

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
INSTITUT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AMENAGEMENT
DU LITTORAL

(I.S.M.A.L)

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme
d'études universitaires appliquées
en pollution marine (D.E.U.A)

Thème

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA POLLUTION
PAR LES METAUX LOURDS DES SEDIMENTS
SUPERFICIELS DU PORT D'ARZEW
ET DU PORT DE BETHIOUA**

Présenté par :

M^{elle} LAMANI Kahina
M^{elle} MOKHTARI Khadidja

Encadré par :

M^r ROUBAH.M

Session 2002

- **Lorsque l'Homme aura coupé le dernier arbre, pollué la dernière goutte d'eau, tué le dernier animal et pêché le dernier poisson, alors il se rendra compte que l'argent n'est pas comestible. (Proverbe indien)**

SOMMAIRE

SOMMAIRE

INTRODUCTION

1) GENERALITES

1.1) Définition de la pollution marine.....	1
1.2) Origine de la pollution.....	1
1.2.1) Pollution domestique.....	1
1.2.2) Pollution industrielle.....	1
1.2.3) Pollution agricole.....	1
1.3) Les différents types de pollution.....	1
1.4) Aperçu général sur les métaux lourds.....	2
1.4.1) Classification des métaux lourds.....	3
1.4.2) Origines des métaux lourds.....	3
1.5) Propriétés physico-chimiques des métaux étudiés.....	5
1.6) Cycle biologique des métaux lourds.....	9
1.7) Comportement des métaux dans le milieu marin.....	11
1.7.1) Cuivre.....	11
1.7.2) Zinc.....	11
1.7.3) Manganèse.....	11
1.7.4) Cadmium.....	11
1.7.5) Plomb.....	12
1.7.6) Nickel.....	12
1.8) Impact des métaux sur le milieu marin.....	12
1.9) Risques pour l'homme dus aux métaux.....	13

2) DESCRIPTION DU SITE D'ETUDE

2.1) Port d' Arzew.....	15
2.2) Port de Béthioua.....	15
2.3) Sédimentologie du golfe.....	15
2.4) Données océanographiques.....	19
2.4.1) Courants.....	19
2.4.2) Houles et marée.....	19
2.5) Les facteurs climatiques.....	19
2.5.1) Précipitation.....	19
2.5.2) Température.....	19
2.5.3) Vents.....	21
2.5.4) Hydrologie.....	21
2.6) Situation et problèmes de pollution.....	21
2.6.1) Port d'Arzew.....	21
2.6.2) Port de Béthioua.....	22
2.7) Zone Industrielle d'Arzew (Z.I.A.).....	22
2.8) Choix et localisation des stations.....	26

3) MATERIELS ET METHODES

3.1) Conditionnement du matériel utilisé.....	28
3.2) Méthode de prélèvement du sédiment	28
3.3) Conservation du sédiment.....	28
3.4) Prétraitement du sédiment pour l'analyse des métaux lourds.....	28
3.5) Dosage de la matière organique.....	29
3.6) Méthode de l'analyse des métaux lourds.....	30
3.6.1) Constituants d'un SAA.....	30
3.6.2) Principe de la SAA.....	30
3.6.3) Les perturbations (interférence ou interaction).....	31
3.6.4) Système de production de vapeur atomique.....	31
3.6.4.1) Flamme air/acétylène.....	31
3.6.4.2) Four en graphite (HGA).....	32
3.6.5) Etalonnage du SAA.....	33
3.6.5.1) Méthode de standards seuls.....	33
3.6.6) Expression des résultats.....	33
3.6.7) Exercice d'intercalibration.....	34

4) RESULTATS ET DISCUSSION

4.1) Matière organique.....	39
4.1.1) Port d'ARZEW.....	39
4.1.2) Port de BETHIOUA.....	39
4.1.3) Discussion.....	42
4.2) Répartition des métaux dans les sédiments superficiels des deux ports.....	42
4.2.1) Port d'ARZEW.....	42
4.2.1.1) Cadmium.....	42
4.2.1.2) Cuivre.....	43
4.2.1.3) Plomb.....	43
4.2.1.4) Zinc.....	43
4.2.1.5) Manganèse.....	43
4.2.1.6) Nickel.....	44
4.2.2) Port de BETHIOUA.....	44
4.2.2.1) Cadmium.....	44
4.2.2.2) Cuivre.....	44
4.2.2.3) Plomb.....	44
4.2.2.4) Zinc.....	45
4.2.2.5) Manganèse.....	45
4.2.2.6) Nickel.....	45

4.2.3) Discussion.....	50
4.3) Corrélation inter-éléments.....	50
4.4) Etat de pollution dans les deux ports	52
4.4.1) Indices de contamination.....	52
4.4.2)Evolution de la pollution et comparaison avec d'autre ports Algériens.....	54

CONCLUSION GENERALE

Références bibliographiques

Annexes

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La mer représente 70 % de la surface du globe terrestre et son volume est de 1300 millions km³. On estime que les eaux côtières en bordure de la plate-forme continentale occupe 10 % de la surface des océans du globe, mais 99 % des poissons pêchés proviennent de ces eaux. Il est évident que si l'on veut protéger les ressources vives il faut s'occuper d'abord des régions littorales.

Parmi les différentes pollutions (chimique, physique et biologique), la pollution chimique de l'environnement aquatique a suscité un grand intérêt. La toxicité des substances indésirables impose une surveillance continue et la nécessité de contrôler leur introduction dans l'environnement marin, du fait qu'il n'existe peut être pas de processus physique et biologique de dégradation de certaines substances chimiques toxiques en des composés non dangereux et en raison du caractère biocumulatif de certains métaux traces.

A ce titre, le présent travail complémentaire aux travaux antérieurs, s'inscrit dans le cadre des activités de recherche sur les ports Algériens. Il consiste à évaluer la qualité chimique des sédiments superficiels des deux ports (Arzew et Bethioua), par l'analyse de la matière organique et de certains métaux traces (Cu, Cd, Pb, Ni, Zn et Mn).

Le présent mémoire est organisé en quatre chapitres. Le premier chapitre englobe des généralités sur la pollution par les métaux lourds et leur toxicité en milieu marin. L'étude du site est décrite dans le second chapitre. Le troisième est consacré à la méthodologie employée. Quant au quatrième et dernier chapitre, il présente les résultats obtenus et leur discussion. Enfin, nous terminons ce travail par une conclusion générale.

CHAPITRE 1

CHAPITRE 1 : GENERALITES

1) GENERALITES:

1.1) Définition de la pollution marine:

Selon l'organisation des Nations Unies O.N.U:

“ L'introduction, par l'homme directement ou indirectement, de substances ou d'énergie dans l'environnement marin, peut entraîner des effets délétères, tels que dommages aux ressources biologiques, dangers pour la santé humaine, entraves aux activités maritimes y compris les pêcheries, détérioration des qualités de l'eau de mer pour son utilisation et réduction des possibilités dans le domaine de loisirs ”.

1.2) Origine de la pollution:

Il existe ~~quatre~~³ quatre origines principales de la pollution dans le milieu marin:

1.2.1) Pollution domestique:

La mer est l'exutoire de la majorité des cours d'eaux, donc, des résidus des activités humaines. Provenant des habitations (rejets domestiques), la pollution domestique est véhiculée en mer par les réseaux d'assainissement sans stations d'épurations (GAUJOUS, 1995).

La pollution domestique est caractérisée par de très fortes teneurs en matière organique, germes fécaux (extrêmement diversifiés), sels minéraux, détergents ... etc.

1.2.2) Pollution industrielle:

Provenant des usines, la pollution industrielle est caractérisée par une grande diversité dont on cite les métaux qui proviennent du traitement de minerais, traitement de surface, traitement électrolytique... etc. Ces métaux rejetés en grandes quantités en mer pour la plus part sont indésirables, voire toxiques tel que le mercure.

La pollution radioactive et la pollution par les hydrocarbures sont les mieux contrôlées et résultent des rejets en mer des navires et généralement des accidents (BELLAN et PERES, 1994).

1.2.3) Pollution agricole:

La pollution agricole est liée au lessivage des terres agricoles apportant en mer par les rivières et les fleuves de quantités importantes en phosphate et nitrate. Cette pollution est à l'origine des phénomènes d'eutrophisation.

1.3) Les différents types de pollution:

Beaucoup de facteurs déterminent le degré d'influence de la pollution sur le milieu marin:

- Le milieu récepteur (ouvert, fermé ou semi-fermé).

CHAPITRE 1 : GENERALITES

- Le comportement physico-chimique et la nature des polluants déversés.
- Le type de pollution (à court ou à long terme).

Il existe trois types de pollution selon leur nature prédominante (BELLAN et PERRES, 1994): biologique, chimique et physique.

1.3.1) Pollution biologique:

La pollution biologique est désignée par les polluants microbiens très diversifiés et abondants (bactéries et virus pathogènes) et introduction en mer des espèces exogènes. La source principale de cette pollution est les rejets des eaux usées.

1.3.2) Pollution physique:

La pollution physique est due aux macro-déchets, aux matières en suspension et au réchauffement de l'eau de mer rejetée par les systèmes de refroidissements des diverses installations industrielles (raffineries de pétrole, centrales thermiques... etc). L'élévation de la température est une pollution assez préoccupante, puisque elle entraîne des modifications de certaines propriétés physiques de l'eau telle que la diminution de la densité.

La pollution physique engendre également les radiations ionisantes dont les effets à long terme demeurent inconnus.

1.3.3) Pollution chimique:

Dans le milieu aquatique un grand nombre de composés chimiques y est déversé. Ils sont engendrés principalement par les activités industrielles et le lessivage des sols. Il s'agit de sels nutritifs en excès et de substances toxiques. Ces dernières englobent les composés organiques de synthèse (pesticides, détergents...etc.) et les métaux lourds (Hg, Cd, Pb...etc.).

1.4) Aperçu général sur les métaux lourds:

1.4.1) Classification des métaux lourds:

Un métal est doté d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité et ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité.

Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantité très faible. Ce sont tous les métaux à l'exception des alcalins et des alcalino-terreux, également appelés métaux en traces. On distingue deux types de métaux : les métaux non essentiels et les métaux essentiels (oligo-éléments).

CHAPITRE 1 : GENERALITES

1.4.1.1) Métaux essentiels (ou oligo-éléments):

Pourvus d'un rôle biochimique en tant que catalyseur comme le zinc et électrons de transport comme le manganèse (SEILER, 1994).

Ils sont au nombre de onze : *Fer, Cuivre, Zinc, Cobalt, Chrome, Manganèse, Molybdène, Vanadium, Sélénium, Nickel et Etain.*

Lorsque leur concentration dépasse un certain seuil, ils peuvent devenir toxiques. S'ils se trouvent en faible quantité, ils retardent la croissance. Les conséquences de la carence en certains oligo-éléments (Zn, Mn et Cu) chez l'homme sont bien connus:

- Carence en Zn: diminution de la cicatrisation, croissance retardée, anomalies squelettiques et entéropathie.
- Carence en Mn: désordre dans la spermatogenèse, et anomalies squelettiques.
- Carence en Cu: désordre dans la pigmentation, croissance retardée, anémie chez les enfants et désordre dans la structure des parois artérielles.

1.4.1.2) Métaux non essentiels:

Dépourvus de tout rôle biologique les métaux non essentiels sont très toxiques comme le plomb (Pb), le cadmium (Cd), l'arsenic (As), le mercure (Hg) et l'argent (Ag). Ces métaux deviennent plus toxiques quand leur concentration est élevée.

1.4.2) Origine des métaux lourds:

On distingue deux principales origines des métaux. L'apport en mer des métaux lourds par les deux voies est très distinct et tend à s'accroître de plus en plus avec le temps. Quoiqu'il en soit, les apports naturels sont toujours difficiles à chiffrer. Le taux de production par l'homme est largement supérieur au taux géologique (Tableau 3).

a) Origine artificielle:

Les déversements des eaux usées (industrielles et domestiques) dans les eaux côtières constituent la principale source de pollution artificielle (Tableau 1).

b) Origine naturelle:

Les métaux traces proviennent de l'altération des roches par lessivage ou par érosion éolienne, de l'activité sismique ou volcanique et du lessivage des terres agricoles par les pluies, les rivières et les fleuves (Tableau 2).

CHAPITRE 1 : GENERALITES

Tableau 01 : source et utilisation des métaux lourds (O.M.S, 1979).

	Hg	Pb	Mn	Zn	Cu	Fe	Cd
Pétrochimie		x		x	X		
Raffinerie		X		x	x		
Constructions navales		X	x	x	x		
Fongicide (peinture antifongique)						X	
Egouts urbains	x	X	x	x	x		
Papier		X		x	X		
Refroidissement par l'eau				X			
Placage des métaux		X		X	X		
Galvanisation des métaux				X	X		
Viscoses et fibres artificielles				X			
Métallurgie			X				
Fils électriques					X		
Pesticides	X	X			X		
Joaillerie et ornement					X		
Soie artificielle					X		
Mines et minéraux		X		X	X	X	
Céramique			X				
Fonderies	X				X		
Industrie nucléaire							
Photographie		X					
Stabilisant pour plastique							
Encres, colorants et peintures	X	X		X		X	
Industrie des vernis				X			
Batteries		X					
Plomb tétraéthyl		X					
Imprimeries		X					
Explosifs allumettes		X				X	
Engrais chimiques							
Agriculture	X						
Déchets agricoles			X		x		
Industries du verre			X				
Alliages						x	X
Procédés électroniques	X			x			X
Industries pharmaceutiques			X				
Industries cosmétique			X				
Accumulateur (piles)	X						X

CHAPITRE 1 : GENERALITES

Tableau 2: Concentrations naturelles des métaux dissous dans l'eau de mer (WALDICHUCK, 1977).

Métal	Concentration (g / l)
Cd	0.11
Cu	2
Pb	0.03
Mn	1.9
Ni	2
Zn	2

Tableau 3: Comparaison entre les taux de production des métaux par l'homme et les taux naturels en 10^3 tonnes / an (MIT, 1970 in WALDICHUCK, 1977).

Elément	Taux géologique	Taux produit par l'homme
Mn	440	1600
Cu	375	4460
Zn	370	3930
Ni	30	358
Pb	180	2330

1.5) Propriétés physiques et chimiques:

Les propriétés physico-chimiques les plus importantes sont détaillées dans les tableaux 5 et 6.

1.5.1) Cadmium:

Le cadmium est un métal blanc bleuâtre mou, qu'on peut facilement couper avec un couteau et il a un aspect similaire au zinc (SEILER, 1994).

Les teneurs moyennes en cadmium des sédiments marins avoisinent 0.2 g/g (Cossa et Lassus, 1989). De très fortes concentrations sont rencontrées dans les régions où l'activité humaine est intense.

Le cadmium est moins toxique que le plomb, mais il peut être rapidement assimilé par le corps et causer des troubles graves.

Utilisation:

Traitement de surfaces (anticorrosion).

CHAPITRE 1 : GENERALITES

Stabilisant pour la matière plastique.
Accumulateurs (piles).
Alliages, pigments et industrie nucléaire.

1.5.2) Cuivre:

Excellent conducteur thermique et électrique, le cuivre pur est un métal ductile de couleur rose.

A l'air sec il ne s'altère pas, mais à l'air humide il se couvre d'une couche verdâtre de carbonate de cuivre (Cu OH_2) CO_3 (GLINKA, 1981).

La concentration en cuivre dans les eaux marines est estimée à 0.001 mg/l (PNUE, 1986). Le cuivre est plus toxique sous sa forme ionique que lorsqu'il est complexé avec la matière organique (OMS, 1979).

Utilisation:

Conducteur thermique et électrique.
Industrie textile et papeterie.
Fabrication des ustensiles de cuisine.

1.5.3) Manganèse:

C'est un métal blanc argenté dur et fragile. Exposé à l'air, il se couvre d'une mince couche d'oxyde. Le manganèse est très répandu dans la nature et il est présent dans l'eau de mer à l'état soluble, en suspension ou sous forme de colloïdes. Sa solubilité dépend du pH, de l'oxygène dissous.

La concentration en manganèse des eaux côtières varie de 0.01 à 0.07 mg/m^3 dans les zones non polluées (O.M.S, 1979).

Utilisation:

Fabrication d'acier de très grande résistance.
Engrais et fabrication d'aliments pour les animaux.
Peinture, industrie du verre et céramique.

1.5.4) Nickel:

Métal blanc argenté, brillant, inaltérable il résiste à la corrosion atmosphérique. Chez l'homme la concentration de Nickel dans la nourriture est inférieure à 0.5 mg / kg du poids frais (SEILER, 1994).

Neuf millions de tonnes de nickel se dégagent annuellement vers l'atmosphère par les sources naturelles et quarante trois millions par l'activité antropogénique (DOJLIDO et BEST, 1993).

Utilisation:

Plus de 3000 alliages métalliques.

CHAPITRE 1 : GENERALITES

Anti-corrosif de haute qualité.

Bijouterie et particules électroniques aimantées.

1.5.5) Plomb:

Il se trouve dans les composés organiques et inorganiques. Le plomb métallique est très malléable et blanc bleuâtre. C'est un très mauvais conducteur thermique et électrique mais très résistant à la corrosion (GLINKA, 1981).

L'eau de mer contient en moyenne 0.03 g/l, mais dans les zones côtières, les eaux superficielles peuvent en retenir dix fois plus (RODIER et al; 1996).

Le plomb forme des complexes très stables avec la matière organique tels les tetra-alkyl-plomb utilisés comme antidétonant dans l'essence des automobiles.

Utilisation:

Raffinerie

Batteries, piles et accumulateurs

Munitions de guerre et cimenterie

1.5.6) Zinc:

Métal blanc bleuâtre, brillant, à température ordinaire le zinc est assez fragile. Au contact de l'air il se couvre d'une couche blanchâtre de carbonate de Zinc, mais il est inaltérable au contact de l'eau (SEILER, 1994).

Les eaux à PH faible ont des teneurs en zinc dissous plus importantes. La concentration dans l'eau est en relation directe avec les activités industrielles et l'urbanisation.

Il est nécessaire pour le métabolisme humain (Tableau 4) et les organismes marins sont très riches en Zinc (huître : 1 mg / g du poids frais).

Utilisation:

Alliages et pigments.

Batteries, industrie textile et verrerie.

Pesticides et produits pharmaceutiques.

Tableau 4: Concentrations recommandées en zinc (SEILER, 1994).

Homme	10 – 15 mg / jour.
Enfant	300 g / kg / jour.
Durant la grossesse	15 – 20 mg / jour.
Durant l'allaitement	Plus de 25 mg / jour.

CHAPITRE 1 : GENERALITES

Tableau 5: Caractéristiques physico-chimiques des métaux étudiés (SEILER, 1994).

Métal (Symbole chimique)	Numéro atomique	Masse atomique	Température de fusion (°C)	Température d'ébullition (°C)
Cuivre (Cu)	29	63.57	1083	2310
Zinc (Zn)	30	65.38	419.5	908
Manganèse (Mn)	25	54.93	1250	1900
Plomb (Pb)	82	207.22	327.5	1740
Cadmium (Cd)	48	112.41	320.9	765
Nickel (Ni)	28	58.69	1455	2730

Tableau 6: Sources minérales et méthode d'extraction des métaux lourds (SHRIVER et ATKINS, 2001).

Métal	[C] dans la croûte terrestre	Minerai principal	Méthode d'extraction
Cu	50 ppm	Chalcopyrite (Cu Fe S ₂) Chalcocite (Cu ₂ S)	$2 \text{ Cu Fe S}_2 + 2 \text{ Si O}_2 + 5 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ Cu} + 2 \text{ Fe Si O}_3 + 4 \text{ SO}_2$
Zn	0.02 %	Sphalerite (Zn S)	$\text{Zn S} + 3/2 \text{ O}_2 \rightarrow \text{Zn O} + \text{SO}_2$ Suivi de : $2 \text{ Zn O} + \text{C} \rightarrow 2 \text{ Zn} + 2 \text{ CO}_2$
Mn	-	Pyrolusite (Mn O ₂)	$\text{Mn O}_2 + \text{C} \rightarrow \text{Mn} + \text{CO}_2$
Pb	-	Galène (Pb S)	$\text{Pb S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Pb O} + \text{SO}_2$ Suivi de : $2 \text{ Pb O} + \text{C} \rightarrow 2 \text{ Pb} + \text{CO}_2$
Cd	0.11 mg / kg	En trace dans le minerai de Zn	
Ni	0.008 %	Pentlandite (FeNi) ₆ S ₈	$2 \text{ Ni S} + 2 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ Ni} + 2 \text{ SO}_2$

CHAPITRE 1 : GENERALITES

Tableau 7: Autres sources des métaux que le minerai (SEILER, 1994).

Métal	Source	Concentration
Cd	Pétrole brut	1 g / kg
	Charbon	0.01 à 65 mg / kg
	Sédiments marins	0.1 à 1 mg /kg
	Nodules	8 mg / kg
	Phosphorite	Plus que 25 mg / kg
Cu	Biotite	140 ppm
	Schiste	30 à 150 ppm
	Schiste marin	20 à 300 ppm
Mn	Nodules	10 tonnes / an (renfermant 30 % de Mn)

1.6) Cycle biogéochimique des métaux:

Le cycle biogéochimique (Figure 1) est contrôlé par les processus précipitation-dissolution, absorption-excrétion et adsorption-désorption, mais la mobilité et la biodisponibilité sont attribués à la complexation organique et inorganique. L'interface air-mer contribue à l'apport des métaux volatils au milieu aquatique, mais aussi à l'évaporation d'une partie non négligeable de métaux.

Les métaux en traversant la colonne d'eau (sous forme dissoute ou particulaire) participent à plusieurs réactions chimiques (décomposition de la matière organique, adsorption-désorption, précipitation-dissolution...). Dans les sédiments ces processus régulent leur spéciation et contrôlent par conséquent, leur retour à l'environnement aquatique (ALLEN, 1995).

L'assimilation des métaux par les organismes filtreurs est favorisée par leur forme dissoute (GLINKA, 1981). Ces métaux peuvent s'accumuler dans les sédiments suivant plusieurs processus:

a) *La sorption*: C'est le processus d'absorption d'une molécule par une autre quelqu'en soit le mécanisme. On distingue:

- *Adsorption*: C'est la variation de la concentration d'une substance sur la surface de séparation des phases.

- *Absorption*: Lorsque la sorption n'est pas limitée à la couche superficielle mais concerne toute la masse du sorbant.

b) *La précipitation*: Elle se produit lorsque la concentration du métal est plus élevée que la solubilité du composé qui peut être formé entre métal et anion dans l'eau.

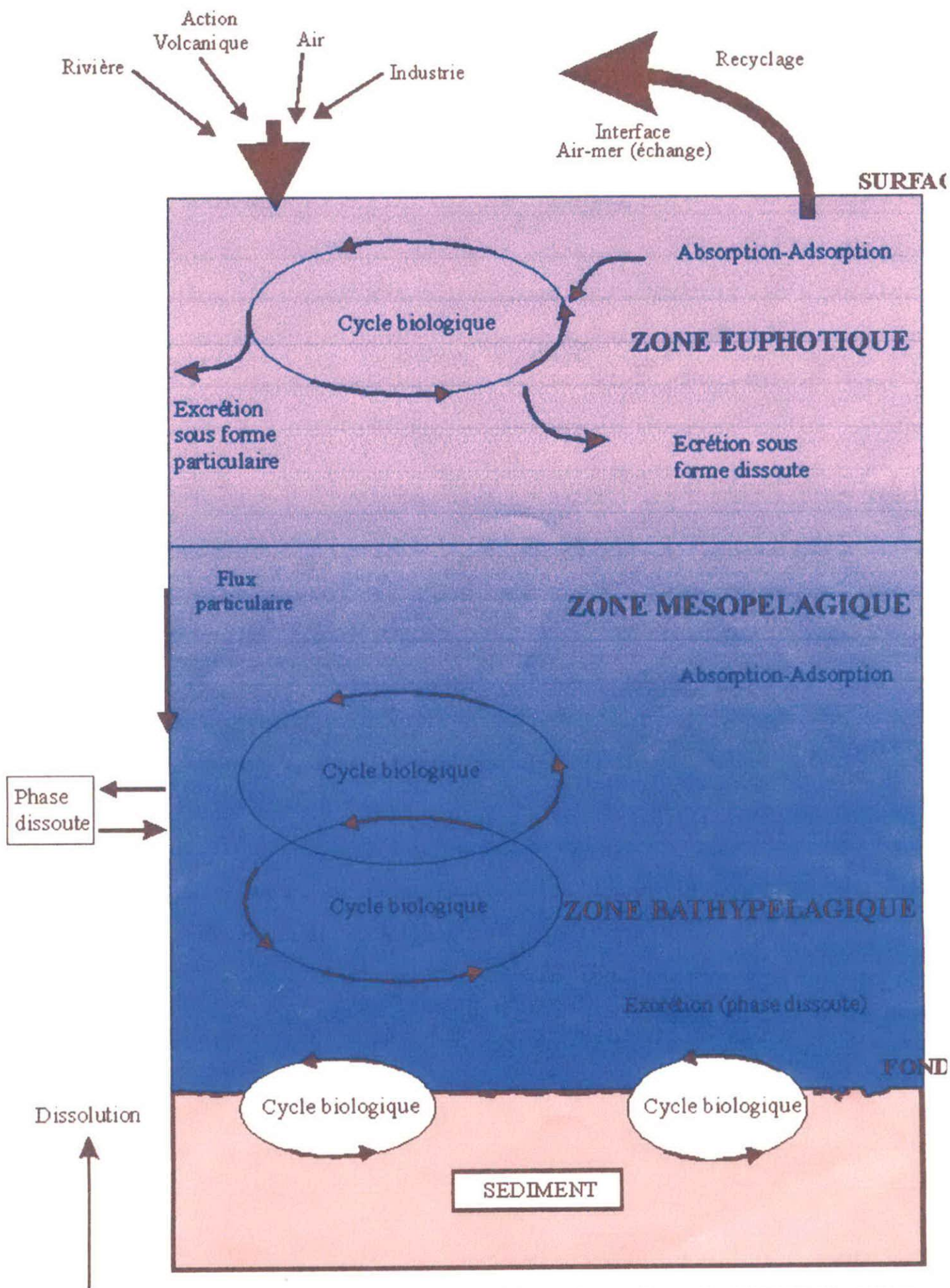


Figure 01: Cycle biogéochimique des métaux lourds (P.N.U.E., 1986)

CHAPITRE 1 : GENERALITES

1.7) Comportement des métaux étudiés dans le milieu marin:

1.7.1) cuivre:

Le cuivre est considéré comme un élément organophile naturellement incorporé dans le cycle biologique marin. Le cuivre est insoluble dans un milieu alcalin, mais il est soluble dans un milieu acide (O.M.S, 1979).

Il est nocif aux concentrations supérieures à 1000 mg / m^3 et sa teneur en eau de mer varie entre 0.2 et 30 mg / m^3 (IVANOFF, 1972).

1.7.2) Zinc:

Le zinc est lié à la fraction grossière des particules terrigènes, il participe assez rapidement en même temps que les minéraux argileux, les oxydes de fer et la matière organique (CAUWET, 1985).

Il montre des affinités à la fois pour les argiles, les oxydes de fer et la matière organique (CAUWET, 1985) et la tendance à former des complexes n'est pas aussi importante que celle du cuivre (TESSIER et al., 1980 in JEROME, 1983).

Le sulfate de Zinc (Zn SO_4) est fortement soluble et son caractère non cumulatif le rend peu nocif pour la faune (O.M.S, 1979).

1.7.3) Manganèse:

La spéciation chimique du Mn est contrôlée par des processus d'oxydo-réduction. Ainsi sa concentration dépend de certains paramètres principalement le pH, le potentiel d'oxydo-réduction, la matière organique et l'oxygène dissous. Sa concentration varie entre moins de 1 et près de 10 mg/m^3 . Seule une faible proportion de ce manganèse serait à l'état dissous (IVANOFF, 1972).

Les formes réduites Mn^{2+} et Fe^{2+} , instables dans les zones oxygénées, sont soumises à une oxydation et l'apparition des formes oxydées insolubles explique les faibles teneurs en fer et en Mn dissous (BUFFLE, 1981 in DOJLIDO et BEST, 1993). Dans le sédiment, il précipite sous forme d'oxydes dans un milieu oxydant, et de sulfure dans un milieu très réducteur (CAUWET, 1985).

1.7.4) Cadmium:

Le niveau référentiel des sédiments marins fins est de 0.2 g / g (SALOMONS et FORSTNER, 1984). C'est sous forme de chlorure qu'on trouve le cadmium dissous dans l'eau^{de} mer (LANG et ANGIO, 1979 in COSSA et LASSUS, 1989).

Dans les sédiments marins le comportement du cadmium est très lié à la dégradation de la matière organique. Dans les conditions réductrices, il peut précipiter sous forme de sulfure (GOBEIL et al., 1987 in COSSA et LASSUS., 1989).

CHAPITRE 1 : GENERALITES

1.7.5) Plomb:

Dans l'eau de mer les espèces dominantes sont $Pb CO_3$, $Pb Cl_2$ et $Pb Cl$. L'atmosphère principal vecteur du Pb vers les océans, les eaux côtières non contaminées ont des concentrations inférieures à 50 ng/l en Pb dissous (PATTERSON et al; 1979 in COSSA et al., 1990).

Ce métal à une très grande affinité pour la matière particulaire et son adsorption augmente avec le pH (COSSA et al., 1990).

1.7.6) Nickel:

Les milieux riches en silice ont des concentrations moins élevées que ceux pauvres en silice. Le Nickel n'apparaît pas dangereux pour les animaux, mais il est toxique pour les plantes (MARTIN et al., 1976).

La concentration du nickel dans les sédiments marins non pollués est comprise entre 10 et 100 mg/kg (PS). La majeure partie du nickel existant en mer est sous sa forme soluble, il est moins toxique que le mercure, le cuivre, le cadmium et l'argent mais plus toxique que le plomb et le zinc. D'après certains travaux l'accumulation du Ni n'est pas significative dans la chaîne trophique (MANCIE et YATES, 1984 in DOJLIDO and BEST, 1993).

1.8) Impact des métaux étudiés sur le milieu marin:

On retrouve pratiquement tous les métaux dans le milieu marin, presque tous sont bioaccumulés dans les chaînes alimentaires marines et ils forment les substances les plus durables du milieu. Les termes de bioaccumulation et biomagnification sont définis selon le comité européen:

La bioaccumulation ou bioconcentration (Contamination directe): C'est la possibilité pour une espèce donnée de concentrer un toxique à partir du milieu extérieur.

La biomagnification ou (contamination indirecte): C'est la possibilité pour un toxique d'être cumulé par une chaîne trophique. On cite l'exemple du Cleare Lake en Californie où un insecticide TDE répandu à des doses de 0.02 ppm s'est retrouvé concentré à 2500 ppm dans les graisses d'oiseaux (Grèbes) dont il provoque la quasi disparition (GAUJOUS, 1995).

Le tableau 8 montre la bioconcentration des métaux par le phytoplancton (Pp) et le zooplancton (Zp).

CHAPITRE 1 : GENERALITES

Tableau 8: Bioconcentration des métaux par le phytoplancton et le zooplancton (WALDICHUCK, 1977) et concentration toxique chez les poissons (A.B.R.M.C., 1990).

Métal	Phytoplancton	Zooplancton	Concentration toxique chez les poissons (mg/l)
Cd	1 694	9 440	0.01
Cu	38	437	0.02 - 3
Pb	2 087	15 500	1.4
Mn	158	290	40
Ni	41	149	-
Zn	113	1 800	18

Certains métaux comme l'Ag, Cu et Hg sont extrêmement toxiques pour les organismes marins. L'ordre de toxicité des métaux étudiés (WALDICHUCK, 1977) est :



On distingue deux types de toxicité :

- **Toxicité aiguë:** Résultant 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 léthal en sera la conséquence.

- **Toxicité chronique:** Résultant 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.

1.9) Risques pour l'homme dûs aux métaux:

Le plomb a un effet particulier chez l'homme car il est le plus répandu dans l'atmosphère. D'après les études de COCKERHAM et SHANE, (1994), le Plomb inorganique inhibe la synthèse de l'hémoglobine (anémie). Il a aussi une forme ionique similaire à celle des anions du calcium ce qui lui permet de pénétrer dans l'organisme.

Les autres métaux sont aussi dangereux (Tableau 9) et peuvent engendrer des tumeurs. D'autres symptômes peuvent apparaître suite à l'exposition aux métaux (Tableau 10).

CHAPITRE 1 : GENERALITES

Tableau 9: Les métaux cancérigènes chez l'homme (COCKERHAM et SHANE, 1994).

Métal	Tumeurs
Cd	Testicules
Ni, Pb	Poumons
Ni, Pb, Cd	Diverses
Cu	Poumons
Ni ₃ S ₂	Poumons

Tableau 10: Effets des métaux sur l'homme (SEILER, 1994).

Métal	Effets aigus	Effets chroniques
Cd	Trouble respiratoire Exposition pendant 8 h à 5mg Cd/m ³ d'air sera fatale	Organe cible : rein, Dysfonctionnement rénal, Tumeurs
Cu		Organe cible : foie, Aussi cerveau, cornée, rate
Pb	Anorexie, pâleur, réduction du pouls	[C] > 3.4 mol/l cause des dommages irréversibles
Mn	Désorientation, Perte de la mémoire, Anxiété.	Troubles psychomoteurs
Ni	Ni (CO ₄) nickel carbonyle est le plus toxique: maux de tête, nausée, vomissements, insomnie, pneumonie virale.	Rhinite, sinusite, perforation du septum nasal, asthme, un grand risque de cancer selon IARC(International Agency of Research on Cancer).
Zn	Dose de 1g ou de 100 mg/ j durant plusieurs mois mène à des troubles physiologiques. ZnO cause de sévères inflammations pulmonaires.	

CHAPITRE 2

CHPAITRE 2 : Etude du site

2) Description du site d'étude:

Les deux ports sont situés dans le golfe d'Arzew qui est localisé sur le méridien de Greenwich (Figure 2). Le golfe s'étend du cap Ivi à l'Est ($36^{\circ}37' N$, $0^{\circ}13' W$) jusqu'au Cap Carbon à l'Ouest ($35^{\circ}54' N$, $0^{\circ}13' W$) sur une distance de 55 km.

2.1) Port d'Arzew:

Située dans la frange Ouest du golfe d'Arzew, la ville d'Arzew est à environ 40 km à l'Est d'Oran. La population de la ville a été estimée à 58 676 habitants (METAP, 1993).

La création du port d'Arzew remonte à l'époque romaine (Portus magnus), grâce aux qualités exceptionnelles de sa rade et à sa situation de débouché des riches plaines de Sig et de l'Habra (E.P.A, 2000).

2.2) Port de Bethioua (Arzew El Djedid):

Peuplée de 12500 habitants (METAP, 1993), la ville de Béthioua est une ville industrielle. De construction récente (1975 à 1978), le port est situé à l'Est du port d'Arzew à 8 km (E.P.A., 2000).

Tableau 11: Infrastructure des deux ports (E.P.A, 2000).

	Port d' Arzew	Port de Bethioua
Nombre de postes	08	10
Plan d'eau	153 ha	192.5 ha
Terre pleine	24 ha	36 ha
Tirant d'eau min / max	9.20 / 14.9 m	13.5 / 23.0 m

2.3) Sédimentologie du golfe d'Arzew:

Sur tout le littoral du golfe, il y a une alternance de sable terrigène et de sédiments mixtes (LECLAIRE, 1972). Le taux de la matière organique de la vase d'Arzew (alentour du port) est très important (CAULET, 1972).

D'après une étude de BOURAS, (1993) les argiles représentent la fraction la plus répandue dans le golfe (Figure 4).

Une étude sédimentologique de BENHOUCINE H., (1990) faite sur le port d'Arzew montre que les teneurs en lutites ($<63\mu m$) croissent du chenal d'accès vers l'intérieur du port (Figure 3). Ces teneurs varient entre 50 % et plus de 90 %.

Il est à noter que l'Oued El MAHGOUN contribue énormément à enrichir cette zone en particules fines, car en amont a été construit un barrage et la vase qui s'y forme est évacuée par des vannes de chasses qui se déversent directement dans l'Oued El MAHGOUN (L.E.M., 1998).

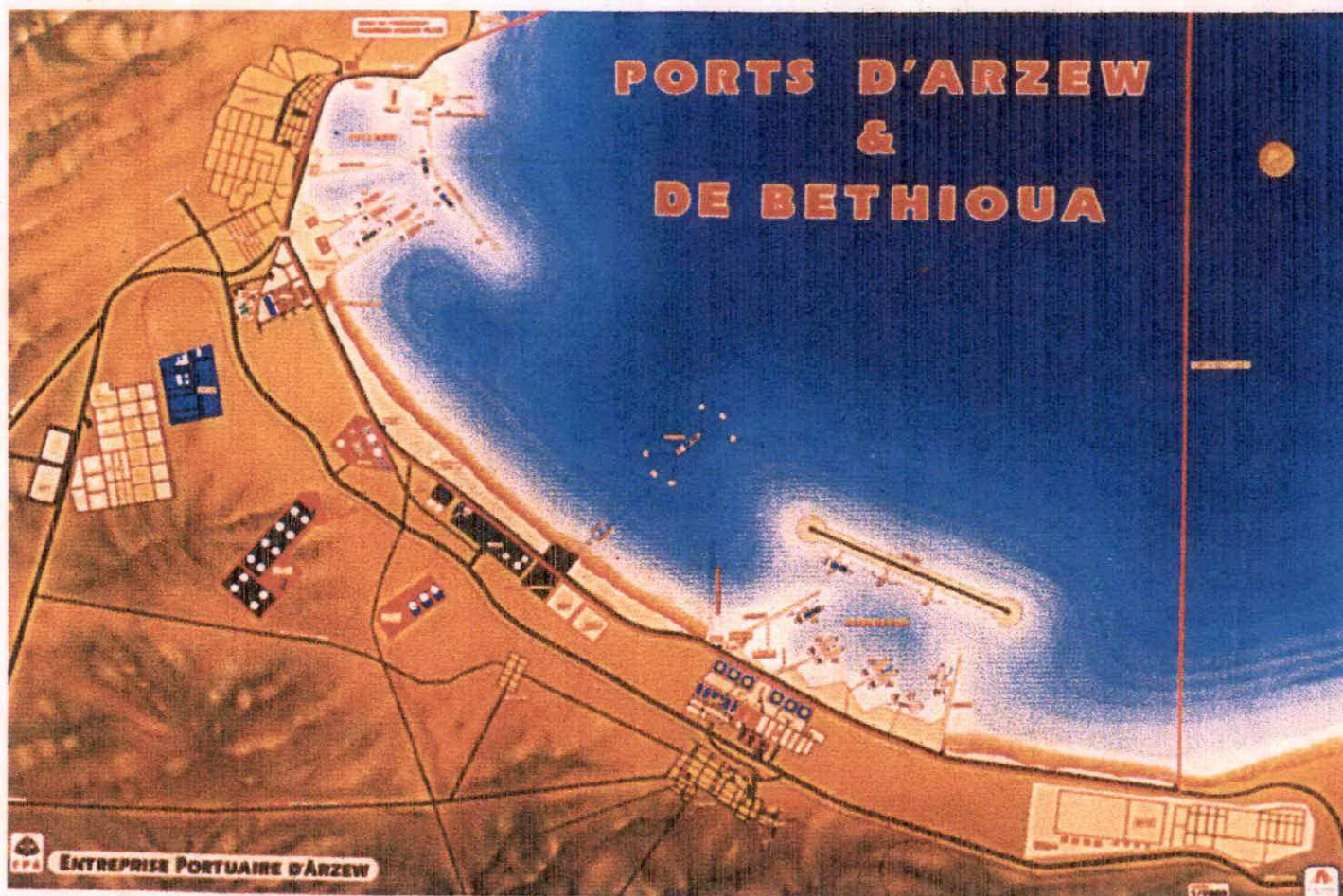


Figure 02 : vue d'ensemble sur la zone industrielle d'Arzew (EPA, 2000).

CHAPITRE 2 : ETUDES DU SITE

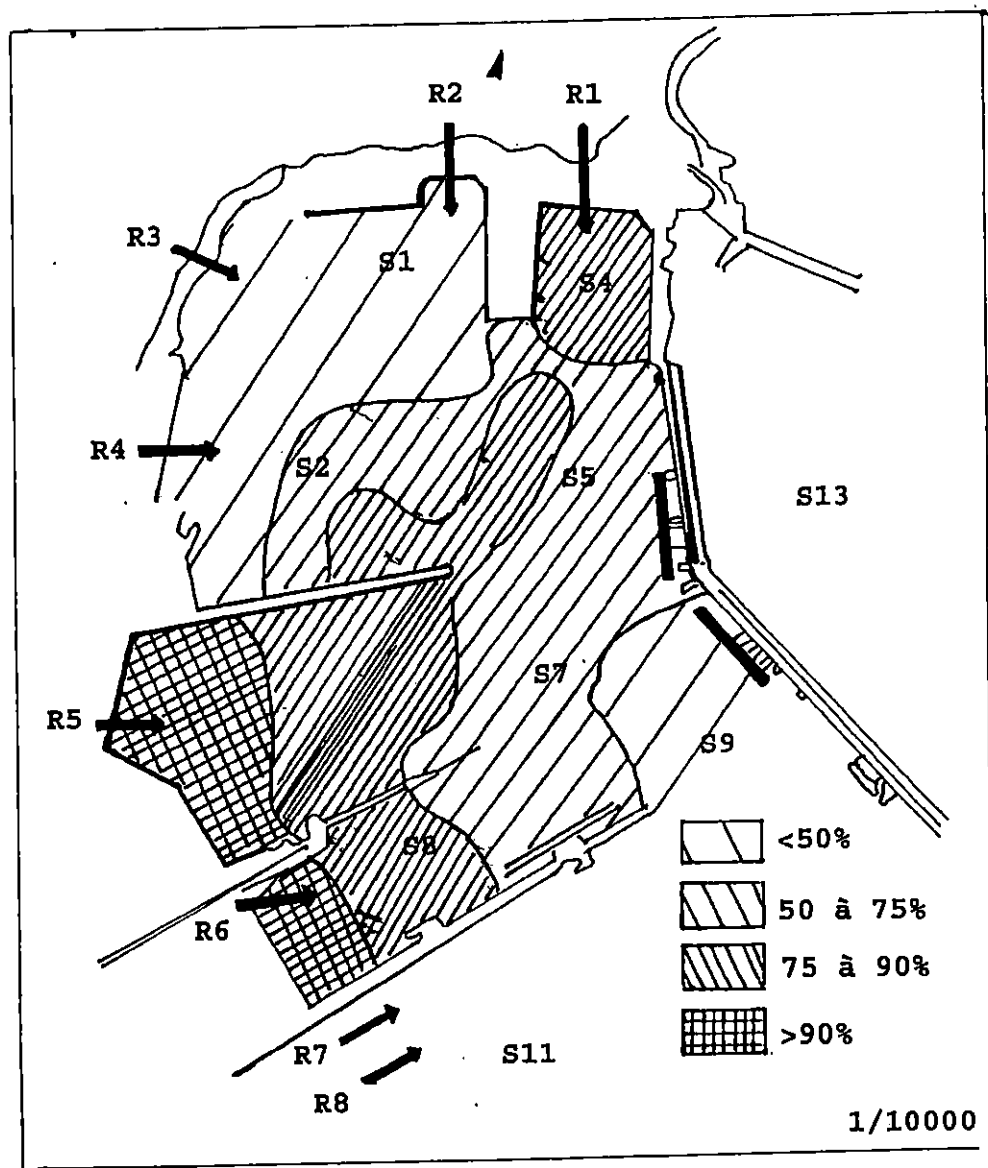
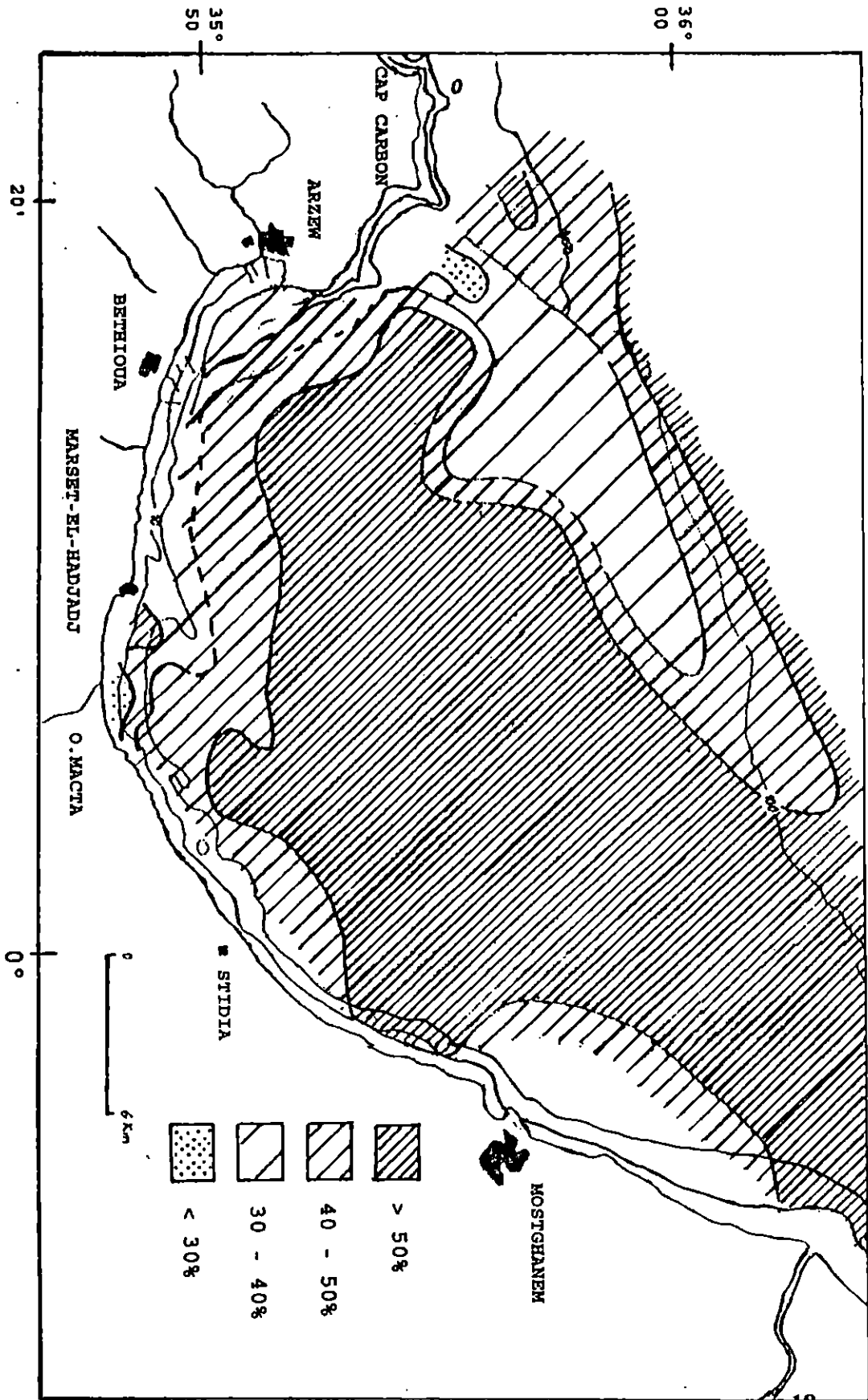


Figure03: répartition des lutites dans le port d'Arzew
(BENHOUCINE, 1990)

Figure 04 : Répartition des argiles dans les sédiments superficiels du golfe d'Arzew (BOURAS, 1993)



CHPAITRE 2 : Etude du site

2.4) Données océanographiques:

2.4.1) Les courants:

Il existe deux types de courant qui circulent en Méditerranée occidentale: courants permanents et courants de surface (Figure 5).

- Courants permanents:

Du courant atlantique dirigé de l'Ouest vers l'Est, se détache une branche secondaire qui s'incurve vers le fond du golfe d'Arzew et donne naissance à un contre courant qui longe la côte en provenance de Mostaganem. Il remonte ensuite au voisinage du port pour rejoindre le courant atlantique. Sa vitesse par temps calme est égale à 15 cm/s (MILLOT, 1989).

- Courants de surfaces:

Ils sont en fonction de la direction des vents. Le courant dû au vent du Sud-Ouest est le plus rapide avec une vitesse de 50 cm/s (MILLOT, 1989).

2.4.2) Les houles et la marée :

Les houles dominantes sont surtout de direction Nord-Ouest et Nord-Est (L.E.M., 1998).

La marée lunaire est peu apparente en baie d'Arzew, mais il existe aussi une marée due aux variations atmosphériques (L.E.M., 1998). Le niveau moyen est quasi constant en été et il varie d'un mètre en hiver.

Tableau 12 : Amplitude et signification des houles (L.E.M., 1998).

Pourcentage des houles	Amplitude
83 %	< 2 m
11 %	> 2 m
1.5 %	> 4 m
0.5 %	> 5 m

2.5) Facteurs climatiques:

2.5.1) Précipitation:

Les précipitations moyennes annuelles dans le golfe d'Arzew sont de 285 mm et elles sont surtout importantes d'octobre à avril avec un maximum en décembre et janvier.

2.5.2) Température:

Période chaude: de mai à octobre (maximum en août 39.2°C).

Période froide: de novembre à avril (minimum en février 3°C).

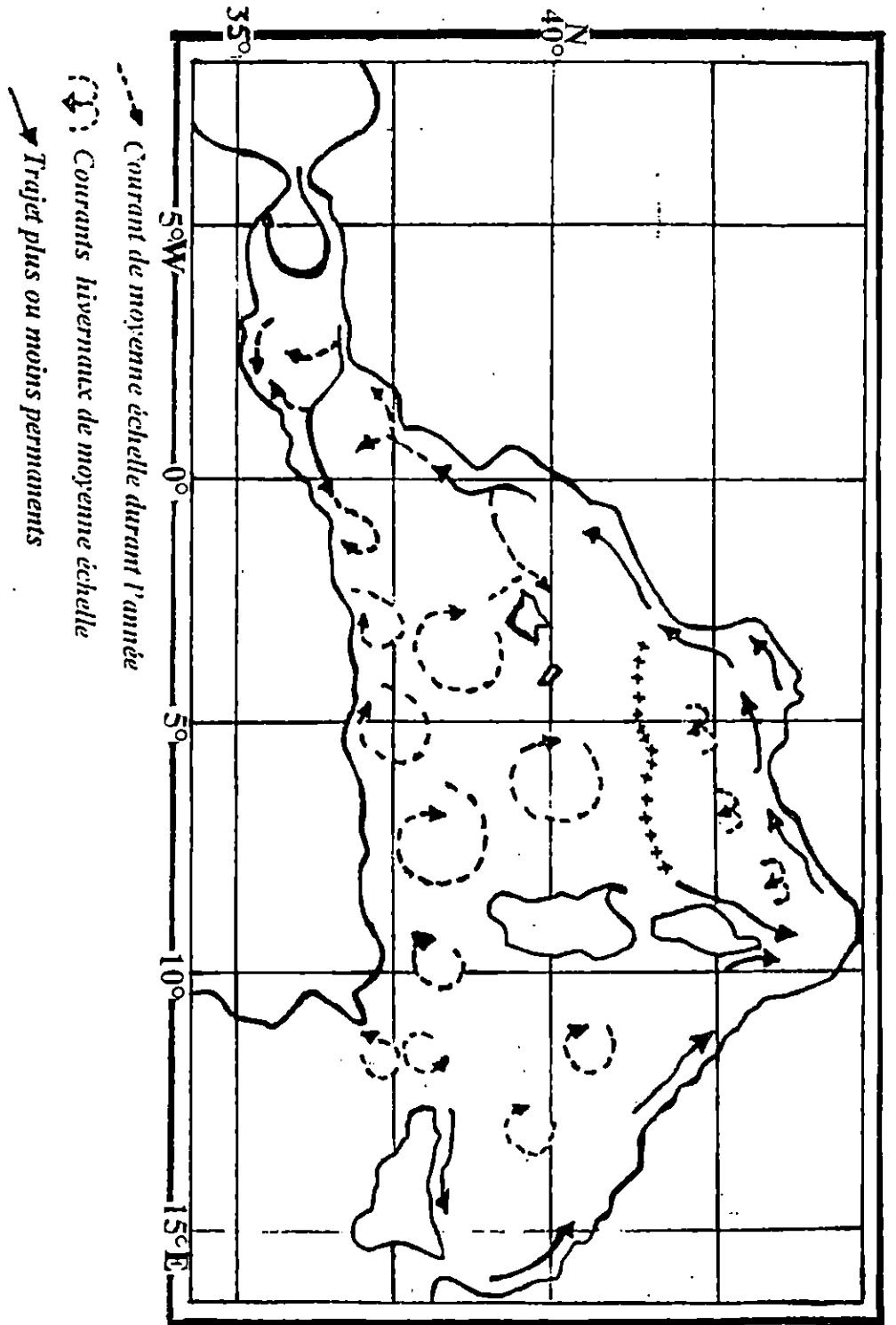


Figure 05 : circulation de l'eau d'origine atlantique (MILLOT, 1987).

CHAPITRE 2 : Etude du site

2.5.3) Vents:

En hiver: prédominance des vents de secteur Ouest.

En été: prédominance des vents de secteur Est.

Tableau 13: Direction et vitesse des vents dans le golfe d'Arzew (O.N.M., 2000).

Direction des vents	E.N.E	O.N.O
Variation saisonnière	Mai à Septembre	Octobre à Avril
Vitesse (nœuds)	1 à 34 Vents exceptionnels > 30	

2.5.4) Hydrologie:

Dans le port d'Arzew port se déverse l'Oued El Mahgoun au niveau du bassin N° 2 en drainant presque tout le versant sud du massif d'Arzew et une grande partie des eaux usées de la ville (ANRH, 1979).

2.6) Situation et problèmes de pollution:

2.6.1) Port d'Arzew:

Le réseau d'assainissement est de type séparatif. Il existe huit rejets qui soumettent le port à différents types de pollution (METAP, 1993):

a) Pollution domestique:

- Les rejets R₁, R₂, R₃, R₄ et R₅ (Figure 6) sont directement déversés en mer ou dans l'Oued El Mahgoun (Tableau 14).

- R₃ et R₄ sont des rejets d'eaux usées domestiques.

- R₅ est le rejet des eaux de l'abattoir, de l'hôpital et des petites industries.

b) Pollution industrielle:

Les rejets (R₆, R₇ et R₈) proviennent de la Z.I.A et leur eaux sont prétraitées (Raffinerie, séparateur gravitaire):

- R₆ et R₇ sont les rejets respectivement de l'usine de liquéfaction et de la raffinerie.

- R₈ est le rejet de l'usine d'ammoniac qui rejette par son système de refroidissement une eau de température supérieure de 8 à 13°C par rapport à la température normale (LEM, 1998).

CHPAITRE 2 : Etude du site

Tableau 14: Débits des eaux usées rejetées dans le port d'Arzew (METAP, 1993).

Données caractéristiques	Situation		
	<i>Actuelle</i>	<i>Prochaine</i>	<i>Future</i>
Eaux domestiques de temps sec (l/s)	113	130	154
Eaux domestiques de temps sec (m ³ /hab/j)	9 800	11 270	13 300
Production spécifique l/hab/j	167	167	167
Production industrielle l/s	289	289	289
Production industrielle m ³ /j	25 000	25 000	25 000

2.6.2) Port de Béthioua (Arzew El djedid):

Le réseau d'assainissement de la ville est pseudoséparatif et les eaux domestiques et industrielles sont rejetées en mer sans aucun traitement préalable (Tableau 15).

Les rejets sont au nombre de trois qui se déversent à l'extérieur du port à l'exception du rejet 1 (Figure 7).

Tableau 15: Débits des eaux usées rejetées dans le port de Béthioua (METAP, 1993).

Données caractéristiques	Situation		
	<i>Actuelle</i>	<i>Prochaine</i>	<i>Future</i>
Eaux domestiques de temps sec (l/s)	24	27	34
Eaux domestiques de temps sec (m ³ /j)	2 060	2 370	2 900
Production industrielle (l/s)	289	289	289
Production industrielle (m ³ /j)	25 000	2 500	2 500
Production spécifique (l/hab/j)	145	145	145

2.7) Zone industrielle d'Arzew (Z.I.A):

Crée dans les années soixante, la zone industrielle d'Arzew (Z.I.A) est l'aboutissement d'un gazoduc et d'un oléoduc. Elle regroupe des industries de liquéfaction de gaz naturel (L.G.N), des industries pétrochimiques, de petites unités industrielles et une importante zone de support logistique (Figure 8). Cette zone occupe la portion du littoral comprise entre la ville d'Arzew et Mers El Hedjadj, soit une distance de 12 km (Direction des ports, 1999).

CHAPITRE 2 : ETUDES DU SITE

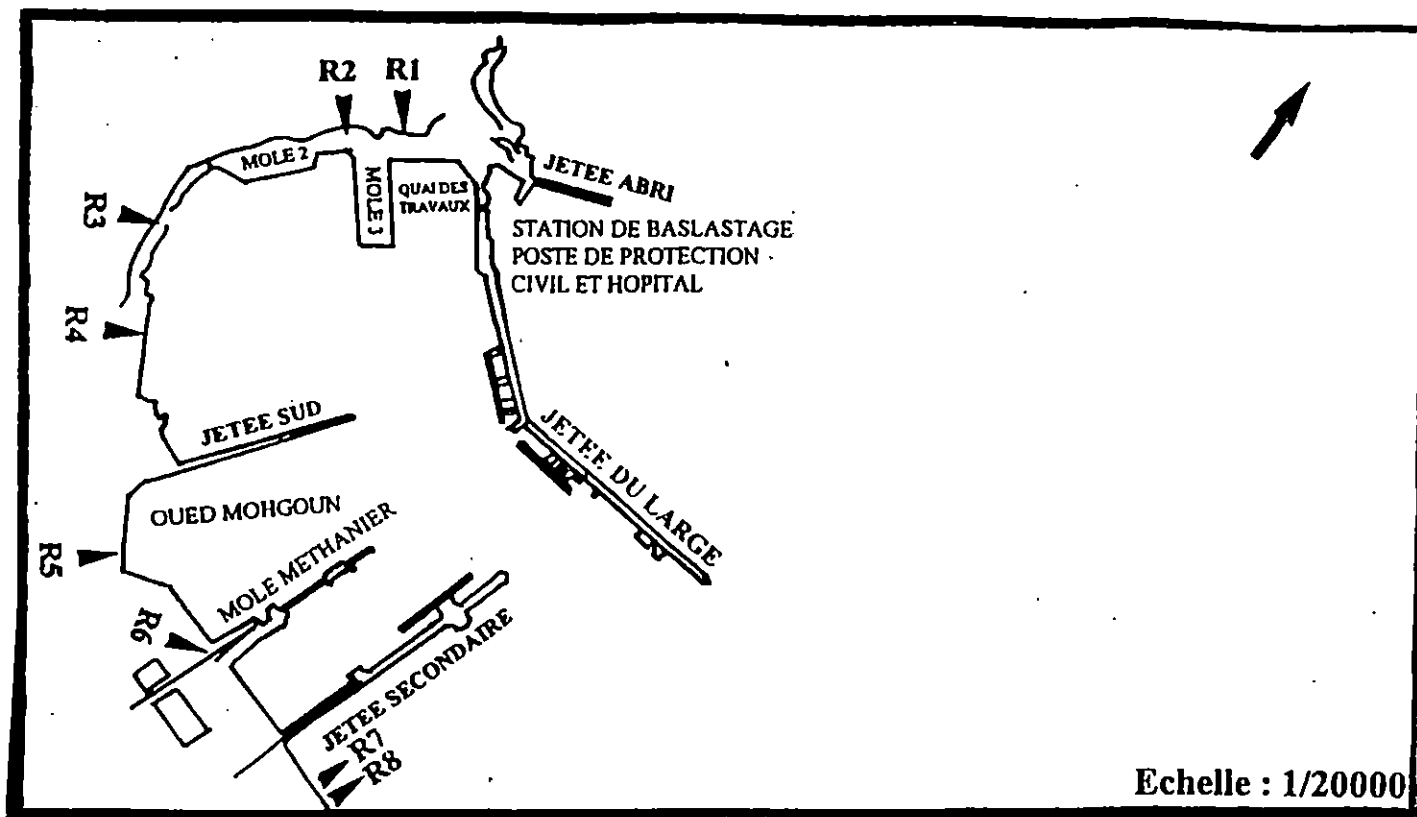


Figure 06 : présentation du port d'Arzew.

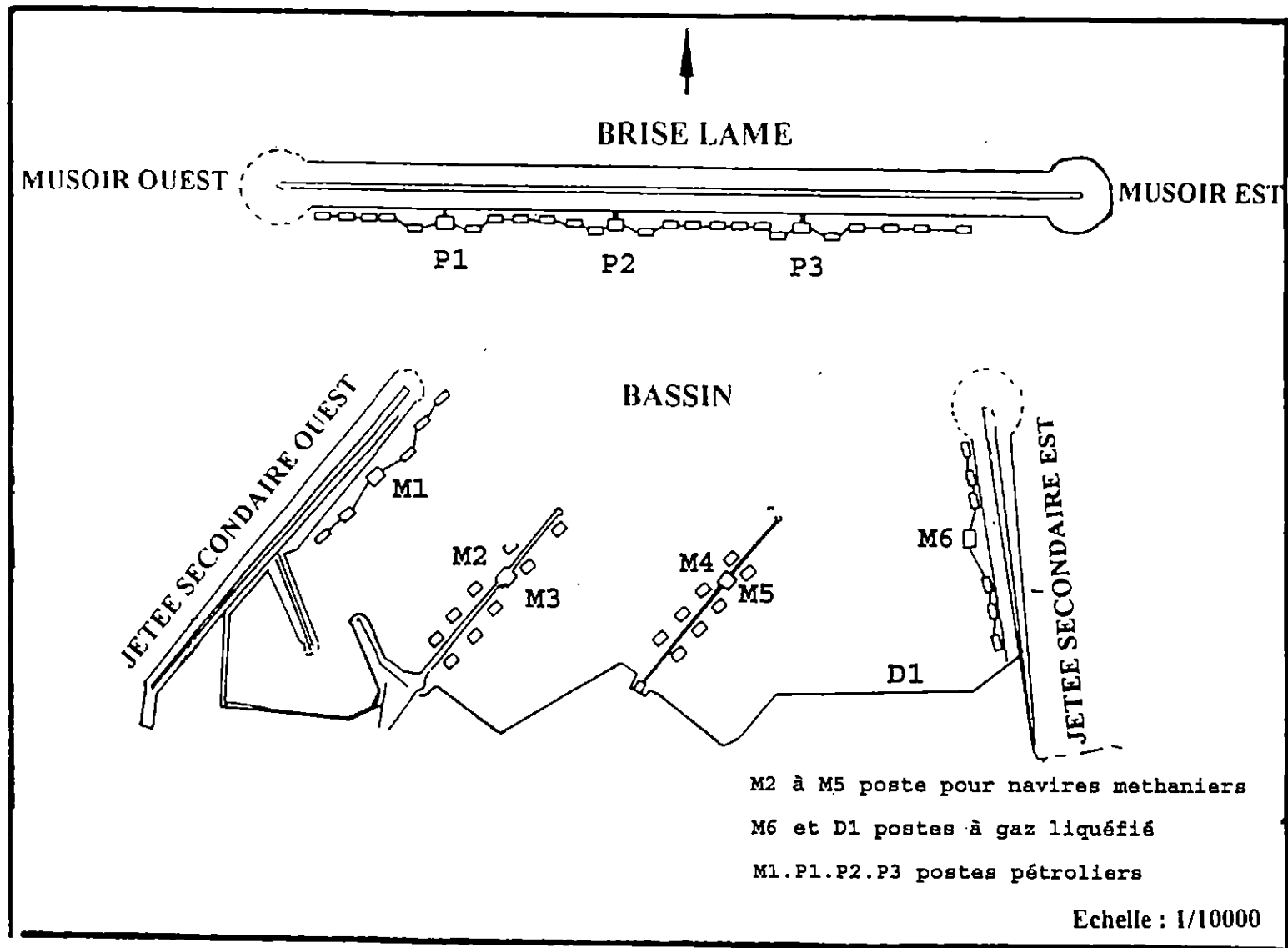
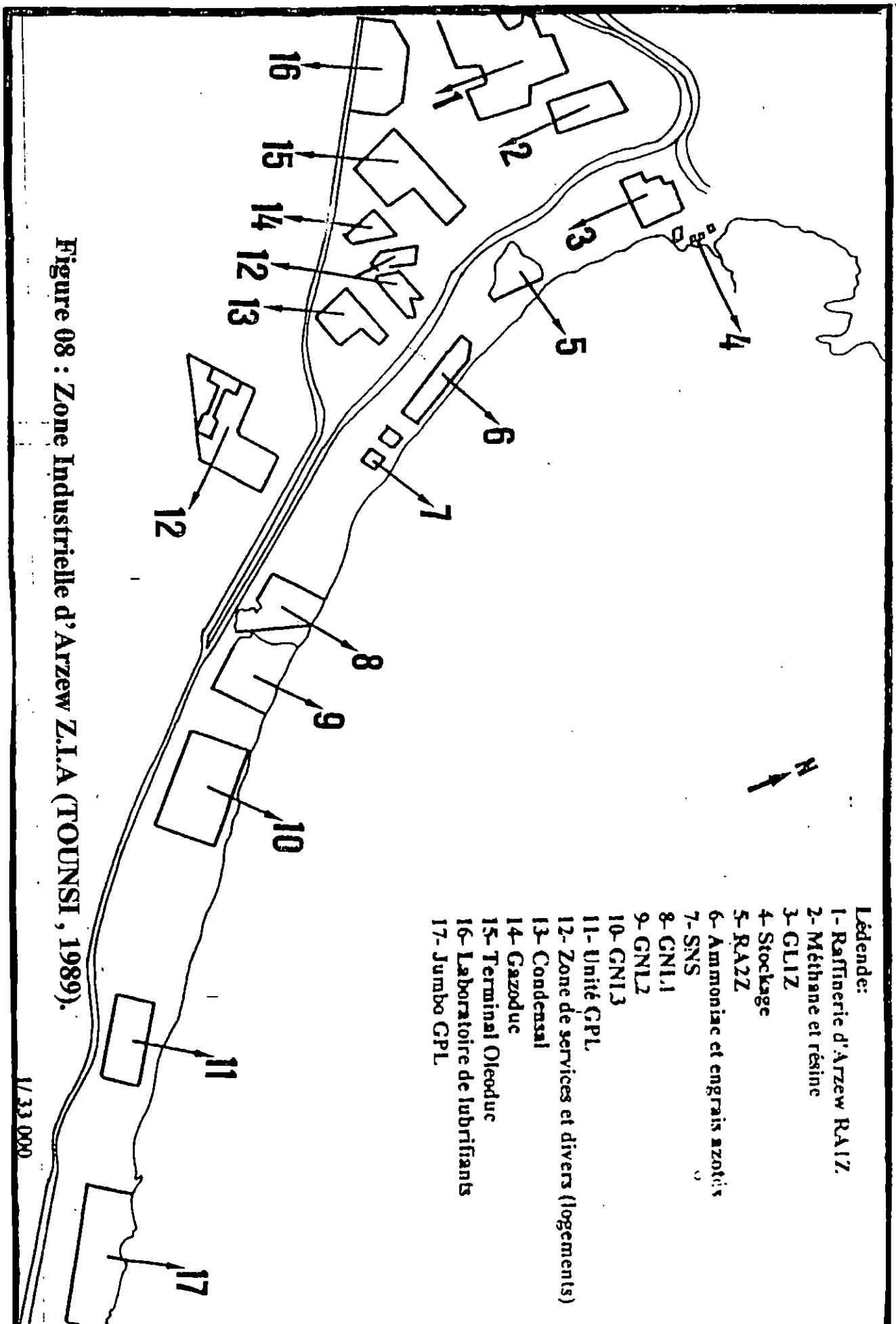


Figure07 : Présentation du port de Bethioua



- Légende:**
- 1- Raffinerie d'Arzew RA17
 - 2- Méthane et résine
 - 3- GLI2
 - 4- Stockage
 - 5- RA2Z
 - 6- Ammoniac et engrais azotés
 - 7- SNS
 - 8- CNI.1
 - 9- CNI.2
 - 10- CNI.3
 - 11- Unité GPL
 - 12- Zone de services et divers (logements)
 - 13- Condensat
 - 14- Gazoduc
 - 15- Terminal Oleoduc
 - 16- Laboratoire de lubrifiants
 - 17- Jumbo GPL

Figure 08 : Zone Industrielle d'Arzew Z.I.A (TOUNSI, 1989).

1/33 000

CHPAITRE 2 : Etude du site

Les deux ports (Arzew et Arzew El Djedid) sont gérés par l'Entreprise Portuaire d'Arzew (EPA). Ils constituent en Algérie, les principaux ports d'exportation des hydrocarbures.

2.8) Choix et localisation des stations:

Les prélèvements de sédiments ont été effectués dans les deux ports de la zone industrielle d'Arzew afin de cerner les sources de pollution et le degré de contamination du sédiment par les métaux lourds (Figures 9 et 10). Les stations de prélèvement (Tableau 16) sont situées devant les rejets, mais aussi à l'entrée et à l'extérieur du port pour une éventuelle comparaison.

Tableau 16: Positionnement des stations de prélèvement et nature du sédiment.

PORT	N° de Station	Profondeur (m)	Nature de sédiment
Arzew	01	6	Vase sableuse.
	02	7	Vase sableuse.
	04	4	Vase compacte.
	05	11	Vase légèrement sableuse.
	07	11	Sable fin avec débris de coquilles.
	08	8	Sable très fin.
	09	14	Sable fin légèrement vaseux.
	11	13	Vase sableuse avec débris végétaux.
Bethioua	01	19	Vase avec débris de coquilles et de végétaux.
	02	18	Vase compacte.
	04	13	Sable fin envasé avec débris de coquilles.
	06	11	Sable moyen.
	08	17	Vase sableuse.
	10	16	Vase légèrement sableuse.
	11	19	Sable moyen.

CHAPITRE 2 : ETUDES DU SITE

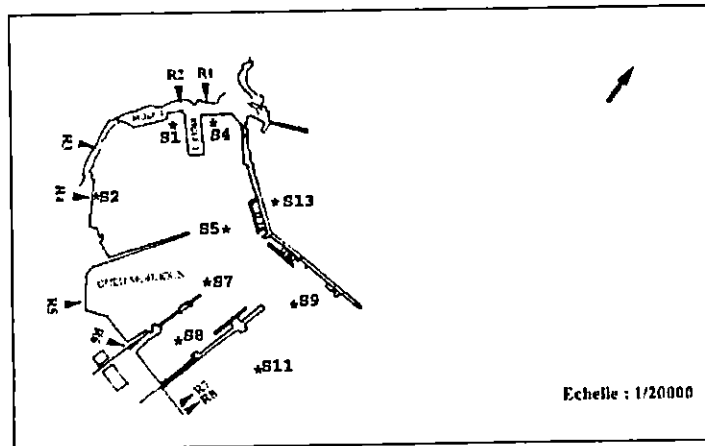


Fig09- Répartition des stations de prélèvement dans le port d'ARZEW.

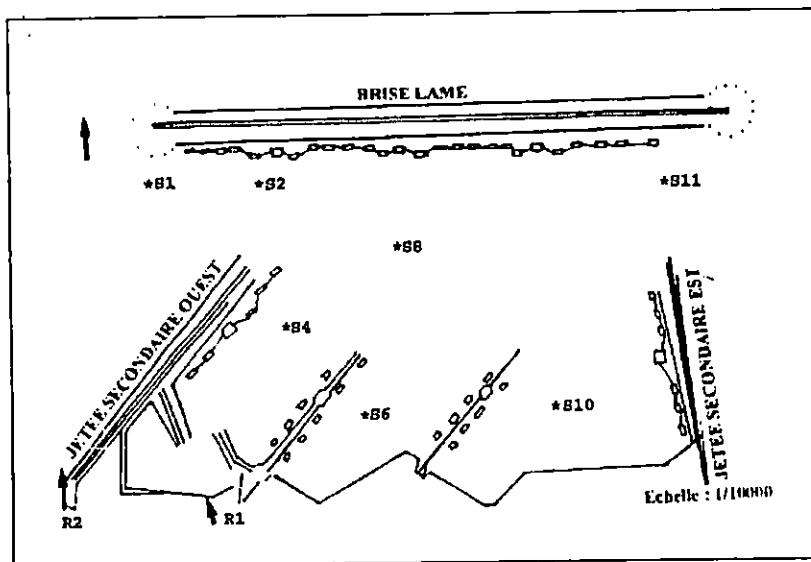


Fig10- Répartition des stations de prélèvement dans le port de BETHIOUA

CHAPITRE 3

CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES

3) MATERIELS ET METHODES:

3.1) Conditionnement du matériel utilisé:

Le matériel doit être lavé et conditionné pour éviter toute sorte de contamination des échantillons, selon les opérations suivantes:

- Lavage aux détergents commerciaux.
- Rinçage à l'eau bidistillée.
- Rinçage à l'eau acidulée à 10%.
- Séchage à l'étuve 70°C (*voir annexes*).

3.2) Méthode de prélèvement du sédiment:

Le prélèvement se fait à l'aide d'une benne inoxydable « van-veen » reliée à un treuil mécanique par un câble hydrographique. Les sédiments superficiels ont été recueillis au moyen d'une spatule inoxydable en prenant soin d'éviter toute contamination pour les différentes analyses.

3.3) Conservation du sédiment:

Les sédiments prélevés sont directement mis dans des sachets en plastique avec des indications nécessaires. Ils sont conservés à basse température (-18°C) pour éviter toute perte d'éléments volatils et des modifications d'équilibre chimique et d'arrêter le développement de l'activité bactérienne.

3.4) Prétraitement du sédiment pour l'analyse des métaux lourds:

Le traitement du sédiment destiné à l'analyse des métaux lourds (CHARLOU et JOANNY, 1985) se fait selon les étapes suivantes (Figure 11):

a) Congélation et lyophilisation:

Avant la lyophilisation les échantillons sont congelés à température (-18°C) pendant 24 heures. La lyophilisation est une déshydratation du sédiment par surgélation suivie d'un passage sous vide. L'eau contenu dans le sédiment sous forme de glace est éliminée par sublimation à température (-40°C) et à pression 10 bar pendant 48 heures .

b) Broyage et tamisage:

Pour obtenir une séparation des fractions à granulométrie différentes, le sédiment est broyé dans un mortier en porcelaine puis tamisé (tamis 63µm). Les particules <63 µm sont mises dans des pelluliers en verre.

d) Digestion:

La digestion du sédiment (minéralisation) par voie humide consiste en la mise en solution des métaux lourds (PINTA, 1979). Cette opération est effectuée dans une bombe à Téflon de neuf godets qui sont conditionnés par une minéralisation à blanc avec un

CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES

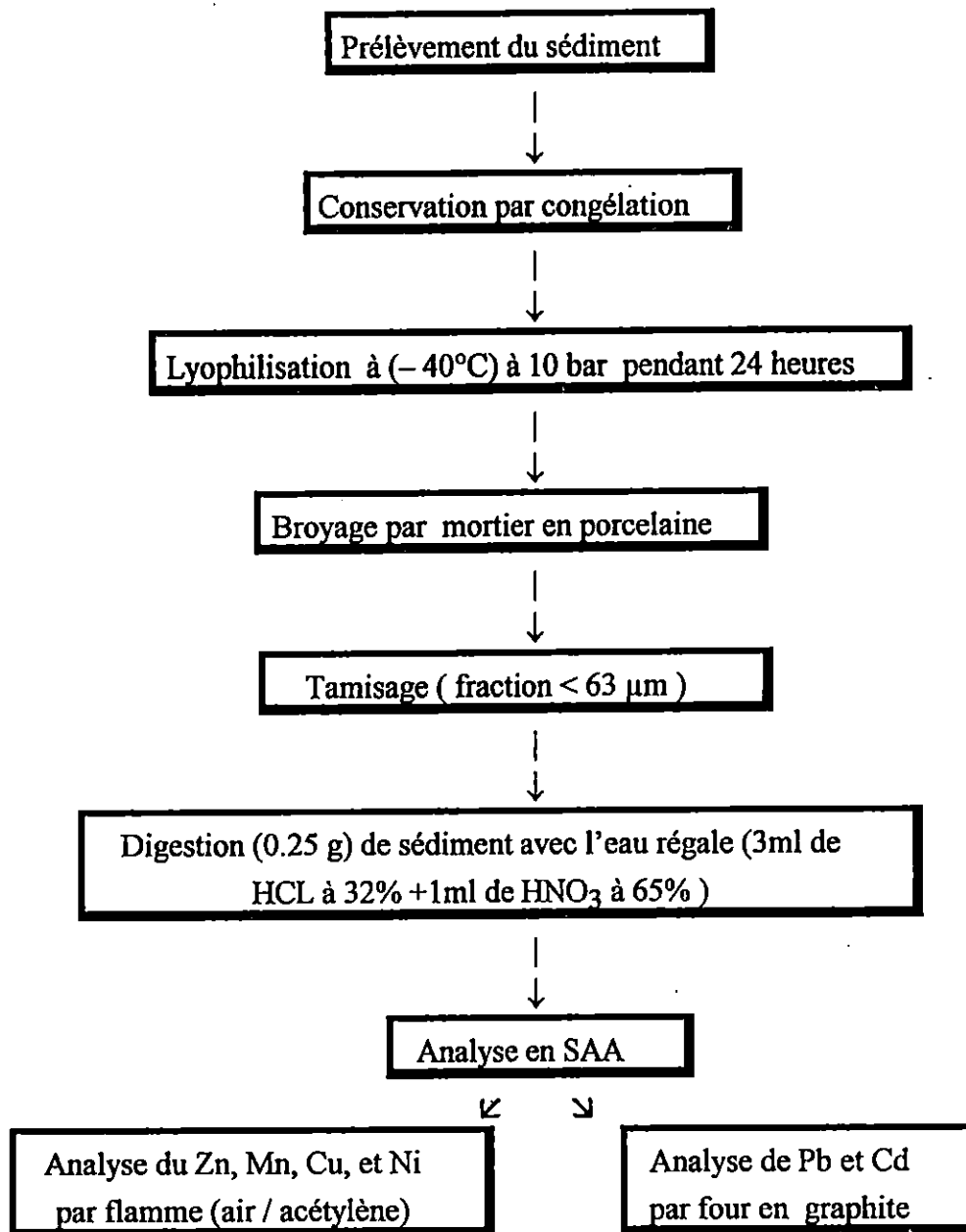


Figure 11: schéma des différentes étapes de traitement du sédiment.

volume de 4ml de l'eau régale (3ml d'acide HCL et 1ml d'acide HNO₃) dans l'étuve pendant une nuit à une température de 70°C.

Deux godets sont réservés, un pour le blanc de 4 ml d'eau régale, l'autre pour l'échantillon d'intercalibration codé (AIEA 356) qui permet de vérifier la fiabilité de la méthode d'analyse. Après refroidissement des godets, le contenu est transvasé dans des fioles en verre de 50ml ajustées avec de l'eau bidistillée.

3.5) Dosage de la matière organique:

CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES

Le dosage de la matière organique du sédiment se fait par la méthode de perte au feu (RODIER 1984). Le taux de la matière organique (M.O%) est calculé comme suit:

$$M.O\% = \frac{(P_s - P_c) \times 100}{P_s}$$

Avec :

P_s : poids du sédiment sec (lyophilisé).

P_c : poids du sédiment calciné.

3.6) Méthode d'analyse des métaux lourds:

La technique adoptée est la spectrophotométrie d'absorption atomique SAA (*voir annexes*) fondée sur le phénomène d'absorption de radiation électromagnétiques par des atomes libres. (Pérou J. P., 1999)

3.6.1 Constituants d'un SAA:

On utilise le modèle HITACHI Z-5000 (Figure 12) qui est muni d'un correcteur de bruits de fond à effet zeeman (*voir annexes*). Les conditions spectrophotométriques pour les métaux étudiés sont résumées dans le (tableau 17).

Tableau 17: CONDITIONS SPECTROPHOTOMETRIQUES.

ELEMENT	Zn	Cu	Mn	Ni	Cd	Pb
Longueur d'onde (nm)	213.9	324.8	279.6	232.0	228.8	283.3
Longueur de la fente (nm)	1.3	1.3	0.4	0.2	1.3	1.3
Intensité (m.A)	6.5	9.0	9.0	12	9.0	9.0

3.6.2) Principe de la SAA:

Après passage à l'état atomique les atomes absorbent une partie de radiation Incidente (I_0). La quantité de la lumière absorbée est proportionnelle à la concentration de l'élément dans la solution et cette absorption suit la loi de BEER-LAMBERT:

$$A = K.B.C \text{ ou } A = \log I_0 / I$$

Avec

CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES

A = absorbance ou densité optique (D.O).

K = coefficient d'absorption.

I = intensité lumineuse transmise (radiation transmise).

I_0 = intensité lumineuse émise (radiation émise).

C = concentration du métal dosé.

B = épaisseur du milieu absorbant (trajet optique).

3.6.3) Les perturbations (interférences ou interactions):

Elles correspondent à des perturbation de l'atomisation. On peu les classer en perturbations spectrale; physique et chimique, d'absorption non spécifique:

Les perturbation spectrales: la raie d'absorption d'un composant de la matrice coïncide avec la raie d'émission de résonance de la source.

Les perturbation physiques: il s'agit essentiellement de phénomène de viscosité et de tension superficielle conduiront pour une même concentration à des valeurs de l'absorbance plus élevées.

Les perturbations chimiques: la formation de composés parasites (oxydes, hydroxydes et hydrures) dans la flamme entraîne une modification de la vitesse d'atomisation et par conséquent une diminution de l'absorption.

Les perturbations d'absorption non spécifiques : elles sont dues à la présence dans la flamme de molécules qui absorbent l'énergie de la lampe à cathode creuse.

Deux solutions pour les corrections de fond d'absorption peuvent être envisagées:

1- utilisation de la correction Zeeman: l'action d'un champ magnétique sur des atomes à l'état gazeux, se traduit sur le spectre d'absorption de ces atomes, par la séparation de chaque raie en plusieurs composantes polarisées. Ce phénomène, appelé effet Zeeman, a pour origine la perturbation des états d'énergie des électrons de l'atome. L'appareil d'absorption atomique comporte un électroaimant au niveau du four (ou de la flamme) et un polariseur sur le trajet optique.

2- utilisation d'une lampe à deutérium: il s'agit d'une lampe à spectre continu de 200 à 350 nm. Le spectre de raie issu de la cathode creuse et le spectre continu de la lampe sont vus alternativement par le spectroscopie à l'aide d'un chopper.

3.6.4) Système de production de vapeur atomique:

3.6.4.1) Flamme air/acétylène:

Son principe consiste à coupler le brûleur à flamme (air-acétylène) à un nébuliseur qui disperse la solution en aérosol (nébulisation) par fonction de dissociation sous forme d'atomes qui absorbent la lumière émise (Figure 13). Un courant d'eau circule pour refroidissement de l'appareil, pour éviter des dépôt de sels minéraux et pour une flamme plus stable (PÉRE, 1999 et ROUSSAC, 1998).

CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES

3.6.4.2) Four en graphite (HGA):

Le four est un petit cylindre creux en graphite de quelque centimètres de longueur et d'environ centimètre de diamètre interne (Figure 14). Il est chauffé par effet Joule selon un programme électrothermique. Il est traversé par le rayonnement issu de la source et balayé par un gaz inerte (argon). Une circulation d'eau froide autour du four permet le refroidissement. Le cycle de programmation électrothermique comporte généralement quatre étapes (Tableau 18):

Tableau 18: CONDITIONS ELECTROTHERMIQUES.

Etape		Plomb	Cadmium
Séchage	Température (C°)	80 - 140	80- 140
	Temps de montée (s)	40	40
	Maintien (s)	0	0
	Débit de gaz ml/mn	200	200
Mise en cendre	Température (C°)	400	300
	Temps de montée (s)	20	20
	Maintien (s)	0	0
	Débit de gaz ml/mn	200	200
Atomisation	Température (C°)	2000	1500
	Temps de montée(s)	0	0
	Maintien (s)	5	5
	Débit de gaz ml/mn	30	30
Nettoyage	Température (C°)	2200	1800
	Temps (s) de montée	0	0
	Maintien (s)	4	4
	Débit de gaz (ml/mn)	200	200

CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES

- a) **Séchage et vaporisation:** Doit être complet pour éviter les pertes par projection due à une augmentation brusque de la température.
- b) **Décomposition ou mise en cendre:** Pour simplifier la matrice au maximum par décomposition de l'échantillon et éliminer les fumées et les vapeurs moléculaires absorbantes.
- c) **Atomisation:** Elle permet une volatilisation de l'élément à doser le plus sélectivement possible.
- d) **Nettoyage (pyrolyse).**

3.6.5) Etalonnage du SAA:

3.6.5.1) Méthode de standards seuls:

La mesure de la concentration d'un métal dans l'échantillon se fait par comparaison directe avec les teneurs connues du même métal. Alors, la qualité du résultats dépendra de la représentativité des étalons par rapport à l'échantillon.

La gamme des étalons préparés à partir d'une solution mère de 1000 ppm (1g/l) correspondante à chaque métal à doser (Tableau 19).

Les absorbances mesurées sur les étalons permettent de tracer la courbe d'étalonnage pour chaque élément selon l'équation et sur la quelle on reporte les absorbances des échantillons analysés (Figure 15).

$$Y = aX + b$$

Avec

X: concentration du métal.

a: pente de la droite.

b: ordonnée à l'origine.

Y: densité optique ou absorbance.

3.6.6) Expression des résultats:

Pour la détermination de la concentration des métaux lourds dans le sédiment, on utilise la formule suivante:

$$[C] f = \frac{([C] ech - [C] B) \times V \times F}{P}$$

Avec :

[C] f: Concentration finale de métal dans le sédiment.

[C] ech: Concentration du métal.

P: Poids du sédiment traité.

V: Volume de la solution de l'échantillon (50ml).

CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES

[C] B: Concentration du blanc.

F: Facteur de dilution.

Tableau 19: CONCENTRATION DES SOLUTION STANDARD (ng/ml).

Etalons	Zn	Cu	Mn	Ni	Cd	Pb
S0	0	0	0	0	0	0
S1	500	400	1000	100	100	10
S2	1000	800	2000	200	200	20
S3	1500	1200	3000	300	400	30

3.6.7) Exercice d'intercalibration:

Les résultats de dosage des métaux obtenus au laboratoire sont comparés aux valeurs de références de l'AIEA 356 (Tableau 20). On calcule le pourcentage de variation %, selon la formule suivante:

$$\Delta \% = \frac{(V_t - V_r) \times 100}{V_r}$$

Avec:

Δ %: pourcentage de variation.

V_t: valeur trouvée.

V_r: valeur de référence (AIEA).

Si Δ % < 10: aucune correction n'est apportée.

Si Δ % > 10: la correction est effectuée (V_c: valeur corrigée), selon la relation suivante:

$$V_c = \frac{V_t}{1 \pm \Delta \% / 100}$$

4.4.1) Indices de contamination:

Pour estimer l'état de pollution dans l'environnement marin, on procède par le calcul de l'indice de contamination (IC) selon la méthode présentée par l'agence de Bassin Rhône Méditerranée Corse (A.B.R.M.C, 1988).

Cette méthode consiste en un calcul de rapport entre les teneurs trouvées et les teneurs considérées comme normales (Tableau 22).

$IC = \text{Concentration trouvée} / \text{concentration normale}$
--

CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES

Tableau 20: Résultats du test d'intercalibration.

Elément	Valeur de l'AIEA		Valeur trouvée µg / g	Δ%	Remarque
	Moyenne µg /g	Intervalle de confiance			
Zn	977	[936 - 1019]	932.06	-4.59	-
Mn	312	[288 - 323]	306.74	-1.68	-
Ni	36.9	[35.1 - 40.1]	35.52	-2.15	-
Cd	4.47	[4.32 - 4.77]	5.31	+18.79	contamination
Pb	347	[301 - 365]	248.00	-28.53	Perte
Cu	365	[365 - 375]	368.84	0.82	-

4.3) Corrélation inter-éléments:

Afin de préciser l'affinité que peuvent présenter les éléments analysés entre eux, l'étude de la corrélation linéaire entre les métaux et la matière organique est conduite par l'utilisation d'un test de Student dit test de " t ".

Ce test permet de vérifier la signification des coefficients de corrélation et indique également la dépendance entre les paramètres quantitatifs (SCHWARTZ, 1992). Il est appliqué de la manière suivante :

$$t_{calculé} = r \sqrt{n-2 / 1-r^2}$$

Avec : r = Coefficient de corrélation

n = Nombre d'échantillons

Pour un risque = 5 % et un degré de liberté ddl = n-2 (voir annexe).

* Si " t calculé " est inférieur au " t réel " (lu sur la table) : il n'y a pas de corrélation significative.

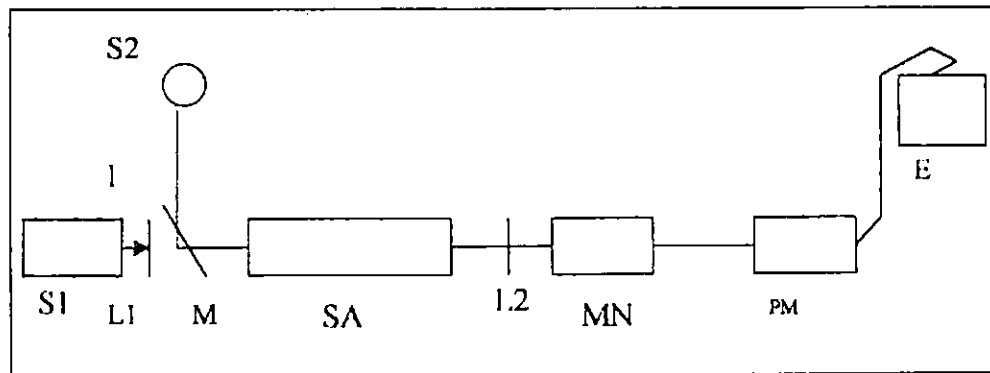
* Si " t calculé " est supérieur au " t réel " (lu sur la table) : il y a une corrélation significative.

CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES

$IC < 3$: Zone non polluée.

$3 < IC < 10$: Zone polluée.

$IC > 10$: Zone à risque.



Légende:

S1: Lampe à cathode creuse

S2: Lampe pour correction de fond

SA: Source d'atomisation

MN: Monochromateur

PM : Photomultiplicateur

M: Miroir tournant

E: Enregistreur

I: Faisceau incident

L1, L2: Lentilles

Figure 12: Les constituants d'un spectrophotomètre.

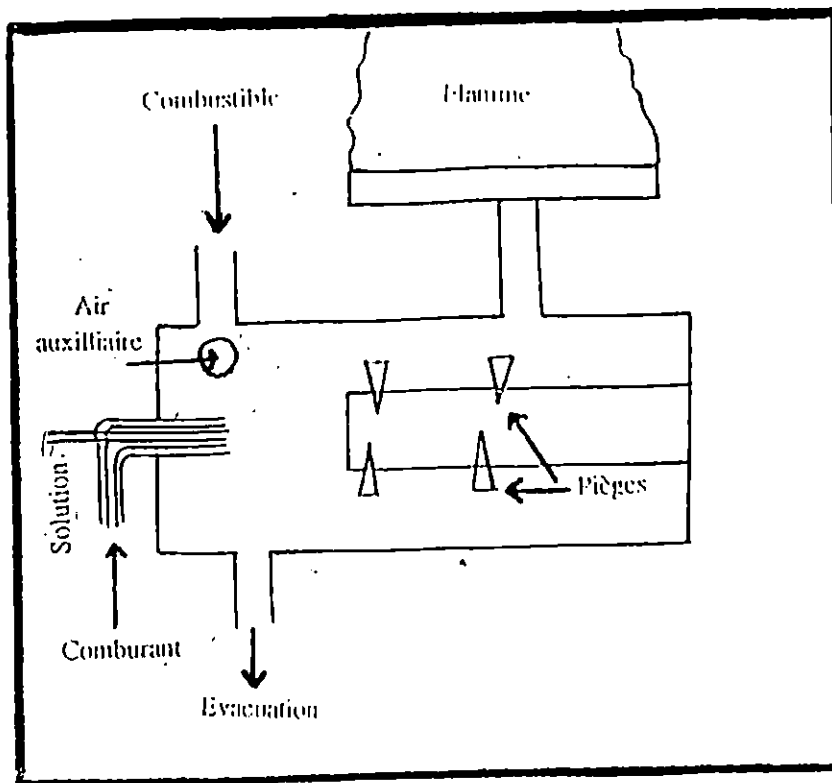


Figure 13 : ensemble brûleur nébuliseur.

C Benamiroucho 2500

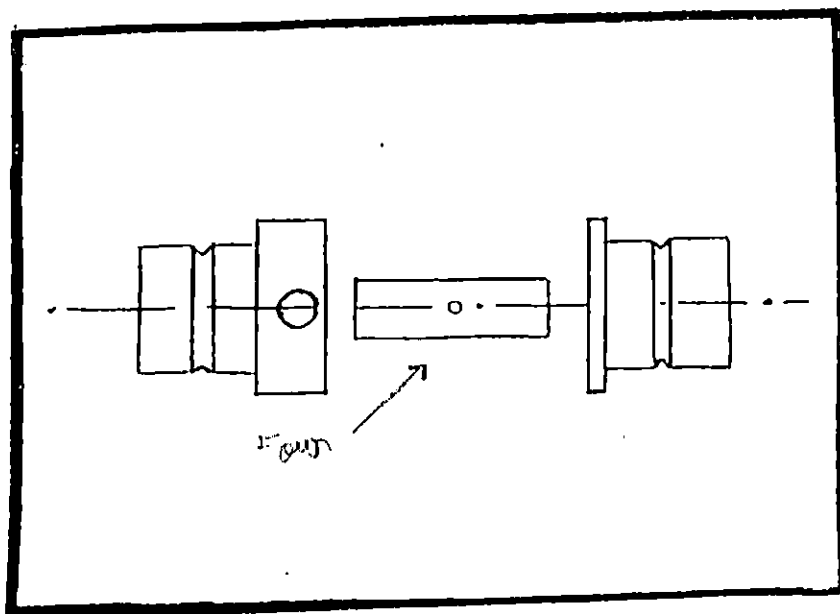


Figure 14 : four à graphite.

couleur verte 2500 37

CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES

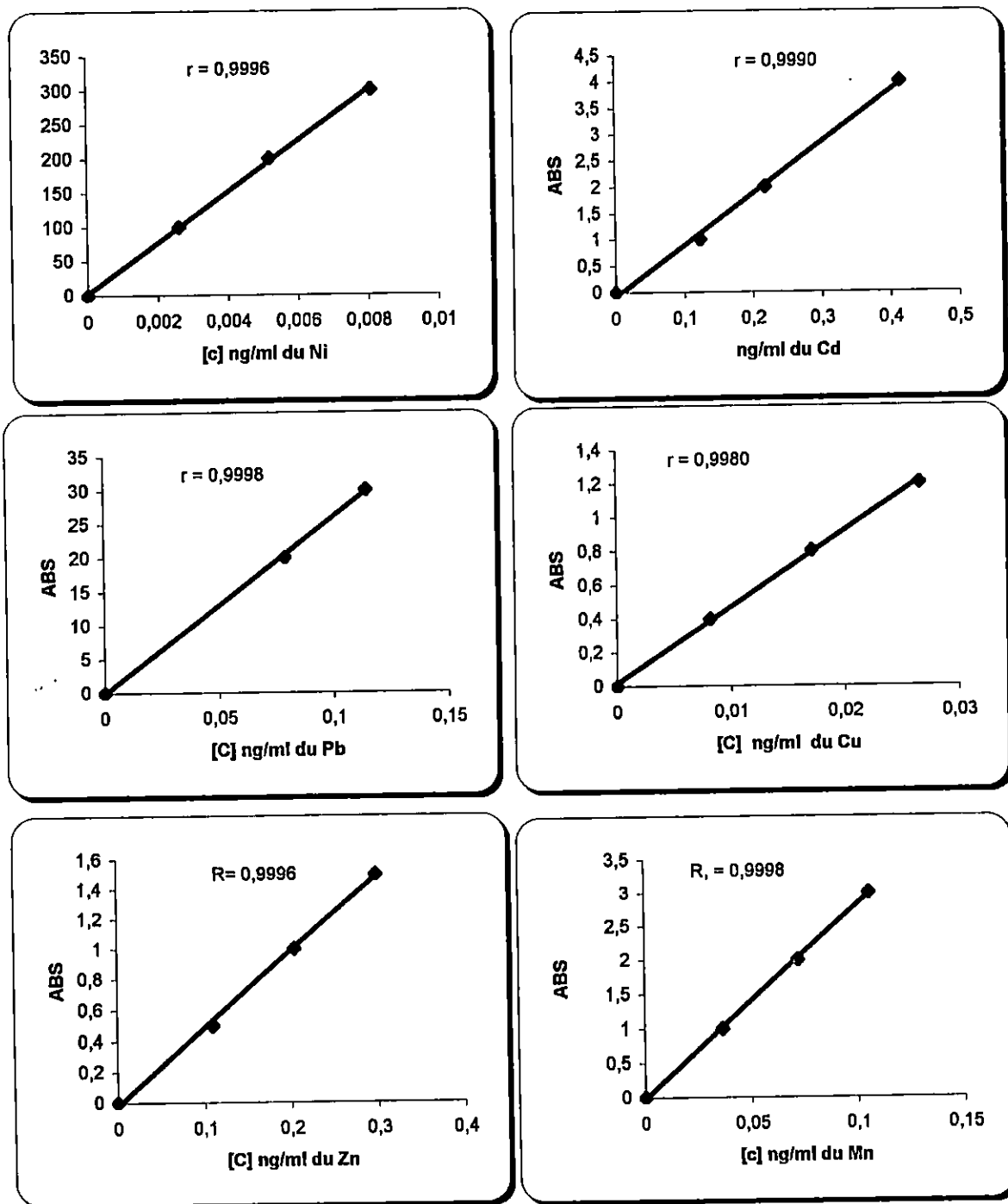


Figure 15 : courbes d'étalonnage des métaux étudiés

CHAPITRE 4

CAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4) RESULTATS ET DISCUSSION:

Préambule :

Ce travail rentre dans le cadre de programme de recherche de l'I.S.M.A.L sur l'environnement. Ainsi les données obtenues pour la matière organique et les métaux lourds (Cd, Cu, Ni, Pb, Mn et Zn) dans la matrice sédimentaire, sont consignées dans un support interne, au niveau du laboratoire de pollution marine de l'I.S.M.A.L. Elles ne peuvent être consultées sans autorisation préalable du responsable du laboratoire.

4.1) MATIERE ORGANIQUE:

4.1.1) Port d'ARZEW:

Dans le port d'ARZEW le taux de la matière organique est variable (3.58 - 9.45%) avec une moyenne de 6.04 % (Figure 16).

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les sédiments hétérogènes (vase sableuse) au niveau des stations (1 et 2) près du rejet d'eaux usées. La valeur minimale est observée dans le sédiment sableux de la station (13) située à l'extérieur du port à 20 m de profondeur.

Sa répartition dans le port n'est pas homogène en relation avec la nature variable du sédiment (Tableau 16) comme le montre également la répartition de lutites (Figure 3).

4.1.2) Port de BETHIOUA:

Le taux de matière organique dans le port de BETHIOUA varie peu (2.28 - 5.97%) avec une moyenne de 3.45% (Figure 17).

Les valeurs les plus importantes supérieures à 5% sont observées à la sortie Ouest du port et particulièrement près du poste pétrolier (p1) où les sédiments aux teneurs élevées en particules fines (sédiment vaseux à débris de végétaux). Alors que la teneur la plus basse est rencontrée dans le sédiment sableux au niveau de la station (11) située à la sortie Est du port. Les teneurs intermédiaires sont rencontrées dans les sédiments hétérogènes (vase sableuse ou sable vaseux).

De façon générale la répartition de la matière organique semble suivre celle de la nature du sédiment (Tableau 16). Ce schéma de répartition des grains sédimentaires obéit à la circulation des eaux qui dépendent de la direction des vents dominants et de la circulation générale dans le golfe. La granulométrie du sédiment résulte donc de l'importance de la circulation hydrodynamique Est ou Ouest entraînant ainsi un enrichissement en particules fines à la sortie Ouest du port favorisant le piégeage de la matière organique. A l'inverse à la sortie Est, l'existence probablement d'une forte remobilisation permanente des particules fines fait apparaître un fond sableux pauvre en matière organique.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

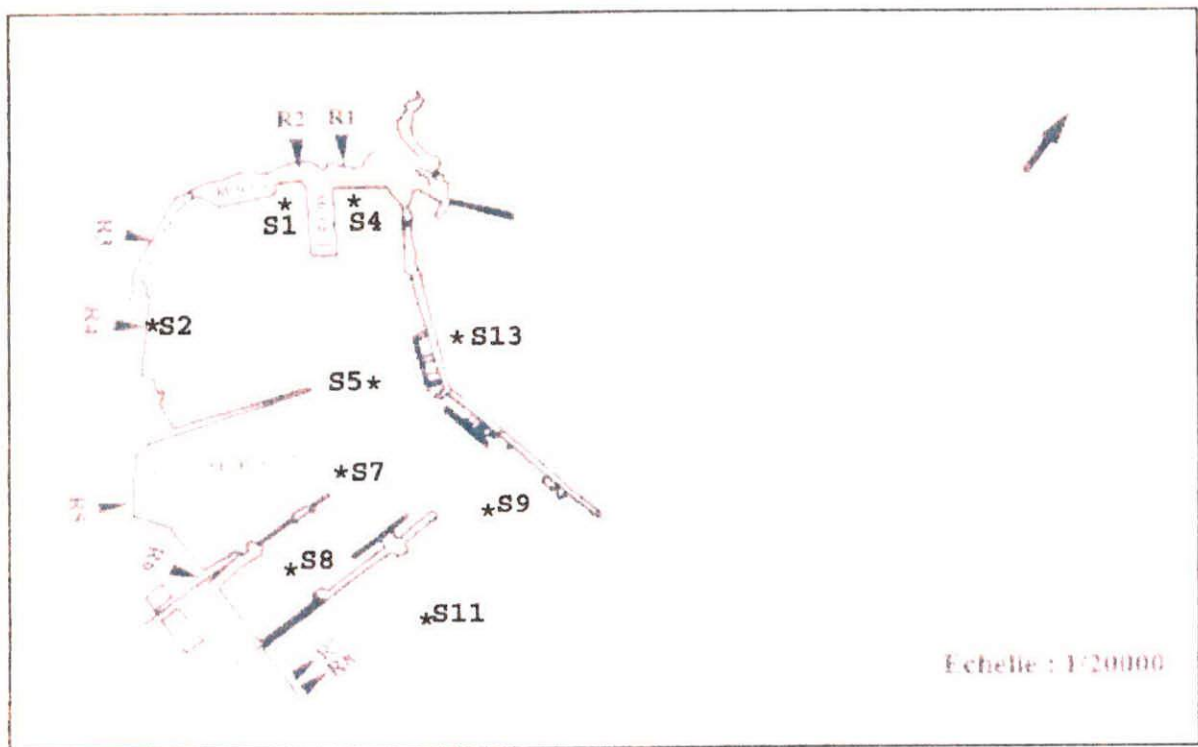
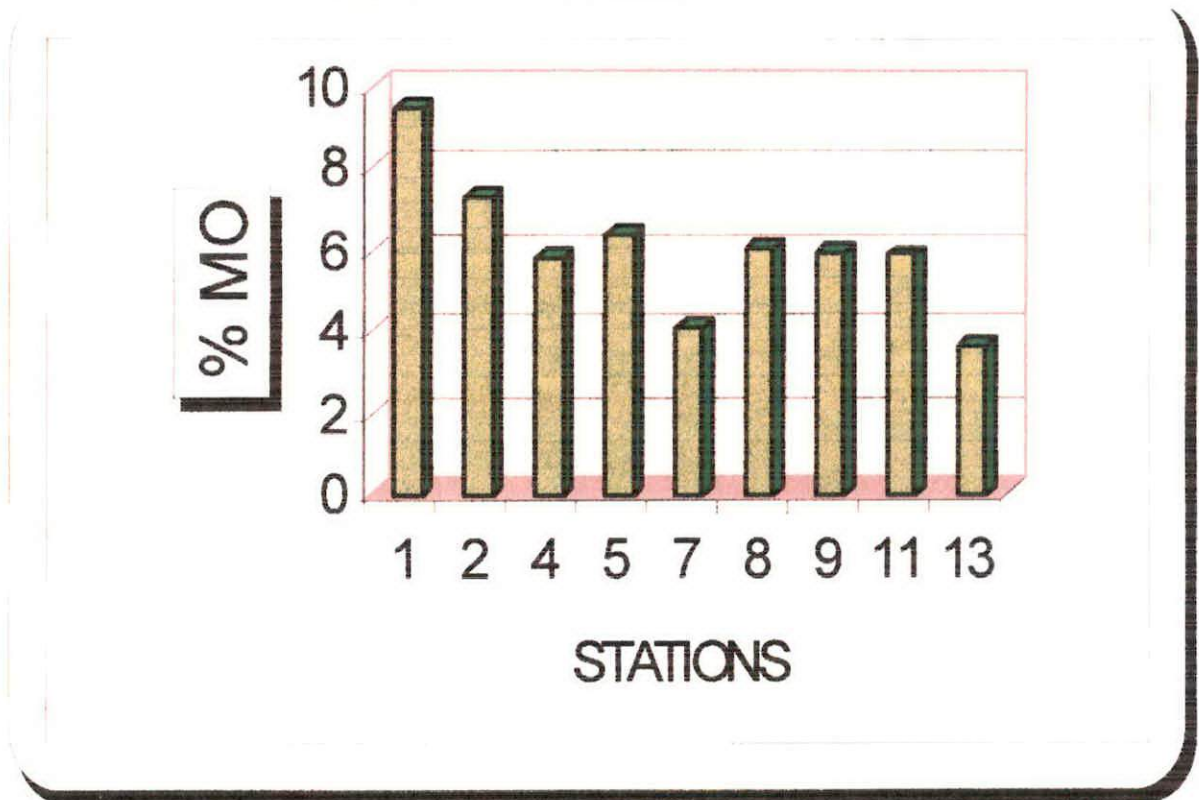


Figure 16 : Répartition de la matière organique dans le port d'Arzew.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

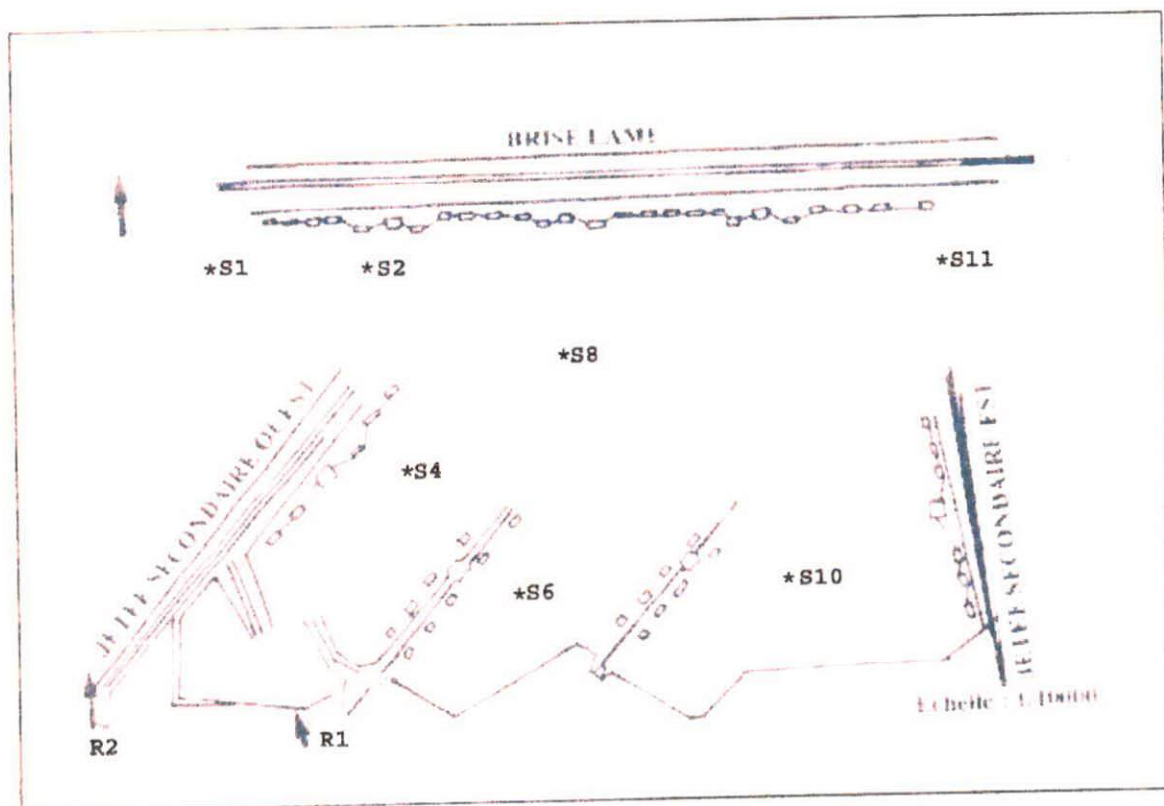
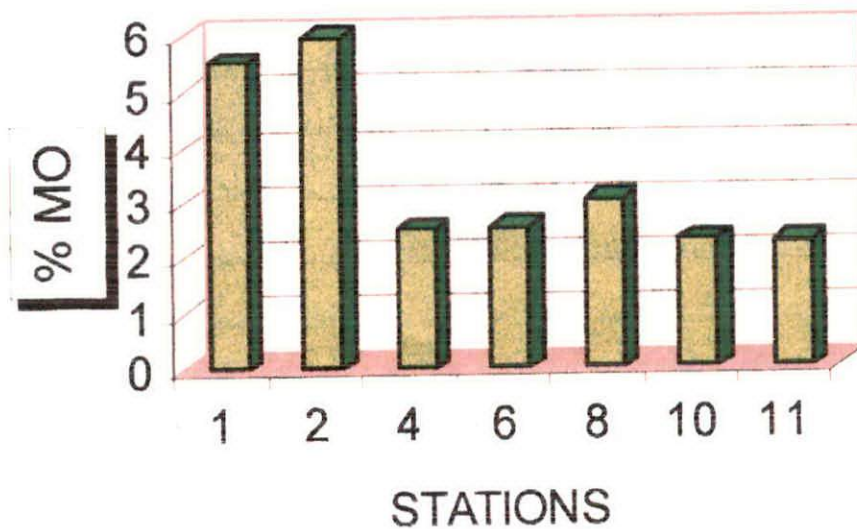


Figure 17 : Répartition de la matière organique dans le port de Bethioua.

CAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4.1.3) Discussion:

Dans les deux ports, on constate d'après nos résultats que la vase est le support le plus favorable à la fixation de la matière organique. Ceci est lié au fait que la fraction argileuse a tendance à piéger facilement la matière organique (CAUWET, 1985). Ainsi les sédiments vaseux sont généralement riches en matière organique, alors que les sédiments sableux contiennent souvent peu de matière organique

Le taux de la matière organique dans le port d'Arzew est élevé par rapport à celui de BETHIOUA. Ce dernier est ouvert à ses deux extrémité Est et Ouest ce qu'il l'expose à une forte activité hydrodynamique qui renouvelle sans cesse la nature et la composition du fond. Alors que le port d'ARZEW est semi fermé et un grand nombre de rejets s'y déversent, et les résidus tendent à s'accumuler vue son faible hydrodynamique (METAP, 1994).

La source principale de la matière organique dans les deux ports est la décomposition animale et végétale mais aussi des apports par les eaux usées de la zone industrielle d'ARZEW (Z.I.A) qui y sont déversées.

La matière organique est une pollution qui affecte principalement le sédiment, sa décomposition directe par les micro-organismes épuise le taux d'oxygène provoquant ainsi l'asphyxie de plusieurs espèces. Lorsque le taux de la matière organique est compris entre 5 et 12%, le milieu est considéré comme étant déséquilibré à pollué.

4.2) REPARTITION DES METAUX DANS LES SEDIMENTS SUPERFICIELS DES DEUX PORTS:

4.2.1) Port d'ARZEW:

4.2.1.1) Cadmium:

Dans le port d'ARZEW, les concentrations varient entre 0.091 et 0.234 $\mu\text{g/g}$ avec une moyenne de 0.16 $\mu\text{g/g}$ (Figure 18).

La valeur la plus élevée est trouvée au niveau de la station (8) ^{de la station} près du rejet (R6) provenant de l'usine de liquéfaction et la valeur minimale est enregistrée au niveau de la station (1).

Le cadmium est piégé par les sédiments fins riches en matière organique qui constitue un excellent chélat pour ce métal (SALOMON et FORSTNER, 1984). En effet les teneurs les plus élevées sont rencontrées dans les sédiments riches en lutites et en matière organique comme le montre la station (8) où le sédiment comprend entre 75 et 90% de lutites (Figure 3). A l'exception de la station (1) qui pourtant le sédiment à forte teneur en matière organique montre la teneur la plus faible pour tous les métaux étudiés qu'on verra par la suite. Il s'agit sans aucun doute d'un sédiment où les conditions physico-

CAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

chimiques favorisent la remobilisation des métaux soit par dissolution ou dégradation de la matière organique qui libère les métaux.

4.2.1.2) Cuivre:

Les teneurs en cuivre des sédiments superficiels sont comprises entre 15.92 et 66.42 $\mu\text{g/g}$ avec une moyenne de 37.75 $\mu\text{g/g}$ (Figure 19).

La valeur la plus importante est enregistrée à la station (8) et la plus faible des teneurs est celle de la station (13) située à l'extérieur du port où le sédiment est sableux et pauvre en matière organique.

On remarque que sur l'ensemble des stations les teneurs les plus importantes sont rencontrées dans les sédiments fins riches en matière organique à l'exception de la station 1 à caractéristique spécifique. Il semble que le cuivre est associé à la matière organique par adsorption et complexation (O.M.S, 1979) mais les argiles favorisent également l'adsorption des métaux et particulièrement le Cu, le Zn, le Mn et le Pb.

4.2.1.3) Plomb:

Les concentrations en plomb sont très variables (19.77 - 89.69 $\mu\text{g/g}$) avec une moyenne de 52.89 $\mu\text{g/g}$ (Figure 18).

La valeur la plus élevée est celle de la station (8) et les valeurs basses sont enregistrées à la station (1) et les sédiments des stations à teneurs faibles en lutites et ou en matière organique.

Le Pb est solidement lié aux particules fines (COSSA et al., 1990) et sa distribution ressemble à celle du Cu. Il semble être liée au faciès sédimentaire puisque les maximums se trouvent dans les stations où les sédiments comprennent entre 50 et 90% de lutites (Figure 3).

4.2.1.4) Zinc:

Les teneurs en zinc des sédiments du port d'Arzew varient entre 81.17- 293.91 $\mu\text{g/g}$ avec une moyenne de 164.42 $\mu\text{g/g}$ (Figure 19).

La valeur maximale est notée au niveau de la station (8) et la valeur minimale est enregistrée comme pour les autres métaux à la station (1). Comme le cuivre et le plomb la répartition de ce métal semble être liée à la nature du sédiment dont la teneur en argile ou en matière organique joue un rôle déterminant. Les phénomènes d'absorption et de précipitation du zinc sont favorisés lors d'une forte présence des argiles et des oxydes de Fe et de Mn (CAUWET et FAGUET, 1982).

4.2.1.5) Manganèse:

CAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Les concentrations en manganèse sont comprises entre 93.13 et 321.64 $\mu\text{g/g}$ pour une moyenne de 243.62 $\mu\text{g/g}$ (Figure 19).

La valeur la plus élevée est au niveau de la station(8) et la valeur minimale est notée toujours comme pour les autres métaux à la station (1) aux caractéristiques physico-chimiques probablement différentes des autres stations.

Le manganèse a une grande affinité pour les argiles (RODIER, 1996), mais on sait qu'il est influencé par les changements physico-chimiques et hydrodynamiques du milieu (BURTON, 1976) qui contrôlent la remobilisation (remise en solution) ou la précipitation.

4.2.1.6) Nickel:

Les concentrations en nickel dans les sédiments superficiels du port d'Arzew sont très variables (16.56 - 57.43 $\mu\text{g/g}$) avec une moyenne de 42.78 $\mu\text{g/g}$ (Figure 19).

A l'exception de la station (1) comme pour les autres métaux étudiés où on enregistre la valeur minimale, la répartition de ce métal semble être liée à celle de la matière organique et la teneur du sédiment en fraction fine.

4.2.2) Port de BETHIOUA:

4.2.2.1) Cadmium:

Les teneurs en cadmium des sédiments superficiels du port de BETHIOUA varient entre 0.07 et 0.262 $\mu\text{g/g}$ avec une moyenne de 0.157 $\mu\text{g/g}$ (Figure 20).

Les valeurs extrêmes sont enregistrées dans les sédiments sableux stations pauvres en matière organique (11 et 6). Ceci indique un autre facteur de répartition des métaux lourds outre que la nature argileuse et ou riche en matière organique.

La concentration du Cd est beaucoup plus importante du côté du musoir Est. Cette répartition traduit probablement la dominance d'une circulation hydrodynamique de l'Ouest vers l'Est entraînant ainsi l'accumulation dans la partie Est du port des métaux lourds issus des rejets et de l'activité portuaire.

4.2.2.2) Cuivre:

Les concentrations en cuivre varient peu (14.24 - 25.46 $\mu\text{g/g}$) avec une moyenne de 20.30 $\mu\text{g/g}$ (Figure 21).

Comme le Cd on remarque une augmentation des concentrations près des deux sorties du port avec léger enrichissement du côté Est. La répartition de ce métal semble être indépendante de la nature du sédiment mais plutôt influencée par l'hydrodynamisme régnant dans le port.

4.2.2.3) Plomb:

CAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Comme le cuivre la variation des teneurs en plomb n'est pas importante dans le port de BETHIOUA (14.47 - 25.42 $\mu\text{g/g}$) pour une moyenne de 19.59 $\mu\text{g/g}$ (Figure 20).

La valeur maximale est enregistré au niveau de la station (11) et la valeur minimale devant la station (6) au niveau du bassin central. La répartition de ce métal est similaire à celle du cuivre et du cadmium.

4.2.2.4) Zinc:

Les teneurs en zinc dans les sédiments superficiels ne montrent pas une variation significative. Elles sont comprises entre 76.70 et 111.47 $\mu\text{g/g}$ avec une moyenne de 91.92 $\mu\text{g/g}$ (Figure 21).

La plus basse teneur est rencontrée au niveau de la station (6) et les valeurs les plus importantes sont enregistrées au niveau des stations (11) et (1) localisées respectivement aux sorties Est et Ouest du port. Cette répartition est identique à celle du Cd, Cu et Pb et traduit l'importance du facteur hydrodynamique.

4.2.2.5) Manganèse:

Les teneurs en Manganèse varient peu (213.54 à 356.5 $\mu\text{g/g}$) avec une moyenne de 273.17 $\mu\text{g/g}$ (Figure 21).

Les teneurs élevées sont enregistrées dans les stations (1) et (10), la répartition de ce métal dépend principalement des paramètres physico-chimiques et de l'apport en oxygène qui favorisent sa précipitation (RODIER, 1996), sachant que ce port est ouvert l'oxygénation y est renouvelée sans cesse.

4.2.2.6) Nickel:

Comme le manganèse, les concentrations varient peu (17.91 - 26.78 $\mu\text{g/g}$) avec une moyenne de 21.20 $\mu\text{g/g}$ (Figure 21).

A l'exception des stations (1) et (2) près du musoir Ouest où on enregistre les valeurs les plus élevées, la répartition de ce métal est presque homogène. De façon générale cette répartition ressemble beaucoup à celle du Mn et de la matière organique. Contrairement aux autres métaux lourds étudiés, il apparaît que le facteur granulométrique et la richesse en matière organique contrôlent la répartition de ce métal.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

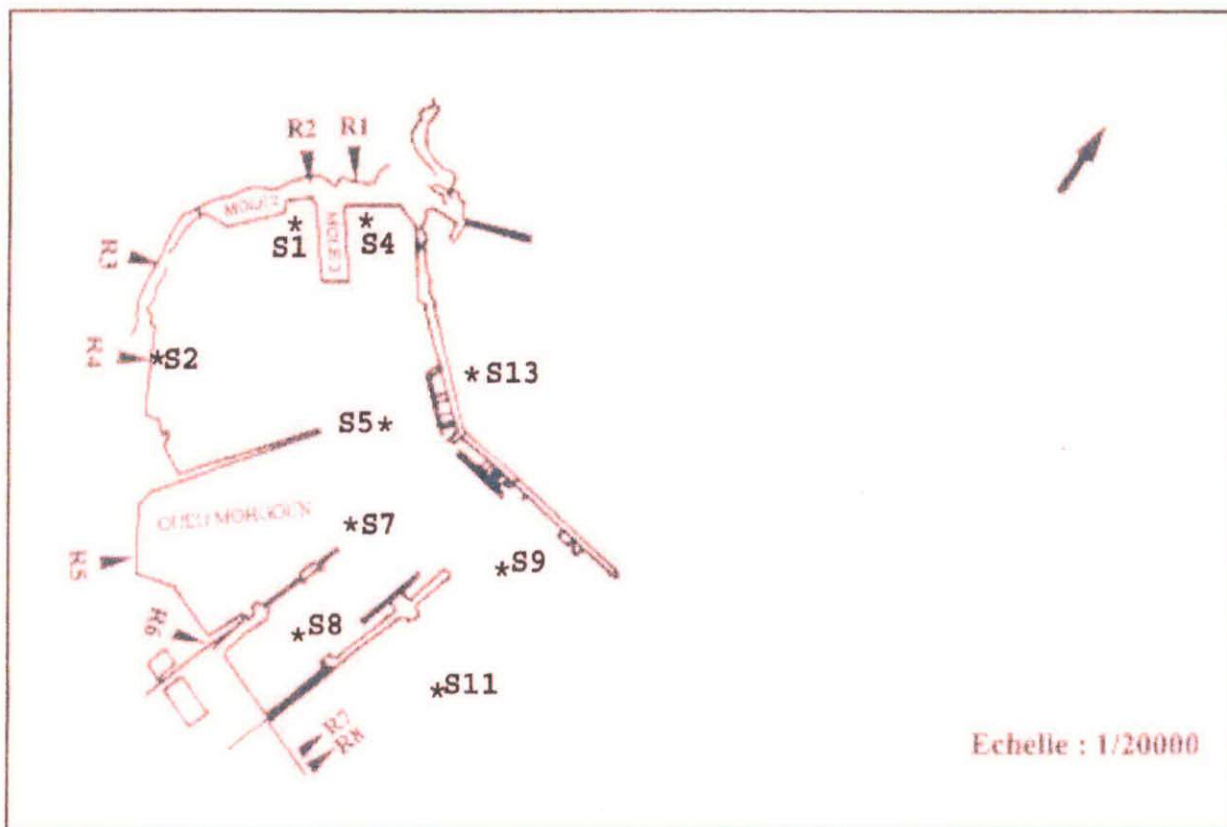
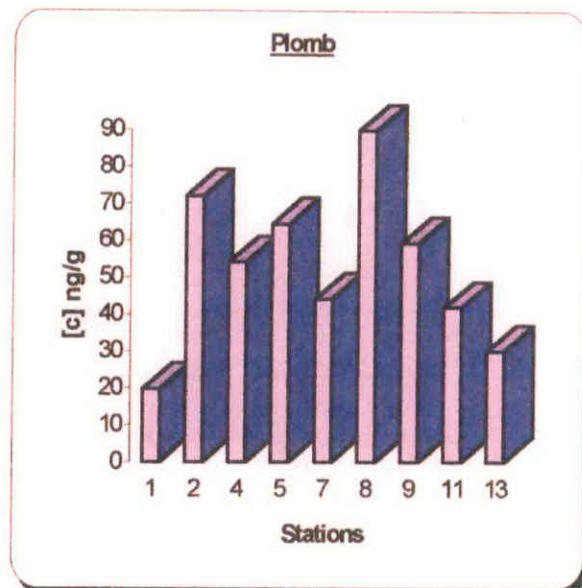
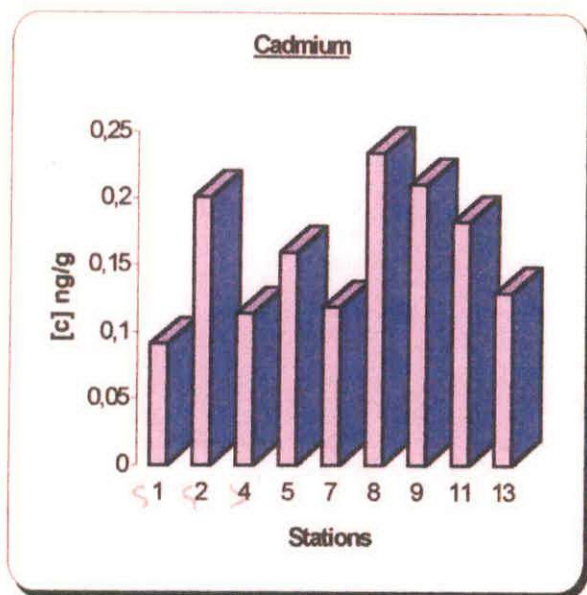


Figure 18 : Répartition du Cadmium et du Plomb dans le port D'Arzew.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

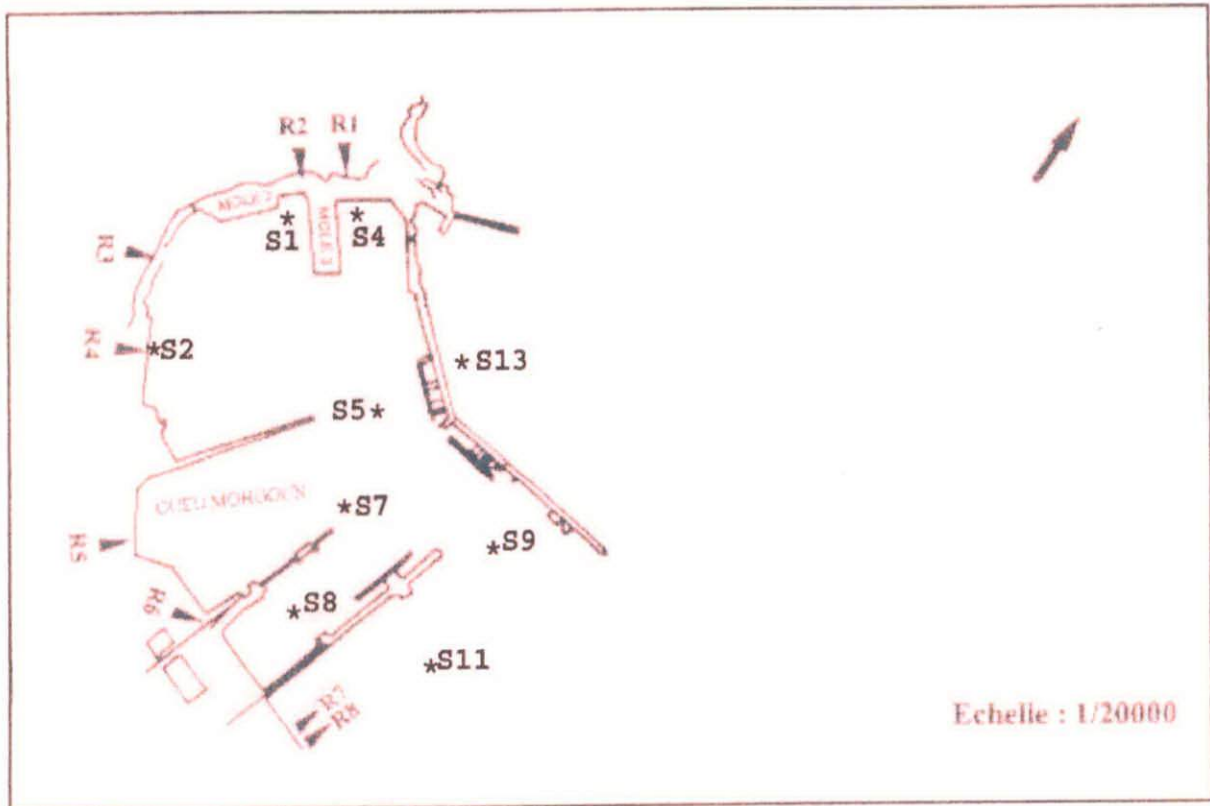
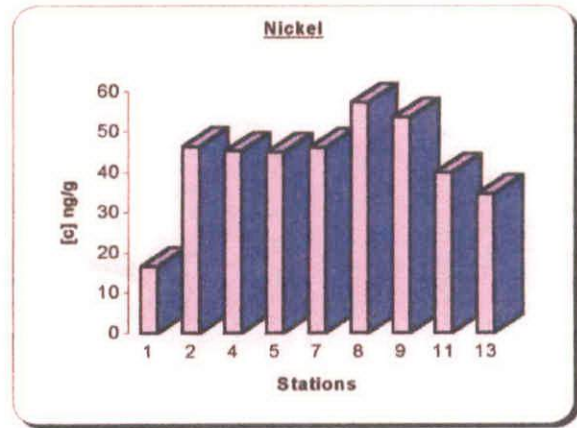
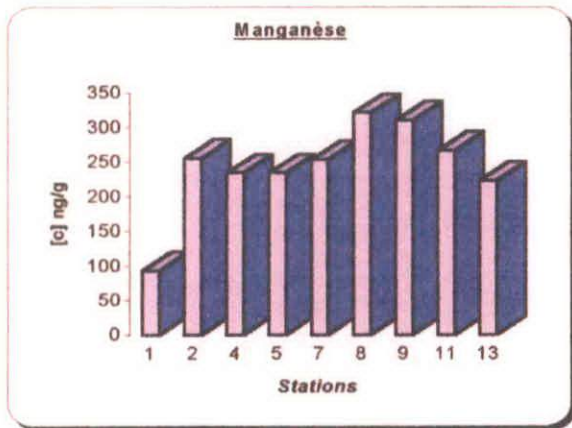
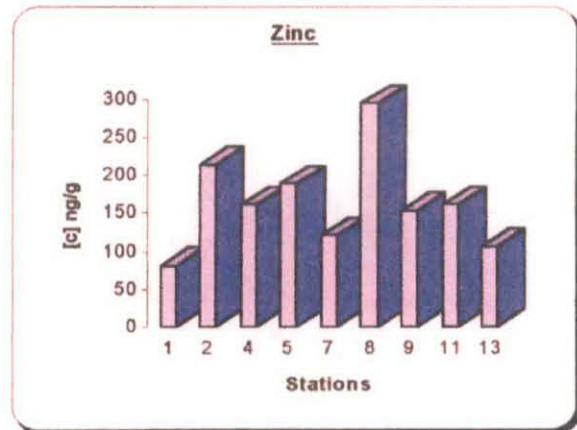
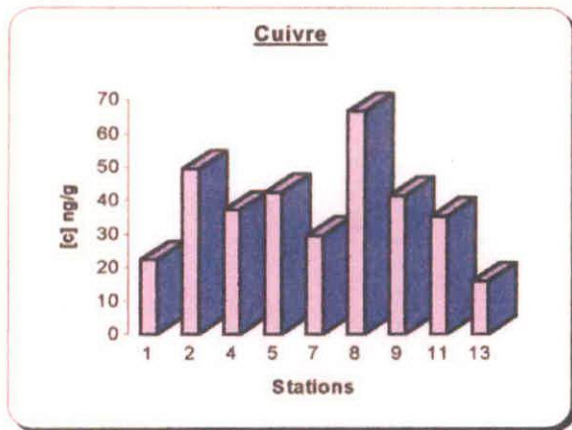


Figure 19: Répartition du Cu, Zn, Mn et Ni dans le port d'Arzew.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

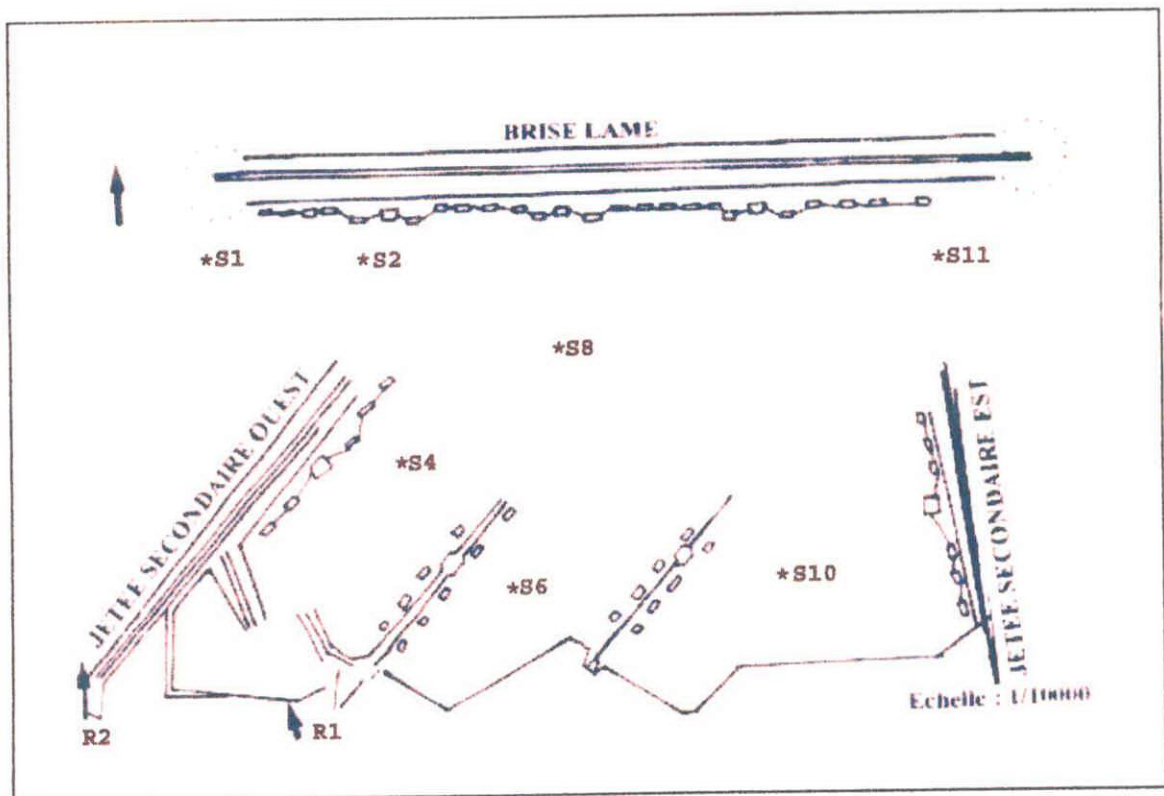
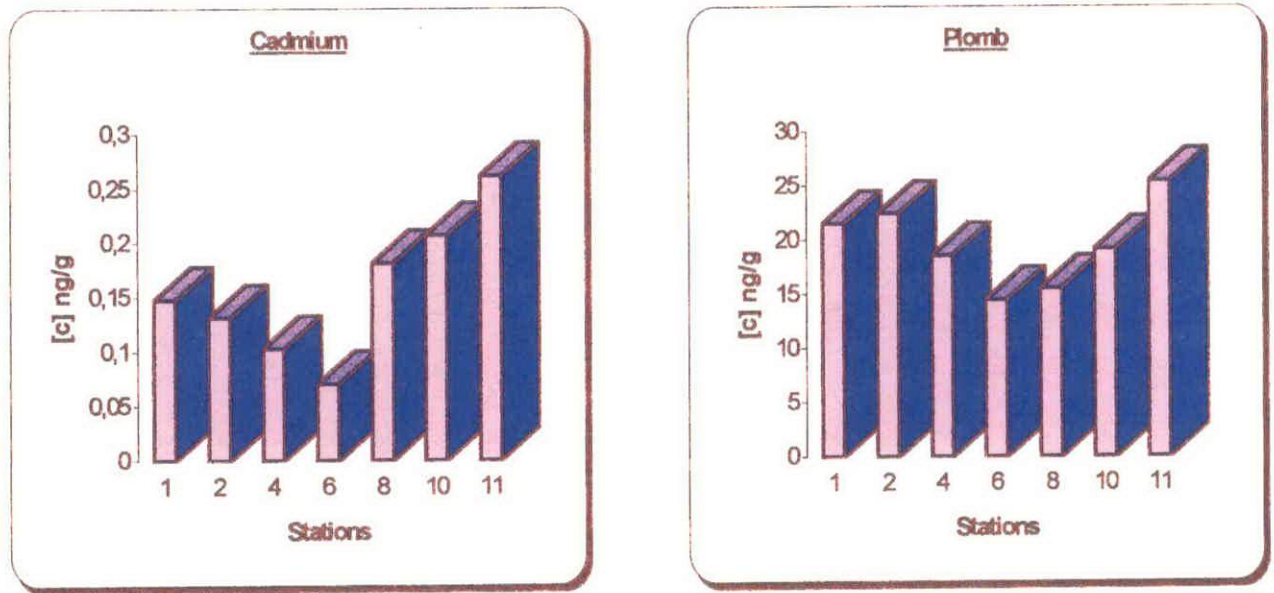


Figure 20 : Répartition du Cadmium et du Plomb dans le port de Bethioua

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

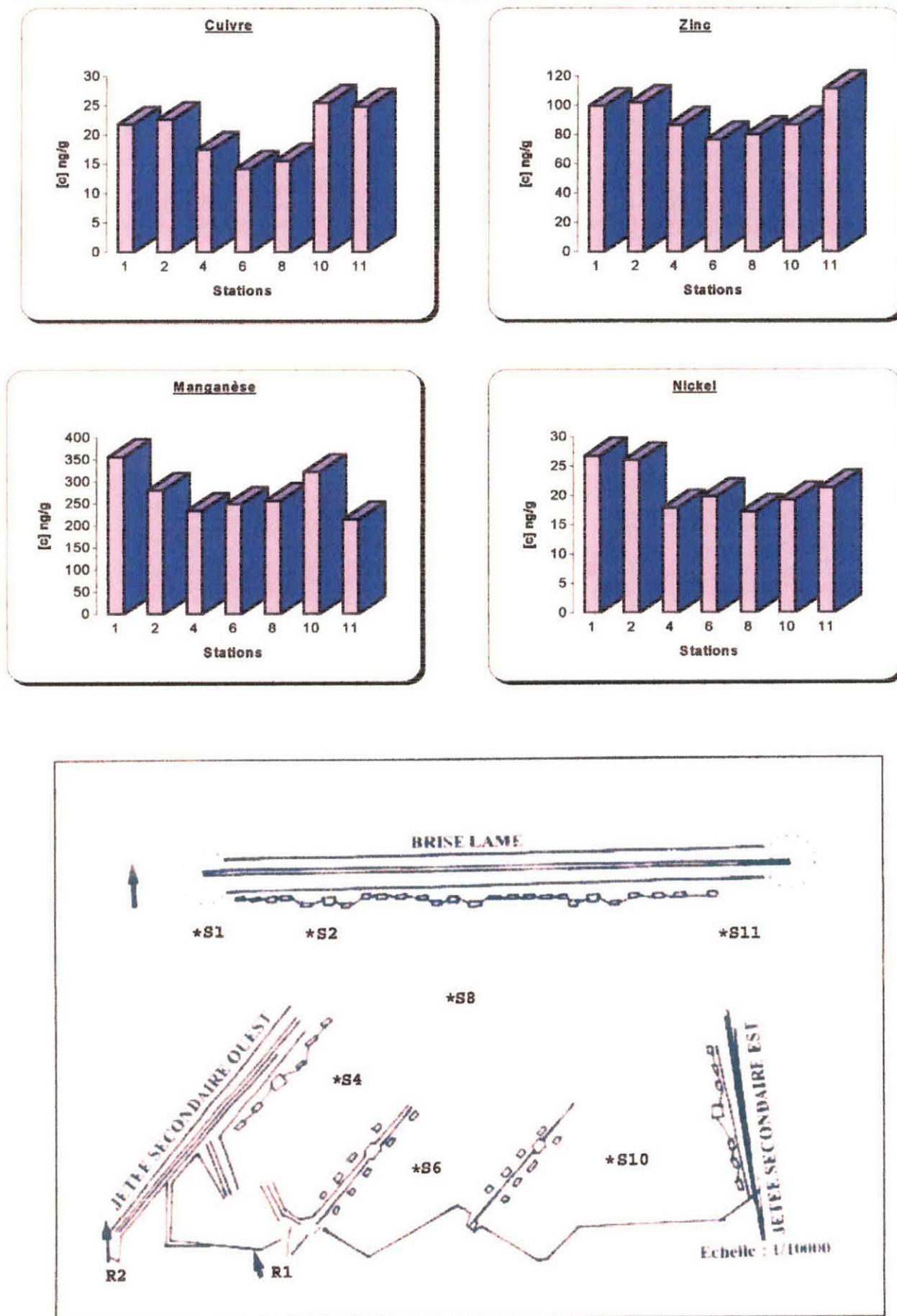


Figure 21: Répartition du Ni, Mn, Cu et Zn dans le port de Bethioua.

CAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4.2.3) DISCUSSION

La distribution des métaux lourds issus des rejets et de l'activité portuaire dépend étroitement de la nature des particules sédimentaires et de l'état physico-chimique du milieu, elles mêmes influencées par l'hydrodynamisme. Ainsi la répartition des métaux dans le port d'Arzew (milieu confiné) montre des concentrations supérieures à celles du port de Bethioua (milieu ouvert). A l'exception du Mn qui est considéré comme étant un indicateur de l'état physico-chimique du milieu (BURTON, 1976 et CAUWET et FAGUET, 1982) son enrichissement est favorisé par un apport permanent des eaux plus oxygénées au niveau du port de Bethioua que dans le port d'Arzew caractérisé par un hydrodynamisme faible de ses eaux.

4.3) Corrélation inter-éléments:

CAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Tableau 21: Corrélations significatives inter-métaux et métaux avec la matière organique dans le port d'Arzew et dans le port de Bethioua.

ARZEW			BETHIOUA	
Couple	Coefficient "r" obtenu sans station (1)	Coefficient "r" obtenu sur toutes les stations	Couple	Coefficient "r"
Pb/Cu	0.97	0.96	Pb/Cu	0.83
Pb/Zn	0.94	0.95	Pb/Zn	0.99
Cu/Zn	0.96	0.96	Cu/Zn	0.76
Mn/Ni	0.84	0.95	M.O/Ni	0.87
Pb/Ni	0.83	0.86		
Pb/Cd	0.71	0.80		
Cd/Cu	0.77	0.81		
Cd/Zn	0.74	0.81		
Cd/Mn	0.83	0.81		
Pb/Mn	0.61	0.75		
Cd/Ni	0.65	0.75		
M.O/Cu	0.75			
M.O/Pb	0.73			
M.O/Zn	0.69			
M.O/Cd	0.61			

La majorité des corrélations inter-métaux dans le port d'Arzew est significative (Tableau 21), ceci montre que les métaux à l'intérieur du port sont étroitement liés aux apports des rejets et à l'activité portuaire et au même substrat sédimentaire du fait que leur fixation est favorisée par la fraction argileuse.

Inversement il n'existe aucune corrélation significative métaux - matière organique du fait que la station (1) représente une anomalie par rapport aux autres stations. Cette anomalie probable résulte plutôt de la physico-chimie du sédiment riche en composés organiques et inorganique acides ou les conditions physico-chimiques des eaux (pH, salinité, température et oxygène) permettant la solubilisation des métaux d'où les faibles teneurs de tous les métaux étudiés. Ceci semble être confirmé par la teneur la plus faible en Mn.

En effet si on tient pas compte de la station (1) à caractéristiques différentes des autres stations, les corrélations inter-métaux existent encore mais deviennent

CAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

significatives entre les métaux (Cu, Pb, Zn et Cd) et la matière organique (Tableau 21). Alors qu'elles restent toujours non significatives concernant le Mn et le Ni qui sont corrélés entre eux et probablement plus associés à la fraction argileuse.

La corrélation observée pour le port de Bethioua est moindre par rapport à celle du port d'Arzew, vu qu'il soit ouvert et exposé ainsi à de fréquents changements des conditions physico-chimique induits par la circulation générale entraînant un changement de la nature du fond. Ceci est montré par la distribution variable du Mn qui est très sensible à ces changements.

Seuls les couples Pb-Cu, Pb-Zn et Zn-Cu présentent une corrélation significative. Ceci indique du moins pour ces métaux que leur distribution serait liée non seulement à la fraction argileuse et ou la matière organique mais aussi au facteur hydrodynamique. Ces corrélations existantes indiquent également du fait de leur utilisation courante, leur source commune (rejets et activité dans le port).

Selon RODIER (1996) la matière organique à une grande affinité pour les métaux, mais seul le nickel présente une corrélation significative. Ce métal ne présente pas une bonne corrélation avec le Mn qui semble être plus associé aux particules détritiques fines comme on l'a observé au niveau du port d'Arzew.

4.4) ETAT DE POLLUTION DANS LES DEUX PORTS :

4.4.1) Indices de contamination:

Dans le port d'Arzew, l'indice de contamination des métaux (Tableau 23) montre qu'il n'est pollué que par le Zn et le Pb. Cette légère pollution en ces métaux lourds et autres contaminants chimiques provient directement de la Z.I.A dont l'activité pétrolière est dominante.

Quant au port de Bethioua sur l'ensemble des indices de contaminations (Tableau 23), on constate qu'il n'est pas pollué par les métaux étudiés. Ceci est dû au fait que ce port est ouvert et exposé aux courants côtiers qui y créent un hydrodynamisme actif. La circulation générée dans le port conduit à répartir les métaux polluants (Cu, Zn, Pb, Cd et Ni) issus des rejets ou de l'activité à l'intérieur du port en les entraînant soit vers la sortie Est soit vers la sortie Ouest en relation avec la prédominance des courants induits par les directions des vents dominants et l'hydrodynamisme général régnant dans le golfe.

CAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Tableau 22: Les concentrations normales (A.B.R.M.C, 1988):

Métaux	Cd	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni
Concentration normale µg/g	0.6	26	88	400	22	45

Tableau 23: Indice de contamination des éléments métalliques dans chaque port:

Métaux	Variation de l'indice de contamination dans le port d'ARZEW	Variation de l'indice de contamination dans le port de BETHIOUA
Cd	0.15 - 0.39	0.11 - 0.43
Cu	0.61 - 2.55	0.54 - 0.97
Zn	0.92 - 3.33	0.87 - 1.26
Mn	0.21 - 0.73	0.48 - 0.81
Pb	0.83 - 4.07	0.65 - 1.15
Ni	0.36 - 1.27	0.38 - 0.59

CAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4.4.2) Evolution de la pollution et comparaison avec d'autres ports Algériens:

Dans le but de suivre la tendance de la pollution et de donner une approche aux concentrations en métaux lourds obtenues dans les sédiments superficiels des deux ports étudiés, nous avons procédé à une comparaison d'une part avec d'autres travaux des mêmes sites et d'autre part, avec ceux des différents ports Algériens (Tableau 24).

- Evolution de la pollution:

Dans les deux ports d'Arzew et Bethioua, on observe une diminution nette de la teneur en Pb. En effet l'addition du Pb dans les essences qui est principalement responsable de sa dissémination dans l'environnement via les fleuves et l'atmosphère, a nettement diminué ces dernières années.

A l'inverse une légère augmentation pour le Cu et Mn, mais plus significative concernant le Zn que ce soit dans le port d'Arzew ou celui de Bethioua. Il est évident que l'accroissement observé en ces deux métaux résulte de la croissante activité portuaire et urbaine. En effet ces deux métaux proviennent de l'activité portuaire et des rejets d'eaux usées sans station d'épuration. Situation identique généralement pour les ports Algériens comme celui de Jijel où on assiste à une croissance continue de pollution en mercure, cuivre et mercure (ROUIBAH, 2001).

Quant au Cd l'évolution semble être différente dans les deux ports avec une légère augmentation dans le port de Bethioua et une légère diminution dans celui d'Arzew. Mais cette observation seulement sur deux périodes de prélèvement ne permet pas de suivre l'état de la pollution en ce métal.

- Comparaison avec d'autres ports Algériens:

La teneur en manganèse est largement supérieure dans les ports plus ouverts (Bethioua Djendjen et Tipaza) à celle dans les ports semi fermés en particulier Skikda, Annaba. L'enrichissement observé est lié probablement aux conditions physico-chimiques plus favorables à la précipitation de ce métal dans les zones plus ouvertes sujettes au renouvellement de ces eaux liées à la circulation intense résultant de l'hydrodynamisme régnant dans ces régions.

Pour les autres métaux (Cu, Zn, Cd et Pb), leurs teneurs de façon générale sont variables d'un port à l'autre voire similaires pour certains en relation avec l'importance de leur activité. Cette observation est bien individualisée dans le port d'Annaba qui présente une nette différence avec les autres ports en activité urbaine, industrielle et portuaire.

CAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Tableau 24 : Comparaison avec d'autres ports algériens.

PORT	Cu	Zn	Mn	Pb	Cd	Ni	Références
DJEN-DJEN	22.99*	106.54*	377.09*	-	-	-	BADER et BELLAHRECHE 97/98
JJEL	58.78*	201.73*	320,42*	-	-	-	
TIPAZA	12.32 - 77.43	46.48 - 133.47	192.03 - 361.33	-	-	-	BOUKHOUF et 97/98
SIKIDA	28.61 - 70.56	32.38 - 311.13	76.36 - 114.29	-	-	-	DJEMAOUI 1996
MOSTAGAN- EM	18.13 - 47.66	86.1 - 142.96	169.73 - 219.43	5.19 - 34.05	0.142 - 0.361	-	HARITI et 2000
ANNABA	19.99 - 116.77	83.62 - 427.6	79.38 - 178.59	40,63 - 243.41	0.142 - 0.964	-	
ARZEW	1.3 - 51	19 - 247	-	12 - 102	0.03 - 0.29	-	METAP 1994
BETHIOUA	1.7 - 22	12 - 104	-	5.8 - 46	0.04 - 0.22	-	
ARZEW	4.53 - 60.95	30.72 - 211.2	105.79 - 203.45	163.8 - 187.85	-	-	AZIZ et TOUBAL 1997
BETHIOUA	9.05 - 28.703	23.37 - 94.20	115.67 - 279.09	127.77 - 167.25	-	-	
BETHIOUA	14.24 - 25.46	76.7 - 111.47	213.54 - 356.5	14.47 - 25.42	0.07 - 0.262	17.91 - 26.78	Présente étude 2002
ARZEW	15.92 - 66.42	81.17 - 293.91	93.13 - 321.64	19.77 - 89.69	0.091 - 0.234	16.56 - 57.43	

* : concentrations moyennes

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La présente étude a pour but d'une part, de maîtriser les techniques analytiques et plus particulièrement le dosage chimique de quelques métaux lourds (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni et Mn) au niveau des deux ports (Arzew et Bethioua) et d'autre part, la détermination du niveau de pollution atteint dans ces milieux portuaires, principalement aux endroits exposés aux rejets.

L'analyse des métaux lourds par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) avec correction Zeeman connue pour sa haute sensibilité et sa sélectivité élevée, a été contrôlée par la mise en oeuvre des exercices d'intercalibration.

D'après nos résultats qui sont complémentaires aux études antérieures, la pollution des sédiments superficiels dans le port de Bethioua et dans le port d'Arzew n'est pas inquiétante même si dans ce dernier les indices de contamination de Zn et de Pb sont légèrement supérieurs aux normes proposées par l'Agence du Bassin Méditerranéen Rhône Corse (A.B.R.M.C).

Néanmoins, un accroissement continu des teneurs en métaux étudiés est souligné dans le port de Bethioua, à l'exception du Pb, du fait que ces dernières années, l'addition du Pb aux essences a considérablement diminué: Il en est de même pour le port d'Arzew, mais le Cd semble suivre le cas du Pb avec une légère décroissance de sa teneur.

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

ALLEN H.E., 1995. Metal contaminated aquatic sediment. Edt. Ann. Arbor Press, 292 p.

ATKINS P.W. et SHRIVER D.F., 2001. Chimie inorganique. Edt. DeBoeck Université, 763 p.

BADER M. et BELLAHRECHE K., 1998. Etat de pollution par les métaux lourds dans les deux ports de Jijel (port de Djen-Djen et le vieux port). Mémoire d'ingénieur d'état en pollution marine, ISMAL, 95 p.

BELLAN G. et PERES J.M., 1994. La pollution des mers << Que sais-je >> n° 1555, 2^{ème} édition, 126 p.

BENHOUCINE H., 1990. Ontribution de la sédimentologie aux eventuels problèmes posés dans les zones portuaires : exemple du port d'Arzew et de sa plage. Mémoire d'ingénieur d'état en géologie marine (U.S.T.H.B), 121 p.

BOUTIER B. et CHIFFOLEAU J.F., 1989. La contamination de la Gironde par le cadmium: origine, extension, importance. Rapport scientifique et technique de l'IFREMER, n° 14, 105 p.

BOUKHOUF S. et RECHAM S., 1998. Pollution par les métaux lourds et les hydrocarbures polyaromatiques: niveau de contamination des sédiments superficiels du port de Tipaza. Mémoire (D.E.U.A), I.S.M.A.L,

BURTON J.D., 1976. Basic properties and processes in estuarine chemistry. In: estuarine chemistry, Ed. Burton J.D and LISS PS, Londres.

CAULET J.L., 1972. Les sédiments organogènes du précontinent Algérien: Mémoire du Muséum National d'Histoire Naturelle, série c. sciences de la terre, tome 25, 289 p.

CAUWET G., 1985. Dynamique de la matière organique dans le milieu marin et polyhalins: son rôle dans le processus géochimique. Thèse de Doctorat d'état, Université de Perpignan, France, 178 p.

CAUWET G. et FAGUET D., 1982. The role of organic matter in transport processes of metals in estuarine environments. *Thalassa ugoslavia*, pp. 379-392.

CHARLOU J. L. et JOANNY M., 1983. Dosage du mercure et d'autres métaux (Pb, Zn, Cd, Cr, Cu, Co, Ni, Mn) dans les sédiments marins par absorption atomique. In C.N.E.X.O.(1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Edition Aminot A. et Chaussepied M., Brest, pp. 258-295.

COCKERHAM L.G et SHANE B., 1994. Basic environmental toxicology. Edt CRC press, 627 p.

COSSA D. et LASSUS P., 1989. Le cadmium en milieu marin, biogéochimie et écotoxicologie. Rapport Scientifique et Technique de l'IFREMER, N° 16, 111p.

COSSA D., EL BAZ-POULICHET F., GNASSIA-BARELLI M. et ROMEO M., 1990. Le plomb en milieu marin, biogéochimie et écotoxicologie. Edt. IFREMER, 76p.

DJEMAOUI K., 1996. Niveau en métaux lourds (Hg, Cu, Zn, Mn, Fe) dans les sédiments superficiels des ports de SKIKDA. Mémoire de DEUA, ISMAL.

DOJLIDO J. R. and BEST G. A., 1993. Chemistry of water and water pollution. 1ère Edt; England, ELLIS Harwood.

FOUDIL-BOURAS A., 1993. Etude géochimique organique des sédiments marins superficiels du golfe d'Arzew (Ouest Algérien). Thèse de magister, USTHB, 149 p.

GOUJOUS D., 1995. La pollution des milieux aquatiques. Aide mémoire, 2ème édition technique et documentation. Lavoisier, 220 p.

GERMAN M. et YIGANG S., 1999. Sediment Water interactions in anoxic freshwater sediments. Edt. Springer, 111 p.

GLINKA N., 1981. Chimie générale, tome 1, édition Mir-Moscou.

GOBEIL C., SYLVER N., SUNBBY B., et COSSA D., 1987. Cadmium diagenesis in laurentain through sediments, geochim. et cosmochim. Acta, vol 51, n°3, pp. 589-596.

HOENIG M DUPIRE et WALLAST R., 1981. L'atomisation électrochimique en spectrométrie d'absorption atomique et son application dans les études de l'environnement. CEDEDOC, Edition technique et documentation, PARIS, 210 p.

HARITI R. et LAROUSSE A., 2000. Contribution à l'étude de la pollution par les métaux lourds dans les sédiments du port de Mostaganem et de Annaba. Mémoire d'ingénieur d'état en chimie marine, I.S.M.A.L, 95 p.

IVANOFF A., 1972. Propriétés physico-chimique de l'eau de mer. Librairie VUIBERT. Tome I, 208 p.

JEROME O., 1983. Aquatic toxicology. 13ème Ed., United States of America.

LECLAIRE L., 1972. La sédimentation halocène sur le versant méridional du bassin Algéro-baléaires (précontinent Algérien). Mémoire, Muséum, National, Histoire naturelle. Nouvelle série c. Science de la terre. Tome XXIV. Fascicule unique, 391 p.

MAUCHE S., 1987. Mécanismes hydrosédimentaire en baie d'Alger. Approche sédimentologique, géochimique et traitements statistiques. Thèse doctorat. Université de Perpignan, France, 208 p.

MARTIN J.M., MEYBECK M., SAVADORI F., et THOMAS J., 1976. Pollution chimique des estuaires : état actuel des connaissances. Rapport scientifique et technique n°22 CNEXO, 286 p.

MILLOT C., 1987. Circulation in western mediterranean sea. Oceanologica Acta, vol 10, 143-149 p.

PERES J. M., 1976. La pollution des eaux marines. Edit., Gauthiers Villars, 231p.

PINTA M., 1979. Spectrophotométrie d'absorption atomique, problèmes généraux. 2ème édition, MASSON, 259 p.

RODIER J., BAZIN C., BROUTAIN J.P., CHAMBON P., CHAMPSAURE H., et RODIER L., 1996. L'analyse de l'eau (Eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer). 8^{ème} Edition. Edition DUNOD, 1383 p.

ROUBAH M., 2001. Etat de pollution par les métaux lourds dans le port de Djen-Djen et le port de Jijel (Algérie). Rapp. Comm. Int. Mer Médit., 36, 2001.

ROUSSAC F. et ROUSSAC A., 1998. Analyse chimique méthodes et techniques instrumentales modernes. 4 ème édition, DUNOD.

SALOMAN W. et FORSTNER U., 1984. Trace Metals in Estuaries Fields investigations in: Metals in the Hydrocycle Springer - Verlag - Berlin. IFREMER, n°14, 9 p.

SCHWARTZ D., 1992. Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. Edt. Flammarion Médecine, collection statistique, 306 p.

SEILER H., 1994. Handbook on : metals in clinical and analytical chemistry.

TOUNSI R., 1989. Contribution à l'étude de la pollution par les hydrocarbures en baie d'Alger et dans le golfe d'Arzew. Mémoire de D.E.U.A (ISMAL). 60 p.

WALDICHUCK C., 1977. Appercçu général sur la pollution marine mondiale n°18. Unesco, pp26-42 .

DOCUMENTS CONSULTÉS:

A.B.R.M.C., 1988. Qualités de fleuve Rhône : synthèse de connaissances. Agence de Bassins Rhône- Méditerranée- Corse. Ministère de l'environnement, 251 p + annexes.

A.N.R.H., 1979. Agence nationale des ressources hydrologiques.

C.N.E.X.O., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Edition Aminot A. et Chaussepied M., Brest, 395 p.

METAP, 1993. Etude de protection contre la pollution des ports et du littoral Algérien. Rapport final, 116 p.

METAP, 1994. Etude de protection contre la pollution des ports et du littoral Algérien. Rapport final, 170 p.

L.E.M., 1998. Etude d'impact sur l'environnement du dragage du port d'Arzew. Ministère de Transports. Entreprise Portuaire d'Arzew, 40 p.

O.M.S., 1979. Principes et directives applicables au déversement de déchets dans le milieu marin. Plan d'action pour la méditerranée, Edt. PNUE/FAO, 555 p.

O.N.M., 2000. Office national de la météorologie.

PNUE, 1985. Registre international des substances chimiques potentiellement toxiques (R.I.S.C.P.T.). 70 p.

PNUE, 1986. Etude Biogéochimique de certains polluants au large de la méditerranée (MEDPOL VIII). MAP. Technical Report séries, n°8. PNUE/AIEA/IOC, Athens, 33 p

UNEP/AIEA, 1985 (b). Determination of total copper in marine sediments by flameless atomic absorption spectrophotometry (Draft). Reference Methodes for Marine Pollution Studies, N° 34.

UNEP/AIEA, 1986 (a). Determination of total manganese in marine sediments by flameless atomic absorption spectrophotometry (Draft). Reference Methodes for Marine Pollution Studies, N° 38.

UNEP/AIEA, 1986. Etude biogéochimique de certains polluants au large de la Méditerranéen. MAP Technical Reports Series, N° 8, UNEP, Athenes, 42p.

ANNEXES

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

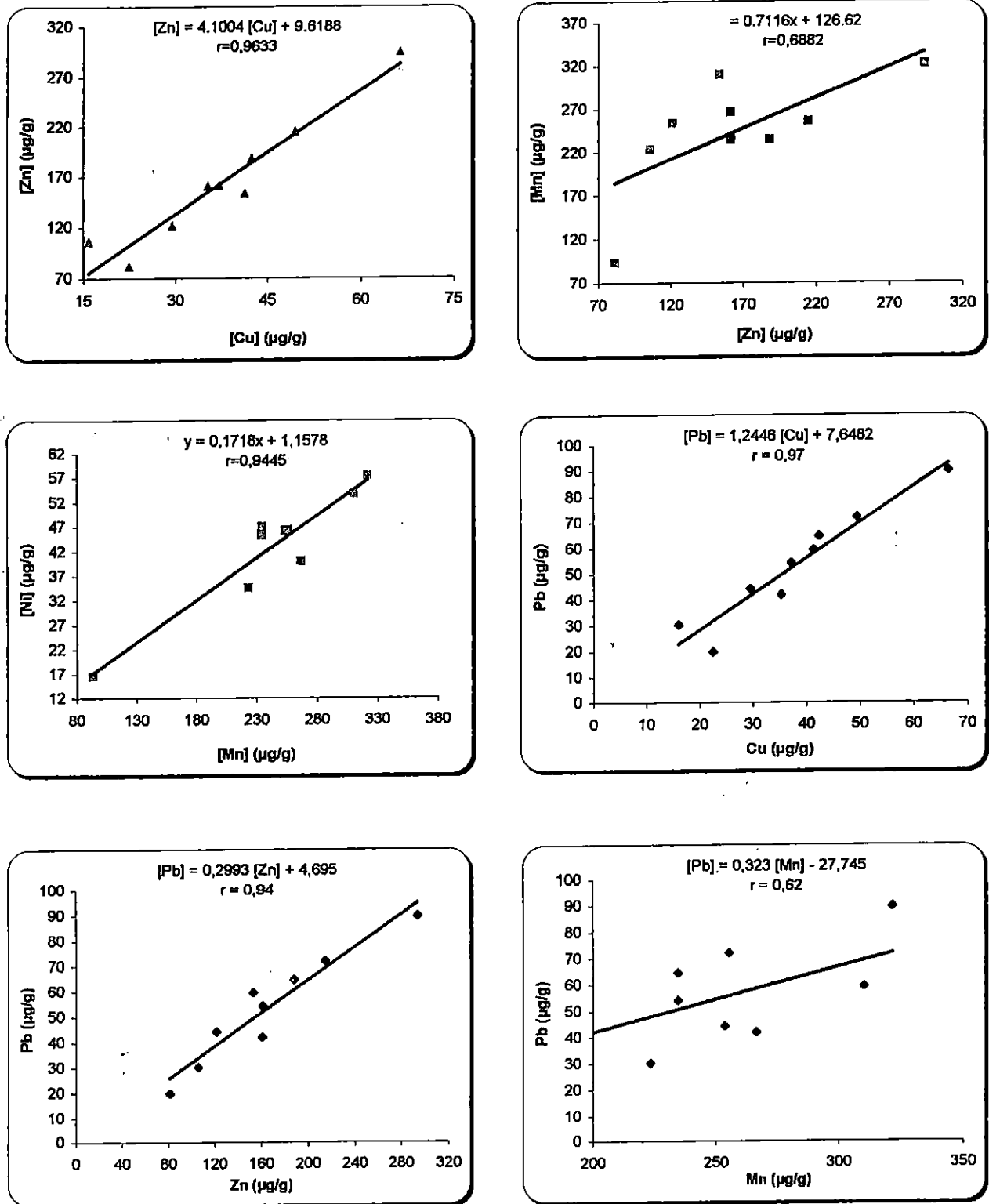


Figure 22 : Coefficients de corrélations significatifs inter-métaux dans le port d'Arzew.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

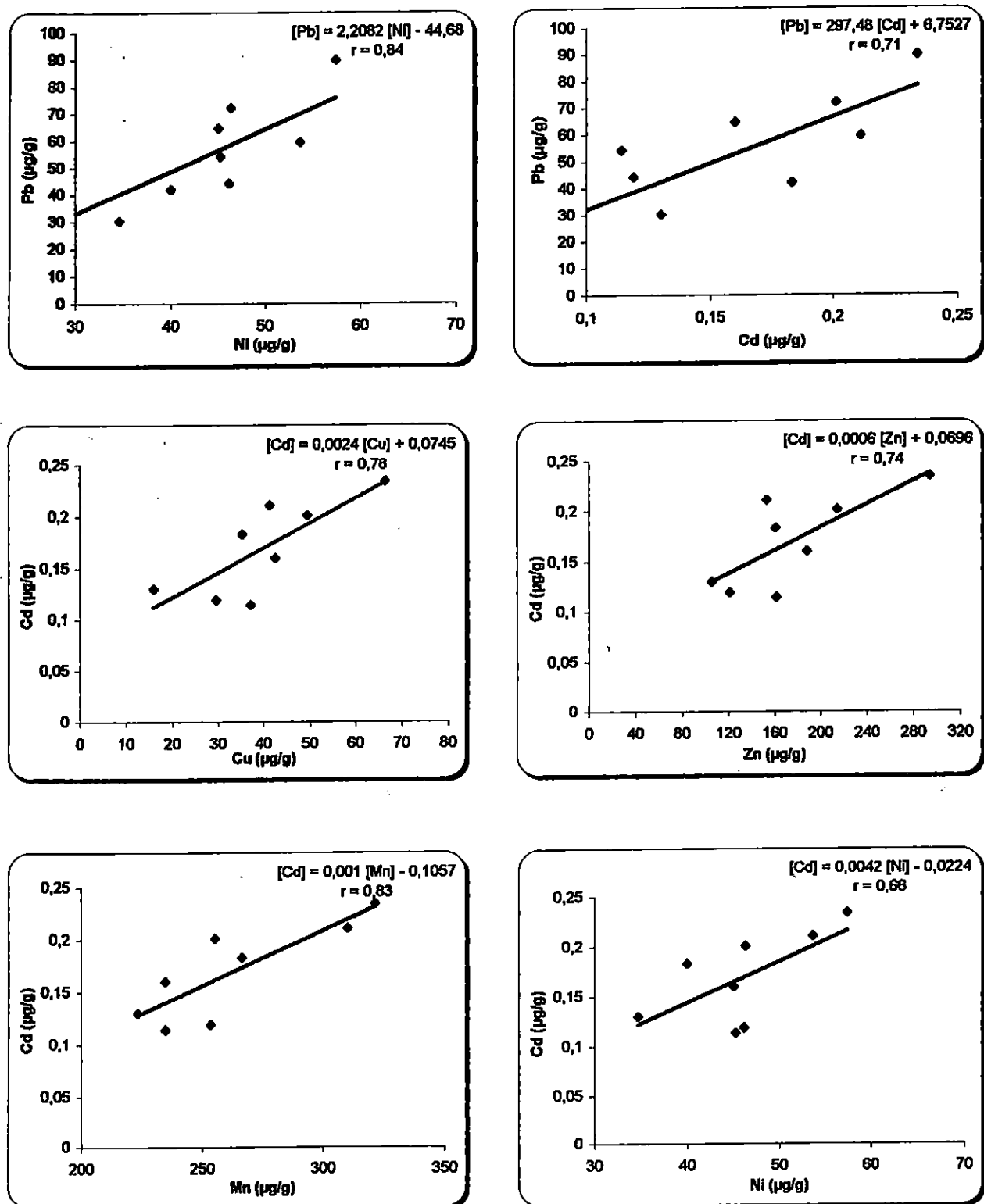


Figure 22 (suite) : Coefficients de corrélations significatifs inter-métaux dans le port d'Arzew.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

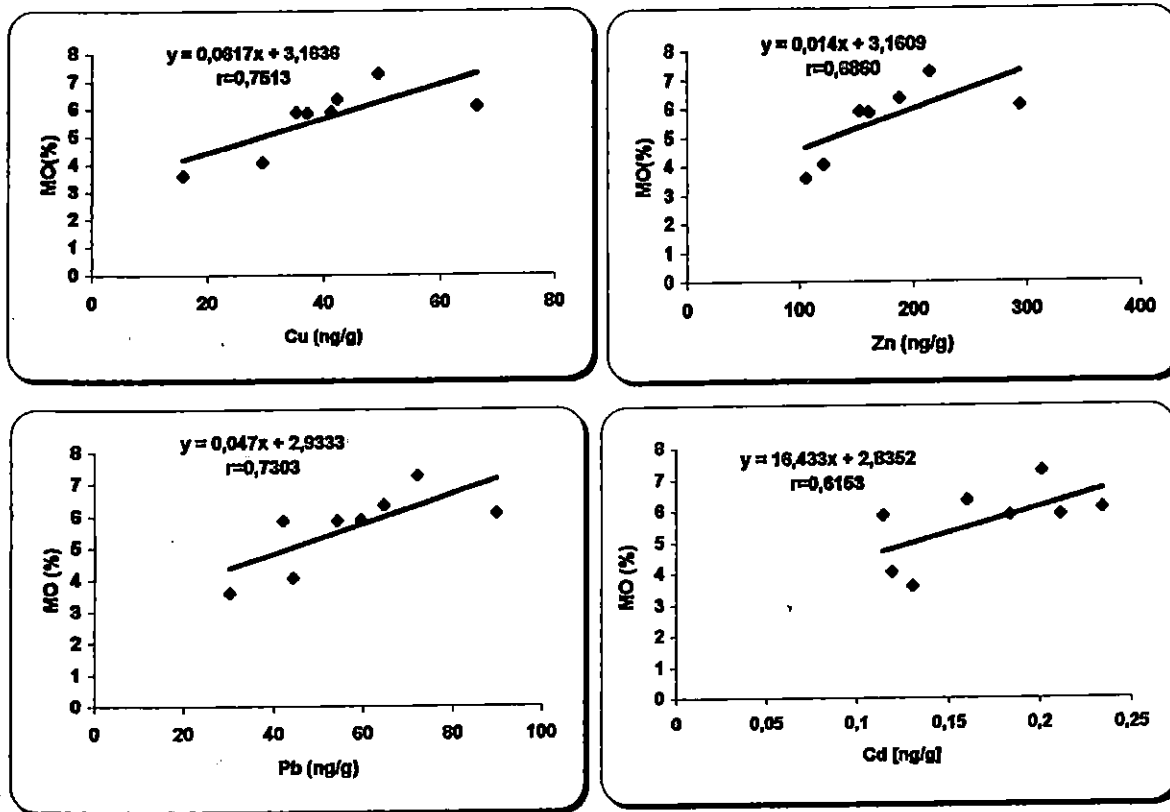


Figure 22(suite) : Coefficients de corrélations significatifs métaux-matière organique dans le port d'Arzew.

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

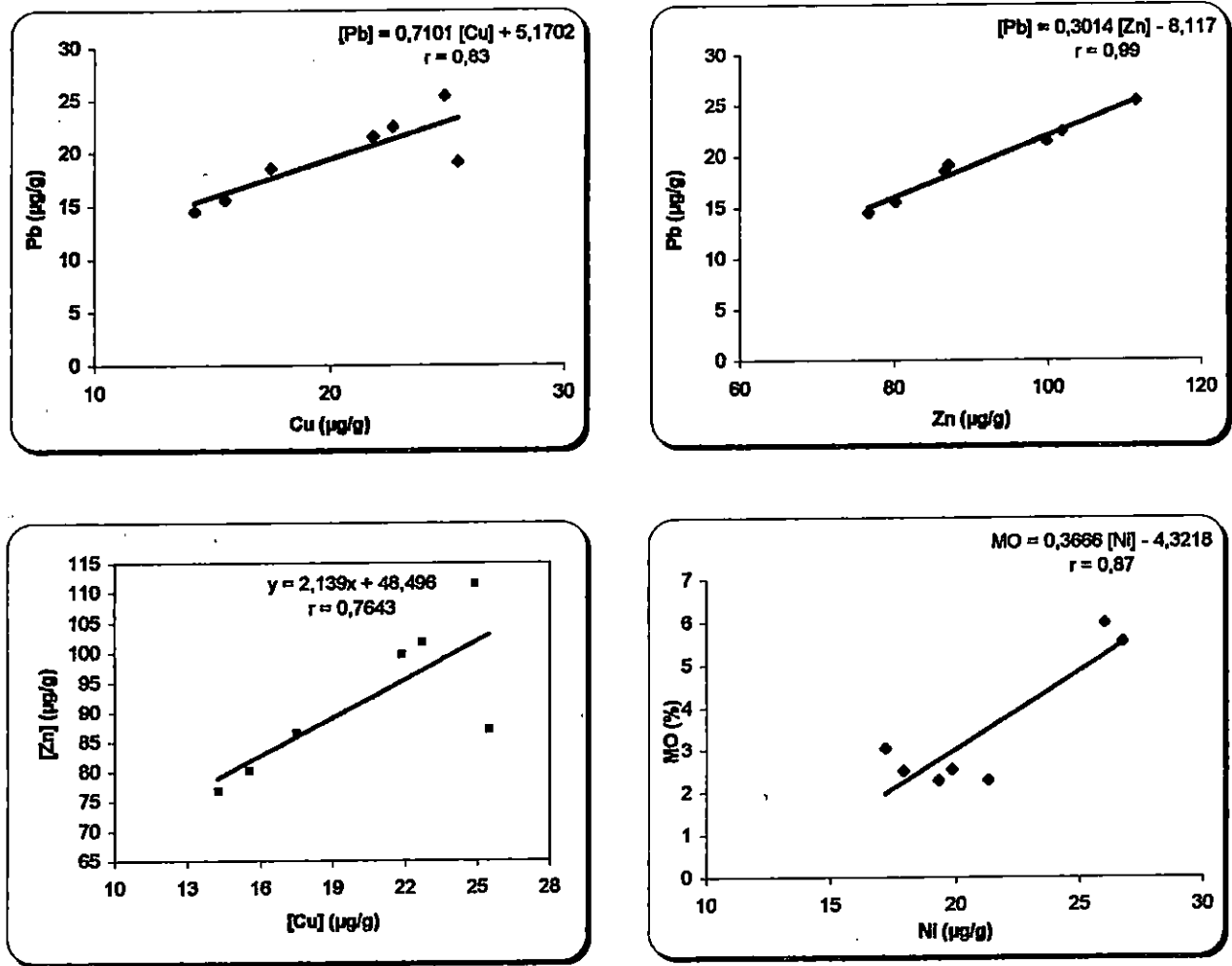


Figure 23 : Coefficients de corrélations significatifs inter-métaux et la matière organique dans le port de Béthioua

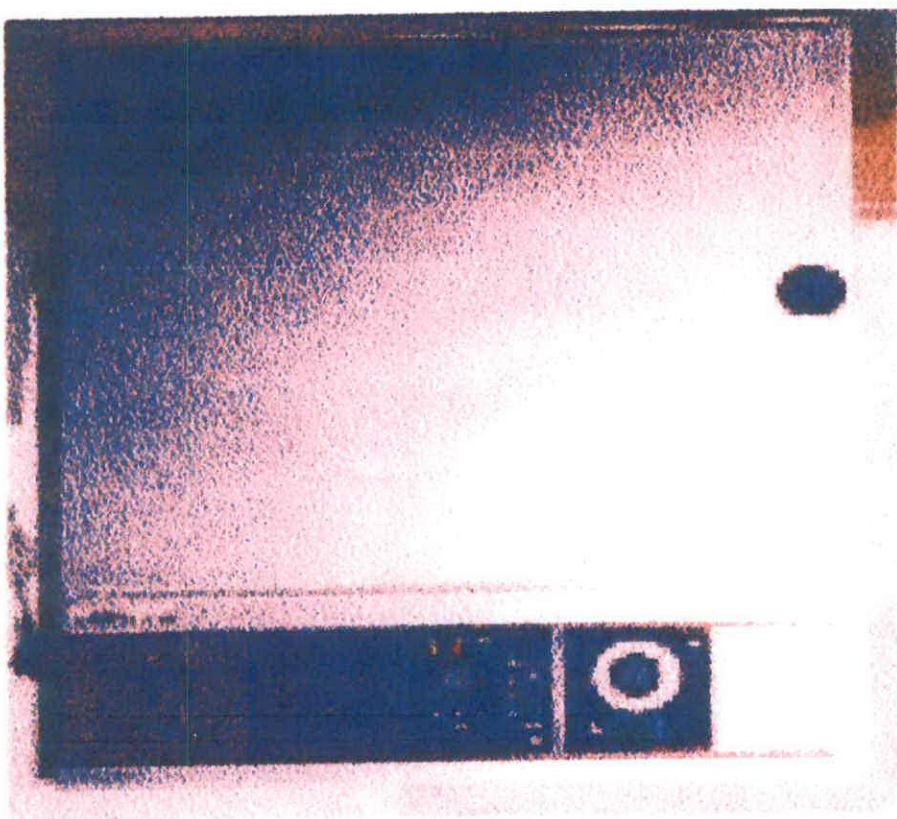


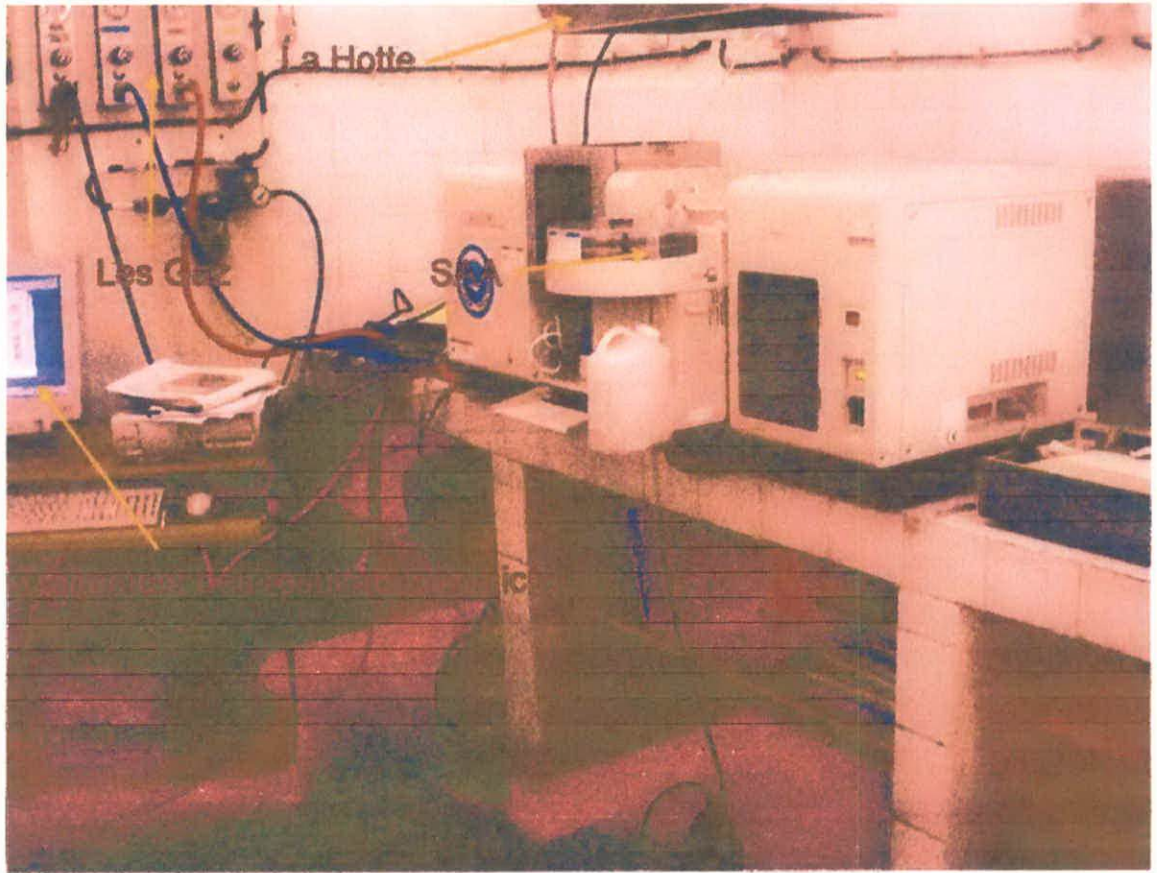
- **POSTES DE CHARGEMENT DES PETROLIERS**



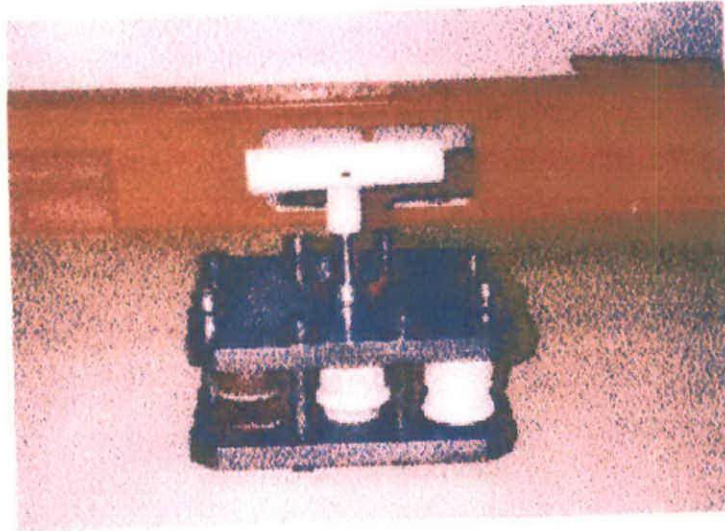
Poste de chargement des méthaniers.

Etuve Memmert a 220° C





Apperçu sur le Spectrophotomètre d'Absorption Atomique (SAA)
modèle Hitachi-5000.



La bombe à Teflon :(minéralisation)

- *deux plaques en ACIER*
- *Neuf Godets en Teflon*
- *Huit écrous en ACIER*