

EVALUATION ENVIRONNEMENTALE DES BETONS A BASE DE SEDIMENTS MARINS

RAOUF ACHOUR¹, RACHID ZENTAR¹, PATRICE RICARD², NOR-EDINE ABRIAK¹

¹Mines Douai: raouf.achour@mines-douai.fr, rachid.zentar@mines-douai.fr,
nor-edine.abriak@mines-douai.fr

²Universite de sherbrooke: patrice.rivard@usherbrooke.ca

ABSTRACT

L'admission du béton à base de sédiment marin comme un nouveau produit dans le domaine de génie civil, en plus des performances mécaniques et de durabilité dépend essentiellement de son comportement environnemental. Avant de pouvoir définitivement valider le scénario de valorisation, il est utile d'évaluer la validité environnementale. Pour qu'un sédiment soit compatible avec une utilisation sous forme de béton ou incorporé dans un béton, il doit satisfaire à des seuils de non dangerosité par rapport aux éventuels polluants qu'il contient. La caractérisation du relargage des métaux lourds par des matériaux de construction (notamment le béton), présente une difficulté particulière, liée aux très faibles concentrations en métaux lourds dans le matériau (typiquement 20-300mg/kg). Ces concentrations sont fonction de l'origine de la matière première, du type d'ajouts minéraux de ciment, des combustibles et des déchets ou sous-produits industriels valorisés dans le four cimentier [Moudilou, 2000].

L'objectif de cette étude est de déterminer le relargage des métaux lourds contenus dans les deux béton respectivement à base de 12,5% et 20% de sédiment marin et voir si les sédiments incorporés présentent un effet sur la qualité des bétons et sur l'environnement. L'étude d'évaluation environnementale a été réalisée sur le sédiment brut, sur des morceaux de sédiment incorporées dans les blocs béton, sur le béton contenant les morceaux de sédiment et enfin une évaluation in situ des eaux prélevés du piézomètre installé à côté des blocs de béton.

Keywords: Sédiment marin, béton à base de sédiment, analyse chimique, évaluation environnementale

INTRODUCTION

L'accumulation des sédiments au fond des ports est un phénomène naturel souvent amplifié par l'activité humaine, qui empêche les activités maritimes et perturbe les équilibres physico-chimiques des masses d'eau. De fait, un dragage d'entretien est indispensable pour rétablir le tirant d'eau pour la navigation et pour restaurer le milieu naturel pour un bon fonctionnement des ports. Sur le plan national, l'entretien des 6500 kilomètres de côtes que compte le littoral Français nécessiterait l'extraction d'environ 50 millions de m³ de sédiments marins tous les ans. Les sept Grands Ports Maritimes comptabilisent à eux seuls 29,2 Mm³, soit près de 80 % du total [1]. Environ 300 millions de m³ de sédiments sont dragués pour entretenir les ports aux États-Unis, dont 1 à 4% sont considérés fortement contaminés [2]. La gestion des sédiments de dragage est une problématique complexe qui doit prendre en compte des critères techniques, l'évolution des textes réglementaires au niveau

environnemental, mais aussi social et économique [3].

Depuis près de dix ans, ces sédiments, considérés jusqu'alors comme déchets, ont alimenté plusieurs filières de valorisation. Ce processus de valorisation réunit un avantage économique et un enjeu environnemental. En effet, ce matériau n'est plus stocké ou mis en décharge mais peut être ainsi utilisé comme matériau commercial. De plus, son dragage s'inscrit dans un contexte d'écologie industrielle.

Face à cette problématique, des filières de valorisation en génie civil ont été recherchées : en technique routière [4,5,6,7], en granulats [8], en béton [9] et fabrication de briques [10]. Ces derniers peuvent réduire le recours aux matériaux standards. La démarche de valorisation permet de répondre à de multiples enjeux de développement durable :

Enjeux environnementaux :

- ✓ préserver les réserves naturelles de granulats par la valorisation des matériaux de substitution pour les travaux de génie civil ;
- ✓ apporter des solutions de gestion à terre et développer l'écologie industrielle ;
- ✓ Réduire le transport et les émissions en CO₂;
- ✓ renforcer la biodiversité.

Enjeux socio-économiques :

- ✓ développer des filières industrielles de valorisation et de réutilisation des sédiments marins du GPMD et renforcer l'innovation dans ce domaine par l'émergence de l'éco-industrie à forts potentiels économiques sur le marché national et international ;
- ✓ adapter les aménagements industrialo-portuaires aux changements climatiques et gérer les risques ;
- ✓ optimiser le réemploi/possibilités de recyclage ;
- ✓ réduire le nombre de processus ;
- ✓ coordonner les politiques urbaines et portuaires d'aménagement et de développement durable par la construction des ouvrages à base de sédiments marins.

Les travaux de recherche menés dans cette étude rentrent dans le cadre du projet de recherche « SEDIMATERIAUX ». Cette étude vise à évaluer l'aspect environnemental des bétons incorporant deux proportions (B1 :12,5% de sédiment et B2 :20%de sédiment) et une étude in situ des eaux prélevés du piézomètre installé à côté des blocs de béton.

1. EVALUATION ENVIRONNEMENTALE DE DEUX BETONS A BASE DE SEDIMENTS B1 ET B2: COMPARAISON DES CONCENTRATIONS TOTALE DES ELEMENTS METALLIQUES AVEC DES SEUILS NORMATIFS N1 ET N2

L'identification des éléments métalliques traces du sédiment brut (SB) destiné à être utilisé dans la valorisation des blocs de béton a été analysée par le GPMD avant la fabrication deux bétons à base de 12.5 et 20% de sédiment.

Les résultats d'analyse du contenu total montrent que le SB présente un dépassement au niveau des concentrations du Cu, Pb et Zn par rapport à N2 selon les recommandations de l'arrêté du 23 décembre 2009 (Tableau 24), les autres éléments

(As, Cd, Cr et Ni) respectent le niveau N1 est ne présentent pas un danger au niveau de la valorisation.

D'après les résultats obtenus, et selon la réglementation N1 et N2, le sédiment brut SB est considéré comme un sédiment pollué non-immmergeable.

Eléments traces	Concentration totale en mg/kg de matériau sec		
	Sédiment brut	Niveau N1	Niveau N2
As	18,3	25	50
Hg	0,5	0,4	0,8
Cd	1	1,2	2,4
Cr	61	90	180
Cu	106,7	45	90
Ni	17	37	74
Pb	286,7	100	200
Zn	333,3	276	552

Tableau 1 : Teneurs en éléments métalliques traces dans les sédiments marins bruts

Dans le cadre de notre étude et dans l'objectif d'évaluer l'aspect environnemental des blocs du béton à base du sédiment marin, nous avons réalisé une campagne d'analyses du contenu total du sédiment incorporé dans les deux blocs de béton. L'analyse a été réalisée par la méthode de mise en solution totale par attaque acide dans un milieu fermé selon la recommandation pour analyse des métaux lourds [11].

Les résultats d'analyse des boulettes du sédiment des blocs 1et 2 (BSB1, BSB2) montre que la concentration moyenne en éléments est du même ordre de grandeur (Tableau 2).

D'après les résultats obtenus, on peut dire que le sédiment incorporé dans les deux blocs est le même. Nous pouvons tout de même constater que les concentrations des éléments métalliques traces (EMT) sont inférieures au seuil N1, mis à part le Plomb (Pb) qui dépasse légèrement le seuil N1 et ne présente pas un danger en cas d'immersion dans la mer selon la réglementation.

A titre de comparaison entre le sédiment incorporé dans les blocs de béton (BSB1 et BSB2) et le sédiment brut, nous avons constaté une importante diminution des concentrations des éléments métalliques traces (Figure 1).

Cette diminution peut être liée à un traitement spécifique du sédiment brut comme nous l'avons

constaté lors de l'investigation des boulettes par la DRX et le MEB [12].

On peut estimer qu'un traitement réalisé avant l'incorporation des sédiments dans le béton a fortement contribué à une baisse significative des concentrations des EMT.

Eléments traces	Concentration totale en mg/kg de matériau sec				
	BSB 1	BSB2	Sédiment brut	Niveau N1	Niveau N2
As	9,2	9,23	18,3	25	50
Hg	-	-	0,5	0,4	0,8
Cd	<4	<4	1	1,2	2,4
Cr	37,13	36,78	61	90	180
Cu	43	45,13	106,7	45	90
Ni	11,6	11,45	17	37	74
Pb	136,8	133,26	286,7	100	200
Zn	151,47	158,6	333,3	276	552

Tableau 2 : Comparaison entre les teneurs en éléments métalliques traces dans les sédiments traités et le sédiment brut

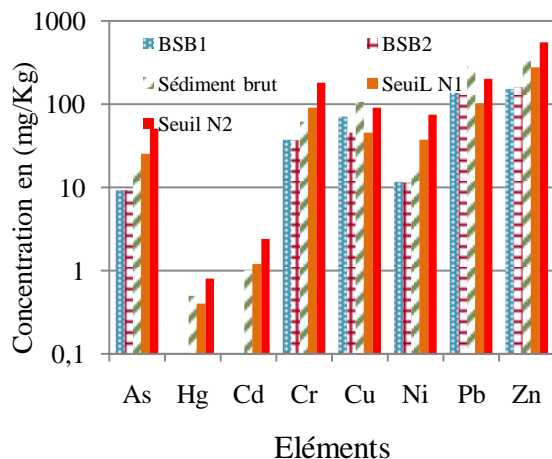


Figure 1: Comparaison entre les teneurs en EMT dans les sédiments traités et le sédiment brut

2. COMPARAISON DES CONCENTRATIONS TOTALE DES ELEMENTS METALLIQUES TRACES DU SEDIMENT BRUT ET DU BETON B1 ET B2.

La caractérisation environnemental du béton B1 et B2 peut apporter des informations supplémentaires sur la composition générale de la matrice. Dans ce cadre nous avons menés des essais d'analyse du contenu total de B1 et B2 selon la recommandation NF ISO 11466.

D'après les résultats obtenus on remarque que B1 présente une baisse significative des concentrations des éléments As, Cu, Pb et Zn par rapport à B2 (Tableau 3). Cela confirme bien que le béton B1 présente une proportion de sédiment moins élevé que celui de B2.

A titre de comparaison des EMT des deux bétons, on peut constater que les deux bétons ne dépassent pas les seuils N1 et N2 (Figure 2). Les deux bétons ne présentent pas un danger sur l'environnement en cas d'immersion en mer.

Eléments traces	Concentration totale en mg/kg de matériau sec				
	B1	B2	SB	Niveau N1	Niveau N2
As	7,9	9,92	18,3	25	50
Hg	-	-	0,5	0,4	0,8
Cd	<4	<4	1	1,2	2,4
Cr	39,3	39,04	61	90	180
Cu	33,3	41,61	106,7	45	90
Ni	17,0	17,8	17	37	74
Pb	29,1	42,56	286,7	100	200
Zn	65	79,46	333,3	276	552

Tableau 3: Teneurs en EMT du sédiment brut et B1 et B2

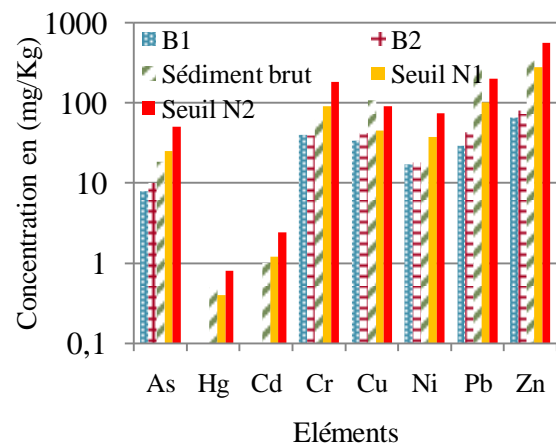


Figure 2: Teneurs en éléments métalliques traces du sédiment brut et B1 et B2

3. COMPARAISON DES RESULTATS DE LIXIVIATION DU SEDIMENT BRUT ET DES BETONS B1 ET B2 AVEC LA LEGISLATION SUR LE STOCKAGE DES DECHETS

L'étude de l'impact environnemental du sédiment brut (SB) et des bétons B1 et B2 a été évalué à partir d'essai de lixiviation selon la norme NF EN 12457-2 sur un matériau broyé et comparé par la suite à la législation pour la mise en décharge des déchets. Les résultats du sédiment brut (SB) ont été obtenus lors d'une campagne d'essai en 2010 avant la réalisation des blocs béton. D'après les résultats obtenus sur le SB, on remarque que les taux de relargage des EMT sont inférieurs aux seuils de mise en décharge des déchets inertes sauf pour les chlorures et les sulfates (Tableau 4).

Les résultats sur éluats des bétons B1 et B2 nous indiquent que les EMT sont très inférieurs aux seuils définis par la réglementation de stockage des déchets (Figure 3). Ceci montre que les bétons B1 et B2 ne présentent pas un effet négatif sur l'environnement. On peut voir que le relargage des EMT des deux bétons reste inférieurs à celui du SB, une diminution significative au niveau des chlorures et sulfates a été constaté, comme nous l'avons constaté au cours de l'analyse de contenu total, cette diminution est fortement due à un traitement réalisé sur les SB avant d'être incorporé dans le béton. La comparaison des taux de relargage des EMT des éluats des bétons B1 et B2 avec les concentrations totales du contenu montre que le béton ne relargue pas toute la quantité de concentration. Le relargage des éléments organiques est quasiment faible par rapport au contenu total.

Eléments traces	Concentration totale en mg/kg de matériau sec			
	BSB1	BSB2	SB	Déchets inertes
As	<0,1	<0,1	0,22	0,5
Ba	9,88	14,7	0,11	20
Cd	<0,04	<0,04	0,01	0,04
Cr	<0,1	<0,1	0,05	0,5
Cu	<0,1	<0,1	0,05	2
Mo	<0,1	<0,1	0,27	0,5
Ni	<0,1	<0,1	0,05	0,4
Pb	<0,1	<0,1	0,05	0,5
Sb	<0,1	<0,1	0,06	0,06
Se	<0,1	<0,1	0,05	0,1
Zn	<0,1	<0,1	0,06	4
Chlorure	680	515	22290	800
Sulfates	718	43	2544	1000

Tableau: Comparaison en teneurs en EMT du sédiment brut et B1 et B2 (essai de lixiviation)

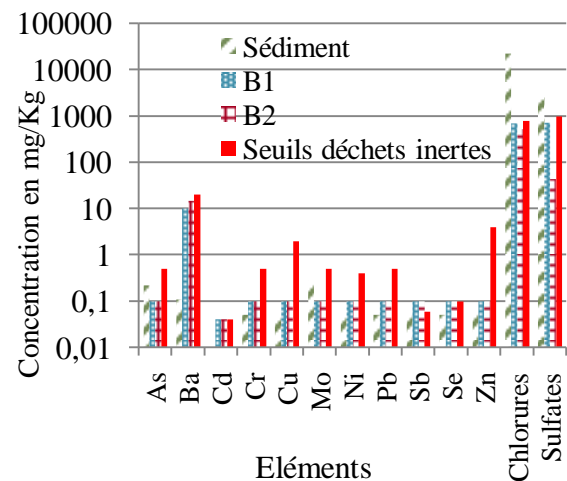


Figure 3: Comparaison en teneurs en EMT du sédiment brut et B1 et B2(essai de lixiviation)

La fabrication des blocs bétons à base de sédiment marin entraîne une encapsulation chimique (création de liaison entre les composants du béton) et physique (formation d'une barrière des composés chimiques). Les transferts vers le milieu naturel sont donc fortement limités voire inexistantes. Ce point est parfaitement illustré par les résultats obtenus lors des essais de lixiviation des carottes du béton B1 et B2.

4. ANALYSE DES PRELEVEMENTS D'EAU DU PIEZOMETRE DU BLOC BETON A BASE DE SEDIMENT MARIN

Le suivi in situ des eaux prélevés des piézomètres installés à coté des blocs béton a pour but de suivre les cinétiques de libération des contaminants avec le temps et ainsi d'étudier l'impact environnemental de l'utilisation de sédiments traités dans un scénario de valorisation en fabrication des bétons: les éléments présents dans les sédiments sont susceptibles d'être mobilisés après des évènements pluvieux et de représenter une potentielle source de contamination pour les eaux souterraines.

Le suivi des eaux prélevés des piézomètres a été réalisé sur une durée d'une année entière afin de considérer l'effet de chacune des saisons.



Le suivi environnemental a été effectué selon la méthodologie suivante :

1-Prélèvement d'eau du piézomètre des blocs béton à l'aide d'une pompe soupape;

2- Identification des échantillons (identifiant unique, la date et le lieu d'échantillonnage, la description de l'échantillon);

3-Stockage et transport des échantillons dans un dispositif de refroidissement pouvant maintenir une température comprise entre 2 °C et 8 °C;

Avec ou sans filtration, l'échantillon doit être de préférence analysé aussi tôt que possible après le prélèvement;

Analyse ICP au laboratoire des eaux de piézomètre prélevés.

Dans le cadre de suivi et d'évaluation environnementale des eaux des piézomètres, les résultats d'analyses seront comparés aux valeurs seuils de la qualité des eaux superficielles, utilisées ou destinées à la consommation humaine. Les valeurs sont bien définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R.1321-2,

R.1321-3, R.1321-7 et R.1321-38 du code santé publique selon la synthèse de la réglementation publiée par le ministère de l'Ecologie et du Développement durable au 1er Décembre 2011.

Le suivi hebdomadaire sur une durée d'un an des eaux de piézomètre des blocs bétons a montré que les éléments métalliques sont stables, sauf pour l'arsenic qui présente une concentration élevée au début de suivi, mais il s'est stabilisé au cours du temps.

CONCLUSION

L'évaluation environnementale a été réalisée afin de valider le scénario de valorisation des sédiments dans le béton. L'objectif de cette évaluation est de déterminer le relargage des métaux lourds contenus dans les deux types de béton à base de sédiment marin et évaluer si les sédiments incorporés ont un effet sur la qualité des bétons et sur l'environnement. D'après les analyses réalisées sur les deux types de béton, nous avons montré que le taux de relargage est inférieur aux seuils définis par la réglementation GEODE et la législation de stockage des déchets. Les bétons à base de sédiments ne présentent pas un effet négatif sur l'environnement. Puisque les bétons seront destinés à être immergés dans mer, des analyses de lixiviation à l'eau de mer feront l'objet d'une recommandation et perspectives.

REFERENCES

- [1] CETMEF, 2010 : Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales « Enquête dragage 2008 analyse des données ».
- [2] EPA : United States Environmental Protection Agency en ligne site : <http://epa.gov/OST/cs/aboutcs/overview.html> , October 1999.
- [3] Mac Farlane F., 2004 : « Méthodologie de gestion des matériaux de dragage maritime – Application au Port Autonome de Dunkerque », Thèse doctorat, Université d'Artois, 244p
- [4] Grégoire P., 2004 : « Modèle conceptuel d'aide à la décision multicritère pour le choix négocié d'un scénario de dragage maritime », Thèse de Doctorat, Université d'Artois, 281 pages.
- [5] Dia M., 2013 : « Traitement et valorisation de sédiments de dragage en technique routière » Thèse de Doctorat, Ecole des mines de Douai, 169 pages.
- [6] Tribout C et al, 2011: « Use of treated dredged sediments as road base materials: environmental assessment » Waste biomass Val (2011)2 : 337-346.
- [7] ACHOUR et al., 2014: « Valorization of unauthorized sea disposal dredged sediments as a road foundation material » Environmental technology
- [8] Brakni. S, 2008 : « Première approche vers une valorisation de granulats artificiels à base de sédiments de dragage ». Thèse de doctorat, Ecole des mines de Douai, 182 pages.
- [9] Zri A., 2010 : « Mise en place d'une nouvelle approche de formulation d'une matrice cimentaire à base de sable de dragage : application aux bétons de sables et de granulats », Mines de Douai, 223 pages.
- [10] Mezencevova et al., Utilization of savannah harbor river sediment as the primary raw material in production of fired brick, journal of Environmental Management 113 (2012) 128-136.
- [11] NF ISO 11466, Juin 1995 : « Qualité du sol : Extraction des éléments en traces solubles dans l'eau régale.
- [12] ACHOUR Raouf « Valorisation et caractérisation de la durabilité d'un matériau routier et d'un béton à base de sédiment de dragage » Thèse de Doctorat, Ecole des mines de Douai et université de Sherbrooke, 169 pages.