



Alternative au largage en mer des sédiments dragués au port d'Oran

**Abdélaziz SEMCHA¹, Belkacem MEKERTA¹, Fatiha KAZI-AOUAL¹,
Aicha DRAOUI¹, Hafida MAAROUF¹**

1. Laboratoire de Matériaux "LABMAT", Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technologique d'Oran, BP 1523 Oran El M'naouer, Algérie.
asemcha@yahoo.fr

Résumé :

Au port d'Oran, la nécessité de maintenir les profondeurs des voies de navigation et d'accostage des cargos demande un curage régulier des bassins. Des repères historiques traduisent parfaitement les rapports entretenus entre la ville d'Oran et son port. Aujourd'hui, comme dans le passé, la ville doit l'essentiel de sa prospérité à son port et a l'ambition de le faire accéder au rang de grand port méditerranéen, vu qu'il s'agit du premier relais portuaire en eaux profondes depuis Gibraltar, sur la rive sud de la méditerranée. En effet, c'est la situation géographique de la baie d'Oran qui a été à l'origine de la construction d'un port et de l'urbanisation de la ville d'Oran.

De nombreux cours d'eau, aujourd'hui immergés continuent à charrier des sédiments qui se déposent au gré des courants dans les fonds des bassins. Un dragage perpétuel est nécessaire: ce qui génère des quantités considérables de déchets solides, qui sont contaminés dans la plus part des cas. La solution adoptée jusqu'ici qui est basée sur une étude de faisabilité grossière, est le largage des matières solides issues des dragages à quelques miles au large des côtes. Notre intérêt a été de nous occuper du devenir de ces matériaux en recherchant des voies de leur réutilisation dans le BTP, comme voie alternative à leur simple largage en mer. Bien que le comportement des sédiments vis-à-vis du transfert des polluants soit mal connu, la législation est de plus en plus sensible à la protection de l'environnement et la préservation des habitats aquatiques menacés. La valorisation des déblais de dragage est recherchée aussi pour amortir les coûts liés aux dragages.

Après l'identification des caractéristiques physiques et minéralogiques sur des échantillons prélevés lors du dragage du bassin de Mostaganem du port d'Oran, les sédiments ont été traités soit par ajout de ciment soit par traitement thermique. Ces traitements ont permis l'amélioration de leurs caractéristiques mécaniques et ont abouti à des applications concrètes en technique routière ainsi qu'en substitution à une fraction de ciment dans la conception d'un ciment composé.

Mots clés :

Port d'Oran – Sédiment – Dragage – Valorisation – Technique routière – Ciment

1. Le port d'Oran et ses potentialités :

Historiquement, la ville d'Oran fut créée sur un site abrité des vents et à proximité de la mer. Des écrits font remonter l'histoire de la ville à une époque lointaine, des cartes datant de l'époque romaine mentionnent le nom de "Portus divini", qui veut dire "port divin", en égard vraisemblablement aux atouts qu'offre le site en matière de sécurité et de ravitaillement. C'est à partir de 1848 que le port d'Oran connaîtra les grands travaux entamés par l'administration coloniale française, ce qui octroya à la ville de nombreux plans de développement, même après l'indépendance.

Les potentialités du port, de par ses infrastructures, ses équipements et les services offerts, font que la ville d'Oran est devenue aujourd'hui un pôle économique en mesure de concurrencer les plus grandes métropoles méditerranéennes. Nous citons aussi les grands projets de développement inscrits au titre du dernier plan de développement de l'entreprise portuaire, dont les plus importants sont la création d'une entreprise mixte de réparation navale et l'extension du terminal à conteneurs. Ceci traduit la volonté des gestionnaires à préserver d'abord les infrastructures existantes essentielles à la navigation et au transit des cargos. Les quais et les voies navigables doivent impérativement être maintenus en bon état, avec les profondeurs requises.

Malheureusement, la construction du port a causé l'immersion de plusieurs cours d'eau qui continuent à charrier des particules solides qui causant l'envasement de certain quais. Pour maintenir les profondeurs nécessaires aux trafics, il est fait appel aux techniques de dragage.

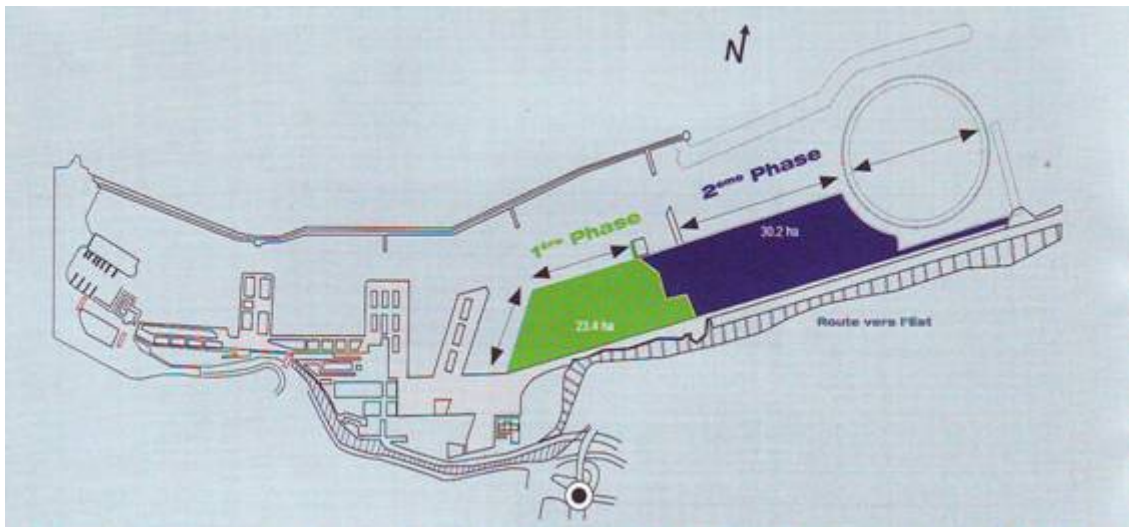


Figure 1. Le port d'Oran et son projet d'extension (WAHRAN, 2009)

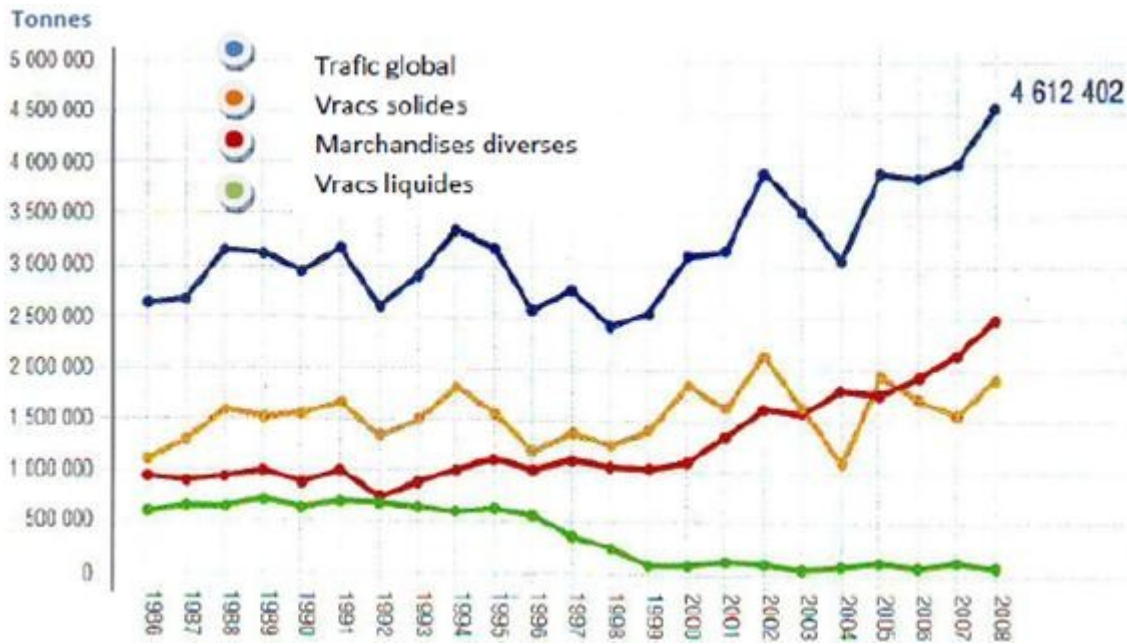


Figure 2. Evolution du trafic au port d'Oran (WAHRAN 2009).

2. Gestion des sédiments dragués :

Les matériaux solides extraits des fonds par dragage sont actuellement, suite aux recommandations d'une étude de faisabilité interne au port d'Oran, largués en mer à quelques milles des côtes. Par ailleurs les gestionnaires ne semblent pas se soucier outre mesure des conséquences que peut avoir le redéploiement de ces particules dans le milieu naturel. Ils évoquent le manque de réglementation en matière de seuils de toxicité et de nuisance de ces matériaux. Par contre, l'alternative de la valorisation des sédiments marins dans le BTP semble les intéresser et proposent même leur participation à la recherche de voies de remplacement des pratiques actuelles. La valorisation des sédiments issus des dragages leur permettent d'une part de réduire les coûts des opérations de dragage qui sont à leur charge et d'autre part élargir le dragage à plus grande échelle.

2.1 Possibilités offertes de valorisation des sédiments issus des dragages

De nombreuses références bibliographiques proposent des voies de valorisation des sédiments marins en fonction des caractéristiques de ces matériaux. Dans la plupart des cas, s'ils ne sont pas directement considérés comme matières premières pour un procédé donné, ces matériaux le deviennent moyennant un procédé peu coûteux, souvent associé à une décontamination. LEVACHER *et al.* (2011) associe le domaine d'application à un objectif recherché (tableau 1).

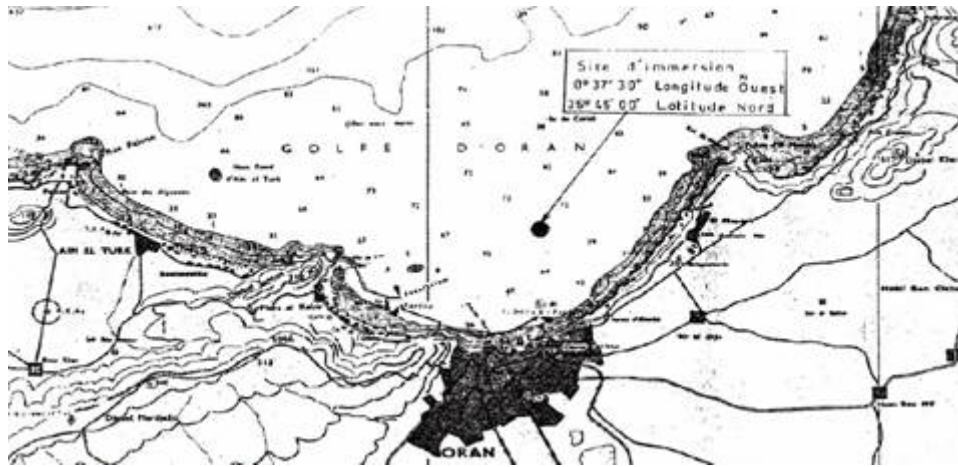


Figure 3. Localisation du site d'immersion des sédiments dragués.

Tableau 1. Domaines possibles de valorisation des vases (LEVACHER et al., 2011)

<i>Objectif</i>	<i>Domaine d'application</i>
1 Pelletabilité du produit en cours de stabilisation / solidification	Transport et mise en décharge (matériau fin contaminé), mis en dépôt pour stockage
2 Mise en dépôt : remplissage de carrières, de cavités souterraines	Remplissage, Comblement
3 Réalisation de remblai sans surcharge	Consolidation sous poids-propre Zones aménagées
4 Remblais avec surcharge	Matériau de terre-plein et de plateformes industrielles
5 Valorisation en matériaux routiers	Sous-couches de structure des chaussées
6 Valorisation en matériaux élaborés	Matériaux de construction (briques, tuiles...)

Il est signalé à ce stade des connaissances, que pour un procédé de valorisation retenu, il est fait appel à des procédés complémentaires : en effet, avant de procéder à l'élaboration d'un matériau, le sédiment dragué est souvent transporté, décontaminé, stocké en attente de l'application du procédé de valorisation, ce qui occasionne des frais additionnels.

2.2 Valorisation des sédiments dragués au port d'Oran

Deux procédés de valorisation ont été étudiés : Le premier en technique routière dans la réalisation des couches de structure des chaussées, où le sédiment doit être traité à la chaux ou au ciment et le second procédé consiste à transformer le sédiment pour en faire un nouveau matériau se substituant à une fraction du ciment. Les deux procédés retenus nécessitent la caractérisation préalable des matériaux dragués.

2.2.1 Caractéristiques des sédiments dragués au port d'Oran

Les matériaux étudiés proviennent du bassin de Mostaganem à proximité des quais de Casablanca et de Safi :

Caractéristiques physiques :

- Granulométrie : Les analyses granulométriques sur les échantillons prélevés aux deux quais donnent des sables limoneux à faible teneur en argile.
- Valeur de bleu : VBS=1,25 à 1,30 ce qui correspond aux matériaux sablo-limoneux.
- Masse volumique absolue : 2,3 g/cm³.
- Surface spécifique Blaine : SSB=2550 cm²/g

Caractéristiques Chimiques : Les différentes analyses chimiques (Oxydes, DRX, Infra Rouge) sont résumées aux tableaux 2 et 3.

Tableau 2. Présence de contaminants dans les sédiments.

<i>Contaminant (mg/kg de sédiments secs)</i>	<i>Seuils recommandés MATE(Algérie)</i>	<i>Bassin de Mostaganem (Quais de Casablanca et de Safi)</i>	
		<i>Valeur moyenne</i>	
<i>Cadmium (Cd)</i>	3	0.08	0,16
<i>Chrome (Cr)</i>	250	34.16	118.3
<i>Mercure (Hg)</i>	1.5	1.64	1.02
<i>Nickel (Ni)</i>	75	342.5	399.6
<i>Plomb (Pb)</i>	250	42.24	89.65
<i>Zinc (Zn)</i>	500	390.8	335.5
<i>Hydrocarbures (DRAOUI, 2010)</i>	300	1000	2000

Tableau 3. Composition chimique des sédiments dragués.

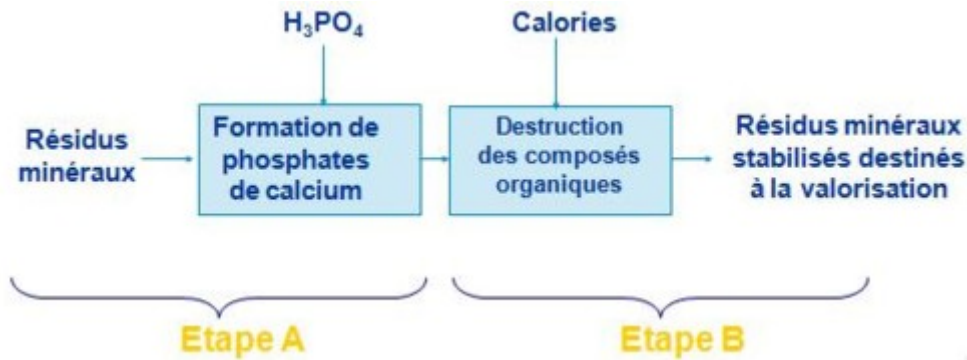
<i>Composants</i>	<i>SiO₂</i>	<i>CaO</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>MgO</i>	<i>SO₄</i>	<i>chlorures</i>	<i>Carbonates</i>	<i>CO₂</i>	<i>H₂O</i>
<i>Teneurs (%)</i>	49.01	39.27	1.13	1.67	-	nul	1.46	30.9	-	-

Dans ce tableau nous remarquons les fortes teneurs de silice et de chaux, ce qui confirme leur origine quartzique et calcaire. La présence des chlorures est liée par contre au milieu marin de séjour des sédiments.

2.2.2 Caractéristiques des sédiments après traitement

Le traitement au H₃PO₄ et la calcination à moyenne température donnent un matériau valorisable selon le schéma suivant :

Thème 8 – Gestion et valorisation des sédiments marins



Etape A: Stabilisation des métaux lourds par piégeage dans des phosphates de calcium

$[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ formés par ajout de H_3PO_4 .

Etape B: Destruction des composés organiques par calcination à 750 C° et activation des structures cristallines.

Figure 4. Inertage chimique et thermique.

Après traitements, les analyses chimiques ont donné la composition du tableau 4.

Tableau 4. Composition chimique des sédiments traités.

Composants	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	SO_4	P.F	Carbonates	CO_2	H_2O
Teneurs(%)	50.17	12.9	3.29	0.27	0.32	0.00	13.31	23.4	10.40	2.91

2.2.3 Application en technique routière (DRAOUI, 2010)

L'étude géotechnique sur les sédiments des quais Casablanca et Safi a permis de classer ces matériaux selon le guide GTR dans le type A1 et B5. Les essais de compactage ont donné un indice IPI > 35%. Les résistances à la compression augmentent avec le temps ($R_c=2\text{ MPa}$ à 28 jours et 3 MPa à 60 jours).

Le traitement au ciment (incorporation de 4% de ciment) a donné 3 MPa pour R_c à seulement 14 jours et $4,5\text{ MPa}$ à 28 jours. Les essais triaxiaux (consolidé non drainé), associés aux paramètres Proctor normal et modifié ont donné $C_{cu}=100\text{ kPa}$ et $\Phi_{cu}=47^\circ$. Avec les résultats obtenus, suivant la méthodologie de caractérisation décrite au guide de traitement des sols (GTS, 2000), la valorisation des sédiments étudiés est possible dans toutes les couches de la structure des chaussées sans ajout de matériau de correction. L'incorporation d'une petite quantité de ciment augmente les résistances de façon remarquable.

2.2.4 Application dans la matrice cimentaire d'un mortier : (MAAROUF, 2011)

Dans cette étude on se fixe comme objectif la réutilisation des sédiments marins en provenance du port d'Oran dans la confection d'un mortier au ciment. Cette utilisation se fait de deux manières possibles :

- Utilisation des sédiments sableux dans le squelette granulaire : ceci nécessite un traitement de nettoyage et de décontamination.

- Utilisation des sédiments dans la matrice liante en substitution à une fraction du ciment : cette option nécessite un traitement thermique. Nous présentons dans ce travail cette seconde alternative qui nécessite un traitement préalable.

Par ailleurs, nous avons cherché à estimer l'indice d'activité du sédiment traité suivant la norme EN 450 dans le but de l'incorporer à la phase liante du mortier. Une substitution de 25% au ciment CEM I, a donné une valeur de 0,83 à 28 jours et 0,99 à 90 jours. Nous déduisons que par traitement thermique effectué sur nos échantillons de sédiments marins, ils acquièrent des propriétés pouzzolaniques.

a) Formulation du mortier selon la norme EN 196-1

Le mortier témoin est confectionné suivant la norme EN 196-1 : 100% de ciment. L'incorporation du sédiment traité se fait en substitution à une partie du ciment dans des proportions allant de 5 à 25% de sédiment traité.

D'autre part, sachant que les fines siliceuses sont utilisées comme ajout de substitution à une fraction de ciment, pour leur caractère pouzzolanique prouvé, nous confectionnons, suivant les recommandations de KERBOUCHE *et al.* (2009), dans les mêmes conditions expérimentales et avec les mêmes proportions, des mortiers à base de fines siliceuses dans un souci de comparaison des performances mécaniques potentielles.

b) Les matériaux utilisés :

Le ciment : Il s'agit d'un ciment de type CEM I (CPA), sans ajout, fabriqué à l'usine de Zahana (60 km au sud-est d'Oran).

Tableau 5. Composition du ciment utilisé.

<i>Composants</i>	<i>CaO</i>	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>MgO</i>	<i>SO₃</i>	<i>insolubles</i>	<i>Perte au feu</i>
<i>Teneurs en %</i>	63.49	22.47	3.61	4.24	0.82	1.86	0.75	3

Le sable : C'est un sable corrigé et adapté au fuseau granulométrique du sable normalisé. Il composé de sable de mer siliceux et de sable de carrière calcaire. Le tableau 6 présente la composition chimique des deux sables utilisés.

Tableau 6. Composition du sable corrigé.

<i>Les composants</i>	<i>SiO₂</i>	<i>CaO</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>MgO</i>	<i>SO₄</i>	<i>P.F</i>	<i>Carbonates</i>
<i>Teneur de Sable de mer (%)</i>	70.15	16.21	0.00	0.41	0.14	0.00	13.38	29.09
<i>Teneur de Sable de carrière (%)</i>	19.86	43.94	0.00	0.44	0.32	0.00	35.68	79.09

Thème 8 – Gestion et valorisation des sédiments marins

L'eau de gâchage : les mortiers ont été gâchés à l'eau du robinet dans les conditions ambiantes du laboratoire.

3. Résultats et perspectives

Les éprouvettes 4×4×16 de mortier ont été confectionnés en optimisant pour chaque substitution, le rapport eau/liant, par essai de consistance. Il est noté que la quantité d'eau augmente avec la quantité de sédiment de façon linéaire.

Testées à l'âge de 28 jours, les résistances mécaniques obtenues sur les mélanges contenant le sédiment traité restent inférieures aux témoins à base de ciment seul et celui contenant les fines siliceuses. Toutefois, l'indice d'activité élevé obtenu à 90 jours laisse prévoir des résistances mécaniques élevées à plus long terme. Par ailleurs les résistances obtenues sont également intéressantes et le comportement de ces mortiers doit être testé dans des milieux agressifs vis-à-vis de leur durabilité.

L'autre voie d'utilisation des sédiments marins dans le squelette granulaire de mortier ou de béton offre d'autres alternatives envisageables.

4. Références bibliographiques

DRAOUI A. (2010). *Contribution à la valorisation des sédiments marins dans le BTP*. Mémoire de Magister soutenu en 2010 à l'ENSET d'Oran Algérie.

GTS (2000). *Guide Technique de traitement des Sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Application à la réalisation des remblais et des couches de forme*. LCPC/Sétra, 240 p.

KERBOUCHE A., MOULI M., LAOUFI L., SENHADJI Y., BENOSMANE S. (2009). *Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques des mortiers*. 1st International Conférence on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries, ENSET Oran Algérie, octobre 2009, pp 431-438.

LEVACHER D., SANCHEZ M., DUAN Z., LIANG Y. (2011). *Valorisation en unité pilote de sédiments méditerranéens : étude des caractéristiques géotechniques et de la perméabilité*. Revue Paralia, Vol. 4, pp 4.1–4.20. doi:10.5150/revue-paralia.2011.004

MAAROUF H. (2011). *Contribution à l'étude de la durabilité d'un mortier à base de sédiment marin*. Mémoire de Magister soutenu en 2011 à l'ENSET d'Oran Algérie.

WAHRAN M. (2009). *Potentialités du port*. Revue trimestrielle d'information de l'Entreprise Portuaire d'Oran, n° 1, mars 2009, pp 20-23.