

La construction d'une route à base de sédiments marins en préservant les exigences qualitatives
Christophe Priez

RÉSUMÉ

La problématique du Grand port maritime de Dunkerque peut se résumer de la manière suivante :

- L'accumulation des sédiments provoque la diminution du tirant d'eau nécessaire à la navigation
- Développer des filières de traitement, de stockage et de valorisation.

Pour la résoudre, un des axes de recherche sur les sédiments marins a débuté en 2002 avec la création d'un groupe de travail avec le Grand Port Maritime de Dunkerque, Université d'Artois, la démarche PREDIS, l'université de SHERBROOKE et Mines Douai.

Colas a dans le cadre de la réalisation d'un plot routier en 2005, eu la responsabilité des essais et analyses de la tenue mécanique de la chaussée ainsi que pour son impact sur la pollution des sols et sous-sols.

7 années après, les sédiments, dragués et lagunés, ont été utilisés en tant que matériaux en couche d'assise en technique routière dans le cadre de la reconstruction de la route du Freycinet 12 à Dunkerque.

Le travail a permis de démontrer la possibilité technique de construire une route à base de sédiments marins en préservant les exigences qualitatives (suivi sur trois ans), et a démontré également que le degré de pollution pouvait être réduit par inertage de la fraction lixiviable dans la structure et ainsi diminuer la part relargable des polluants dans le sous-sol (suivi sur un an).

A ce jour, la route du Freycinet 12 a gardé toute son intégrité mécanique, et aucun impact sur la qualité des eaux traversant la chaussée n'a été démontré.

***Mots clés :** sédiments, valorisation, technique routière, tenue mécanique, intégrité.*

1. Mise en contexte

Situé sur la mer du Nord, à 10 km de la Belgique, le Grand Port Maritime de Dunkerque (GPMD) est un port côtier de haute mer, il se situe sur une zone de trafics maritimes qui franchissent le détroit du Pas de Calais sur la route maritime la plus fréquentée du monde avec près de 600 navires par jour.

Le site s'étend sur 17 km de front de mer et accueille de nombreuses industries dans les secteurs de la sidérurgie, la métallurgie, l'énergie et la chimie. Afin de maintenir le tirant d'eau pour la navigation des bateaux, des opérations de dragage sont nécessaires. Le GPMD, au travers de sa politique de dragage, s'est imposé le non relargage en mer des sédiments ayant des caractéristiques physicochimiques supérieures au seuil N1. Ce seuil est issu du référentiel estuarien pour lequel il existe deux niveaux. En milieu marin et estuarien, le référentiel français est précisé par l'arrêté du 23 décembre 2009. Cet arrêté indique deux seuils (N1 et N2) pour les teneurs chimiques (Métaux et PCB), seuils proposés par le groupe GEODE, qui ont été établis par la France dans le cadre de la convention OSPAR, ils visent les opérations de dragages et d'immersion.

Au regard des volumes concernés, la gestion des sédiments est un enjeu important, car chaque année, quelque 4 Mm³ sont dragués et gérés par le port, que ce soit en mer ou à terre.

Le parti pris de ne pas reclipser en mer des sédiments supérieurs au seuil N1 a amené le GPMD à mener une politique déclinée en plusieurs thématiques dont celle qui concerne les filières de gestion des sédiments.

2. Besoins des propriétaires de sédiment

Les besoins des propriétaires de sédiments sont de trouver et développer des filières de valorisation des sédiments non immergeables, car seuls les sédiments sains sont immergés en mer tandis que les sables sont valorisés au travers des opérations de reconstitution du trait de côte.

De part cette approche, plusieurs filières innovantes de valorisation des sédiments non immergeables ont été étudiées par le GPMD dans le cadre de la démarche nationale Sédimateriaux comme : La fabrication de béton, modelé paysager, et l'utilisation en techniques routières.

3. Intérêt pour l'entreprise

Les entreprises se sont intéressées depuis très longtemps à l'utilisation de produits alternatifs, les activités industrielles, passées et actuelles, ont généré des sous-produits comme les Schistes (matériau naturel), les Cendres volantes (matériau artificiel), et les Laitiers de Haut-Fourneau (matériau artificiel), dans une région

Nord Pas de Calais offrant peu de matériaux rocheux, ceux-ci ont été et sont encore (comme le laitier et les cendres volantes) considérés comme un véritable gisement et, en définitive, une véritable chance.

Nous pouvons faire aisément le parallèle avec les sédiments marins, ils pourront sans doute devenir dans plusieurs années une nouvelle source de matière, mais pour le moment, nous sommes plutôt dans une démarche de recherche de filière de valorisation pour répondre à la problématique du GPMD à savoir la gestion à terre des sédiments marins pollués ou non.

La transformation d'un déchet en produit permettra aux sédiments de sortir de son statut de déchet et ainsi rendre la filière de valorisation totalement légitime.

Une entreprise de construction d'ouvrage routier y trouve en toute évidence son intérêt, construire une route à base d'un matériau non conventionnel représente une source d'une nouvelle démarche de développement économique, car il n'y pas de philanthropie dans le mode difficile des travaux publics.

La réussite du premier prototype routier réalisé en 2005 a permis au GPMD de lancer une démarche de gestion à grande échelle des sédiments à terre, une nouvelle opportunité pour la société Yan Denul qui réalisera pour le compte du GPMD des bassins de lagunage permettant d'associer un système de gestion efficace techniquement à un bilan économique satisfaisant. Ces sédiments sont déshydratés jusqu'à ce qu'il soit pelletables (siccité de l'ordre de 70%), ils furent destinés dans un premier temps à la réalisation de buttes paysagères et un long processus d'analyse environnementale a été lancé en parallèle en utilisant le classement des déchets en dangerosité dans le contexte réglementaire du côté de l'environnement (selon les critères H1-H15). Ce n'est malheureusement que 7 ans après, que fut réalisée la première route circulée à partir de matériaux provenant des opérations de dragage maritime.

Près de 95% des matériaux constituant la couche structurelle proviennent de ces opérations de dragage (65% de sable de dragage et 30% de sédiments pollués).

Que ce soit du point de vue mécanique ou du point de vue environnemental, cet ouvrage routier a répondu à toutes les attentes.

Fort de cette réussite, le retour d'expérience devrait permettre aux diverses entreprises de travaux publics de proposer ce type de technique en construction routière.

Pour synthétiser, ce type de technique permettra aux entreprises de répondre à la problématique de la gestion à terre des sédiments, tout en garantissant la pérennité des ouvrages construits du point de vue mécanique et du point de vue environnemental.

Ainsi les législateurs pourront porter le statut de déchets des sédiments à un statut de produit, point de passage indispensable permettant sa commercialisation à grande échelle.

4. Caractérisation des sédiments marins du GPMD

4.1. Introduction

Une carte d'identité est réalisée en 2005, par Mr Vincent Dubois dans le cadre de sa thèse sur la valorisation des sédiments, dont l'objectif était de formuler des mélanges de matériaux dans le cadre d'une possible utilisation dans le domaine routier. La caractérisation physico-chimique, environnementale et minéralogique ont permis de définir l'aspect Physico-chimique et les principaux minéraux présents ainsi que le taux de pollution du sédiment marin.

4.2. Résultats de la caractérisation physique des sédiments marins

Pour une classification selon le Guide des Terrassements Routier [GTR, 2000], les paramètres d'entrées sont, illustré dans la Figure 1. Ce graphique représente essentiellement les caractéristiques physiques du matériau. Ces paramètres sont la granulométrie, l'activité argileuse et la plasticité du matériau.

Le sédiment est principalement composé d'une fraction sableuse, d'une fraction argileuse, de matières organiques et de sels.

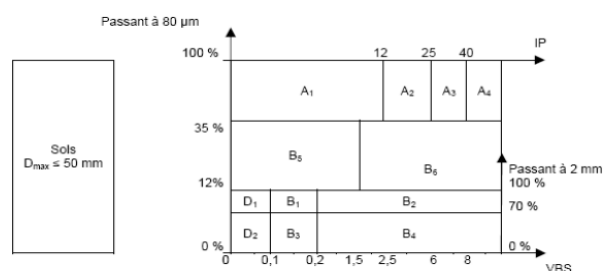


Figure 1: Classification GTR, 2000

- La teneur en eau est comprise entre 100 et 300 %, et souvent supérieure à leur limite de liquidité, cela leur donne l'apparence d'une boue ou d'une vase.

- La granulométrie de ces matériaux, à l'exception de quelques sédiments sableux, montre une forte dominance de la fraction inférieure à 80 µm .
- De plus, les indices de plasticité IP sont généralement supérieurs à 12.
- Il est également important de signaler que les sédiments marins présentent un taux non négligeable de matière organique [($>3\%$, seuil de valorisation en couche de forme selon le [GTR 2000)]

4.3. Résultats d'analyse chimique

Les résultats des analyses réalisées sur les lixiviats des sédiments [Tableau 1] sont comparés aux valeurs guides définies par la Décision n° 2003/33/CE du 19/12/02 qui établit des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges, conformément à l'article 16 et à l'annexe II de la directive 1999/31/CE [Tableau 3].

Substance	Unité	Seuils Déchets inertes	Seuils Déchets non dangereux	Seuils Déchets dangereux
Arsenic (As)	mg/kg ms	0,5	2	25
Barium (Ba)	mg/kg ms	20	100	300
Cadmium (Cd)	mg/kg ms	0,04	1	5
Chrome total (Cr)	mg/kg ms	0,5	10	70
Cuivre (Cu)	mg/kg ms	2	50	100
Mercuré (Hg)	mg/kg ms	0,01	0,2	2
Molybdène (Mo)	mg/kg ms	0,5	10	30
Nickel (Ni)	mg/kg ms	0,4	10	40
Plomb (Pb)	mg/kg ms	0,5	10	50
Antimoine (Sb)	mg/kg ms	0,06	0,7	5
Sélénium (Se)	mg/kg ms	0,1	0,5	7
Zinc (Zn)	mg/kg ms	4	50	200
Chlorure	mg/kg ms	800	15000	25000
Fluorure	mg/kg ms	10	150	500
Sulfates	mg/kg ms	1000 (*)	20000	50000
Indice phénol	mg/kg ms	1		
COT sur éluat	mg/kg ms	500 (*)	800 (*)	1000 (*)
Fraction soluble (FS)	mg/kg ms	4000 (*)	60000 (*)	100000 (*)

(*) ajustements possibles (cf arrêtés correspondants)

Tableau 1: Seuils déchets inertes, non dangereux et dangereux

Les résultats de lixiviation permettent de classer le sédiment en déchet non inerte et non dangereux, les concentrations en chlorure et en Sulfate étant nettement supérieures aux valeurs limites d'admission en déchet inerte.

5. Description du site de traitement à terre

En 2007, le GPMD a lancé un appel d'offre de dragages et de traitement des sédiments en vue d'une valorisation à terre à grande échelle.

La division environnement « ENVISAN » filiale de la société Hollandaise « Jan De Nul », leader dans le domaine du dragage maritime a été adjudicataire de cet appel d'offre.

Il s'agissait de procurer une technique de traitement qui soit capable de s'adapter aux cadences et aux matériels de dragages tout en offrant un maximum de possibilité de valorisation.

ENVISAN a donc proposé une technique de traitement par mise en dépôt et déshydratation naturelle par lagunage actif (retournement mécanique en andains).

Sur 7 Hectares, trois lagunes de déshydratation [Figure 2] ont été réalisées d'une capacité totale de 22000 tonnes de matières sèches et permettant de traiter 50000 m³ de sédiments par an. Les matériaux ainsi déshydratés deviennent alors valorisables.



Figure 2 : Trois bassins de décantation au GPMD

5.2. Bilan du traitement :

La durée entre l'opération de dragage et la mise à disposition des sédiments pour une revalorisation potentielle est de l'ordre de 6 mois à 7 mois.

Le volume traité à chaque opération est de l'ordre de 50000 m³ avec une mise à disposition finale d'environ 22000 tonnes de matériaux.

La teneur en eau finale est de l'ordre de 40% (70% de siccité).

Les bassins en vue aérienne après formation des andains [Figure 3].



Figure 3 : Bassins de décantation

6. Réalisation de la route Freycinet 12

6.1 Introduction

L'objectif de la présente étude est de qualifier l'influence de l'utilisation de sédiments traités aux liants hydrauliques sur la mise en œuvre, sur le comportement mécanique et tenter de mesurer l'impact environnemental.

Dans le cadre de leur utilisation en technique routière, un niveau de siccité compris entre 60 et 70 % a permis d'incorporer environ 30% de sédiments dans le mélange traité au liant hydraulique.

Il faut également préciser que ce taux d'incorporation n'a pu être dépassé car il est limité par le niveau de siccité maximal que l'on peut obtenir par la technique de déshydratation employée.

Des études en laboratoire ont été réalisées afin de vérifier les caractéristiques mécaniques des sédiments marins traités afin de pouvoir valider les hypothèses de dimensionnement retenues pour les structures de chaussées.

Un matériau correcteur (sable de dragage) a été mélangé aux sédiments marins pour améliorer les performances mécaniques et les rendre pérennes dans le temps.

Fig 4 : Solution initiale du marché; Fig 5 : Solution variante à base de sédiments marins.

Les épaisseurs structurales ont été réduites de 15% tout en respectant les contraintes mécaniques ainsi que la protection thermique.

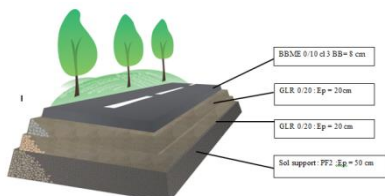


Figure 4 : Structure solution de base

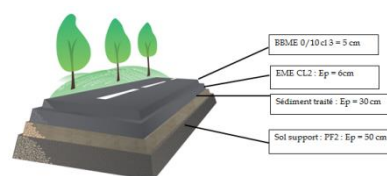


Figure 5 : structure solution variante

6.2 Bilan performantiel

Performance mécanique des matériaux traités

Un comparatif des performances mécaniques a été réalisé entre les résultats de l'étude de 2009, les résultats issus de l'étude de février 2012 et ceux obtenus à partir des prélèvements chantier.

Des carottages et des mesures de résistances mécaniques (Rt et E) ont été réalisés à **trois ans** et comparées aux valeurs d'études. Les résultats d'études sont présentés dans le Tableau 53

		Rtd et Module (NF EN 13286-42 et NF EN 13246-43)					
		Rtd (mpa)			Module (Etd)		
Campagne		2009	2012	2012 chantier	2009	2012	2012 chantier
Échéance	60 j	0.503	0.458	0.488	9874	9002	13772
	180 j	0.619	0.531	0.674	10715	8048	13379
	360 j	0.780	0.562	0.897	13949	9774	12257

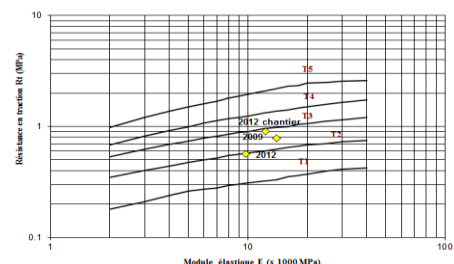


Tableau 1 : Résultats Rt et E des mélanges 2009, 2012 et 2012 chantier

Les résultats des études de formulation permettent de valider leur reproductibilité au travers d'une filière de traitement utilisant un processus de transformation identique, l'état initial des sédiments au moment de la réalisation des études est fondamental.

Le comportement mécanique de la structure au travers du suivi performantiel déterminé par les mesures de déflexion est en parfaite adéquation avec les études de formulation.

Le processus de construction d'une route à base de sédiments marin (choix des matériaux, mélange, compactage et mise en œuvre) mis au point dans le cadre de la construction de la route du Freycinet 12 peut être validé.

7. Bilan environnemental

7.1 Bilan des mesures de lixiviation

Un suivi des valeurs de lixiviation a été réalisé sur trois ans, à la fois sur monolithe (pratique hollandaise) et sur éléments broyés (norme Française).

Quantité relarguée cumulée à L/S=10/kg (essai de lixiviation NF EN 12 457-2 ou NF 12 457-4)										
Éléments	Valeur en mg/kg de matière sèche T0				Valeurs à respecter pour au moins 80% des échantillons	Valeur en mg/kg de matière Mélangée Sédiments traités				
	Sédiments brut 2011	Sédiments brut 2012	Sédiments mélange 70/30 2011	Sédiments mélange 70/30 2012		2012 éprouvette Labo Monolith 90 jours	2012 Carottage chantier Monolith 180 jours	2012 Carottage chantier Broyé 60 jours	2012 Carottage chantier Broyé 450 jours	2012 Carottage chantier Broyé 3 ans
As	<0.3	<0.3	<0.3	<0.300	0.5	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	< 0.05
Ba	0.53	0.9	0.07	0.351	20	0.2	0.68	5.7	1.845	1.68
Cd	<0.03	<0.03	<0.03	<0.030	0.04	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	< 0.002
Cr	0.39	0.08	0.33	<0.080	0.5	< 0.08	< 0.08	< 0.08	0.17	< 0.01
Cu	0.43	<0.25	<0.25	0.489	2	0.335	<0.25	1.82	1.21	1.42
Hg	0.024	0.01	<0.07	<0.010	0.01	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-
Mo	0.69	1.06	0.67	<0.300	0.5	< 0.3	<0.3	<0.3	<0.3	< 0.28
Ni	0.32	<0.2	0.32	<0.200	0.4	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	< 0.16
Pb	<0.2	<0.2	<0.2	<0.200	0.5	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	< 0.04
Sb	0.15	<0.02	0.19	<0.020	0.06	< 0.02	< 0.02	< 0.06	< 0.02	< 0.03
Se	<0.08	<0.08	<0.38	<0.080	0.1	<0.08	<0.08	< 0.1	<0.08	< 0.08
Zn	1.73	0.471	<0.02	0.0207	4	< 0.02	< 0.02	< 0.1	< 0.02	< 0.37
Fluorure	x	18.033	x	<10	10	<10	<10	<10	<10	
Chlorure	10696	16509	17203	x	800	1735	16	1213	1271	1392.00
Sulfate	3857	5696	887	x	1000	111	<2.5	228	<2.5	702.00
F.S	30000	51118	30000	6800	4000	3895	1705	34000	8640	753.00

Tableau3 : Résultats d'analyse de lixiviation

Bilan

Concernant les lixiviats sur Monolithe, il est constaté une diminution du relargage du chlorure, du sulfate et de la fraction soluble (rapport de 2 à minima), cela met en évidence l'efficacité du traitement aux regards de la quantité de polluants relargués.

Sur Eléments broyés, le seuil concernant le chlorure est très légèrement dépassé sur l'ensemble de la période des trois ans (valeur stable dans le temps) tandis que la valeur sur la fraction soluble a évolué significativement sur la période des trois ans pour atteindre un seuil nettement inférieure à 4000 mg/l.

Le sédiment ainsi traité peut être classé déchet inerte à une échéance de trois ans, la valeur obtenue sur la fraction soluble prenant le pas sur la valeur de chlorure.

Ces résultats apportent un nouvel éclairage sur l'impact d'un traitement au liant hydraulique, et devraient permettre de faire bouger les lignes concernant l'acceptation de ce processus de valorisation, nous pourrions alors parler d'encapsulation de polluant et non plus d'inertage.

Bilan du plot environnemental

L'objet d'une étude d'impact sur l'environnement de la route est d'identifier, d'évaluer et de mesurer les effets directs et indirects à court, moyen et long terme.

Mesures à suivre pour	Paramètres à suivre	Lieu	Moyen de Mesure	Fréquence des mesures
Route à base de sédiment	Qualité des eaux de la cuve	Route du Freycinet 12 à Dunkerque	Équipement et Méthode de prélèvement et d'analyse	Une mesure par mois pour l'eau de la cuve et du Piezomètre durant un an
	Qualité des eaux du Piezomètre			
	Qualité d'eau lixiviée des carottes prélevées de la route			60 jours et 360 jours sur les carottes

Tableau4 : Description des mesures à réaliser pour la route Freycinet 12

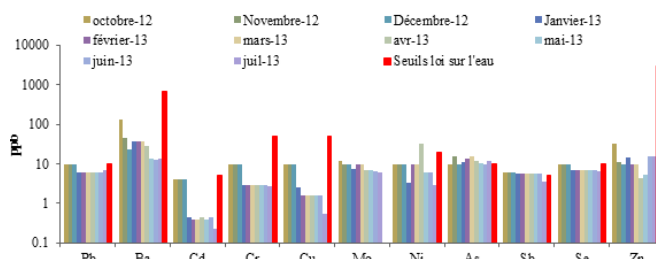


Figure 6 : Résultats d'analyse environnementale d'eau du piézomètre de la route Freycinet 12

Sur le Piézomètre, les résultats montrent clairement que les métaux lourds sont inférieurs au seuil A1 de la loi sur l'eau (A1 : Traitement physique simple et désinfection (l'arrêté du 11 janvier 2007), de même pour les valeurs de chlorure et de Sulfate.

Les éléments tendent à montrer que la présence de la route n'a pas eu d'influence sur le milieu environnant, ce qui tout à fait cohérent au regard de l'absence de relargage de polluant sur les monolithes issus des campagnes de carottage sur la première année.

8. Conclusions et perspectives

Conclusions

La possibilité de valoriser des sédiments marins non immergeables du Grand port Maritime de Dunkerque en technique routière a été démontrée au travers de l'ensemble des expérimentations menées, que ce soit du point de vue mécanique mais aussi environnemental.

L'utilisation des sédiments traités a permis d'obtenir un gain sur les épaisseurs structurelles de l'ordre de 15% à 20% à performances égales.

Un suivi des performances mécaniques a été réalisé sur trois ans et à ce jour la structure garde toute son intégrité. Concernant l'aspect environnemental, le guide d'acceptabilité environnementale des matériaux alternatifs en technique routière a été utilisé en tant que document de référence.

Les essais de lixiviations sur les sédiments bruts, classent celui-ci en matériau non inerte et non dangereux, le traitement réalisé avec un liant hydraulique d'inertage, que nous pourrions appeler liant d'encapsulation, a permis de classer le mélange traité en déchet inerte en prenant en compte les essais de lixiviation sur élément broyé à trois ans.

Les essais de lixiviation réalisés à trois ans sur élément broyé démontrent le caractère inerte du mélange.

Concernant l'ouvrage routier ainsi construit, Les éléments tendent à montrer que la présence de la route n'a pas eu d'influence sur le milieu environnant, ce qui est tout à fait cohérent au regard de l'absence de relargage de polluant sur les monolithes issus des campagnes de carottage.

Les perspectives

Il a été démontré la durabilité de la structure routière constituée de sédiments marins sur le moyen terme, et l'ensemble des mesures réalisées sur plus de trois ans tendent à démontrer la pérennité de l'ouvrage.

Le second concerne le volet économique, car même s'il a été démontré que l'utilisation de ce type de matériau permettait de réduire les épaisseurs des couches d'assise, il est nécessaire de préciser que le traitement de ce « déchet » a un coût financier non négligeable.

Le prix de la mise en décharge en ISDND d'un déchet inerte non dangereux est de l'ordre de 70€ la tonne, la prise en compte en valeur négative de ce droit de décharge permettrait de présenter la technique comme étant très rentable et cette démarche pourrait parfaitement s'inscrire dans le cadre de l'économie circulaire,

Il serait alors possible de présenter cette technique de traitement comme étant une véritable filière de valorisation qui éviterait la mise en décharge définitive

Un équilibre économique à trouver et des volontés politiques à promouvoir si on veut que cette expérience ne reste pas orpheline. C'est un bon début mais la route du succès est encore longue

Bien sûr d'autre recherche sont à ce jour menées, comme l'utilisation de sédiments dans des coulis, dans les bétons en substitution des matériaux naturels ou en substitution d'une partie du ciment.

Et très récemment des recherches sont développées vers la création de granulats artificiels, filière qui pourrait parfaitement répondre à la problématique de l'érosion des façades maritimes tout en protégeant nos ressources de matériaux naturels.

8. Remerciement

Je souhaite adresser mes remerciements aux nombreuses personnes qui m'ont permis de réaliser ce document, et plus particulièrement : D.DESMOULIN, M.BOURDON, J. HAMON, C.RAYNAUD, Ecole des Mines de Douai, P.GREGOIRE, R.ACHOUR, le Groupe CRH.