

# **Valorisation des sédiments de dragage en béton**

*Guide méthodologique*

**Version avril 2014**

**Comité de rédaction :**

Nor-Edine ABRIAK (Ecole des Mines de Douai)  
Raouf ACHOUR (Ecole des Mines de Douai)  
Samira BRAKNI (CD2E)  
Rachid ZENTAR (Ecole des Mines de Douai)  
BENZERZOUR (Ecole des Mines de Douai)  
Patrice RIVARD (Université de Sherbrooke)

**Comité de lecture :**

Groupe D'Experts Scientifiques de Sédimentaires (GES)  
Gaëlle MESMACQUES (DREAL Nord Pas de Calais)  
Patrice MAUREL (Conseil Régional Nord Pas de Calais)  
Samira BRAKNI (CD2E)  
Denis DAMIDOT (Ecole des Mines de Douai)

**Crédit photographique :**

CD2E, Ecoles des Mines de Douai

**Coordination et diffusion :**



**Partenaires de la démarche Sédimentaires :**



**Financeurs de la démarche Sédimentaires :**



## Sommaire

<b>LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS .....</b>	<b>4</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>6</b>
<b>AVANT-PROPOS .....</b>	<b>7</b>
<b>1. PROBLEMATIQUE DES SEDIMENTS PORTUAIRES .....</b>	<b>8</b>
<b>2. CARACTERISATION INITIALE DES SEDIMENTS .....</b>	<b>9</b>
2.1. REFERENTIEL « LOI SUR L'EAU » .....	9
2.2. REFERENTIEL « LOI SUR LES DECHETS » .....	10
2.2.1. <i>Evaluation du caractère inerte/non inerte</i> .....	10
2.2.2. <i>Evaluation du caractère dangereux</i> .....	12
2.3. REFERENTIEL « SEDIMATERIAUX » .....	14
2.3.1. <i>Caractéristiques des sédiments bruts</i> .....	15
<b>3. UTILISATION DES SEDIMENTS DE DRAGAGE EN BETON .....</b>	<b>17</b>
3.1. CONTEXTE .....	17
3.2. UTILISATION DU BETON A BASE DE SEDIMENT ENVISAGEABLES .....	18
3.3. VALORISATION DES SEDIMENTS EN FABRICATION DE BETON .....	18
3.3.1 <i>Généralités sur les bétons</i> .....	18
3.3.2 <i>Constituants du béton</i> .....	20
3.3.3 <i>Formulation de bétons à base de sédiment</i> .....	21
<b>4. REALISATION D'UN PROTOTYPE D'OUVRAGE .....</b>	<b>21</b>
4. 1. STOCKAGE A TERRE .....	22
4.1.1 <i>Objectif</i> .....	22
4.1.2 <i>Contexte réglementaire</i> .....	22
4.2. ÉTUDE D'IMPACT PREALABLE A LA REALISATION DU PROJET DE VALORISATION.....	23
4.2.1 <i>Contexte réglementaire</i> .....	23
4.2.2 <i>Caractérisation de l'état initial du milieu récepteur</i> .....	24
4.2.3 <i>Evaluation des risques sanitaires</i> .....	24
4.2.4 <i>Evaluation des risques écologiques</i> .....	25
4.3 MISE EN ŒUVRE DES PROTOTYPES DE BLOCS DE BETON A BASE DE SEDIMENTS MARINS.....	25
4.3.1 <i>Conception des prototypes de bloc béton à base de sédiment marin : Exemple du Grand Port Maritime de Dunkerque</i> .....	25
4.3.2 <i>Méthodologie pour caractériser les bétons et évaluer leur durabilité</i> .....	27
4.3.3 <i>Méthodologies d'étude de caractérisation et de durabilité des bétons à base de sédiment</i> .....	28
4.3.4 <i>Suivi environnemental</i> .....	29
<b>5. SYNOPTIQUE DE LA DEMARCHE METHODOLOGIQUE .....</b>	<b>32</b>
<b>6. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>34</b>

## Liste des sigles et abréviations

*CETMEF* : Centre d'étude technique maritime et fluvial, le *CETMEF* a fusionné avec d'autres organismes dont le *SETRA* pour former le *CEREMA* (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) depuis le 1<sup>er</sup> Janvier 2014

*COD* : Carbone organique dissous

*COT* : Carbone organique total

*DCE* : Directive cadre sur l'eau

*DRX* : Diffraction des rayons X

*E* : module d'élasticité

*GPMD* : Grand Port Maritime de Dunkerque

*H14* : Critère de danger relatif à l'écotoxicité d'un déchet

*HAP* : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

*ICPE* : Installations Classées pour la protection de l'environnement

*INERIS* : L'institut national de l'environnement industriel et des risques

*ISDI* : Installation de stockage des déchets inertes

*N1* : Niveau 1

*N2* : Niveau 2

*NQE* : Normes de qualité environnementale

*PCB* : Polychlorobiphényles

*Rc* : Résistance en compression simple

*Rt* : Résistance en traction directe

*SDAGE* : Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux

*SETRA* : Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements

*TBT* : Tributylétain

## Liste des figures

<i>Figure 1. Protocole d'évaluation de la propriété de danger H14 pour les sédiments marins et fluviaux (Mouvet, 2012).....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 2. Observations d'un sédiment marin au microscope électronique à balayage : électrons rétrodiffusés sur section polie à gauche et électrons secondaires sur grain à droite (Achour, 2013).....</i>	<i>16</i>
<b>Figure 3: Position des futurs blocs de béton à base de sédiment marin [Achour, 2013].....</b>	<b>26</b>
<b>Figure 4: Campagne de carottage sur deux blocs de béton intégrant du sédiment marin [Achour, 2013] .....</b>	<b>27</b>
<i>Figure 5 : Diagramme du programme expérimental d'étude de durabilité des bétons non armés intégrant le sédiment de dragage : les essais de durabilité seront réalisés en fonction de la classe environnementale du béton sachant que d'autres essais peuvent également être ajoutés [Achour, 2013].....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 6. Prélèvements d'eau au niveau du piézomètre (Achour, 2013). (1) Piézomètre, (2) Echantillon prélevé, (3) Conditionnement des échantillons.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 7. Méthodologie de valorisation des sédiments de dragage en fabrication du béton.....</i>	<i>33</i>

## Liste des tableaux

<i>Tableau 1. Voies de gestion les plus utilisées pour les sédiments dragués sur le territoire national (CETMEF, 2012).....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 2. Niveaux de références de l'arrêté du 9 août 2006 .....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 3. Niveaux de référence des arrêtés du 23 décembre 2009 (TBT) et 08 février 2013 (HAP).....</i>	<i>10</i>
<i>Tableau 4. Seuils de lixiviation relatifs à l'acceptabilité des déchets aux installations de stockage de déchets inertes.....</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 5. Valeurs seuil sur déchet brut fixées par l'arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes. ....</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 6. Critères de danger à prendre en compte lors de l'évaluation de la dangerosité des sédiments. ....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 7. Analyses physiques à réaliser sur les sédiments bruts .....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 8. Seuils de lixiviation relatifs à l'acceptabilité des déchets aux installations de stockage de déchets inertes.....</i>	<i>16</i>
<i>Tableau 9. Valeurs seuil sur déchet brut fixées par l'arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes. ....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 10. Rubriques potentielles visées par la nomenclature ICPE .....</i>	<i>23</i>

## **Avant-propos**

Le présent guide expose la réglementation en vigueur et les modalités sous lesquelles les sédiments de dragage peuvent être valorisés en fabrication du béton dans une optique de développement durable, de protection de l'environnement et des populations. Ce guide est issu des travaux de recherche menés par le Département Génie Civil et Environnemental (DGCE) de l'Ecole des Mines de Douai depuis plus de dix ans sur la thématique de valorisation des sédiments de dragage, et ceci en cohérence avec la réglementation nationale en vigueur sur la gestion à terre des sédiments de dragage et l'acceptabilité des matériaux alternatifs en fabrication des blocs bétons.

La méthodologie proposée est propre à l'Ecole des Mines de Douai et constitue une base de travail pour la construction d'un guide d'application relatif à l'étude de technique de fabrication du béton intégrant des sédiments de dragage ainsi que la durabilité de ce nouveau type du béton. Les modalités de la démarche décrite dans le présent guide pourront être revues en fonction des retours d'expériences reçus au niveau national et international.

## 1. Problématique des sédiments portuaires

Les structures portuaires sont généralement composées de bassins présentant des taux de sédimentation particulièrement élevés et où il est indispensable de réaliser des opérations de dragage pour maintenir le tirant d'eau nécessaire à la navigation. Ces activités de dragage concernent les ports industriels et de commerce mais aussi les petites et moyennes structures portuaires dédiées aux activités de pêche ou de plaisance. Le plus gros volume de sédiments dragués au niveau national vient de la façade Manche Mer du Nord avec 16,7 millions de tonnes de matériaux en 2009. Viennent ensuite les façades Atlantique et Méditerranéenne avec respectivement 11,3 et 2,4 millions de tonnes de sédiments dragués pour l'année 2009 (CETMEF, 2012).

Selon les risques qu'ils présentent pour l'environnement, les sédiments dragués peuvent être soit orientés vers des filières de gestion maritimes ou terrestres. Au niveau national, l'immersion représente de très loin la principale voie utilisée pour l'évacuation des sédiments de dragage mais des nuances peuvent apparaître selon les façades maritimes comme le montre le Tableau 1 :

**Tableau 1. Voies de gestion les plus utilisées pour les sédiments dragués sur le territoire national (CETMEF, 2012)**

Voies de gestion	Manche	Atlantique	Méditerranée
<b>Immersion</b>	95,19	98,71	97,23
<b>Rechargement de plages</b>	0,07	1,11	1,06
<b>Dépôt à terre</b>	4,72	0,16	0,96
<b>Dépôt en mer</b>	-	0,02	0,75
<b>Autres filières*</b>	0,01	-	-

\*Dispersion des matériaux par injection d'eau, confinement, création de remblais, réutilisation en ouvrages et terre-pleins portuaires.

Ainsi, près de 96% des sédiments de dragage ont été immergés en 2009 au niveau des trois façades maritimes, ensuite c'est le dépôt à terre qui est surtout utilisé avec 4,72% sur la façade Manche-Mer du Nord. D'après l'étude du CETMEF (2012), les filières de valorisation restent largement minoritaires et le stockage à terre est la solution la plus utilisée. Quant aux autres voies de gestion, elles restent très peu exploitées sur l'ensemble des façades littorales (Tableau 1). Dans une logique de développement durable, les sédiments dragués devraient être rendus en priorité à leur milieu d'origine, c'est-à-dire immergés ou utilisés pour le rechargement de plages. Cependant, le renforcement des réglementations environnementales dans le domaine de l'immersion, du stockage à terre et de la mise en décharge des déchets, ainsi que les incitations réglementaires à la réutilisation des déchets, pose aujourd'hui la question de la définition de filières durables de valorisation des sédiments non immergeables.

C'est dans ce contexte que la démarche SEDIMATERIAUX se propose d'apporter des réponses adaptées à la problématique de gestion à terre des sédiments de dragage. La démarche a été initiée en 2009 par le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, le Conseil Régional Nord-Pas de Calais, La Préfecture Nord-Pas de Calais, le Cd2E et l'Ecole des Mines de Douai avec la signature d'une charte de préfiguration. Dans son contenu la démarche SEDIMATERIAUX comprend la réalisation, dans un cadre environnemental maîtrisé, de prototypes d'ouvrages opérationnels à une échelle limitée mais significative, intégrant des sédiments de dragage. L'étude de différentes filières de valorisation des sédiments de dragage (par exemple en technique routière, dans des blocs béton ou en éco-modelés paysagers) dans un cadre scientifique harmonisé permettra notamment de (i) proposer des outils opérationnels aux maîtres d'ouvrage pour la gestion



terrestre des sédiments, (ii) produire les données scientifiques nécessaires à l'évolution de la réglementation, et (iii) développer au niveau national de nouvelles filières de valorisation à terre des sédiments de dragage respectueuses de l'environnement.

Le présent document a pour objectif de présenter les différentes étapes de la méthodologie scientifique développée par l'Ecole des Mines de Douai pour la valorisation des sédiments portuaires en fabrication des blocs bétons à base de sédiments marins.

## 2. Caractérisation initiale des sédiments

L'étude de caractérisation vise à fournir des informations sur les propriétés physiques, chimiques, toxicologiques et mécaniques des sédiments à draguer. Les modalités de gestion à terre des sédiments de dragage et la sélection de la filière de valorisation dépendent essentiellement des résultats de cette étude.

### 2.1. Référentiel « Loi sur l'eau »

Le dragage et l'immersion des sédiments portuaires relève de la loi sur l'eau n° 92.3 du 3 janvier 1992 et des décrets et arrêtés pris pour son application. Ainsi, les seuils de référence à prendre en compte lors d'une analyse de sédiments portuaires sont définis par les arrêtés du 9 août 2006 (Eléments traces et PCB), du 23 décembre 2009 (TBT) et du 08 Février 2013 pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (Tableaux 2 et 3). Les seuils définis dans ces arrêtés (N1 et N2) caractérisent la qualité chimique du matériau et contribuent à déterminer, le cas échéant, la démarche à retenir en termes d'études et de solutions techniques. Ces seuils de qualité constituent également des points repères permettant d'orienter les sédiments vers une filière de gestion : l'immersion ou la gestion à terre en valorisation ou stockage/confinement définitif.

Tableau 2. Niveaux de références de l'arrêté du 9 août 2006

Polluants (mg/kg*)	Niveau 1	Niveau 2
<b>Arsenic (As)</b>	25	50
<b>Cadmium (Cd)</b>	1,2	2,4
<b>Chrome (Cr)</b>	90	180
<b>Cuivre (Cu)</b>	45	90
<b>Mercurure (Hg)</b>	0,4	0,8
<b>Nickel (Ni)</b>	37	74
<b>Plomb (Pb)</b>	100	200
<b>Zinc (Zn)</b>	276	552
<b>PCB congénère 28</b>	0,025	0,05
<b>PCB congénère 52</b>	0,025	0,05
<b>PCB congénère 101</b>	0,05	0,1
<b>PCB congénère 118</b>	0,025	0,05
<b>PCB congénère 138</b>	0,05	0,1
<b>PCB congénère 153</b>	0,05	0,1
<b>PCB congénère 180</b>	0,025	0,05
<b>PCB totaux</b>	0,5	1

\* en sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm

Tableau 3. Niveaux de référence des arrêtés du 23 décembre 2009 (TBT) et 08 février 2013 (HAP)

Polluants ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Niveau 1	Niveau 2
Tributylétain	100	400
Naphtalène	160	1130
Acénaphène	15	260
Acénaphthylène	40	340
Fluorène	20	280
Anthracène	85	590
Phénanthrène	240	870
Fluoranthène	600	2850
Pyrène	500	1500
Benzo[a]anthracène	260	930
Chrysène	380	1590
Benzo[b]fluoranthène	400	900
Benzo[k]fluoranthène	200	400
Benzo[a]pyrène	430	1015
Dibenzo[a,h]anthracène	60	160
Benzo[g,h,i]pérylène	1700	5650
Indéno[1,2,3-cd]pyrène	1700	5650

TBT : Tributylétain

Ainsi en fonction du niveau de contamination on distingue deux catégories de sédiments. Une première catégorie : les sédiments peu ou pas contaminés dont l'immersion dans le milieu d'origine est possible (N1). La seconde : les sédiments plus ou moins fortement contaminés qui posent des problèmes plus complexes (N2). Dans le cas où la contamination des sédiments est intermédiaire entre N1 et N2, les analyses chimiques seules ne permettent pas de juger du risque écologique que représente leur immersion. Dans ce cas de figure, il est nécessaire de réaliser une étude de risque complémentaire afin de sélectionner la filière de gestion la plus appropriée.

## 2.2. Référentiel « loi sur les déchets »

Les sédiments de dragage sont des sous-produits d'opérations de dragage qui visent à maintenir le tirant d'eau des bassins portuaires. Ces sédiments ne sont pas extraits du milieu aquatique pour être réutilisés à des fins particulières. Ainsi, dès lors que les sédiments sont extraits du milieu aquatique ils doivent être considérés comme des déchets et il est nécessaire d'apprécier ces matériaux au regard des catégories définissant les déchets, à savoir : déchets inertes, non inerte non dangereux, dangereux.

### 2.2.1. Evaluation du caractère inerte/non inerte

Le caractère inerte/non inerte du sédiment est systématiquement évalué à l'aide de tests de lixiviation réalisés suivant la norme NF EN 12457-2 (essai en bâchée unique avec un rapport liquide/solide de 10 l/kg). Outre les valeurs seuils de lixiviation relatives aux normes d'admission en décharge (Tableau 4), l'arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux critères d'acceptation en Installation de Stockage de Déchets Inertes (ISDI) impose, par ailleurs, que les déchets inertes satisfassent également à des valeurs seuils sur sédiment brut pour plusieurs composés (Tableau 5), certains étant déjà analysés dans le cadre de la loi sur l'eau. Un sédiment de dragage est classé non inerte s'il ne répond pas aux critères d'admission en Installation de Stockage de Déchets Inertes. Dans ce cas, il est nécessaire de compléter la caractérisation du sédiment de dragage par l'évaluation de sa dangerosité.

**Tableau 4. Seuils de lixiviation relatifs à l'acceptabilité des déchets aux installations de stockage de déchets inertes.**

	Valeurs seuil d'admission déchets inertes* (mg/kg de matière sèche)
As	0,5
Ba	20
Cd	0,04
Cr total	0,5
Cu	2
Hg	0,01
Mo	0,5
Ni	0,4
Pb	0,5
Sb	0,06
Se	0,1
Zn	4
Chlorure (****)	800
Fluorure	10
Sulfate (****)	1000 (**)
Indice phénols	1
COT sur éluat (***)	500
FS (fraction soluble) (****)	4000

(\*) Les valeurs limites à respecter peuvent être adaptées par arrêté préfectoral dans les conditions spécifiées à l'article 10 de l'arrêté du 28 octobre 2010.

(\*\*) Si le déchet ne respecte pas cette valeur pour le sulfate, il peut être encore jugé conforme aux critères d'admission si la lixiviation ne dépasse pas les valeurs suivantes : 1500 mg/L à un ratio L/S=0,1 L/Kg et 6000 mg/kg de matière sèche à un ratio L/S= 10 L/kg. Il est nécessaire l'essai de percolation NF CEN/TS 14405 pour déterminer la valeur lorsque L/S=0.1 L/kg dans les conditions d'équilibre initial ; la valeur correspondant à L/S= 10 L/kg peut être déterminée par un essai de lixiviation NF EN 12457-2 ou par un essai de percolation NF CEN/TS 14405 dans des conditions approchant l'équilibre local.

(\*\*\*) Si le déchet ne satisfait pas à la valeur limite indiquée pour le carbone organique total (COT) sur éluat à sa propre valeur de pH, il peut aussi faire l'objet d'un essai de lixiviation NF EN 12457-2 avec un pH compris entre 7,5 et 8,0. Le déchet peut être jugé conforme aux critères d'admission pour le COT sur éluat si le résultat de cette détermination ne dépasse pas 500 mg/kg de matière sèche.

(\*\*\*\*) Si le déchet ne respecte pas au moins une des valeurs fixées pour le chlorure, le sulfate ou la fraction soluble, le déchet peut être encore jugé conforme aux critères d'admission s'il respecte soit les valeurs associées au chlorure et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble.

**Tableau 5. Valeurs seuil sur déchet brut fixées par l'arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes.**

	Valeurs seuil d'admission déchets inertes * (mg/kg de matière sèche)
COT (carbone organique total)	30 000 (**)
BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes)	6
PCB (Polychlorobiphényles, 7 congénères) Congénères n°28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180	1
Hydrocarbures (C10 à C40)	500
HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques)	50

(\*) Les valeurs limites à respecter peuvent être adaptées par arrêté préfectoral dans les conditions spécifiées à l'article 10 de l'arrêté du 28 octobre 2010.

(\*\*) Pour les sols, une valeur limite plus élevée peut être admise, à condition que la valeur limite de 500 mg/kg de matière sèche soit respectée pour le carbone organique total sur éluat, soit au pH du sol, soit pour un pH situé entre 7,5 et 8,0.

### 2.2.2. Evaluation du caractère dangereux

La Directive Cadre Déchets n° 2008/98/CE du 19/11/2008 actuellement en application (transposée en droit français dans le Code de l'Environnement, en particulier dans les articles R541-8 et ses annexes et R541-10) classe les sédiments de dragage sous deux rubriques :

- La rubrique 17 05 05\* : boues de dragage contenant des substances dangereuses
- La rubrique 17 05 06 : boues de dragage autres que celles visées à la rubrique 17 05 05\*

L'astérisque qui suit le code 17 05 05 indique qu'il s'agit d'un déchet dangereux. Pour définir les modalités de gestion des boues de dragage, il est donc nécessaire d'identifier si les sédiments entrent dans la catégorie 17 05 05\* ou 17 05 06 et ce quelle que soit la filière de gestion envisagée (stockage ultime ou en vue d'une valorisation).

Ainsi, un sédiment de dragage est classé dangereux sur la base de l'évaluation des propriétés de danger définies par le Code de l'Environnement (Tableau 6) s'il répond aux critères d'attribution d'une ou de plusieurs propriétés de danger. Un déchet est classé non dangereux s'il ne répond pas aux critères d'attribution d'aucune propriété de danger dont la méthode d'évaluation est actuellement définie dans le code de l'environnement (soit H1 à H8, H10 et H11) et si l'étude des propriétés H9, H12, H14 et H15 démontre le caractère non dangereux du déchet pour ces propriétés.

Dans le cas des sédiments de dragage, les travaux du groupe de travail « dangerosité des sédiments », piloté par le Ministère en charge de l'Environnement, ont permis de mettre en évidence que la propriété de danger H14 était la plus pertinente pour l'évaluation de la dangerosité des sédiments (Mouvet, 2011).

L'évaluation de la propriété H14 ne dispose actuellement d'aucune méthode ayant un statut réglementaire. Il existe cependant une batterie de tests pour les sédiments (eau douce et eau de mer) proposée en 2009 par le groupe de travail « Dangerosité des sédiments ». Dans cette approche, les tests sont généralement réalisés par étapes (Figure 1). Le protocole comprend une phase de centrifugation préalable permettant d'éliminer les chlorures qui sont susceptibles de provoquer un effet toxique chez les organismes terrestres. Le protocole prévoit également la mise en œuvre successive d'essais d'écotoxicité aiguë puis d'essais d'écotoxicité chroniques à partir des lixiviats et ensuite d'essais d'écotoxicité aiguë vis-à-vis d'organismes terrestres (graines de plantes supérieures) sur la matrice brute après centrifugation. Lorsqu'un test met en évidence le caractère écotoxique du déchet, celui-ci peut être déclaré dangereux et les essais peuvent s'arrêter. Dans le cas contraire, il est nécessaire de réaliser la batterie complète de bio-essais.

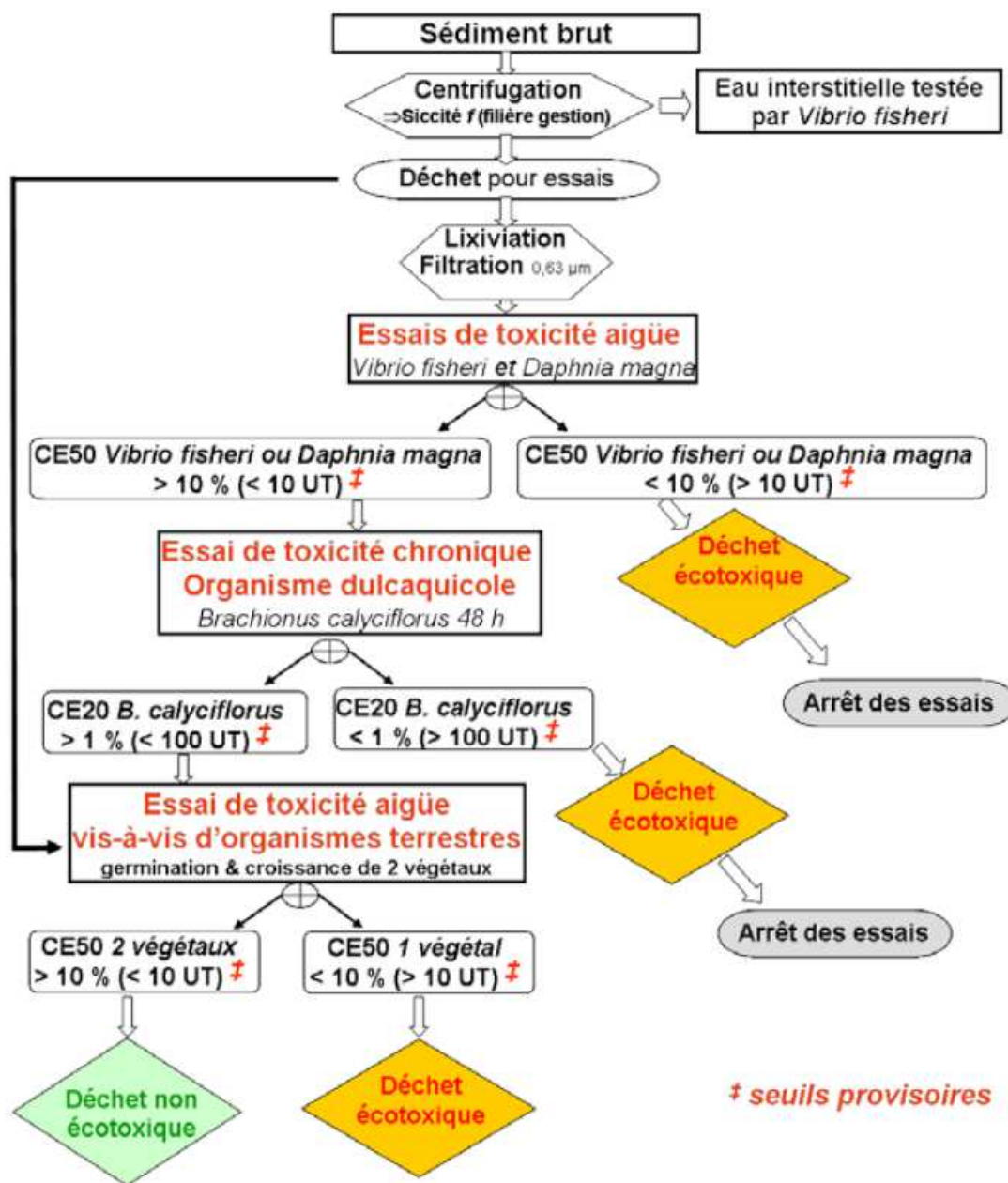


Figure 1. Protocole d'évaluation de la propriété de danger H14 pour les sédiments marins et fluviaux (Mouvet, 2012)

**Tableau 6. Critères de danger à prendre en compte lors de l'évaluation de la dangerosité des sédiments.**

Critères H	Définition
<b>H1 Explosif</b>	substances et préparations pouvant exploser sous l'effet de la flamme ou qui sont plus sensibles aux chocs ou aux frottements que le dinitrobenzène.
<b>H2 Comburant</b>	substances et préparations qui, au contact d'autres substances, notamment de substances inflammables, présentent une réaction fortement exothermique.
<b>H3-A Facilement inflammable</b>	substances et préparations : - à l'état liquide (y compris les liquides extrêmement inflammables), dont le point d'éclair est inférieur à 21 °C, ou - pouvant s'échauffer au point de s'enflammer à l'air à température ambiante sans apport d'énergie ; - à l'état solide, qui peuvent s'enflammer facilement par une brève action d'une source d'inflammation et qui continuent à brûler ou à se consumer après l'éloignement de la source d'inflammation ; ou - à l'état gazeux, qui sont inflammables à l'air à une pression normale ; ou - qui, au contact de l'eau ou de l'air humide, produisent des gaz facilement inflammables en quantités dangereuses.
<b>H3-B Inflammable</b>	substances et préparations liquides, dont le point d'éclair est égal ou supérieur à 21 °C et inférieur ou égal à 55 °C.
<b>H4 Irritant</b>	substances et préparations non corrosives qui, par contact immédiat, prolongé ou répété avec la peau et les muqueuses, peuvent provoquer une réaction inflammatoire.
<b>H5 Nocif</b>	substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent entraîner des risques de gravité limitée.
<b>H6 Toxique</b>	substances et préparations (y compris les substances et préparations très toxiques) qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent entraîner des risques graves, aigus ou chroniques, voire la mort.
<b>H7 Cancérogène</b>	substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent produire le cancer ou en augmenter la fréquence.
<b>H8 Corrosif</b>	substances et préparations qui, en contact avec des tissus vivants, peuvent exercer une action destructrice sur ces derniers.
<b>H9 Infectieux</b>	matières contenant des micro-organismes viables ou leurs toxines, dont on sait ou on a de bonnes raisons de croire qu'ils causent la maladie chez l'homme ou chez d'autres organismes vivants.
<b>H10 Toxique pour la reproduction</b>	substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent produire ou augmenter la fréquence d'effets indésirables non héréditaires dans la progéniture ou porter atteinte aux fonctions ou capacités reproductives.
<b>H11 Mutagène</b>	substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent produire des défauts génétiques héréditaires ou en augmenter la fréquence.
<b>H12</b>	Substances et préparations qui, au contact de l'eau, de l'air ou d'un acide, dégagent un gaz toxique ou très toxique.
<b>H13 Sensibilisant</b>	substances et préparations qui, par inhalation ou pénétration cutanée, peuvent donner lieu à une réaction d'hypersensibilisation telle qu'une nouvelle exposition à la substance ou à la préparation produit des effets néfastes caractéristiques. Cette propriété n'est à considérer que si les méthodes d'essai sont disponibles.
<b>H14 Ecotoxique</b>	substances et préparations qui présentent ou peuvent présenter des risques immédiats ou différés pour une ou plusieurs composantes de l'environnement.
<b>H15</b>	Substances et préparations susceptibles, après élimination, de donner naissance, par quelque moyen que ce soit, à une autre substance, par exemple un produit de lixiviation, qui possède l'une des caractéristiques énumérées ci-avant.»

### 2.3. Référentiel « SEDIMATERIAUX »

Afin d'évaluer le potentiel de valorisation des sédiments de dragage en fabrication du béton intégrant de sédiments marins, il est indispensable de réaliser une série d'analyses physiques, mécaniques et environnementales complémentaires définies dans la méthodologie SEDIMATERIAUX.

### 2.3.1. Caractéristiques des sédiments bruts

Le sédiment est une matrice relativement hétérogène constitué d'eau, de matériaux inorganiques et organiques et de composés anthropiques [BONNET 2000]. Le sédiment peut être décrit par sa composition minéralogique et sa texture et structure (taille des particules).

#### 2.3.1.1. Caractérisation physique

La caractérisation physique a pour but d'identifier les principales spécificités susceptibles d'empêcher ou de favoriser la valorisation. Il s'agit d'observer les granulats produits, à l'échelle microscopique et macroscopique, afin de caractériser leur géométrie et leur texture. D'abord des analyses de granulométrie laser et la surface spécifique sont des paramètres nécessaires pour caractériser les particules les plus fines. Ensuite une étude macroscopique comprenant la teneur en eau, la granulométrie, la propreté, la valeur au bleu de méthylène, la porosité, la masse volumique et enfin le coefficient d'absorption d'eau présentent des paramètres importants pour l'incorporation de ces sédiments dans des matériaux à matrice cimentaire.

Le Tableau 7 résume les différents types d'essais à réaliser sur les sédiments bruts ainsi que les normes associées.

**Tableau 7. Analyses physiques à réaliser sur les sédiments bruts**

Essais	Normes
Teneur en eau pondérale	NF P94-050
Masse volumique absolue	NF P94-054
Teneur en matière organique (par calcination)	XP P94-047
Granulométrie (par voie humide)	XP P94-041
Granulométrie (par sédimentation)	NF P94-057

#### 2.3.1.2. Caractérisation minéralogique

L'analyse minéralogique est une étape importante car elle permet d'avoir une meilleure connaissance de la matrice sédimentaire et de détecter les phases minéralogiques (amorphes ou cristallisées) qui pourraient poser problème lors de la valorisation des sédiments en fabrication de béton [Figure 2]. La caractérisation minéralogique des sédiments comprend l'analyse par fluorescence X des éléments majeurs [norme NF EN 15309] et la détection des phases minéralogiques par diffraction des rayons X (DRX). Les techniques microscopiques (optique ou électronique) peuvent également être utilisées pour compléter l'analyse structurale des sédiments, notamment par la recherche de la nature des phases amorphes.



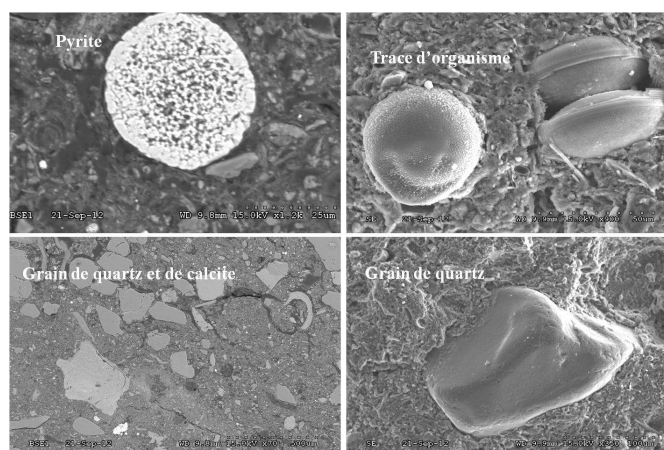


Figure 2. Observations d'un sédiment marin au microscope électronique à balayage : électrons rétrodiffusés sur section polie à gauche et électrons secondaires sur grain à droite (Achour, 2013)

### 2.3.1.3. Caractérisation environnementale

#### Teneur et comportement des polluants

Dans le cadre d'une fabrication de béton à base de sédiment marin, la caractérisation environnementale des sédiments semblait essentielle afin de pouvoir comparer le potentiel polluant des sédiments de dragage avant et après valorisation et ainsi de s'assurer que la méthode de valorisation n'était pas susceptible de nuire à la qualité de l'inertage. En effet, les sédiments de dragage doivent être caractérisés selon leur comportement à la lixiviation (norme NF EN 12457-2) ainsi que des tests de teneur totale (par analyse ICP). Il faut noter que les substances mesurées en contenu total sont déjà prises en compte dans le cadre de la loi sur les déchets. Si les teneurs mesurées respectent les seuils (tableau 8 et 9), le sédiment est qualifié de matériau alternatif et sa valorisation en fabrication du béton est autorisée. Dans le cas contraire, la valorisation en fabrication du béton n'est pas envisageable.

Tableau 8. Seuils de lixiviation relatifs à l'acceptabilité des déchets aux installations de stockage de déchets inertes.

Paramètres	Valeurs seuil d'admission déchets inertes* (mg/kg de matière sèche)
As	0,5
Ba	20
Cd	0,04
Cr total	0,5
Cu	2
Hg	0,01
Mo	0,5
Ni	0,4
Pb	0,5
Sb	0,06
Se	0,1
Zn	4
Chlorure (****)	800
Fluorure	10
Sulfate (****)	1000 (**)
Indice phénols	1
COT sur éluat (***)	500
FS (fraction soluble) (****)	4000

(\*) Les valeurs limites à respecter peuvent être adaptées par arrêté préfectoral dans les conditions spécifiées à l'article 10 de l'arrêté du 28 octobre 2010.



(\*\*) Si le déchet ne respecte pas cette valeur pour le sulfate, il peut être encore jugé conforme aux critères d'admission si la lixiviation ne dépasse pas les valeurs suivantes : 1500 mg/L à un ratio L/S=0,1 L/Kg et 6000 mg/kg de matière sèche à un ratio L/S= 10 L/kg. Il est nécessaire l'essai de percolation NF CEN/TS 14405 pour déterminer la valeur lorsque L/S=0.1 L/kg dans les conditions d'équilibre initial ; la valeur correspondant à L/S= 10 L/kg peut être déterminée par un essai de lixiviation NF EN 12457-2 ou par un essai de percolation NF CEN/TS 14405 dans des conditions approchant l'équilibre local.

(\*\*\*) Si le déchet ne satisfait pas à la valeur limite indiquée pour le carbone organique total (COT) sur éluat à sa propre valeur de pH, il peut aussi faire l'objet d'un essai de lixiviation NF EN 12457-2 avec un pH compris entre 7,5 et 8,0. Le déchet peut être jugé conforme aux critères d'admission pour le COT sur éluat si le résultat de cette détermination ne dépasse pas 500 mg/kg de matière sèche.

(\*\*\*\*) Si le déchet ne respecte pas au moins une des valeurs fixées pour le chlorure, le sulfate ou la fraction soluble, le déchet peut être encore jugé conforme aux critères d'admission s'il respecte soit les valeurs associées au chlorure et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble.

**Tableau 9. Valeurs seuil sur déchet brut fixées par l'arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes.**

Paramètres	Valeurs seuil d'admission déchets inertes * (mg/kg de matière sèche)
<b>COT (carbone organique total)</b>	30 000 (**)
<b>BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes)</b>	6
<b>PCB (Polychlorobiphényles, 7 congénères) Congénères n°28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180</b>	1
<b>Hydrocarbures (C10 à C40)</b>	500
<b>HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques)</b>	50

(\*) Les valeurs limites à respecter peuvent être adaptées par arrêté préfectoral dans les conditions spécifiées à l'article 10 de l'arrêté du 28 octobre 2010.

(\*\*) Pour les sols, une valeur limite plus élevée peut être admise, à condition que la valeur limite de 500 mg/kg de matière sèche soit respectée pour le carbone organique total sur éluat, soit au pH du sol, soit pour un pH situé entre 7,5 et 8,0.

### Analyses radio-écologiques

Certains sédiments portuaires peuvent présenter des problématiques de contaminations spécifiques nécessitant la réalisation d'analyses radio-écologiques. En outre, pour une valorisation seine les matériaux alternatifs susceptibles d'être utilisés en fabrication du béton ne doivent pas avoir été élaborés à partir de déchets contenant une substance radioactive. Au sens de la directive 96/26/Euratom du conseil du 13/05/96 est une substance radioactive toute substance qui contient un ou plusieurs radionucléides dont l'activité ou la concentration ne peut être négligée du point de vue de la radioprotection. L'analyse de la radioactivité des sédiments de dragage doit donc être effectuée selon la norme ISO 18589.

## 3. Utilisation des sédiments de dragage en béton

### 3.1. Contexte

De nombreuses voies de valorisation imaginables existent, matériau de remplissage, de remblaiement, couche de forme ou de fondation, béton, brique. Il apparaît rapidement que la voie de valorisation béton est celle qui offre le plus de variantes possibles. Sans savoir quelle «performances» attendre du matériau valorisé, il était important d'avoir une grande liberté d'action. Le béton offre cette liberté : choix des quantités à substituer, du type de matériau à substituer (le liant, le sable ou les granulats), de la granulométrie, du type et de la quantité de liant à utiliser, des conditions de cures, des conditions

d'utilisation. En effet, une large palette de paramètres sur lesquels l'étude de formulation s'appuie, afin de pouvoir parvenir à l'obtention un nouveau béton intégrant une partie de sédiment. En raison des importantes quantités mises en jeu, l'idée est d'opter pour des volumes substitués conséquents. La substitution des granulats ou du sable offre cette possibilité. Cette voie de valorisation permettrait de répondre à un autre problème économique-environnemental actuel : l'appauvrissement des ressources en granulats naturels.

### **3.2. Utilisation du béton à base de sédiment envisageables**

La production du béton présente un des gros consommateurs de matériaux et les granulats constituent un des matériaux de base de cette filière. En effet, les granulats sont des matériaux régulièrement utilisés dans la fabrication du béton. Les granulats produits en France proviennent très majoritairement de carrières terrestres et sont issus de gisements alluvionnaires dont la ressource s'épuise. De plus, l'exploitation des carrières devient difficile sur le territoire national car des impératifs urbanistiques ou environnementaux freinent leur ouverture ou leur extension. Dans ce contexte, l'utilisation des sédiments de dragage sous forme de granulats est amenée à se développer pour répondre aux besoins croissants de la filière de fabrication de béton à base de sédiment.

Dans le cadre d'une utilisation du sédiment en fabrication de béton, les sédiments de dragage sont considérés comme des « matériaux alternatifs ». Ce terme définit tout matériau élaboré à partir d'un déchet et destiné à être utilisé, seul ou en mélange avec d'autres minéraux alternatifs ou non. Un matériau alternatif est un nouveau constituant du béton.

### **3.3. Valorisation des sédiments en fabrication de béton**

Le choix d'étudier les effets de l'intégration des sédiments de dragage dans les bétons est lié à plusieurs facteurs : le grand choix de voies de valorisation et d'usages possibles, les possibilités d'influer sur les différents paramètres de la formulation et les connaissances et l'expertise du laboratoire de l'école des Mines de Douai dans le domaine [Zri, 2010].

La méthodologie de l'étude de valorisation entreprise dans ce guide se déroule en deux phases. La première phase permettait de découvrir le comportement des sédiments dans le béton, d'en évaluer les performances et donc les possibilités de valorisation et finalement d'identifier un certain nombre de paramètres intéressants à approfondir. La deuxième phase tirait donc les enseignements de la première phase pour améliorer la compréhension des phénomènes déjà observés, tenter d'améliorer certaines caractéristiques et finalement estimer la durabilité du matériau produit.

#### **3.3.1 Généralités sur les bétons**

Le terme béton est un terme générique qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant. Le liant peut être « hydraulique » (car il fait prise par hydratation ; ce liant est couramment appelé ciment) ; on obtient dans ce cas une pâte de ciment. Lorsque les agrégats utilisés avec le liant hydraulique se réduisent à des sables, on parle alors de mortier (sauf si l'on optimise la courbe granulométrique du sable et dans ce cas on parle de béton de sable). Un béton classique est constitué d'éléments de granulométrie décroissante, en commençant par les granulats, le spectre granulométrique se poursuit avec le ciment puis parfois avec un matériau de granulométrie encore plus fine comme des fumées de silice (récupérée au niveau des filtres électrostatiques dans l'industrie du silicium). L'obtention d'un spectre granulométrique continu et

étendu vers les faibles granulométries permet d'améliorer la compacité, donc les performances mécaniques.

La formulation d'un béton doit intégrer avant tout les exigences de la norme NF EN 206-1, laquelle, en fonction de l'environnement dans lequel sera mis en place le béton, sera plus ou moins contraignante vis-à-vis de la quantité minimale de ciment à insérer dans la formule ainsi que la quantité d'eau maximum tolérée dans la formule.

La norme NF EN 206-1 (avril 2004) précise les spécifications, les performances, la production et les critères de conformité des bétons destinés aux structures coulées en place et aux structures ou éléments de structures préfabriqués. Elle concerne les bétons fabriqués sur chantier, les bétons prêts à l'emploi et les bétons fabriqués en usine de préfabrication. Cette norme précise les exigences applicables;

- aux constituants des bétons ;
- aux propriétés du béton frais et du béton durci et à leur vérification ;
- aux limitations imposées à la composition du béton ;
- à la spécification du béton ;
- à la livraison du béton frais ;
- aux procédures de contrôle et de production ;
- aux critères de conformité et à l'évaluation de la conformité

Cette norme définit précisément les tâches du prescripteur, du producteur et de l'utilisateur du béton. Le prescripteur est la personne (physique ou morale) qui établit la spécification du béton frais et durci, c'est-à-dire la compilation de toutes les exigences techniques qui seront transmises au producteur en termes de performances ou de composition.

La norme NF EN 206-1 distingue trois types de bétons, selon les spécifications qui sont transmises par le prescripteur au producteur :

- Béton à Propriétés Spécifiées (BPS) : béton pour lequel les propriétés requises et les caractéristiques supplémentaires sont spécifiées au producteur qui est responsable de fournir un béton qui satisfait à ces propriétés requises et à ces caractéristiques supplémentaires.
- Béton à Composition Prescrite (BCP) : béton pour lequel la composition du béton et les constituants à utiliser sont spécifiés au producteur qui est responsable de fournir un béton respectant cette composition prescrite.
- Béton à Composition Prescrite dans une Norme (BCPN) : béton à composition prescrite dont la composition est définie dans une norme applicable là où le béton est utilisé.

De même, à chaque environnement donné, une résistance garantie à 28 jours sur éprouvettes sera exigée aux producteurs, pouvant justifier des dosages de ciments supérieurs à la recommandation de la norme, et basées sur l'expérience propre à chaque entreprise, laquelle étant dépendante de ses matières premières dont la masse volumique peut varier, notamment celle des granulats.

D'autres exigences de la NF EN 206-1 imposent l'emploi de ciments particuliers en raison de milieux plus ou moins agressifs, ainsi que l'addition d'adjuvants conférant des propriétés différentes à la pâte de ciment que ce soit le délai de mise en œuvre, la plasticité, la quantité d'air occlus, etc.

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface et peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

- Les bétons courants sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment qu'en travaux publics. Ils présentent une masse volumique d'environ 2 300 kg/m<sup>3</sup>. Ils peuvent être armés ou non par des armatures en acier, et lorsqu'ils sont très sollicités en flexion, précontraints avec des câbles de précontraintes.
- Les bétons lourds, dont les masses volumiques peuvent atteindre 6 000 kg/m<sup>3</sup> servent, entre autres, pour la protection contre les rayons radioactifs.
- Les bétons de granulats légers, dont la résistance peut être élevée, sont employés dans le bâtiment, pour les plates-formes offshore ou les ponts.

Les granulats utilisés pour le béton sont soit d'origine naturelle, soit artificiels.

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartzs et quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres. Les granulats artificiels les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau. La masse volumique apparente est supérieure à 1 250 kg/m<sup>3</sup> pour le laitier cristallisé concassé, 800 kg/m<sup>3</sup> pour le granulé. Ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routiers. Les différentes caractéristiques des granulats de laitier et leurs spécifications font l'objet des normes NF P 18-302 et 18-306.

Dans tous bétons, les principales caractéristiques retenues sont :

- La résistance mécanique ;
- L'inaltérabilité et l'imperméabilité ;
- La facilité de mise en œuvre (cohésion, ouvrabilité,...).

### 3.3.2. Constituants du béton

La fabrication de bétons conformes à la norme NF EN 206-1 nécessite l'utilisation de constituants respectant les normes suivantes :

- Ciment : EN 197-1
- Granulats : EN 12620 (granulats normaux ou lourds), EN 13055 (granulats légers)
- Eau de gâchage : EN 1008
- Adjuvants : EN 934-2
- Additions de type I : EN 12620 (fillers), EN 12878 (pigments)
- Additions de type II : EN 450 (cendres volantes), EN 13263 (fumées de silice)

Deux types d'additions minérales sont définis dans la norme : les additions de type I correspondent aux additions quasiment inertes, les additions de type II correspondent aux additions à caractère pouzzolanique ou hydraulique latent. Les additions peuvent être prises en compte dans la composition du béton pour le respect de la teneur en ciment et du rapport eau/ciment, par l'intermédiaire de leur coefficient k. Le coefficient k permet de définir un liant équivalent dont la teneur est définie de la manière suivante :

$$\text{Liant équivalent} = C + k A$$

En France, les additions avec lesquelles ce concept de liant équivalent est applicable sont : les cendres volantes, les fumées de silice, les laitiers vitrifiés moulus de haut-fourneau de classe B (norme NF P 18-506), les additions calcaires (NF P 18/508) et les additions siliceuses de catégorie A (norme NF P 18-509). La valeur du coefficient k pour chaque addition est fournie dans la norme EN 206-1, elle

dépend, de la nature et de l'activité de l'addition ainsi que de la classe d'environnement. A titre d'exemple, les valeurs couramment employées pour k sont :

- Cendres volantes pour béton :  $k = 0.4, 0.5$  ou  $0.6$  selon l'activité
- Fumées de silice : généralement  $k = 2$  ( $k=1$  dans certaines conditions)
- Laitiers de haut-fourneau :  $k = 0.9$
- Additions calcaires ou siliceuses de classe A :  $k=0.25$

### 3.3.3 Formulation de bétons à base de sédiment

La formulation consiste d'une part à choisir les constituants du béton à base de sédiment et d'autre part à déterminer leurs proportions respectives tout en essayant de minimiser le coût du matériau en vue de respecter les spécifications du béton. Le but de l'étude de formulation consiste à examiner la possibilité de remplacer une fraction de sable utilisée dans la formulation de béton par des sédiments de dragage. En raison de sa disponibilité associée aux sédiments, l'utilisation du sable de dragage dans la formulation de béton à base de sédiment fin présente une solution économique intéressante.

Ayant choisi les différents constituants du béton, le problème de la formulation se pose en ces termes : déterminer les quantités de ciment C, d'eau E, de sable S, de gravillons G et le sédiment SD permettant de fabriquer  $1\text{m}^3$  de béton frais, possédant les propriétés exigées par le cahier des charges (c'est-à-dire principalement, une maniabilité et une résistance en compression caractéristique à 28 jours fixées). Cinq inconnues (C, E, S, G et SD) doivent ainsi être déterminées.

La démarche expérimentale de la formulation du béton à base de sédiment est la suivante :

#### Détermination du pourcentage de granulométrie de la substitution

La courbe granulométrique du sédiment de dragage présente un paramètre important dans le processus de formulation. C'est pourquoi le choix a été fait de recomposer la courbe pour correspondre à celle du sable substitué et ainsi ne pas modifier la compacité du mélange granulaire. L'objectif est de confirmer cet optimum en resserrant la fourchette de substitution.

#### Gâchage

L'étude en laboratoire consiste à formuler des bétons à base de sédiment de dragage dans un malaxeur. Une partie de chaque gâchée doit être par la suite coulée dans des moules de diamètre intérieur 16 cm et de hauteur 32cm, puis vibrés sur table vibrante.

#### Démoulage

Après coulage, les éprouvettes doivent être protégées de la dessiccation. Les éprouvettes sont démoulées après 24h.

#### Cure

Les échantillons doivent être conservés dans l'eau à une température moyenne de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Essais macroscopiques et microscopiques sur la formulation à base de sédiment de dragage

## 4. Réalisation d'un prototype d'ouvrage

Une fois les formulations établies à l'échelle du laboratoire, des applications sur le terrain sont réalisées, au travers de planches, de plots expérimentaux ou de pilotes. En technique routière, la surface d'un ouvrage peut être de quelques mètres carrés à plusieurs milliers de mètres carrés. Ces prototypes d'ouvrage permettent l'étude en conditions réelles d'utilisation du matériau. Des analyses

environnementales étudient le relargage de certains polluants et comparent les résultats avec les prévisions réalisées à partir des essais de lixiviation. D'autres paramètres concernant le comportement mécanique et de durabilité du matériau sont vérifiés et comparés aux prévisions attendues. Si l'ensemble des résultats ne montre pas de dérive par rapport aux prévisions, le matériau peut ainsi être utilisé, en prenant soin de définir précisément les conditions de mise en œuvre.

## 4. 1. Stockage à terre

### 4.1.1 Objectif

Un matériau destiné à une application en génie civil possède des caractéristiques qu'il convient de modifier selon le type d'utilisation. L'étape de stockage peut permettre de réaliser ces modifications. Parmi les propriétés chimiques, la présence de contaminants peut nécessiter des traitements de dépollution qui seront différents selon le type et le degré de pollution. De plus, certains constituants comme les matières organiques ou la teneur en eau peuvent limiter le champ des possibilités d'application du matériau. Par exemple, une teneur en eau importante, telles celles rencontrées dans un sédiment, présente un inconvénient important pour une valorisation en techniques routières. Une étape préalable sera donc nécessaire afin de diminuer la teneur en eau du matériau. Par ailleurs, cette teneur en eau peut varier suivant la technique de dragage utilisée qui, de ce fait, peut donc avoir un impact sur la mise en œuvre d'une voie de valorisation. Ainsi, l'étape de stockage, dans laquelle s'effectue l'ensemble de ces opérations dépend aussi du type du matériau utilisé et de l'utilisation que l'on projette.

### 4.1.2 Contexte réglementaire

La circulaire du 4 juillet 2008 relative à la procédure concernant la gestion des sédiments lors de travaux ou d'opérations impliquant des dragages ou curages maritimes et fluviaux stipule qu'une déclaration ou une autorisation ICPE est nécessaire lorsque les matériaux excédentaires commercialisables sont constitués de produits minéraux (sables, graviers, galets) et acheminés vers une station de transit ayant une capacité de stockage supérieure à 15 000 mètres cubes (Déclaration) ou 75 000 mètres cubes (Autorisation) (rubrique 2517, voir 2515 de la nomenclature des ICPE).

Les décrets n° 2009-1341 du 29 octobre 2009 et n° 2010-369 du 13 avril 2010 ont modifié en profondeur la nomenclature des installations classées. Le classement administratif des activités de traitement de déchets ne porte désormais plus sur la provenance des déchets, mais sur leur nature et dangerosité, en cohérence avec l'importance des dangers et inconvénients que génèrent le traitement de tels déchets. La circulaire du 24 décembre 2010 fixe les modalités d'application de ces différents décrets. Ainsi, les terrains de dépôt de sédiments sont assimilés à des installations de stockage ou de transit de déchets et sont soumis à autorisation au titre de la législation des ICPE.

Le tableau 10 regroupe les rubriques potentielles visées par la nomenclature ICPE. Un site prévu pour le stockage de sédiments inertes pour une durée inférieure à trois ans en vue d'une valorisation est considéré comme une installation de transit. Or le transit de sédiments inertes pouvant être mis en œuvre pour le ressuage des sédiments relève du régime ICPE et plus spécifiquement de la rubrique 2516 ou 2517.



Le transit des sédiments non inertes non dangereux relève de la rubrique 2716 dont les prescriptions générales applicables sont données dans l'arrêté du 16 octobre 2010.

Les installations de transit de déchets dangereux relèvent des rubriques 2717 ou 2718. Les règles de conception et d'exploitation d'une installation de transit pour déchets dangereux sont régies par l'arrêté ministériel du 18 juillet 2011. Les principales prescriptions sont le suivi des rejets et la limitation de la durée de stockage à 90 jours.

**Tableau 10. Rubriques potentielles visées par la nomenclature ICPE**

N° Rubrique	Intitulé	Régime
<b>2716</b>	Installations de transit, regroupement ou tri de déchets non dangereux, non inertes à l'exclusion des installations visées aux rubriques 2710 à 2715 et 2719. Le volume susceptible d'être présent dans l'installation étant : 1. Supérieur ou égal à 1000 m <sup>3</sup> 2. Supérieur ou égal à 100 m <sup>3</sup> mais inférieur à 1000 m <sup>3</sup>	Autorisation Déclaration
<b>2517</b>	Station de transit de produits minéraux ou de déchets non dangereux inertes autres que ceux visés par d'autres rubriques, la capacité de stockage étant : 1. Supérieure à 75 000 m <sup>3</sup> 2. Supérieure à 15 000 m <sup>3</sup>	Autorisation Déclaration
<b>2718</b>	Installation de transit, regroupement ou tri de déchets dangereux ou de déchets contenant les substances dangereuses ou préparations dangereuses mentionnées à l'article R511-10 du Code de l'environnement, à l'exclusion des installations visées aux rubriques 1313, 2710 à 2712, 2717 et 2719. La quantité de déchets susceptible d'être présente dans l'installation étant : 1. supérieure ou égale à 1 t 2. inférieure à 1 t	Déclaration Autorisation

## 4.2. Etude d'impact préalable à la réalisation du projet de valorisation

Les chantiers n'étant pas des installations classées pour la protection de l'environnement et la réalisation d'ouvrages relevant rarement de la loi sur l'eau, un tel projet de valorisation ne sera pas spécifiquement contrôlé par les services de l'Etat. Dans le cadre de la démarche SEDIMATERIAUX, il est demandé à ce qu'une étude des risques sanitaires et environnementaux soit réalisée juste avant la phase de réalisation d'un prototype d'ouvrage (fabrication des blocs bétons).

### 4.2.1 Contexte réglementaire

Concernant les projets de fabrication des blocs bétons, l'article 2 de la loi n°76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature a imposé que les études préalables à la réalisation d'ouvrages pouvant porter atteinte au milieu naturel comportent une étude d'impact permettant d'en apprécier les conséquences. Le décret du 25 février 1993 a ensuite étendu de façon systématique l'analyse des effets du projet au sol, à l'eau et à l'air entre autres.

L'article 19 de la loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie en modifiant la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature, a modifié le contenu des études d'impact et en particulier dans le domaine de l'air et de la santé. L'étude d'impact d'un projet doit donc prendre en compte les effets non seulement sur l'environnement, mais aussi sur la santé.

#### 4.2.2 Caractérisation de l'état initial du milieu récepteur

L'état initial du milieu récepteur est un environnement considéré comme n'étant pas affecté par les activités de l'ouvrage étudiée, mais situé dans la même zone géographique et dont les caractéristiques (pédologiques, géologiques, hydrologiques, climatiques,...) sont similaires à l'environnement impacté par l'ouvrage.

Le milieu récepteur peut être soumis à des pollutions diffuses d'origine anthropique, autres que celles de l'ouvrage étudié, qui impactent l'ensemble de la zone d'étude. Dans ce cas, les teneurs en contaminants ont une origine naturelle (fond naturel, pour les substances dites ubiquistes) mais aussi anthropique (Figure 9). Il est donc recommandé d'éviter la réalisation des mesures dans des zones impactées par d'autres sources locales. La caractérisation de l'état initial de la zone d'étude est nécessaire à l'interprétation des résultats de mesures dans les milieux lors de la surveillance environnementale de l'ouvrage étudié.

#### 4.2.3 Evaluation des risques sanitaires

L'analyse des effets sur la santé constitue le volet sanitaire de l'étude d'impact définie par l'article 122-5 du Code de l'environnement. Elle vise à apprécier les effets potentiellement induits par un projet sur la santé des populations voisines.

L'analyse des effets sur la santé constitue un outil utile au maître d'ouvrage et aux services de l'Etat pour définir les conditions nécessaires afin de s'assurer que les émissions de l'installation ont un impact sanitaire non préoccupant dans son environnement.

L'évaluation des risques sanitaires est une démarche visant à décrire et quantifier les risques sanitaires consécutifs à l'exposition de personnes à des substances toxiques. L'évaluation des risques liés aux substances chimiques pour la santé prévoit 4 étapes :

1. Identification des dangers
2. Evaluation de la relation dose-réponse,
3. Evaluation de l'exposition
4. La caractérisation des risques

L'évaluation des risques sanitaires est une évaluation prospective qui apporte des éléments de prédiction des risques sur la base d'hypothèses d'émissions et d'exposition.

La méthodologie utilisée pour l'évaluation des risques sanitaires est celle préconisée par l'Union Européenne pour l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux pour les substances nouvelles et existantes dans le cadre du règlement 1488/94/CE. Elle comprend quatre étapes dont l'Union Européenne donne les définitions suivantes :

- Identification des dangers : identification des effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer.
- Evaluation de la relation dose-effet : estimation de la relation entre la dose, ou le niveau d'exposition à une substance, et l'incidence et la gravité d'un effet.
- Evaluation de l'exposition : détermination des émissions, des voies de transfert et des vitesses de déplacement d'une substance et de sa transformation ou de sa dégradation afin d'évaluer les concentrations/doses auxquelles les populations humaines ou les composantes de l'environnement (le milieu aquatique, le milieu terrestre et l'air) sont exposées ou susceptibles de l'être.



- Caractérisation du risque : estimation de l'incidence et de la gravité des effets indésirables susceptibles de se produire dans une population humaine en raison de l'exposition, réelle ou prévisible à une substance; la caractérisation peut comprendre l'estimation du risque, c'est-à-dire la quantification de cette probabilité.

En résumé, cette démarche repose sur la distinction entre la notion de danger et la notion de risque. Une substance peut être dangereuse, mais elle ne représente un risque pour la santé humaine que s'il y a une exposition effective à cette substance. Dans le cadre d'une telle étude, il est recommandé de considérer les valeurs réglementaires ou indicatives définies pour la protection de la santé humaine par les autorités ou des organismes reconnus comme l'INERIS.

#### 4.2.4 Evaluation des risques écologiques

L'élaboration d'une méthodologie d'évaluation des risques écologiques prospective peut se faire selon deux approches (Perrodin et al., 2012) :

1. l'approche dite « par substances », qui consiste à évaluer l'impact sur les écosystèmes de chacune des substances chimiques principales présentes dans la source de pollution du scénario étudié,
2. l'approche dite « par matrice », qui consiste à évaluer l'impact sur les écosystèmes de la « mixture globale » constituant la source de pollution du scénario étudié.

Dans tous les cas, l'élaboration de la méthodologie nécessite de réunir préalablement un certain nombre de données. Celles préalables à l'approche « substances » sont essentiellement liées au comportement des polluants dans l'environnement entre la source et l'écosystème cible. La biodisponibilité des substances et les mécanismes de bioaccumulation dans les chaînes alimentaires peuvent également être explorés.

### 4.3 Mise en œuvre des prototypes de blocs de béton à base de sédiments marins

La réalisation des blocs bétons à base de sédiments marins a pour objectif d'étudier le comportement de la formulation réalisée tout en s'affranchissant des effets d'échelle qui peuvent apparaître lors du passage d'essais en laboratoire à des prototypes. Les prototypes, comme par exemple des blocs bétons, permettent de réaliser un suivi mécanique et environnemental et de valider les études de laboratoire correspondantes. Il est recommandé de réaliser un suivi de l'ouvrage sur une durée minimale de 36 mois afin de tenir compte des variations climatiques.

#### 4.3.1 Conception des prototypes de bloc béton à base de sédiment marin : Exemple du Grand Port Maritime de Dunkerque

Les blocs de béton qui font l'objet de cet exemple ont été développés dans le but de protéger les ouvrages portuaires du GPMD. Ces blocs seront implantés à proximité de l'avant-port ouest pour le maintien et le renforcement des digues de Ruytingen, la jetée du Clipon ou encore la jetée du Dyck et la jetée des Huttes (Figure 3). Les blocs seront positionnés dans la zone de marnage et subiront donc des cycles d'immersion et d'émersion.

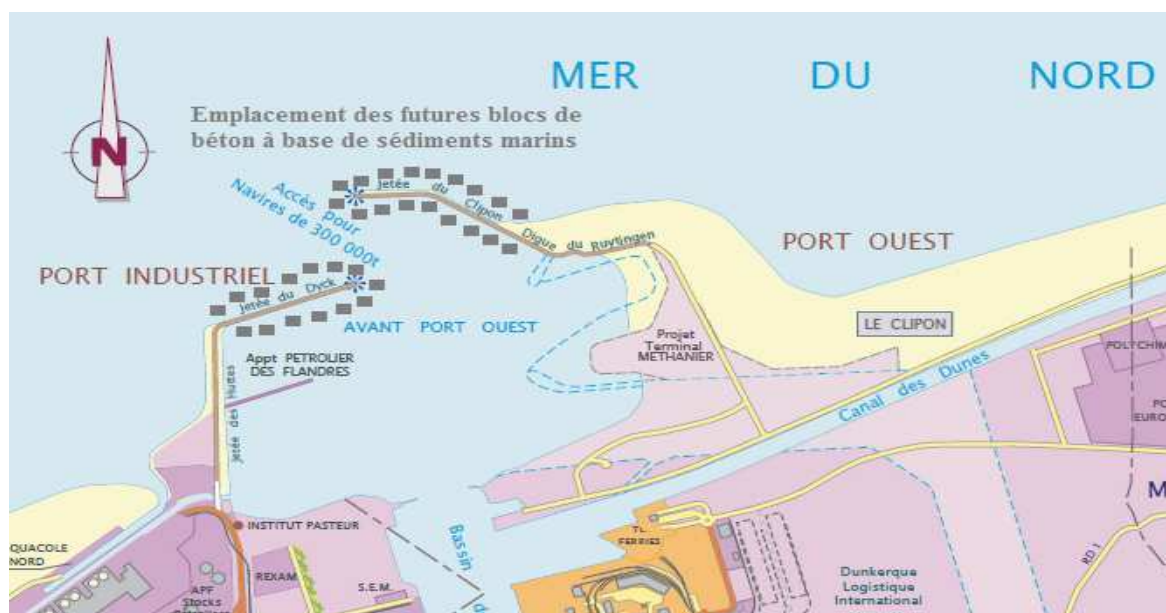


Figure 3: Position des futurs blocs de béton à base de sédiment marin [Ahour, 2013]

Six blocs témoins intégrant les sédiments marins à différents pourcentages ont été réalisés. Après deux ans de fabrication des blocs témoins, une campagne de carottage a été réalisée conformément à la norme NF EN 12 504-1. Après la campagne de carottage, les éprouvettes de 110mm de diamètre et de 220 mm ont été sciées et préparées. Les échantillons de chaque bloc ont été ensuite mis dans des sacs en plastique fermés afin de les protéger contre la dessiccation. La description de la campagne de carottage est illustrée par la Figure 4.



Figure 4: Campagne de carottage sur deux blocs de béton intégrant du sédiment marin [Achour, 2013]

#### 4.3.2. Méthodologie pour caractériser les bétons et évaluer leur durabilité

La méthodologie schématisée par la figure 5 a pour but de ;

- caractériser à l'aide de méthodes non destructives innovantes les bétons à base de sédiment marin. Dans cette partie la démarche méthodologique, le programme expérimental et les techniques d'analyses seront discutées ;
- d'évaluer la durabilité sur les deux des bétons par des essais de performance (gel/dégel, attaques sulfatique externe et réaction alcali-granulats (RAG)).
- d'évaluer l'impact environnemental ;
- de comparaison les résultats entre deux formulations de béton afin de comprendre l'influence de l'ajout des sédiments en termes de durabilité dû à trois pathologies courantes ; l'endommagement par des cycles gel-dégel, une attaque sulfatique externe ainsi que la RAG.

L'évolution des paramètres et des indicateurs de durabilité permettent de faire progresser les connaissances et ainsi de promouvoir la valorisation de ces sédiments.

### 4.3.3. Méthodologies d'étude de caractérisation et de durabilité des bétons à base de sédiment

L'approche expérimentale adoptée montre les différentes campagnes expérimentales réalisées et les techniques de mesure et d'analyse utilisées.

Les blocs béton à base de sédiment marin qui font l'objet de cet exemple ont été exposés à un environnement maritime et seront de même soumis à plusieurs types d'agression:

- agressions mécaniques dues aux sollicitations d'exploitations des ouvrages ;
- agressions chimiques dues à la pénétration des ions de chlorures ;
- agressions biologiques dues au développement d'organismes vivants ;
- attaques chimiques du béton dues aux réactions alcali-granulats et sulfatique externe ; phénomène de gel/dégel [Achour, 2013]

Une approche performantielle a été mise en œuvre [Achour, 2013]. Cette dernière consiste à appréhender la durabilité des bétons en considérant non pas les seules données liées à la formulation mais certaines caractéristiques ou propriétés du matériau dont on sait qu'elles présentent un intérêt pour prévoir l'évolution de celui-ci lorsqu'il est exposé à des conditions environnementales données. Différents concepts sont aujourd'hui développés afin de pouvoir mettre en œuvre une approche performantielle de durabilité. Les deux principaux concepts correspondent, d'une part, à la méthode basée sur des indicateurs de durabilités et, d'une part, au système reposant sur l'utilisation des essais de performance [Barghel-Bouny, V., 2008].

Les indicateurs de durabilité présentent des paramètres qui apparaissent comme fondamentaux dans l'évaluation et la prédiction de la durabilité du matériau et de la structure vis-à-vis du processus de dégradation [Barghel-Bouny, V., 2006]. Ces paramètres doivent être aisément quantifiables à partir des essais de laboratoires pratiqués sur des éprouvettes ou sur des prélèvements, de façon reproductible et selon des modes opératoires bien définis. Deux catégories d'indicateurs de durabilité sont distinguées dans le guide AFGC conception des bétons pour une durée de vie donnée d'ouvrage [Barghel-Bouny, V., 2004]:

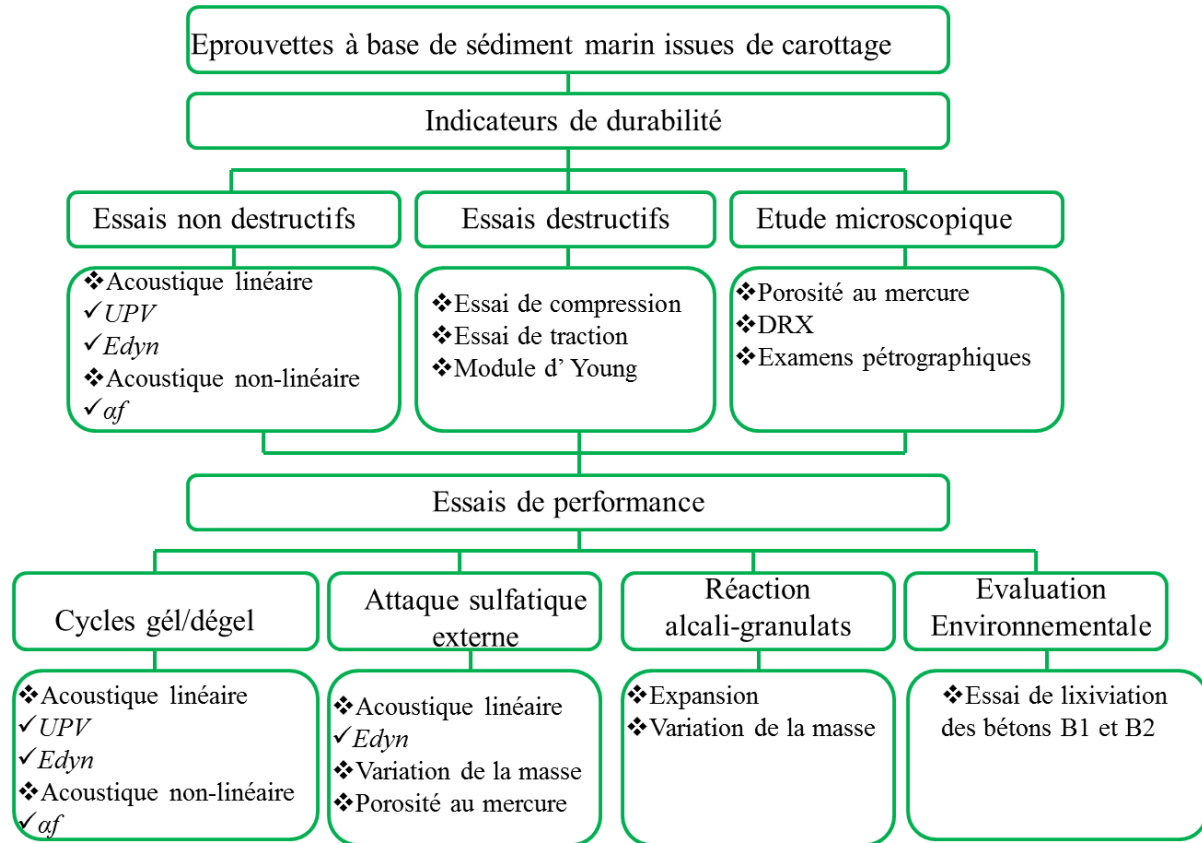
- indicateurs de durabilité généraux (valables pour la plupart des dégradations);
- indicateurs de durabilité spécifiques à un processus de dégradation donné (par exemple l'alcali-réaction).

Barghel-Bouny, V., 2008 explique aussi qu'une telle approche offre la possibilité de prendre en compte non seulement des paramètres techniques pertinents ainsi que la durée de vie, mais également des paramètres socio-économiques (importance économique de l'ouvrage, impact sur l'environnement, insertion dans le tissu urbain, risques d'agression divers, durée de vie, esthétique...).

Dans ce cadre nous nous intéressons à évaluer l'impact de l'intégration de sédiment marin dans le béton par la contribution à la caractérisation par des méthodes destructives et non destructives et en terme de durabilité selon l'approche performantielle [Achour, 2013].

Afin d'évaluer les indicateurs de durabilité des deux bétons à base de sédiment marin, la méthodologie employée se divise en trois phases principales. La première phase porte sur une caractérisation avec des moyens non destructifs par l'emploi des méthodes dites linéaires et non linéaire, une caractérisation avec des moyens destructifs et enfin une caractérisation microstructurale. La seconde phase porte sur l'étude de durabilité des bétons qui dépendra de la classe environnementale. Dans l'exemple présent visant à faire des blocs bétons non armés pour le Grand Port Maritime de

Dunkerque, les conditions conduisent à estimer l'impact des cycles gel/dégel, de la présence de sulfate dans l'eau de mer, et de l'utilisation potentielle de granulats pouvant être alcali-réactifs. Enfin, la troisième phase traite le volet impacts environnementaux par des essais de lixiviation sur les bétons [Achour, 2013].



**Figure 5 : Diagramme du programme expérimental d'étude de durabilité des bétons non armés intégrant le sédiment de dragage : les essais de durabilité seront réalisés en fonction de la classe environnementale du béton sachant que d'autres essais peuvent également être ajoutés [Achour, 2013]**

*UPV* : ultrasonic pulse velocity

*Edyn* : module d'élasticité dynamique

*DRX* : diffraction rayon X

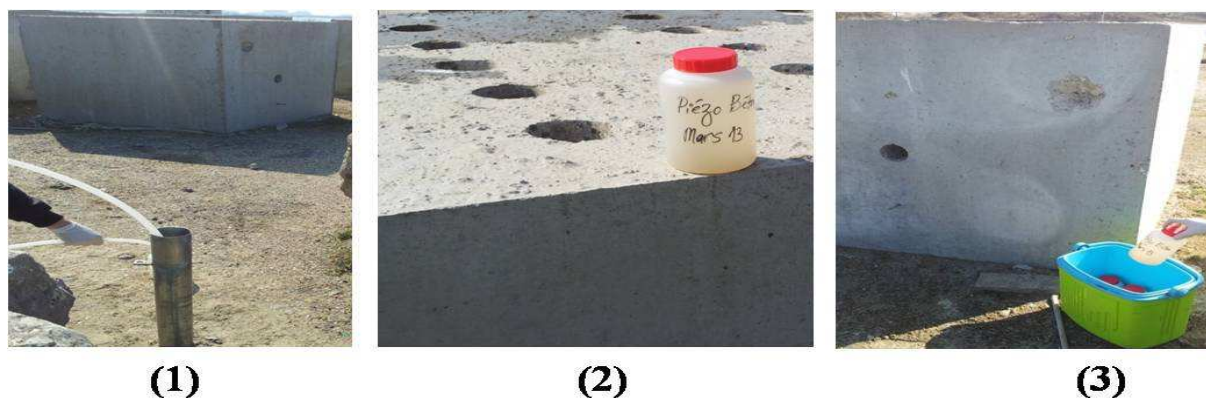
*αf* : décalage fréquentiel

#### 4.3.4. Suivi environnemental

##### Suivi de la qualité des eaux du milieu récepteur

La mise en place d'un piézomètre à proximité de l'ouvrage permet de suivre la qualité des eaux souterraines et de détecter les contaminations liées à l'implantation de l'ouvrage. Il est recommandé de suivre la qualité des eaux du milieu récepteur sur une durée minimale de 12 mois. Les échantillons d'eau sont généralement prélevés à l'aide d'une pompe à soupape et conditionnés sur le terrain en vue des analyses chimiques en laboratoire (Figure 6).





**Figure 6. Prélèvements d'eau au niveau du piézomètre (Achour, 2013). (1) Piézomètre, (2) Echantillon prélevé, (3) Conditionnement des échantillons.**

#### **Paramètres physico-chimiques recherchés**

Les analyses d'eau sont réalisées sur des échantillons filtrés à 0,45  $\mu\text{m}$  et les principaux paramètres à déterminer sont les suivants :

- pH
- Conductivité
- Potentiel redox
- Température
- Anions (chlorures, sulfates, fluorures)
- Cations (éléments majeurs : Ca, Mg, Na, ...)
- Eléments traces (As, Ba, Cd, Cr total, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Zn)
- Hydrocarbures aromatiques polycycliques
- Carbone organique dissous (COD)

#### **Cadre réglementaire pour l'évaluation de la qualité des eaux**

Les directives-cadres européennes relatives à l'eau (2000) et à la qualité de l'air ambiant ainsi que le Grenelle de l'environnement ont imposé la surveillance des milieux et la lutte contre les pollutions. Pour atteindre les objectifs fixés, divers outils réglementaires sont utilisés (lois, plans, etc.). Concernant la ressource en eau et les milieux aquatiques, le réseau routier se doit d'être en conformité avec les objectifs réglementaires fixés notamment par la Directive Cadre sur l'eau (DCE, 2000) et la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (2006). Le gestionnaire routier doit également se conformer au SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) local, instrument de planification qui fournit, à l'échelle de chaque bassin hydrographique, les dispositions permettant d'assurer la protection et l'amélioration de l'état des eaux et des milieux aquatiques. La DCE donne pour objectif d'atteindre le Bon État des Masses d'Eau à l'horizon de 2015 et, plus généralement de ne pas dégrader l'état des masses d'eau. Le Bon État est défini par le respect de seuils, appelés « Normes de Qualité Environnementales » (NQE), fixés pour un certain nombre de paramètres physico-chimiques et biologiques :

- Pour les eaux de surface, les seuils sont listés dans l'Arrêté du 25 janvier 2010
- relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface.

- Pour les eaux souterraines, les seuils sont listés dans l'arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines.

En outre, les seuils de la qualité des eaux superficielles utilisées ou destinées à la consommation humaine peuvent également être utilisés pour l'interprétation des résultats de suivi. Les valeurs seuils sont 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 1<sup>er</sup> Décembre 2011.

## 5. Synoptique de la démarche méthodologique

La figure ci-dessous (Figure 7) résume les différentes étapes nécessaires à l'étude de la faisabilité de l'utilisation des sédiments de dragage en fabrication de béton. La méthodologie proposée dans le présent document comporte trois phases :

Phase 1 : Caractérisation des sédiments de dragage selon la réglementation en vigueur et le référentiel SEDIMATERIAUX afin d'évaluer le potentiel de valorisation du gisement de sédiment.

Phase 2 : Lorsque le sédiment présente les caractéristiques d'un matériau alternatif, une étude de formulation en laboratoire est réalisée afin d'élaborer un béton présentant des caractéristiques mécaniques et environnementales bien particulières pour l'application envisagée (utilisation en béton dans le cas présent)

Phase 3 : Après validation de la formulation sélectionnée à l'échelle du laboratoire, il est nécessaire de démontrer la faisabilité technique de la valorisation envisagée à une échelle significative. Cette dernière phase comprend donc les différentes étapes nécessaires à la mise en œuvre d'un prototype d'ouvrage: stockage à terre et préparation des sédiments dragués, étude des risques sanitaires et environnementaux, réalisation et suivi de la durabilité des bétons produit à partir du sédiment de dragage. La réalisation de cette étape valide la faisabilité technique et environnementale de l'utilisation visée.



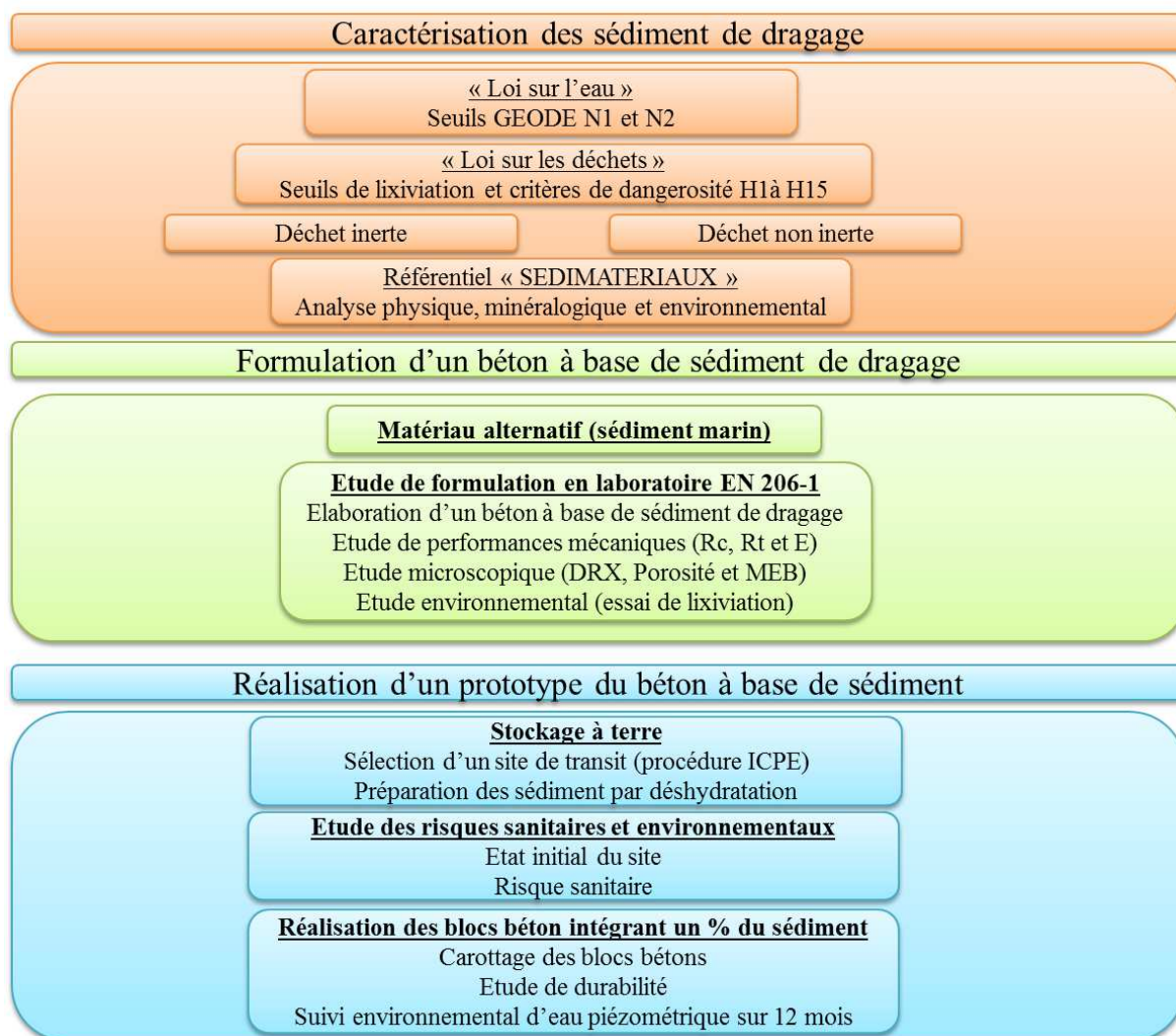


Figure 7. Méthodologie de valorisation des sédiments de dragage en fabrication du béton.

## 6. Bibliographie

### Documents scientifiques et techniques

Achour, R., 2013: « 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 185 pages

Bonnet, 2000 : Développement de bioessais sur sédiments et applications à l'étude, en laboratoire, de la toxicité de sédiments dulçaquicoles contaminés, Thèse de doctorat. Université de Metz, UFR Sciences fondamentales et appliquées.

Baroghel-Bouny, V., 2008: « Approche performantielle de la durabilité des bétons » La durabilité des bétons, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées.853pp. ISBN 978-2-85978-434-2.

Baroghel-Bouny, V., 2006: « Durability indicators : relevant tools for performance-based evaluation and multi-level prediction of durability», International RILEM Workshop on Performance Based Evaluation and Indicators for concrete Durability, Madrid, 19-21 mars 2006.

Baroghel-Bouny, V., 2004: « Maitrise de la durabilité vis-à-vis de la corrosion des armatures et de l'alcali-réaction », Guide de conception des bétons pour une durée de vie donné des ouvrages », Juillet 2004.

CETMEF, 2012. Enquête « dragage » 2009 - Analyse de données - Février 2012 – CETMEF

INERIS, 2013. Synthèse des valeurs réglementaires pour les substances chimiques, en vigueur dans l'eau, les denrées alimentaires et dans l'air en France au 1<sup>er</sup> décembre 2011, DRC-12-115719-00099B.

Mouvet, C., 2011. Development and application of a methodology for screening, on the basis of the carcinogenic (H7), toxic for reproduction (H10) and mutagenic (H11) criteria of the latest European legislation, dredged sediments to be disposed of on land. Journal of Soils and Sediments, 11: 1292-1307.

Mouvet, C., 2012. Protocole pour l'évaluation de l'écotoxicité de sédiments destinés à une gestion à terre. Rapport final BRGM/RP-60835-FR, 15 p.

Perrodin, Y., Donguy, G., Bazin, C., Volatier, L., Durrieu, C., Bony, S., Devaux, A., Abdelghafour, M., Moretto, R. 2012. Ecotoxicological risk assessment linked to infilling quarries with treated dredged seaport sediments. Science of The Total Environment, 431, 375-384.

Zri, 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.

### Normes

NF EN 12457-2 (2002-12-01) Titre : Caractérisation des déchets - Lixiviation - Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues - Partie 2 : essai en bûchée unique avec un rapport liquide-solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 4 mm (sans ou avec réduction de la granularité)

NF CEN/TS 14405 (2005-07-01) Caractérisation des déchets - Essai de comportement à la lixiviation - Essai de percolation à écoulement ascendant (dans des conditions spécifiées)

NF EN 15309 (2007-07-01) Caractérisation des déchets et du sol - Détermination de la composition élémentaire par fluorescence X.

NF EN 206-1 Béton : Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité

NF P 18-302 Granulats : Laitier cristallisé de haut-fourneau

EN 197-1 Ciment Partie 1 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants

EN 12620 Granulats pour béton

EN 13055 Granulats légers Partie 1 : Granulats légers pour bétons et mortiers

EN 1008 Eau de gâchage pour bétons Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton

EN 934-2 Adjuvants pour béton, mortier et coulis Partie 2 : Adjuvants pour bétons — Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage

EN 12878 Pigments de coloration des matériaux de construction à base de ciment et/ou de chaux

EN 450 Cendres volantes pour béton Partie 1 : Définition, spécification et critères de conformité

EN 13263 Fumée de silice pour béton Partie 1 : Définitions, exigences et critères de conformité

NF P 18-508 Additions pour béton hydraulique Additions calcaires Spécifications et critères de conformité

NF P 18-509 Additions pour béton hydraulique Additions siliceuses Spécifications et critère de conformité

### **Règlementation**

Arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement

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 de la santé publique

Arrêté du 17 décembre 2008 établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines

Arrêté du 23 décembre 2009 complétant l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement

Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement

Arrêté du 16 octobre 2010 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2716

Arrêté du 28 octobre 2010 relatif aux installations de stockage de déchets inertes

Arrêté du 18 juillet 2011 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées soumises à déclaration sous la rubrique n° 2718 (installation de transit, regroupement ou tri de déchets dangereux ou de déchets contenant les substances dangereuses ou préparations dangereuses mentionnées à l'article R. 511-10 du code de l'environnement, à l'exclusion des installations visées aux rubriques 1313, 2710, 2711, 2712, 2717 et 2719)

Arrêté du 8 février 2013 complémentaire à l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement

Circulaire du 4 juillet 2008 relative à la procédure concernant la gestion des sédiments lors de travaux ou d'opérations impliquant des dragages ou curages maritimes et fluviaux

Circulaire du 24/12/2010 relative aux précédents décrets modifiant la nomenclature des ICPE de traitement de déchets

Décret n°93-245 du 25 février 1993 relatif aux études d'impact et au champ d'application des enquêtes publiques et modifiant le décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 pris pour l'application de l'article 2 de la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature et l'annexe du décret n° 85-453 du 23 avril 1985 pris pour l'application de la loi n° 83-630 du 12 juillet 1983 relative à la démocratisation des enquêtes publiques et à la protection de l'environnement

Décret n° 2009-1341 du 29 octobre 2009 modifiant la nomenclature des installations classées

Décret n° 2010-369 du 13 avril 2010 modifiant la nomenclature des installations classées

Directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives

Directive Européenne n°96-29 du 13 mai 1996 N° 9629 EURATOM fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants

Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau

Loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature

Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques

Règlement (CE) N° 1488/94 de la Commission du 28 juin 1994 établissant les principes d'évaluation des risques pour l'homme et pour l'environnement présenté par les substances existantes conformément au règlement (CEE) no 793/93 du Conseil