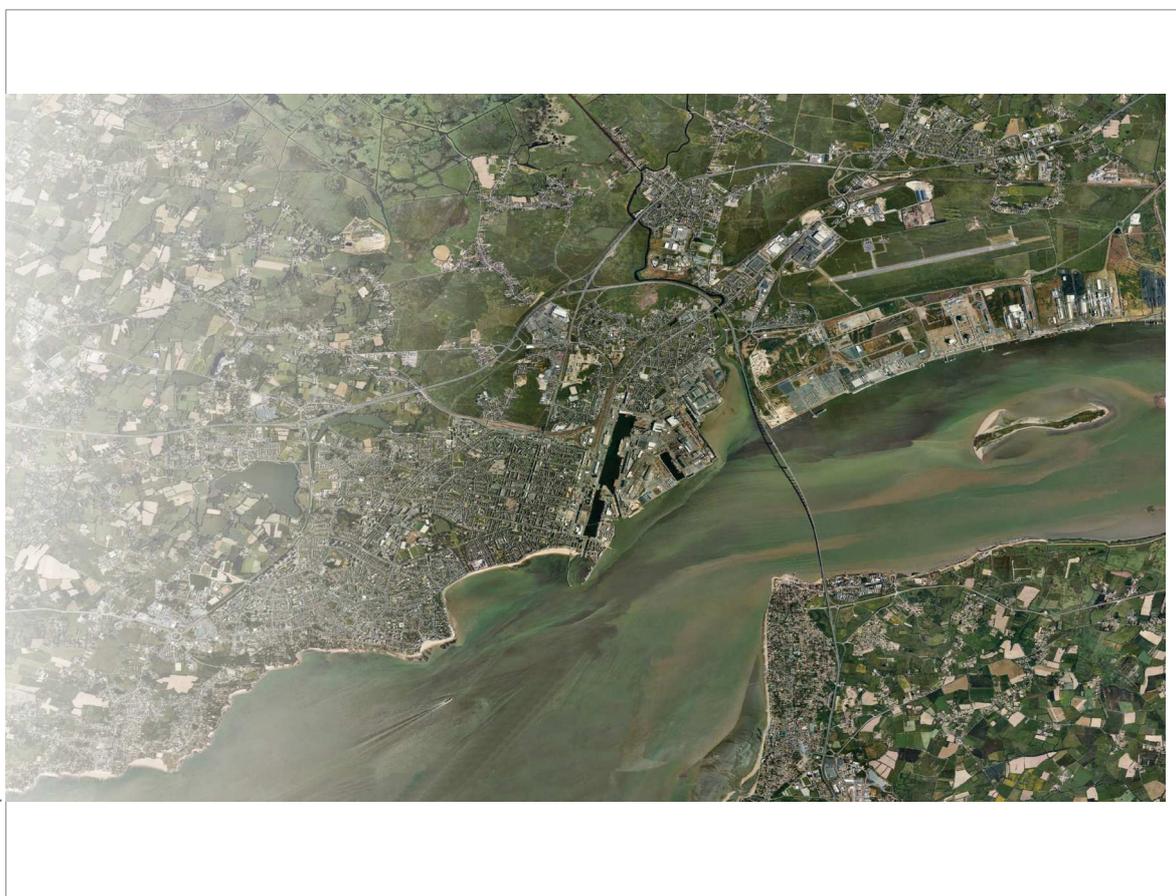


**Étude d'opportunité territoriale de solutions innovantes
de valorisation à terre d'une partie des
sédiments de dragage du GPMNSN
Bilan 2020**



Crédit photo : Cerema

octobre 2020

Étude d'opportunité territoriale de solutions innovantes de valorisation à terre d'une partie des sédiments de dragage du GPMNSN

Bilan 2020

Affaire suivie par

Maryse GANNE - Mission Stratégies Intégrées
Tél. : 02 40 12 83 60
Courriel : maryse.ganne@cerema.fr
Site de Nantes : Cerema Ouest – MAN – 9 rue René Viviani – BP 46223 – 44262 NANTES cedex 02

Références

N° d'affaire : C19OB0137

API-GPMNSN-Stratégie-Gestion-Port-2019-2023 - prog 2019 valorisation à terre des sédiments de dragage

Maître d'ouvrage : Grand Port Maritime de Nantes Saint Nazaire (Mme Lucie Trulla)

Fiche action signée le 15 juillet 2019

Rapport	Nom
Établi par	Maryse Ganne, Chargée de mission mer et littoral, Mission Stratégies intégrées Jean-Baptiste Castaing, Chargé d'étude & recherche écologie industrielle et territoriale – économie circulaire, Mission Stratégies intégrées Valéry Le Turdu, Chef de l'unité Optimisation des Ressources et Enrochements au Département Laboratoire d'Angers
Avec la participation de	Hélène Bonnefoy, chef de l'Unité Déchets, sites et pollution au Département Laboratoire d'Angers ; Céline Hébrard, Cadre expert Gestion des ressources naturelles au département Territoires Ecologie Energie Risques de la direction territoriale Nord Picardie du Cerema ; Sandrine Taquin, chargée d'études au département Territoires Ecologie Energie Risques de la direction territoriale Nord Picardie du Cerema ; Patrick Vaillant, chef du groupe des Infrastructures de Transport au Département, Laboratoire d'Autun de la direction territoriale Centre Est du Cerema Pierre-Yves Belan, chef de la division impacts environnementaux des activités à la direction technique Eau, Mer et Fleuve (DtechEMF) du Cerema ; Florian Rognard, responsable d'étude environnement à la division impacts environnementaux des activités à la Dtech EMF du Cerema ;

Rapport V2020	Nom	Date	Visa
Contrôlé et validé par	Denis MUSARD, Directeur adjoint du Cerema Ouest	05/10/2020	

Avant-propos

Dans le cadre d'une convention de R&D entre le Cerema et le Grand Port Maritime de Nantes Saint-Nazaire (GPMNSN), une réflexion est menée depuis juillet 2019 dans le but d'évaluer les opportunités de territoire et les débouchés économiques pour le développement de solutions innovantes de valorisation à terre d'une partie des sédiments de dragage du GPMNSN.

Cette étude est structurée en cinq chapitres :

- (i) les éléments de contexte et les objectifs qui justifient la réflexion menée dans cette étude,
- (ii) les pratiques de dragage du GPMNSN,
- (iii) retours d'expériences acquis dans d'autres Grand Port maritimes et à un focus historique sur la gestion des sédiments en estuaire de la Loire,
- (iv) la caractérisation physico-chimique et granulométrique des sédiments dragués en lien avec les voies de valorisation à terre envisageables,
- (v) une matrice croisée de différents paramètres qui amène à cibler quelques voies de valorisation à approfondir et le
- (vi) les premiers éléments de synthèse pour ces voies de valorisation en matière de réglementation, d'analyses complémentaires nécessaires et de premiers contacts de partenaires locaux pressentis. Pour ce dernier volet, les fiches de synthèse par filière du programme Alluvio de VNF ont été mobilisées.

Ce premier travail constitue donc une étude préliminaire qui précède et prépare une suivante plus opérationnelle prévue pour l'année 2020. La constitution d'un groupe technique restreint courant le dernier trimestre 2019 a d'ores et déjà permis de dégager plusieurs pistes de travail R&D avec les différents partenaires.

Synthèse

« Les déchets d'aujourd'hui sont les matières premières de demain »

1. Contexte du lancement de la réflexion

Les opérations de dragage, techniquement maîtrisées et juridiquement très encadrées, sont rendues nécessaires par la sédimentation naturelle (dynamique du système bouchon vaseux – crème de vase) observée dans les installations portuaires et les chenaux d'accès qui rehaussent la cote des fonds, pouvant entraîner, si des dragages ne sont pas opérés, des problèmes de sécurité pour la navigation et des difficultés commerciales. Elles permettent de garantir un accès aisé et sûr de chaque navire jusqu'à son poste à quai (chenal et souille confondus) et répondent ainsi aux objectifs du GPMNSN en matière de navigation.

Avec un volume moyen annuel de 7 millions de m³ depuis 10 ans le GPMNSN est l'un des plus gros ports français en matière de volumes de sédiments dragués. Près des deux tiers des sédiments dragués du GPMNSN sont aujourd'hui exportés hors de l'estuaire dans une zone d'immersion, le tiers restant étant remis en suspension dans le fleuve.

Si l'ensemble des sédiments dragués n'a pas vocation à revenir à terre et si le contexte actuel ne l'exige pas dans l'immédiat au regard de leur faible niveau de contamination vis-à-vis des seuils N1/N2, les évolutions juridiques récentes et en cours – loi sur l'économie bleue, sortie du statut de déchet des matériaux dragués –, les préoccupations environnementales et l'essor des enjeux en matière de maîtrise des ressources et de recyclage des déchets offrent au GPMNSN un contexte propice pour imaginer de nouveaux modèles économiques en matière de gestion des sédiments de dragage et anticiper sur l'avenir.

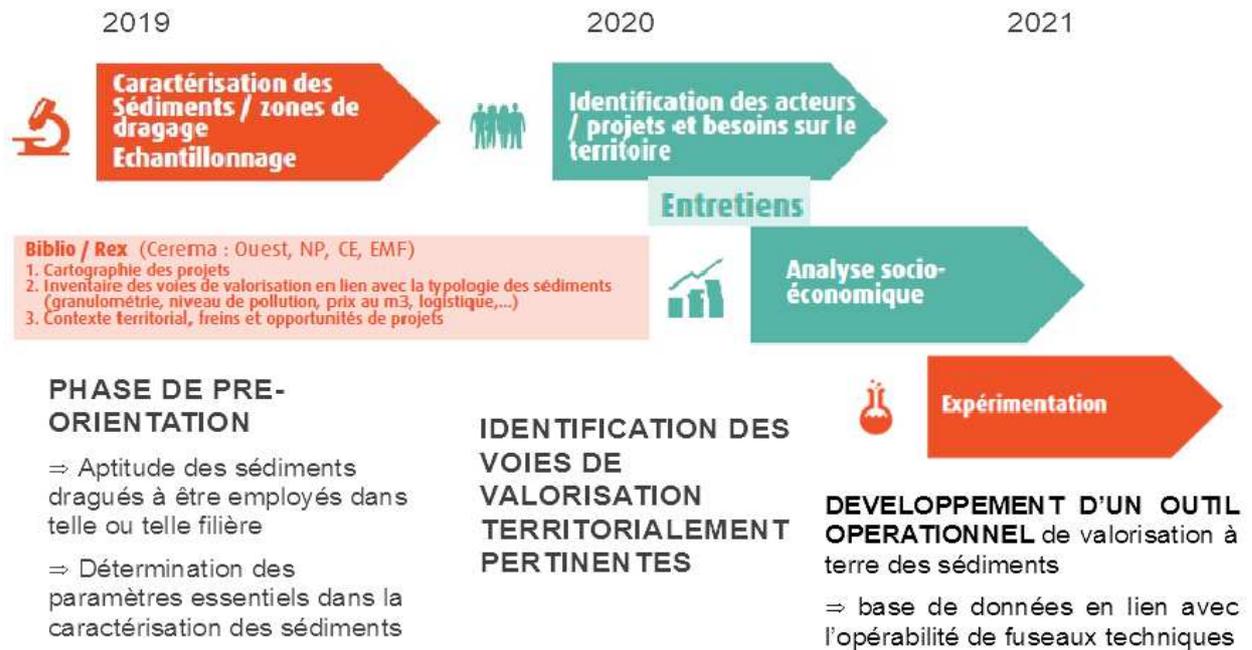
La réflexion engagée a pour principal objectif d'étudier l'opportunité, la faisabilité et la rentabilité de la valorisation à terre d'une partie des sédiments de dragage du GPMNSN et ce dans le cadre d'une démarche territoriale, en cohérence avec les principes de l'économie circulaire : des voies de valorisation terrestre techniquement, économiquement/écologiquement/socialement pertinentes sont-elles susceptibles d'émerger localement en lien avec un écosystème d'acteurs moteurs et des besoins spécifiques identifiés sur le territoire ?

Ce travail exploratoire n'engage pas le GPMNSN à concrétiser le développement d'une filière de valorisation à terre d'une partie de ses sédiments dragués.

Un groupe technique restreint consultatif et représentatif des différentes composantes du sujet – matériau, économie, juridique, environnement, connaissance du territoire de l'estuaire - a été constitué afin de suivre la progression des travaux et contribuer aux réflexions. L'ensemble de ses membres ont signé une clause de confidentialité (liste en annexe 1).

2. Calendrier global de la démarche exploratoire

Il s'agit d'une démarche pluriannuelle qui doit permettre, par étape, d'éclairer le GPMNSN sur les choix les plus pertinents à adopter en matière de stratégie de gestion des sédiments de dragage.



3. Premiers enseignements des retours d'expériences de valorisation lancées sur d'autres territoires

Les constats:

- des réflexions de valorisation à terre des sédiments de dragage ont été lancées depuis plusieurs années par de nombreux ports. Les grands ports maritimes de Marseille et Nantes - Saint-Nazaire n'avaient, avant l'engagement de la présente étude, mené aucune réflexion en matière de valorisation à terre de leurs sédiments de dragage ;
- la création de filières de valorisation est un processus au long cours qui nécessite plusieurs années (phase de R&D, expérimentation en laboratoire puis pilote pré-industriel...), qui est coûteux (constructions de plateformes expérimentales...) et incertain du point de vue de la rentabilité économique, les réflexions étant souvent lancées en avance de phase par rapport aux débouchés réels sur les territoires :
 - le coût global d'un projet de valorisation peut être conséquent (environ 1 M€) ce qui nécessite généralement l'**obtention d'un financement (ex : Région, ADEME,...) et la participation de partenaires institutionnels et académiques** ;
 - le développement d'une filière économiquement opérationnelle peut nécessiter **plusieurs années d'études** préalables et une **forte implication du ou des porteurs de projet** ;
- on observe une concentration de la réflexion sur l'élaboration de matériaux de haute technicité (béton, ciment, terre cuite, techniques routières, etc.) ;

- les projets de valorisation étudiés ont rarement abouti à une phase opérationnelle en France ;
- on note des valorisations plus fréquentes et concrètes en Europe, notamment en matière de valorisation de sols.

D'après les données recueillies et les retours d'expériences enquêtées :

- le coût d'une **mise en ISD est toujours plus onéreux qu'une opération de valorisation**. L'économie réalisée est cependant variable en fonction du type de valorisation et des coûts associés ;
- la valorisation des sédiments peut faire l'objet d'une **source de revenus** en fonction du modèle économique mis en œuvre. Les sédiments traités en vue d'une valorisation peuvent être mis à disposition gratuitement mais également vendus. Le contexte territorial et la qualité des sédiments étant des paramètres déterminants.

4. Premiers résultats et discussion pour une pré-orientation du choix des filières à étudier

La capitalisation des démarches engagées sur d'autres territoires et par d'autres Grands Ports Maritimes depuis plus de 10 ans, ainsi que les caractéristiques des sédiments dragués au GPMNSN, ont permis d'identifier les paramètres prépondérants à prendre en compte pour proposer une matrice décisionnelle des voies de valorisation les plus pertinentes à étudier.

- **Les principaux critères d'analyse pour le choix d'une filière de valorisation**

- **l'aptitude des sédiments du GPMNSN** en fonction des caractéristiques techniques requises pour chacune des filières ;

- **les critères économiques pour envisager la rentabilité de chaque filière** : appréciation des coûts de stockage, de traitement, de transport ;

- **les aspects réglementaires** : existence de seuils de contamination à respecter pour un usage hors d'eau, perspective de sortie du statut de déchet, normes existantes en lien avec l'assurabilité des matériaux de construction ;

- **le contexte territorial en lien avec l'écosystème d'acteurs présents sur le territoire** (partenaires scientifiques, institutionnels, artisans et start-up susceptibles de porter l'expérimentation), **la réalité ou la perspective d'un marché à court/moyen terme (maturité de la filière), l'acceptabilité sociale envisagée** ;

- **l'appréciation du bilan environnemental** au regard de l'émission de gaz à effet de serre, d'économie de la ressource...

- **Une première évaluation qualitative pour certains paramètres**

Ces critères ont été évalués en lien avec **les caractéristiques granulométriques et physico-chimiques des sédiments du GPMNSN** et à l'aune des connaissances actuelles disponibles pour les différentes voies de valorisation.

Ces bases de connaissance sont alimentées depuis plusieurs années par les apports scientifiques (thèses, articles, colloques...) et les expérimentations engagées par différents Grands Ports Maritimes et gestionnaires de voies d'eau et de barrages (VNF, EDF...).

La connaissance empirique du contexte territorial a par ailleurs permis de proposer une première appréciation qualitative de certains critères (acceptabilité sociale, perspective d'un marché, bilan environnemental...) qui demanderait à être finement caractérisée via des entretiens ciblés.

- **Les résultats de l'analyse**

Les résultats de cette analyse, en lien avec les ambitions du projet - **trouver un débouché innovant dans une logique d'économie circulaire territoriale, avec un coût minimal et un délai de mise en œuvre raisonnable** - permettent de proposer l'approfondissement de plusieurs voies de valorisation :

- **pour les fractions limono-vaseuses (très majoritairement représentés dans les sédiments de dragage d'entretien du GPMNSN) ==>** approfondissement de l'opportunité de développer des débouchés en aménagement paysager, en reconstitution et amélioration de sols et en matériau de construction (clinker pour ciment ou terre cuite) ;
- pour les fractions sableuses ==> approfondissement de l'opportunité de développer des débouchés de la filière béton et ciment, uniquement pour des usages faisant sens en matière d'économie circulaire sur le territoire :
 - réemploi des matériaux à l'échelle de la Zone Industrialo-Portuaire (ZIP) : stabilisation de berges (blocs accropodes), confortement de quais, plateformes...
 - **réemploi des matériaux pour des usages maritimes : création de récifs artificiels, lestage des câbles EMR du parc marin du banc de Guérande, corps morts pour des ancrages de bateaux de plaisance...** Un travail complémentaire de croisement de plusieurs paramètres -caractéristiques techniques, critères économiques, aspects réglementaires, contexte territorial, acceptabilité sociale et bénéfice environnemental, délai de mise en œuvre du projet permettent de confirmer cette pré-orientation.

5. Perspectives et proposition de travail pour 2020

Les caractéristiques des sédiments déterminent leur aptitude à être valorisé vers des filières. Par conséquent, la prochaine étape de ce travail consistera à mettre en œuvre des analyses complémentaires afin de vérifier la compatibilité des sédiments de dragage du GPMNSN avec les voies de valorisation à terre.

Afin de préciser les premiers résultats, il est désormais nécessaire pour chacune des voies de valorisation pressenties :

- de **mettre en œuvre des caractérisations complémentaires** nécessaires afin de vérifier la compatibilité des sédiments de dragage du GPMNSN avec une valorisation à terre ;
- de confirmer les voies de valorisation pertinentes via une **analyse territoriale approfondie**. Afin de préciser les premiers résultats, il sera nécessaire d'enquêter précisément l'écosystème d'acteurs locaux : besoins, contribution possible pour avancer dans la réflexion,...

- de construire les partenariats nécessaires pour engager la phase expérimentale :
 - Rechercher des dispositifs de financement nationaux ou européens via notamment les appels à projet ADEME ;
 - mettre en oeuvre des expérimentations.

Table des matières

1 POURQUOI ENGAGER UNE RÉFLEXION SUR L'OPPORTUNITÉ TERRITORIALE DE VALORISATION À TERRE D'UNE PARTIE DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE DU GPMNSN ?	11
1.1 Objectifs et gouvernance du projet : une réflexion exploratoire.....	11
1.1.1 L'intérêt pour le Cerema.....	11
1.1.2 L'intérêt pour le GPMNSN.....	11
1.2 Enjeux (économie circulaire, contexte réglementaire).....	12
2 PRATIQUES DE DRAGAGE DU GPMNSN - SYNTHÈSE DES DONNÉES CLÉS.	14
3 CAPITALISATION DE L'EXPÉRIENCE ACQUISE	18
3.1 Les voies de valorisation explorées en France.....	18
3.1.1 Cartographie nationale.....	18
3.1.2 Retour d'expérience de grands ports – les points clés.....	21
3.1.2 Capitalisation de la démarche SEDIMATERIAUX : le cas de deux projets de valorisation pour la filière béton.....	23
3.2 Les valorisations « historiques » à l'échelle de l'estuaire.....	25
3.3 Synthèse : éléments d'éclairage pour le GPMNSN.....	26
3.3.1 Vers une obligation des ports à étudier des alternatives à l'immersion.....	26
3.3.2 Freins et verrous rencontrés pour le développement des voies de valorisation.....	27
3.3.3 Premières données économiques.....	29
4 CARTE D'IDENTITÉ SYNTHÉTIQUE DES SÉDIMENTS DU GPMNSN – CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET GRANULOMÉTRIQUE – MISE EN PERSPECTIVE AVEC LES VOIES DE VALORISATION	33
4.1 Qualité des sédiments dragués.....	33
Éléments clés.....	33
Perspectives / évolution du suivi.....	34
4.2 Granulométrie.....	35
5 PRÉ-CIBLAGE DE VOIES DE VALORISATION À APPROFONDIR	53
5.1 Critères d'analyse pour la matrice croisée.....	53
5.2 Méthodologie.....	54
5.3 Résultats.....	54
5.4 Conclusion.....	63
BILAN PAR FILIÈRE PRÉ-CIBLÉES : RÉGLEMENTAIRE - ANALYSES COMPLÉMENTAIRES – CONTEXTE TERRITORIAL	64
5.5.1 Cartographie des projets de valorisation.....	65
5.5.2 Réglementation.....	67
5.6 Filière béton/ciment.....	71

5.6.1 Réglementation.....	71
5.6.2 Analyses complémentaires.....	72
5.6.3 Acteurs du territoire.....	73
5.7 Filière brique.....	74
5.7.1 Cartographie des projets de valorisation.....	74
5.7.2 Réglementation.....	76
5.7.3 Analyses complémentaires.....	76
5.7.4 Acteurs du territoire.....	77
6 CONCLUSION ET ENJEUX POUR LE GPMNSN.....	79
7 PERSPECTIVES ET PROPOSITION DE TRAVAIL POUR 2020.....	82

1 Pourquoi engager une réflexion sur l'opportunité territoriale de valorisation à terre d'une partie des sédiments de dragage du GPMNSN ?

1.1 Objectifs et gouvernance du projet : une réflexion exploratoire

Le GPMNSN et le Cerema Ouest ont souhaité engager une réflexion sur l'opportunité territoriale de valorisation à terre d'une partie des sédiments de dragage du GPMNSN.

Ce travail est proposé dans le cadre de la convention R&D 2019/2023 de mars 2019 Cerema/GPMNSN – Axe 3 : optimisation du système industrialo-portuaire dans le territoire estuarien

- participation au développement de l'économie circulaire et de l'écologie industrielle territoriale ;
- réduction de l'empreinte écologique du GPMNSN, notamment en matière de dragage

1.1.1 L'intérêt pour le Cerema

En qualité d'établissement public ayant pour mission l'accompagnement des territoires et des acteurs économiques dans leurs projets de développement durable, le Cerema s'intéresse depuis plusieurs années aux projets visant la valorisation à terre des sédiments de dragage. D'une part dans une logique de développement de l'économie circulaire sur les territoires et d'autre part afin de pérenniser les filières pouvant bénéficier de cette source de matériaux.

Le Cerema Ouest souhaite également :

- s'implanter plus significativement auprès de l'opérateur portuaire de Nantes et Saint-Nazaire en raison des enjeux de développement sur les plans économique, énergétique et environnemental de la Zone Industrialo-Portuaire (ZIP) ;
- renforcer sa position à l'interface réglementation / opérateur économique, notamment en matière d'innovation ;
- capitaliser les savoir-faire et les connaissances à travers son réseau national et les démarches locales afin d'accélérer et de faciliter le développement de filières de valorisation de sédiments de dragage.

1.1.2 L'intérêt pour le GPMNSN

Les opérations de dragage, techniquement maîtrisées et juridiquement très encadrées, sont rendues nécessaires par la sédimentation naturelle (dynamique du système bouchon vaseux – crème de vase) observée dans les installations portuaires et les chenaux d'accès qui rehaussent la cote des fonds, pouvant entraîner, si des dragages ne sont pas opérés, des problèmes de sécurité pour la navigation et des difficultés commerciales. Elles permettent de garantir un accès aisé et sûr de chaque navire jusqu'à son poste à quai (chenal et souille confondus) et répondent ainsi aux objectifs du GPMNSN en matière de navigation.

Avec un volume moyen annuel de 7 millions de m³ depuis 10 ans le GPMNSN est l'un des plus gros ports français en matière de volumes de sédiments dragués. Près des deux tiers des sédiments dragués du GPMNSN sont aujourd'hui exportés hors de l'estuaire dans une zone d'immersion, le tiers restant étant remis en suspension dans le fleuve.

Si l'ensemble des sédiments dragués n'a pas vocation à revenir à terre et si le contexte actuel ne l'exige pas dans l'immédiat au regard de leur faible niveau de contamination, les évolutions juridiques en cours, les préoccupations environnementales et l'essor des enjeux en matière de maîtrise des ressources et de recyclage des déchets offrent au GPMNSN un contexte propice pour imaginer de nouveaux modèles économiques en matière de gestion des sédiments de dragage et anticiper sur l'avenir.

Le travail engagé dans le cadre de la présente étude a pour principal objectif d'étudier l'opportunité, la faisabilité et la rentabilité de la valorisation à terre d'une partie, même limitée, des sédiments de dragage du GPMNSN et ce dans le cadre d'une démarche territoriale, en cohérence avec les principes de l'économie circulaire : des voies de valorisation terrestre techniquement, économiquement/écologiquement/socialement pertinentes sont-elles susceptibles d'émerger localement en lien avec un écosystème d'acteurs moteurs et des besoins spécifiques identifiés sur le territoire ?

Au regard des différentes composantes du sujet – matériau, économie, juridique, environnement, un groupe technique restreint consultatif a été constitué dans le but de suivre la progression des travaux.

Outil industriel de développement économique au service du trafic maritime et de l'activité portuaire, le GPMNSN est directement concerné par les problématiques de transition écologique et énergétique qui est au cœur de son projet stratégique.

Fortement impliqué dans la recherche de solutions innovantes pour y répondre, il travaille en partenariat avec les autres acteurs publics (État, collectivités locales, chambres consulaires...) et privés (entreprises industrielles et portuaires, logisticiens, chargeurs...) du territoire pour mener des actions fortes en matière d'écologie industrielle territoriale et d'économie circulaire.

L'étude d'opportunité technique et économique de solutions innovantes de valorisation à terre d'une partie de ses sédiments de dragage s'inscrit pleinement dans cette dynamique.

Ce travail n'engage pas le GPMNSN à concrétiser le développement d'une filière de valorisation à terre d'une partie de ses sédiments dragués. L'objectif principal de ce projet est d'étudier la faisabilité – technique, socio-économique, réglementaire et environnementale – dans un esprit de durabilité et de rentabilité de la valorisation à terre d'une partie des sédiments de dragage du GPMNSN.

1.2 Enjeux (économie circulaire, contexte réglementaire)

Tout un contexte juridique, législatif et financier encourage les ports à initier une réflexion pour développer des alternatives innovantes à l'immersion d'une partie de leurs sédiments dragués.

- **La Loi Leroy du 20 juin 2016** pour l'économie bleue prévoit une interdiction du rejet en mer des sédiments et résidus de dragage pollués à partir du 1er janvier 2025 (Art. 85 loi n°2016-816) ainsi que la mise en place d'une filière de traitement des sédiments et résidus et de récupération des macro-déchets associés. Les seuils au-delà desquels les sédiments et résidus pourront être considérés comme non immergeables sont définis par voie réglementaire. A ce jour, 5 % des

sédiments dragués à l'échelle nationale sont concernés par un stockage ou une valorisation à terre.

- **La Loi pour la Transition Écologique et la Croissance Verte (TECV)** du 17 août 2015 définit quant à elle des objectifs chiffrés avec notamment la réduction de 50 % des déchets stockés à l'horizon 2025. Son titre IV intitulé « Lutter contre les gaspillages et promouvoir l'économie circulaire : de la conception des produits à leur recyclage » vise à dépasser le modèle économique linéaire consistant à « produire, consommer, jeter » et affirme le rôle essentiel de la politique nationale de prévention et de gestion des déchets pour y parvenir. D'après la directive n°2008/98/CE relative aux déchets, les sédiments destinés à un stockage ou à une valorisation à terre sont considérés comme des déchets. Le sédiment cesse d'être un déchet dès lors qu'il fait l'objet d'une valorisation n'ayant pas d'effets nocifs pour l'environnement ou la santé humaine.
- **La loi NOTRe du 7 août 2015** étend le champ de compétences des régions en matière de prévention et de gestion des déchets par la définition d'un plan régional unique (Art. 5). Elle prévoit la création d'un plan régional de prévention et de gestion des déchets et d'un schéma régional d'aménagement et de développement durable et d'égalité du territoire (SRADDET). Elle donne également la compétence déchets aux intercommunalités, et les renforce en instituant une population minimale de 15 000 habitants pour la création d'un EPCI à fiscalité propre.
- Au niveau opérationnel, l'ADEME soutient des projets innovants d'amélioration de la conception de produits et services économes en ressources et moins impactants pour l'environnement, dont ceux générant un changement de modèle économique, notamment via l'Appel à projets (AAP) "Economie circulaire et valorisation des déchets" en cours.
- **La mesure M024-NAT1b** du plan d'action milieu marin (PAMM) Golfe de Gascogne prévoit de « favoriser la mise en œuvre de schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et des filières de gestion des sédiments, évolutifs et adaptés aux besoins locaux ».

Tous ces éléments sont autant de défis et d'opportunités pour les ports d'imaginer de nouveaux modèles économiques en lien avec la gestion de leurs sédiments dragués.

D'un point de vue environnemental et économique il n'est cependant **pas envisagé, ni souhaitable, de valoriser à terre la totalité des sédiments dragués**. De plus, en lien avec la diminution des ressources minières disponibles, la nécessité de développer des modèles de développement plus vertueux et l'augmentation de la demande en matériaux de construction, des **opportunités économiques peuvent être attendues par les gestionnaires portuaires** en matière de valorisation des sédiments de dragage à terre. Il est également attendu que l'image des GPM auprès des acteurs locaux, souvent associée à l'industrie lourde et aux activités polluantes, bénéficie du déploiement de ces nouvelles filières d'économie circulaire.

Bien que contraignante à court terme, la généralisation de cette obligation de recherche de voies de valorisation à terre des sédiments pourrait engendrer de nombreuses retombées positives pour les activités portuaires, sur le plan économique (minimiser les opérations de dragage, bénéfiques liés à la vente de matériaux alternatifs), environnemental, sociétal et territorial (intégration à l'économie locale, développement de l'hinterland, verdissement de l'image, potentiel de création d'emploi).

Pratiques de dragage, volumes, saisonnalité et secteurs d'intervention

Concernant les volumes dragués sur la période 2012-2017

- le volume moyen annuel dragué à l'échelle de l'estuaire de la Loire est d'environ **6,4 millions de m³** ;
- ce volume est inférieur au volume moyen annuel autorisé par l'arrêté préfectoral de 2013 (8,5 millions de m³) ;
- ce volume est également inférieur (diminution de 17 %) au volume dragué sur la période précédente 2006 - 2011 ;
- les secteurs préférentiellement dragués sont les sections 5 et 6 du chenal de Donges ainsi que les souilles des terminaux des ports de Montoir et de Donges ;
- les engins draguant les plus grands volumes sont la Drague Aspiratrice en Marche (DAM),
- suivie de la Drague à Injection d'Eau (DIE) et de la Drague Aspiratrice Stationnaire (DAS) avec respectivement 60 %, 30 % et 10 % des volumes dragués.

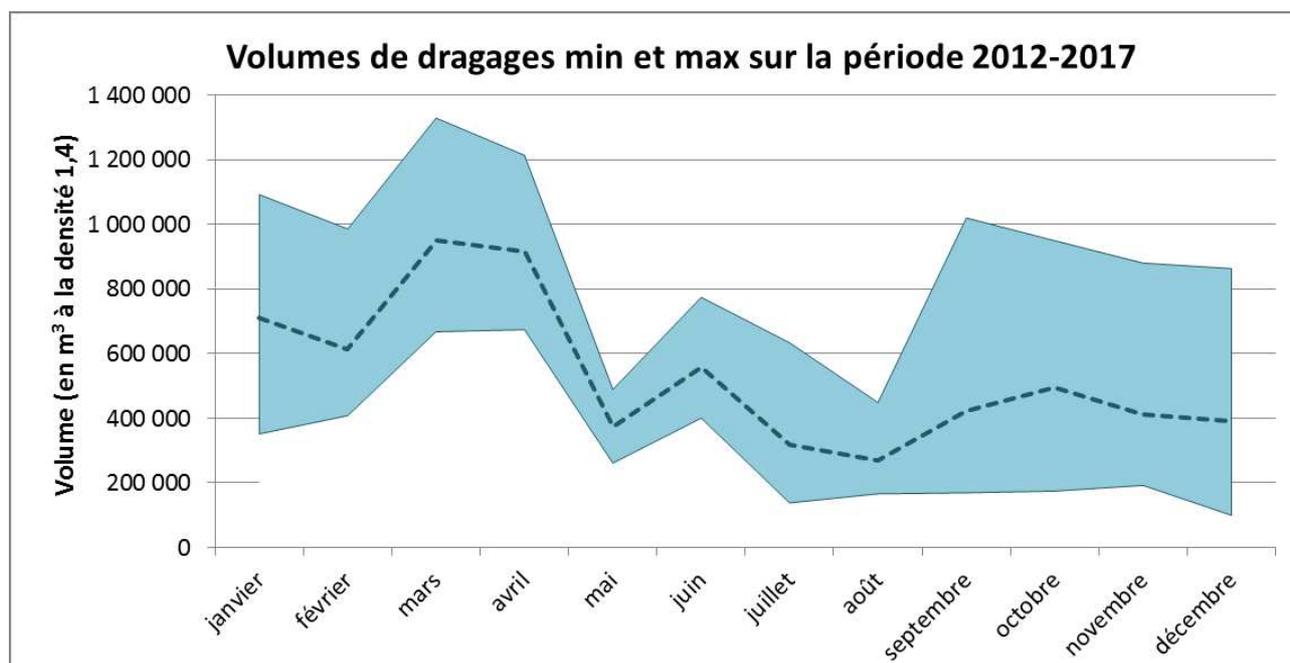
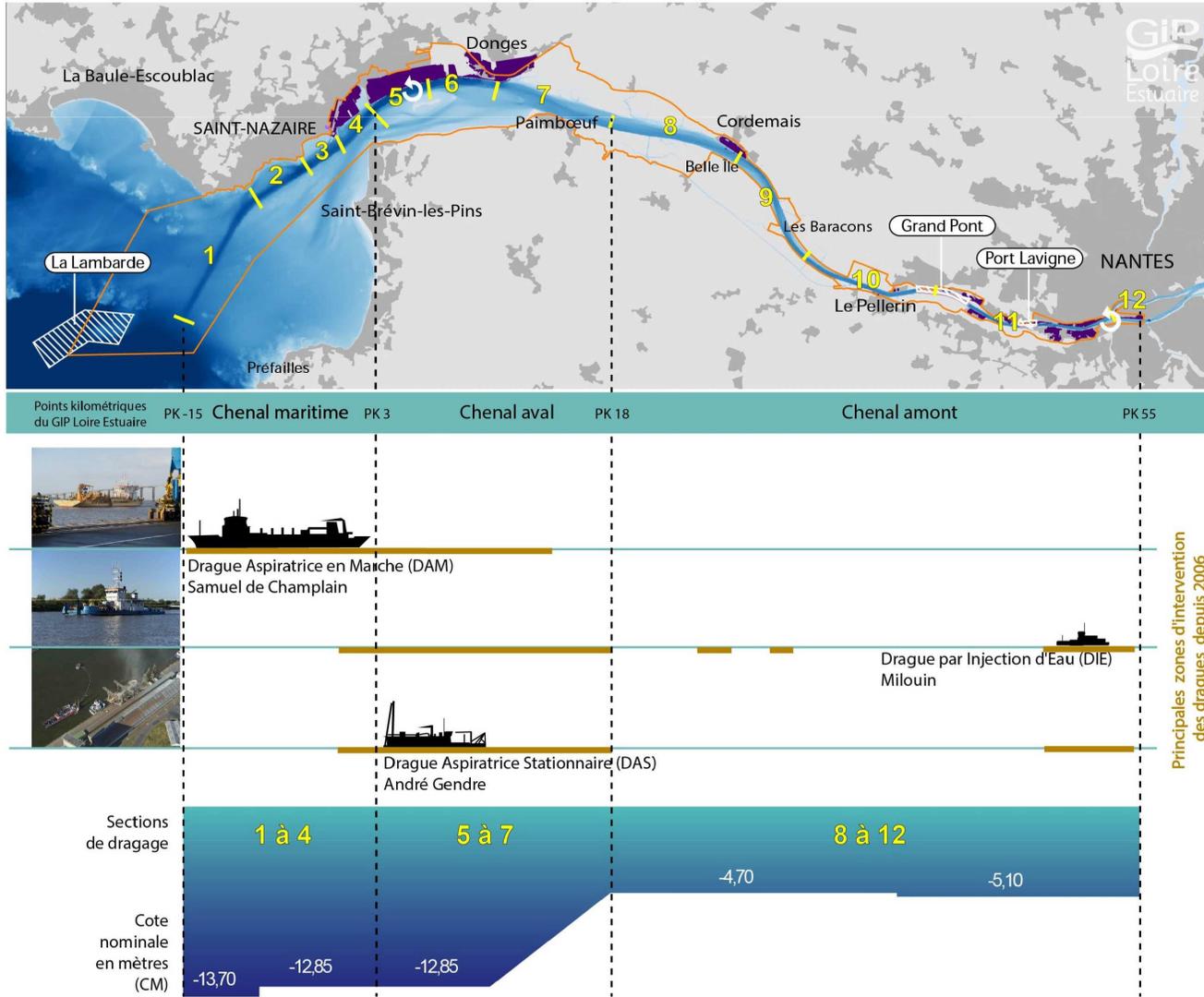


Figure 1: Volumes de dragages minimum et maximum sur la période 2012-2017.



Le Grand Port Maritime de Nantes Saint-Nazaire (NSNP) doit garantir aux navires un accès sécurisé aux installations portuaires.

Or la navigation peut être gênée par l'accumulation des dépôts de sédiments du bouchon vaseux en particulier en mortes eaux et par la formation de grandes rides de sable (riddens), sur le fond du chenal de navigation. Le port maintient donc les profondeurs nécessaires en procédant à des dragages d'entretien, qui consistent à retirer des sédiments du chenal et des seuils des terminaux portuaires. Ces opérations de dragages sont encadrées réglementairement.

Sources des données
 informations dragages - NSNP service Accès Nautiques
 topo-bathymétrie - NSNP et GIP Loire Estuaire
 occupation des sols - GIP Loire Estuaire

Crédit photographique © NSNP - André Bocquel



"Cette opération est cofinancée par l'Union européenne. L'Europe s'engage sur le bassin de la Loire avec le Fonds Européen de Développement Régional."



Réalisation :
 GIP LOIRE ESTUAIRE ©
 Pôle "connaissance / diffusion"

Figure 2: Accès portuaires et dragages d'entretien dans l'estuaire de la Loire (Source : GIP LE - 2019).

La répartition des volumes dragués est la suivante (période 2012-2017) :

- Sections 1 & 2 (chenal externe) : 13 % du volume total de dragage à l'échelle de l'estuaire ;
- Sections 3 à 6 (chenal de Donges) : 58,2 % du volume total de dragage ;
- Section 7 (chenal de transition) : 4,9 % du volume total de dragage ;
- Sections 8 à 12 (chenal de Nantes) : 4,5 % du volume total de dragage ;
- Installations portuaires : 19,4 % du volume total de dragage, essentiellement à Montoir et Donges ;

Tableau 1: Volumes dragués moyens annuels en millions de mètre cube par section et par technique.

Période	Chenal externe – sections 1 et 2			Chenal de Donges – sections 3 à 6			Chenal de transition – section 7			Chenal de Nantes – section 8 à 12			Installations		
	DAS	DAM	DIE	DAS	DAM	DIE	DAS	DAM	DIE	DAS	DAM	DIE	DAS	DAM	DIE
2006-2011	0	1.01	0	0.067	3.63	0.51	0.046	0.28	0.26	0.019	0	0.33	1.34	0.038	0.17
2012-2017	0	0.84	0	0.058	3.09	0.61	0.062	0.04	0.21	0.010	0.030	0.16	0.40	0.010	0.84
2006-2017	0	0.93	0	0.063	3.36	0.56	0.054	0.16	0.24	0.060	0.015	0.24	0.87	0.026	0.50
Tous engins 2006-2017	0.93			3.98			0.45			0.32			1.40		

3 Capitalisation de l'expérience acquise

3.1 Les voies de valorisation explorées en France

L'obligation de trouver des alternatives à l'immersion des sédiments de dragage, en lien avec leur niveau de pollution, a poussé plusieurs grands ports maritimes et gestionnaires de voies d'eau et de barrages (VNF, EDF...) à lancer des programmes de R&D d'ampleur depuis plus de 10 ans.

Une valorisation à terre de leurs sédiments de dragage – considérés comme des déchets une fois sortis de l'eau - permet aux gestionnaires d'éviter un coût de traitement onéreux en installation classée voire de développer de potentiels bénéfiques.

La valorisation à terre a été essentiellement étudiée en lien avec les besoins à terre en matériaux de construction. Plusieurs autres voies de valorisation ont également été identifiées (Tableau 2) :

Tableau 2: Filières et applications de valorisation des sédiments de dragage.

Filières	Applications / Usages
Aménagements portuaires, fluviaux et maritimes	Renforcement de berge, remblais, béton et ciment,...
Aménagements routiers	Couverture imperméable, sous-couche routière (ex : couche de forme), asphalte, etc.
Aménagements paysagers	Réhabilitation de carrière, merlons, digues, comblement de carrières
Matériaux de construction	Béton, ciment, terre cuite, terre crue, granulats
Création de zones d'intérêt écologique	Création d'îles, de marais, de zones humides, etc.
Couverture imperméable	
Sols	Amendement agricole, épandage, réhabilitation, restructuration de sols (technosols), regalage

3.1.1 Cartographie nationale

À partir des données recueillies à partir de différentes sources (publications de recherche, témoignages directs et données issues des réseaux et centres de ressources existants), une cartographie des projets de valorisations a été établie à l'échelle de la France métropolitaine (carte présentée ci-après). Bien que non-exhaustive, cette carte permet d'apprécier la richesse des initiatives et expériences en France en matière de valorisation à terre des sédiments de dragage.

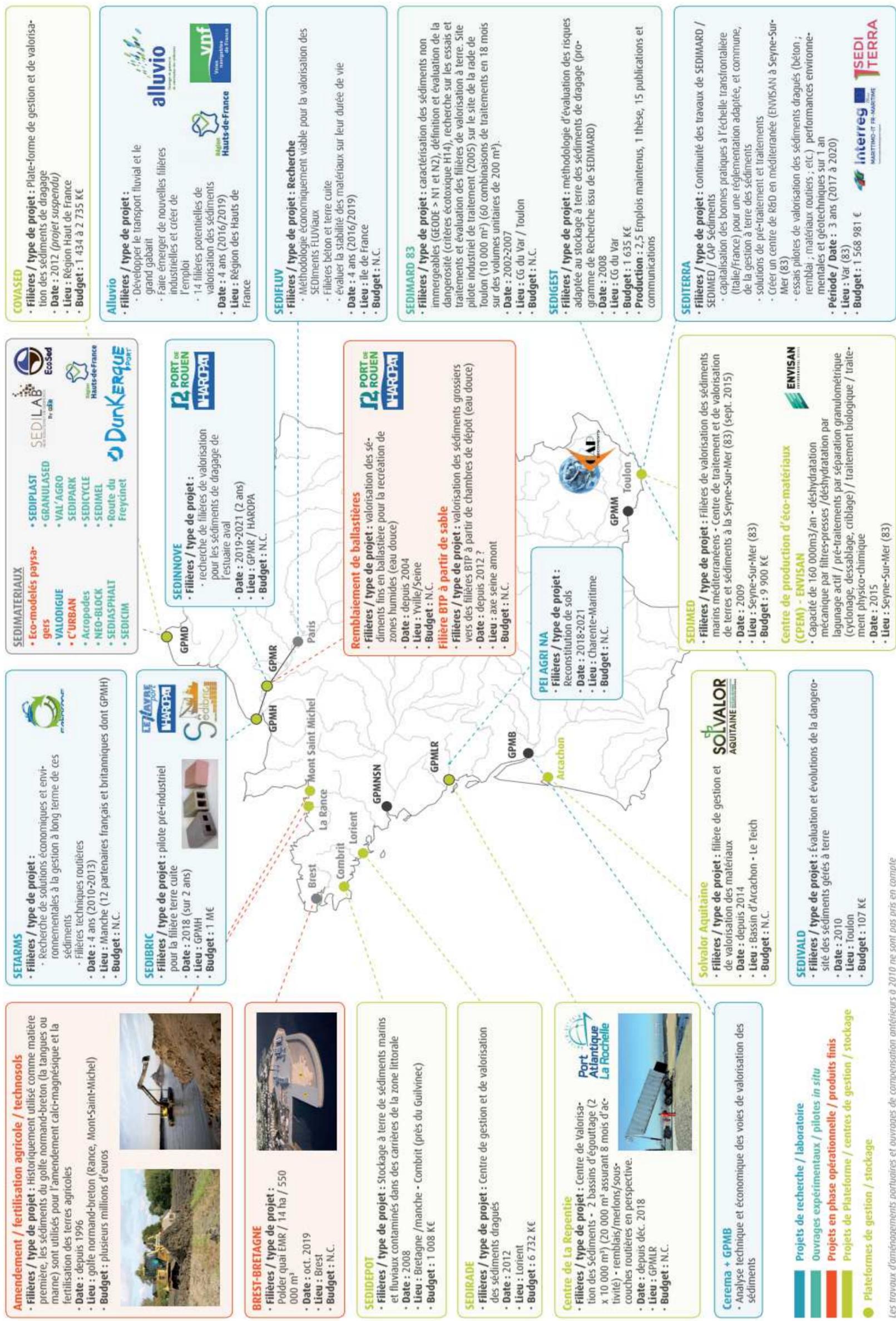
Les projets sont présentés en fonction de leur niveau de maturité (recherche/laboratoire, pilotes *in situ*, projets ayant abouti à une phase opérationnelle et projets disposant d'une plateforme de valorisation).

Les constats :

- des réflexions de valorisation des sédiments ont été lancées depuis plusieurs années par de nombreux ports ;

- la création de filières de valorisation est un processus au long cours qui nécessite plusieurs années (phase de R&D, expérimentation laboratoire puis pilote pré-industriel...), est coûteux (constructions de plateformes expérimentales...) et incertain du point de vue de la rentabilité économique, les réflexions étant souvent lancées en avance de phase par rapport aux débouchés réels sur les territoires ;
- on observe une concentration de la réflexion sur l'élaboration de matériaux de haute technicité (béton, ciment, terre cuite, techniques routières, etc.) ;
- les projets de valorisation étudiés ont rarement abouti à une phase opérationnelle en France.
- on note des valorisations plus fréquentes et concrètes en Europe, notamment en matière de valorisation de sols.

CARTE DES PROJETS POUR LA VALORISATION À TERRE DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE EN FRANCE MÉTROPOLITAINE



Les travaux d'aménagements portuaires et ouvrages de compensation antérieurs à 2010 ne sont pas pris en compte

3.1.2 Retour d'expérience de grands ports – les points clés

Trois grands ports ont été enquêtés : Rouen (GPMR), le Havre (GPMH) et la Rochelle (GPMLR). Le détail des échanges est disponible en annexe de ce document.

Ces ports ont été sélectionnés en raison de la similarité qu'ils pouvaient présenter avec le GPMNSN. Il s'agit en effet de grands ports possédant des sédiments de dragage de qualité comparable et proche en matière de pollution et de granulométrie.

Le Tableau 3 synthétise les principaux résultats issus de ces enquêtes.

Les trois ports enquêtés ont engagé des études pour la valorisation de leurs sédiments de dragage **depuis 10 ans ou plus**. Chacun possède **au moins un site de dépôt et/ou de traitement** et les voies de valorisation explorées ont concerné ou concernent la terre cuite, le remplissage de ballastières, la production de matériaux pour le BTP, les techniques routières et les merlons paysagers. Bien que ces expériences soient riches d'enseignement pour le GPMNSN, chacun de ces ports possède un contexte territorial différent et des contraintes qui leur sont propres. De ce fait, les stratégies et les modèles économiques mis en œuvre dans ces démarches de valorisation diffèrent également. Il est en effet difficile de calquer ces expériences sur le cas du GPMNSN qui devra **prendre en compte son contexte territorial pour mener une stratégie de valorisation de ses sédiments de dragage efficace**.

Tableau 3: Synthèse des retours d'expérience obtenus auprès des trois grands ports enquêtés (GPM Rouen, GPM Le Havre, GPM La Rochelle).

	GPMR		GPMH	GPMLR (et gestionnaires locaux)	GPMNSN
	Aval (eau de mer)	Amont (eau douce)			
Granulométrie	Sable fin : 50 - 70 % Vases : 30 - 50 %	Sables coquilliers, argiles, tourbe et graves	Fines < 63 µm majoritaire	Sédiments fins	Vases/ argiles (< 63 µm) majoritaires, excepté dans le secteur de Nantes (section 12) avec une majorité de sable
Volume dragué (Mm3/an)	4,5	jusqu'à 0,1	2,2	0,07 prévu en 5 ans	6,4
Niveau de pollution	< N1	< S1	< N2	> N2 pour le Cu (non inerte non dangereux) (5 % des sédiments du port non immergeables)	< N1
Début des recherches de voies de valorisation (hors ouvrages portuaire et de compensation)	2007	2008	2010	Environ 2010	/
Filières	Techniques routières Béton Remblais Verrerie / Fonderie, Rechargement de plages	BTP (1,4 Mm³ valorisé de 2012 à 2018) Remplissage de ballastière (1,6 Mm³ valorisés (fraction fine) de 2012 à 2018)	2010-2014 : Technique routière (Projet SETARMS) – Financement Europe - Non abouti 2015 : Terre cuite (thèse Haurine) 2018 : Terre cuite (projet SEDIBRIC)	Merlons paysagers	/
Plateforme	Port-Jérôme (ExxonMobile)	5 chambres de dépôt	Création d'une chambre de dépôt (1000m3) (Cadre SEDIBRIC)	Site de La Repentie (2 x 10 000 m³) – Centre de stockage ICPE pour sédiments non dangereux et non inertes – Ouverture en 2018 – 3,5 ha (8 mois d'activité)	/
Financement / Partenaires	Projet SEDINNOVE NEO ECO / IMT Douay / Laboratoire TOXEM / Cerema Lauréat de l'édition 2019 de l'AMI lancé par l'État, la Région Normandie et l'ADEME 400 000 € Aide Région : 100 000 € Aide ADEME : 100 000€	/	SEDIBRIC (2 ans) – Financement Ademe et Région : 972 k€	/	/
Travaux en cours ou en projet	2019 - 2021 (Projet SEDINNOVE)	BTP Remplissage de ballastière SEDICENDRES	SEDIBRIC Participation à SEDINNOVE (2019-2020) – pilote GPMR Décontamination en chambre de dépôt (R&D procédé électrocinétique) Création d'un terre-plein avec sédiments non dangereux mais non compatibles avec l'immersion)	Valorisations futurs en projet : Remblais Sous-couches routières	/

3.1.2 Capitalisation de la démarche SEDIMATERIAUX : le cas de deux projets de valorisation pour la filière béton

Méthodologie de référence en France de valorisation de sédiments portuaires et fluviaux, la démarche SEDIMATERIAUX réunit de nombreuses expériences concernant le développement de filières économiques pour la valorisation des sédiments en France, notamment en matière de matériaux de haute technicité tels que les bétons. Du fait de la maturité de cette démarche, nous avons estimé pertinent de retenir deux projets relatifs à cette voie de valorisation afin d'intégrer ces expériences dans la réflexion dont fait l'objet ce présent rapport :

- **le projet SEDICYLCLE** : création d'une piste cyclable à partir de sédiment de dragage portuaires ;
- **le projet SEDIMATERIAUX 2** : valorisation des sédiments de dragage en enrochements pour la réhabilitation des berges de voies navigables.

Le détail de ces projets est présenté en annexe 2 et le tableau suivant synthétise les principales informations.

Les deux exemples présentés dans le tableau 4 permettent de mieux appréhender l'ensemble des paramètres à prendre en compte dans le développement d'une filière de valorisation. Plusieurs points peuvent ainsi être mis en avant :

- le coût global d'un projet de valorisation peut être conséquent (environ 1 M€) ce qui peut nécessiter **l'obtention d'un financement (ex : Région, ADEME,...) et la participation de partenaires institutionnels et académiques** ;
- le développement d'une filière économiquement opérationnelle (TRL 9) peut nécessiter **plusieurs années d'études** préalables et une **forte implication du ou des porteurs de projet**.

Tableau 4: Synthèse des projets menés dans le cadre SEDIMATERIAUX - Cas des projets relatifs au béton : SEDICYCLE et SEDIMATERIAUX 2.

	SEDIMATERIAUX	
	SEDIMATERIAUX 2 & Alluvio	SEDICYCLE
Granulométrie	2 types de sédiments sablo-limoneux étudiés (majorité de limons à 65 % et majorité de sable à 61%) - Canal de la Sensée à Férin	Sédiments non immergeables du GPMD à dominance sableuse
Niveau de pollution	Non dangereux / Non inerte	Non immergeable / Non Inerte Non Dangereux (>N1 pour 2 éléments) + polluants non réglementés
Période	Phase 1 : 2013 – 2015 Phase 2 : 2016 - 2018	2016
Filières	Béton : Enrochements pour la réhabilitation des berges de voies navigables	Béton (Piste cyclable) 3 plots expérimentaux de 10 m
Plateforme	Chambres de dépôt (criblage et tamisage)	Stockage temporaire pour ressuyage sur le site du GPMD
Financement / Partenaires	Porteur : VNF Partenaires expérimentés sur le sujet : ARMINE, Cerema, DREAL, Néo Eco , Catteau , Equiom, Lebleu Appui financier du Conseil Régional Hauts-de-France pour dossier FEDER	Porteur : BECI (promoteur) Partenaires expérimentés sur le sujet (ARMINE, Cerema) Appui financier du Conseil Régional Hauts-de-France pour dossier FEDER
Budget	1 075 k€ HT (70 % financement Région) pour la phase 2	768 k€ HT
Coût de la valorisation (€/t)	50 à 60	/
Suites	VNF s'engage dans le déploiement des filières de valorisation. L'établissement prend en charge la réalisation d'installations de transit et de traitement des sédiments, pour faciliter leur intégration dans les process industriels. Il prévoit aussi un financement de l'ordre de 10 à 15 € la tonne de sédiments traités, en sortie d'installation, pour accélérer la mise en place des premières filières. Enfin, VNF intégrera dans ses cahiers des charges de travaux l'utilisation des sédiments fluviaux.	En attente de la phase 2 pour mise en place d'un plot de 800 m de long.

3.2 Les valorisations « historiques » à l'échelle de l'estuaire

Synthèse des volumes de sédiments dragués entre 1976 et 1992

- Dragage d'approfondissement

Tableau 5: Dragage d'approfondissement au GPMNSN de 1976 à 1992.

DRAGAGE d'APPROFONDISSEMENT (1976 à 1992)		Mm ³
Création sur 15 ans du chenal méthanier de Donges (-13,25 m) et du chenal d'accès au large (-14,10 m)		
1978 à 1981	Remblais sur ZIP	22
	Montoir (735 ha) - 540 ha en 1980	0,4
	Donges est (70 ha) en 1973-1974 puis 100 ha en 1980	1 (1982 à 1985)
	Carnet (880 ha) : 200 ha en 1980	2 (1986 à 1992)
	Banc de Biho	8,4
	Ancien chenal (Bonne -Anse)	5,6
	Lambarde	24
	Total	60
1985 à 1986	Dragage chenal de Donge	2,8
	Dragage Chenal externe à l'aval de villès-Martin	1,8
	Total	4,6
1987 à 1988	Déroctage (seuil de Villès Martin-Morées et aux abords Sud de Basse Nazaire en aval de la bouée 7)	0,025
1987 à 1992	Dragage poste de Montoir et des souilles de quais	0,3

- Dragage d'entretien

Tableau 6: Dragages d'entretien du chenal de 1980 à 1992.

DRAGAGE d'ENTRETIEN DU CHENAL (1980 à 1992)		Mm ³
	Chenaux (Dragués et transportés)	33
	Bassins ou souilles (Dragués et transportés)	10,1
	Surverse ou rejet direct	41,7
	Total	84,8
	<i>Volume moyen en 13 ans (Mm³/an)</i>	<i>6,5</i>

Le GPMNSN n'a pas d'expérience en valorisation de produits de dragages, hormis leur utilisation historique pour le remblaiement des milieux estuariens destinées à accueillir les zones portuaires (ZIP de Montoir, de Donges-Est du Carnet et de Cheviré).

- Extraction des sables

En amont de Nantes, entre Nantes et Ancenis, l'extraction du sable, par des entreprises sablières, a largement bénéficié aux entreprises du BTP et aux maraîchers. Avec plus de 175 millions de tonnes extraits de la Loire en 80 ans (1910 à 1990), le gisement en sable de la Loire n'était plus suffisant pour alimenter les filières. Des solutions alternatives ont donc été trouvées.

Tableau 7: Extractions de sables en amont de Nantes pour la commercialisation (1910 à 1990).

Extractions de sables en amont de Nantes pour la commercialisation (bief fluvio-maritime)		
	Mm ³	Mt
1910 à 1976	70	140
	Loire-Atlantique (en tonnes)	13,25
1976 à 1990	Maine-et-Loire (en tonnes)	21,9
	Total	35,15

3.3 Synthèse : éléments d'éclairage pour le GPMNSN

3.3.1 Vers une obligation des ports à étudier des alternatives à l'immersion

Du fait de leurs impacts sur l'environnement, les opérations de dragage et d'immersion des sédiments sont soumises à **autorisation préfectorale**. En effet, depuis les années 2000 (circulaire du 14 juin 2000), le renforcement de la réglementation oblige les gestionnaires portuaires à évaluer la qualité physico-chimique des matériaux destinés à être dragués. Ainsi, des **seuils de classification N1 et N2** relatifs aux teneurs en métaux lourds et polluants ont été définis par le ministère en charge de l'environnement (arrêté interministériel du 9 août 2006 complété par les arrêtés du 23 décembre 2009, du 8 février 2013 et du 17 juillet 2014). Ces seuils sont destinés à permettre l'évaluation des incidences des opérations de dragage et d'orienter la destination des sédiments soit vers l'immersion, soit vers la gestion à terre. Les niveaux N1 et N2 ne sont pas des seuils visant à autoriser ou à interdire de fait l'immersion de sédiments. Ils constituent des points de repère permettant à la fois de statuer sur le régime administratif de l'opération (déclaration ou autorisation) et d'apprécier l'incidence que peut avoir l'opération projetée, et donc d'orienter une opération soit vers l'immersion de sédiments, soit vers leur gestion à terre :

- au-dessous du niveau N1, l'impact potentiel est en principe jugé d'emblée neutre ou négligeable, les teneurs étant « normales » ou comparables au bruit de fond environnemental ;
- entre le niveau N1 et le niveau N2, une investigation complémentaire peut s'avérer nécessaire en fonction du projet considéré et du degré de dépassement du niveau N1 ;
- au-delà du niveau N2, une investigation complémentaire est généralement nécessaire car des indices notables laissent présager un impact potentiel négatif de l'immersion.

Malgré le cadre réglementaire existant et le suivi environnemental accompagnant les opérations de dragage et de clapage, la question de la durabilité de la pratique de dragage et d'immersion des sédiments est régulièrement mise en avant en raison des **conflits entre les usagers** (ports, pêcheurs, aquaculteurs, plaisanciers, touristes,...), de la **saturation des zones d'immersion** (exemple du GPM Rouen) ou de la **proximité des zones d'immersion avec des sites d'intérêt écologique** (ex : site Natura 2000).

Un **durcissement de la législation** est également à prévoir. Comme évoqué au chapitre 1.2, d'après la loi du 20 juin 2016 pour l'économie bleue (Art. 85 Loi n°2016-816), « A partir du 1er janvier 2025, le rejet en mer des sédiments et résidus de dragage pollués est interdit. Une filière de traitement des sédiments et résidus et de récupération des macro-déchets associés est mise en place. Les seuils au-delà desquels les sédiments et résidus ne peuvent être immergés sont définis par voie réglementaire ». Le MTES a engagé une étude sur la définition d'un **seuil N3** et certains sédiments aujourd'hui autorisés à l'immersion pourraient devoir être gérés à terre.

Dans ce contexte, les gestionnaires portuaires sont amenés, en anticipation du renouvellement de leur autorisation de dragage et d'immersion, à **engager des réflexions et des recherches pour le développement de solutions de valorisation à terre des sédiments pouvant être considérés comme pollués**.

Il est envisageable qu'une obligation d'analyser les possibilités de valorisation à terre soit généralisée à l'ensemble des autorités portuaires notamment en raison des pressions exercées par les collectivités et les associations environnementales et de riverains.

Les ports du Havre et de Rouen sont d'ores et déjà soumis à cette obligation. Dans le cas du GPMR, elle s'est concrétisée par le programme **SEDINNOVE** qui a débuté en septembre 2019 pour une durée de trois ans et a pour objectif la recherche d'alternatives à l'immersion (caractérisation des sédiments, filières,...) en prenant en compte les aspects techniques, territoriaux, socio-économiques).

3.3.2 Freins et verrous rencontrés pour le développement des voies de valorisation

Malgré les nombreuses recherches et expériences menées en France et à l'étranger, de nombreux verrous et freins sont encore à lever pour le développement de filières économiquement viables en matière de valorisation de sédiments de dragage.

Plusieurs éléments sont à intégrer afin d'assurer la viabilité économique d'une filière de valorisation.

- **Statut de déchet des sédiments déposés à terre**

Un projet d'arrêté de sortie du statut de déchet pour les terres excavées et sédiments a fait l'objet d'une consultation, en mai 2019, en vue d'une utilisation en génie civil ou en aménagement.

Le statut de déchet des sédiments est généralement identifié comme un frein important pour la valorisation. En effet, ce statut alourdit notablement les procédures de gestion à terre qui peuvent s'avérer coûteuses à mettre en œuvre. Actuellement, le stockage des sédiments est limité à trois ans en zone de transit si les sédiments ont vocation à être valorisés et à seulement un an s'ils sont destinés à être stockés en Installation de Stockage de Déchets (ISD).

En tout état de cause, les sédiments dragués étant quasi-systématiquement un matériau de qualité variable, peu homogène et mal maîtrisé par les professionnels des voies de valorisation aujourd'hui identifiés, une sortie du statut de déchet n'évitera pas l'étude d'innocuité environnementale et sanitaire ou de normalisation des matériaux alternatifs ou d'ouvrages élaborés à partir de sédiments de dragage.

De ce fait **la sortie du statut de déchet des sédiments n'est pas nécessairement un verrou pour le développement de filières de valorisation.**

- **L'acceptabilité sociale**

La nature et la connotation négative associée au « statut de déchet des sédiments » peut quant à elle représenter un frein puissant pour le développement d'une filière de valorisation. L'expérience industrielle concernant la fabrication de briques à partir de sédiments de dragage menée à Hambourg a échoué en raison d'une mauvaise perception par les usagers des briques en sédiments (Dezner, 1998, Hamer et Karius 2002, Cappuyns, et al. 2015).

Cependant, comme évoqué dans le chapitre 3.3.1, la faible popularité des pratiques portuaires en matière de dragage et d'immersion auprès des riverains, associations environnementales, collectivités et aquaculteurs, est également un **moteur pour le développement de filières de gestion à terre**, ce qui est valorisé à terre n'étant plus immergé en mer. Dans le cas du GPMLR, l'initiative du port pour la création d'une

plateforme de gestion à terre des sédiments de dragage a été relativement bien perçue. Dans un contexte de crise de mortalité estivale des huîtres dans cette région ostréicole, la possibilité de traiter et de valoriser à terre des sédiments a été perçue comme une réponse à un problème. Les enquêtes publiques et la concertation avec les acteurs ont permis une meilleure acceptabilité du projet. Une vigilance particulière doit toutefois être mise en place par le port en raison du rejet des eaux de décantation.

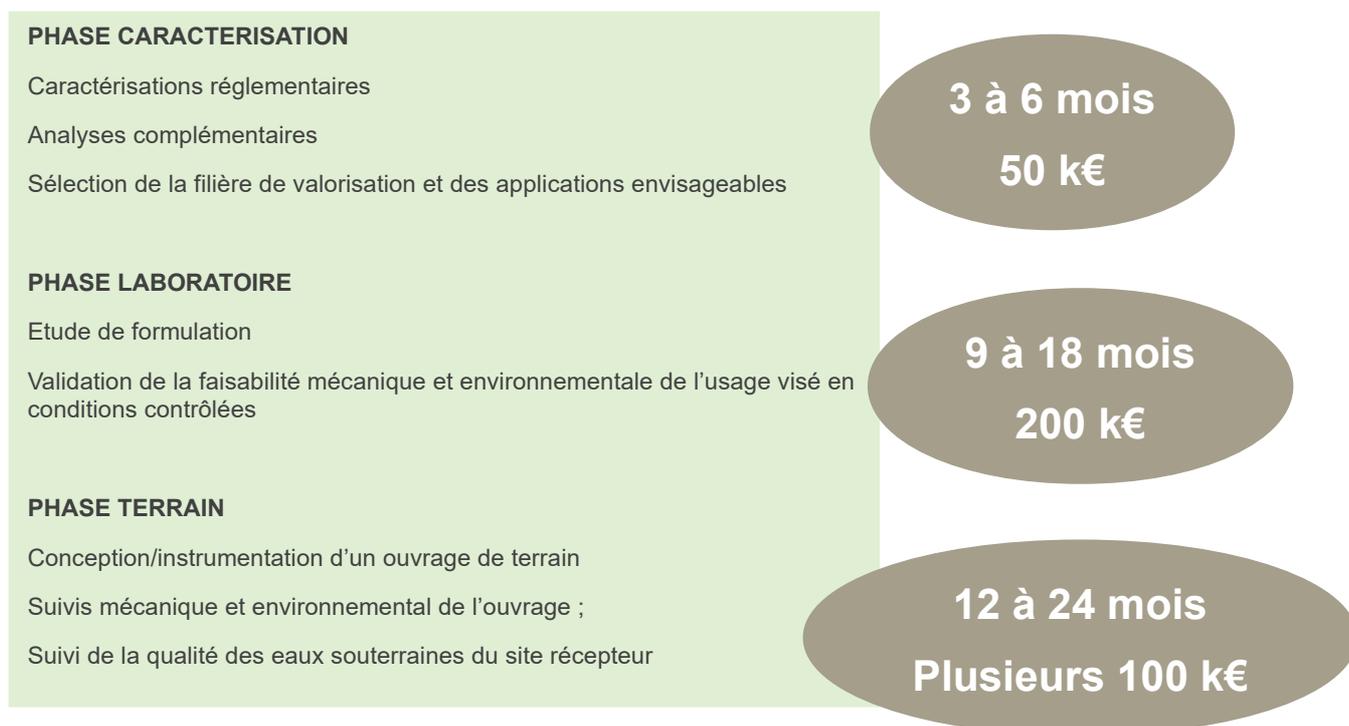
- **La salinité** des sédiments marins représente souvent un frein pour certaines voies de valorisation. La salinité des sédiments se traduit principalement par une contrainte de temps de stockage et de dessalement (pouvant être long en fonction des précipitations) et génère des coûts supplémentaires.
- **L'investissement initial dans la création de zones de stockage** : 1 M€ pour 250 000 m³, soit **4 €/m³**¹
- **Les coûts de prétraitement et de traitement des sédiments et les coûts liés au transport** : dans le cas du **projet SETARMS**, les coûts de transport et la préparation des sédiments se sont avérés économiquement incompatibles avec le développement d'une filière de valorisation en technique routière.
- **L'absence actuelle de filières organisées.**

1 Source : *Grand Port de Rouen*

3.3.3 Premières données économiques

- **Le coût pour étudier et développer une filière : les apports de la démarche SEDIMATERIAUX**

Les différents projets de la démarche SEDIMATERIAUX ont permis de déterminer les enveloppes financières nécessaires pour développer une filière :



La répartition de ces coûts est variable en fonction des projets, mais on observe généralement que plus de 60 % du coût global concerne la phase terrain. A titre d'exemple, le tableau suivant illustre la répartition de ces coûts dans le cadre du projet SEDICYCLE (démarche SEDIMATERIAUX).

Tableau 8: Détail des coûts du projet SEDICYCLE.

Détail des coûts SEDICYCLE	Coût (k€ HT)	%
Phase caractérisation	97	13
Préparation du dossier FEDER + prélèvement des matériaux de l'étude	60	8
Caractérisation des matériaux	37	5
Phase Laboratoire	139	18
Recherche et sélection des formulations	90	12
Réalisation des planches expérimentales en laboratoire	49	6
Phase Terrain	532	69
Préconisations techniques, environnementales et réglementaires pour la réalisation du pilote in situ	44	6
Conception – Réalisation d'un pilote in situ	144	19
Suivi environnemental du pilote in situ	344	45
Total	768	100

- **La valorisation à terre, une dépense évitée**

La mise en ISD, notamment par le transport et la Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP), représente un coût important. D'après les retours d'expériences et la littérature disponible, **les solutions de valorisation seraient bien moins onéreuses à mettre en œuvre malgré les surcoûts liés à la création de plateformes de traitements et/ou de transit nécessaires.** D'après le rapport Record 1023-A (Record, 2017), en 2013, la TGAP était en moyenne de 25 €/m³ puis estimée à 29 €/m³ en 2015.

→ **L'exemple de la métropole de Lille**

Par exemple, pour 160 000 m³ de sédiments non dangereux dragués sur 10 ans sur la Métropole Européenne de Lille les coûts représentent :

- 2 à 3 M€ pour le curage ;
- 17 M€ pour la mise en décharge ;
- 2,7 à 5 M€ pour le traitement/la valorisation
 - ⌚ entre 0,2 et 1 M€ pour la création et la gestion de plateformes de traitement ;
 - ⌚ dans le cas d'une valorisation en éco-modelé paysager, entre 2,5 M€ et 4 M€ supplémentaires.

Ces coûts sont exprimés en euros par mètre cube dans le tableau suivant.

Tableau 9: Tableau de synthèse des coûts pour une valorisation selon le modèle de Lille (Record, 2014 – 1023 - A)

Source : Record, 2017

€/m ³	Fourchette basse	Fourchette haute
Curage	12,5	18,8
Mise en décharge	106,3	
Traitement / Valorisation	16,9	31,3
création et gestion plateforme	1,3	6,3
Cas éco-modelé paysager	15,6	25,0

Ainsi, le choix de la valorisation pourrait représenter entre **71 et 84 % d'économie par rapport au choix de la mise en décharge** (Record, 2017).

→ **L'exemple de VNF**

Dans le cas du projet SEDIMATERIAUX 2, **VNF gagnerait 33 à 36 €/t par rapport à une mise en installation de stockage définitif (88 €/t)** (Tableau suivant), soit **une économie de 32 à 42 %**.

Il est à noter que dans le cadre de ce projet, VNF prend en charge la réalisation d'installations de transit et de traitement des sédiments pour faciliter leur intégration dans les process industriels. Il prévoit aussi un financement de l'ordre de **10 à 15 € la tonne de sédiments traités**, en sortie d'installation, pour accélérer la mise en place des premières filières.

Tableau 10: Comparaison entre le coût d'une mise en ISDet celui d'une valorisation dans le cas du projet SEDIMATERIAUX2 porté par VNF.

Source : Cerema / SEDIMATERIAUX

Mise en installation de stockage définitif (VNF)	88 €/t
Valorisation exportée en Belgique (par VNF)	50 à 60 €/t

→ Le choix du GPMR

Le GPMR doit assurer le dragage d'entretien de la partie amont du chenal de Seine (50 000 à 100 000 m³/an), riche en sédiments limoneux difficilement valorisables. Avec un volume de 1,6 Mm³ entre 2012 et 2018, les coûts de mise en ISD auraient été très importants. **La solution retenue par le port a été de confier la gestion à terre de ces matériaux à des carriers pour la création de ballastières.** Le coût pour le GPMR n'a pas été communiqué, mais il est raisonnable de penser qu'il soit bien inférieur au coût d'un stockage en ISD.

En 2008, dans le cadre du **projet d'amélioration des accès nautiques** du port de Rouen et dans un souci économique et environnemental, la réutilisation des sédiments pour la filière BTP a été envisagée. Cependant, au cours du 20^e siècle les sédiments dragués étaient plus fins et donc difficilement exploitables pour la filière. Ces sédiments de « seconde classe » ont alors fait l'objet de diverses formes de stockage ou utilisés pour le remplissage d'une ballastière parmi les nombreuses présentes sur le territoire (de 2000 à 2008 expérimentation à Yville/Seine – Volume de 1 Mm³) (Foussard et al. 2010). La nature non polluée des sédiments (< S1) a permis **la valorisation en ballastière afin de recréer des zones humides sur le territoire** (prairie sur tourbe, roselière et plan d'eau permanent). L'innocuité environnementale ayant été démontrée lors du bilan de l'expérimentation réalisé en 2013, une dérogation de remblaiement avec ces matériaux démontrés inertes pour cette application, moyennant le respect d'une grille d'acceptabilité, a été octroyée. Le carrier, propriétaire et gestionnaire de la ballastière, a pu maintenir son activité et le GPMR a pu continuer de valoriser ses sédiments fins par cette voie. Un nouveau plan d'eau est ainsi remblayé depuis 2018 sur la commune d'Anneville-Ambourville (Alise Environnement 2017).

- **La valorisation à terre, une source de revenu**

Le choix d'une valorisation des sédiments à terre représenterait une économie importante vis-à-vis d'une mise en ISD, mais également une source de revenu directe pour les gestionnaires.

→ Le modèle économique de la Repentie au GPMLR

Les sédiments dragués sont vendus au GPM pour leur traitement. Calculé avec un amortissement sur cinq ans (investissement, process, aléa,..), deux prix ont été fixés en fonction des caractéristiques des matériaux (**40 à 80 €/m³**) avec un volume total de 70 000 m³ sur cinq ans (soit en potentiel, un **chiffre d'affaires moyen comprise entre 560 et 1 120 k€**). Le gain net pour le GPM n'a pas été communiqué.

→ Valorisation des sables grossiers du GPMR

Dans le cas du GPMR, **1,4 Mm³** de sédiments dragués ont été valorisés dans le BTP (fraction grossière) de 2012 à 2018. Le GPMR a fixé un barème et vend ses matériaux au plus offrant. D'après un rapport d'étude réalisé en 2007 (Berreville, 2007), le prix de vente aux carriers était compris entre **6 et 13 €/m³** pour le sablon (diamètre moyen de 0 à 0,2 mm) en 2007.

Démarche de gestion globale et de valorisation des sédiments de dragage

Matériaux limoneux → déposés en ballastière (Yville sur Seine) pour valorisation paysagère

Matériaux plus grossiers (sableux...) → déposés dans **5 chambres de dépôt** transformées en installations de transit pour valorisation dans le BTP



Figure 3: Démarche globale et de valorisation des sédiments de dragage du GPMR (Source GPMR).

Conclusion

D'après les données recueillies et les retours d'expériences enquêtées :

- le coût d'une **mise en ISD est toujours plus onéreux qu'une opération de valorisation**. L'économie réalisée est cependant variable en fonction du type de valorisation et des coûts associés ;
- la valorisation des sédiments peut faire l'objet d'une **source de revenus** en fonction du modèle économique mis en œuvre. Les sédiments traités en vue d'une valorisation peuvent être mis à disposition gratuitement mais également vendus. Le contexte territorial et la qualité des sédiments sont des paramètres déterminants.

4 Carte d'identité synthétique des sédiments du GPMNSN – Caractérisation physico-chimique et granulométrique – Mise en perspective avec les voies de valorisation

4.1 Qualité des sédiments dragués

Les paramètres suivis :

- qualité physique, chimique et bactériologique tous les 3 ans
- granulométrie et bactériologie,
- huit métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn),
- aluminium, matière sèche, COT, N Kjeldahl et P total,
- HAP, TBT et PCB

Éléments clés

La qualité des sédiments de l'estuaire est influencée par les activités anthropiques passées et présentes sur le bassin versant ainsi que du contexte géologique. L'estuaire de la Loire est le réceptacle d'un bassin versant important en termes de surface (près de 118 000 km²) et d'activités.

Globalement les sédiments de l'estuaire de la Loire sont peu contaminés par les polluants métalliques et organiques classiquement recherchés dans le cadre des opérations de dragage.

Les secteurs qui présentent des concentrations supérieures à la moyenne et/ou au niveau N1 sont de deux ordres :

- zones non draguées (notamment des souilles ou des portions de chenal non entretenus par les dragages – dont le secteur du Carnet (stations C106 à C109) ;
- zones draguées mais avec de faibles volumes comparativement aux volumes totaux dragués par le GPMNSN (souilles, notamment S9 en 2016).

Par ailleurs, lors des dernières campagnes d'échantillonnage (2013 et 2016), seul un dépassement de N2 est mesuré. Il concerne le PCB 28 en 2013 à la souille S15, secteur non dragué depuis 2012. Cette contamination n'est pas retrouvée lors de la campagne suivante (2016)

Depuis 2001, les tendances observées sont stables ou en baisse selon les paramètres étudiés.

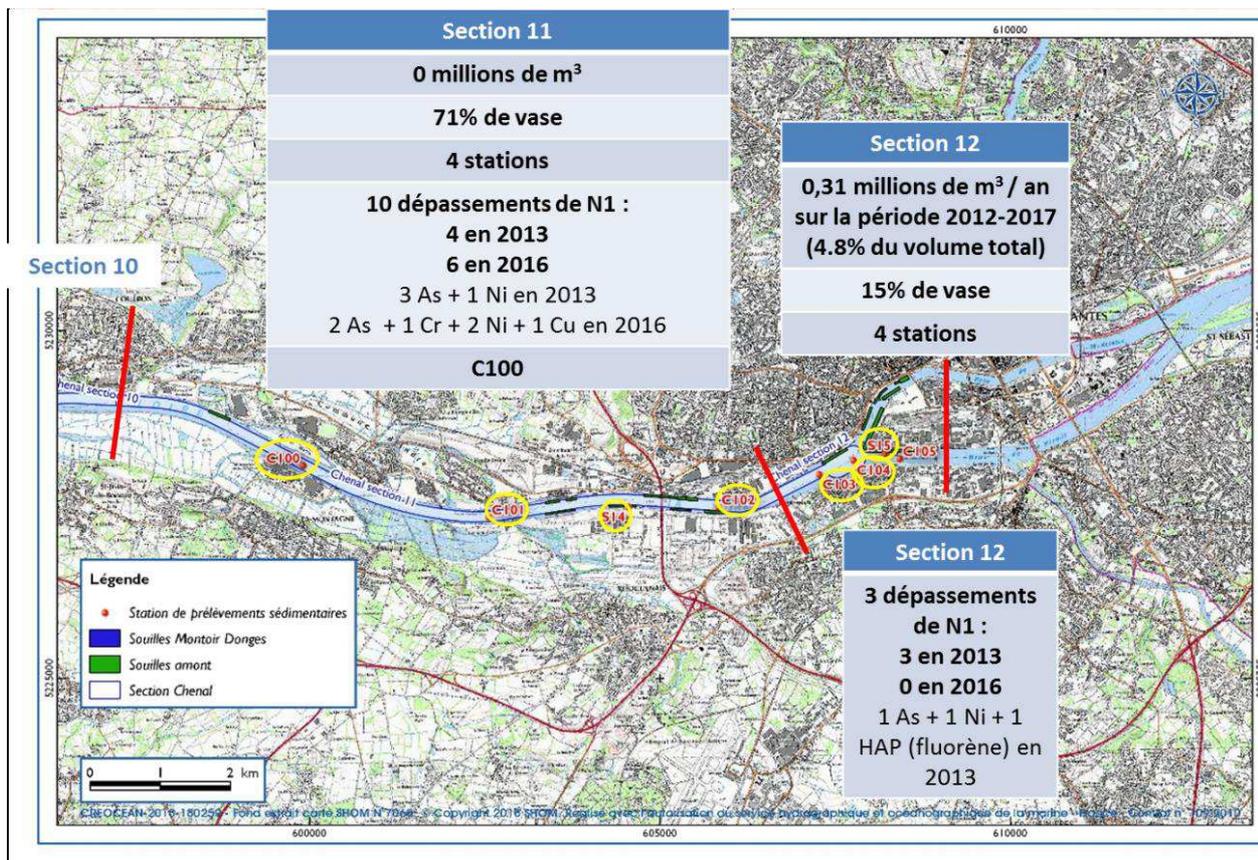


Figure 4: Bilan par section sur 2013-2016 des dépassements en contaminants associés aux volumes dragés et pourcentage de vase - Extrait sections 11 et 12.

Perspectives / évolution du suivi

Les sédiments de l'estuaire de Loire présentent des niveaux de contamination chimique faibles. Quelques dépassements des seuils de référence sont observés ponctuellement et temporairement.

Ces dépassements sont principalement localisés au niveau des souilles des terminaux et des accès au port de Saint-Nazaire. Aussi, en complément du suivi actuel, des analyses plus régulières (tous les ans) dans ces secteurs seront mises en place afin d'identifier d'éventuelles sources de contamination associées aux activités industrialo-portuaires. La densité des analyses dans le chenal de Montoir-Donges sera réduite compte tenu de l'homogénéité des résultats.

4.2 Granulométrie

La grande majorité des sédiments présents dans l'estuaire sont de la classe des vases/ argiles (< 63 µm), excepté dans le secteur de Nantes (section 12) où les sédiments présentent un taux de sables plus important. Les vases/ argiles sont davantage susceptibles de fixer les contaminants chimiques.

Des variabilités granulométriques (diamètre des sédiments et pourcentage de sable/vase) peuvent être importantes aux échelles temporelles (interannuelle) et spatiales (entre stations de mesure). On peut ainsi observer des épisodes plus « sableux » au niveau de certains points sur certaines années. Ces variabilités ne semblent pas être corrélées à l'hydraulicité générale de la Loire, à des opérations de dragage ou du type de drague utilisé. Il s'agirait plus certainement de l'action conjuguée de plusieurs facteurs qui provoque des évolutions morphologiques et sédimentologiques locales (notamment déplacement/ formation des ridins, bancs de sables).

Depuis 2004, on observe une tendance à l'augmentation des taux de sables dans l'estuaire de la Loire, notamment au niveau du port de Nantes (section 12). Cette augmentation est liée à des évolutions à l'amont, en lien avec l'arrêt de l'exploitation du sable. Le « retour du sable » en estuaire de Loire est un phénomène important, puisqu'il sera déterminant dans le choix des moyens de dragage (notamment DAM/DAS/DIE en zone amont). L'influence du programme de rééquilibrage du lit de la Loire en amont de Nantes, porté par VNF, a été évaluée grâce à des modélisations, mais un suivi sera nécessaire afin de vérifier que les tendances attendues se confirment.

Section	Médiane granulométrique (µm)						Moyenne
	2004	2007	Juin 2010	Septembre 2010	2013	2016	
Section 1	15	12	13	82	70	36	51
Section 2	15	51	21	17	158	31	45
Section 3	14	12	499	30	509	36	141
Section 4	15	13	20	24	17	48	22
Section 5	14	14	16	19	15	41	19
Section 6	13	17	62	81	123	65	56
Section 7	17	15	13	13	13	113	33
Section 8 - 9 - 10	15	14	13	13	13	606	112
Section 11	11	221	20	14	14	262	90
Section 12	505	570	514	166	581	592	488
Moyenne	31	46	71	47	103	120	

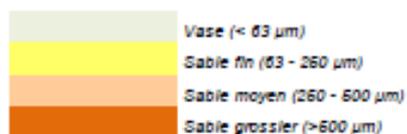


Figure 5: Comparaison des médianes granulométriques en fonction des années et des sections.

Les principaux constats sont :

- sur la période 2004-2016, la plupart des années, les sections de l'estuaire présentent des sédiments dans la classe des vases, hormis la section 12 (port de Nantes). On note toutefois pour certaines sections des fortes variabilités interannuelles ;
- **la granulométrie moyenne à l'échelle de l'estuaire présente une tendance à l'augmentation**, passant de 31 μm en 2004 à 120 μm en 2016. De 2013 à 2016, cette augmentation se vérifie sur l'ensemble des sections excepté pour les sections 1 à 3 et elle est plus marquée au niveau des sections 7 à 11.

Analyses granulométriques des fillers et des sables de dragage du GPMNSN

Dans le cadre du projet « Étude d'opportunité territoriale de solutions innovantes de valorisation à terre d'une partie des sédiments de dragage du GPMNSN », un volet technique prévoyait la caractérisation des sédiments de dragage via les différents résultats d'analyses des différentes campagnes de dragage déjà réalisées. Ce volet technique a pour but de mettre en corrélation les différents résultats des analyses et les caractéristiques physiques nécessaires (fuseaux granulométriques) à la production de matériaux pour certaines filières comme le béton par exemple.

Au vu des exploitations réalisées dans des rapports de suivis des analyses granulométriques (exploitation sous forme d'histogramme ; voir figure ci-dessous), le Cerema a souhaité retranscrire les résultats des analyses brutes dans des modèles et des graphiques orientés métiers.

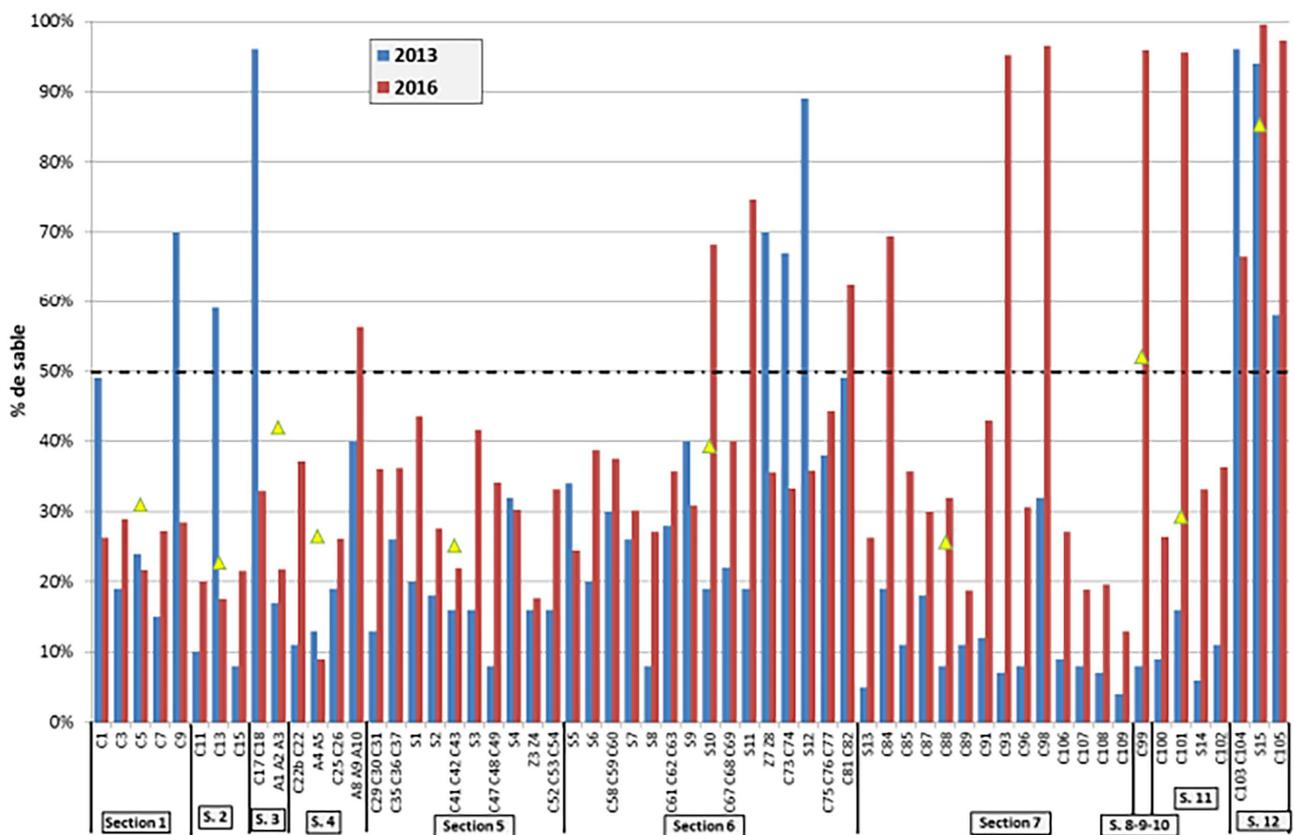


Figure 6: Représentation des résultats sous forme d'histogramme (Source : ARTELIA 8 71 3924 FMN Avril 2019 – Annexe 2 qualité sédiments v3).

Cette retranscription doit permettre d'analyser les courbes obtenues et de les comparer à certains fuseaux de matériaux dédiés à certains usages. Le GPMNSN nous a fourni les données des campagnes de dragage de 2013 (en version pdf) et de 2016 (en version pdf et tableur).

Un filler est un granulat dont la plupart des grains passe au tamis de 0,063 mm et qui peut être ajouté aux matériaux de construction pour leur conférer certaines propriétés (définition de la norme NF P 18-545 « Granulats - Éléments de définition, conformité et codification »)

Les granularités des fillers sont présentées dans le tableau ci-dessous en fonction des usages :

Tableau 11: Granularités des fillers en fonction des usages.

Article de la NF P 18-545	Granularité		
	2 mm	0,125 mm	0,063 mm
N°7 - Couches de fondation, base et de liaison	Vsi 100	Li 85 e 10	Li 70 e 10
N°8 - Couches de roulement utilisant des liants hydrocarbonés	Vsi 100	Li 85 e 10	Li 70 e 10
N°9 – Béton de ciment	Vsi 100	Li 85 e 10 (± 5)	Li 70 e 10 (± 5)
N°10 – Bétons hydrauliques et mortiers	Vsi 100	Li 85 e 10 (± 5)	Li 70 e 10 (± 5)

Avec

- Vsi = valeur spécifiée inférieure. Elle correspond à la valeur type (valeur indicative du niveau d'une caractéristique choisie par le fournisseur pour représenter sa production de référence) moins la tolérance (domaine de variation d'une caractéristique de part et d'autre d'une valeur type).

- Li = limite inférieure. C'est une valeur limite indiquée dans les tableaux de la norme NF P 18-545, en présence d'une étendue.

- e = étendue. Cela correspond au double de la tolérance.

Un sable est composé de granulats pour lesquels :

- le D (grand D) est inférieur ou égal à
 - 4 mm pour les normes béton (NF EN 12620+A1) et mortier (NF EN 13139)
 - 2 mm pour les mélanges bitumineux (NF EN 13043)
 - 6,3 mm pour les matériaux traités et non traités (NF EN 13242+A1)
- le d (petit d) est égal à 0 pour les normes mentionnées ci-dessus.

Les granularités des sables sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 12: Granularités des sables (1).

Article de la NF P 18-545	Granularité				
	2*D	1,4*D	D (1)	D/2	0,063 mm
N°7 - Couches de fondation, base et de liaison	Vsi 100	Vsi 98	Ls 99 Li 85 e 10 (± 5)	E 20 (± 10)	e 6 (± 3)
N°8 - Couches de roulement utilisant des liants hydrocarbonés	Vsi 100	Vsi 98	Ls 99 Li 85 e 10 (± 5)	e 20 (± 10)	e 6 (± 3)

(1) : Dans le cas où le passant à D est > 99 % la granularité type déclarée est renseignée aux dimensions D, D/2 et 0.063 mm et aux tamis de la série principale + série 1 ou série 2

Avec

- Vsi = valeur spécifiée inférieure. Elle correspond à la valeur type (valeur indicative du niveau d'une caractéristique choisie par le fournisseur pour représenter sa production de référence) moins la tolérance (domaine de variation d'une caractéristique de part et d'autre d'une valeur type).

- Li = limite inférieure. C'est une valeur limite indiquée dans les tableaux de la norme NF P 18-545, en présence d'une étendue.

- Ls = limite supérieure. C'est une valeur limite indiquée dans les tableaux de la norme NF P 18-545, en présence d'une étendue.

- e = étendue. Cela correspond au double de la tolérance.

Tableau 13: Granularités des sables (2).

Article de la NF P 18-545	Granularité						
	2*D	1,4*D	D (1)	4	1	0,25	0,063
N°9 – Bétons de ciment pour D ≤ 4	Vsi 100	Vsi 95	Ls 99 Li 85 e 10 (± 5)	/	e 40 (± 20)	e 40 (± 20) (2)	Ls 10 e 6 (± 3)
N°10 – Bétons hydrauliques et mortiers pour D ≤ 4	Vsi 100	Vsi 95	Ls 99 Li 85 e 10 (± 5)	/	e 40 (± 20)	e 40 (± 20) (2)	Vsi 100

(1) Dans le cas où le passant à D est > 99 % la granularité type déclarée est renseignée, au moins, aux dimensions permettant le calcul du module de finesse : 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4 mm.

(2) Si D ≤ 2 mm, e 50 (± 25)

Avec

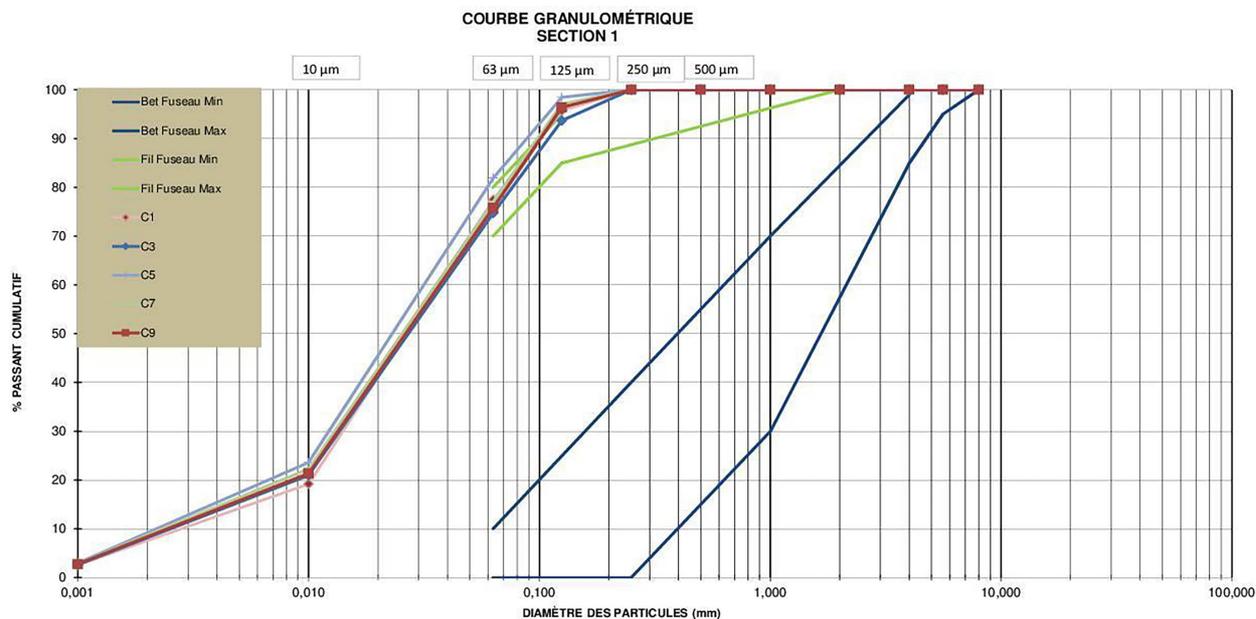
- Vsi = valeur spécifiée inférieure. Elle correspond à la valeur type (valeur indicative du niveau d'une caractéristique choisie par le fournisseur pour représenter sa production de référence) moins la tolérance (domaine de variation d'une caractéristique de part et d'autre d'une valeur type).

- Li = limite inférieure. C'est une valeur limite indiquée dans les tableaux de la norme NF P 18-545, en présence d'une étendue.

- Ls = limite supérieure. C'est une valeur limite indiquée dans les tableaux de la norme NF P 18-545, en présence d'une étendue.

- e = étendue. Cela correspond au double de la tolérance.

La première étape a consisté à mettre sous forme de graphiques logarithmiques les résultats de la campagne de 2016 (figure suivante). Cette figure présente de manière synthétique l'ensemble des résultats d'analyse suivant le principe des pourcentages de passant cumulés en ordonnées et les dimensions en millimètres (en log) des tamis en abscisses.



section1						
	C1	C3	C5	C7	C9	MOYENNE-S1
	041060_11.\$ls	041061_11.\$ls	041062_10.\$ls	041063_10.\$ls	041064_10.\$ls	
Diamètre	SED005792	SED005793	SED005794	SED005795	SED005796	
mm	% Passant cumulé					
8,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
5,600	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,500	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,250	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,125	95,68	93,66	98,45	97,06	96,39	96,25
0,063	77,44	74,73	81,92	76,95	75,78	77,36
0,010	19,18	20,95	23,57	22,24	21,34	21,46
0,001	2,53	2,62	2,97	2,79	2,77	2,74

Figure 7: Représentation logarithmique des courbes granulométriques de la section 1.

La figure ci-dessus montre la comparaison des tracés des courbes C1, C3, C5, C7 et C9 (de la section1) avec deux fuseaux de matériaux. Le premier fuseau est celui du sable à béton (en bleu). Les pourcentages de passant cumulé au tamis de 63 µm doivent être compris entre 0 et 10% pour atteindre 85 à 99 % pour le tamis de 4 mm. Il existe d'autres prescriptions pour les tamis intermédiaires. Le second fuseau est celui des fillers. Ce fuseau a été retenu car il semble, en première approximation, relativement proche des courbes granulométriques des sédiments dragués en Loire. Ce fuseau peut être décrit comme un pourcentage de passant cumulé compris entre :

- 70 et 80 % au tamis de 63 µm,
- 85 et 95 % au tamis de 0,125 mm,
- 100 % au tamis de 2 mm.

Ce travail a été réalisé pour l'ensemble des sections localisées de l'aval du fleuve (section 1) vers son amont (section 12). Pour chacune des sections des prélèvements ont été réalisés conformément au tableau ci-dessous.

A la vue des premiers éléments d'analyse, il semble important de définir les termes pour la désignation des produits suivants : filler et sable en fonction de l'usage envisagé.

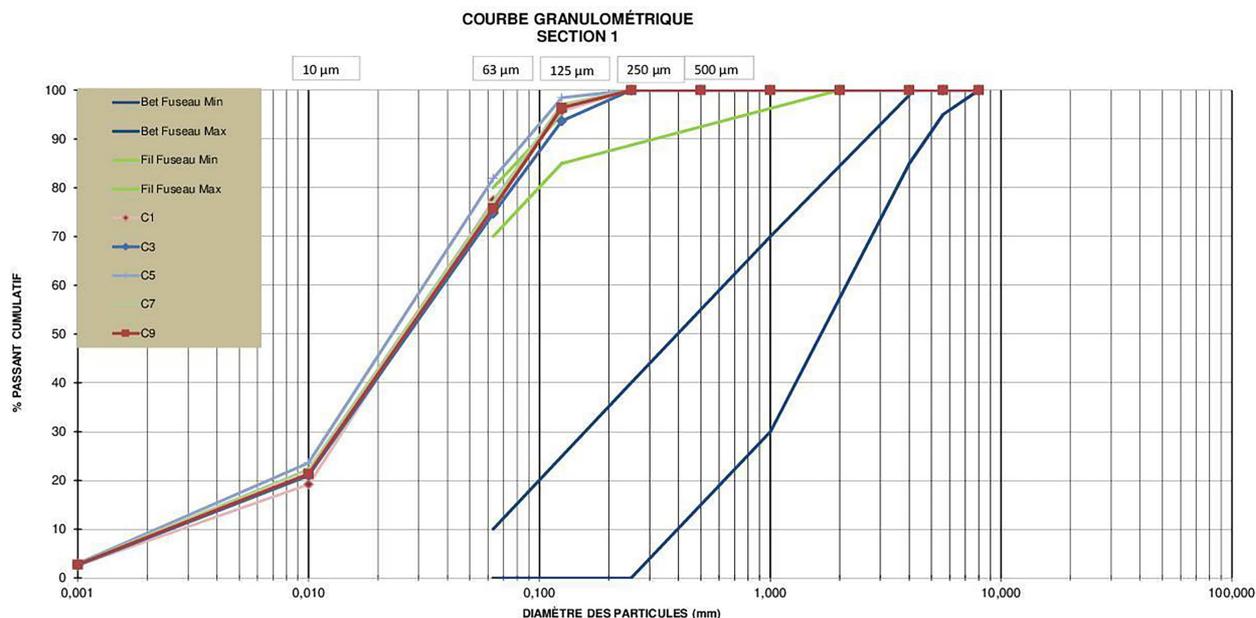
Tableau 14: Tableau 14: Liste des points de prélèvements en fonction des sections du chenal de la Loire (Source : ARTELIA 8 71 3924 FMN Avril 2019 – annexe 2 qualité sédiments v3)

section	N° point	section	N° point
Section 1	C1	Section 7	S13
	C3		C84
	C5		C85
	C7		C87
	C9		C88
Section 2	C11		C89
	C13		C91
	C15		C93
Section 3	C17 C18		C96
	A1 A2 A3		C98
Section 4	C22b C22		C106
	A4 A5		C107
	C25 C26		C108
	A8 A9 A10	C109	
Section 5	C29 C30 C31	Sections 8 – 9 – 10	C99
	C35 C36 C37	Section 11	C100
	S1		C101
	S2		S14
	C41 C42 C43		C102
	S3	Section 12	C103 C104
	C47 C48 C49		S15
	S4		C105
	Z3 Z4	Secteur dragué	
	C52 C53 C54	Secteur jamais dragué	
Section 6	S5	Dernier dragage en 2002	
	S6	Dernier dragage en 2005	
	C58 C59 C60	Dernier dragage en 2012	
	S7		
	S8		
	C61 C62 C63		
	S9		
	S10		
	C67 C68 C69		
	S11		
	Z7 Z8		
	C73 C74		
	S12		
	C75 C76 C77		
C81 C82			

Nota : Les stations localisées dans le chenal sont notées C, celles dans la zone d'accès de Saint-Nazaire sont notées A. Les stations représentant les souilles sont notées S et les stations au niveau des zones d'évitage sont notées Z.

La localisation des stations est indiquée sur les figures suivantes.

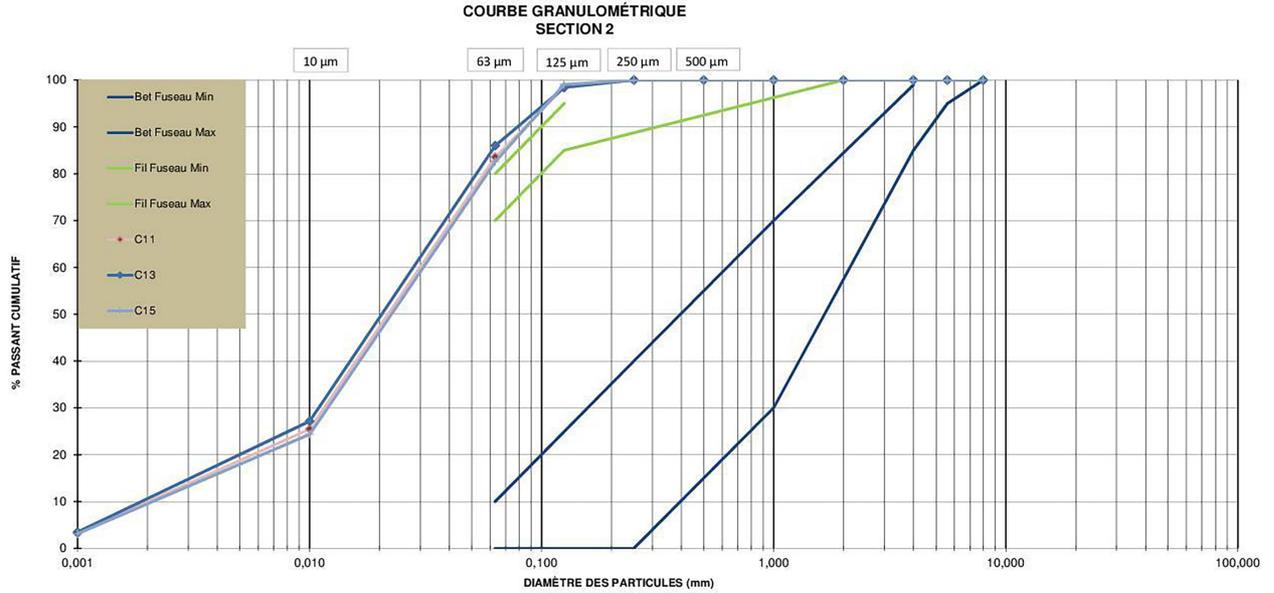
Les figures suivantes représentent le traitement des résultats de points de prélèvements sur les différentes sections du chenal.



section1						
	C1	C3	C5	C7	C9	MOYENNE-S1
	041060 11.\$ls	041061 11.\$ls	041062 10.\$ls	041063 10.\$ls	041064 10.\$ls	
Diamètre	SED005792	SED005793	SED005794	SED005795	SED005796	
mm	% Passant cumulé					
8,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
5,600	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,500	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,250	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,125	95,68	93,66	98,45	97,06	96,39	96,25
0,063	77,44	74,73	81,92	76,95	75,78	77,36
0,010	19,18	20,95	23,57	22,24	21,34	21,46
0,001	2,53	2,62	2,97	2,79	2,77	2,74

Courbes granulométriques de la section 1

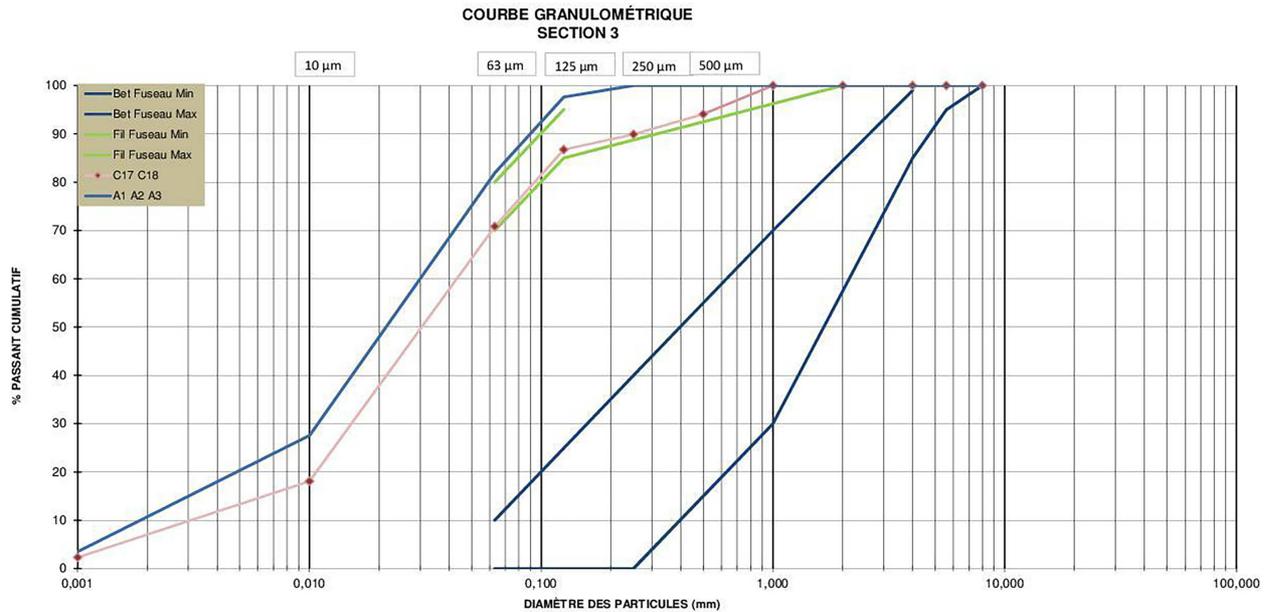
Les courbes des points de prélèvements des sédiments de cette section rentrent quasiment dans le fuseau des fillers en terme de granulométrie. Les courbes de ces sédiments sont donc très éloignées du fuseau des sables à béton car les sédiments sont trop fins.



section 2				
	C11	C13	C15	MOYENNE-S2
	041065_11.\$ls	041066_11.\$ls	041067_11.\$ls	
Diamètre	SED005797	SED005798	SED005799	
mm	% Passant cumulé	% Passant cumulé	% Passant cumulé	
8,000	100,00	100,00	100,00	100,00
5,600	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	100,00	100,00	100,00	100,00
2,000	100,00	100,00	100,00	100,00
1,000	100,00	100,00	100,00	100,00
0,500	100,00	100,00	100,00	100,00
0,250	100,00	100,00	100,00	100,00
0,125	98,36	98,45	99,05	98,62
0,063	83,59	86,00	82,58	84,06
0,010	25,48	27,17	24,39	25,68
0,001	3,24	3,49	3,12	3,28

Courbes granulométriques de la section 2

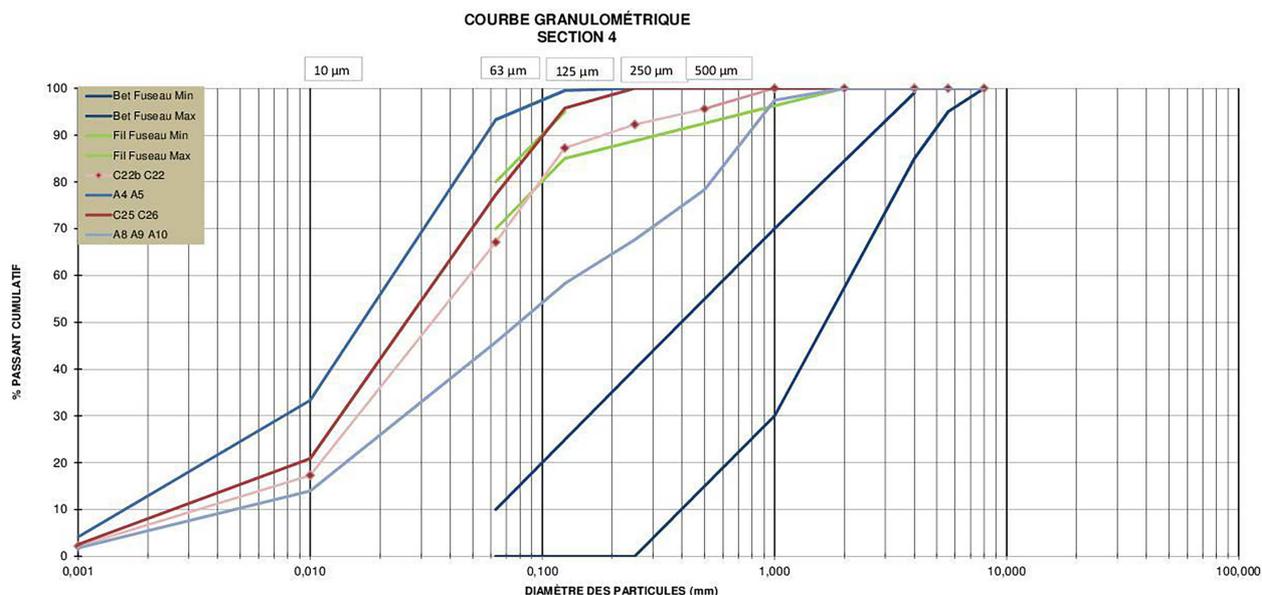
Les courbes des points de prélèvements des sédiments de cette section ne rentrent pas dans le fuseau des fillers en termes de granulométrie. Les sédiments sont trop fins (au-dessus du fuseau vert)



section 3			
	C17 C18		A1 A2 A3
	041068 11.\$ls	041054 11.\$ls	MOYENNE-S3
Diamètre	SED005800	SED005789	
mm	% Passant cumulé	% Passant cumulé	
8,000	100,00	100,00	100,00
5,600	100,00	100,00	100,00
4,000	100,00	100,00	100,00
2,000	100,00	100,00	100,00
1,000	100,00	100,00	100,00
0,500	94,08	100,00	97,04
0,250	89,91	100,00	94,96
0,125	86,77	97,66	92,22
0,063	70,81	81,91	76,36
0,010	18,08	27,51	22,80
0,001	2,31	3,52	2,92

Courbes granulométriques de la section 3

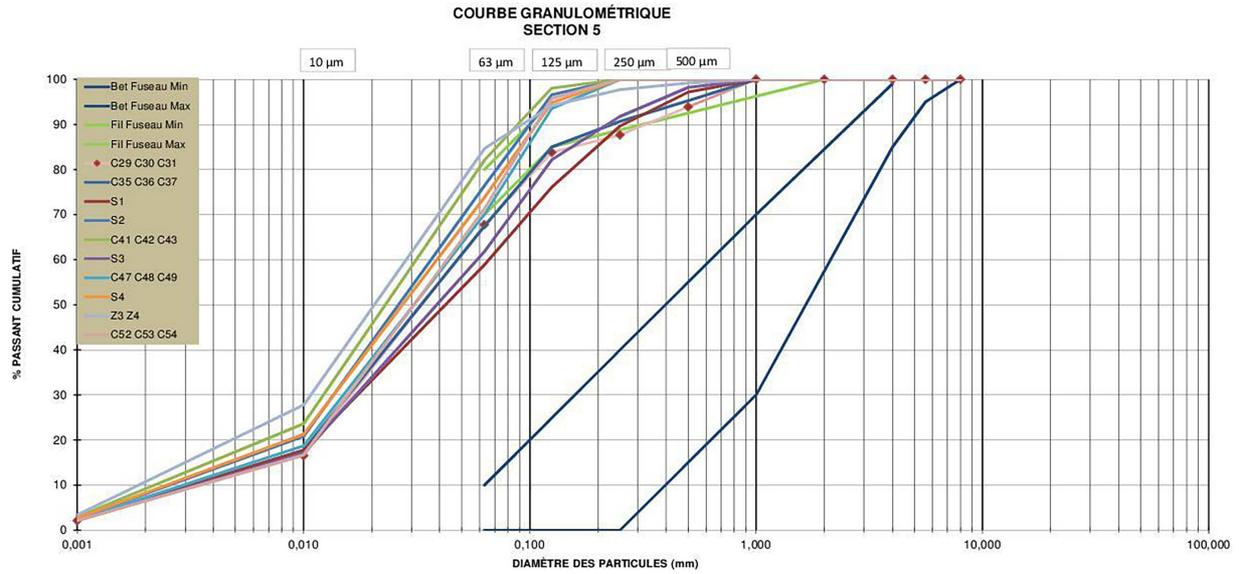
Les courbes des sédiments des points C17 et C18 entrent totalement dans le fuseau des fillers en termes de granulométrie. Les sédiments des points de prélèvements A1, A2 et A3 sont trop fins (courbe bleue au-dessus du fuseau vert)



section 4					
	C22b C22 041069_10.\$ls	A4 A5 041055_11.\$ls	C25 C26 041105_10.\$ls	A8 A9 A10 041056_11.\$ls	MOYENNE-S4
Diamètre	SED005801	SED005790	SED005833	SED005791	
mm	% Passant cumulé	% Passant cumulé	% Passant cumulé	% Passant cumulé	
8,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
5,600	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1,000	100,00	100,00	100,00	97,45	99,36
0,500	95,61	100,00	100,00	78,36	93,49
0,250	92,26	100,00	100,00	67,64	89,98
0,125	87,23	99,50	95,73	58,26	85,18
0,063	67,10	93,28	77,33	45,79	70,88
0,010	17,30	33,32	20,90	13,95	21,37
0,001	2,19	4,14	2,55	1,79	2,67

Courbes granulométriques de la section 4

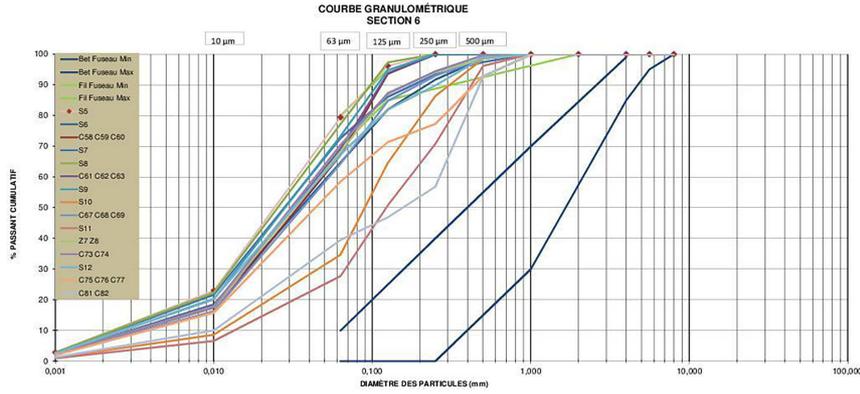
Les courbes des points A4-A5 sont trop fines pour rentrer dans le fuseau des fillers. On remarque que les courbes des points A8-A9-A10 présentent un enrichissement en éléments plus grossier sans pouvoir entrer dans le fuseau du sable à béton. Les courbes C22-C22b et C25-C26 rentrent globalement dans le fuseau des fillers en terme de granulométrie.



section 5												
	C29 C30 C31	C35 C36 C37	S1	S2	C41 C42 C43	S3	C47 C48 C49	S4	Z3 Z4	C52 C53 C54	MOYENNE-S5	
Diamètre	041106_11.\$ls	041107_11.\$ls	041089_11.\$ls	041090_10.\$ls	041108_11.\$ls	041091_10.\$ls	041109_10.\$ls	041092_10.\$ls	041104_11.\$ls	041110_10.\$ls		
mm	SED005834	SED005835	SED005819	SED005820	SED005836	SED005821	SED005837	SED005822	SED005832	SED005838		
8,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
5,600	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
4,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
2,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
1,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
0,500	93,90	95,27	97,16	100,00	100,00	98,23	100,00	100,00	99,17	100,00	98,37	
0,250	87,67	90,67	89,62	100,00	100,00	91,76	100,00	100,00	97,72	100,00	95,74	
0,125	83,80	85,03	76,11	96,57	98,06	82,19	93,58	94,82	94,20	95,77	90,01	
0,063	67,78	67,47	58,94	76,51	82,09	61,86	70,10	73,87	84,69	71,37	71,47	
0,010	16,53	17,75	17,71	20,83	23,63	17,08	18,72	21,30	27,76	16,68	19,80	
0,001	2,14	2,29	2,26	2,59	2,96	2,15	2,38	2,70	3,43	2,11	2,50	

Courbes granulométriques de la section 5

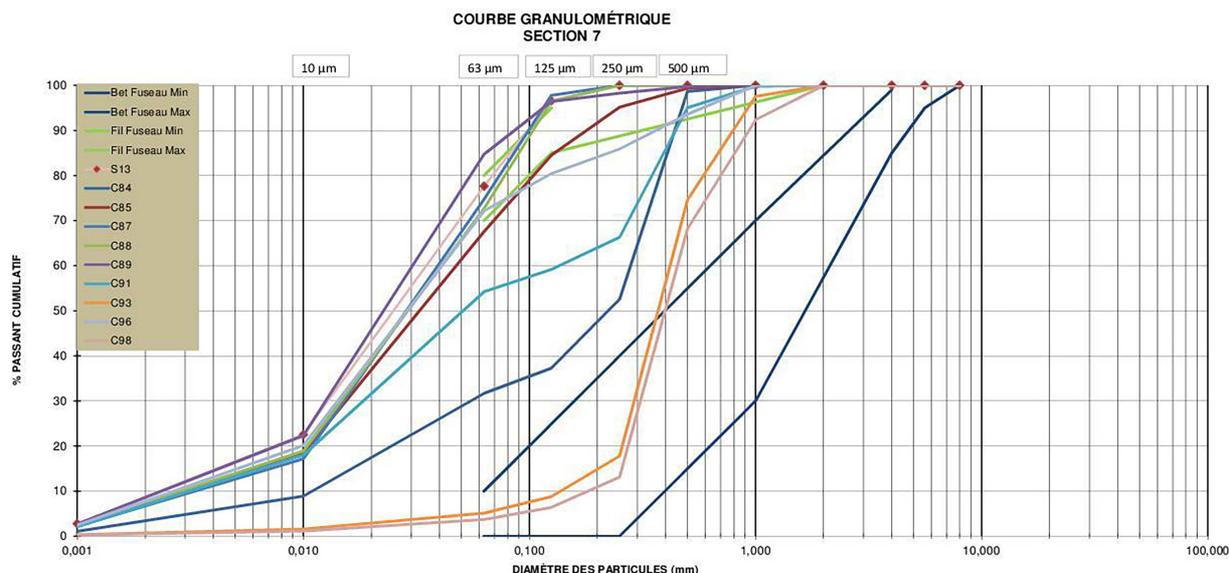
La quasi-totalité des courbes de cette section 5 se situent dans le fuseau des fillers.



section 6																
	S5	S6	C58 C59 C60	S7	S8	C61 C62 C63	S9	S10	C67 C68 C69	S11	Z7 Z8	C73 C74	S12	C75 C76 C77	C81 C82	MOYENNE S6
Diamètre	041093 11.5%	041094 11.5%	041111 10.5%	041095 11.5%	041096 10.5%	041112 B 11.5%	041097 10.5%	041100 b 10.5%	041113 B 11.5%	041101 c 10.5%	041003 11.5%	041114 11.5%	041002 11.5%	041115 11.5%	041116 d 10.5%	
	SED005823	SED005824	SED005829	SED005825	SED005826	SED005840	SED005827	SED005828	SED005841	SED005829	SED005831	SED005842	SED005830	SED005843	SED005844	
% Passant cumulé																
8,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
5,600	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,74	100,00	99,98
0,500	100,00	98,54	100,00	97,38	100,00	100,00	100,00	98,46	98,91	96,17	98,57	99,62	98,90	92,83	92,66	98,14
0,250	100,00	91,73	100,00	93,39	100,00	99,91	100,00	86,35	92,91	70,78	94,17	94,40	89,81	77,27	56,88	89,84
0,125	96,21	81,99	93,59	86,09	97,31	93,79	94,77	64,57	84,71	50,80	87,46	87,10	81,93	71,31	46,84	81,23
0,063	79,46	64,62	67,22	72,66	77,22	69,17	73,30	34,69	64,28	27,68	68,21	70,41	67,33	55,50	39,47	62,28
0,010	22,98	18,39	16,19	21,69	22,35	17,48	20,20	8,61	16,26	6,60	17,78	18,01	20,36	15,80	10,02	16,85
0,001	2,89	2,39	2,15	2,70	2,78	2,29	2,60	1,19	2,15	0,97	2,36	2,26	2,53	1,98	1,27	2,17

Courbes granulométriques de la section 6

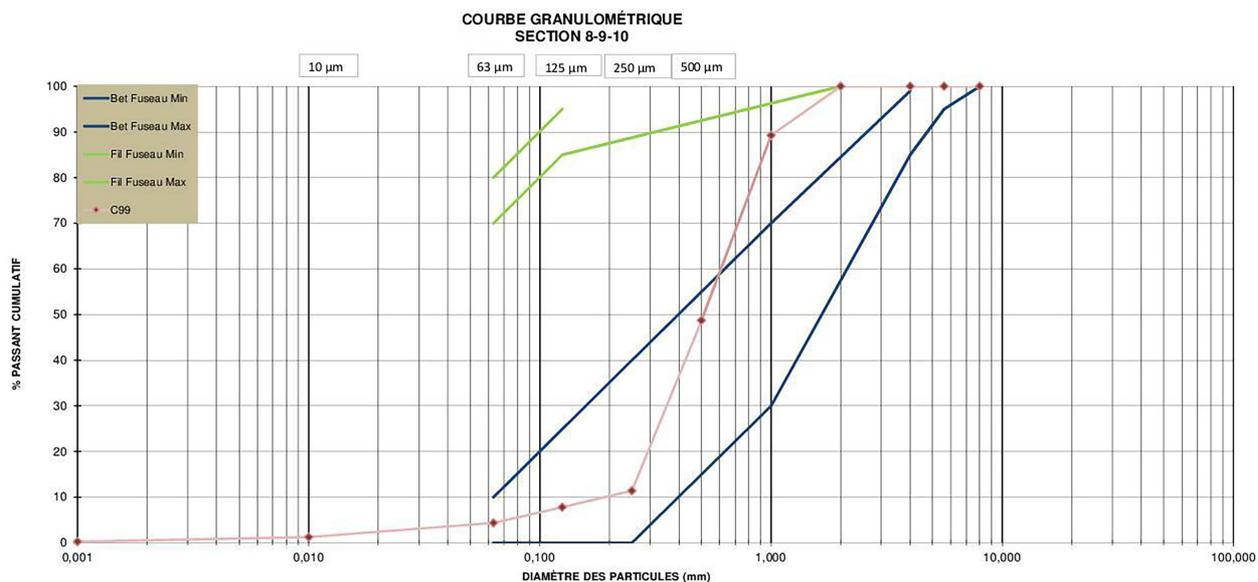
La grande majorité des courbes de cette section se situent dans le fuseau des fillers. Il existe quatre courbes qui se situent entre le fuseau des fillers et celui des sables à béton. Il s'agit des courbes C75-C76-C77, S10, S11 et C81-C82.



section 7												
	S13	C84	C85	C87	C88	C89	C91	C93	C96	C98		MOYENNE-S7
	041990_10.\$ls	041117_10.\$ls	041118_10.\$ls	041119_10.\$ls	041120_10.\$ls	041973_10.\$ls	041974_10.\$ls	041975_09.\$ls	041976_10.\$ls	041977_09.\$ls		
Diamètre	SED005866	SED005845	SED005846	SED005847	SED005848	SED005849	SED005850	SED005851	SED005852	SED005853		
mm	% Passant cumulé											
8,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		100,00
5,600	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		100,00
4,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		100,00
2,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		100,00
1,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,79	97,56	100,00		92,36
0,500	100,00	98,67	99,35	100,00	100,00	99,72	95,06	74,56	93,58	68,19		92,91
0,250	100,00	52,57	95,14	100,00	100,00	98,29	66,28	17,81	85,90	13,09		72,91
0,125	96,56	37,25	84,54	97,79	96,46	96,41	59,16	8,80	80,44	6,39		66,38
0,063	77,66	31,70	67,59	74,77	72,75	84,72	54,22	5,12	72,16	3,71		54,44
0,010	22,53	8,87	18,42	17,18	18,90	22,32	17,99	1,61	20,16	1,16		14,91
0,001	2,79	1,08	2,29	2,21	2,45	2,71	2,12	0,32	2,48	0,29		1,87

Courbes granulométriques de la section 7

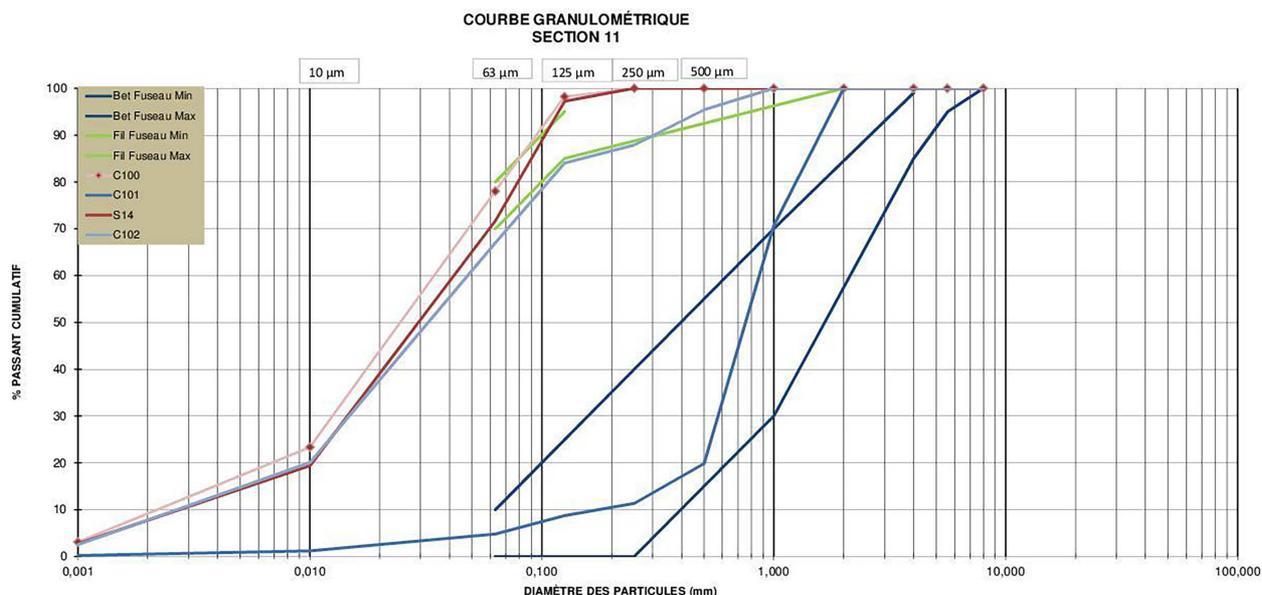
Une partie des courbes de cette section se situent ou se rapprochent du fuseau des fillers. Deux courbes sont intermédiaires entre les deux fuseaux C84 et C91. Enfin, on constate que deux courbes C93 et C98 commencent à rentrer (par le bas) dans le fuseau des sables à béton mais en ressortent à partir de 0,4 mm car les sédiments sont trop fins. Ceci traduit une certaine augmentation de la fraction grossière des prélèvements dans cette section.



Sec. 8-9-10		
	C99	MOYENNE S8-S9-S10
	041982_09_§s	
Diamètre	SED005858	
mm	% Passant cumulé	
8,000	100,00	100,00
5,600	100,00	100,00
4,000	100,00	100,00
2,000	100,00	100,00
1,000	89,25	89,25
0,500	48,71	48,71
0,250	11,40	11,40
0,125	7,81	7,81
0,063	4,36	4,36
0,010	1,27	1,27
0,001	0,26	0,26

Courbes granulométriques des sections 8, 9 et 10

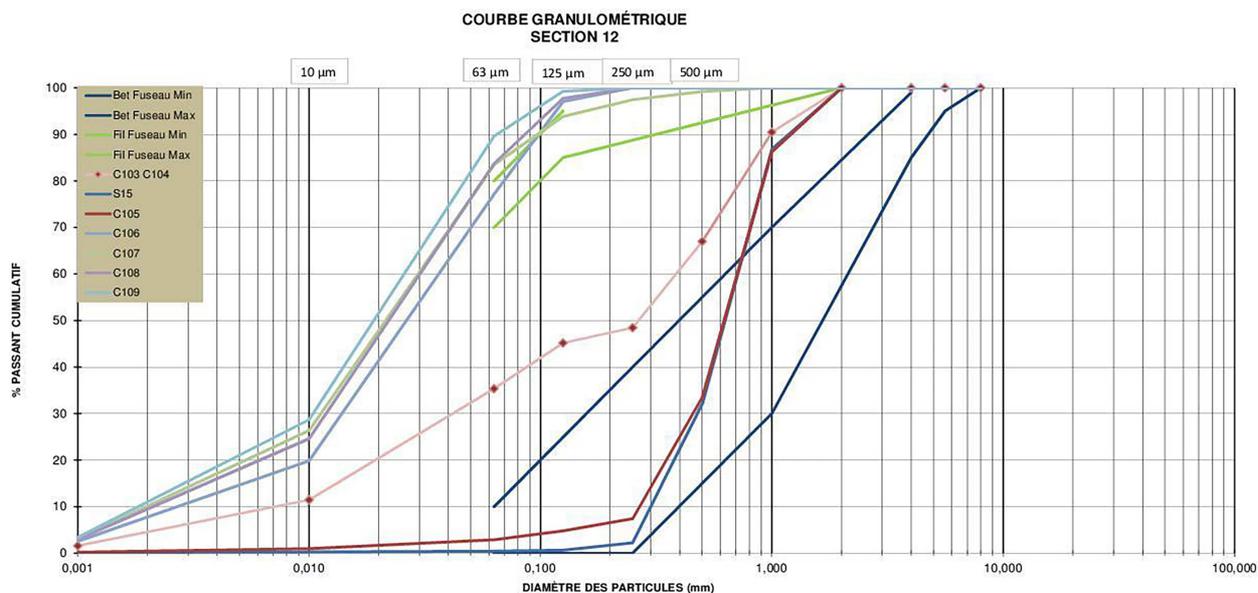
La courbe rentre (par le bas) dans le fuseau des sables à béton mais en ressort à partir de 0,5 mm (environ 50 %) car les sédiments sont trop fins. Ceci traduit une certaine augmentation de la fraction grossière des prélèvements dans cette section par rapport à la section précédente (sortie du fuseau à 0,4 mm)



section 11					
	C100	C101	S14	C102	MOYENNE-S11
	041983_10.\$ls	041984_09.\$ls	041988_10.\$ls	041985_10.\$ls	
Diamètre	SED005859	SED005860	SED005864	SED005861	
mm	% Passant cumulé	% Passant cumulé	% Passant cumulé	% Passant cumulé	
8,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
5,600	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1,000	100,00	70,64	100,00	100,00	92,66
0,500	100,00	19,89	100,00	95,41	78,83
0,250	100,00	11,33	100,00	87,90	74,81
0,125	98,20	8,71	97,24	84,03	72,05
0,063	78,00	4,78	71,69	66,99	55,37
0,010	23,35	1,21	19,45	20,08	16,02
0,001	3,13	0,23	2,72	2,55	2,16

Courbes granulométriques de la section 11

Les courbes sont réparties en deux catégories. Les courbes C100, C102 et S14 qui rentrent sensiblement dans le fuseau des fillers. La courbe C101 se retrouve dans le fuseau des sables à béton jusqu'au tamis de 1mm avec 70 % de passant cumulé mais en ressort à partir de cette limite. Cette courbe traduit une augmentation de la fraction grossière des prélèvements dans cette section par rapport à la section précédente (sortie du fuseau à 0,5 mm avec 50%). **Ici on peut aisément imaginer une correction de la courbe granulométrique par des produits industriels de type 2/4 mm (coproduit souvent excédentaires en carrière) afin de permettre à la courbe bleue de rester dans le fuseau des sables à bétons.**



section 12								
	C103 C104	S15	C105	C106	C107	C108	C109	MOYENNE-S12
	041986 10.\$s	041989 09.\$s	041987 09.\$s	041978 10.\$s	041979 11.\$s	041980A 11.\$s	041981 11.\$s	
Diamètre	SED005862	SED005865	SED005863	SED005854	SED005855	SED005856	SED005857	
mm	% Passant cumulé							
8,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
5,600	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
4,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2,000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1,000	90,45	86,80	86,27	100,00	100,00	100,00	100,00	94,79
0,500	67,00	32,01	33,48	100,00	99,17	100,00	100,00	75,95
0,250	48,43	2,26	7,45	100,00	97,46	100,00	100,00	65,09
0,125	45,19	0,68	4,79	97,07	93,87	97,70	99,25	62,65
0,063	35,37	0,45	2,92	77,16	83,46	83,68	89,60	53,23
0,010	11,46	0,27	0,99	19,85	26,36	24,63	28,69	16,04
0,001	1,60	0,15	0,21	2,56	3,14	3,00	3,43	2,01

Courbes granulométriques de la section 12

Commentaires : on constate que les courbes sont réparties en deux grandes catégories. Les courbes C106, C107, C108 et C109 qui sont sensiblement plus « fines » que le fuseau des fillers. La courbe C103-C104 est intermédiaire entre le fuseau filler et le fuseau sables à béton. Les courbes C105 et S15 se retrouvent dans le fuseau des sables à béton jusqu'au tamis de 0,7 mm avec environ 62 % de passant cumulé mais en ressortent à partir de cette limite. **Ici aussi la correction de cette courbe pourrait être une solution en vue de sa valorisation.**

L'analyse de l'ensemble des courbes granulométriques des différentes sections permet de mettre en évidence les points suivants (vue synthétique présentée Figure 8):

- certaines courbes granulométriques (certaines courbes des sections 1, 3, 5 et 11) sont globalement très proches voire conformes au fuseau granulométrique des fillers,
- généralement les courbes granulométriques des sections en aval correspondent plus au fuseau des fillers,
- il n'existe pas de courbes granulométriques qui soient conformes au fuseau des sables à bétons. Néanmoins, certaines courbes appartenantes aux sections 8, 9, 10, 11 et 12, localisées dans des sections amont, entrent dans la partie basse du fuseau béton jusqu'à environ 0,4 à 0,5 mm. On peut facilement imaginer une **correction de ces courbes granulométriques par l'apport des matériaux de type 2/4 mm afin de les ajuster au fuseau à béton.**

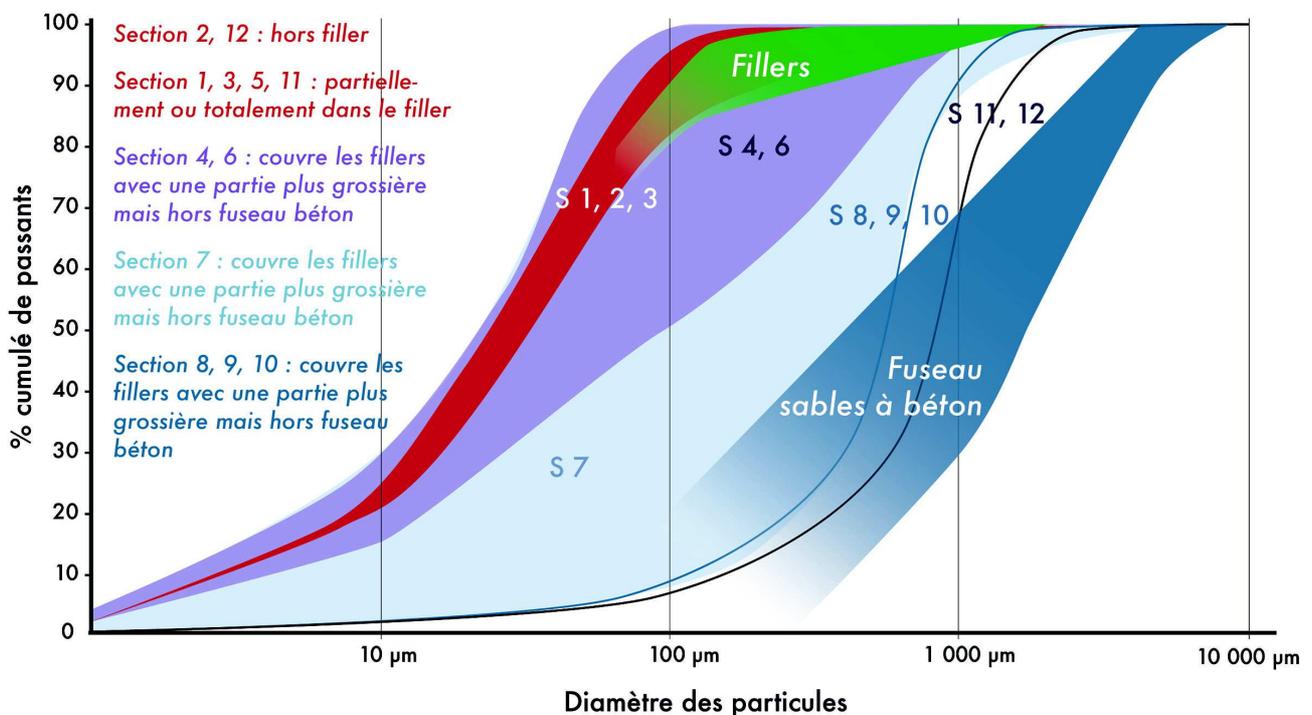


Figure 8: Synthèse des granulométries par section analysées

Cette analyse a été réalisée sur les critères de la répartition physique des grains des sédiments par analyse granulométrique. Dans l'idée de pousser la réflexion sur le potentiel de valorisation des sédiments, il faudra évidemment analyser des critères supplémentaires en fonction de l'usage souhaité et selon des normes bien spécifiques.

5 Pré-ciblage de voies de valorisation à approfondir

5.1 Critères d'analyse pour la matrice croisée

La capitalisation des démarches engagées sur d'autres territoires et par d'autres Grands Ports Maritimes, depuis plus de 10 ans, a permis d'identifier les paramètres prépondérants à prendre en compte pour proposer une matrice décisionnelle des voies de valorisation les plus pertinentes à étudier.

- **Les principaux critères d'analyse pour le choix d'une filière de valorisation**

- **l'aptitude des sédiments du GPMNSN** en fonction des caractéristiques techniques requises pour chacune des filières ;
- **les critères économiques pour envisager la rentabilité de chaque filière** : appréciation des coûts de stockage, de traitement, de transport ;
- **les aspects réglementaires** : existence de seuils de pollution à respecter pour un usage hors d'eau, perspective de sortie du statut de déchet, normes existantes en lien avec l'assurabilité des matériaux de construction ;
- **le contexte territorial en lien avec l'écosystème d'acteurs présents sur le territoire** (partenaires scientifiques, institutionnels, artisans et start-up susceptibles de porter l'expérimentation), **la réalité ou la perspective d'un marché à court/moyen terme (maturité de la filière)** ;
- **l'acceptabilité sociale envisagée** ;
- **l'appréciation du bilan environnemental** au regard de l'émission de gaz à effet de serre, d'économie de la ressource... ;
- **le délai de mise en œuvre** de la filière au regard des professions concernés et du niveau d'investissement de R&D nécessaire.

Ces critères ont été évalués en lien avec **les caractéristiques granulométriques et physico-chimiques des sédiments du GPMNSN** et à l'aune des connaissances actuelles disponibles pour les différentes voies de valorisation.

Ces bases de connaissance sont alimentées depuis plusieurs années par les apports scientifiques (thèses, articles, colloques...) et les expérimentations engagées par différents Grands Ports Maritimes et gestionnaires de voies d'eau et barrages (VNF, EDF...).

La connaissance empirique du contexte territorial a par ailleurs permis de proposer une première appréciation qualitative de certains critères (acceptabilité sociale, perspective d'un marché, bilan environnemental, etc.) qui demanderait à être finement caractérisée via des entretiens ciblés.

5.2 Méthodologie

Trois degrés d'évaluation associés à une note de 1 à 3 ont été attribués pour chacun des critères définis au chapitre 5.1 (ex : favorable ou fort : 3, neutre : 2 et défavorable ou faible :1). Il s'agit d'une codification simplifiée de la qualification des critères présentés en annexe 3.

Présentation des résultats pour chaque filière :

- infographie des points forts et faibles
- représentation de Kiviat : une note de 1 à 3 est donné par chacun des sept critères (technique, économiques, réglementaire, territorial, acceptabilité social, environnemental et délai de mise en œuvre). Ces critères sont considérés *a priori* d'importance égale et aucun n'est minoré ou majoré par un coefficient.
- synthèse des points forts et faibles

Code couleur :

Vert : critère 3 (fort) / Gris : critère 2 (neutre) / Bleu : critère 1 (faible)

Le même code couleur est utilisé pour qualifier le potentiel global de la filière. Exemple : pour une filière jugée à fort potentiel la couleur utilisée sera le vert. Au contraire, le bleu sera réservé aux filières présentant peu de potentiel de développement.

Cette analyse qualitative nécessitera d'être confirmée par des études spécifiques pour chacun des critères.

5.3 Résultats

Les résultats de l'analyse sont présentés de manière détaillée en annexe 3.

POTENTIEL DE LA FILIÈRE CIMENT : IMPORTANT

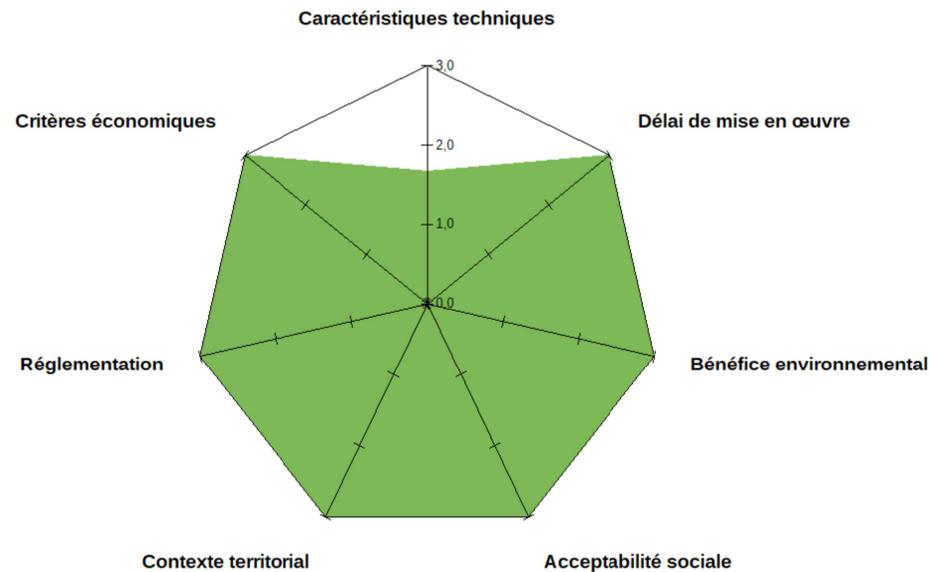
POINTS FORTS	Favorable			Utilisation en continu	Limité	Court	Peu contraignant	Facilité	Existant	Présents	Existant	Identifiés	Favorable	Favorable	Rapide
	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES			CRITÈRES ÉCONOMIQUES			ASPECTS RÉGLEMENTAIRES			CONTEXTE TERRITORIAL			ACCÉPTABILITÉ SOCIALE	BÉNÉFICE ENVIRONNEMENTAL	DÉLAI DE MISE EN ŒUVRE
	Granulométrie	Moyens analytiques à mettre en oeuvre	Quantité de sédiments pour le matériau	Stockage sur site de dépôt	Traitements	Transport	Impact des polluants pour un usage à terre	Statut déchet	Assurabilité / cadre normatif	Partenaires scientifiques	Marché	Porteurs de projets			
POINTS FAIBLES	Lourd		Faible												

Points forts :

- Valorisation de la granulométrie fine possible
- Présence du cimentier EQIOM sur la ZIP. Entreprise motrice en matière de R&D et déjà impliqué dans la valorisation des sédiments
- Contexte réglementaire propice
- Contexte territorial favorable par la présence d'acteurs scientifiques et techniques, d'entreprises et d'une demande du marché estimée forte en ciment
- Bénéfice environnemental important (réduction des activités en carrière)
- Phase opérationnelle potentiellement rapide à atteindre

Points faibles :

- Nécessité de mettre en place des moyens analytiques importants (une forte implication d'EQIOM est néanmoins envisageable pour soutenir le projet)
- Taux de substitution relativement faible (10 à 15%) mais pouvant probablement être augmenté



Malgré le caractère expérimental de cette voie de valorisation, la majorité des critères évalués et plus particulièrement la présence d'acteurs moteurs sur le territoire couplé avec une forte demande locale en matériau, a permis d'estimer un potentiel de développement important pour la filière ciment.

POTENTIEL DE LA FILIÈRE BÉTON : INTÉRESSANT POUR LES BÉTONS NON STRUCTURANTS

POINTS FORTS	Favorable pour la fraction sableuse	Routine	Durée variable	Court	Facilité	Peu strict si béton non structuraux	Présents	Existant	Identifiés	Favorable	Favorable	Rapide
	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES			CRITÈRES ÉCONOMIQUES		ASPECTS RÉGLEMENTAIRES		CONTEXTE TERRITORIAL			ACCÉPTABILITÉ SOCIALE	BÉNÉFICE ENVIRONNEMENTAL
POINTS FAIBLES	Granulométrie	Moyens analytiques à mettre en oeuvre	Quantité de sédiments pour le matériau	Stockage sur site de dépôt	Traitements	Transport	Impact des polluants pour un usage à terre	Statut déchet	Assurabilité / cadre normatif	Partenaires scientifiques	Marché	Porteurs de projets
			Faible		Potentielle-ment lourd							

Points forts :

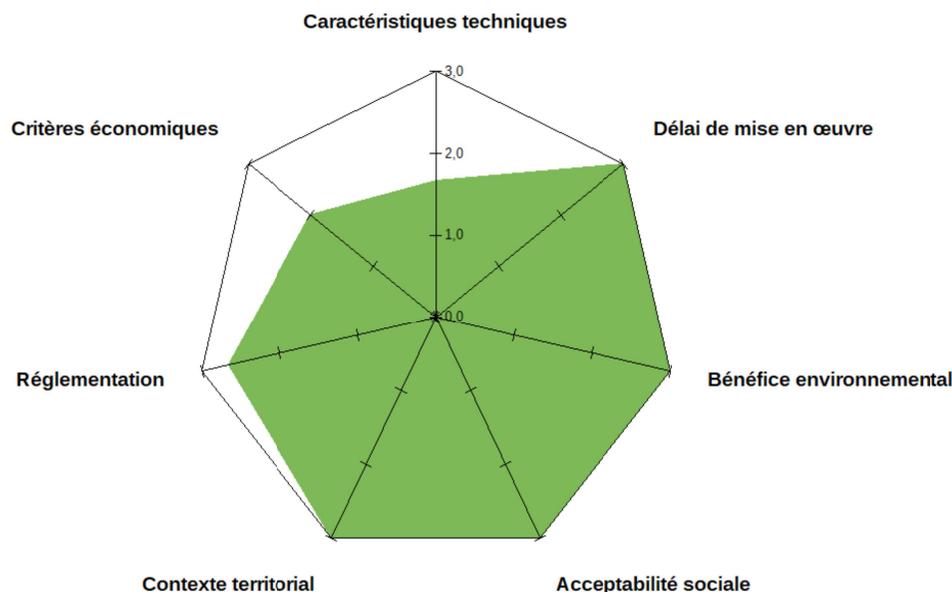
- Présence d'industriels sur la ZIP (2 à Donges, 14, en Pays de la Loire)
- Filière habituée à utiliser des matériaux alternatifs
- Un contexte réglementaire peu restrictif pour les bétons non structuraux
- Un contexte territorial favorable par la présence d'acteurs scientifiques et techniques, d'entreprises et d'une demande du marché estimée forte. Potentiel de création d'emploi identifié par VNF en Haut de France
- Un bénéfice environnemental important (réduction des activités en carrière)
- Un stade opérationnel potentiellement rapide à atteindre du fait des expériences de SEDIMATERIAUX

Points neutres :

- Seule la fraction filler est valorisable
- Moyens analytiques complémentaires nécessaires mais bien maîtrisés
- Temps et conditions de stockage variable
- Pas de contre-indication spécifique en lien avec la présence de polluants

Points faibles :

- Granulométrie à dominance sableuse nécessaire
- Un taux de substitution relativement faible (15 à 30%) mais pouvant probablement être augmenté
- Un traitement des sédiments pouvant être coûteux notamment en cas d'adjuvantation



Bien que seule la phase granulaire soit valorisable et que les coûts de traitements des sédiments soient potentiellement importants, la majorité des critères évalués, et plus particulièrement la présence d'acteurs moteurs sur le territoire couplé avec une forte demande locale en matériaux, a permis d'estimer un potentiel de développement important pour la filière béton.

POTENTIEL DE LA FILIÈRE TECHNOSOL: IMPORTANT

POINTS FORTS ↑	Favorable			Importante			Durée variable			Limité			Court			Présents			Fort potentiel			Identifiés			Favorable			Rapide		
	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES						CRITÈRES ÉCONOMIQUES						ASPECTS RÉGLEMENTAIRES						CONTEXTE TERRITORIAL											
	Granulométrie	Moyens analytiques à mettre en oeuvre	Quantité de sédiments pour le matériau	Stockage sur site de dépôt	Traitements	Transport	Impact des polluants pour un usage à terre	Statut déchet	Assurabilité / cadre normatif	Partenaires scientifiques	Marché	Porteurs de projets	ACCÉPTABILITÉ SOCIALE	BÉNÉFICE ENVIRONNEMENTAL	DÉLAI DE MISE EN OEUVRE															
POINTS FAIBLES ↓	Lourd						Contraignant si présence de polluants			Évolution réglementaire en devenir ?			Inexistant																	

Points forts :

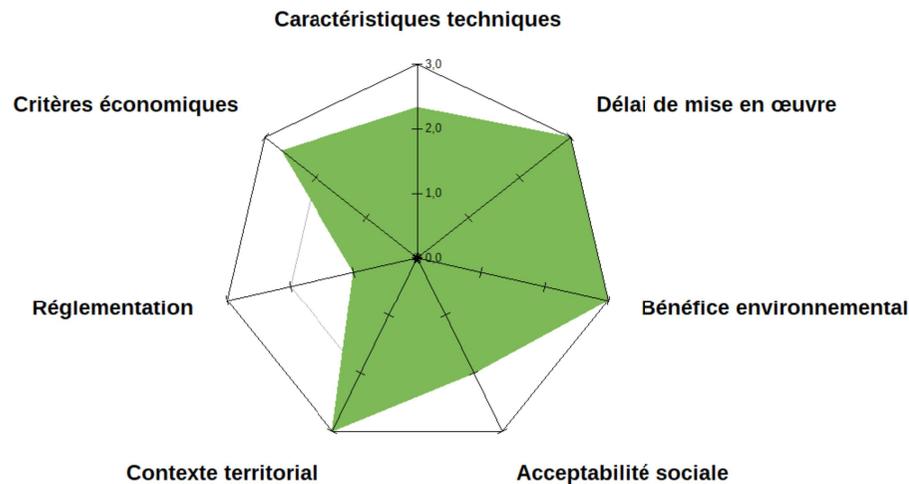
- Granulométrie variable
- Volume important (utilisation en matériau brute)
- Traitements limités
- Contexte territorial favorable par la présence d'acteurs scientifiques et techniques, d'entreprises innovantes et d'un besoin local en terre de substitution
- Bénéfice environnemental important
- Potentiel de développement rapide de la filière

Points neutres :

- Temps et conditions de stockage variables
- Acceptabilité sociale pouvant être mitigée en fonction des projets

Points faibles :

- Nombreuses analyses à mettre en oeuvre (physico-chimie, minéralogie, polluants)
- Réglementation inexistante et innocuité environnementale à démontrer (verrou potentiel)



Malgré le peu de retours d'expérience collectés et des incertitudes quant à l'évolution du cadre réglementaire concernant cet usage, une grande partie des critères évalués ont conduit à estimer cette voie de valorisation à fort potentiel de potentiel de développement.

POTENTIEL DE LA FILIÈRE TERRE CUITE : MODÉRÉ

POINTS FORTS	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES			CRITÈRES ÉCONOMIQUES			ASPECTS RÉGLEMENTAIRES			CONTEXTE TERRITORIAL			ACCÉPTABILITÉ SOCIALE	BÉNÉFICE ENVIRONNEMENTAL	DÉLAI DE MISE EN ŒUVRE
	Granulométrie	Moyens analytiques à mettre en œuvre	Quantité de sédiments pour le matériau	Stockage sur site de dépôt	Traitements	Transport	Impact des polluants pour un usage à terre	Statut déchet	Assurabilité / cadre normatif	Partenaires scientifiques	Marché	Porteurs de projets			
	Favorable		Variable	Durée variable	Limités		Peu contraignant	Facilité	Existant	Présents		Identifiés	NIMBY déjà observé	Favorable	
POINTS FAIBLES		Light				Couteux si absence d'usine sur la ZIP					Existant mais peu adapté				Moyen à long terme

Points forts :

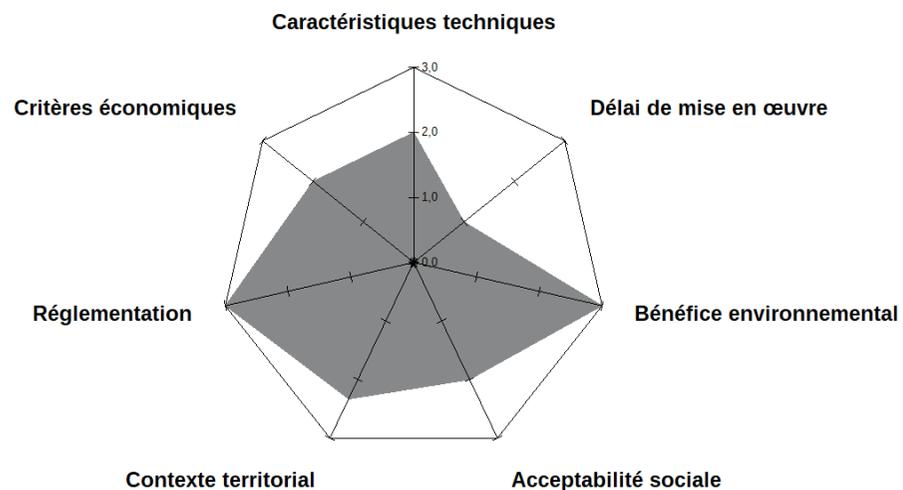
- Granulométrie à dominance fine
- Traitements des sédiments limité (dessalement, ressuyage et homogénéisation avec ou non apport d'argile)
- Contexte réglementaire peu contraignant et une facilité d'utiliser des matériaux alternatifs dans la filière
- Contexte territorial favorable par la présence d'acteurs scientifiques et techniques
- Bénéfice environnemental important (réduction des activités en carrière)

Points neutres :

- Taux de substitution variable (10 à 100%)
- Temps et conditions de stockage variable

Points faibles :

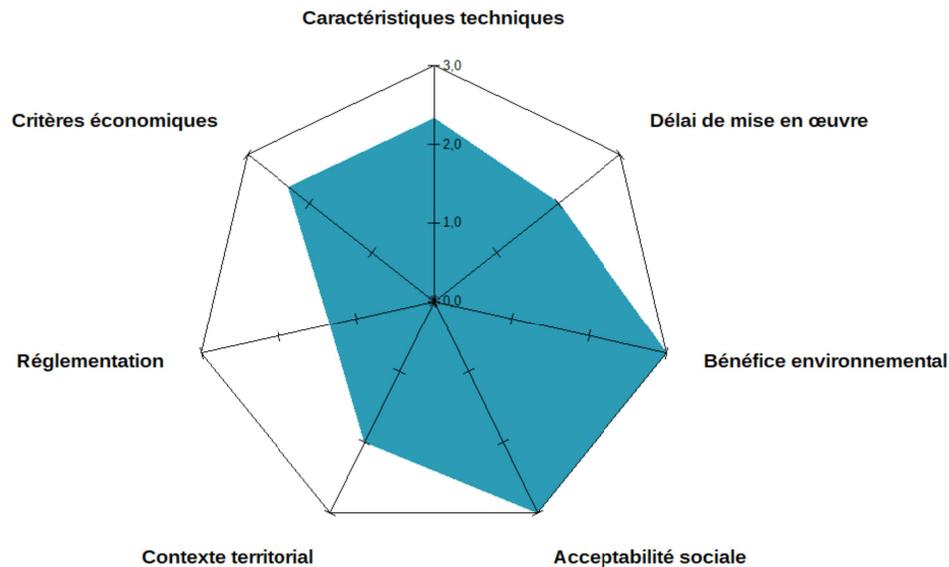
- Absence d'usine de fabrication sur la ZIP
- Une matière première aujourd'hui employée difficile à concurrencer économiquement
- Nombreuses analyses à mettre en œuvre (physico-chimie, minéralogie, polluants)
- Délai de mise en œuvre potentiellement long du fait de la frilosité de la filière (arguments économiques et techniques) et des risques en matière d'acceptabilité sociale



Beaucoup des critères évalués apparaissent plutôt en faveur du développement de cette voie de valorisation. Cependant, la filière locale en terre cuite se montre réservée sur son opportunité à rechercher des matériaux alternatifs à l'argile de carrière (barrière technique et économique, absence d'usine à proximité de l'estuaire de la Loire). De ce fait, le potentiel de développement de cette filière apparaît comme étant modérée.

POTENTIEL DE LA FILIÈRE TERRE CRUE : MODÉRÉ À FAIBLE

POINTS FORTS	Favorable	Probablement Importante	Durée variable	Probablement Limité	Faible mais matériau lourd	Inconnu	Présents	Inconnu	Favorable	Favorable	Inconnu				
	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES			CRITÈRES ÉCONOMIQUES			ASPECTS RÉGLEMENTAIRES			CONTEXTE TERRITORIAL					
	Granulométrie	Moyens analytiques à mettre en oeuvre	Quantité de sédiments pour le matériau	Stockage sur site de dépôt	Traitements	Transport	Impact des polluants pour un usage à terre	Statut déchet	Assurabilité / cadre normatif	Partenaires scientifiques	Marché	Porteurs de projets	ACCÉPTABILITÉ SOCIALE	BÉNÉFICE ENVIRONNEMENTAL	DÉLAI DE MISE EN ŒUVRE
POINTS FAIBLES		Lourd					A priori contraignant si présence de polluants		Non existant			Non identifiés			



Points forts :

- Granulométrie à dominance fine
- Traitements des sédiments probablement limités (dessalement, ressuyage et homogénéisation avec ou non apport d'argile ?)
- Bénéfice environnemental attendu

Points neutres :

- Caractère humide du matériau pouvant entraîner des coûts de transport importants
- Absence de réglementation spécifique et de données sur le marché

Points faibles :

- Absence de filière
- Probable lourdeur analytique à mettre en œuvre (physico-chimie, minéralogie, polluants)
- Aucune réglementation ou norme
- Pas de porteurs identifiés
- Risques en matière d'acceptabilité sociale

Bien que certains critères évalués soient très clairement en faveur du développement de cette voie de valorisation, l'absence de réglementation, de retour d'expérience et le caractère artisanal de la filière ont conduit à un potentielle de développement faible à modéré pour cette voie de valorisation.

POTENTIEL DE LA FILIÈRE TECHNIQUES ROUTIÈRES : FAIBLE

POINTS FORTS	CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES			CRITÈRES ÉCONOMIQUES			ASPECTS RÉGLEMENTAIRES			CONTEXTE TERRITORIAL			ACCÉPTABILITÉ SOCIALE	BÉNÉFICE ENVIRONNEMENTAL	DÉLAI DE MISE EN ŒUVRE	
	Granulométrie	Moyens analytiques à mettre en oeuvre	Quantité de sédiments pour le matériau	Stockage sur site de dépôt	Traitements	Transport	Impact des polluants pour un usage à terre	Statut déchet	Assurabilité / cadre normatif	Partenaires scientifiques	Marché	Porteurs de projets				
	Favorable pour la fraction sableuse		Fort											Favorable	Favorable	Rapide
POINTS FAIBLES		Lourd			Potentielle-ment couteux		Contraignants		Contraignants	Non identifiés	Potentiel mais non identifié	Non identifiés				

Points forts :

- Quantité importante de sédiment (utilisation en matériaux brute)
- Utilisation potentiellement facilitée par une sortie du statut déchet
- Bénéfice environnemental important (réduction des activités en carrière)
- Développement rapide de la filière envisageable

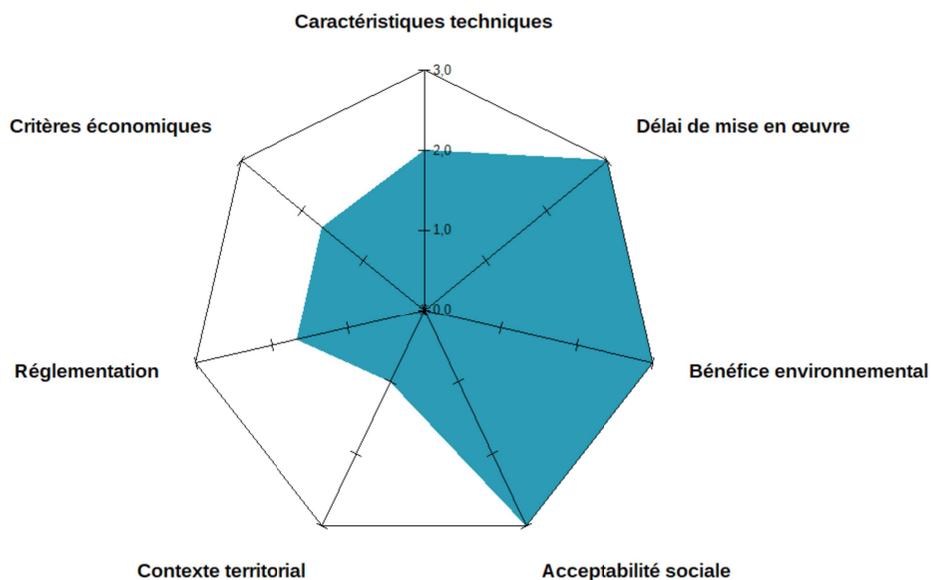
Points neutres :

- La fraction granulaire est préférable pour cet usage
- Temps et conditions de stockage variables en fonction des projets
- Transport pouvant être important en fonction des projets

Points faibles :

- Granulométrie à dominance sableuse nécessaire
- Traitement potentiellement lourd et coûteux
- Nombreuses analyses à mettre en œuvre (physico-chimie, minéralogie, polluants, mécanique)
- Essai de lixiviation nécessaire (garantir le caractère inerte des sédiments)
- Cadre réglementaire contraignant
- Marché dépendant des besoins locaux et de la localisation des chantiers

De nombreux critères apparaissent comme des freins au développement de cette voie de valorisation (coûts, proximité des chantiers, réglementation stricte, absence d'acteurs locaux,...). Malgré des quantités de sédiments valorisables potentiellement importantes, le développement de cette voie de valorisation a été jugé faible.



Synthèse

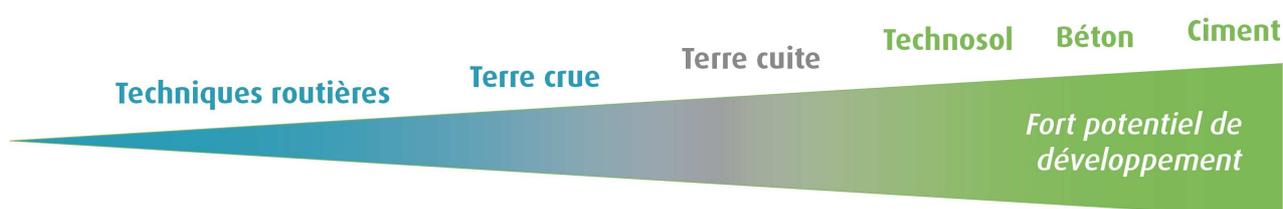
Au regard des critères évalués, les filières pré-ciblées jugées présenter le potentiel de développement le plus élevé sur le territoire du GPMNSN sont les **filières technosol, ciment et béton**.

La terre cuite présente un potentiel modéré, et la terre crue et les techniques routières le potentiel le plus faible.

Ces résultats sont synthétisés dans le tableau suivant.

Tableau 15: Synthèse des potentiels de développement des filières pré-ciblées.

Filières	Potentiel
Ciment	Important
Béton	Intéressant pour les bétons non structuraux (pour la fraction granulaire fine « filler »)
Technosol	Important
Terre cuite	Modéré
Terre crue	Modéré à faible
Techniques routières	Faible



Le cas des sédiments contaminés et du choix des filières

En fonction de la finalité des usages, du contexte réglementaire et du niveau de traitement des sédiments mis en dépôt, certaines voies de valorisation à terre semblent plus adaptées à l'utilisation de sédiments contaminés par des métaux lourds ou d'autres composés potentiellement toxiques pour l'environnement ou la santé humaine.

Les initiatives de valorisation à terre des sédiments de dragage concernent majoritairement des sédiments jugés non immergeables en raison de trop fortes teneurs en certains contaminants. De ce fait, les expérimentations de valorisation disponibles dans la littérature prennent en compte la gestion et/ou l'étude de ces pollutions dans les matériaux élaborés à partir de sédiments. En effet, pour chaque type d'usage à terre, il est nécessaire de respecter les réglementations en vigueur et de prouver l'innocuité environnementale. Chaque situation est à examiner au cas par cas et il est difficile de présenter un classement des usages en fonction de leurs tolérances aux niveaux de pollution. Cependant, il paraît assez évident que les usages permettant de limiter la diffusion de contaminants dans le milieu environnant soient les plus adaptés.

Par exemple, contrairement aux applications sols où les matériaux ne sont pas ou peu immobilisés, les voies de valorisations permettant de fixer ou de détruire les contaminants (terre cuite, ciment et béton) sont susceptibles d'être les plus à même d'accepter la présence de contaminants. En effet, le traitement thermique lié au process de fabrication permet de détruire les composés organiques toxiques et le produit final, une fois constitué, limite les possibilités de diffusion des polluants dans l'environnement en raison de son caractère solide et cohésif.

Indépendamment au choix de la filière, les sédiments non immergeables destinés à être valorisés doivent être stockés à terre de manière temporaire en zone non confinée. Un relargage de polluants dans les eaux de lixiviation peut alors amener à des contaminations du sol ou des zones humides environnantes. De ce fait, en cas de présence de contaminants dans les sédiments de dragage et quelle que soit la voie de valorisation à terre envisagée, des traitements d'inertage complexes et onéreux (physiques, chimiques, biologiques) peuvent être nécessaires à mettre en œuvre afin de contrôler le potentiel de lixivibilité de ces sédiments.

Focus sur les volumes de sédiments valorisables

Seule une analyse technico-économique du tissu économique local concernant les filières, ainsi qu'une analyse des projets de territoire à venir pourraient permettre d'évaluer le volume de sédiments potentiellement valorisable à terre. Cependant, en se basant sur les expériences des autres ports et sur les éléments de contexte disponibles du territoire de Nantes Saint-Nazaire, il est possible d'évaluer grossièrement ces volumes.

- **Filière Ciment**

- La consommation de matières premières pour la fabrication de clinker peut être estimée à **19,4 Mt en France** (Source VNF). Le Nord-Ouest (Normandie, Bretagne, Centre-Val de Loire, Ile-de-France, Hauts-de-France, Pays de la Loire) représente 37,7 % de la consommation de ciment en France.

D'après le schéma régional des carrières des Pays de la Loire, les besoins en argiles pour le ciment sont estimés à **326 000 tonnes en 2017 pour atteindre 500 000 tonnes en 2030** (hypothèse de croissance de l'ordre de 4,5 % par an).

- **Taux de substitution massique envisageables dans la fabrication de clinkers à partir de sédiments : 10 à 15 %.** D'après Faure, 2017, une substitution, même à faible pourcentage massique, de ressources géologiques usuelles par des sédiments dans la préparation de cru ouvre la voie vers **une valorisation de quantités conséquentes de sédiments**. Les quantités de constituants du ciment autres que le clinker consommées à l'échelle nationale sont évaluées à plusieurs centaines de milliers de tonnes. A titre d'exemples, 1,2 Mt de calcaire et 0,3 Mt de cendres volantes ont été utilisées en tant qu'ajouts cimentaires en 2015 ; en 2018, environ 780 000 t de déchets industriels ont été valorisés dans le process cimentier (Cimbéton, 2016 et 2019). **Les volumes de matières premières alternatives pouvant être valorisés dans cette filière industrielle sont donc potentiellement importants.**

- **Filières nécessitant du sable (béton et techniques routières)**

D'après le schéma régional des carrières des Pays de la Loire, de 2019 à 2030 les besoins estimés en granulats à Nantes et à Saint-Nazaire seraient d'environ 133 Mt, soit environ

12 Mt/an. Dans le cas des sables marins, les besoins estimés dans cette période s'élèveraient à environ 21 Mt soit 1,7 Mt/an.

Avec un taux de substitution massique de 15 à 30 % pour les bétons, **les volumes de sédiments (type fillers) pouvant être valorisés pourraient être très importants. Il en est de même pour les techniques routières pouvant utiliser le sable en tant que matériau brute.**

- **Filière technosol** (aménagement d'espaces verts, requalification de friches industrielles, fermes urbaine, etc.).
 - Besoins en terre végétale à l'échelle nationale : environ 3 Mm³.
 - D'après le schéma régional des carrières des Pays de la Loire, les besoins en argiles pour les usages hors ciment et terre cuite (ex : agriculture) étaient d'environ 22 000 tonnes en 2017.
 - Projets urbains identifiés nécessitant des terres de substitution : Pirmil-les Isles à Nantes Métropole
 - Sites et sols pollués en Loire Atlantique (base de données BASOL) : huit sites mis en sécurité et/ou devant faire l'objet d'un diagnostic et 21 sites en cours d'évaluation

Quelques milliers de mètres cubes annuels de sédiments pourraient être valorisés par cette voie.

- **Filière Terre cuite / crue**

Les besoins en argiles pour les terres cuites en Pays de la Loire sont estimés à 740 000 tonnes en 2017 pour atteindre 1 million de tonnes en 2030 (hypothèse de croissance limitée des besoins de l'ordre de 3 % par an) d'après le schéma régional des carrières des Pays de la Loire.

Comme pour les ciments et les bétons, avec un taux de substitution massique de 10 à 100 %, **les volumes de sédiments fins pouvant être valorisés par la filière terre cuite pourraient être très importants.**

Aucune donnée ne permet de statuer actuellement sur les volumes valorisables en terre crue.

5.4 Conclusion

Les résultats de cette analyse, en lien avec les ambitions du projet - **trouver un débouché innovant dans une logique économie circulaire territoriale, avec un coût minimal et un délai de mise en œuvre raisonnable** - permettent de proposer l'approfondissement de plusieurs voies de valorisation :

- pour les fractions limono-vaseuses => approfondissement de l'opportunité de développer des débouchés en aménagement paysager, en reconstitution et amélioration de sols, voire en matériau de construction en terre cuite et en ciment,

- pour les fractions sableuses => approfondissement de l'opportunité de développer des débouchés des filières béton et ciment, uniquement pour des usages faisant sens en matière d'économie circulaire sur le territoire :
 - réemploi des matériaux à l'échelle de la ZIP : stabilisation de berges (blocs accropodes), confortement de quais, plateformes... ;
 - **réemploi des matériaux pour des usages maritimes : création de récifs artificiels, lestage des câbles EMR du parc de Saint-Nazaire, corps morts pour bateaux de plaisance...** Un travail complémentaire de croisement de plusieurs paramètres - caractéristiques techniques, critères économiques, aspects réglementaires, contexte territorial, acceptabilité sociale et bénéfice environnemental, délai de mise en œuvre du projet permet de confirmer cette pré-orientation.

Bilan par filière pré-ciblées : réglementaire - analyses complémentaires – contexte territorial

Le chapitre précédent, concernant l'étude du potentiel de développement de différentes voies de valorisation sur le territoire de Nantes à Saint-Nazaire, a permis d'identifier au moins trois filières potentiellement développables localement :

1. **La filière technosol** pour l'utilisation des sédiments en support de végétalisation pour la reconstitution de sols dégradés ou la constitution de nouveaux sols.
2. **La filière béton et ciment** pour l'élaboration de nouveaux liants hydrauliques (clinker) et la fabrication de béton pré-fabriqués non structurants Hors Champs d'Application de la Norme (HCAN).
3. **La filière terre cuite** pour la fabrication de briques.

Ces trois voies de valorisation sont détaillées ci-après en y intégrant une description générale et/ou une cartographie des retours d'expérience, le contexte réglementaire, la liste des analyses complémentaires et le témoignage d'un acteur du territoire concerné par la filière.

5.5 Filière technosol

La valorisation des fractions fines des sédiments dragués (< 80 µm) est moins évidente que pour les fractions grossières. La valorisation agronomique en construction de sols supports de végétation paraît pertinente au regard de l'origine des sédiments et de leur nature organo-minérale. Cette voie de valorisation permettrait de fournir aux aménageurs, un matériau alternatif à la terre végétale pour la construction de sols supports de végétation et donc un substitut à une ressource non renouvelable. En effet, la raréfaction des parcelles agricoles à proximité des villes et l'augmentation des besoins en matière d'aménagement paysager et de végétalisation des zones urbaines, incite à trouver des alternatives plus économiques et durables à l'utilisation des terres végétales et arables.

Les sédiments de dragage apparaissent dans ce contexte comme une source de matériaux envisageable dans plusieurs voies de valorisations à terre, notamment en technosols pour différents usages tels que pour :

- l'amendement et la fertilisation des sols,
- la reconstruction de sols,
- l'aménagement paysager,
- la réhabilitation écologique de sol.

Ainsi plusieurs applications sont possibles :

- Installation *ex nihilo* d'espaces verts en zone urbaine ou péri-urbaine (plantations de massifs, accotements de voirie, toitures végétalisées, jardins, parcs, etc.)
- Réhabilitation de sols pollués ou dégradés dans un but paysager ou écologique (friches industrielles, commerciales et militaires, etc.)
- Epannage agricole

Avantages de cette voie de valorisation

- Volumes valorisables importants (surtout en réhabilitation de sols).
- Faible investissement si peu de transport des sédiments (environ 20 €/m³).
- Valorisation écologique - «retour au sol de la Matière Organique (MO) et de terre arable».

Inconvénients de cette voie de valorisation

- Temps de traitement pouvant être important (forte teneur en eau et présence de chlorures).
- Cadre réglementaire non adapté / absence de législation.
- Acceptation sociale souvent difficile (assimilation des sédiments à des boues par la législation et peu d'études scientifiques disponibles).

5.5.1 Cartographie des projets de valorisation

La Tangue



Estuaire de la Rance
Historiquement utilisé comme matière première, les sédiments du golfe normand-breton (la tangue ou marne) sont utilisés pour l'amendement calci-magnésique et la fertilisation des terres agricoles (Bourret, 1997, Camuzard, 2011). La tangue est un matériau de dragage formé d'une fraction sableuse principalement à base de débris coquilliers calcaires et d'une fraction vaseuse de limons et/ou d'argiles. Ce sable fin avec une teneur en sel modeste possède d'excellentes qualités agronomiques.

- **1996** - Études de faisabilité technique pour l'amendement (plus de 10 000 m³ épandues sur 2 exploitations agricoles) et la réhabilitation des sols (création de massifs et talus et compostage à base de sédiments)
- **200-2001** - Amendement de 92 000 m³ de sédiments. Aucun effets négatifs ont été constatés sur les cultures suite à ces expérimentations. Afin d'éliminer les chlorures, 2 à 3 ans sont nécessaires en stockage avant épandage.
- **2003-2004** - Séparation granulométrique réalisée sur 91 000 m³ de sédiments. La part sableuse a été utilisée pour la reconstruction de plages et la part fine (30 000 m³) a été épandue sur des parcelles agricoles.
- **2018-2022** - L'expérience est toujours en cours (plan quinquennal pour un montant de 700 000 €)

Le Mont-Saint-Michel

Dans la baie du Mont-Saint-Michel accumule un volume annuel de sédiment estimé à environ 1,5 Mm³/an sur les 400 km² de la grande baie. Il s'agit principalement de tangue comme dans l'estuaire de la Rance. Principalement issu du curage du Couesnon et de l'anse de Moidrey, la tangue est historiquement utilisée comme engrais du 18 et 19^{ème} siècle, cette pratique a ensuite peu à peu disparu.

Les travaux de dragage du Couesnon et de creusement de l'anse de Moidrey ont nécessité l'évacuation d'environ 1 million m³ de tangue. Devant l'impossibilité économique d'évacuer ces matériaux en mer et les besoins locaux en matière de rehaussement et d'aménagement agricole ou de recharge de sols équestres, le syndicat mixte de la baie du Mont-Saint-Michel a mis à disposition la tangue extraite pour les acteurs locaux (signature d'une convention).

De 2011 à 2014, plus de 1 Mm³ de sédiments ont été utilisés dans 36 parcelles principalement pour le recharge agricole (> 87 %). L'expérience est une réussite 2 ans après de culture (Maiso-nobe, 2016)

- **Contrôle de la qualité**
Des prélèvements par sondage, tous les 40 000m³ de mélange eau/sédiment dragués (environ 40 analyses), ont permis de vérifier l'adéquation des teneurs aux seuils réglementaires fixés par arrêté préfectoral ICPE. La salinité de la tangue a été réduite par un stockage en bassin de 1 à 2 mois permettant un « lavage » par les eaux pluviales (Na₂O échangeable <0,25 g/kg).
- **Moyens financiers :**
 - Travaux préparatoires (construction de pont...) : 1,2 M€
 - Extraction : 10 M€
 - Valorisation locale de matériaux : 7,2 M€

Val'Agro

construire des sols fertiles à partir de sédiments de dragage de canaux

- Date : 2018-2021
- Lieu : région Hauts-de-France
- Partenaires : VNF / IMT Douay / Baudalet

Ireland - Port de Waterford

Référence : Sheelan et al., 2010
Étude expérimentale de la fraction fine et grossière des sédiments de dragage en terre végétale.

- Ressuyage et dessalinitisation
- 2 à 3 mois (12 - 15 mS/cm initial vers 2 mS/cm) pour une couche d'une épaisseur de 20 cm
- Caractéristiques des sédiments
- Sédiments marins / sables et fines / pH = 8,2 à 8,7 / S = 15 à 20 mS/cm / MO = 0,5 à 2,5 %
- Ajustements physico-chimique
- S = 2 mS/cm / pH = 6.75 / MO = 6 %
- Ajustement granulométrique
- grossier : 60 % / fines : 40 % / 6 % MO

Chambre de l'agriculture - CD Somme

Valorisation agronomique des sédiments marins

- Date : avant 2014 - 2015
- Lieu : sédiments marins issus du dragage puis du ressuyage des bassins de chasse de la Baie de Somme (Le Crotoy).

Les voies de valorisations agricoles étudiées sont :

- l'utilisation en agriculture dans le cadre d'un plan d'épandage « classique » avec des doses agronomiques et le respect des flux en EIM applicables aux effluents urbains et industriels ;
- l'utilisation comme matériaux pour le reprofilage de parcelles difficilement exploitables (topographie accidentée ou épaisseur de sol faible)

Comme utilisation alternative :

- la remise en état de carrières en activité ;
- l'utilisation en techniques routières.

Et enfin pour les sédiments non conformes :

- l'enfouissement en centre de stockage ;
- le traitement de dépollution.

Port industriel du Nord ouest de l'Espagne

Référence : Macía et al., 2014
Évaluation du potentiel d'utilisation de sédiments de dragage d'un grand port maritime en technosol (pollutions : métaux et composés organiques)

- Caractéristiques des sédiments
- Sédiments marins pollués (métaux et composés organiques) / prédominance de fines (84 % < 60 µm) / pH = 7,8 / s = 24,3 mS/cm / MO = 8,7 %
- Ajustements physico-chimique et texture
- S = 2,37 mS/cm / pH = 7.4 / MO = 18,8 % (perlite, compost, tourbe, copeaux de bois)

Chambre de l'agriculture - Charente Maritime

Valorisation des sédiments issus du dragage et curage du Canal Marans/La Rochelle/ Fleuve Charente.

- Date : depuis 2008
- Lieu : Canal Marans/La Rochelle/ Fleuve Charente

Earle Naval Weapons Station (USA)

Référence : Koropchak et al., 2015 / Haus, 2011
Synthèse des expérimentations menée depuis 2005-2006 pour la valorisation des sédiments du port militaire de Earle Naval Weapons Station (New Jersey).

- Caractéristiques des sédiments
- Sédiments marins pollués aux HAP / prédominance de fines (> 80 %) / pH = 9,9 / S = 37 mS/cm / MO = 8,7 %
- Caractéristique du sol après 1 an in situ
- S = 2,5 mS/cm / pH = 7.0 / MO = 18,8 % (perlite, compost, tourbe, copeaux de bois)



PEI AGRI NA

Filières / type de projet : Reconstitution de sols

- Date : 2018-2021
- Lieu : Charente-Maritime
- Budget : N.C.

Thèse Fourvel, 2018

Valorisation agronomique des sédiments fins de retenues hydroélectriques en construction d'Anthrosols fertiles

- Date : 2015-2018
- Lieu : région Hauts-de-France
- Partenaires : EDF R&D, AgroCampus Ouest



5.5.2 Réglementation

Les sédiments de dragage sont **absents des normes et réglementations en France**. Soit les normes n'intègrent pas les sédiments dans les listes de produits autorisés malgré des caractéristiques compatibles, soit ces caractéristiques ne sont pas conformes.

Cas de la construction de sols :

En France, aucune réglementation n'encadre spécifiquement les matériaux valorisables en construction de sols. Toutefois, le code rural et de la pêche maritime (article L255) donne une définition d'un support de culture et permet l'utilisation d'utiliser un matériau à des fins d'expérimentation en tant que « support de culture s'il est prouvé, à l'issue d'une évaluation, l'absence d'effet nocif sur la santé humaine, la santé animale et sur l'environnement et l'efficacité à l'égard des végétaux ou des sols ». En France, les matériaux utilisés doivent être en conformité avec la norme NF U44-551 (AFNOR, 2002) rendue d'application obligatoire par l'arrêté du 5 septembre 2003).

Cas de l'épandage sur des sols agricoles

A défaut d'un cadre normatif et d'une réglementation adaptée, la législation spécifique aux boues de STEP est appliquée en cas d'épandage (arrêté du 8 janvier 1998*) malgré une grande différence de caractéristiques (forte teneur en MO et en éléments nutritif) entre les sédiments et les boues. Les volumes valorisables de sédiments sont de ce fait limités.

- *L'arrêté du 30 mai 2008 (fixant les prescriptions générales applicables aux opérations d'entretien de cours d'eau ou canaux soumis à autorisation ou à déclaration en application des articles L. 214-1 à L. 214-6 du code de l'environnement et relevant de la rubrique 3.2.1.0 de la nomenclature annexée au tableau de l'article R. 214-1 du code de l'environnement) considère que la réglementation relative à l'épandage de boues de station d'épuration s'applique aux sédiments.
- Le texte de référence est donc l'arrêté du 08/01/98 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 08/12/97 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.
- Cet arrêté fixe notamment les analyses physico-chimiques à fournir, les valeurs seuils à respecter pour des contaminants (généralement exprimés sous forme de flux sur 10 ans), les distances d'isolement à garantir,... L'ensemble de ces dispositions doit permettre de garantir l'innocuité vis-à-vis de l'environnement et de la population humaine.

Normes

Aucune norme ne s'applique directement à l'épandage de déblais de dragage sur des surfaces agricoles et aucune n'est adaptable aux sédiments :

- la norme NF U44-001 relative aux amendements minéraux carbonatés s'applique exclusivement à des dépôts sédimentaires marins ;

- la norme NF U44-051 relative aux amendements organiques n'intègre pas les sédiments de dragage parmi la liste des matières autorisées. De plus, les teneurs minimales requises autour de 15-20 % ne sont généralement pas atteintes par des déblais de dragage ;
- la norme NF U42-001 relative aux engrais minéraux considère des matières comme engrais si et seulement si les concentrations en N, P₂O₅ et K₂O dépassent 3 % de matière brute ou bien si la somme des concentrations est supérieure ou égale à 7 % massique. Les sédiments ne parviennent jamais à de tels niveaux de concentrations en nutriments.

5.5.3 Analyses complémentaires

Au regard des caractéristiques des sols, des analyses systématiques devront être mis en œuvre afin de vérifier l'aptitude technique des sédiments de dragage. Ces caractérisations complémentaires sont :

- le pH (Un pH légèrement acide (6,75) est souhaitable pour la culture. Généralement alcalin, le pH des sédiments marins peut être diminué par ajout de compost ou de sulfate d'alumine.) ;
- la minéralogie par diffraction des rayons X sur poudre et sur lame orientée (semi-quantification des minéraux argileux) ;
- la teneur en carbone organique total ;
- la teneur en carbonates ;
- les concentrations en azote sous forme nitrate et en azote ammoniacal ;
- les teneurs en potassium et phosphore assimilables ;
- la conductivité ;
- la capacité d'échange cationique (Ex : Na₂O échangeable).

Caractéristiques des sédiments attendus

Les sédiments de dragage présentent des caractéristiques très variables mais souvent voisines de celles observées pour des sols classiques en France (pH, texture, teneur en carbonates, matière organique et azote total) (Fourvel, 2019). Dans le cas de sédiments marins, la présence de chlorures ou l'alcalinité peut néanmoins constituer un problème de biocompatibilité si les matériaux ne subissent pas de pré-traitement spécifiques. Les transformations que subissent les sédiments peuvent en effet se dérouler sur plusieurs siècles dans la nature avant de construire un sol fonctionnel (« ripening » ou maturation). Pour une valorisation des sédiments de dragage en sol, le temps et les opérations de traitements (ressuyage, dessalination, apport de matière organique, abaissement du pH) sont de ce fait des paramètres déterminants à prendre en compte.

Le paramètre salinité

Une salinité compatible pour la germination et la croissance des plantes a été identifiée à 2 mS/cm par Kotuby-Amacher et al., 2000. Afin d'optimiser la phase de dessalement il est préconisé de disposer les sédiments dans une chambre de dépôt à ciel ouvert en couche de 20 à 50 mm. Un

dispositif d'irrigation peut être envisagé en fonction du niveau de précipitation. Ainsi, un temps de 2 à 3 mois ou de plusieurs années (2 à 3 ans en Rance) peut être nécessaires en fonction des conditions de dépôt des sédiments, de leur granulométrie et du niveau de précipitation (Sheehann et al. 2010).

La mesure Na_2O échangeable est un paramètre indispensable à analyser pour valider la compatibilité agronomique du sol en fonction des cultures envisagées.

Focus sur l'Allemagne

En Allemagne, l'IAA de Rostock traite annuellement sur le site de Radelsee, 200 000 m³ de sédiments (portuaires) essentiellement rendus à un usage agricole (amendement et restructuration de sols) après ressuyage et maturation. Il mobilise 110 ha et dure deux ans. Le coût affiché pour ce traitement est de **9 € par m³**. Ce procédé simple mérite d'être exposé dans ce travail car il serait duplicable sur des plus petites unités si le procédé était admis en France.

Concernant les sédiments portuaires, l'IAA de Rostock illustre bien la problématique agricole car son objet est justement de pouvoir restituer aux cultures des sédiments, en les transformant pour qu'ils deviennent adaptés à un réemploi, en respectant les normes émises par la LABO (groupe interländer « protection des sols ») et la réglementation sols en matière agricole.

A l'issue du processus, ils bénéficient d'un certificat les qualifiant, selon leurs qualités, pour :

- un usage paysager,
- l'agriculture,
- la remise en état, la restructuration de sols.

La première étape consiste à qualifier le sédiment extrait. La teneur en matière organique suffisante doit pouvoir justifier un usage agricole ou, au contraire, une réintroduction du sédiment dans le milieu aquatique. Une teneur en polluants trop élevée impliquera quant à elle une mise en dépôt.

Le processus commence par la séparation de la partie sableuse de la fraction riche en éléments organiques. Cette fraction, asséchée dans des bassins où elle prend l'aspect d'une surface crevassée, est ensuite disposée en andains dans un espace extérieur dédié à la maturation. Les andains sont retournés pour aération.

Les qualités requises pour un usage agricole sont :

- une teneur en substances organiques de 8 %,
- un pH de 7,2,
- des qualités mécaniques déterminées (argile jusqu'à 24 % et limons jusqu'à 45 %),
- des qualités de rétention de l'eau (mélange argile, limons et composés organiques),
- une forte capacité d'échanges cationiques (16 mval pour 100 g),
- des apports en micro et macronutriments.

En ce qui concerne les polluants, des seuils de prudence selon les types de sols ont été définis.

5.5.4 Acteurs du territoire

Présentation de l'entreprise Terra Innova

- Ingénieur BTP de formation et suite à 10 ans d'expérience dans des postes opérationnels orientés « terrain » dans les travaux publics, Nathaniel Beaumal a créé l'entreprise Terra Innova (TI) en février 2018.
- La gestion des terres excavées de chantiers est à l'origine de l'initiative de la création de TI. Ces déchets, très coûteux et compliqués à éliminer (450M€/an en France), représentent environ 160 Mt/an en déblais. TI propose ainsi des solutions de **valorisation de ces matériaux vers l'agriculture durable**.
- L'alternative au stockage des terres excavées (ISDI) est la création de remblais agricole. Cette valorisation, peu encadrée juridiquement, représente 30 à 40 % des volumes de terres excavées en Loire Atlantique.
- **Nature des matériaux** : limons, argiles et autres matériaux de décaissement
- Le partenariat et la collaboration avec l'agriculteur et ingénieur agronome spécialisée en pédologie et édaphologie Pierre Anfray, a permis à l'entreprise d'effectuer un premier chantier de construction d'un sol destiné à l'agriculture durable (5 à 10 cm de terre végétale et 60 à 80 cm d'horizons pédologiques, constitution de haies). Des outils de suivi et d'évaluation des paramètres écologiques et géologique (pH, granulométrie, échange cationique,...) sont également assurés par l'entreprise.
- **Réseau** : par son approche intégrée, TI s'est entouré d'un réseau pluridisciplinaire dans :
 - **le BTP** : entreprises de travaux Publics ayant en charge la gestion de déblais, l'évacuation de terres de chantier, aménageurs, maîtres d'œuvre, bureaux d'études ;
 - **l'environnement** : professionnels du génie écologique, acteurs de la gestion de l'eau, chercheurs ;
 - **l'agriculture** : agriculteurs souhaitant se tourner vers l'agroécologie, ou simplement cherchant à améliorer leurs sols, agronomes, chercheurs, réseau de professionnels (coopératives, bureaux d'études).
- **Méthodologie**

La mise en place d'un projet avec TI se réalise sur la base de guides (ex : BRGM), des normes relatives aux supports de plantation et du pack ISDI.

- **R&D**

Des recherches sont mises en œuvre pour améliorer les pratiques de TI (ex : partenaire universitaire avec le professeur Thierry Lebeau de l'Université de Nantes). Un programme de recherche doit être engagé en 2020 concernant la problématique du traitement des terres sulfatées.

- **Déroulement d'un projet avec TI**

1. Étude de faisabilité / Etat des lieux
2. Étude opérationnelle
3. Montage d'un dossier de gestion des déchets (facturation au mètre cube)

TI est à la recherche de nouvelles techniques de traitement et de nouveaux matériaux à valoriser et s'intéresse de près à la valorisation des sédiments de dragage. De ce fait TI est disposé à participer au programme d'étude Cerema/GPMNSN sur la valorisation des sédiments de dragage pour la filière sol à différents niveaux en fonction du besoin. Dans un premier temps TI se propose d'apporter un service sur le plan technique et expérimental (mise en place d'essais en laboratoire et in situ). Il restera à discuter des questions de financement (facturation, aide ADEME, fonds propres, ...). TI est également disposé à partager son réseau local pour la mise en place de projets d'expérimentations dans un deuxième temps.

5.6 Filière béton/ciment

5.6.1 Réglementation

L'arrêté ministériel du 27 juin 2003 rend obligatoire en France le respect des normes suivantes, qui spécifient les caractéristiques des granulats et fillers élaborés à partir de matériaux naturels, artificiels ou recyclés :

- NF EN 12620 (granulats pour bétons hydrauliques)
- NF EN 13055-1 (granulats légers pour bétons, mortiers et coulis)
- NF EN 13139+A1 (granulats pour mortiers)

En complément des normes européennes granulats, la norme NF P 18-545 définit notamment des caractéristiques complémentaires jugées indispensables en France.

La conformité du béton de structure en tant que matériau est régie par la norme NF EN 206-1. Cette norme définit également une addition comme un matériau minéral finement divisé utilisé dans le béton afin d'améliorer certaines propriétés ou lui conférer certaines propriétés particulières. Les additions de type I (additions quasiment inertes) comprennent les additions calcaires (NF P 18-508) et siliceuses (NF P 18-509).

On notera qu'actuellement, aucune réglementation n'encadre la validation du caractère inerte de bétons ou autres matériaux hydrauliques incorporant des déchets. Dans l'objectif de vérifier l'impact environnemental des sédiments ou des matériaux de construction composés de sédiments, une méthodologie a été proposée par INSAVALOR et le CSTB, à destination de l'ADEME et de la DHUP (Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages). La méthodologie, divisée en plusieurs étapes, est basée sur l'évaluation de la composition ou de l'écotoxicité du sédiment, sur la réalisation d'essais de lixiviation ou de percolation sur le sédiment et, éventuellement, sur l'étude des substances susceptibles d'être émises au cours de la vie du matériau de construction.

Dans le cadre de la démarche SEDIMATERIAUX, un guide méthodologique a été rédigé, exposant la réglementation en vigueur et les modalités selon lesquelles les sédiments de dragage peuvent être valorisés dans la fabrication de béton. Ce guide est issu des travaux réalisés par l'Ecole des Mines de Douai sur le sujet.

5.6.2 Analyses complémentaires

Au regard des caractéristiques des produits attendus par la filière béton et ciment, des analyses systématiques devront être mis en œuvre afin de vérifier l'aptitude technique des sédiments de dragage. Ces caractérisations complémentaires sont :

- Teneur en matière organique
- Teneur en eau
- Courbe granulométrique
- Coefficient d'absorption d'eau / Porosité
- Valeur au bleu de méthylène
- Teneur en fines
- Teneurs en sulfates et soufre total
- Teneur en alcalins
- Résistance aux chocs et à l'usure

Dans le cadre d'une utilisation des sédiments du GPMNSN en « terrassement » il faudrait réaliser les essais suivants en relation avec les normes ci-dessous :

- NF P11-300 Septembre 1992 : Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières
- NF P94-051 Mars 1993 - Sols : reconnaissance et essais - Détermination des limites d'Atterberg - Limite de liquidité à la coupelle - Limite de plasticité au rouleau
- NF P94-068 Octobre 1998 – Sols (norme annulée le 20/07/18, rédaction de la nouvelle norme en cours) : reconnaissance et essais - Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux - Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tâche.
- NF P94-093 Octobre 2014 – Sols : reconnaissance et essais - Détermination des références de compactage d'un matériau - Essai Proctor Normal - Essai Proctor modifié
- NF P94-078 Mai 1997 – Sols : reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion. Indice CBR immédiat. Indice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR.

Dans le cadre d'une utilisation des sédiments en « chaussée » avec une focalisation sur les fillers, il faudrait réaliser les essais suivants en relation avec les normes ci-dessous :

- NF EN 933- 9, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats -Partie 9 : Qualification des fines -Essai au bleu de méthylène
- NF EN 933- 10, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 10 : Détermination des fines – Granularité des fillers (tamisage dans un jet d’air)
- NF EN 1097- 4, Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 4 : Détermination de la porosité du filler sec compacté
- NF EN 1097- 7, Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 7 : Détermination de la masse volumique absolue du filler – Méthode au pycnomètre
- NF EN 13179- 1, Essais sur les fillers utilisés dans les mélanges bitumineux – Partie 1 : Essai bille-anneau

5.6.3 Acteurs du territoire

Présentation de l’entreprise EQIOM

- EQIOM est une filiale du groupe irlandais CRH spécialiste des matériaux de construction (production de ciments, de granulats, de bétons prêts à l’emploi et valorisation de déchets. EQIOM possède un centre de broyage à Montoir-de-Bretagne pour la fabrication de ciment.
- EQIOM s’intéresse fortement à la valorisation des sédiments de dragage, depuis 7 à 8 ans, en intégrant la chaire industrielle de recherche ECOSED en collaboration avec l’IMT Lille Douai (avec l’entreprise COLAS). EQIOM préside aujourd’hui ECOSED.
- Axes de valorisations
 - **Valorisation des sédiments fluviaux en bétons prêts à l’emploi** en partenariat avec VNF (ex : poutres de couronnement pour la protection de berges du projet Alluvio)

Cette voie de valorisation est techniquement la plus mûre et concerne les bétons exclus des normes de construction (ex : voirie). Les enjeux sont à ce jour plus normatifs que techniques.
 - **Valorisation en ciment en substitution des matériaux calcaires** : stade très expérimental. Le projet **SEDICIM** sur quatre ans vise une valorisation des sédiments fluviaux et marins non dangereux et non inertes pour la fabrication de liants hydrauliques et le développement d’une nouvelle filière industrielle dans une démarche SEDIMATERIAUX.

Modèle économique

La réussite d’un projet de réutilisation des sédiments est conditionnée par son modèle économique. Cela nécessite un portage fort et une logistique en voie très courte (ex : VNF).

Perspectives

La problématique de l'assurabilité des matériaux pour la construction reste un frein au développement de la filière. Techniquement, en particulier pour la filière ciment, la R&D doit encore se poursuivre pour définir des formulations adaptées, notamment dans le cas de présence de chlorures.

Visant une labellisation Croissance Verte, EQIOM serait disposée à accompagner d'autres initiatives et projets concernant la valorisation des sédiments dans les filières béton et ciment. Dans ce cadre, EQIOM pourrait proposer ses compétences (tests de formulation, réalisation d'expérimentations, analyses technico-économiques...) sous la forme de prestations ou d'un partenariat dont les modalités resteraient à définir.

5.7 Filière brique

5.7.1 Cartographie des projets de valorisation

Projets de valorisation des sédiments de dragage en terre cuite

GPMH «SEDIBRIC» (Fr.)
Bourdin, 2018

- » Projet réalisé dans le cadre de l'AMI CPIER Vallée de Seine et financé par l'ADEME, la région Normandie et les partenaires du projets
- » Projet labellisé NOVALOG
- » Partenaires GPMH, CRIT TL, MINES PARIS TECH, CTMNC, ABTE UNIV NORMANDIE CAEN, UMR UNIV NORMANDIE LE HAVRE,
- » Contributeurs : GPMR, INDUSTRIELS DE LA TERRE CUITE
- » Finalité : Définir les possibilités techniques et socio-économiques d'utilisation de sédiments de dragage provenant des ports du Havre et de Rouen par la filière des tuiles et briques sur l'axe Seine via la mise en place d'un pilote pré-industriel s'appuyant sur des produits en terre cuite fabriqués à une échelle réduite dans des fours dédiés
- » Durée 2 ans à compter d'avril 2018
- » Budget 1 M€



Santander et Suances (Esp.)
Romero et al., 2008

- » Contaminations : Métaux lourds, composés organiques toxiques
- » Conclu : Sédi. marins valorisables en briques

Ria d'Aveira (Por.)
Torres et al., 2009

- » Taux de substitution : 5-10 % wt
- » Granulométrie : dia. moy.=86 µm
- » Conclu : Sédi. marins valorisables en briques et carrelages

Ports de Tanger et Larache (Maroc)
Frar et al., 2014

- » Volume dragué au Maroc : 3,4 Mm³/an
- » Absence de métaux lourds, Taux Hydrocarbures élevés
- » Granulométrie :
 - Fines (< 63 µm) : 41 % (Tanger) / 94 % (Larache)
 - Limons/ sables (> 63 µm) : 59 % (Tanger) / 6 % (Larache)
- » Taux de substitution : > 40 % wt (Larache)
- » Conclu : Briques sédiments équivalentes aux briques classiques

Sédiments marins glaciogènes (Groeland)
Belmonte, 2015

- » Volume : 120 000 m³/an
- » Contaminations : Métaux lourds, composés organiques toxiques
- » Granulométrie (wt%):
 - 25 à 60 % fines (<2 µm)
 - 35 à 70 % limon (2-60 µm)
 - 0 à 15 % sables (60 à 2000 µm)
- » Taux de substitution : 60-100 %

Haurine, 2015

- » Potentiel de valorisation des sédiments dans l'industrie des matériaux de construction en terre cuite

GPMH (Fr.)
Lafhaj et al., 2007

- » Contaminations : Métaux lourds, composés organiques toxiques
- » Étude du Procédé Novosol®
- » Conclu : Sédi. marins valorisables en briques

Lille et La Marque (canaux) (Fr.)
Lafhaj et al., 2008

- » Validation du procédé Novosol® pour les sédiments pollués (Stabilisation des métaux lourds par phosphatation et calcination)
- » Volume : 3 Mm³/an
- » Contaminations : Métaux lourds, composés organiques toxiques
- » Taux de substitution : 35 %

Charleroi - Dampremy (canaux) (Be.)
Samara et al., 2009

- » Pilote échelle 1 procédé Novosol®
- » Production : 15 000 briques creuses
- » Contaminations : Métaux lourds, composés organiques toxiques
- » Taux de substitution : 15 % wt

Fgaier et al., 2013

- » Étude de faisabilité - Projet SEDINOV - maison de 20 m²
- » Phénomène NIMBY observé

Lagune de Morano (It.)
Baruzzo et al., 2006

- » Dégrillage à 200 µm après calcination (850°C)
- » Contaminations stabilisées par le process
- » Taux de substitution : 100 %
- » Briques de qualité satisfaisantes

Cappuyns et al., 2015

- » Approche sociale et économique pour la valorisation des sédiments de dragage et la production de briques.

Savannah Harbor (USA)
Mezencevova et al., 2012

- » Volume : 5.9 Mm³/an
- » Contaminations : Métaux lourds, composés organiques toxiques
- » Granulométrie (séparation et mélange):
 - 80 % fines/limons
 - 20 % sables
- » Taux de substitution : 50 %
- » Conclu : Sédi. valorisables en briques (norme ASTM)

Port de Hamburg (All.)
Detzner et al., 1998

- » Volume : 2 Mm³/an
- » Contaminations : Métaux lourds et As (stabilisés par le process)
- » Pilote industrielle (30 000 l/3-4 ans de sédiments fins)

Port de Brême (All.)
Hamer and Karius, 2002

- » Volume : 0.6 Mm³/an
- » Contaminations : Métaux lourds et As (stabilisés par le process)
- » Pilote échelle 1
- » Brême : 200 t sédiments secs - 50 % mélangés avec argiles et résidus briques

Port de Bethioua (Alg.)
Benyerou, 2017

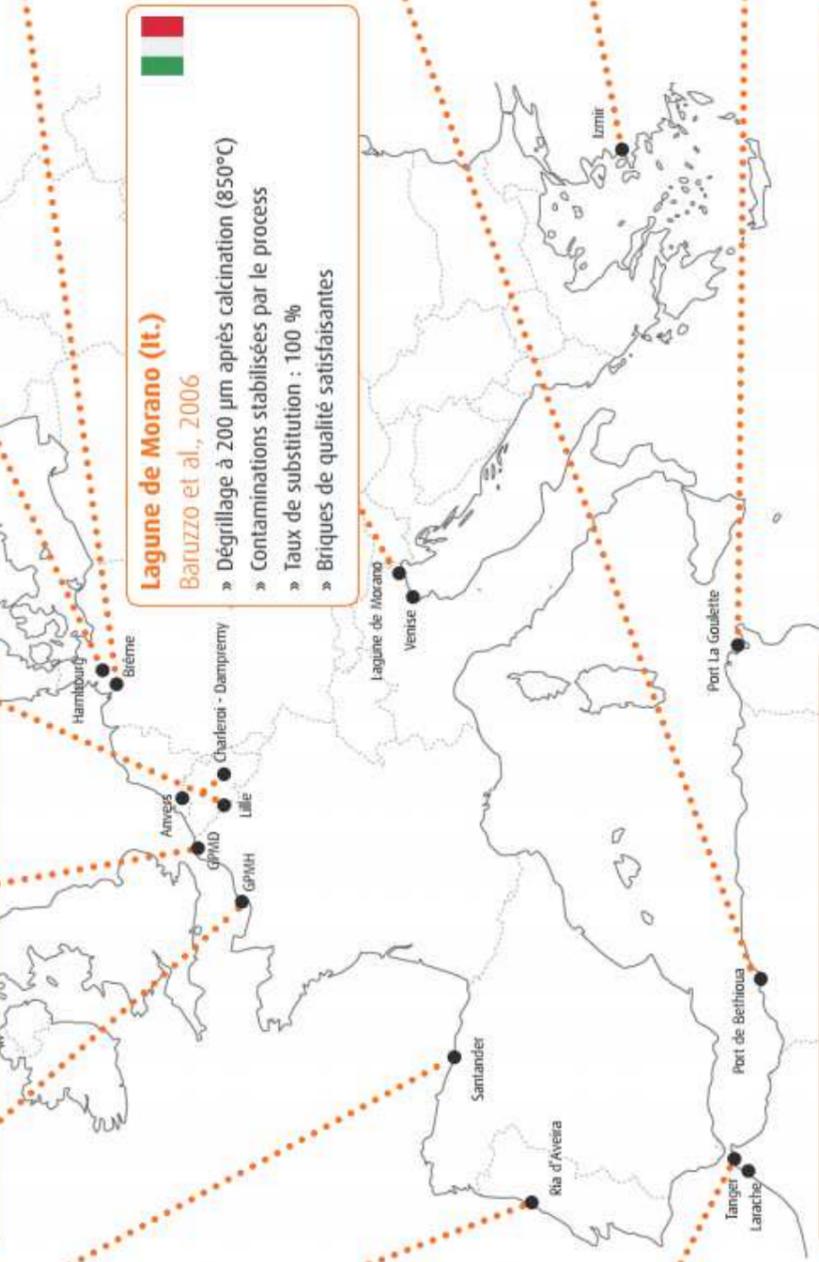
- » Volume dragué : 3,5 Mm³/an
- » Taux Hydrocarbures élevés
- » Granulométrie : (d₁₀=3 µm, d₉₀=270 µm)
 - Fines : 8 % / Limons : 42 % / Sables : 50 %
- » Taux de substitution : 5 à 15 %
- » Évaluation technico-économique intéressante

Baie d'Izmir (Turquie)
Göl, 2006

- » Taux de substitution : 20 à 50 % valides pour les tuiles

Port de la Goulette (Tunisie)
Hassiss et al., 2008

- » Volume : 120 000 m³/an
- » Contaminations : Métaux lourds, composés organiques toxiques
- » Granulométrie :
 - 27 % fines / 63 % limon / 10 % sables
- » Taux de substitution : 30 - 40 %



5.7.2 Réglementation

Il n'existe aucune norme relative aux matières premières entrant dans le processus de fabrication des briques et tuiles en terre cuite.

Il existe cependant un cadre normatif pour l'utilisation des briques en terre cuite pour la maçonnerie (NF EN 771-1+A1/CN). La norme impose des critères pour les dimensions, les performances mécaniques, et la résistance au phénomène de gel-dégel.

Les contraintes réglementaires résident essentiellement dans le non dépassement des limites d'émissions de polluants par les sites industriels.

5.7.3 Analyses complémentaires

Au regard des caractéristiques des produits attendus par la filière terre cuite ((briques, tuiles), des analyses systématiques devront être mis en œuvre afin de vérifier l'aptitude technique des sédiments de dragage. Ces caractérisations complémentaires sont :

- Analyses de la composition chimique par diffractométrie de rayons X (DRX) sur poudre et en lame orientée (identification des minéraux argileux)
- Analyses chimiques élémentaires contenant en particulier les oxydes nécessaires à la construction du diagramme d'Augustinik (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , MnO , Na_2O , K_2O) permettant d'identifier le potentiel du mélange pour la fabrication de produits en terre cuite.
- Teneur en matière organique
- Teneur en eau
- Limites d'Atterberg (détermine les teneurs en eau situées à la frontière entre les différents états du matériau (solide, plastique et liquide).
- Courbe granulométrique

Caractéristiques des sédiments attendus

- Granulométrie se situant dans les fuseaux adaptés (répartition entre fraction argileuse, limoneuse 2-20 μm et sableuse).
- Teneur en phyllosilicates élevée (> 25 % massique) avec idéalement une forte proportion de minéraux argileux illite et kaolinite.
- Teneur en calcite nulle ou très faible (< 10 % massique).
- Proportion adéquate en minéraux silicatés dégraissants (principalement quartz et feldspaths alcalins). La somme de ces constituants minéraux dans un mélange pour la confection de produits en terre cuite peut atteindre 40 à 50 % massique.
- Rapport entre oxydes dans des gammes appropriées fournies par le diagramme d'Augustinik (notamment rapport Al_2O_3/SiO_2 optimum lorsque compris entre 0,2 et 0,3).
- Teneur en matière organique la plus faible possible (idéalement < 3 % massique).

5.7.4 Acteurs du territoire

Échange avec Jérôme GAUTRON, Directeur du développement de Bouyer Leroux Terre Cuite

Activité R&D Bouyer Leroux

- La R&D de Bouyer Leroux est principalement axée sur la recherche et l'optimisation de la qualité des argiles (1/3 de l'activité de l'entreprise concerne l'homogénéisation des matériaux extraits.). Par ailleurs, la société ne dispose pas de suffisamment de ressources humaines et techniques pour l'innovation en matière de conception de briques à partir de matériaux alternatifs.
- La R&D dans la filière terre cuite s'organise principalement au Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction (CTMNC) (participation au projet SEDIBRIC avec le GPMH).
- L'utilisation de nouveaux matériaux de construction doit être validée par des essais industriels (quelques dizaines de tonnes). Cette étape étant très lourde à mettre en œuvre sur le plan industriel, il est compliqué pour l'entreprise d'entrer dans cette phase.
- Une des difficultés techniques principales réside dans la résistance de la terre cuite. Les briques de Bouyer Leroux présentent un haut niveau de technicité avec des parois de 5 mm. De ce fait, la qualité de la matière première doit être irréprochable.

Modèle économique

- Le modèle économique de la filière repose sur un coût de matière première faible (4 €/m³) et un lieu de fabrication proche des gisements. Une proximité de moins de 5 km doit exister entre la carrière et l'usine de fabrication (frein économique lié au transport (car 20 % d'eau dans les argiles)).
- Le marché français représente un volume de brique de 1 500 000 Mt/an
- Une usine moyenne coûte 40 à 50 M€ et produit 150 à 200 000 t/an de briques.
- Bouyer Leroux produit 600 000 à 800 000 t/an dans ses usines du 49 et du 85. Le 44 ne représente que 15 000 t/an pour la fabrication de produits spéciaux nécessitant des argiles spécifiques (produits en terre cuite de 3 mètres de long).
- Bouyer Leroux exporte ses briques sur une importante partie du territoire français (de Bordeaux à Reims)
- Le concurrent principal de Bouyer Leroux est le géant mondial Wienerberger. La partie artisanale (TPE) est faiblement représentée (quelques centaines de tonnes par an)

Les tuiles

- Quatre entreprises se partagent le marché en France :
 1. Edilians (leader français)
 2. Terreal (participation au projet SEDIBRIC) – possède une usine à Roumazères (16) et approvisionne l'essentiel de l'ouest français)
 3. Groupe Monnier (leader mondial de la tuile béton / faible part en terre cuite)
 4. Wienerberger
- Quelques milliers de tonnes de tuiles sont produites par des petites tuileries artisanales (ex : tuilerie Lambert en Charente)
- Bouyer Leroux possède une faible part du marché de la tuile avec un volume total produit d'environ 10 000 t/an
- La tuile en terre cuite est un produit plus technique que la brique en raison de sa géométrie et de l'importance de sa couleur. Ce qui est réalisable pour une brique ne le sera donc pas nécessairement pour une tuile.
- La filière tuile ne présenterait *a priori* que peu d'opportunités pour la valorisation de matériaux alternatifs en raison de la technicité du produit et de la situation « surcapitaire » du marché..

Contexte de la filière terre crue

- Plusieurs freins au développement de la filière pour les entreprises :
 - aucune réglementation et normes pour la terre crue ;
 - méthodes de construction empiriques et de savoir-faire artisanaux complexes ;
 - variabilité dans la composition des terres crues (teneur en eau, minéralogie,...) ;
 - difficultés logistiques liées au poids des matériaux (la terre crue est trois fois plus lourde que la terre cuite) ;
 - la nature humide du matériau ne permet pas de garantir les ouvrages dans le temps (rétractation, dessiccation,...).

6 Conclusion et enjeux pour le GPMNSN

L'étude et le développement de filières de valorisation des sédiments de dragage du GPMNSN constituent un enjeu pour le GPMNSN et son territoire sur les plans économique, législatif et environnemental.

- **Enjeux économiques :** Bien que les options de valorisation à terre des sédiments de dragage soient plus onéreuses que l'immersion, l'expérience acquise par quelques ports français montre qu'un équilibre économique viable peut être trouvé dans l'élaboration d'une stratégie de valorisation à terre.

D'une part, des économies directes peuvent être attendues par :

- la **réduction des volumes d'immersion** et l'optimisation des opérations de dragage ;
- la possibilité de stocker temporairement les sédiments dans un **site de transit** sous certaines conditions, **évitant ainsi d'entrer dans des dispositifs longs et coûteux** tel que celui du champ des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), et la mise en installation de stockage de déchets (ISD) comprenant le transport et la Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP).

D'autre part, intégrer la valorisation des matériaux de dragage dans **une logique d'économie circulaire locale peut être compétitif** vis-à-vis de l'utilisation de matériaux habituellement utilisés lors des projets d'aménagement. Le surcoût immédiat lié à la valorisation à terre des sédiments (plateforme de transit, traitement, etc.) pouvant être compensé par la réduction des coûts liés au transport et ceux d'une mise en ISD dans le cas de sédiments non immergeables.

Des bénéfices directs peuvent également être envisagés. Par exemple, en fonction des filières et du marché local, une commercialisation des matériaux dragués pourrait représenter une **source de revenu pour le Port**. Egalement, si le GPMNSN était équipé d'un site de traitement à terre, les gestionnaires de dragages de proximité (collectivité, ports de plaisance et de pêche, etc.) pourraient bénéficier de ce site en louant ce service et ainsi faire l'objet d'une éventuelle source de revenu pour le port.

Même si aujourd'hui aucune filière de valorisation à terre des sédiments non immergeables n'est encore opérationnelle à grande échelle pour assurer une production industrielle, de nouveaux modèles économiques restent à construire pour optimiser leur rentabilité. Toutefois, la **demande croissante en matériaux « durables »** et la volonté commune des aménageurs et filières professionnelles à **réduire leurs impacts environnementaux**, constituent un terreau favorable à leurs émergences.

- **Enjeux législatifs :** Même s'il n'existe pas au sens strict de seuils d'interdiction à l'immersion en mer, les seuils N1 et N2 étant des seuils de vigilance, la **loi pour l'économie bleue** réfléchit à des **seuils d'interdiction à l'horizon 2025** (seuils N3 à venir) et préconise le développement de filières de valorisation à terre des sédiments. Conformément à l'article 14 de la Convention de Londres fixant des objectifs de recherche scientifique et technologique pour prévenir, réduire, éliminer la pollution due à l'immersion, la directive cadre sur l'eau (DCE) impose aux états membres de maintenir ou recouvrer un bon état des milieux aquatiques d'ici 2021. Ainsi, l'orientation 10 B du SDAGE, recommande la **recherche et la mises en œuvre de solutions de réutilisation, recyclage, valorisation ou élimination des déblais de dragage à terre dans le respect**

des réglementations applicables au titre du code de l'environnement (ICPE et/ou IOTA et/ou loi « déchet »). Il est également important de souligner que la Directive Cadre « Stratégie pour le Milieu Marin » (DCSMM) s'articulent avec la DCE pour atteindre ces objectifs à court terme, notamment dans l'élaboration d'un programme d'action pour le milieu marin (PAMM) qui prévoit dans ses objectifs la **promotion des méthodes de dragages les moins impactantes** pour l'environnement et l'évaluation des effets cumulés des différents dragages sur le milieu marin.

Par ailleurs, la **loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV)** de 2015, a marqué une avancée importante dans la prévention ou la gestion des déchets et comporte des dispositions ambitieuses favorisant l'économie circulaire et la réduction de la consommation des ressources. Plus récemment, la **loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire** adoptée le 10 février 2020 renforce encore les obligations liées au réemploi, notamment dans le secteur du bâtiment. Comme tous les acteurs économiques, **les grands ports maritimes devront prendre en compte les objectifs de ces lois** et auront à repenser leurs pratiques actuelles notamment en matière de gestion des sédiments de dragage.

Dans ce contexte, à l'instar du GPMH qui est d'ores et déjà soumis à une obligation de recherche et d'expérimentation de valorisation à terre des matériaux dragués, le GPMNSN pourrait s'attendre à prendre les mêmes engagements lors de son renouvellement d'autorisation de dragage et d'immersion en 2023. Aussi, **anticiper l'évolution de la législation** et se préparer au plus tôt à des changements de pratiques inéluctables permettrait au GPMNSN d'**éviter les dépenses futures** qui pourraient lui être imposées afin de stocker ses sédiments en ISD tout en investissant massivement dans des recherches de solutions de valorisation à terre de ses déchets. Par ailleurs, des subventions seront probablement envisageables afin d'accompagner cet effort.

- **Enjeux Environnementaux :** En minimisant ses impacts sur le milieu aquatique et en participant à l'approvisionnement local en matériaux, le GPMNSN deviendrait un acteur économique local important et intégré durablement à son territoire à travers ses pratiques. Ce faisant, le GPMNSN bénéficierait d'une image volontaire et responsable vis-à-vis des services de l'État et usagers de l'estuaire (pêcheurs, aquaculteurs, touristes, plaisanciers, Associations de Protection de la Nature et de l'Environnement (APNE), habitants, etc.) et **limiterait les risques de conflits** liés à des pratiques de dragage souvent jugées préjudiciables pour le milieu.

Du fait de ces enjeux, développer les filières de valorisation des matériaux dragués présente un intérêt certain pour **répondre aux priorités économiques et environnementales** du GPMNSN et du territoire. En s'engageant dans cette démarche de recherche d'alternatives au clapage des sédiments, le GPMNSN renforcera son ambition de devenir un port de référence de la transition énergétique et écologique tout en assurant durablement son développement et son intégration à l'écosystème ligérien.

Stratégiquement, le GPMNSN tirerait un maximum d'avantages, pour un investissement relativement faible, à amorcer dès maintenant les efforts de recherche nécessaires à mettre en œuvre pour l'identification d'exutoires possibles des matériaux dragués en prenant en compte les caractéristiques de ses sédiments, le tissu économique local et le dimensionnement des filières en fonction du gisement.

Appuyé par les acteurs économiques locaux, donneurs d'ordres, prescripteurs, architectes, assureurs, scientifiques, etc., mais également en s'appuyant sur la **démarche d'écologie industrielle et territoriale** sur la zone industrialo-portuaire, le GPMNSN bénéficierait de la dynamique locale ainsi que des accompagnements existants proposés par l'Ademe et les EPCI pour initier et développer de nouvelles synergies et des **modèles d'affaires innovants**.

Egalement, afin de garantir la réussite d'un projet de valorisation des sédiments de dragage à terre, de nombreux leviers pourraient être actionnés :

- le **développement de la planification en matière d'économie circulaire en lien avec les collectivités** (Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets (PRPGD) qui fixe un état des lieux, évalue les perspectives et assure la promotion du recyclage, et le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité du Territoire (SRADDET) qui définit notamment les orientations stratégiques en matière d'aménagement durable du territoire et de gestion des déchets).
- Le **développement d'une planification de l'espace maritime** (PEM) via le Document Stratégique de Façade (DSF) qui permet notamment le déploiement d'expérimentations locales dans le cadre de sa mise en œuvre.

En conclusion, suite à ce premier travail réalisé en 2019, il apparaît nécessaire de **poursuivre vers une phase expérimentale afin de confirmer la possibilité de développer une filière opérationnelle et rentable à court ou moyen terme sur le territoire**. Par ailleurs, du fait du contexte général lié au développement de l'économie circulaire et à la préservation de l'environnement, de **nombreux financements sont mobilisables** (ADEME, Région, etc.). Ceci minimiserait très sensiblement les coûts supportés directement par le GPMNSN et l'ensemble des parties prenantes gagnerait à poursuivre le présent travail vers une étude de faisabilité pour la valorisation des matériaux de dragage à terre.

7 Perspectives et proposition de travail pour 2021

L'analyse préalable des caractéristiques physico-chimiques et granulométriques des sédiments de dragage d'entretien du GPMNSN et du contexte territorial a permis de proposer l'approfondissement de plusieurs voies de valorisation à terre. En lien avec les ambitions du projet il s'agit de **trouver un débouché innovant dans une logique d'économie circulaire territoriale, avec un coût minimal et un délai de mise en œuvre raisonnable (sous 5 ans) :**

- **pour les fractions limono-vaseuses** (très majoritairement représentés dans les sédiments de dragage d'entretien du GPMNSN) ==> approfondissement de l'opportunité de développer des débouchés en aménagement paysager, en reconstitution et amélioration de sols et en matériau de construction (clinker pour ciment ou terre cuite) ;
- **pour les fractions sableuses** ==> approfondissement de l'opportunité de développer des débouchés de la filière béton et ciment, uniquement pour des usages faisant sens en matière d'économie circulaire sur le territoire :
 - réemploi des matériaux à l'échelle de la Zone Industriale-Portuaire (ZIP) : stabilisation de berges (blocs acropodes), confortement de quais, plateformes...
 - réemploi des matériaux pour des usages maritimes : création de récifs artificiels, lestage de câbles EMR , corps morts pour des ancrages de bateaux de plaisance...

A ce jour, au niveau de l'estuaire de la Loire, il n'existe pas de filière opérationnelle de valorisation à terre des sédiments de dragage traitant d'importants volumes.

Le coût actuel de l'immersion en mer pour les sédiments non pollués est de 20 M€/an sur environ 80 M€/an de CA pour le GPMNSN, pour un coût de clapage d'environ 2 à 3 €/m³ sur la base de 7 Mm³/an clapés.

Il s'agit essentiellement d'un coût fixe lié aux ressources humaines et à la location de la drague « Samuel de Champlain ». Une diminution des volumes dragués au bénéfice d'une valorisation à terre ne constituerait donc pas une économie, dans le contexte actuel, pour le GPMNSN.

Actuellement le GPMNSN achète le béton nécessaire à ses ouvrages à plus de 50 €/m³. Dans le cas de l'utilisation d'un béton «sédiment», le prix ne devra pas excéder ce tarif afin d'assurer la rentabilité économique de cette voie de valorisation. Cependant, les bétons «sédiment» étant non structurants, seulement certaines applications pourraient être envisageables (ex : blocs d'enrochement). La création de granulats à partir de sédiments pourrait également être envisagée comme matériau de construction.

Au regard de l'évolution du contexte réglementaire - évolution des seuils de contamination acceptables pour l'immersion des sédiments - et des ambitions du GPMNSN de devenir un port de référence en matière de transition écologique et énergétique avec une contribution forte aux démarches d'économies circulaires territoriales, la réflexion pour une valorisation à terre doit cependant être poursuivie :

- pour démontrer la faisabilité ou non d'une valorisation à terre des sédiments de dragage d'ici à 2023 en préparation de l'instruction de la nouvelle autorisation interpréfectorale de dragage et d'immersion en 2023/2024 ;

- car le coût d'une mise en ISD des sédiments non immergeables (80 à 300 euros/m³) est toujours plus onéreux qu'une opération de valorisation. L'économie réalisée est cependant variable en fonction du type de valorisation et des coûts associés ;
- car la valorisation des sédiments peut faire l'objet d'une source de revenus en fonction du modèle économique mis en œuvre. Les sédiments traités en vue d'une valorisation peuvent être mis à disposition gratuitement mais également vendus. Le contexte territorial et la qualité des sédiments étant des paramètres déterminants.

Perspectives de travail :

Ce programme de travail nécessite de lever la confidentialité liée à la réflexion du GPMNSN sur le sujet.

Mission 1 : Évaluer d'un point de vue technico-économique le coût global d'une valorisation à terre pour les filières « matériaux de construction » (bétons non structurants, ciment, granulats) et technosols (ex : éco-modelés paysagers) / Comparaison du coût actuellement supporté par le GPMNSN pour le clapage en mer vis-vis des coûts d'une valorisation à terre des sédiments.

- décomposer la chaîne de valeur et identifier les postes à prendre en compte pour caractériser le coût global d'une valorisation à terre pour chacune des 4 filières ; la phase expérimentale (caractérisations complémentaires, formulation laboratoire et expérimentation terrain) devra être intégrée à cette chaîne de valeur.
- caractériser les variations de coûts « produit fini », via des enquêtes auprès des opérateurs industriels (et PME) préidentifiés (Equiom, Néolith, Lafarge, Terra Innova, Hoffmann Green) et les données macroéconomiques disponibles afin de les comparer au coût actuel de l'immersion et au coût d'achat de béton pour les ouvrages portuaires à court et plus long terme ;
- Prise en compte de différents scénarios d'implantations de sites de dépôts vis-à-vis des zones de dragage et des lieux de valorisation.
- Identification du cadre réglementaire et chiffrage des dossiers et procédures réglementaires (loi sur l'eau, ...)

Les résultats du présent programme de travail devront permettre :

- de **démontrer l'intérêt économique** (pour le GPMN et le territoire) de développer telle ou telle filière et les **conditions nécessaires de rentabilité** (ex : nécessité de prise en charge de coût de réalisation de la plateforme de stockage et de traitement. ...) ;

- de **préparer la phase expérimentale débutant en 2021 pour la/les filières dont on aurait démontré l'intérêt économique (actuel ou futur) en mobilisant les partenaires clés (techniques et financiers).**

Mission2 optionnelle (2021-2022) : Assistance à la maîtrise d'ouvrage (AMO) - Coordonner et organiser la mise en œuvre des caractérisations complémentaires nécessaires afin de vérifier la compatibilité des sédiments de dragage du GPMNSN avec une valorisation à terre / AMO de la phase expérimentale

- AMO Caractérisation des sédiments (analyses réglementaire et complémentaires pour chaque filière :
 - Caractérisation du potentiel dangereux et inerte des sédiments en vue d'une gestion à terre.
 - Caractérisation des sédiments : analyses complémentaires spécifiques aux filières - polluants spécifiques et paramètres d'état (densité, salinité, indice plasticité, ...) en lien avec leur usage dans le cadre des 4 voies de valorisation.
- AMO Ingénierie financière et labellisation :
 - Assister le GPMNSN dans la recherche de partenariat et la recherche de financement (ADEME, Région, ...).
 - Assister le GPMNSN dans la rédaction des dossiers de financement.
 - Étudier les possibilités de labellisation des filières sédiments (labellisation « économie circulaire », « économie bleue », « pôle Mer Bretagne Atlantique »).
- AMO : Contribution et appui auprès des maîtres d'œuvre pour la mise en place des expérimentations :
 - Organisation et animation d'ateliers de travail avec les maîtres d'œuvre sélectionnés
 - Planifier et coordonner le projet d'expérimentation
 - AMO auprès des maîtres d'œuvre :
 - Phase Laboratoire : Étude de formulation et validation de la faisabilité mécanique et environnementale de l'usage visée en condition contrôlée
 - Phase terrain : conception et instrumentation d'un ouvrage terrain
 - Suivis mécanique et environnemental de l'ouvrage
 - Suivi de la qualité des eaux souterraines du site récepteur



Cerema Ouest

MAN – 9 rue René Viviani – BP 46223 NANTES Cedex 02

Tel : 02 40 12 83 01 – mel : DTerOuest@cerema.fr

www.cerema.fr