 97
4. Discussion et interprétation . . . . .	. 101
4.1. L'Arsenic. . . . .	. 101
4.2. Le Cadmium . . . . .	. 104
4.3. Le Chrome . . . . .	. 106
4.4. Le Cuivre . . . . .	. 109
4.5. Le manganèse . . . . .	. 111
4.6. Le Plomb . . . . .	. 112
4.7. Le Zinc . . . . .	. 115
5. Comparaison des concentrations des métaux lourds dans les sédiments superficiels de la côte ouest algérienne avec celles de certaines régions de la méditerranée et d'outre mer. . . . .	. 120
6. Critiques de la méthode de traitement des sédiments et propo- sitions pour l'amélioration des techniques . . . . .	. 122
7. Conclusion. . . . .	. 123

## 1 - Résultats :

Les conditions de travail **semblent** assez satisfaisantes étant donné que les valeurs obtenues, lors de l'analyse au spectrophotomètre d'absorption atomique, des solutions témoins (blanc) sont à concentration quasiment nulles en métaux lourds. En conséquence aucune contamination apparente n'a été relevée lors des manipulations. Néanmoins, le mode de prélèvement des échantillons, le stockage, le matériel utilisé, malgré les précautions préalablement prises et les interférences spectrophotométriques ont une influence non négligeable sur la qualité du résultat.

Le spectrophotomètre d'absorption atomique, après analyse des échantillons minéralisés, fournit les concentrations en métaux lourds et les densités optiques respectives. Les solutions standards permettent la calibration de l'appareil utilisé. La solution étalon, S2 est réutilisée tous les dix (10) échantillons afin de recalibrer l'appareil de mesure. Les valeurs des concentrations obtenues correspondent à un (01) gramme de sédiment. Elles sont uniformisées en  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (P.P.m) de sédiments, dans le but d'avoir des résultats comparables. Ces valeurs sont représentées sur le graphe, densité optique (D.O) en fonction des concentrations (c) :  $DO = f(c)$  (figures 3 et 4 page 84 ). Une régression linéaire de moindres carrés des trois (03) étalons S1, S2, S3 ( solutions standards ) permet le calcul des concentrations en métaux lourds des sédiments. Celles-ci sont consignées dans des tableaux en fonction des radiales et des profondeurs de prélèvements ( Tableaux 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, Pages 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91 )

As

$r = 0,99$

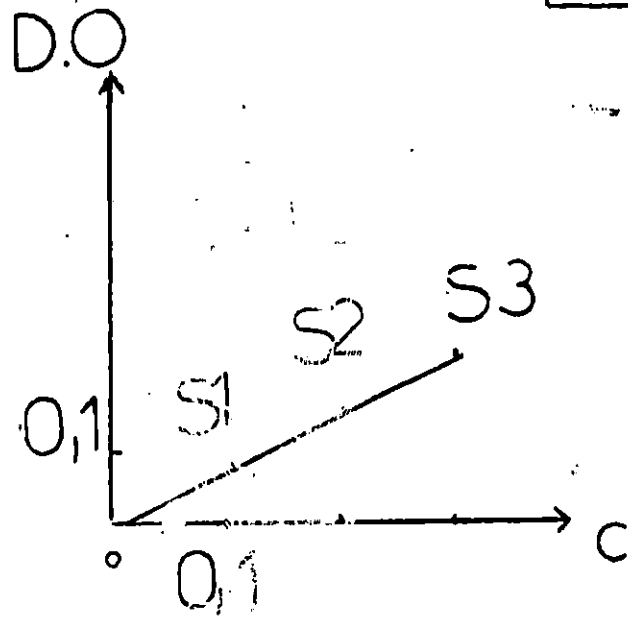


Fig: 3  $DO = F(C)$

$a = 0,135$   
 $b = 3,3 \cdot 10^{-4}$   
 $r = 0,99$

Cu

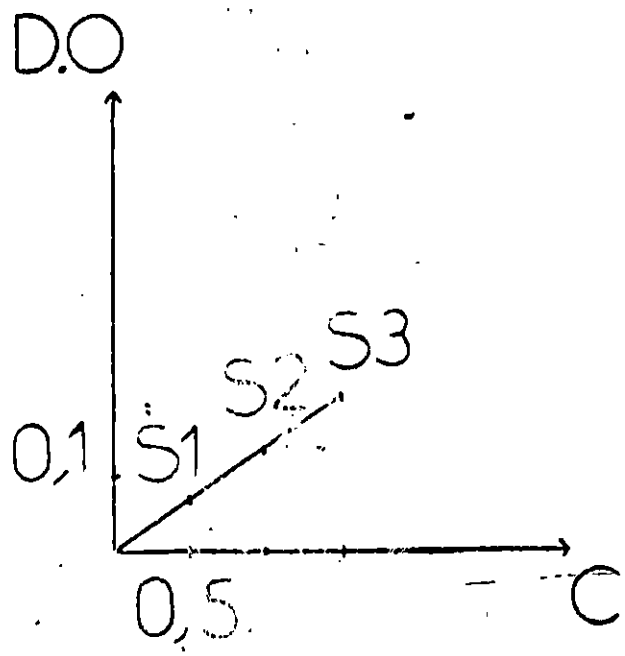


Fig: 4  $DO = F(C)$

Concentrations des métaux lourds dans les sédiments superficiels marins de la côte ouest algérienne.

TABLEAU ( 6 ) :

	1	1	1	1	1
As	- 10m	- 20m	- 40m	- 60m	
G		20,64	22,98	20,59	
H		21,91	18,93	20,87	
I		13,53	23,58	18,15	
J		10,91	20,60	22,54	
K		18,25	17,27	27,78	
L		F.R	22,05	21,32	
H		15,99	22,21	26,66	
N		F.R	15,99	31,94	
O		F.R	31,33	43,48	
P		29,83	35,11	61,94	
Q		33,93	37,51	36,48	
R		17,01	44,68	41,89	
S	31,86	31,28	35,25	33,14	
////	1*	2*	3*	////	
T	51,57	59,47	57,46	////	

V.Max :61,94

V.Min :10,91

V.Moy :51,03

\* 1, 2, 3 : stations de La radiale T (Tafna).

TABLEAU ( 7 . ) :

		1 - 10 m	1 - 20 m	1 - 40 m	1 - 60 m	
Cd						
G			0,758	0,449	1,90	
H			2,346	1,841	3,113	
I			0	0,147	0,138	
J			0,104	0,092	0,110	
K			0,987	1,759	0,944	
L			F.R.	0,827	0,353	
H			0,325	0,887	0,263	
N			F.R.	4,314	1,109	
D			F.R.	1,962	1,783	
P			2,733	1,562	1,780	
Q			0,665	0,177	0,330	
R			0,396	0,093	0,062	
S		0,123	0	0,982	0,016	
-----						
		4	2	3	//////////	
-----						
T		0,169	0,533	0	//////////	

V.Max: 4,314

V.Min : 0

V.Moy : 2,157

TABLEAU (8) :

Cr	- 10 m	- 20 m	- 40 m	- 60 m
G		14,04	33,21	32,38
H		12,19	14,30	31,28
I		3,70	34,48	30,80
J		4,79	29,19	31,28
K		8,93	48,71	27,99
L		F.R.	0,73	9,09
M		4,9	13,38	13,14
N		F.R.	0,73	14,39
O		F.R.	10,20	21,79
P		13,40	17,50	34,67
Q		17,58	49,69	17,65
R		8,10	46,50	19,71
S	9,09	13,33	46,49	18,69
<hr/>				
/////////	1	2	5	/////////
<hr/>				
T	11,29	22,82	20,79	/////////

V. Max : 34,67

V. Min : 0,73

V. moy : 17,7

TABLEAU ( 9 ) :

	1	1	1	1	1	1
Cu	- 10 m	- 20 m	- 40 m	- 60 m		
G	18,2	14,7	12,6			
H	17,8	14,9	13,4			
I	5,2	14,1	14,1			
J	7,2	12,4	10,9			
K	6,3	7,8	18,5			
L	F.R.	7,4	9,6			
M	4,4	9,6	11,5			
N	F.R.	8,1	12,6			
O	F.R.	11,8	24,4			
P	10,4	14,1	18,6			
Q	16,3	15,5	16,3			
R	11,1	13,3	12,6			
S	10,4	11,8	13,4	14,1		
//////	1	2	3	//////		
T	10,4	16,3	14,9	//////		

V. Max : 24,4  
V. Min : 4,4  
V. Moy : 14,4

TABLEAU ( 10 ) :

Mm	- 10 m	- 20 m	- 40 m	- 60 m
G		257,1	210,7	203,2
H		408	250,6	231
I		120,3	151,5	164,1
J		103,2	168,1	170
K		175,7	148,8	238,6
L		F.R.	178,6	180,2
M		52,9	58,2	127,4
N		F.R.	447,5	207,5
O		F.R.	216,9	175,3
F		203,9	494,8	208
Q		228,8	207,9	199,8
R		628	498,3	207,6
S	272,8	227,3	272,7	222,6
///////	1	2	3	//////////
T	569	307	295,7	//////////

V.Max : 628

V.Min : 52,9

V.Moy : 340,45.

TABLEAU ( 11 ) :

	Pb	- 10 m	- 20 m	- 40 m	- 60 m		
G			35,27	31,03	31,66		
H			28,29	24,00	27,92		
I			31,61	28,79	30,65		
J			22,48	28,05	31,16		
K			36,36	57,83	41,72		
L			F.R.	18,69	17,42		
M			85,87	51,63	15,61		
N			F.R.	27,21	47,76		
O			F.R.	32,56	33,55		
P			38,20	61,37	67,67		
Q			22,58	56,69	24,36		
R			36,40	34,91	38,83		
S		28,74	37,38	46,37	51,49		
//////		1	2	3	//////////		
T		22,31	13,08	21,85	//////////		

V.Max : 85,87

V.Min : 13,08

V.Moy : 49,47

TABLEAU ( 12 ) :

	1	1	1	1	1	1	1
Zn	- 10 m	- 20 m	40 m	- 60 m			
G		119	106,1	180			
H		101,9	92	98,9			
I		64,9	100,9	99,9			
J		71,9	97	101			
K		64,8	101,6	142			
L		F.R.	109	153			
M		0,3	41	98,9			
N		F.R.	79	75			
O		F.R.	53	116			
P		146	187	170,9			
Q		82,9	200,9	163,5			
R		148,1	100	79			
S	66	55,7	68	74			
	1	2	3				
T	60	93	75				

V. Max : 200,9

V. Min : 0,3

V. Moy : 100,6

## 2 - Distribution géographique des éléments métalliques :

### 2.1 - L'Arsenic :

Les teneurs en arsenic appartiennent à l'intervalle ( 10,91 - 61,94 ug. g<sup>-1</sup> ). La plus faible teneur se retrouve dans la zone de Mostaganem, à une profondeur de 20 m ( Radiale J ).

La plus forte teneur se localise dans la région de Béni-saf à une profondeur de 60 m ( Radiale P ).

L'ensemble des valeurs relativement faibles et les moins fréquentes ( 10,91 - 16 ug. g<sup>-1</sup> ) sont situées au niveau de l'oued Cheliff ( radiale I ), Mostaganem ( radiale J ) et Oran ( radiale M ), particulièrement à l'isobathe 20 m.

Les teneurs les plus fréquentes sont en moyenne comprises entre ( 17 - 23,58 ug. g<sup>-1</sup> ). s'observent surtout le long du littoral de Ténès jusqu'au Golfe d'Oran ( de la radiale G à la radiale M ) particulièrement aux profondeurs 40 et 60 m.

Les concentrations les plus élevées ( 26,70 - 61,94 ug. g<sup>-1</sup> ) sont constatées à partir des Andalouses et jusqu'à Mersa Ben. - M'hidi, plus précisément aux profondeurs 40 m et 60 m.

### 2.2. - Le Cadmium :

Les concentrations du cadmium sont comprises entre ( 0 - 4,314ug g<sup>-1</sup> ). Elles sont nulles au niveau des sites de prélèvements suivants :

- La Tafna, profondeur comprise entre zéro (0) et deux (2) mètres ( radiale T, station 3 ),
- Face à l'oued Cheliff, ( à la profondeur 20 m (radiale I) ).
- Mersa ben m'hidi, à la profondeur 20 m ( radiale S ),

La valeur la plus importante se retrouve dans la région des Andalouses à une profondeur de 40 m ( radiale N ).

Les valeurs les plus faibles ( 0,016 - 1,109 ug.g-1 ) sont les plus fréquentes, elles s'observent le long de la côte étudiée.

Des valeurs situées en moyenne entre ( 1,5612 - 1,962 ug. g-1 ) sont surtout retrouvées au niveau des isobathes 40 et 60 m, dans les régions de Ténès, Arzew et Béni-saf ( radiales G, K et F ).

Des concentrations relativement élevées en nombre restreint entre ( 2,346 - 4,314 ug. g-1 ) se localisent dans les zones de Ténès, de Béni-saf et des Andalouses, aux profondeurs 20, 40 et 60 m. ( radiales G, F et N ).

### 2.3 - Le Chrome :

Les valeurs en chrome se retrouvent dans l'intervalle ( 0,73 - 34,67 ug. g-1 ). La plus petite concentration est située près du cap Carbon ( radiale L ) et aux Andalouses ( radial N ) à des profondeurs identiques de 40 m. La teneur la plus importante se localise à 60 m de profondeur dans la région de Béni-saf (radiale P ) .

Les teneurs les plus faibles ( 0,73 - 10,20 ug . g-1 ) et les moins fréquentes se répartissent en général le long de la côte, la plus part à la profondeur 20 m. En revanche des valeurs relativement moyennes et les plus fréquentes sont comprises entre ( 11,29 - 22,89 ug. g-1 ) à des profondeurs de 20, 40 et 60 m.

En majorité, ces valeurs se distribuent d'Oran jusqu'à Mersa Ben-M'hidi ( de la radiale M à la radiale S, radiale T comprise ).

Des concentrations fortes, cependant en nombre moins important que les précédentes appartenant à l'intervalle ( 27,99 - 34,76 ug g-1 ) sont observées à la profondeur 40 m et surtout à la profondeur 60 m de Ténès ( radiale G ) à Oran ( radiale M ). Dans ce cas, signalons que l'une des valeurs les plus élevées se retrouve à Ténès.

#### 2.4 - Le Cuivre :

Les teneurs en cuivre appartiennent à l'intervalle ( 4,40-24,40 ug g-1 ). La teneur minimale se localise à Oran à une profondeur de 20 m ( radiale M ). La teneur maximale se situe entre la côte et les îles Habibas à une profondeur de 60 m ( radiale O ).

Les plus faibles concentrations, comprises entre ~~( 4,40 - 11,90 ug g-1 )~~ sont situées dans une première région, celle de Ténès ( radiale G ) à Mostaganem ( radiale J ), et dans une seconde, de Béni-saf ( radiale P ) jusqu'à Mersa Ben M'hidi ( radiale S ) radiale T comprise ). Des teneurs plus élevées ( 17,80 - 18,60 ug g-1 ) mais moins fréquentes se retrouvant aux isobathes 20 et 60 m à Ténès ( radiale G ) à Arzew ( radiale K ) et à Béni-saf ( radiale P ).

Notons, toujours, que Ténès présente un sédiment fortement concentré en cuivre ( 18,20 ng. g-1 ).

#### 2.5 - Le Manganèse :

Les concentrations en Manganèse sont dans la tranche de valeurs ( 52,9-628 ug. g-1 ). La plus faible étant située à Oran ( radiale M ) la plus élevée à Ghazaouet ( radiale K ), les deux teneurs localisées à l'isobathe 20 m.

Les teneurs les plus faibles (52-58,2 ug . g-1) sont au nombre de deux (2) et se trouvent dans la région d'Oran à 20 m et à 40 ( radiale M )  
Les valeurs les plus fréquentes sont celles situées entre (103,20 - 295,7 ug . g-1 ) réparties le long de la côte. Des teneurs de l'ordre de ( 307 - 628 ug . g-1 ), les plus élevées, sont surtout localisées à la profondeur 20 m et concernent les environs de Ténès ( radiale H ), Ghazaouet ( radiale R ) et la Tafna ( radiale T, station 1,2 ).

#### 2.6 - Le Plomb :

Les valeurs du plomb sont comprises dans l'intervalle ( 13,08 - 85,87 ug . g-1 ).

La plus petite valeur est retrouvée au niveau de l'Oued Tafna ( radiale T, station 2 ).

La plus grande valeur se situe à Oran à une profondeur de 20 m ( radiale M ).

Les teneurs en plomb ne dépassant pas les 19 ug . g-1 sont en nombre restreint. Elles se localisent à des profondeurs de 40 et 60 m à proximité du cap Carbon ( radiale L ) et dans le Golfe d'Oran ( radiale M ). Par contre, les teneurs de la tranche de valeurs ( 21,85 - 31,66 ug . g-1 ) sont fréquentes. Elles occupent surtout la région comprise entre Ténès et Arzew ( de la radiale G à la radiale K ), au niveau de toute les profondeurs de prélèvement.

Une zone proche de Béni-saf ( radiale Q ) montre des teneurs comprises dans l'intervalle cité ci-dessus. Les concentrations de plomb variant de ( 32,56 - 67,67 ug . g-1 ) indépendamment des profondeurs, se localisent en majorité entre Arzew ( radiale K ) et Mersa ben M'hadi ( radiale S, radiale T comprise ).

## 2.7 - Le Zinc :

Les teneurs en zinc observées sont comprises dans la tranche de valeurs allant de ( 0,3 - 200,9 ug. g-1 ).

La teneur la plus faible se retrouve à une profondeur de 20 m à Oran ( radiale M ). La plus forte concerne une région voisine de Béni-saf ( radiale Q ) à l'isobathe 40 m.

Les valeurs relativement faibles en zinc, comprises entre ( 41-79 ug. g-1 ) et aux environs des îles Habibas.

Des teneurs plus fréquentes que les précédentes et plus élevées aussi ( 82,90 - 119 ug . g-1 ) s'observent en grande partie entre Ténès ( radiale G ) et Oran ( radiale M ). Elles fréquentent en majorité les isobathes 40 et 60 m.

Les concentrations les plus fortes variant de ( 142 - 200,9 ug.g-1 ) se localisent surtout à la profondeur 60 m, parfois à 20 m à 40 m dans les régions d'Arzew ( radiale K ) et du cap Carbon ( radiale L ), dans les régions de Béni-saf ( radiales P et Q ) et à Ghazaouet ( radiale R ). Comme auparavant, cas des précédents métaux, la région de Ténès offre, à l'isobathe 60m, une valeur élevée en zinc ( 180 ug. g-1 ).

### 3 - Affinités et corrélations des éléments métalliques :

Dans le but de vérifier l'existence possible d'affinités entre les métaux étudiés, l'étude de la corrélation linéaire est adoptée. L'utilisation du test du X<sup>2</sup> s'avère nécessaire. Par hypothèse les éléments métalliques sont liés par une relation linéaire de la forme  $Y = a \times + b$ . La droite d'ajustement se fait grâce à la régression ~~de~~ moindres carrés.

Des corrélations ont été réalisées pour les couples de métaux qui semblent présenter le plus d'affinité entre eux. Ainsi, selon MAOUCHE (1987) (35), le cuivre, le zinc et le plomb ont des coefficients de corrélation significatifs, bien particulièrement le couple Plomb - Zinc. Cependant, aucune corrélation des métaux cités ci-dessus n'est significative. Les métaux restants, le cadmium, le manganèse et le chrome ont suivi le ~~même procédé et dans~~ tous les cas, les corrélations entre les différents métaux ne sont pas significatives.

Afin d'ajuster au mieux les droites de régression, certains points ont été écartés. Toutefois, les résultats obtenus ne sont pas significatifs ( Tableau 13, page 98 ).

TABLEAU 13 : Exemples de corrélations entre certains couples de métaux.

Couples	Coefficient de corrélation (R)	Valeur calculée (Test du X <sup>2</sup> )
Cd - Pb	4,80. 10E-3	0,03
Cu - Cd	4,94. 10E-3	0,03
Cu - Mm	5,30. 10E-2	0,33
Mm - Cr	8,62. 10E-3	0,05
Pb - Zn	2,69. 10E-5	1,60.10E-4
Zn - Cu	0,19	1,25

Au taux de risque de 5 % et à un degré de liberté de 39, la valeur lue sur la table du test du X<sup>2</sup> est de 1,96 (SCHWARTZ, 1969) (55) est supérieure à toutes celles calculées, indiquant ainsi une absence de corrélation entre les métaux dans les sédiments superficiels du milieu marin.

Des diagrammes ( figures 5, 6 pages 99, 100 ) illustrent quelques résultats obtenus ci-avant.

Dans une même zone, deux métaux offrant une bonne corrélation sont des métaux qui évoluent de la même manière, tantôt en augmentant, tantôt en diminuant. Cette situation n'a pas été vérifiée pour l'ensemble de la zone étudiée.

Prenons seulement un échantillon de la zone étudiée le golfe d'Oran, pour lequel le couple Pb, Zn, qui selon MAOUCHE (1987) (35) doit présenter une corrélation satisfaisante.

Diagramme de corrélation: zinc-cuivre (P.P.m)

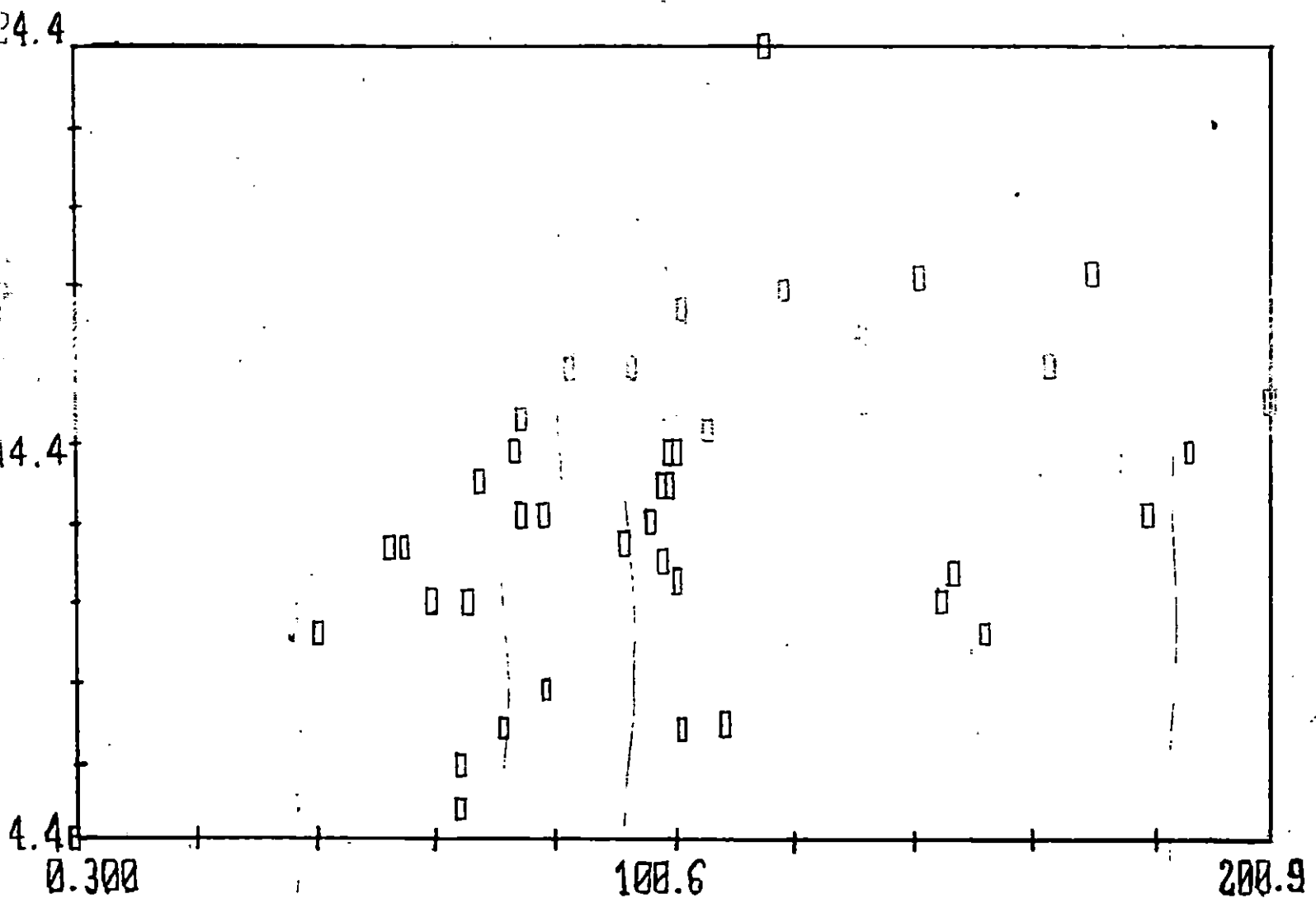


Fig:5

DIAGRAMME DE CORRELATION: PLOMB - ZINC (p.p.m)

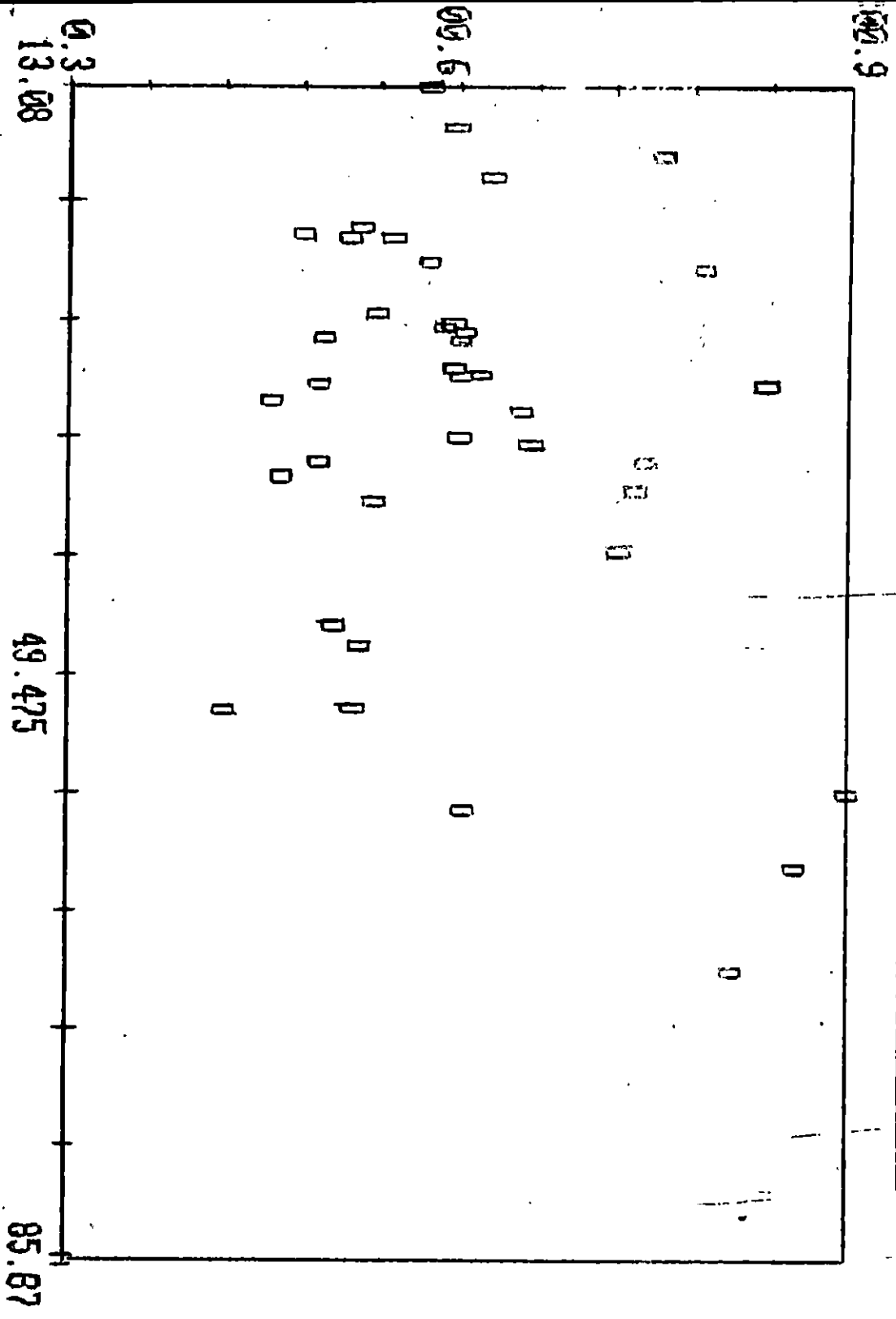


Fig:6

Toutefois, ce n'est pas le cas. Les concentrations du plomb et du zinc évoluent en sens opposé en fonction de la profondeur, dans les sédiments Oranais, ceci serait éventuellement du à la concentration élevée en plomb à la côte et d'origine anthropogène par rapport au zinc qui ne semble pas parvenir de la côte, ainsi le zinc et le plomb proviendraient de sources différentes, laissant apparaître une corrélation non significative.

#### 4 - Discussion et Interprétation :

##### 4.1 - L'Arsenic :

La zone étudiée est, dans le cas de l'arsenic, subdivisée en deux (02) sous zones. Une première située de Ténès à Oran et une seconde des Andalouses à Mersa ben M'hidi où la concentration est presque trois (03) fois supérieure à celle de la première sous zone ( 62 ug.g<sup>-1</sup> ).

##### - Première sous zone :

Région où se retrouve l'oued cheliff, dont les teneurs en arsenic rencontrées à proximité appartiennent à la tranche moyenne ( 24 ug. g<sup>-1</sup> ). Elles sont comparables à celles de toute la côte de Ténès à Oran où les apports terrigènes d'autres oueds sont quasiment absents. A part celui de la Macta dans le Golfe d'Arzew, dont il sera question ultérieurement. Il semblerait donc que l'analyse ait été effectuée non pas sur un sédiment marin mais plutôt sur un sédiment provenant de l'oued cheliff. Ainsi, l'oued ne contribuerait pas à un apport excessif en arsenic. Cependant ne possédant pas de normes de références sur les sédiments marins, l'arsenic retrouvé peut être d'origine naturelle.

Toutefois, les apports anthropogènes semblent contribuer à l'addition d'arsenic dans cette région par le biais de rejets urbains, d'engrais par ruissellements...

Le golfe d'Arzew (Raffinerie, industrie chimique et pétrochimique, complexe papetier de Mostaganem) qui relativement aux activités industrielles et humaines devrait présenter des teneurs élevées en arsenic, ne reflète que des teneurs moyennes ( 18, 25 - 27,78  $\mu\text{g.g}^{-1}$  ). Etant donné, la présence de l'oued Macta avec des apports terrigènes permanents et importants, il semblerait que l'analyse ait été effectuée également sur des sédiments de la Macta ( valeurs comparables à celles retrouvées à proximité de l'oued Cheliff ) . Ceux ci recouvrent la couche sédimentaire dans laquelle l'arsenic serait piégé. La vitesse de sédimentation serait supérieure à la vitesse de précipitation, d'absorption de l'élément métallique. D'autant plus que les prélèvements ont été effectués en période hivernale ( Février 1990 ), période de crue où les apports terrigènes sont même en saison sèche de quelques milliers de tonnes.

- Deuxième sous-zône :

Région où l'influence de l'oued Tafna semble la plus frappante ( valeurs nettement supérieures à celles de l'oued cheliff et de la Macta ). La teneur de la Tafna varient de ( 51,57 - 59,19  $\mu\text{g.g}^{-1}$  ). Elles sont comparables à celles retrouvées dans les sédiments de Béni-Saf. Cette dernière, recevant directement les apports de la Tafna et contribuant par le biais des industries métallurgiques de la cimenterie, de la conserverie et des apports urbains à l'augmentation de la teneur en arsenic dans le milieu marin. "L'apport fluvial naturel et industriel est déterminant

pour pratiquement tout les métaux" ( AUBERT et COLL, 1979,1980 )  
( 10 ).

Toutefois, des Andalouses à Merse Ben M'hidi, des activités non signalées pourraient contribuer aux apports d'arsenic dans le milieu marin.

Le long du littoral, la sous zone Ténès - Oran, comporte le maximum de sources anthropogènes susceptibles de polluer la mer ( Golfe d'Arzew - Golfe d'Oran ) par rapport à la sous zone Andalouses - Merse ben m'hidi où les activités industrielles et humaines sont relativement moindres comparées aux premières. Toutefois, les concentrations en arsenic de cette deuxième sous zone sont les plus importantes, laissant penser que l'oued Tafna est celui qui a le plus d'impact sur le milieu marin. Ceci serait peut être dû à des gisements de minerais riches en arsenic et/ou à l'environnement géologique de drainage de la Tafna. Le bassin versant selon PERES (1976) (44) peut contribuer par l'apport des métaux lourds.

Les moyennes et fortes teneurs d'arsenic sont particulièrement retrouvées aux isobathes 40 et 60m où la majorité des sédiments est de nature vaseuse à sablo-vaseuse. En effet, selon DONAZZOLI et ses collaborateurs (1984) (in 37) ainsi que MARTINČIĆ et ses collaborateurs ( 1985, 1986, b, 1988 a, b ) (in 37) :

"Les traces métalliques se retrouvent surtout dans les particules les plus fines". D'autant plus que le brassage des eaux et du sédiment superficiel à de faibles profondeurs (20m), selon RINGOT (1982)(51) facilite la remise en suspension ou en solution des métaux du sédiment, surtout en période hivernale où le milieu marin est très agité. Ainsi le sédiment offre des teneurs plus faibles.

Le Cadmium est absent à la profondeur 20m ( à l'embouchure de l'oued Cheliff, à Mersa Ben M'hidi et à l'intérieur de la Tafna ( radiale T, station 3 ) ; la teneur peut être inférieure à la limite minimale de détection de l'appareil de mesure ( 10 - 15 µg g<sup>-1</sup> ).

De part sa rareté dans le sédiment marin, le cadmium selon le P.N.U.E ( 1989 ) ( 48 ) ne se retrouve qu'à des concentrations faibles d'environ 0,15 µg. g<sup>-1</sup> de poids sec ( P.S ).

Le cadmium est en petite concentration au niveau du Golfe d'Arzew alors qu'il devrait être plus élevé de part les industries situées dans la région, le tourisme, la présence de ports... par rapport à la région des Andalouses où les activités sont tout de même moins fréquentes et où la valeur de la concentration atteint le maximum. La Macta de part ses apports terrigènes doit jouer un rôle de couvert sédimentaire surtout en période de crues.

Le Golfe d'Oran, plus élargi à l'ouest ( cap falcon ) ; que celui du Golfe d'Arzew ( cap carbon ) permet une circulation plus libre des courants. Ces derniers permettraient une redistribution et une dispersion vers le large.

Les valeurs les plus faibles sont les plus faibles, rencontrées tout le long du littoral. même dans les régions urbanisées et industrialisées. Ainsi, les apports anthropogènes n'apporteraient pas de changements remarquables sur les teneurs du cadmium dans le milieu marin. Quoique ces valeurs sont supérieures à la norme du P.N.U.E ( 1989 ) ( 48 ).

Le comportement du cadmium dans le milieu marin est variable.

Notons que tout comme pour l'arsenic, le cadmium présente de fortes teneurs dans la zone de Béni-Saf où les activités industrielles le tourisme et le port de pêche semblent avoir un impact direct sur le milieu marin. Le port de Béni-saf abrite des embarcations de pêche et de tourisme, peintes à base de cadmium.

Au cours du temps, ce dernier se dissout et se propage dans la mer. Or la Tafna à l'amont est dépourvue de cadmium et présente des valeurs moyennes à l'embouchure ces dernières doivent provenir de rejets anthropogènes près de l'embouchure ou bien du milieu marin. Cet ouéd ne semble pas contribuer à l'apport en cadmium, notons que les Andalouses présentent la valeur la plus élevée en cadmium cela laisse supposer qu'un courant de dérive, allant d'ouest en est peut transporter les rejets de l'usine d'électrolyse de zinc et du cadmium de Ghazaouet vers Béni-saf puis vers les andalouses.

Une concentration importante en métaux peut relever d'un hydrodynamisme local (MAOUCHE, 1987) (35). Cependant cela n'explique pas les concentrations élevées retrouvés dans la région des Andalouses, pourtant la zone de Béni-Saf est plus proche de Ghazaouet.

D'autant plus que malgré la présence de cette usine, les teneurs en cadmium de cette dernière zone sont relativement faibles.

Ainsi, aux Andalouses l'origine de ce cadmium semblerait provenir de déversements ponctuels non signalés, ou bien à la présence de gisements de minerais, dans les environs, ou encore à une activité ignorée.

La nature vaseuse ou vaso-sableuse du sédiment, contribue au piégeage de cet élément, en outre en profondeur, le brassage des eaux marines est faible par rapport à celui des eaux de la côte où l'hydrodynamisme a un rôle prédominant.

La région de Ténès (radiale. H) présente des valeurs surprenantes de concentration en cadmium, Vue que cette zone est à urbanisme peut important et est non industrialisée.

Rappelons qu'au temps du colonialisme une ancienne mine du nom de BREIRA, d'extraction de minerais de Fer, située non loin de là, fermée en 1962, a peut être un prolongement dans la mer. Le sédiment est ainsi contaminé non seulement en fer mais en cadmium et peut être en d'autres métaux. une extension minière sous marine est donc probable.

#### 4.3 - Le Chrome :

Le chrome, oligoélément, indispensable au développement de la vie présente des valeurs très faibles près du cap Carbon et aux Andalouses (40m). Cela laisse supposer une intense utilisation du chrome par les organismes marins, ou bien un antagonisme vis-à-vis des autres métaux adsorbés aux sédiments. Le chrome se retrouvant dans l'eau, sa teneur dans le sédiment diminue.

Des rejets urbains et industriels seraient dépourvus de chrome.

En effet de faibles valeurs rencontrées à Arzew, Oran et Mostaganem à la profondeur 20m semblent confirmer cette hypothèse.

Des valeurs moyennement élevées et très fréquentes (11,29 - 22,89ug. g - 1) d'Oran à Mersa Ben M'hidi proviendraient :

- pour Oran : des rejets industriels et urbains, des peintures des bateaux, des constructions navales,...

- pour Béni-saf: des industries diverses, l'urbanisme, le port (bateaux)...

- L'ouéd Tafna : offre des valeurs moyennes semblant provenir à l'origine de la composition du sédiment de l'ouéd surtout en amont. Toutefois, les teneurs rencontrées aux environs (Radials P et Q) sont voisines de celles de la Tafna. Les teneurs de la Tafna, comparées à celles rencontrées en face de l'ouéd Cheliff, sont nettement inférieures. Ces dernières sont comparables à celles des environs ( Ghazaouet, Mersa Ben M'hidi ) Aussi, ces valeurs semblent d'origine naturelle. Mais elles sont plus élevées que celles d'ORAN et de BENI-SAF, l'apport des industries et de l'urbanisme semble complémentaire. Ainsi la Tafna n'a pas d'impact sur les concentrations en chrome du milieu marin. Les teneurs les plus élevées se rencontrent uniquement à 40 et 60 m de Ténès à Oran ( radiale L exclue ) .

Face à l'embouchure de l'ouéd Cheliff, les teneurs sont extrêmement élevées. Elles proviendraient des déversements industriels et d'activités urbaines, transportées de l'ouéd vers le milieu marin. Selon, THOMSON et ses collaborateurs (1975) ( in 37 ) et selon, FORSTNER et WITTMAN (1979) (in 37), la concentration des métaux, entre autre du chrome, dans la zone en question ( industrielle ) est très souvent plus élevée que leur concentration naturelle dans le sédiment.

A la profondeur 20 m, face à cet embouchure, la concentration en chrome est cinq (05) fois inférieure à celles des profondeurs 40 et 60 m. Elle se situe dans la zone de mélanges eaux douces eaux salées où des phénomènes complexes et très peu étudiés surviennent. Le chrome à cet endroit précis aurait peut être un comportement différent que celui dans le milieu marin.

Il n'est pas à exclure, vu le trajet parcouru par les eaux douces de cet oued qu'il y ait des apports d'origine naturelle à l'amont de cet oued (gisements naturels).

Mostaganem et ses environs, près de l'oued Cheliff, présentent des teneurs comparables à celles de cet oued. Cette région peut subir l'influence de l'oued par des courants locaux, à laquelle sont additionnés les rejets d'eaux usées de la ville de Mostaganem, de ces environs et des diverses industries.

La zone d'Arzew peut éventuellement subir l'influence de la Macta cependant, il est plus probable, vue la profondeur à laquelle se retrouve la valeur la plus concentrée, que les rejets proviennent de Mers el Hadjadj. La zone industrielle d'Arzew malgré des teneurs moindres près de la côte peut participer aux apports de polluants par les courants locaux transportant les teneurs vers le large. Une possibilité n'est pas à exclure, c'est le cas des navires entrant dans la baie d'Arzew et vidant leurs ballasts. Ces eaux douces ou marines déversées dans le milieu, proviendraient de ports ou de zones polluées ou pourraient être contaminées dans les navires.

Les cas d'Oran et de Béni-saf sont semblables à celui d'Arzew quoique Béni-saf présente à la profondeur 60m la valeur la plus élevée. Il semblerait que le sédiment vaseux favorise la rétention du chrome. D'autres parts, certaines industries rejettent des boues chargées en métaux lourds, entre autre, le chrome. Aussi le dragage des boues du milieu portuaire et leur immersion vers le large peut expliquer les concentrations élevées en chrome à ce niveau (PERES. 1976) (44). Selon cet auteur aussi, la nocivité de ces boues dépend de leur traitement par quelques métaux lourds et des résidus métalliques s'y trouvant.

Les concentrations rencontrées à Ténès sont, de nouveau, élevées l'urbanisation n'explique toujours pas ces concentrations identiques à celles des zones les plus industrialisées.

#### 4.4 - Le Cuivre :

Les plus faibles concentrations en cuivre sont retrouvées dans l'ensemble de la zone étudiée. Leur répartition est quasi-uniforme indépendante des zones industrialisées et peu ou pas industrialisées le cuivre, considéré comme élément organophile, est naturellement incorporé dans les cycles biologiques marins ( IRVING et WILLIAMS, 1953. BOWSER et COLL, 1979 ; RAPIN et COLL, 1982 in 35 p.186). Ces teneurs se localisent surtout aux profondeurs 20 et 40 m. Le cuivre semble être utilisé par la faune et la flore benthique en milieu éclairé favorable au développement de la vie aquatique. Lorsque le sédiment marin est assez peuplé d'organismes vivants, il offre moins de chance au cuivre d'être adsorbé au sédiment.

Les valeurs moyennes en même proportion que les précédentes sont situées dans :

- Une première sous zone, de Ténès à Mostaganem aux profondeurs 40 et 60m et où elles sont comparables. Elles correspondraient aux concentrations naturelles du milieu marin, auxquelles seraient rajoutés des apports urbains et industriels, provenant probablement de Ténès( port de pêche, conserverie ... ) et de Mostaganem ( complexe papetier , industries diverses, urbanisme important ...). Ces apports riches en matière organique favorisent la complexation et la fixation du cuivre avec celle ci ( RAPIN et COLL, 1982 ) (50). Etant donné que le cuivre présente

une affinité vis-à-vis de la matière organique. Ainsi, il se retrouve le plus souvent lié aux acides humiques fulviques en milieu oxygéné ( SERRA, 1981 in 2 p.379) et lié aux sulfures en milieu anoxique excessivement riche en matière organique.

- une deuxième sous zone , éloignée de la première, située entre Bèni-saf et Mersa ben M'hidi présente les mêmes aspects avec des valeurs équivalentes. L'oued Cheliff et la Tafna présentent des valeurs proches de la tranche des valeurs moyennes.

Ils ne sembleraient contribuer que d'une manière très faible à l'apport du cuivre dans le milieu marin.

La zone des îles Habibas, la plus riche en cuivre à la profondeur 60 m est située non loin des Andalouses où la concentration la plus forte en cadmium a été relevée. Ces deux métaux se retrouvent le plus souvent ensemble. Il semblerait que le cuivre a dérivé par le biais des courants locaux des Andalouses vers la barrière rocheuse des îles Habibas où il a été accumulé. Les bactéries, notamment celles qui sont épiphytes des particules, jouent certainement un rôle important dans la compléxation de nombreux métaux lourds et l'on tend à leur imputer la genèse de certains gîtes métallifères ( JONES, 1970 in 44 p.19-20) .

La zone de Ténès ( Radiales G et H ) présente un sédiment concentré en cuivre à 20 m de profondeur. Ce cuivre proviendrait de rejets urbains. Le sédiment de nature sablo-vaseuse permet la rétention de cet élément métallique

#### 4.5 - Le Manganèse :

Le Manganèse est un oligoélément très répandu dans les milieux aquatiques riches en végétaux trois tranches distinctes de valeurs sont observables.

Les valeurs les plus fréquentes sont réparties dans toute la zone étudiée. Elles semblent être d'origine naturelle, les rejets urbains industriels, l'utilisation d'engrais sur la côte ne sont pas exclus.

La région à proximité de l'oued Cheliff offre des concentrations semblables à celles retrouvées sur toute la côte. Les apports de l'oued n'affecteraient pas ou très peu les teneurs du milieu marin. Les agglomérations et industries situées aux abords du Cheliff n'ont pas d'impact certain sur le milieu marin. Toutefois des concentrations maximales sont rencontrées aux environs de Ténès ( radiale H ), à Ghazaouet et à l'embouchure de la Tafna. La région voisine de Ténès ( radiale H ) présente ces valeurs à une profondeur de 20 m uniquement, laissant croire à une source de rejet située près de la côte. Or cette région très peu peuplée et non industrialisée ne semble pas influencer les concentrations du milieu marin.

La Tafna offre des teneurs moyennes en amont, elles sont encore plus élevées que celles précédemment citées particulièrement au niveau de l'embouchure, zone saumâtre, qui selon PERES (1976) (44) "est en quelques sortes, un piège à polluants".

les peuplements estuariens sont de ce fait les plus exposés aux effets alteragènes. En effet selon MAOUCHE (1987) (35) le manganèse sédimenté près des embouchures sous l'effet de phénomènes

de floculations, ou est exporté vers le large sous forme particulière.

A Ghazaouet, la teneur extrême est rencontrée à 20 m de fond elle proviendrait des industries chimiques, métallurgiques, ou le manganèse est souvent utilisé, étant donné, qu'elle se retrouve à la faible profondeur seulement. Elle indiquerait que la source principale est au niveau de la côte. Toutefois, l'apport des eaux usées n'est pas à négliger.

Le Golfe d'Oran présente des valeurs faibles à 20 et 40m.

Le manganèse étant fortement conditionné par les conditions réductrices du milieu ( MAOUCHE, 1987) (35) cependant à la profondeur 60 m, une élévation de la concentration par rapport aux teneurs précédentes est notée. Selon PERES (1976) (44), non loin de la côte les apports directs proviendraient d'une part de la navigation d'autres part, des venues d'origine atmosphérique, mais ils ne sont pas uniformément répartis.

Une redissolution permanente est probable. Cette zone fortement industrialisée ne semble pas contribuer aux apports de manganèse. Cela ne prouve pas que les rejets soient dépourvus de manganèse mais que celui-ci, suivant les conditions biogéochimiques serait tantôt piégé, tantôt libéré dans l'eau.

#### 4.6 - Le Plomb :

Les teneurs en plomb les plus élevées sont en général rencontrées dans les Golfes d'Oran et d'Arzew et plus précisément à proximité des ports. Selon MEDBOUR (1988) (38), la concentration du plomb dans la Méditerranée a été multiplié par cinq (05) depuis cinquante (50) ans. Les côtes algériennes n'étant pas à l'abri de cet accroissement.

A L'isobathe 20 m, la teneur maximale se situe à Oran. Il est très probable que les rejets anthropogéniques en soient la cause, étant donné que cette concentration diminue en fonction des profondeurs 40 et 60m. Ceci confirme l'hypothèse que les apports sont d'origine terrestre, vu l'importance de l'industrialisation aux abords de la côte. Les rejets gazeux industriels s'ajoutent à ceux cités au préalable par le biais des pluies. En outre, le milieu portuaire, milieu anoxique, riche en matières organiques ( eaux usées, cadavres d'organismes marins intoxiqués... ) est concentré en plomb. Ce dernier offre une corrélation positive ( 0,84 ) avec le carbone organique ( MAOUCHE 1987 - ) (35) expliquant la forte teneur retrouvée 85,87 ug. g<sup>-1</sup>. Les valeurs les plus faibles en plomb, rencontrées aux profondeurs 40 et 60m semblent provenir de la côte.

Le Golfe d'Arzew présente des teneurs élevées, cependant elles sont inférieures à celles du golfe d'Oran, irrégulièrement réparties en fonction de la profondeur. L'influence permanente de l'oued Macta, particulièrement en période hivernale semble modifier la composition du sédiment et par conséquent les concentrations en plomb.

Les valeurs les plus élevées vont d'Arzew à Mersa ben m'hidi. La zone de Béni-saf (Radiales P et Q) présente des valeurs très élevées ( 67,67ug. g<sup>-1</sup> ) en plomb, relatives aux industries diverses de la région, à l'urbanisme et à l'activité portuaire. De même, la zone de Ghazaouet de part des activités semblables donne des valeurs identiques.

Les Andalouses présentent également des concentrations en plomb relativement élevées à la profondeur 60 m où la concentration

est presque de moitié de celle proche de la côte à 40 m de profondeur ( très éloignée de la première, vue que le plateau continental dans cette région est en pente très douce ). Cela suppose un rejet ponctuel non signalé à ce niveau.

L'hydrodynamisme peut parfois au lieu de disperser, apporter et concentrer les éléments métalliques (SCOULLOS, 1980) (57). C'est le cas du plomb, surtout lorsque le fond est vaseux. Le plomb étant volatil, il peut se retrouver dans les sédiments superficiels à la suite d'une secousse sismique. En effet, la mer Méditerranéenne est une région tectonique active où certains métaux y sont naturellement présents en quantités élevées mais avec des degrés de concentrations très différents (SIBLOT, AISSI ET ASSO, 1979) (61). A Ténès, le sédiment présente des valeurs moyennement élevées à la profondeur 20m. Il semblerait que les apports terrigènes soient plus importants que prévu.

Les concentrations en plomb à la Tafna sont inférieures à celles retrouvées face à l'embouchure de l'oued Cheliff. Ainsi, les déversements urbains dans l'oued Cheliff paraissent plus importants que ceux déversés dans la Tafna, sachant que l'urbanisme y est beaucoup plus élevé.

En conséquence, ce plomb semble provenir en majorité d'une source anthropogénique.

Les concentrations moyennement élevées s'observent dans leur quasi-totalité sur la majorité des sites étudiés.

#### 4.7. Le zinc :

Des teneurs moyennes et les plus fréquentes se répartissent en grande partie entre Ténès ( radiale H ) et Oran. Des teneurs à proximité de l'embouchure de l'oued Cheliff sont comparables à une multitude de valeurs présentes le long de la côte , particulièrement dans la partie Ténès - Oran. L'oued Cheliff ne semble pas apporter de concentrations supplémentaires significatives dans le milieu marin. Les valeurs observées à Oran sont inférieures à celles de Ténès. Pourtant, la zone Oranaise est de loin la plus sujette aux rejets de polluants de part son imposante structure industrielle. Ainsi, les industries implantées dans la zone n'auraient pas eu d'impact particulier sur le milieu marin pendant la période de prélèvement. En outre, la valeur la plus faible, quasiment nulle, rencontrée aux faibles profondeurs ( 20 m ) du Golfe d'Oran, semble appuyer la précédente hypothèse.

Les concentrations les plus fortes sont rencontrées dans la région d'Arzew, de Béni-Saf et de Ghazaouet.

La région d'Arzew ( radiale K et L ) semble recevoir d'une part les rejets des industries pétrochimiques de Merse El Hadjadj et d'Arzew, elle même. Les sédiments prélevés dans la période hivernale devaient provenir de la Macta ( couvert sédimentaire ). Le sédiment le plus contaminé se retrouverait au large et n'aurait pas encore reçu les apports de la Macta. Il serait peut être plus ancien que les sédiments côtiers. Toutefois, PERES ( 1976 ) (44) stipule que les eaux du large ne sont pas à l'abri de certains apports polluants. Arzew contribuerait aux apports du zinc de part ses rejets industriels et urbains. Toutefois, des changements des conditions

biogéochimiques du milieu aquatique peuvent remettre en solution les éléments métalliques et ainsi diminuer la teneur dans le sédiment. Cette région semblera peu contaminée, ce qui ne serait pas le cas. Les teneurs de Béni-Saf sont l'unes des plus importantes. Elles le sont aussi par rapport à celles de la Tafna. Cette dernière a une faible influence sur le milieu marin, Ces teneurs proviendraient d'industries diverses, de l'urbanisme, implantés dans cette zone et du tourisme. Le zinc ayant une affinité pour les argiles et la matière organique (MADUCHE, 1987) (35), il se retrouverait adsorbé aux particules d'argiles, de matières organiques drainées par la Tafna. A Ghazaouet, le zinc semble concentré près de la côte où l'usine d'électrolyse de zinc rejette ses déchets ainsi que des eaux de refroidissement qui peuvent être riches en zinc. D'autres sources participeraient à ces apports (industries diverses, métallurgiques, eaux usées ...). La teneur la plus élevée se situant à la profondeur de prélèvement la plus faible (20 m) près des côtes, laisse croire que ces industries sont les principales sources de rejets. Ainsi plus on se rapproche de la côte plus la concentration en zinc augmente. La source de pollution provient de la côte. La radiale Q entre Béni-Saf et Ghazaouet offre une teneur maximale. Elle semble récolter selon la direction des courants locaux des teneurs provenant de Ghazaouet et de Béni-Saf. Etant donné qu'elle ne présente aucune structure industrielle et urbaine.

La zone des Andalouses présente enfin, des valeurs moyennes de part le comportement du zinc vis-à-vis, d'autres métaux dans la région. Rappelons que le lien (zinc - cuivre) est parfois selon les conditions du milieu, Antagoniste (- ASSO, 1982) (7) et selon COSSA et LASSUS (1989) (21) les métaux peuvent interagir par synergie ou par

antagonisme, du fait de la présence d'autres métaux dans cette zone ( Cd , Pb, Cu, As ).

Le zinc au niveau du sédiment, pourrait être tantôt adsorbé, tantôt se dissoudre. Oligoélément, il est utilisé par bon nombre d'organismes marins.

Une fois encore, une concentration très proche de la concentration maximale est à souligner à Ténès, où aucune activité humaine, mis à part les eaux urbaines, ne semble expliquer cette teneur.

La distribution spatiale des métaux dans les sédiments superficiels dépend, en grande partie des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du milieu respectif ( PECHEANU, 1982 ) ( 43 ) .  
 N'ayant pas de normes de références des teneurs en métaux lourds cette étude s'est surtout basée sur l'observation et la comparaison des valeurs qui lui sont propre. Ainsi, en résumé, Ténès et ses environs, région moyennement ou peu peuplée et non industrialisée, présentent des valeurs remarquables de concentration, de cinq (05) métaux lourds. Les teneurs, à chacun d'entre eux, se rapprochent de la teneur maximale respective observée dans la région étudiée. Ainsi une anomalie géochimique semble renseigner sur l'existence d'un indice minier. Ces métaux sont le chrome, le zinc, le cuivre, le cadmium et le manganèse.

L'Oued Cheliff ne contribuerait pas à la pollution par les métaux lourds exception faite pour le plomb, par le biais des apports telluriques dans le milieu marin. Ceci n'apparaît pas pour l'Oued Tafna, ce dernier paraît plutôt jouer ce rôle pour l'Arsenic et le manganèse, une influence faible est constatée pour le zinc.

Des concentrations importantes sont rencontrées, à Oran, pour le cadmium, le chrome et le plomb ( concentration maximale ).

Egalement pour Arzew le cuivre présente des valeurs plus élevées que celles d'Oran.

Béni-Saf présente de fortes teneurs de cuivre et de plomb.

Ce dernier avec le manganèse ont les concentrations les plus élevées à Ghazaouet. Aussi, d'une manière générale deux zones distinctes assez éloignées présentent pour la plus part des métaux, des concentrations moyennement élevées ou extrêmes. Une première région

Ténès à la limite de la zone d'étude et une seconde beaucoup plus étendue à l'ouest : d'Arzew à Béni-Saf.

Les Andalouses, entre Arzew et Béni-Saf, offrent des teneurs considérables en métaux lourds, parmi lesquelles, le plomb, le cuivre, l'arsenic et le chrome, sont en moyennes supérieures à la moitié de leurs valeurs maximales respectives. Les métaux restant sont en teneurs moindres, néanmoins importantes.

La zone en question n'étant ni industrialisée ni fortement urbanisée. Le tourisme étant seulement estival et les courants locaux pouvant transporter les polluants métalliques peuvent tout autant les concentrer ou les disperser dans la zone. Des rejets ponctuels non signalés entre les Andalouses et les îles Habibas pourraient être responsables de ces teneurs.

Il est évident que les industries implantées sur la côte ouest l'urbanisme, les rejets ponctuels dans la mer, le tourisme même estival, les produits agricoles par ruissellement, les averses atmosphériques... jouent un rôle prépondérant dans la pollution anthropogénique du milieu marin.

Toutefois, les variations biogéochimiques desquelles les micro-organismes obtiennent leur énergie par le biais de réactions rédox, ont le rôle le plus important dans le sédiment. Selon AUBERT et coll. (1965-1982, 1982-1983) (9) de par la modification qu'apportent ces processus la nature du sédiment et les courants ont leur rôle à jouer dans la variation des teneurs en métaux lourds dans le sédiment marin.

5- Comparaison des concentrations des métaux lourds dans les sédiments superficiels de la côte Ouest Algérienne avec celles de certaines régions de la méditerranée et outre mer :

Dans le but de situer l'état actuel des teneurs en métaux lourds des sédiments côtiers superficiels de la côte Ouest Algérienne, des données ont été récoltées dans une zone située outre mer ( Atlantique Pacifique ) et faisant l'objet de cette comparaison :

Selon CHESSELET ( 1986 ) ( in 47 p.4 ) les concentrations observées en Méditerranée sont du même ordre de grandeur que ceux qui ont été observées à grande échelle dans l'Atlantique et le Pacifique.

Il semble donc que la chimie des métaux en traces dans la Méditerranée obéissent à des lois identiques à celles qui régissent leur chimie à l'échelle de l'océan global.

Tableau 14 : Comparaison des concentrations en métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger ( AOUAMEUR, 1990 ) (6) , et des côtes Pacifiques et Atlantiques des U.S.A ( O'CONNOR, 1990 ) (41) avec ceux de la côte Ouest Algérienne :

Métaux lourds	Baie d'ALGER (AOUAMEUR, 1990)	Côtes ( Pacifique- Atlantique ) USA ( O'CONNOR, 1990 )	Côte Ouest Algérienne ( Présente étude)
AS	-	-	10,91 - 61,94
Cd	0,15 - 1,79	1,3	0 - 4,31
Cu	14,25 - 80,50	87	4,40 - 24,40
Cr	11,40 - 83,60	230	0,73 - 34,67
Mn	108,5 - 349,90	-	52,90 - 628
Pb	17,53 - ?	87	13,08 - 85,87
Zn	71,50 - 392,50	280	0,3 - 200,9

Les valeurs de cadmium et de manganèse des sédiments superficiels de la côte ouest algérienne sont supérieures à celles retrouvées dans les sédiments de la baie d'Alger.

De même que pour les valeurs de cadmium (valeurs moyennes) des sédiments des côtes Atlantiques et Pacifiques américaines. Cette comparaison permet une approche de la situation actuelle des côtes ouest algériennes. Les valeurs extrêmes supposeraient désormais des teneurs excessives de ce métal. La teneur en zinc est plus élevée dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger, de part l'influence des industries implantées autour de la baie, des apports de l'Oued El-Harrach, et du port... D'un autre côté, les valeurs de la côte ouest algérienne sont moins importantes, peut être, du fait de la morphologie des côtes fournissant une circulation aisée des eaux dans la zone où le zinc subit des dilutions et des transports dans le milieu marin par rapport à la baie d'Alger où le milieu est plus confiné et moins brassé.

Le cuivre et le chrome offrent des teneurs spectaculaires dans les côtes américaines, de part l'industrialisation avancée, une urbanisation intense, des ports de plaisance et des grands ports industriels... cependant les concentrations extrêmes du plomb au niveau du sédiment de la côte ouest algérienne sont comparables à celles des côtes du pacifique et de l'atlantique américains. Ces valeurs, vu que, les sources de pollution des côtes américaines, sont plus abondantes que celles des côtes ouest algériennes, laissent perplexes.

#### 6- Critiques de la méthode de traitement des sédiments et propositions pour l'amélioration des techniques.

La méthode traditionnellement utilisée pour l'extraction des métaux lourds des sédiments marins superficiels a suscité quelques critiques. Selon plusieurs auteurs entre autre AMINOT et CHAUSSEPIED (1983)(4), la digestion du sédiment doit être partielle afin de ne pas attaquer la structure minéralogique. Cependant selon la concentration et les proportions d'acides utilisées, la digestion semble s'effectuer de manière différente. Ainsi, d'après SCULLOS et HATZIAESTIS (1989)(58), l'extraction des métaux par l'acide chlorhydrique ( HCl ) et par l'acide nitrique ( HNO<sub>3</sub> ) donne des pourcentages différents selon que le HCl ou que le HNO<sub>3</sub> est utilisé.

**Exemples :** Le chrome et le zinc sont mieux extraits par le HNO<sub>3</sub> que par le HCl. Cependant le plomb et le cuivre et particulièrement le cadmium sont eux, mieux extraits par le HCl que par le HNO<sub>3</sub>.

Le manganèse n'ayant aucune préférence pour l'un des deux acides. Dans le cas de la présente étude, l'eau régale utilisée dans les proportions 3/4 de HCl et 1/4 de HNO<sub>3</sub> a dû extraire avec des pourcentages satisfaisants le plomb, le cuivre et le cadmium. Contrairement au chrome et au zinc qui devraient, en fonction de la proportion de HNO<sub>3</sub> utilisée, donner des pourcentages moins intéressants. Cette extraction n'étant pas uniforme pour la totalité des métaux. L'utilisation simultanée des deux ( 02 ) acides, dans des proportions égales serait intéressante à tester dans le but de voir si les pourcentages offerts par la méthode traditionnelle sont comparables à l'essai en question. De même, la température et le temps mis pour l'extraction semblent influencer la concentration finale en métaux lourds. Aussi l'analyse d'un même échantillon à différentes températures et durées permettraient de vérifier la présente supposition.

" Notre génération sait qu'elle ne refait pas le monde, mais sa tâche peut être plus grande, elle consiste à empêcher que le monde ne se défasse "

CAMUS.

= CONCLUSION =

L'analyse des sédiments superficiels de la côte occidentale algérienne a permis, d'une part, une approche des techniques utilisées, d'autre part une évaluation des teneurs en métaux lourds. Vu les changements permanents et brusques du milieu marin, le cycle biogéochimique des métaux est en réalité d'une complexité remarquable.

Perpétuellement agressés par les effluents côtiers, les fonds marins sont les plus productifs, mais encore, ils servent de nursery, de lieu de reproduction, de lieu de nourriture et de passage des espèces migratrices. Ils ont un impact sans équivoque sur l'Homme par le biais de la chaîne alimentaire marine. La consommation des ressources halieutiques de la côte ouest algérienne ( Mollusques, Crustacés, Poissons ... ) présente, ainsi, à court ou à long terme un risque de contamination en métaux lourds, surtout dans les zones à fortes concentrations.

Les résultats des métaux lourds obtenus permettent de délimiter deux régions principales voisines en concentrations ( élevées ou extrêmes ) :

- Une première région, peu étendue ( les environs de Ténès ) ni trop peuplée, ni industrialisée, où le chrome, le zinc, le cuivre et le manganèse sont les métaux à concentration dominante.

Selon G.E.S.A.M.P ( 1972 ) (26) les métaux qui contribuent le plus à la pollution du milieu marin sont le cuivre, le zinc, le cadmium, l'arsenic et le chrome ( spécialement le chrome hexavalent ).

Une enquête in situ, révélerait la ou les sources à l'origine de ces teneurs.

- Une deuxième région plus étendue, d'Arzew à Béni-Saf offre des explications plus concrètes, concernant les teneurs rencontrées.

vue l'imposante industrialisation, la démographie, la prédominance des ports, le tourisme...

Les Andalouses, zone touristique, montre des teneurs spectaculaires sous entendant une activité militaire, un rejet ponctuel non signalé riche en métaux lourds (vieilles munitions de guerre par exemple). Les teneurs en plomb de la région Oranaise comparables à celles des côtes Atlantiques et Pacifiques Américaines, fortement polluées, suscitent, elles aussi, quelques inquiétudes. Selon RAMADE (1979) (49) les métaux lourds dans le milieu marin subissent des transformations pouvant les neutraliser ou au contraire exhalter leur toxicité. Les relations métaux lourds - eaux - sédiments échappent jusqu'à présent aux chercheurs scientifiques, toutefois certains pays tel que la Yougoslavie (I.R.P.T.C, 1978 in 7 p 79) ont adoptés des normes de références concernant les métaux lourds les plus toxiques. L'Algérie ne possède pas de normes pour les niveaux maximaux des métaux lourds, tel que le cadmium (P.N.U.E, 1989) (48). Selon des informations communiquées par les coordinateurs nationaux pour le Med-Pol (P.N.U.E, 1989) (48) il n'y a aucun critère de qualité de l'eau et des effluents, en vigueur pour l'Algérie.

Quelques propositions, ci-dessous, élucideraient la complexité du comportement de quelques métaux lourds dans le milieu marin :

- Suivi continu de l'évolution des concentrations en métaux lourds dans le monde marin.
- Etude approfondie des relations métaux lourds - eau - sédiments.
- Etant donné l'affinité de certains métaux lourds avec la matière organique des corrélations entre carbone organique et les rejets métalliques adsorbés sur les particules sédimentaires seraient intéressantes.

- Etude de la pollution par les métaux lourds le long d'une carotte de sédiment.
- Etablir des listes d'espèces indicatrices de pollution et des cartes de leur répartition géographique, en permanence .
- utilisation de produits biodégradables ( détergents, pesticides.. ) et réglementation sévère des produits à finalité toxique.
- Implantation de stations d'épuration, les unes spécifique aux rejets urbains, les autres aux rejets industriels .
- En outre des campagnes de sensibilisation permettraient une prise de conscience de l'état actuel de la pollution.

Toutes ces recherches et activités scientifiques nécessiteraient des moyens financiers et humains coûteux

Toutefois , vue l'évolution rapide et constante de la pollution dans le monde, le prix à payer, si ces mesures et autres, sont négligées, seraient exorbitant et sans remède pour l'humanité .

Notre volonté est de donner à la protection de l'environnement "bleu" une dimension de progrès en préservant les équilibres naturels.

- BIBLIOGRAPHIE -  
- - - - -

- DOCUMENTS UTILISES -

- (1) - ABDELOUAHEB.N., NACEUR.I., 1985 : Contribution à l'étude du comportement de quatre métaux lourds (Zn, Cu, Hg et Cd) chez deux espèces de moules Mytilus Galloprovincialis ( LMK ) et Perna perna (L.) présent dans la baie d'Alger Mémoire de D.E.S. U.S.T.H.B. , ALGER, 87 p.
- (2) - ADDED.A., CENCIARINI.J., FERNEX.F., SERRA.C., SPAND.D., 1982 : La situation des métaux dans les sédiments marins en des zones plus ou moins polluées de Méditerranée Nord - Occidentale. Vies journées Etud.Pollutions, Cannes-C.I.E.S. M. (1982), 377-383.
- (3) - AMIARD.J.C., 1988 : Réflexions sur l'estimation des flux des éléments traces dans les organismes aquatiques. J.Rech.Océanogr.vol 13, Fascicule 1 et 2 (1988) 36 - 41.
- (4) - AMINOT.A., CHAUSSEPIED.N., 1983 : Manuel des analyses chimiques en milieu marin. C.N.E.X.O, B.N.D.O/Documentation BREST.393 p.
- (5) - A.N.R.H., 1969 - 1970.
- (6) - ADUAMEUR.D., 1990 : Contribution à l'étude de certains métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger. Mémoire d'Ingénieur d'Etat, I.S.M.A.L., 62 P.
- (7) - ASSO.A., 1982 : Contribution à l'étude de polluants métalliques chez la moule PERNA-PERNA (L) , dans la région d'ALGER. Thèse de Doctorat de 3e cycle d'Océanologie Biologique Université d'Aix-Marseille II, 138 p.

- (8) - ATTRASI.B., SAGHI.M., 1990 : Etude de la résistance aux antibiotiques et aux métaux lourds de souches bactériennes isolées du littoral Marocain in 1er Séminaire Maghrébin des Sciences Halieutiques 14-16 Mai, 1990, ALGER.
- (9) - AUBERT.M., AUBERT.J., FLATAU.G. et COLL., Métaux lourds en Méditerranée - Campagnes Océanographiques du C.E.R.B.O.M. Tome III, 1965-1982 , 1982-1983.
- (10) - AUBERT.M., AUBERT.J., FLATAU.G. et COLL., Métaux lourds en Méditerranée. Rev. Inter. Océanogr. Méd., Tomes LVI-LVII, 1979-1980. C.E.R.B.O.M.
- (11) - BAKALEM.A., 1980 : Pollution et sources de pollution marine d'origine industrielle sur la côte Ouest algérienne : étude préliminaire. Des Journées étud. Pollutions, Cagliari, C.I.E.S.M, 195-200.
- (12) - BAKALEM.A., 1982 : Les sources de pollution sur la côte Ouest algérienne : Note préliminaire. Extrait du Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord Tome Soixante neuf (1981) - Fascicules 3 et 4, 131-137.
- (13) - BENHASSEL.G., MOLINA.P., 1981 : Variations de concentration du mercure, cadmium et zinc dans certains organes de Scorpaena porcus (Linné) au cours du cycle sexuel. Mémoire de D.E.S., U.S.T.H.B., ALGER, 43 p.
- (14) - BOMBARD.A. et R., 1978 : Alain BOMBARD raconte La mer Edition B.L.T.

- (15) - BOUAM.A., 1989 : Contribution à la connaissance de la pollution du marais de REGHATA. Thèse d'Ingénieur, I.N.A., ALGE 68, p.
- (16) - BOUDENE.CL., 1986: Toxicité des métaux in "Toxicologie et sécurité des aliments" Edité.DERACHE.R. ET COLL, (159-198)
- (17) - BOUKRETAOUI.S., BOUTOUILI.T.S., 1989: Baie de BOU-ISMAIL Etude des paramètres physiques et chimiques, approches biosédimentaires Mémoire d'Ingénieur d'Etat, ISMAL, 92p.
- (18) - BOUTOUCHENT.T., 1988 : Contribution à l'étude de la pollution par quatre métaux lourds ( Zn, Pb, Cd, Cu ) chez deux espèces de moules Mytilus galloprovincialis (LMK) et Perna perna (L.) et mise en évidence de l'auto-épuration dans l'intérêt d'une myticulture en mer ouverte. Mémoire de Technicien Supérieur, I.N.A., ALGER, 76 p.
- (19) - CATSIKI.A.V et ARNOUX.A., 1989: Etude de la variabilité des teneurs en Hg, Cu, Zn, et Pb de trois espèces de Mollusques de l'étang de berre (FRANCE). Marine environmental research 21 (1987) 175 - 187.
- (20) - CHOUIKHI.A., 1980: Choix et mise au point de chaînes alimentaires "eau douce" permettant de mettre en évidence le caractère Bioaccumulatif d'un polluant. Thèse de docteur ès sciences pharmaceutiques, Université PARIS SUD, 312 p.
- (21) - COSSA.D., LASSUS.P., 1989: Le cadmium en milieu marin . Biogéochimie et écotoxicologie - Rapports scientifiques et techniques de l'I.F.R.E.M.E.R. N°16, 1989, 111p.

- (22) - DYRSSEN.D., PATTERSON.L.G., Di.J., WEICHART.G.F., 1970 :  
Substances chimiques inorganiques p(39-54).  
F.A.O. Département des Pêches Division des ressources  
halieutiques (1972) F.A.O. Rapp. Pêches, (99) Suppl.1 :  
129 p.
- Rapport du séminaire sur les méthodes de détection de  
mesure et de contrôle des agents de pollution du milieu  
marin organisé par la F.A.O avec le concours de l'U.N.E.  
S.C.O de l'A.I.E.A , du C.S.R.O et de l'O.M.M.Rome, 4 -10  
décembre 1970. Supplément au rapport de la conférence téchn-  
ique de la F.A.O sur la pollution des mers et ses effets  
sur les ressources biologiques et la pêche.
- (23) - F.A.O., 1981 : Manuel des méthodes de recherches sur l'en-  
vironnement aquatique. Quatrième partie. Principe de sélec-  
tion des tests biologiques pour l'évaluation de la pollu-  
tion marine F.A.O .DOC.TECH.PÊCHES (164) : 32P.
- (24) - FOUCAULT.A., RAULT.J.F., 1986 : Dictionnaire de Géologie  
3e édition MASSON.
- (25) - FOWLER.SW., 1977 : Trace elements in Zooplankton particu-  
late products. Reprinted from Nature, vol.269, n°5623,  
pp.51.53, September 1, 1977, Macmillan Journals Ltd, 1977.
- (26) - G.E.S.A.M.P, 1972 : Rapport sur la quatrième session du  
G.E.S.A.M.P, IV - 19, p.17 1972.

- (27) - G.E.S.A.M.P., 1986 (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP) Joint group of Experts on the scientific Aspects of marine pollution), Review Of potentially Harmful substances : Arsenic, Mercury and selenium : Rep.Stud.G.E.S.A.M.P. (28).
- (28) - GROUSSET.F. et DONARD.O., 1989 : Des métaux dans les sédiments in le courrier du CNRS, n°12. Dossiers scientifiques, 35-36.
- (29) - HAMZAQUI.Z., 1983: Etude prospective de la pollution marine de la baie d'Alger. Mémoire de Technicien supérieur en Assainissement et entomologie, C.R.O.P., ALGER, 86 p.
- (30) - JEAN-CAURANT.F., 1987 : Etude préliminaire de la contamination par les éléments traces du dauphin Globicephalo melaena. J.Rech.Océanogr, 1987, Vol 12, n°3 et 4, 85-89.
- (31) - LAROUSSE.R., AUGÉ.C., 1972 : Dictionnaire encyclopédique pour tous. PETIT LAROUSSE en couleurs 1972 , 1664 p.
- (32) - LAROUSSE.R., AUGÉ.C., 1978 : Dictionnaire encyclopédique pour tous, petit larousse illustré 1814 p.
- (33) - LECLAIRE.L., 1972 : La sédimentation Holocène sur le versant méridional du bassin ALGERO-BALEARES Thèse d'Etat, Faculté des sciences de PARIS, 382 p.
- (34) - LUCAS.G., MOREAU.C., LABOURET.C. ET COLL., 1984 : Dictionnaire encyclopédique pour tous. Petit Larousse illustré 1984, 1953 p.

- (35) - MAOUCHE.S., 1987 : Mécanismes hydro-sédimentaires en baie d'ALGER ( Algérie ) : Approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique. Thèse de 3e cycle Université de PERPIGNAN, 213 p.
- (36) - MARTIN.J.M., 1977 : Le milieu estuarien in la recherche. n°78, 425 - 434.
- (37) - MARTINCIC.D., KWOKAL.Z., STOEPLER.M., BRANICA.M., 1988 : Trace métaux in sédiments from adriatic sea in the science of the total environment, 84 (1989) 135-147 ( Elsevier science publishers B.V. Amsterdam - Printed in the Netherlands ).
- (38) - MEDDOUR.R., 1988 : "Plages Propres" in ALGERIE -ACTUALITE N°1200 Semaine du 13 au 19 Octobre 1988, p17.
- (39) - METAYER.C., AMIARD.J.C., AMIARD -TRIGUET.C., 1982 : Accumulation de quelques éléments traces métalliques (cd, pb, cu et zn ) chez la sole ( Solea solea ) et le Flet ( Platichthys flesus ) ; variations en fonction de l'âge et organotropisme in Rev.int.Océanogr.Méd.Tomes LXVI-LXVII 1982, 33-45.
- (40) - MIMIA.B., 1987 : La dynamique sédimentaire dans la baie d'EL-DJEMILA ( Baie de BOU-ISMAIL ) Mémoire d'Ingénieur d'Etat en géologie, U.S.T.B., ALGER.

- (41) - O'CONNOR.T.P.,1990: COASTAL Environmental quality in the UNITED STATES,1990.  
Chemical contamination in sédiment and tissues Aspicial  
NOAA 20 Th Anniversey Report 34p
- (42) - PAPADOPOULOU.C.,KANIAS.G.D et MORAITOPOLOU-KASSIMATI.L.,  
1976 : Zinc content in otoliths of Scomber japonicus  
colias from the Aegean sea, versus age and total body  
length. IIe congrès - Assemblée plénière de la CIESM (22-  
30 Octobre , 1976 ).
- (43) - PECHEANU.I.,1982 :Contenu et distribution de certains ions  
métalliques dans des sédiments superficiels de l'Ouest de  
la mer Noire. Vies journées Etud.Pollutions,Cannes,  
C.I.E.S.M, 439-442.
- (44) - PERES.J.M.,1976, : La pollution des eaux marines  
Géobiologie Ecologie Aménagement.  
Collection internationale sous la direction de C.DELAMARE  
Deboutteville.Ouvrage collectif. Gauthier - Villars,  
PARIS,1976, 230 p.
- (45) -PINTA.M.,BAUDIN.G.,BOURDOU.R.,1979 : Spectrométrie  
d'absorption atomique Tome 1. Problèmes généraux 2e.ed.ent  
ref.PARIS,MASSON,D.R.S.T.O.M,239 p.
- (46) - P.N.U.E/D.M.S., 1979 : Plan d'Action pour la Méditerranée  
Principes et directives applicables au déversement de  
déchets dans le milieu marin.

- (47) - P.N.U.E/A.I.A/C.O.I : Etudes biogéochimiques de certains polluants au large de la Méditerranée (MED POL VIII )  
MAP Technical. Reports séries n°8 UNEP ATHENS 1986.42p.
- (48) - P.N.U.E., Evaluation de l'état de la pollution de la mer méditerranéenne par le cadmium et les composés du cadmium  
N°34. ATHENS,175 p.
- (49) - RAMADE.F.,1979 : Ecotoxicologie Collection d'Ecologie 9  
2e édition.MASSON.
- (50) - RAPIN.F., FORSTNER.V., GARCIA.I.J et NEMBRINI.G., 1982 :  
Etude de la répartition des métaux lourds dans les sédiments superficiels de la Baie des Anges ( Méditerranée , FRANCE ) par spéciation chimique. VI es journées Etud.  
.Pollutions, Cannes, C.I.E.S.M. , 107 - 114.
- (51) - RINGOT.J.L., 1982 : Etude de la répartition et de l'origine de la contamination des sédiments de la baie de Cannes La Napoule par les métaux lourds. VI es journées Etud.  
Pollutions, Cannes, C.I.E.S.M., 283 - 292.
- (52) -RODIER.J.et coll.,1978 :L'analyse de l'eau Eaux naturelles Eaux résiduaïres, eau de mer. Chimie, physico-chimie, bactériologie et biologie. Bordas 6e édition. PARIS.Collección Duncod.

- (53) - ROS.J., BELLAN.G., NYFFELER.F. et COLL., 1983 : Vies journées d'études sur les pollutions marines en Méditerranée Cannes, 2 - 4 Décembre 1982. Secrétariat général de la C.I.E.S.M.
- (54) - SAMSON-KECHACHA.F.L., 1981 : Variations saisonnières des matières nutritives de la baie d'Alger - Recherche des facteurs controlant le développement du phytoplancton. Doctorat de 3e cycle, U.S.T.H.B., ALGER, 98 p.
- (55) - SCHWARTZ.D., 1969 : Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. Collection "Statistique en biologie et en Médecine". FLAMMARION MEDECINE - SCIENCES 318 P.
- (56) - SCIENCE ET VIE. Décembre 1981, Mensuel N°771, 196p.
- (57) - SCOULLOS.M., 1980 : Dissolved and particulate zinc in a polluted Mediterranean Bay, Cagliari, C.I.E.S.M /P.N.U.E, 1-8.
- (58) - SCOULLOS.M.J. et HATZIANESTIS.J., 1989 : Dissolved and particulate trace metals in a Wetland of international importance : LAKE MIKRI PRESPA, GREECE in Water, Air and soil pollution 44 (1989) : 307 - 320.
- (59) - SELLALI.B., 1986 : Contribution à l'étude de cinq métaux lourds ( Zn, Cu, Hg, Cd et Pb ) chez quelque organismes benthiques présents en baie d'Alger. Mémoire de D.E.S., U.S.T.H.B., ALGER, 90p.

- (60) - 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. Ves  
journées d'études sur les pollutions marines en  
Méditerranée. Cagliari. C.I.E.S.M/P.N.U.E 573-576.
- (61) - SIBLOT.D., AISSI.A., ASSO.A., 1979 : Travaux du centre  
de recherche Océanographiques et des pêches. Rapport n°7.
- (62) - TAGUINE.K., 1989 : Contribution à l'étude de la pollution  
par quatre métaux lourds ( cd, pb, cu, cr ) dans trois  
zônes du littoral algérien : Alger, Arzew et Skikda.  
Teneurs dans le sédiment. Mémoire de Technicien Supérieur,  
I.S.M.A.L., 70p.
- (63) - THOMAZEAU.R., 1981 : Stations d'épuration. Eaux potables -  
Eaux usées. Précis théorique et Technique. Technique et  
Documentation.
- (64) - TIMIZAR.L., 1988 : AZUR EN MERIE IN EL-MOUDJAHID  
Jeudi 16 Juin 1988, p ( IV - VII ).
- (65) - TIMIZAR.L., 1989 : Métaux lourds : Le danger in EL-  
MOUDJAHID. Janvier 1989, p20.
- (66) - UYSAL.H., 1980 : Levels of trace elements in some food  
chain organisms from the Aegean Coasts. Journées. Etud.  
Pollutions, Méditerranée. Cagliari, C.I.E.S.M/P.N.U.E, 10 p.

- (67) - VERRIPOULOS.G.,DINAS.S.,1988 : Combined toxicity of Copper, Cadmium, Zinc, Lead, Nickel and chrome to the copepod Tisbe holothuriae. Bull.Environ.contom.toxicol (1988) 41 : 378 - 384.
- (68) - VERRIPOULOS.G., CATSIKI.A.,FANTELIDOU,A et MORAITOU - APOSTOLOPOULO.M., 1989 : Studies on the impact of chromium to the Marine Gasteropod Megadonta Turbinata (Toxicity, Bioaccumulation, Acclimation ). Rev.inter.Océanogr.Méd. tomes.Lxxxxx III - Lxxxxx IV, 1989,103-118.
- (69) - VERRIPOULOS.G.,MORAITOU-APOSTOLOPOULOU.M.1989 : Toxicity of Zinc to the marine copepod Tisbe Holothuriae;the importance of the food factor Arch hydrobiol,114 (3):457-463.
- (70) - YAHI.D., 1990 : Contribution A l'étude de la pollution marine par les hydrocarbures au niveau des secteurs central et occidental du littoral Algérien. Mémoire d'Ingénieur d'Etat, I.S.M.A L, 136 p.

- DOCUMENTS CONSULTÉS -

- (a) - AISSI.A., 1978 : Recherche du zinc, du mercure et du cadmium dans les échantillons de Mytilus perna ( Lamarch, 1819 ) et du Mullus surmuletus ( Linnaeus, 1758 ) de la Baie D'ALGER Ives Journées Etud. Pollutions, Antalya, C.I.E.S.M., (1978), 207 -211.
- (b) - AUBERT.M., AUBERT.J., PINCENIN.J.M. et COLL., Métaux lourds dans les mers d'Europe - Campagne Océanographique du C.E.R.B.O.M. 1984. 4e Tome. Mer du Nord, Manche et Atlantique ( Des Bouches de l'Escaut à l'embouchure du Tage ) Rev. Inter.Océanogr.Méd, Tome LxxxI - LxxxII, 1986.
- (c) - AUBERT.M., REVILLON.P., AUBERT.J. et COLL., Métaux lourds dans les mers d'Europe - Campagne Océanographique du C.E.R.B.O.M. 1986. Tome 5 MER ADRIATIQUE. Rev. Inter.Océanogr.Méd, Tome Lxxx IX - Lxxxx, 1986
- (d) - BAAZIZI.A., BOUKRINA.M., 1989 : Reconnaissance de la sédimentologie et de la morphologie marine de la région mers EL-HADJAJ (Station SONELGAZ). Mémoire de Technicien Supérieur en biologie des pêches, I.S.M.A.L., 78 p.
- (e) - BENOUD.D., MALLEM.M.T., 1991 : Contribution à l'étude du comportement de quelques métaux lourds dans les sédiments superficiels de la Baie D'ALGER. Mémoire de Technicien Supérieur, I.S.M.A.L., 93 p.

- (f) - BREITTMAYER.J.P., GUIDO.R., TUNGER.S., 1980 : Effet du cadmium sur la toxicité du mercure vis-à-vis de la moule Mytilus edulis (L) - Chemosphere Vol - 9, 725 - 728. Pergamon Press L.T.D 1980.
- (g) - BRODIE.K.G., 1977 : A comparative Study. Determining arsenic and selenium by A.A.S.
- (h) - BRUSLE.J., 1989 : Effects of heavy metals on eels, Anquilla sp Aquat. Living Resour., Vol.3, n°2, 1990, 131-141.
- (i) - DEMARCO.A., GAGNARD.B., et COLL., 1989 : PRESENCE DE RHONE-POULENC ,n° spécial, juin - 1989, 23p.
- (j) - EDDALIA.N., 1990 : Les sels nutritifs et la matière en suspension dans la baie d'ALGER et le golf d'ARZEW - Identification des masses d'eaux. Ingénieur d'Etat en Halieutique, option Molysmologie et chimie marine, I.S.M.A.L., 103 p.
- (k) - FLAMENT.P., LEPRETRE.A., NOELS.S., 1986 : Aerosols côtiers dans le Nord de la Manche. Océanol.Acta, Vol 10, N°1, 1987 46-61, Gauthier-Villars.
- (l) - GOLDBERG.E.D., 1976 : The health of the Oceans. The Unesco Press. Paris, 1976, Chp.5, 97 - 116.
- (m) - HAQUI.N., 1988 : Contribution à l'étude de la dynamique de la population en zone côtière de FOUKA-MARINE, Mémoire de D.E.S , I.S.M.A.L., 87 p.

- (n) - HARRISON, S.E., KLAUERKAMP, J.F., 1988 : Uptake, elimination and tissue distribution of dietary and aqueous cadmium by rainbow trout (SALMO GAIRDNERI RICHARDSON) and lake white fish (GOREGONUS CLIPPEAFORMIS MICHILL) Environ mental toxicology and chemistry, vol. 8, n° 1, 1989, 87-97, An International Journal.
- (o) - KOZARAC, Z., FLAVSIC, M., COSOVIC, B., VILICIC, D., 1989 : Interaction of Cadmium and Copper with Surface Active Organic Matter and Complexing Ligands Realised by Marine phytoplankton. Mar. chem. 26 (1989) 313-330.
- (p) - MAHIOUT, L., 1990 : Quelques aspects de la dynamique de la pollution bacterienne dans l'embouchure de l'Oued BENI-MESSOUS. Mémoire de D.E.S. I.S.M.A.L., 88p.
- (q) - MAZZUCOPELLI, A., VIARENGO, A., MARTINO, G., FRACHE, R., 1988 : Interaction Among Metals in the Spectrochemical Determination of Trace Amounts of Cadmium in Marine Mussels. Marine Environmental Research, 24(1988) 129-133.
- (r) - STEGNAR, F., VUKADIN, I., SMODIS, B., et coll., 1980 : Trace elements in sediments and organisms from KASTELA Bay. Workshop on pollution of the Mediterranean coastline, October, 9-13, 1980, 5p.
- (s) - U.N.E.P./F.A.O./I.A.E.A./I.L.O.C. Determination of total Cadmium, Zinc, Lead and Copper in selected marine organisms by flameless atomic absorption spectrophotometry. Reference methods for marine pollution studies n° 11. Rev. I. UNEP, 1984, 138p.

(t) - U.N.E.P / I.A.E.A : Determination of total Manganese in  
Marine sediment by flame Atomic Absorption Spectrophotome-  
try. Reference Methods for Marine Pollution Studies n°38  
( draft ), UNEP 1986.

(u) - VINCENTE.N., 1987 : Pollution physico-chimique des organis-  
mes marins . Contamination et intoxication des organismes  
marins. Acte du 8ème colloque International d'Océanogra-  
phie Médicale. G.E.R.B.O.M. Rev.Inter.Océanogr.Méd.  
Lxxxv - Lxxxvi, 1987, 66 - 70 .