

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN SCIENCES
DE LA MER

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Thème :

**Ensablement et pollution par les métaux lourds des
sédiments du port de Djen Djen**

M. BIAD Kouider

Soutenu le 22/10/2014 devant le jury suivant :

M^{me} BOUBECHICHE. Z	Maitre assistant A	(ENSSMAL)	Présidente
Mr BELKESSA. R	Professeur	(ENSSMAL)	Promoteur
M^{me} BENALI. M	Doctorante	(VERT ET BLEU)	Co-promotrice
M^{me} BENTCHIKOU. L	Maitre assistant A	(ENSSMAL)	Examinatrice
Mr DRICHE. M	Maitre de conférences B	(ENSSMAL)	Examinateur

Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions Dieu le tout puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Nous remercions Madame **BOUBCHICHE. Z**, maître assistant A (ENSSMAL), qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

Nous remercions Monsieur **BELKESSA. R**, professeur pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à madame **Bentchikou. L**, Maître assistant A (ENSSMAL), Monsieur **Driche. M**, Maître de conférences B (ENSSMAL), pour leurs aides et leurs soutiens et pour avoir accepté d'examiner ce manuscrit et de participer à ce jury.

Nos profondes reconnaissances aux messieurs : au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont aidés du près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Nous somme reconnaissant à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation et à toute personne qui nous a appris une lettre ou une phrase, qu'ils trouvent ici notre reconnaissance et un petit fruit de leurs sueu

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail

*A mon père et ma chère mère pour tous ce qu'ils
ont faits pour moi durant mes études.*

A ma grand-mère.

A mes sœurs Naziha, Fahima, Madjda.

*A toute ma famille ainsi la famille Bouzzekar et la
famille Farsi et la famille Mekhari.*

*A tous mes chers amis(es) en particulier Malik,
Moussa, Walid, Redouane, Sofiane, Aicha, Dhahbia,
Fatiha, Fayrouz, mahjouba, Radia, Romaissa.*

Mes professeurs de l'ENSSMAL

*A mes amis (es) et à toutes les personnes qui m'ont
connu...*

Kovider

Liste des acronymes

A.F.N.O.R :	Association Française de Normalisation.
IC :	Indice de contamination
LEM:	Laboratoire d'étude maritime.
O.N.M :	Office National de Météorologie.
S.S.M.O:	Summary of Synoptic Météorological Observations.
SFUV	Spectrofluorimétrie ultra-violet
UTM :	Universel Transverse de Mercator.
U.V :	Ultra-Violet.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Présentation de l'ouvrage d'accostage	12
Tableau 2 Classification des grains de sable	20
Tableau 3 Concentration des solutions standards utilisées (ug/ml).....	22
Tableau 4 Concentrations normales des métaux lourds dans les sédiments selon les normes Algériennes, françaises et hollandaises.(mg/kg).	23
Tableau 5 Valeurs de l'indice de contamination (IC)	23
Tableau 6 Volume d'ensablement entre 1977 et 1996 dans le secteur Est de la plage de Djen Djen.	25
Tableau 7 Quantité de sédiments transportés par les houles Est et Nord-est à l'Est du port de Djen Djen.	26

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Situation géographique de la wilaya de Jijel.....	11
Figure 2 Présentation du port de Djen Djen.....	11
Figure 3 Morphologie sous-marine de la baie de Jijel	13
Figure 4 Orthogonales aux houles de direction Nord Ouest près du port de Djen Djen.	14
Figure 5 Orthogonales aux houles de direction Nord près du port de Djen Djen.	15
Figure 6 Orthogonales aux houles de direction Nord Est près du port de Djen Djen.	15
Figure 7 Situation des stations de prélèvement d'échantillon dans le port de Djen Djen	18
Figure 8 Situation des stations de prélèvement pour l'analyse des métaux lourds dans le port de Djen Djen	18
Figure 9 Bathymétrie de la plage Est avant la construction du port.....	25
Figure 10 Concentrations des métaux lourds dans les sédiments et les indices de contamination par stations selon les normes françaises du port de Djen Djen.....	28

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	
CHAPITRE I: GENERALITES	
I.1. Présentation de la zone d'étude.....	11
I.1.1. Situation géographique	11
I.2. Présentation du port	11
I.2.1. Caractéristiques techniques du port (avant extension).....	12
I.3. Morphologie sous-marine	12
I.4. Les courants	13
I.5. Impact des houles sur le port de Djen Djen (US Naval Weather, 1963 – 1970).....	14
I.6. Orthogonales aux houles près du port de Djen Djen.....	14
I.6.1. Orthogonales aux houles de direction Nord Ouest	14
I.6.2. Orthogonales aux houles de direction Nord	15
I.6.3. Orthogonales aux directions Nord Est	15
I.7. Transit sédimentaire le long de la côte Est de Djen Djen	16
I.7.1. Bilan énergétique annuel de la houle.....	16
I.7.2. Quantités de sédiments transportés.....	16
CHAPITRE II: MATERIEL ET METHODES	
II.1. Consistance des travaux.....	18
II.2. Prélèvement des sédiments	19
II.3. Analyses au laboratoire.....	19
II.3.1. Analyse granulométrique	19
II.3.1.1. Mode opératoire de l'analyse granulométrique	19
II.3.1.2. Traitement des données.....	19
II.3.1.2.1. Les paramètres centraux	19
II.3.2. Analyse des métaux lourds.....	20
II.3.2.1. Nettoyage des instruments	20
II.3.2.2. Lyophilisation	20
II.3.2.3. Broyage et tamisage	20
II.3.2.4. Homogénéisation	20
II.3.2.5. Extraction des métaux lourds.....	20
II.3.2.6. Digestion ou minéralisation	21
II.3.2.7. Protocole expérimental	21
II.3.2.7.1. Minéralisation des échantillons.....	21
II.3.2.8. Analyse des métaux lourds par spectrophotométrie d'absorption atomique	21
II.3.2.8.1. Principe de la Spectrométrie d'Absorption Atomique	21
II.3.2.8.2. La loi de Beer-Lambert.....	22
II.3.2.8.3. Etalonnage	22
II.3.2.9. Calcul des concentrations des métaux lourds.....	22
II.3.2.10. Les Indices de contamination	23
CHAPITRE III: RESULTATS ET INTERPRETATIONS	
III.1. Evolution de la plage Est de Djen Djen	25
III.2. La création de la plage Est	26
III.3. Granulométrie des sédiments du port de Djen Djen	26
III.3.1. Répartition de la médiane (Q50) dans le port de Djen Djen.....	26
III.3.2. Répartition des pélites dans le port de Djendjen	26
III.3.3. Répartition du mode I (80µm – 160µm)	27
III.3.4. Répartition du mode II (160µm – 315µm)	27
III.4. Etat de la pollution par les métaux lourds dans les sédiments	27
CONCLUSION GENERALE	
BIBLIOGRAPHIE	

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les zones côtières sont le lieu d'activités multiples parmi les quelles la navigation tient une place importante. Les ports de commerce, de plaisance et de pêche jouent un rôle vital pour l'économie régionale, nationale et dans certains cas international. Les structures portuaires et leurs industries associées sont le plus souvent établies dans des zones où la profondeur d'eau est relativement faible, et où il est alors indispensable de réaliser des dragages pour permettre aux bateaux d'accéder aux quais. Ces dragages sont effectués au moment de la construction du port mais également de façon périodique pour enlever les sédiments qui se sont accumulés dans les chenaux et les darses. **(Alzieu et al. 1999)**.

Laissées à leurs cours naturel, les rivières transportent progressivement jusqu'à la mer, en période des crues, des quantités importantes de sédiments arrachés aux versants par ruissellement des eaux de pluie.

Les ports qui sont des milieux fermés, favorisent la sédimentation des sédiments et en particulier la fraction fine qui constitue un piège pour les métaux lourds.

Les métaux lourds font partie des principaux polluants de l'environnement. Leur étude revêt une grande importance ; certains d'entre eux essentiels à la vie, peuvent avoir des effets néfastes au dessus d'un certain seuil de concentration : d'autres peuvent être toxiques pour des teneurs extrêmement faibles.

Les sédiments constituent un milieu d'accumulation des métaux lourds. C'est pourquoi, il apparaît indispensable, dans le cadre d'une étude de dragage, d'étudier le niveau de concentration en métaux lourds dans les sédiments à draguer.

C'est dans le contexte que nous nous sommes proposés de quantifier quelques métaux lourds dans les sédiments superficiels du port de Djen Djen, car ce dernier est réceptacle des rejets des activités urbaines et industrielles de la ville de Taher.

Le but de ce travail est de connaître d'une part, la granulométrie des sédiments du port et d'autre part connaître la concentration de quelques métaux lourds.

Ce mémoire est organisé comme suit :

Après une introduction générale, on présente dans un premier chapitre la zone d'étude. Le deuxième chapitre traite le matériel et les méthodes utilisées pour les différentes analyses effectuées, suivi d'un troisième chapitre réservé aux différents résultats et interprétations des études pour terminer enfin avec une conclusion générale.

CHAPITRE I: GÉNÉRALITÉS

I.1. Présentation de la zone d'étude

I.1.1. Situation géographique

La wilaya de Jijel est comprise entre les méridiens 5°25 et 6°30 Est de Greenwich, et entre les parallèles 36°10 et 36°50, hémisphère Nord. La région appartient au domaine Nord atlasique connu localement sous le nom de la chaîne des Babors.



Figure 1 Situation géographique de la wilaya de Jijel.

I.2. Présentation du port

Le port de Djen Djen est l'un des ports Algériens les plus performants. Le port de Djendjen est situé à 10 Km à l'Est de la ville de Jijel et à 2Km de l'oued Djendjen dont il porte le nom. Situé à l'Est de l'Algérie, le port de Djen Djen, avec sa position géographique de 36° 51' Nord et 005° 54' Est.

Il est à :

- 10 Km du chef lieu de la wilaya de Jijel.
- 350 Km à l'est d'Alger.
- 40 Km de la zone industrielle de Bellara.
- 900 Km de Hassi Messaoud.

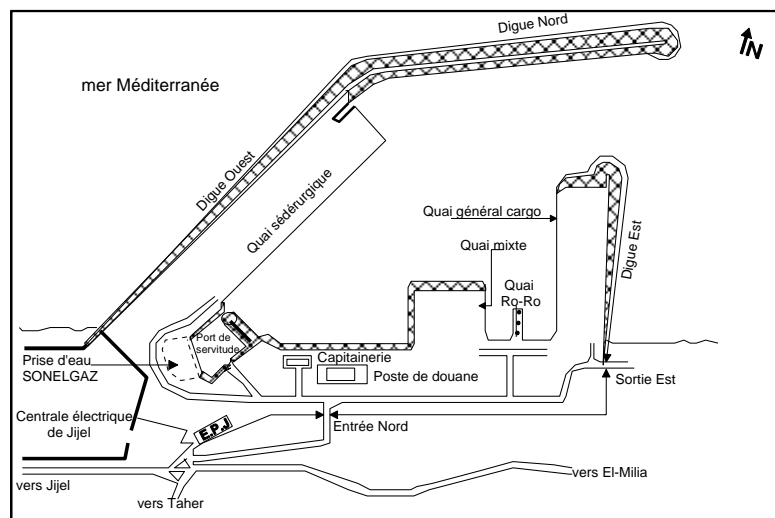


Figure 2 Présentation du port de Djen Djen. (Belkessa R, 2005).

Il bénéficie d'une place stratégique à moins de 50 miles de la route maritime reliant le canal de Suez au détroit de Gibraltar. Il est le dernier port commercial construit en Algérie après l'indépendance et considéré comme le plus important ouvrage portuaire en Méditerranée en termes d'espaces et eau profonde.

I.2.1. Caractéristiques techniques du port (avant extension)

Le plan d'eau est protégé par deux digues, dont les longueurs sont respectivement de 3000 m, et 900 m, pour les digues d'Ouest et d'Est. (www.DjenDjen-port.com)

Dans cette conception:

- Passe d'entrée de 560 m.
- Chenal d'accès de -19,30 m de tirant d'eau.
- Cercle d'évitage de -18,80 m de tirant d'eau.
- Surface du bassin de 180 ha.

Tableau 1 Présentation de l'ouvrage d'accostage (source: www.djendjen-Port.com).

Désignation	Longueur	Largeur	Tirant d'eau	Surface terre-plein
Quai général Cargo	770 m	200 m	-11 m	15 ha
Quai mixte	250 m	300 m	-11 m	7,5 ha
Quai ouest	1060 m	300 m	Entre -10,50 m et -18,20 m	30 ha dont 6 ha revêtus
Quai roulier	03 rampes	03 rampes	-11 m	9 ha

I.3. Morphologie sous-marine

La baie de Jijel (figure 3) s'ouvre largement sur environ 50 km de cap de Jijel à cap Oum El Hachich. La morphologie sous marine (entre 0m et 30m) est très plane à pente douce. Cette morphologie est due essentiellement aux apports des différents oueds qui débouchent au niveau de la baie. Plusieurs autres oueds de faible capacité acheminent une quantité appréciable de sédiments sur le littoral.

Au delà des 30m de profondeur, la morphologie est très perturbée. On distingue en face de l'oued Djendjen et jusqu'à 60m une plate-forme à pente faible.

Cette forme se prolonge pour se raccorder à une pente forte pour former le début du plateau continental à 150m. Dans la partie centrale de la baie la morphologie est moins perturbée. La pente est de plus en plus accentuée atteignant le talus continental à 150m de profondeur à 6km seulement de la côte. C'est le domaine du canyon de Sedetis. Juste à l'est du canyon central, le plateau s'élargit de nouveau jusqu'à 10km de la côte.

Vers l'extrême est de la baie en face de l'oued Zhor, le fond sous marin est très plan au droit de l'oued, mais on retrouve un canyon sous marin (canyon de oued Zhor) qui se situe à 2 km seulement de la côte rocheuse.

Entre 0m et 50m et sur toute la côte, le fond est tapissé de sables fins à moyens Dans le secteur ouest de la baie et au delà des 50m, c'est le domaine des vases calcaires et calcaires siliceux. Dans la partie centrale de la baie, en face de l'oued El Kebir, c'est le domaine des vases jusqu'au talus continental.

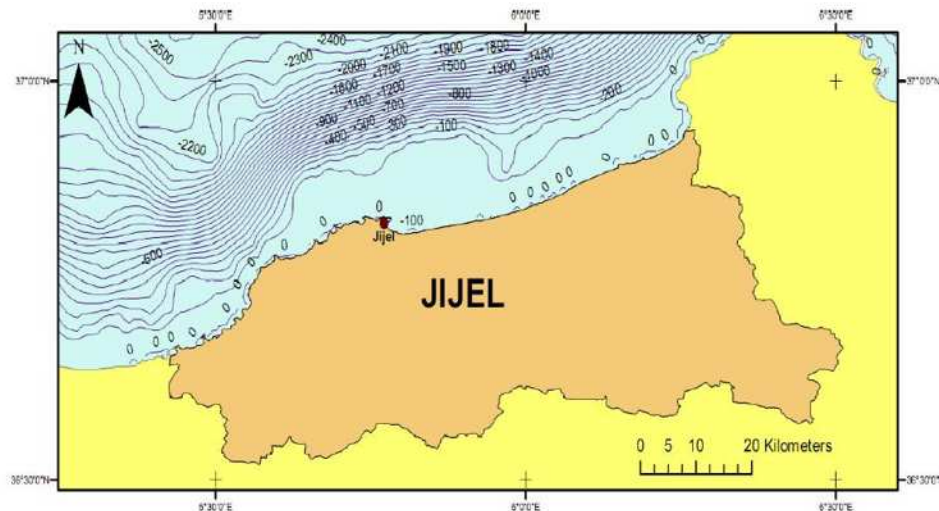


Figure 3 Morphologie sous-marine de la baie de Jijel (direction de l'environnement de la wilaya de Jijel, 2003).

Les principaux types des sédiments

Les pélites (< 63 μ m) se répartissent comme suit

- 0 à 30 % : sur toute la bande côtière entre 0 m et 50m.
- > à 60 % au delà des 50 m.

Les carbonates (calcaires)

- 30 à 50 % : en face des oueds.
- > à 50% dans le secteur ouest dans les profondeurs supérieures à 60 m.
- < 30% : dans tout le reste de la baie.

Les graviers (2000 – 20.000 μ m)

Il ne s'agit pas en fait de gravier mais de bivalves et de gastéropodes, cette fraction représente surtout les sédiments biogènes. On les retrouve notamment dans le secteur Ouest et Est.

Les sables moyens et grossiers

On les retrouve surtout dans le centre et à l'ouest à des profondeurs de 70m.

I.4. Les courants

Les courants sont responsables du transport et la dispersion des sables et des graviers. Des mesures de courant sur une partie de la zone ouest de la baie de Jijel suivant les directions ouest, nord et est ont permis de déduire que :

- Par régime de vent de secteur ouest, les courants ont tendance générale à porter vers l'est ;
- Par régime de vent de secteur est, les trajectoires des courants ont tendance générale à porter soit vers l'est, soit vers l'ouest soit vers la côte.

I.5. Impact des houles sur le port de Djen Djen (US Naval Weather, 1963 – 1970)

Le secteur Ouest (Nord et Nord-Ouest) est le secteur où les houles sont dominantes (48 %) par rapport au secteur Est (27,85%). Comme pour les autres zones algériennes, les houles Nord-Ouest et Ouest hivernales dominent par rapport à celles de l'été de direction Est et Nord-Est. Ce sont les houles dont les amplitudes comprises entre 0.25m et 1.75m qui dominent le plus (60%) dont 33 % pour le secteur Ouest et Nord Ouest et 20 % pour le secteur Est et Nord Est. Les houles supérieures à 2.75 m (1.72%) ne proviennent que du secteur Ouest et Nord Ouest.

Dans la région du Jijel, ce sont donc les houles Ouest et Nord Ouest qui auront un impact sur le port de Djen Djen non abrité naturellement.

Les périodes les plus fréquentes sont inférieures à 6 s (52.04%). Les amplitudes oscillent entre 0.25m à 1.75m, ensuite suivent les périodes comprises entre 6s et 7s avec des amplitudes comprises entre 0.75 m et 2.75m (18.40%). Les houles de tempêtes représentent (12%) et les houles exceptionnelles (supérieures à 12 secondes) représentent 1%. (Belkessa R, 2005).

I.6. Orthogonales aux houles près du port de Djen Djen

I.6.1. Orthogonales aux houles de direction Nord Ouest

Pour une direction de houles du Nord Ouest, de période de 8 s, donc avec 100m de longueur d'onde, l'impact sur le port de Djen Djen est important notamment sur la digue Ouest. La digue courbée sur elle-même diffracte les courants induits par les houles. Un courant est dirigé vers l'Ouest provoquant une turbulence près de la centrale électrique, un second est dirigé vers la passe d'entrée (diffracté par le musoir). L'énergie se ressent très faiblement sur la côte Est où les courants se dissipent de part et d'autre de la côte (orthogonales frontales à la côte). (Belkessa R, 2005).

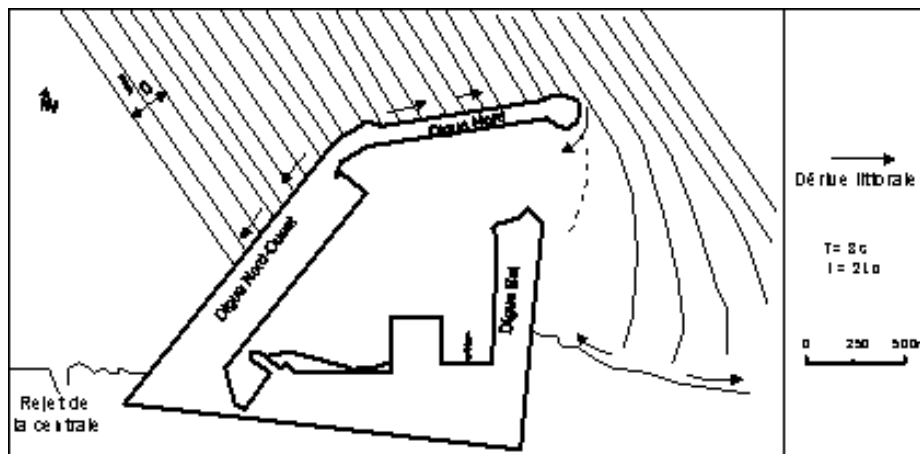


Figure 4 Orthogonales aux houles de direction Nord Ouest près du port de Djen Djen.

I.6.2. Orthogonales aux houles de direction Nord

Les orthogonales aux houles sont en faveur d'un courant orienté vers l'Ouest qui se crée le long de la jetée Nord Ouest. L'impact sur la zone de la centrale électrique va être aussi important que celui défini par les houles Nord-Ouest. Dans la partie Est, l'orientation des orthogonales et celle de la côte, détermine une dérive littorale vers la passe d'entrée. (Belkessa R, 2005).

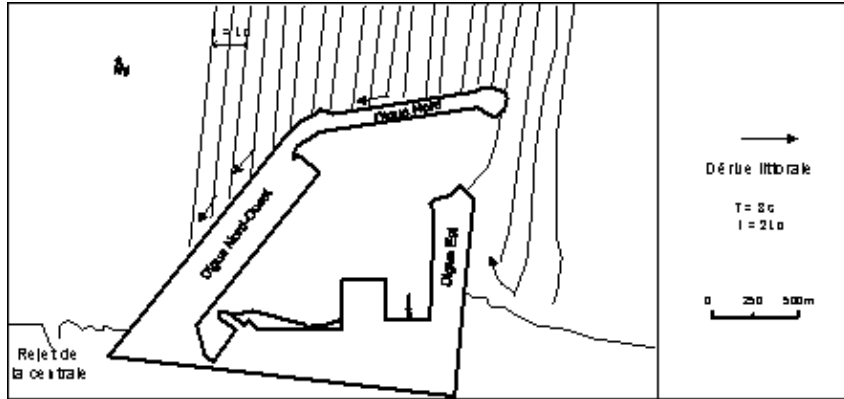


Figure 5 Orthogonales aux houles de direction Nord près du port de Djen Djen.

I.6.3. Orthogonales aux directions Nord Est

Pour une période de 6 s, soit 55m de longueur d'onde, les orthogonales aux houles montrent que les courants le long de la digue Nord-Ouest sont toujours orientés vers l'Ouest qui génèrent une érosion près de la centrale électrique.

Ce sont ces houles qui provoquent une agitation à l'intérieur du port (pénétration directe dans le bassin). Sur la côte Est, les orthogonales décrivent un sens de dérive vers la passe d'entrée.

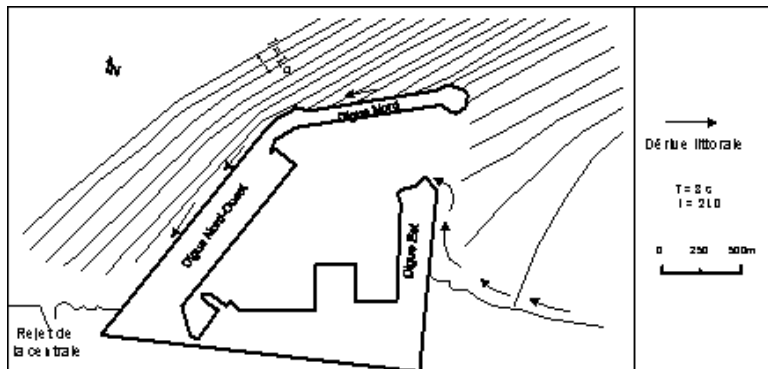


Figure 6 Orthogonales aux houles de direction Nord Est près du port de Djen Djen.

Conclusion

L'impact des houles sur le port de Djen Djen est important de part et d'autre de cet ouvrage.

Dans la partie Est, la digue Est offre un obstacle à toutes les houles, notamment celle de l'Est et Nord Est où les différentes dérives littorales transportent les sédiments vers la passe d'entrée.

Dans la partie Ouest, l'inclinaison de la digue principale par rapport à la côte est en faveur d'une concentration d'énergie des houles et des différents courants dans ce secteur, ceci y provoque une grande érosion.

La création d'une plage immense à l'Est du port de Djen Djen (contre la digue Est) est le résultat d'un piégeage des sédiments qui sont transportés d'abord par des courants de houles (dérive littorale) de direction Ouest, Nord Ouest et à la limite Nord. Ce sont donc par la suite les courants de direction Est et Nord Est qui viennent buter et contourner la digue Est.

Pour le calcul des quantités des sédiments piégés le long de la digue, il ne faudrait donc prendre en considération que les houles Est et Nord Est. (**Belkessa R, 2005**).

I.7. Transit sédimentaire le long de la côte Est de Djen Djen

La côte Est du port a connu un engraissement depuis sa construction. Les sédiments transportés par la dérive littorale se retrouvent piégés par la digue Est pour former une immense plage. Les conséquences de cet engraissement peuvent être néfastes pour le port (ensablement à long terme). Le calcul du transit le long de cette côte est basé sur la formule du LCHF (1974).

$$V \text{ (m}^3\text{)} = 10^{-3} \cdot H_s^2 \cdot t \cdot T \cdot f(\alpha)$$

I.7.1. Bilan énergétique annuel de la houle

Les secteurs de houles dominantes sont le Nord, Nord Est et Nord Ouest pour deux périodes de houles choisies à savoir 6 s et 9 s.

Pour évaluer le transit sédimentaire près du port du Djen Djen, $f(\alpha)$ étant déterminé pour deux directions principales responsables de l'ensablement. Le volume peut être donc calculé.

I.7.2. Quantités de sédiments transportés

Pour la direction Nord-Est et une amplitude de houle comprise entre 0 m et 2.5m, la quantité de sédiments transportée est de 7920m³ de l'Est vers l'Ouest. Elle est de 4764m³ pour une amplitude supérieure à 3 m. La somme transportée est de 12700m³ pour cette direction.

Pour la direction Est, le total des sédiments transportés est de 4267m³/an pour des houles dont les amplitudes sont comprises entre 0 m et 2.5 m et de 2552m³/an pour des amplitudes supérieures à 3 m, soit un total de 7316m³/an.

Ces deux directions ont pour conséquence un transport vers l'Ouest (contre la digue secondaire) d'un total de 19520m³/an. (**Belkessa R, 2005**).

CHAPITRE II:

MATÉRIEL ET MÉTHODES

II.1. Consistance des travaux

Pour l'analyse sédimentaires Quarante neuf échantillons ont été prélevés dans l'ensemble du port, la passe d'entrée et l'extérieur du port.

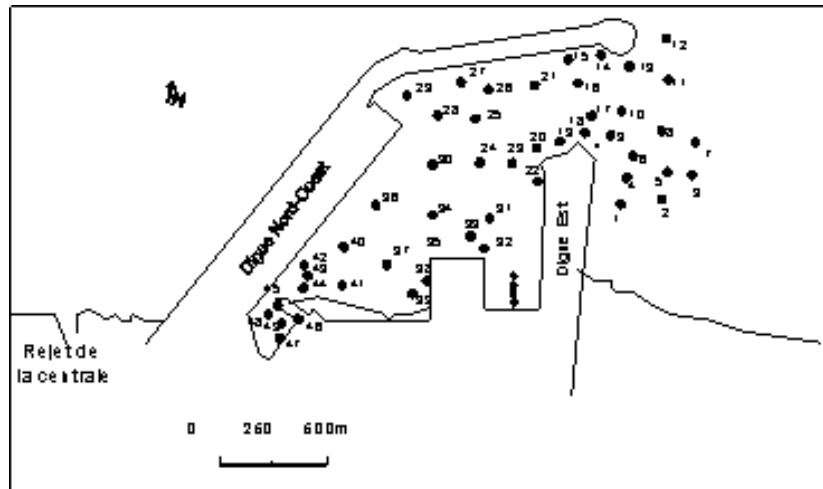


Figure 7 Situation des stations de prélèvement d'échantillon dans le port de Djen Djen (Belkessa, 2005)

La caractérisation physicochimique des sédiments se fait par le prélèvement de douze (12) échantillons qu'ont été choisies et réparties comme suit:

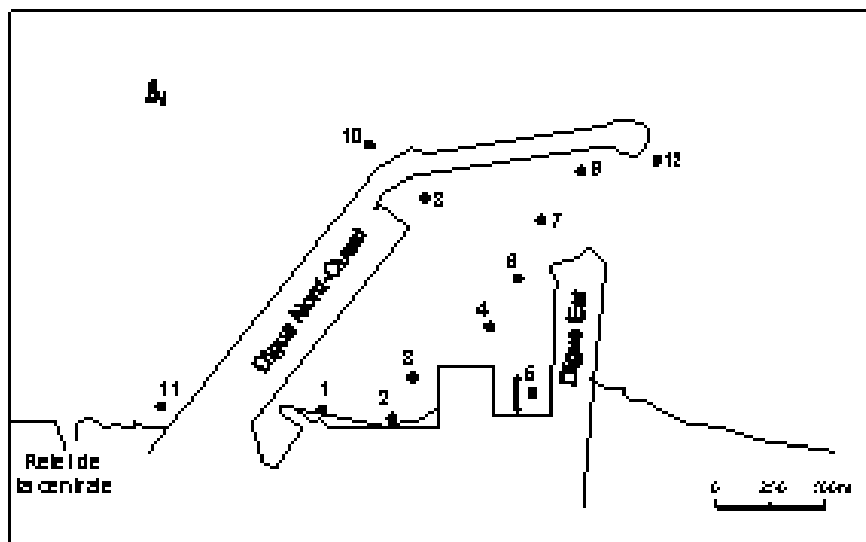


Figure 8 Situation des stations de prélèvement pour l'analyse des métaux lourds dans le port de Djen Djen. (Belkessa, 2005)

II.2. Prélèvement des sédiments

Les échantillons désignés pour l'analyse des métaux lourds et la granulométrie sont transvasés dans des sachets en plastique rincés dans l'eau distillée.

II.3. Analyses au laboratoire

II.3.1. Analyse granulométrique

D'après Riviere, 1977, la granulométrie consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale correspondant à la dimension des particules. Une fois les échantillons nécessaires aux déroulements des travaux obtenus, ces derniers sont traités et classés au laboratoire, déposés dans des boîtes de pétries libellées, sur lesquelles, on utilisera pour chaque analyse, la quantité de sédiments nécessaire.

II.3.1.1. Mode opératoire de l'analyse granulométrique

Dans un premier temps, les échantillons mis dans des boîtes de pétries, sont placés à l'étuve pendant 24 heures ajustées à une température de 105°C. Une fois le premier séchage est achevé, 200grammes de sédiments ont été prélevés de chaque boîte de pétri, cette valeur représentera le poids initial de l'analyse granulométrique pour chaque station.

Afin d'éliminer les fractions pélitiques, la quantité de sédiments a subi un rinçage dans un tamis de 40µm de diamètre, sous un filet d'eau, aidé par une agitation manuelle du tamis. Une deuxième fois, après l'élimination des fractions pélitiques, les échantillons, remis dans des boîtes de pétries subiront un autre séchage à l'étuve pendant 24 heures, également sous une température de 105°C.

Après ce deuxième séchage, chaque échantillon est pesé, la différence par rapport au poids initial représente la quantité des fractions pélitiques. Nous pourrions procéder aux opérations de tamisage, pour cela, nous avons utilisé une série de tamis dont l'écartement des tailles se fait selon les normes AFNOR, c'est à dire, avec une raison de $\sqrt[10]{10}$. L'ordre des tamis par ordre de diamètres décroît par unités de microns, est le suivant : 2000µm, 1800µm, 1600µm, 1400µm, 1000µm, 800µm, 630µm, 500µm, 400µm, 315µm, 250µm, 200µm, 180µm, 150µm, 100µm, 80µm, 63µm, 50µm, 40µm.

Le tamisage s'est effectué mécaniquement sur une table vibrante, durant dix minutes, divisée en trois colonnes de tamis, la capacité de la tamiseuse étant limitée à un nombre limité de tamis (7 tamis).

A la fin de chaque tamisage, le refus de chaque tamis est pesé avec une précision du centième de gramme.

II.3.1.2. Traitement des données

II.3.1.2.1. Les paramètres centraux

a. La médiane

C'est l'indice absolu (Riviere, 1977), correspond au diamètre du grain moyen dont l'ordonnée est à 50 % du poids total du sédiment, elle est déduite à partir de la courbe cumulative. Le grain moyen est l'expression de la force d'un courant (eau, vent), capable d'avoir mis-en mouvement l'essentiel d'un sédiment donné (Chamley, 1987). La médiane ne peut être utilisée avec des sédiments à distribution bimodale (Folk et Ward, 1957).

b. Les quartiles

Le 1er quartile (Q25) : correspond au diamètre du grain représentant 25% en poids du sédiment.

Le 3^{ème} quartile (Q75) : correspond au diamètre du grain représentant 75 % en poids du sédiment.

Ces deux paramètres nous montrent la part des sédiments grossiers et des sédiments fins dans un échantillon.

Tableau 2 Classification des grains de sable (Folk et Ward, 1957).

Diamètre du grain	Classification
< 110 µm	Sable très fin
110 – 150 µm	Sable fin
150 – 250 µm	Sable moyen
250 – 500 µm	Sable grossier
> 500 µm	Sable très grossier

II.3.2. Analyse des métaux lourds

II.3.2.1. Nettoyage des instruments

C'est une étape indispensable pour éviter toute source de contamination des échantillons. Le matériel à utiliser est soumis à des optimales de propretés. Pour cela, la vaisselle est lavée avec des détergents commerciaux, rincée à l'eau bidistillée. Un second nettoyage est effectué avec une eau acidulée à 10% à base d'acide nitrique 68%.

II.3.2.2. Lyophilisation

C'est la déshydratation par sublimation des échantillons à -40° C et sous vides (10 bar) pendant 48 h par un lyophilisateur (modèle CHRIST Betta 1-8).

II.3.2.3. Broyage et tamisage

Les sédiments lyophilisés sont broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine jusqu'à l'obtention d'une poudre fine.

Cette dernière est récupérée dans des piluliers en verre et stockée dans un dessiccateur en présence de gel de silice.

II.3.2.4. Homogénéisation

Pour avoir une meilleure répartition des éléments métalliques, les sédiments sont homogénéisés pendant 15 mn à l'aide d'un agitateur électrique (type Heidolph).

II.3.2.5. Extraction des métaux lourds

Il existe plusieurs méthodes pour l'extraction des métaux lourds citées par plusieurs auteurs (Charlou et Joanny, 1983).

La méthode utilisée dans les analyses des métaux lourds présentée dans ce mémoire est la méthode d'extraction du métal total contenu dans l'échantillon (Charlou et Joanny, 1983).

II.3.2.6. Digestion ou minéralisation

La digestion permet de libérer les différents métaux adsorbés à la surface des particules sédimentaires par extraction et mise en solution pour faciliter le dosage par absorption atomique.

II.3.2.7. Protocole expérimental

Le protocole utilisé est celui adopté par Charlou et Joanny (1983). Pour sa réalisation, Nous disposons d'une bombe à Téflon composée de deux plaques en acier inoxydables, de Six godets en Téflon et d'écrous en acier.

II.3.2.7.1. Minéralisation des échantillons

- Nettoyer les godets avec 3ml de l'acide nitrique (65%) pendant 3 heures a 120°C ;
- Rincer avec de l'eau distillée et les remettre a l'étuve jusqu'à séchage ;
- 0.5g de sédiment sec dans chaque godet ;
- Ajouter 4.5 ml de HCL et 1.5ml d'acide nitrique et remettre les godets sur la plaque chauffante pendant 3 heures ;

On laisse refroidir les échantillons avant d'ouvrir la soupape de sécurité doucement, puis on ouvre les godets et on transfère les échantillons dans les tubes en polypropylène de 50 ml. Il faut rincer les godets avec l'eau distillée au moins 3 fois en récupérant les rinçages des godets et on les remue pour compléter la dissolution. On ajuste jusqu'au trait de jauge de 50 ml avec l'eau bidistillée.

On réserve un godet pour témoin blanc contient 4.5ml de HCL et 1.5ml de l'acide nitrique.

II.3.2.8. Analyse des métaux lourds par spectrophotométrie d'absorption atomique

La spectrophotométrie d'absorption atomique est une technique d'analyse largement appliquée (Forstner et Salomons, 1980), bien adaptée (Boust, 1981). Cette méthode est principalement utilisée pour déterminer les niveaux de concentration en métaux lourds dans l'environnement.

Les éléments métalliques adsorbés sur les sédiments marins superficiels sont analysés par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique, selon les protocoles expérimentaux décrits par Charlou et Joanny (1983). Le principe, la description de la technique d'analyse et les éléments constitutifs du spectrophotomètre utilisé Sont inspirés de Pinta (1971), Perkin_Elmer (1982) et Audigiè et al. (1985).

II.3.2.8.1. Principe de la Spectrométrie d'Absorption Atomique

Le principe de Boltzmann qui montre que le nombre N_1 d'atomes excités est relié à la température T et au nombre d'atomes N_0 à l'état fondamental par l'expression :

$$N_1 = N_0 \exp(-\Delta E / KT) \quad (2.1)$$

Où :

N_1/N_0 : La proportion d'atomes excités qui est fonction de la température,

ΔE : Représente la différence d'énergie entre deux états.

T : Température (K).

K : Constante de Boltzmann

Donc, c'est le passage de la forme ionique (métal en solution) à la forme atomique qui se produit par une source thermique (source d'atomisation). Les atomes ainsi formées passent d'un niveau énergétique fondamental (état initial) à un niveau plus élevé (état excité) sous l'effet d'un faisceau de lumière monochromatique (source de radiation), de longueur d'onde (λ) spécifique de l'élément à doser et d'intensité incidente I_0 .

II.3.2.8.2. La loi de Beer-Lambert

L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la loi de Beer-Lambert. D'après cette dernière, la densité optique d'une solution d'une substance absorbante dans un solvant transparent est proportionnelle à l'épaisseur de la solution traversée et à la concentration des substances absorbante de la solution (Audigié et al, 1985).

$$I_1 = I_0 \exp(-KLC) \quad (2.2)$$

La lecture s'effectue en absorbance (A) ou en densité optique (DO) :

$$A = DO = \log(I_0/I) = k. L. C \quad (2.3)$$

Où :

- I ; Intensité de l'énergie lumineuse transmise.
- I_0 : Intensité de l'énergie lumineuse émise.
- k : Coefficient d'extinction molaire (constante).
- L : Longueur du trajet optique.
- C : Concentration de l'élément absorbant.

II.3.2.8.3. Etalonnage

L'étalonnage doit être réalisé très soigneusement, dans un domaine de concentration où la loi de Beer Lambert est respectée. La mesure de la concentration d'un élément dans l'échantillon est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage. La gamme d'étalonnage doit autant que possible être comprise autour de valeurs de l'échantillon à analyser. Les solutions étalons sont préparées à partir de solution mère qui a une concentration connue en g/l de l'élément à doser. Les standards ne sont préparés qu'au moment de l'analyse.

Tableau 3 Concentration des solutions standards utilisées (ug/ml).

Métaux	S1	S2	S3
Hg	5	10	15
Zn	1000	2000	3000
Cu	500	1000	1500

II.3.2.9. Calcul des concentrations des métaux lourds

Pour obtenir les concentrations des métaux lourds étudiés, nous avons établi l'équation de la droite d'étalonnage par régression linéaire. Cette équation a la forme suivante :

$$D.O = aC + B \quad (2.4)$$

Quand cette équation est définie (valeur de a (pente de la droite) et de b (ordonnée à l'origine)) nous avons calculé la concentration des échantillons à partir de leur absorbance (D.O). Dans une seconde étape, nous avons calculé la concentration finale des échantillons selon la relation suivante :

$$[C]_F = (([C]_{\text{écha}} - [C]_{\text{blanc}})/P) * V \quad (2.5)$$

Où :

- $[C]_F$: Concentration finale du métal exprimée en (mg/kg)
- $[C]_{\text{écha}}$: Concentration de l'échantillon donnée par l'équation de la droite d'étalonnage exprimée en (µg/ml)
- $[C]_{\text{blanc}}$: Concentration du blanc (µg/ml)
- V : Volume final de la solution d'échantillon (50 ml)
- P : Poids du sédiment minéralisé en (g)

L'étalonnage de l'appareillage est effectué à partir de solutions standard, préparées au moment de l'analyse pour chaque élément à partir d'une solution mère à 1 g/l.

II.3.2.10. Les Indices de contamination

D'une manière mieux définie, les indices de contaminations (IC) sont calculés en fonction des différentes mesures pour cerner le devenir des produits de dragage.

Tableau 4 Concentrations normales des métaux lourds dans les sédiments selon les normes Algériennes, françaises et hollandaises. (Alzieu et al. 1999)(mg/kg).

Métaux Normes	Hg	Pb	Cd	Cu	Zn
Algérienne	1.5	250	2	150	500
Française	0.2	22	0.6	26	80
Hollandaise	0.3	85	0.8	36	140

Pour la présente étude, les analyses des métaux lourds ont porté sur la comparaison des concentrations par rapport aux normes algériennes, françaises et hollandaises. Concernant les normes algériennes, il s'agit en fait d'une synthèse élaborée par la DGE (Direction Générale de l'Environnement).

L'indice de contamination correspond au rapport de la concentration observée sur la concentration considérée comme normale.

$$C = \frac{\text{Concentration observé}}{\text{Concentration normale}} \quad (2.6)$$

Tableau 5 Valeurs de l'indice de contamination (IC) (ABRMC, 1984 et Alzieu et al, 1999).

IC	Observation
IC < 3	Concentration normale
3 < IC < 10	Cas de pollution
10 < IC	Zone à risque

CHAPITRE III:
RÉSULTATS
ET INTERPRÉTATIONS

III.1. Evolution de la plage Est de Djen Djen

Les relevés bathymétriques effectués en 1977 comme données initiales avant la construction du port de Djen Djen et ceux effectués en 1996, nous ont permis d'apprécier les quantités de sédiments qui ont été piégées contre la digue Est. Les comparaisons n'ont été effectuées qu'à partir de 500 m environ de la côte actuelle.

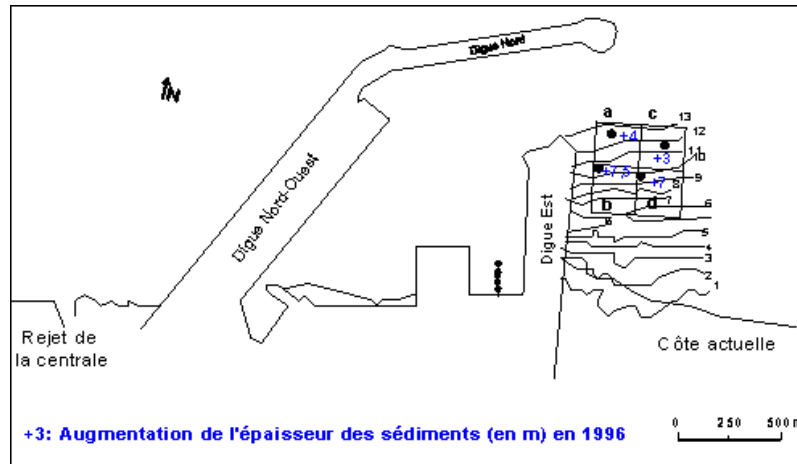


Figure 9 Bathymétrie de la plage Est avant la construction du port. (Belkessa, 2005)

- La zone A a vu le fond passer de 13m (1977) à 9 m (1996) avec donc un volume à 160.000 m³ soit un taux d'ensablement estimé à environ 8500m³/an.
- La zone B est passée de 10.5m de profondeur (1977) à 3m (1996) soit un volume sédimentaire de 260.000 m³ et donc un taux d'ensablement de 13680m³/an.
- La zone C (11.8 m en 1977 et 8.8m en 1996) a gagné 120.000 m³ de sédiments soit environ 6300 m³/an.
- La zone D est la zone qui s'est le plus engraisée en passant de 9.8m (1977) à 2.8 m (1996) soit 280.000m³ de sédiments soit 14.700m³/an.

En comparant les quatre zones, on s'aperçoit qu'une flèche sous-marine (zone B et D) s'est formée (depuis la construction du port) qui alimente progressivement la passe d'entrée du port.

Tableau 6 Volume d'ensablement entre 1977 et 1996 dans le secteur Est de la plage de Djen Djen.

secteurs	profondeurs		Différence bathymétrique (m)	Volume de sédiments (m ³)	Taux d'ensablement m ³ /an
	1977	1996			
A	13	9	4	160.000	8420
B	10.8	3	6.4	260.000	13680
C	11.8	8.8	3	120000	6300
D	9.8	2.8	7	280000	14700
Total				820000	43000

III.2. La création de la plage Est

Les sédiments acheminés de l'Est vers l'Ouest ont émergé contre la digue Est pour former une plage de 240 m à sa largeur maximale qui s'amincit en allant vers l'Est pour former une zone triangulaire (tableau 7).

Tableau 7 Quantité de sédiments transportés par les houles Est et Nord-est à l'Est du port de Djen Djen.

Classe d'amplitude	0m – 2.5m	> 3m	Total transporté (m ³)
Hs (m)	0.70	4.50	-
T (s)	6	9	-
Est	4267	2552	6820
Nord Est	7920	4764	12700
Total	12187	7316	19520

La surface gagnée par émergence est de 62500m², l'épaisseur moyenne est 3.5m. Cette épaisseur comprend les petits fonds envahis par les sédiments et celle qui émerge au-dessus du niveau marin de 1,5m.

La somme totale des sédiments accumulés est de 218.750m³ en 19 ans soit 11.500 m³/an environ.

Conclusion

Si le rapport entre la quantité de sédiments stockés annuellement depuis la côte jusqu'au bout de la jetée Est (35 000 m³) et la surface du port (1.250.000 m²) paraît minime (0.025 m/an), il n'en demeure pas moins que ce sont surtout la passe d'entrée dont le fond a diminué de 4 m et les abords quais de la jetée Est qui connaîtront dans un avenir proche des problèmes d'ensablement importants.

III.3. Granulométrie des sédiments du port de Djen Djen

III.3.1. Répartition de la médiane (Q50) dans le port de Djen Djen

La partie centrale est occupée par des sédiments fins (inférieurs à 60µm) dont la présence est due probablement au creusement du fond du port durant sa construction. L'extérieur du port et le quai sont parsemés de sables moyens avec une tendance de pénétration de ces sédiments dans le port.

Au milieu de la passe d'entrée, les abords quais de la digue Est et digue Nord, on retrouve les sables fins avec une image d'ensablement des quais.

III.3.2. Répartition des pélites dans le port de Djendjen

Il existe un gradient croissant du taux de pélites depuis l'extérieur du port (< 25%) jusqu'à la digue Ouest (> 75%). Vers l'extérieur du port les pourcentages sont diffus (existence d'une plage à l'intérieur du port).

III.3.3. Répartition du mode I (80µm – 160µm)

La répartition du mode I (80µm – 160µm) qui caractérise les sédiments fins est à l'image de celle des pélites. Les pourcentages supérieurs à 75% sont retrouvés le long de la digue Nord Ouest et autour du musoir de la digue Est. L'ensemble du port a des pourcentages compris entre 50% et 75%. A l'extérieur du port et près de la plage du port, les pourcentages sont inférieurs à 50%.

La répartition du mode I montre un ensablement de la passe d'entrée et du quai de la digue Est. Vers l'intérieur du port, on retrouve des sédiments autochtones déposés lors de la construction du port. Le long de la digue Nord, ce sont les houles Nord Ouest qui par diffraction distribuent cette population de sédiments.

III.3.4. Répartition du mode II (160µm – 315µm)

La répartition de ce mode est significative de l'ensablement de la passe d'entrée et notamment du quai de la digue Est. Les pourcentages les plus importants (>60%) sont retrouvés le long de la digue Est avec une arrivée de l'extérieur du port. Dans le reste du port, les pourcentages se situent entre 30% et 60%.

III.4. Etat de la pollution par les métaux lourds dans les sédiments

Les transports littoraux des sédiments ont montré que dans un avenir proche, le port de Djen Djen pourrait connaître de grands problèmes d'ensablement.

La fraîcheur des sédiments près du port et dans le port n'empêche pas une légère contamination par les métaux lourds.

Douze échantillons ont été prélevés; leur analyse montre que les concentrations en cuivre sont en dessous des normes européennes sauf pour la station 8 et 11. L'indice de contamination (IC) est en dessous de 3. Les concentrations en zinc sont très homogènes et sont comprises entre 70 et 120µg/g. L'indice de contamination selon les normes françaises est inférieur à 3.

Les mêmes remarques sont observées pour le mercure où on retrouve des concentrations quasiment homogènes et inférieures aux normes françaises, sauf pour la station 3 qui se situe à l'intérieur du port (1µg/g) et la station 10 (1.25µg/g) qui est située à l'extérieur du port. L'indice de contamination est inférieur à 3 pour toutes les stations sauf pour les stations 3 et 10 (compris entre 3 et 10).

Par rapport à d'autres ports (Alger, Béjaia) les sédiments du port de Djendjen ne présentent pas une contamination majeure par les métaux lourds. Avec les activités du port, ces concentrations risqueront d'augmenter au même titre que l'ensablement.

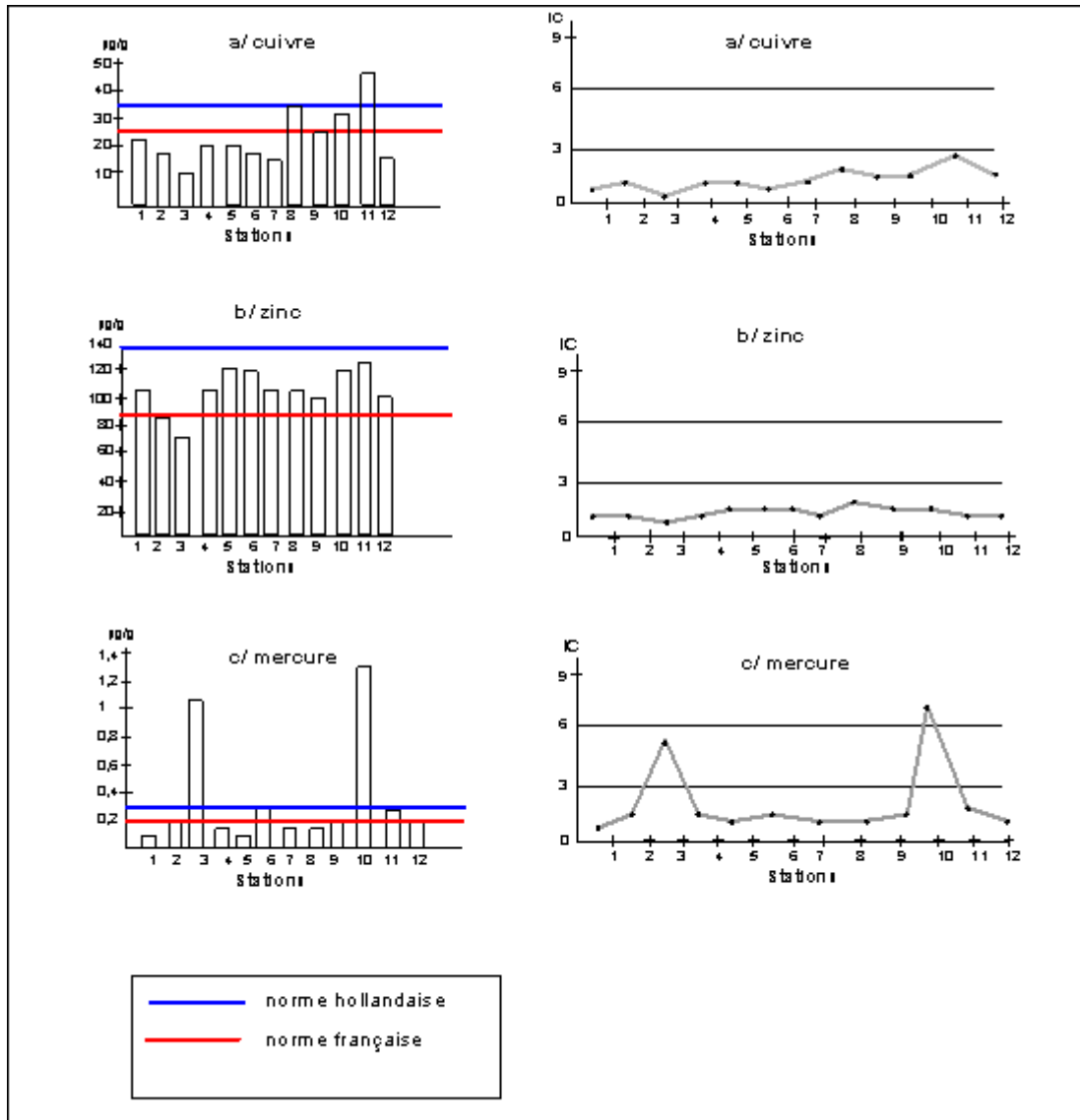


Figure 10 Concentrations des métaux lourds dans les sédiments et les indices de contamination par stations selon les normes françaises du port de Djen Djen.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le port de Djen Djen a imposé depuis trois ans un rythme et des cadences, mettant à nu les maillons faibles de la chaîne des transports.

L'implantation du port de Djen Djen sur une côte ouverte et où les transits sédimentaires sont importants a perturbé l'équilibre côtier.

Donc notre travail est structuré comme suit :

Un premier chapitre destiné à présenter le zone d'étude, le deuxième chapitre est consacré au traitement des matériels et méthodes utilisées et la suite réservée aux différents résultats et interprétations.

A l'enracinement de la jetée principale, la concentration de l'énergie des houles notamment Ouest et Nord Ouest provoque une grande érosion, la protection par des ouvrages ou gros blocs est nécessaire, à l'inverse, la côte Est, une plage immense s'est formée.

Dans la partie sous-marine, les matériaux ont tendance à se diriger vers la passe d'entrée et autour du musoir de la jetée Est. Si des mesures ne sont pas prises à courts termes, l'ensablement de la passe d'entrée va s'effectuer rapidement.

L'exploitation du sable de la plage Est comme matériau de construction reste le moyen palliatif le plus adéquat.

Selon les indices de contamination Les sédiments présentent globalement des teneurs en métaux lourds bien en deçà des valeurs seuils normatives. La seule valeur qui dépasse les normes c'est bien le mercure s'expliqueraient par une contamination ponctuelle et limitée dans l'espace portuaire.

Les résultats des analyses granulométriques confirment une certaine hétérogénéité.

BIBLIOGRAPHIE

- A.F.N.O.R, 1994.** Association Française de **NOR**malisation. Qualité des sols. Recueil des normes françaises. AFNOR.1994.250 p.
- Agence Nationale de Développement de l'Investissement (ANDI), (2014).** INVEST IN ALGERIA. 24p.
- ALZIEU, C. et al. (1999).** Dragage et environnement marin : Etats des connaissances. Plouzané: Ifremer .223p.
- ALZIEU, C. (2003).** Rejet de dragages : analyse des textes réglementaires. Disponible sur web :< www.ifremer.fr>
- AUDIGIE, C.L. DUPONT, G. ZONZAIN, F. (1985).** Principe des méthodes d'analyse biochimique. Edition : DOIN, Tome 1, 190 p.
- BACHOUICHE, S. (2010).** Les ports d'Alger et de Bouharoun : Etude des paramètres, granulométriques, biologiques et de pollution dans les sédiments et l'eau en vue d'une opération de dragage. Thèse de magister d'état ENSSMAL. 150 p.
- BELKESSA, R. (2005).** Les ports algériens : ensablement, pollution et dragage des sédiments. Thèse doctorat d'état université de Constantine, 412p.
- BODENNEC, G. PIGNET, P. CAPRAIS, J.C. (1983).** Suivi chimique de la pollution pétrolière dans les eaux et les sédiments. Paris: C.N.E.X.O. 108p.
- BOUST, D. JOUANNEAU, J.M. LATOUCHE, C. (1981).** Méthodologies d'interprétations de teneurs totales en métaux traces contenues dans les sédiments estuariens et littoraux. Bull. Institut de la Géologie. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux, N°30, 71-86 p.
- BOUTIBA, M. (2006).** Géomorphologie dynamique et mouvement des sédiments le long de la côte sableuse Jijelienne (Est algérie).Thèse doctorat d'état USTHB.252 P.
- CHAMLEY, H. (1987).** La sédimentologie. Paris: DUNOD. 175p.
- CHARLOU, J.L. JOANNY, M. (1983).** Dosage du mercure et d'autre Métaux (Pb, Zn, Cu, Cd, Co, Ni, Cr, Mn,) dans les sédiments marins par absorption atomique (285-297) Manuel des Analyses Chimiques en Milieu Marin. Edition Centre National pour l'exploitation des Océans, Paris. 395 p.
- Direction de l'environnement. (2003).** Plan d'Aménagement Côtier de la Wilaya de Jijel. 75 p.
- FOLK, R.L. WARD, W.C. (1957).** Brazos river bar: a study of significance of grain size parameters. J.Sediment. Petrol. 27: pp. 3-26.
- O.N.M. (2014).** Office National de la Météorologie. Relevé météorologique 2001-2014.
- PINTA, M. (1971).** Spectrophotométrie d'absorption atomique, problèmes généraux : application à l'analyse chimique. Paris : Masson. 508p.
- RIVIERE, A. (1977).** Méthode granulométrique, technique et interprétation. Techniques et méthodes de sédimentologie. Paris: MASSON. 170p.
- Rodier, J. et al. (2005).** L'analyse de l'eau : eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. Edition: DUNOD. 1383p.