

« GESTION DES SÉDIMENTS
DE DRAGAGE EN FRANCE :
BILAN, PERSPECTIVES
ET RECOMMANDATIONS »



JUILLET 2022

« GESTION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE EN FRANCE : BILAN, PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS »

« GESTION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE EN FRANCE : BILAN, PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS »

Sous la direction de :
Dr. Mouhamadou Amar
Pr. Mahfoud Benzerzour
Pr. Nor-edine Abriak

Avec les contributions de :
Dr. Erwan Tessier
Ilaria Franzetti Tivolle



COPRODD ETC

JUILLET 2022

« GESTION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE EN FRANCE : BILAN, PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS »

Sous la direction de :

Dr. Mouhamadou Amar
Pr. Mahfoud Benzerzour
Pr. Nor-edine Abriak

Avec les contributions de :

Dr. Erwan Tessier
Ilaria Franzetti Tivolle



COPRODD ETC

JUILLET 2022

FICHE DE LECTURE

Cet ouvrage, réalisé dans le cadre du projet **SEDIREF - SEDI**ments : **RE**férentiel et **FOR**mations financé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, l'ADEME PACA et la Région SUD PACA, est le résultat d'un travail collaboratif :

L'**Institut Mines Télécom** (IMT), porteur du projet, a assuré la coordination de la rédaction :

Mouhamadou AMAR – Enseignant-Chercheur IMT Lille Nord Europe

Mahfoud BENZERZOUR – Professeur IMT Lille Nord Europe

Nor Edine ABRIAK – Professeur IMT Lille Nord Europe

Le **groupement d'entreprises E.T.C. (Erwan Tessier Consulting)** et **COPRODD (Ilaria Franzetti Tivolle)** a été missionné pour accompagner la réalisation du projet SEDIREF et notamment la rédaction des **chapitres 1, 2, 6, 7 et 8** du présent ouvrage.

Un Comité de Pilotage (CoPil) a été constitué pour réaliser une relecture de l'ouvrage et valider sa parution. Ce CoPil est composé par les représentants des financeurs du projet SEDIREF :

- **Pierre BOISSERY** : Expert eaux côtières et littoral méditerranéen - Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse
- **Bernard VIGNE** : Coordinateur du Pôle Economie circulaire & Déchets - ADEME – Direction Régionale Provence-Alpes-Côte d'Azur
- **Gilles GIORGETTI** : Direction de la Biodiversité et de la Mer - Service Mer et Littoral - Région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur

Précautions de lecture

Cet ouvrage reflète uniquement les préconisations techniques et réglementaires en vigueur au moment de sa rédaction.

Le lecteur est invité à s'informer des évolutions relatives aux données et au cadre réglementaire.

L'ouvrage ne peut être destiné à une fin commerciale.

Différents acteurs des domaines abordés ont été sollicités pour une relecture de l'ouvrage :

- M. AQUA Jean Luc - Chef Arrondissement Maritime - Direction de l'Équipement - Polynésie
- Mme BARAUD Fabienne - Maître de Conférences - Université de Caen Normandie
- M. BELAN Pierre-Yves - Direction Technique Eau, Mer et Fleuve - CEREMA
- M. BOISSERY PIERRE - Expert eaux côtières et littoral méditerranéen - AERMC
- M. BONAMY Gilles - PDG ECOSYNERGIE FRANCE SA
- M. DEBOFFE Christophe - PDG NEO-SPHERE SAS
- Mme DELPLANQUE Marion - Chargée de mission Sédiments - VNF Nord-Pas-de-Calais
- Mme DIDOT Anne - Direction Développement - EDF - Pôle Energies Renouvelables
- Mme DROIT Julie - Direction Technique Eau, Mer et Fleuve - CEREMA
- Mme FENEUIL Marie-Ange - Directrice du P.R.I.D. - Département du Nord
- M. FOUICART François - Directeur Pôle Matériaux - BAUDELET ENVIRONNEMENT
- Mme GANNE Maryse - Direction Territoriale Ouest - CEREMA
- M. GIORGETTI Gilles - Service Mer et Littoral - Région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur
- M. HARAUCHAMPS Loïc - Responsable d'agence - VINCI Construction Maritime et Fluvial
- Mme HEBRARD Céline - Direction Territoriale Hauts-de-France - CEREMA
- M. KHERBECH Abdelhak - Professeur - USMBA - Fez – Maroc
- M. NADAH Jaouad - Chargé de développement économie circulaire - EQIOM
- M. RIVARD Patrice - Professor of civil engineering - University of Sherbrooke - Canada
- M. SOENEN Régis - Direction Territoriale Ouest - CEREMA
- Mme T'KINT Michèle - Professeure - Université de Picardie Jules Vernes
- M. VAILLANT Patrick - Direction Territoriale Centre-Est - CEREMA
- M. VIGNE Bernard - Coordinateur du Pôle Economie Circulaire & Déchets - ADEME PACA

Ouvrage accessible et téléchargeable librement sur les sites SEDILAB & WIKISED :

<https://www.sedilab.com>

<http://wikised.phenixmat.com>

PRÉFACE

« Accorder une priorité absolue aux enjeux de la transition écologique, numérique et solidaire, dans tous les actes de notre vie quotidienne est désormais un impératif incontournable. Dans ce contexte, la gestion et la valorisation des déchets et matériaux alternatifs constituent des leviers précieux pour un développement durable, en réduisant l'impact environnemental des constructions et en permettant des gains économiques substantiels.

L'IMT Nord Europe, labellisé DD&RS (Développement Durable et Responsabilité Sociétale), porte dans son ADN l'innovation par la recherche et le développement de solutions ambitieuses au service de l'économie et des entreprises, tout en veillant à la préservation des ressources de notre planète. Il met ainsi en œuvre des projets importants en faveur de la protection de l'environnement et de la biodiversité, ainsi que de l'écodéveloppement et l'économie verte.

L'IMT Nord Europe, grâce à son centre d'enseignement, de recherche et d'innovation (CERI) Matériaux et Procédés, est un des leaders français pour l'innovation industrielle dans la construction et l'émergence de filières de traitement et de valorisation des matériaux. Le **projet SEDIRÉF** s'inscrit dans cette philosophie et a pour objectif de synthétiser les nombreuses données, règlementations et études produites au cours des vingt dernières années sur le sujet complexe de la gestion des sédiments de dragage maritimes et continentaux en France.

En produisant cet ouvrage intitulé « GESTION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE EN FRANCE : BILAN, PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS » l'équipe de chercheurs de notre Ecole consolide une somme de connaissances et résultats autour de la problématique des sédiments et les rend accessibles à un large public. Les professionnels trouveront ici sous forme synthétique l'ensemble des informations utiles pour optimiser la gestion et le traitement de sédiments en vue de développer des filières de valorisation.

C'est avec la fierté de faire œuvre utile que l'IMT Nord Europe, fait ainsi bénéficier la communauté industrielle et scientifique de ses travaux sur un sujet touchant à plusieurs disciplines où ses expertises sont établies. »

Alain SCHMITT - Directeur IMT Nord Europe

« Depuis de nombreuses années, l'ADEME soutient les opérations « Ports propres », et s'intéresse aux pollutions maritimes, notamment plastiques, souvent à 90 % d'origine terrestres. Il était donc inévitable que l'approche sédiments entre dans son domaine d'intérêt. Ils peuvent être pour les ports, un véritable obstacle sur le plan économique.

Ces sédiments, lorsqu'ils sont immergés, sont sans appartenance. Mais la volonté de les draguer et de les ramener à terre, implique de fait les collectivités et une vigilance dans la gestion de ces sédiments. Ils s'insèrent dans une politique territoriale de gestion des déchets. Il convenait donc d'explorer l'innocuité et la dangerosité de ces sédiments, en fonction de leur nature et leur origine, leur évolution à terre et les possibilités offertes quant à leur valorisation.

Cet ouvrage remarquable et complet permet un tour d'horizon inédit sur cette thématique, et réunit l'ensemble des connaissances du moment. Il sera, nous l'espérons, un outil de référence indispensable aux nombreux acteurs concernés par cette problématique. »

Bernard VIGNE - Coordinateur du Pôle Economie circulaire & Déchets – ADEME – Direction Régionale Provence-Alpes-Côte d'Azur

« La Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, au titre du Plan climat « Gardons une COP d'avance » et en qualité de partenaire historique sur la problématique de la gestion des sédiments portuaires contaminés s'est engagée à soutenir le projet SEDIREF parce qu'il participe au développement durable du territoire en accompagnant les gestionnaires de ports et les collectivités dans leurs procédures de dragage.

Première région maritime de France avec plus de 120 000 emplois liés à la mer, la Région Sud compte de nombreuses filières maritimes d'excellence qui peuvent se déployer grâce à des infrastructures portuaires de premier plan dans les domaines de la défense, du commerce et de la plaisance, aujourd'hui au cœur des enjeux socio-économiques et environnementaux. Pourtant, le fonctionnement de ces équipements stratégiques et leurs projets de modernisation sont impactés par la pollution sédimentaire qui complexifie les nécessaires opérations de dragage avec des incidences techniques, administratives et financières importantes. Au point que, l'ensemble des gestionnaires de ports expriment désormais un besoin d'accompagnement et de concertation fort pour réaliser ce type de travaux.

Nous sommes conscients que la responsabilité de la contamination sédimentaire est une responsabilité partagée. Elle est certes liée en partie à l'activité du port mais elle est aussi et surtout la conséquence des pollutions telluriques portées par les eaux de ruissellement des bassins versants. Face à cet enjeu majeur c'est donc la collectivité dans son ensemble qui doit s'impliquer. »

Renaud Muselier - Président de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur - Président délégué de Régions de France

ORGANISATION DE L'OUVRAGE

CHAPITRE 1 : LES OPÉRATIONS DE DRAGAGE EN FRANCE

Ce chapitre passe en revue l'organisation des opérations de dragage en France en milieu maritime ou estuarien et en milieu continental. Les principales données chiffrées sont tout d'abord exposées en termes de volumes concernés, de techniques de dragage, de destination des sédiments dragués, etc. ; puis le cadre réglementaire auquel est soumis l'opération de dragage, dans ce double contexte marin et fluvial, est détaillé de façon exhaustive.

CHAPITRE 2 : OPTIONS DE GESTION DISPONIBLES SUITE AU DRAGAGE ET CADRE RÉGLEMENTAIRE

Ce 2^{ème} chapitre est consacré à l'après-dragage, lorsque le sédiment a été extrait de son milieu source. Le cadre réglementaire à respecter pour permettre de classer le sédiment par rapport à ses caractéristiques propres, qui elles-mêmes détermineront les possibilités de gestion disponibles, est présenté. Les différents référentiels et critères de classification à utiliser sont détaillés pour permettre au lecteur d'appréhender la méthodologie à appliquer.

CHAPITRE 3 : FILIÈRES DE VALORISATION DISPONIBLES ET RÉFÉRENTIELS EXISTANTS

L'objectif de ce chapitre est de présenter les filières principales de valorisation des sédiments dragués. Cette valorisation passe par leur réutilisation dans les secteurs de la construction au sens large. Cette approche vise à intégrer les sédiments comme matières premières secondaires (MPS) pour la fabrication de divers matériaux, produits ou ouvrages en respectant les guides et référentiels existants. Ces derniers sont donc présentés et dessinent dans leur contenu les lignes et prescriptions techniques à suivre pour une réutilisation des sédiments. Ils prennent également en compte la complexité du matériau, l'impact des produits sur l'environnement et leurs durabilités.

CHAPITRE 4 : TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES SÉDIMENTS

Dans cette partie, les principales techniques de traitement des sédiments sont détaillées avec les critères et leviers permettant de mesurer leur efficacité. De manière générale, il est nécessaire d'appliquer des techniques de traitement adaptées qui permettront *in fine* d'améliorer les propriétés des sédiments. Celles-ci peuvent être de nature physique, mécanique, chimique ou thermique et visent à limiter ou éliminer l'effet de constituants néfastes ou indésirables tels que les polluants, la matière organique, etc.

CHAPITRE 5 : EXEMPLES DE PROJETS DE VALORISATION DES SÉDIMENTS

Ce chapitre présente des exemples de projets dont l'objet a été de tester la valorisation de sédiments dragués. Développés ces vingt dernières années, ils ont permis de démontrer la pertinence de la réutilisation des sédiments dragués dans différents ouvrages et produits. Ces exemples d'applications doivent permettre aux acteurs de la filière d'initier des démarches de valorisation avec les sédiments de dragage à leur charge. En annexe, une liste sous forme de fiches synthétiques a été produite pour résumer les principales informations utiles.

CHAPITRE 6 : SCHÉMAS ORGANISATIONNELS DE GESTION

La gestion des sédiments dragués, qu'ils soient d'origine maritime ou continentale, doit être structurée à l'aide de schémas organisationnels de gestion. Pour les deux typologies de matériaux, les réglementations sont différentes mais les logiques suivies identiques : il s'agit d'intégrer les caractéristiques des territoires et les enjeux environnementaux, économiques ou organisationnels de l'activité de gestion. Pour les gestionnaires de sédiments continentaux et les GPM les schémas existent, pour les ports décentralisés en revanche ils sont pour la plupart de acteurs à construire sur la base d'une méthodologie nationale élaborée en 2015.

CHAPITRE 7 : LE MODÈLE ÉCONOMIQUE DE GESTION A TERRE DES SÉDIMENTS NON IMMERGEABLES – PREMIÈRES RÉFLEXIONS

La gestion à terre des sédiments, dont les caractéristiques ne permettent pas une gestion aquatique, est entrée dans une phase de maturité qui doit permettre son émergence opérationnelle et son développement. Les options de gestion de ces déchets suivent les principes de l'économie circulaire qui visent à favoriser la réutilisation de tout matériau plutôt que son stockage. Les questions relatives au modèle économique de cette nouvelle activité sont centrales : quels sont les acteurs et leurs besoins financiers respectifs ? Quelles sont les sources de financement mobilisables pour assurer la viabilité économique de cette nouvelle activité ? Quelle est la stratégie à définir pour l'accompagner de manière efficace ? Les réflexions posées ici sur le modèle économique à développer tentent d'y répondre.

CHAPITRE 8 : PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS

Pour conclure cet ouvrage, des perspectives et des recommandations sont formulées pour tenter d'améliorer la gestion des sédiments de dragage en France. Divers aspects de cette gestion sont abordés (la caractérisation préalable des sédiments, la réglementation, les schémas et outils de gestion, le modèle économique, les besoins persistants de recherche et de communication) et discutés pour permettre de faire avancer la thématique dans une logique efficace de développement durable.

GLOSSAIRE

ACV	Analyse du Cycle de Vie
ADEME	Agence de la Transition Ecologique
ASCV	Analyse Sociale du Cycle de Vie
ATG	Analyse Thermo-Gravimétrique
BAP	Béton Auto-Plaçant
BCA	Bilan Coûts Avantages
BHP	Béton Hautes Performances
BTEX	Benzène – Toluène – Ethylbenzène – Xylène
BTP	Bâtiments Travaux Publics
CDCEA	Commission Départementale de Consommation des Espaces Agricoles (remplacée selon Loi n°2014-1170 du 13 octobre 2014 par la Commission Départementale de Préservation des Espaces Naturels, Agricoles et Forestiers (CDPENAF))
CDNPS	Commission Départementale de la Nature, des Paysages et des Sites
CEM	Ciment portland
CEREMA	Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
CGCT	Code Général des Collectivités Territoriales
CGEDD	Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable
CLE	Commission Locale de l'Eau
CNPN	Conseil National de la Protection de la Nature
CNR	Compagnie Nationale du Rhône
CODERST	Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques
COT	Carbone Organique Total
CPE	Concept de Performances Equivalentes
CPER	Contrat de Plan Etat Région
CPIER	Contrat de Plan Interrégional Etat Région
CRML	Conférence Régionale Mer et Littoral
CSH	Calcium Silicate Hydrate
CSRPN	Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel
CSSPP	Commission Supérieure des Sites, Perspectives et Paysages
CTPBOH	Comité Technique Permanent des Barrages et Ouvrages Hydrauliques
DBO	Demande Biochimique en Oxygène
DCE	Directive Cadre Eau
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DCPEM	Directive Cadre pour la Planification de l'Espace Maritime
DCSMM	Directive Cadre Stratégique pour le Milieu Marin
DD	Déchets Dangereux
DDTM	Direction Départementales des Territoires et de la Mer
DI	Déchets Inertes

DIRM	Directions Inter Régionales de la Mer
DNDNI	Déchets Non Dangereux Non Inertes
DPF	Domaine Public Fluvial
DPM	Domaine Public Maritime
DREAL	Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DSBM	Document Stratégique de Bassin Maritime
DSF	Document Stratégique de Façade
ECORCE	ECO comparateur - Routes Constructions Entretien
EIT	Ecologie Industrielle Territoriale
EMA	Environmental Management Accounting
EPA	Etablissement Public Administratif
EPIC	Etablissement Public Industriel et Commercial
ETM	Eléments Traces Métalliques
FEDER	Fonds Européen de Développement Régional
FREC	Feuille de route Economie Circulaire
GEODE	Groupe d'Etudes et d'Observation sur le Dragage et l'Environnement
GIE Dragages Ports	Groupement d'Intérêt Economique Dragages Ports
GIZC	Gestion Intégrée des Zones Côtières
GPM	Grands Ports Maritimes
GRV	Grand Récipient pour Vrac
GTR	Guide des Terrassements Routiers
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
IFSTTAR	Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux
IOTA	Installations, Ouvrages, Travaux et Aménagements
IPI	Indice de Portance Immédiat
ISD	Installation de Stockage des Déchets
ISDI	Installation de Stockage des Déchets Inertes
ISDND	Installation de Stockage des Déchets Non Dangereux
LEMA	Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques
LHR	Liant Hydraulique Routier
LTECV	Loi de Transition Energétique pour la Croissance Verte
MES	Matières En Suspension
MO	Matières Organiques
MPS	Matières Premières Secondaires
MS	Matière Sèche
PAF	Perte Au Feu
PAMM	Plan d'Action pour le Milieu Marin
PCB	PolyChloroBiphényles
PCET	Plan Climat Energie Territorial
PDP / PLP	Programmes (Départemental/Local) de Prévention des Déchets
PGDBTP	Plan de Prévention et de Gestion des Déchets du Bâtiment et Travaux Publics

PGOD	Plan de Gestion Opérationnelle des Dragages
PGPOD	Plans de Gestion Pluriannuel des Opérations de Dragage
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PMI	Politique Maritime Intégrée
PRPGD	Plan Régional de Prévention et de Gestion des Déchets
PRSE	Plan Régional Santé Environnement
REOM	Redevance d'Enlèvement des Ordures Ménagères
REP	Responsabilité Elargie du Producteur
REPOM	RÉseau de surveillance des POrts Maritimes
RGEC	Règlement Général d'Exemption par Catégorie
RSI	Réaction Sulfatique Interne
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SCIC	Société Coopérative d'Intérêt Collectif
SCoT	Schéma de Cohérence Territoriale
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SETRA	Service d'Etudes sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements
SEVE	Système d'Evaluation des Variantes Environnementales
SNML	Stratégie Nationale Mer et Littoral
SPA	Service Public Administratif
SPI	Sous-Produits Industriels
SPIC	Service Public Industriel et Commercial
SRADDET	Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires
SRCE	Schéma Régional de Cohérence Ecologique
SRCEA	Schéma Régional Climat Air Energie
SRDE	Schéma Régional Développement Economique
SRI	Stratégie Régionale Innovation
SSD	Sortie du Statut de Déchet
TBT	Tributylétain
TEOM	Taxe d'Enlèvement des Ordures Ménagères
TGAP	Taxe Générale sur les Activités Polluantes
TRL	Technology Readness Level
UE	Union Européenne
UHC	Unité Hydrographique Cohérente
UPACA	Union des Ports de Plaisance Provence Alpes Côte d'Azur et Monaco
USIRF	Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française
VNF	Voies Navigables de France

SOMMAIRE

1.	LES OPÉRATIONS DE DRAGAGE EN FRANCE.....	17
1.1.	Données chiffrées sur les dragages.....	17
1.1.1)	Sédiments marins ou estuariens.....	18
1.1.2)	Sédiments continentaux	21
1.2.	Cadre réglementaire des opérations de dragage	23
1.2.1)	Sédiments d'origine marine ou estuarienne	23
1.2.2)	Sédiments d'origine continentale	29
1.3.	Méthodologies de caractérisation des sédiments	35
1.3.1)	Caractérisation avant dragage des sédiments marins/estuariens	35
1.3.2)	Analyses à réaliser pour la caractérisation des sédiments marins/estuariens.....	37
1.3.3)	Caractérisation avant dragage des sédiments continentaux	39
1.3.4)	Analyses à réaliser pour la caractérisation des sédiments continentaux	41
2.	OPTIONS DE GESTION DISPONIBLES SUITE AU DRAGAGE ET CADRE RÈGLEMENTAIRE	44
2.1.	Cadre réglementaire de la gestion aquatique des sédiments de dragage	44
2.2.	Cadre réglementaire de la gestion terrestre des sédiments de dragage	46
3.	FILIÈRES DE VALORISATION DISPONIBLES ET RÉFÉRENTIELS EXISTANTS.....	61
3.1.	Les filières de valorisation.....	63
3.1.1)	Valorisation des sédiments en technique routière	65
3.1.2)	Les sédiments pour l'industrie cimentière	73
3.2.	Autres voies de valorisation identifiées.....	82
3.2.1)	Valorisation de sédiments en amendement agricole	82
3.2.2)	Aménagement paysager	83
3.2.3)	Valorisation en matériaux de rechargement et de comblement.....	84
3.2.4)	Briques.....	84
3.3.	Outils de suivi environnemental	85
3.4.	Modélisation de la gestion des sédiments en vue d'une valorisation optimale	86
4.	TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES SÉDIMENTS	93
4.1.	Le prétraitement	93
4.2.	Les traitements	93
4.3.	Exemples de procédés	94
4.3.1)	La calcination traditionnelle	95
4.3.2)	La calcination flash.....	96
4.3.3)	Les méthodes chimiques.....	98
5.	EXEMPLES DE PROJETS DE VALORISATION DES SÉDIMENTS	101
5.1.	Utilisation en couverture imperméable.....	101
5.2.	Réalisation de digues	101
5.3.	Bloc d'encrochement.....	101
5.4.	Brique de terre.....	102
5.5.	Exemples de divers projets de valorisation	102
6.	SCHÉMAS ORGANISATIONNELS DE GESTION	107
6.1.	Des gestionnaires diversifiés à l'origine de quantités de sédiments variables.....	107

6.2.	Les initiatives locales de structuration de la gestion des sédiments	109
6.3.	La dynamique nationale pour une optimisation de la gestion des sédiments dragués	111
6.4.	Les schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragages et des filières de gestion des sédiments	113
6.5.	L'élaboration des schémas d'orientation territorialisés : premières mises en œuvre	118
6.6.	Perspectives de gestion coordonnée et mutualisée des sédiments dragués	119
6.6.1)	L'organisation territoriale et l'implication des acteurs	121
6.6.2)	Retours d'expériences et bonnes pratiques	125
7.	LE MODÈLE ÉCONOMIQUE DE GESTION A TERRE DES SÉDIMENTS NON IMMERGEABLES – PREMIÈRES RÉFLEXIONS.....	128
7.1.	Le contexte de la gestion des déchets en France	130
7.1.1)	Typologies des déchets et logiques de gestion associées.....	131
7.1.2)	Options de gestion des déchets et efficacité	131
7.1.3)	La nécessaire préservation des ressources minérales naturelles	133
7.1.4)	Apports des études de l'Agence de la Transition Écologique (ADEME).....	134
7.1.5)	Zoom sur les déchets auxquels peuvent se substituer les sédiments	135
7.1.6)	Coûts et organisation du financement de gestion des déchets.....	136
7.2.	Quelles sont les problématiques de gestion à terre des sédiments et leurs impacts sur le modèle économique.....	139
7.2.1)	Des gisements potentiels limités mais récurrents	139
7.2.2)	Des contaminations aux multiples sources	146
7.2.3)	Des outils industriels à développer	148
7.2.4)	Quels sont les gestionnaires pour lesquels les financements sont à mobiliser.....	150
7.3.	Les principes du modèle économique	157
7.3.1)	Outils d'évaluations chiffrées	157
7.3.2)	Proposition d'évaluation des coûts	164
7.4.	Les sources potentielles de financements	174
7.4.1)	Conditions et règles d'attributions des aides nécessaires	174
7.4.2)	La forme et l'origine des aides mobilisables.....	178
7.4.3)	La piste « fiscalité environnementale »	180
7.4.4)	L'application du principe Pollueur/Payeur	182
7.4.5)	La Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP)	183
7.4.6)	La Taxe sur la Valeur Ajoutée (TVA)	184
7.5.	En synthèse	186
8.	PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS.....	190
8.1.	Caractérisation préalable.....	190
8.2.	Règlementation.....	191
8.3.	Schémas de gestion	191
8.4.	Outils de gestion	192
8.5.	Modèle économique.....	192
8.6.	Recherche	193
8.7.	Communication/Sensibilisation	194
9.	RÉFÉRENCES	195
10.	ANNEXE : FICHES PROJETS DE VALORISATION	199

TABLE DES FIGURES

Figure 1	Évolution des quantités de matière draguées entre 2013 et 2016 en France (Source Enquête dragage CEREMA 2020).....	18
Figure 2	Quantités de matière sèche draguées (en millions de tonnes) par façades maritimes en 2017 (hors GPM) (source Enquête dragages CEREMA 2020)	19
Figure 3	Techniques de dragage utilisées dans les GPM en 2017 (Source Enquête dragage CEREMA 2020)	19
Figure 4	Techniques de dragage utilisées dans les ports français (hors GPM) en 2017 (source Enquête dragage CEREMA 2020).....	20
Figure 5	Volumes dragués par année, répartis selon les gestionnaires (source CEREMA)	22
Figure 6	Stratégie d'échantillonnage (Source d'après VNF, 2012)	40
Figure 7	Nombre d'échantillons à prélever en fonction du contexte (Source « Guide dragage VNF 2014 »).....	41
Figure 8	Protocole d'évaluation de l'écotoxicité (propriété HP 14) des sédiments marins et continentaux destinés à une gestion à terre (1er octobre 2009).....	48
Figure 9	Echelle TRL (Technologie Readness Level (DGA, 2009)).....	61
Figure 10	Relation entre échelles TRL et MRL (d'après Centre Technique Industriel, 2013).....	62
Figure 11	Synthèse des principaux outils de financement de la Recherche & Développement & Innovation (Source d'après Keynergie)	63
Figure 12	Devenir des sédiments dragués de VNF en 2009 - % du volume (d'après BRGM, 2017)	64
Figure 13	Nomenclature des sous-couches routières (www.wikip.fr).....	65
Figure 14	Illustration des différents usages routiers des déchets prévus dans le guide Setra, 2011	69
Figure 15	Méthodologie développée dans le guide Setra 2011 (Source Sédimatériaux).....	71
Figure 16	a) Planche lysimétrique (source INSAVALOR/PROVADEMSE) et b) Planche expérimentale (source CEREMA)	71
Figure 17	Logigramme descriptif de la méthodologie Sédimatériaux (source : Guide méthodologique Sédimatériaux, Valorisation des sédiments de dragage en technique routière, 2014)	73
Figure 18	Schématisation des interactions dans le cadre du principe 3R (Réduire, Réutiliser, Recycler)	74
Figure 19	Démarches de valorisation de sous-produits et de synthèse de ciments à base de sous-produits tels que les sédiments.....	76
Figure 20	Mécanismes de transport et percolation des polluants (Malviya & Chaudhary, 2006b, 2006a).....	80
Figure 21	Dispositif de suivi des planches expérimentales	85
Figure 22	Processus de valorisation des sédiments de dragage.....	87
Figure 23	Composantes du logiciel	88
Figure 24	Comparaison entre les résultats expérimentaux et ceux du modèle	91
Figure 25	Méthodologie de traitement des sédiments.....	95
Figure 26	Unité de traitement par calcination traditionnelle des sédiments (Amar M., 2017).....	96
Figure 27	Chambre de calcination FLASH des sédiments (Amar M., 2017)	97
Figure 28	Bloc d'enrochement et Route Freyssinet 12 dans le GPMD, à base de sédiments valorisés.....	101
Figure 29	Ouvrage témoin en briques cuites de sédiment.....	102
Figure 30	Quantités de matières sèches draguées (en millions de tonnes) dans les GPM en 2016 et 2017 (source Enquête dragage CEREMA 2017).....	108
Figure 31	Estimation des fractions de sédiments constitutives de la quantité moyenne annuelle	109
Figure 32	Les périmètres des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux en France métropolitaine et outre-mer.....	111
Figure 33	Représentation de la méthodologie d'élaboration des schémas d'orientation territorialisés de opérations de dragage et filières de gestion des sédiments (Phase 1)	115
Figure 34	Préconisations relatives aux contenus des schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et filières de gestion des sédiments (Phase 2)	117
Figure 35	Stratégie « Connaitre, Localiser et Evaluer » - Source EDF	121
Figure 36	Coordination de la stratégie régionale d'économie circulaire avec les autres démarches	122
Figure 37	La chaîne de valeur du marché de la valorisation des déchets.....	123

Figure 38 : Processus globaux de l'EIT – Source CGDD	124
Figure 39 : Articulation de la gestion des déchets.....	132
Figure 40 : Répartition des quantités annuelles moyennes de sédiments dragués entre les principaux opérateurs continentaux.....	140
Figure 41 : Répartition des quantités annuelles moyennes de sédiments dragués entre les principaux opérateurs maritimes.....	140
Figure 42 : Répartition par filières de gestion des volumes annuels moyens de sédiments continentaux produits par GPMR, CNR et VNF.....	141
Figure 43 : Répartition par filières de gestion des volumes annuels moyens de sédiments continentaux produits par GPMR, CNR, VNF et EDF.....	141
Figure 44 : Répartition par filières de gestion des quantités moyennes de sédiments marins dragués sur la période 2011 à 2017.....	142
Figure 45 : Programme Sédiment du RÉPOM, 1997 à 2006, niveaux de référence par Bassin	143
Figure 46 : Estimation de répartition des options de gestion à terre des sédiments.....	146
Figure 47 : Localisations des plateformes de gestion des sédiments existantes en 2021.....	149
Figure 48 : Les 3 piliers de l'Économie Circulaire (source : ADEME)	157
Figure 49 : Economie verte vs économie circulaire.....	158
Figure 50 : Matrice des coûts – ADEME.....	159
Figure 51 : Concepts d'évaluation du coût d'un produit et corrélations des diverses approches.....	161
Figure 52 : ACV du recyclage des déchets - Source FEDEREC – ADEME (2016)	162
Figure 53 : Informations typiques de l'inventaire d'un procédé	162
Figure 54 : Évaluation comparée des consommations énergétiques de deux options d'aménagements routiers (D'après USIRF).....	163
Figure 55 : Proposition d'évaluation des coûts et sources de financements d'une opération de dragage avec orientation à terre des déblais.....	168
Figure 56 : Représentation des coûts moyens de la gestion à terre des sédiments marins et continentaux.....	171
Figure 57 : Estimation de la répartition des enveloppes en M€ HT selon les options de gestion à terre	172
Figure 58 : Scénario 1 : répartition des fonds pour la gestion de la fraction valorisable des sédiments non immergeables.....	173
Figure 59 : Scénario 2 : répartition des fonds pour la gestion de la fraction à stocker des sédiments non immergeables.....	174
Figure 60 : Synthèse des principaux outils de financement de la Recherche à la mise sur le marché.....	180
Figure 61 : Les composantes du développement durable.....	190

TABLE DES ÉQUATIONS

Équation n°1 : Indice de contamination QSm.....	42
Équation n°2 : Rapport E/Leq	78

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Niveaux relatifs aux éléments traces – Arrêté du 30 juin 2020	25
Tableau 2 : Niveaux relatifs au tributylétain (TBT) – Arrêté du 30 juin 2020	25
Tableau 3 : Niveaux relatifs aux polychlorobiphényles (PCB) – Arrêté du 30 juin 2020	25
Tableau 4 : Niveaux relatifs aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) – Arrêté du 30 juin 2020.....	26
Tableau 5 : Conditions pour lesquelles les travaux de dragage maritime sont soumis au régime de déclaration ou d'autorisation (Code de l'Environnement).....	28
Tableau 6 : Niveaux S1 relatifs aux éléments et composés traces - Arrêté du 30 juin 2020.....	31
Tableau 7 : Régimes règlementaires en fonction de la qualité et du volume de sédiments continentaux à draguer (Article R.214-1 du Code de l'Environnement - Rubrique 3.2.1.0).....	32
Tableau 8 : Nombre de prélèvements en fonction de la situation (circulaire du 14 juin 2000).....	36
Tableau 9 : Niveaux R1 et R2 relatifs aux éléments et composés traces, définis dans l'Arrêté du 9 août 2006 (modifié par l'arrêté du 30 juin 2020)	45
Tableau 10 : Seuils proposés pour évaluer le caractère dangereux des sédiments au titre des propriétés de danger HP 4, HP 5, HP 6, HP 7, HP 8, HP 10, HP 11, HP 13 (d'après INERIS/CEREMA).....	47
Tableau 11 : Critères à respecter pour définir si un déchet est inerte (Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes).....	49
Tableau 12 : Critères d'admission des déchets en ISDI+.....	51
Tableau 13 : Critères d'admission des déchets dans les ISDND et dans les ISDD	53
Tableau 14 : Critères à respecter pour l'acceptation de déchets de sédiments dangereux	54
Tableau 15 : Principales fractions chimiques dans le ciment hydraulique ainsi que leur proportion respective	75
Tableau 16 : Durées estimatives des essais de durabilité.....	82
Tableau 17 : Paramètres agronomiques recherchés dans les sédiments de dragage	83
Tableau 18 : Température moyenne de décomposition des principaux carbonates	98
Tableau 19 : Diverses méthodes de traitement chimiques et leurs impacts	99
Tableau 20 : Synthèse des données relatives au recyclages des déchets – Source Agence de la Transition Ecologique (ADEME) 2017.....	132
Tableau 21 : Estimation moyenne annuelle des quantités de sédiments marins selon la classification déchets.....	145
Tableau 22 : Estimation moyenne annuelle des quantités de sédiments continentaux selon la classification déchets.....	145
Tableau 23 : Estimation des tarifications moyennes pour un port de 300 places	153
Tableau 24 : Augmentation homogène des redevances portuaires pour un petit port.....	154
Tableau 25 : Estimation des nouvelles redevances d'amarrage pour un petit port	154
Tableau 26 : Estimation des tarifications moyennes pour un port de 1 000 places	154
Tableau 27 : Augmentation homogène des redevances portuaires pour un grand port.....	155
Tableau 28 : Estimation des nouvelles redevances d'amarrage pour un grand port	155
Tableau 29 : Simulation pour un dragage de 28 000 tonnes et filière immersion.....	165
Tableau 30 : Simulation pour un dragage de 28 000t et valorisation à terre	166
Tableau 31 : Estimation des coûts de gestion à terre des sédiments marins selon leur classification et caractéristiques.....	169
Tableau 32 : Estimation des coûts de gestion à terre des sédiments continentaux selon leur classification et caractéristiques.....	170
Tableau 33 : Hypothèse de répartition de l'origine des fonds nécessaires à la gestion des sédiments non immergeables.....	173
Tableau 34 : Taux applicables aux déchets ménagers et assimilés (DMA) en 2021.....	185
Tableau 35 : Hypothèse de répartition des aides pour la gestion des sédiments non immergeables	187

SOMMAIRE CHAPITRE 1

1.	LES OPÉRATIONS DE DRAGAGE EN FRANCE	17
1.1.	Données chiffrées sur les dragages	17
	<i>1.1.1) Sédiments marins ou estuariens</i>	18
	<i>1.1.2) Sédiments continentaux</i>	21
1.2.	Cadre réglementaire des opérations de dragage	23
	<i>1.2.1) Sédiments d'origine marine ou estuarienne</i>	23
	<i>1.2.2) Sédiments d'origine continentale</i>	29
1.3.	Méthodologies de caractérisation des sédiments	35
	<i>1.3.1) Caractérisation avant dragage des sédiments marins/estuariens</i>	35
	<i>1.3.2) Analyses à réaliser pour la caractérisation des sédiments marins/estuariens</i>	37
	<i>1.3.3) Caractérisation avant dragage des sédiments continentaux</i>	39
	<i>1.3.4) Analyses à réaliser pour la caractérisation des sédiments continentaux</i>	41

1. LES OPÉRATIONS DE DRAGAGE EN FRANCE

PRÉAMBULE

L'accumulation, naturelle ou induite, des sédiments dans les ports maritimes et fluviaux occasionnent des problématiques de gestion auxquelles il est nécessaire de remédier pour garantir leur bon fonctionnement. Cette sédimentation modifie les hauteurs d'eau existantes et perturbe la libre circulation des bateaux. Ainsi, pour maintenir de bonnes conditions de navigabilité, assurer l'entretien des ouvrages, prévenir les risques d'inondations, permettre la création de nouvelles infrastructures, ou garantir un bon état écologique, les gestionnaires portuaires et fluviaux ont recours à des opérations de dragage des sédiments. Il existe trois principaux types de dragage pour répondre à ces différents objectifs : les dragages d'entretien (les plus fréquents) ; les dragages d'investissement (pouvant générer les volumes les plus conséquents) ; et les dragages d'assainissement ou « environnementaux » (plus rarement mis en œuvre).

Ces opérations consistent à extraire les matériaux excédentaires, présents sur le fond du plan d'eau ou du cours d'eau, pour les retirer du milieu et les déplacer vers un exutoire maritime (ex. zone d'immersion/clapage), fluvial, ou terrestre (centre de traitement et de valorisation ou installation de stockage).

Les apports particuliers responsables de l'accumulation des sédiments dans les ports ont deux principales origines qui sont les apports continentaux et les apports atmosphériques. Les apports continentaux sont obtenus par la somme des apports fluviaux (cours d'eau ou canaux), directs (exutoires industriels et urbains) et diffus (surverses, déversoirs d'orage, eaux de ruissellement des espaces de culture et des bassins versants) ; les apports atmosphériques sont la somme des retombées d'aérosols par voies humide et sèche.

1.1. Données chiffrées sur les dragages

La quantification des différents ports existant en France métropolitaine et outre-mer fait état de :

- 11 GPM : 7 en métropole (Dunkerque, Le Havre, Rouen, Nantes Saint-Nazaire, La Rochelle, Bordeaux, Marseille) et 4 en outre-mer (Guyane, Martinique, Guadeloupe, Port-Réunion)
- 1 port d'intérêt national (Saint-Pierre-et-Miquelon)
- 3 ports fluviaux autonomes : Paris, Strasbourg, Mulhouse-Rhin
- 54 ports de commerce
- 7 ports ayant des zones militaires (Brest, Cherbourg, Toulon, Île Longue, La Réunion, Martinique, Guyane)
- 1029 ports de plaisance (pouvant accueillir au moins 20 navires) : 473 maritimes et 556 fluviaux

(Sources : Ministère de la transition écologique – juillet 2020 ; Observatoire des ports de plaisance - Rapport 2015 - Direction des Affaires Maritimes)

N.B. : Depuis le 1^{er} juin 2021, les ports du Havre, de Rouen et de Paris sont réunis au sein d'un même établissement : HAROPA PORT, le Grand port fluviomaritime de l'axe Seine.

1.1.1) Sédiments marins ou estuariens

Chaque année, le ministère de la Transition écologique et solidaire confie au CEREMA la mission de réaliser une enquête nationale sur les dragages des ports maritimes. Cette enquête a pour objectif de présenter un état des lieux annuel des opérations de dragage, par façades maritimes, en ce qui concerne les pratiques usitées, les quantités draguées, les destinations des matériaux et l'état de contamination des sédiments. La dernière enquête (éditée en 2020) exploite les données recensées sur l'année 2017.

Les principales informations issues de cette enquête peuvent-être résumées comme suit :

En 2017, la quantité totale de sédiment draguée en France (métropole et outre-mer compris) s'élève à 30,5 millions de tonnes de matière sèche, soit une baisse de 4.4 % par rapport aux 31,8 millions de tonnes de matière sèche enregistrées en 2016.

Ces quantités draguées demeurent dans le même ordre de grandeur que celles des années précédentes comme l'indique le graphique ci-après. Les données intègrent les Grands Ports Maritimes d'outre-mer depuis 2013 (suivis antérieurement par le REPOM).

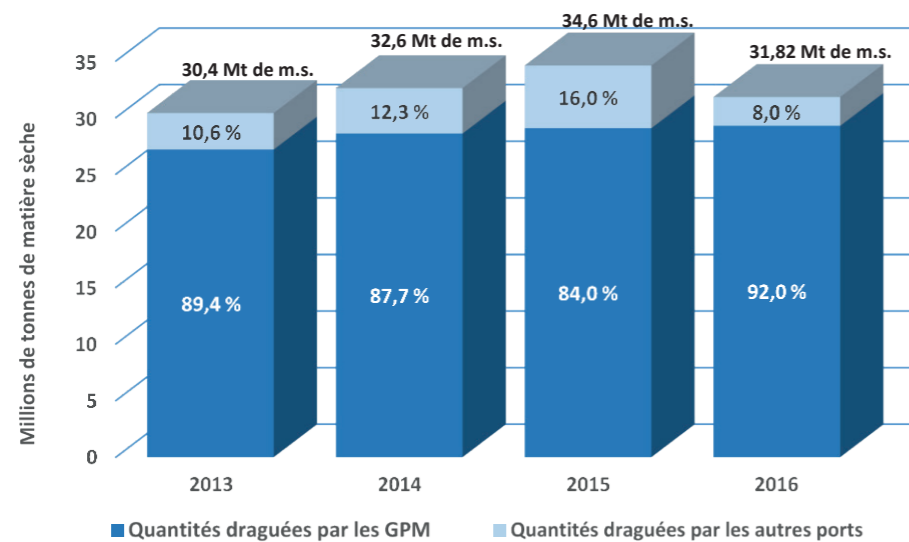


Figure 1 : Évolution des quantités de matière draguées entre 2013 et 2016 en France (Source Enquête dragage CEREMA 2020)

Les Grands Ports Maritimes (GPM), établissements publics de l'État - Bordeaux, Rouen, Nantes-Saint-Nazaire, Guyane, Dunkerque, Le Havre, Guadeloupe, La Réunion, La Rochelle, Marseille, Martinique - ont généré 27,96 millions de tonnes en 2017, soit 91,7% du total national. Les autres ports français ont ainsi dragué 2,53 millions de tonnes de matière sèche, soit 8,3% du total. Pour ces établissements, la répartition des volumes dragués est très variable selon les façades considérées :

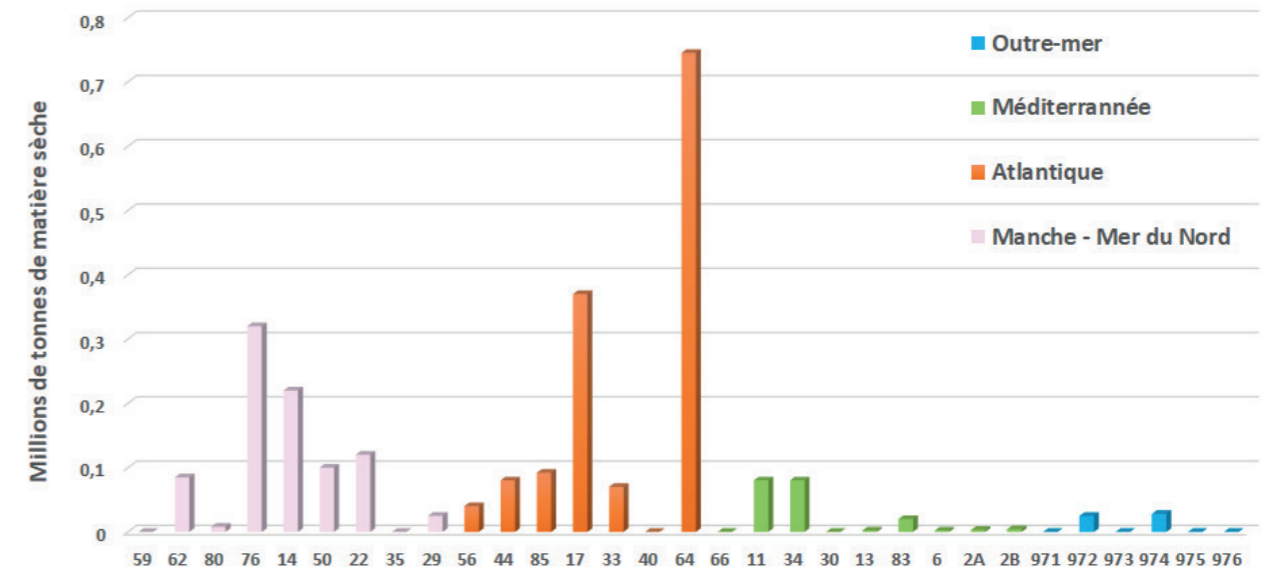


Figure 2 : Quantités de matière sèche draguées (en millions de tonnes) par façades maritimes en 2017 (hors GPM) (source Enquête dragages CEREMA 2020)

En 2017, la majorité des dragages en mer, 177 opérations sur 183 au total, concerne des travaux d'entretien des ports (les 6 restants concernent des travaux neufs). Ils ont généré 76,9% de la quantité totale draguée.

Toujours en 2017, la technique de dragage la plus utilisée dans les GPM demeure, comme au cours des années précédentes, le dragage hydraulique (i.e. aspiration des sédiments via une pompe centrifuge reliée à des tubes) et plus spécifiquement le recours à des dragues aspiratrices en marche (85% des cas). Les autres techniques usitées sont le dragage hydrodynamique (i.e. les sédiments sont remis en suspension en utilisant le courant naturel) et le dragage mécanique (i.e. extraction via des moyens mécanisés, une pelle mécanique ou une benne preneuse). Le dragage hydrodynamique concerne 14,1% des opérations menées dans les GPM (Nantes-St Nazaire et Guyane). Le reste des opérations est effectué par dragage mécanique (0,8% du total des GPM).

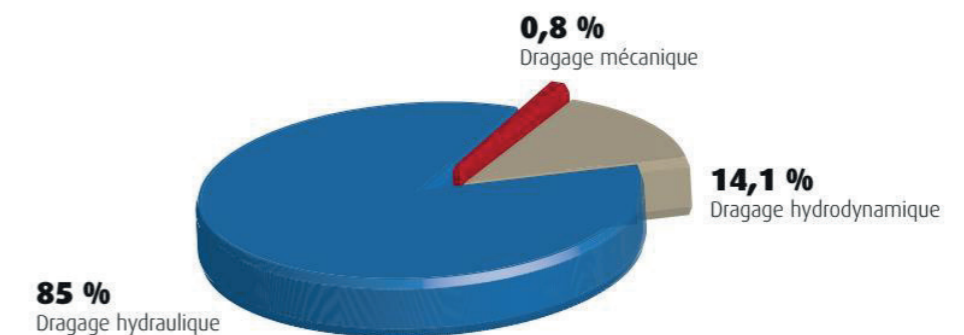


Figure 3 : Techniques de dragage utilisées dans les GPM en 2017 (Source Enquête dragage CEREMA 2020)

Dans les autres ports, 77,9% des volumes sont extraits par dragage hydraulique, 17,9% par dragage mécanique et 4,2% par un dragage hydrodynamique (via rotodévasage uniquement en Charente maritime et dans le Morbihan).

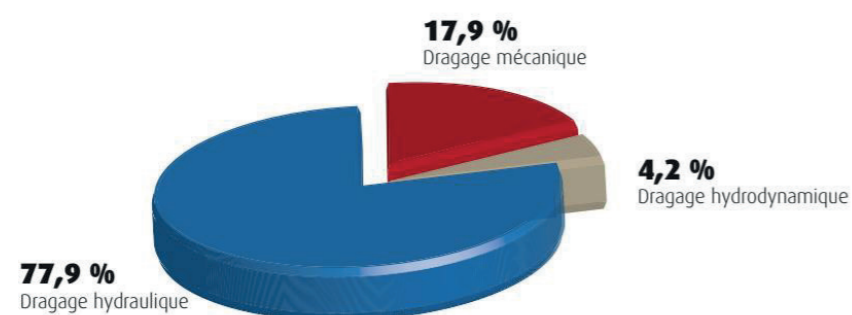


Figure 4 : Techniques de dragage utilisées dans les ports français (hors GPM) en 2017 (source Enquête dragage CEREMA 2020)

Il est à noter que ces techniques de dragages classiques occasionnent inévitablement un impact sur le milieu marin adjacent en augmentant notamment de façon artificielle la turbidité de l'eau (*i.e.* taux de matières en suspension) qui peut elle-même provoquer une remobilisation dans la phase aqueuse des polluants initialement fixés dans ou sur les sédiments.

Pour limiter ces phénomènes, le principal dispositif de protection employé est la pose d'une géomembrane anti-dispersion autour du chantier pour contenir le panache de turbidité provoqué par les travaux de dragage et ainsi diminuer l'impact sur l'écosystème marin. Le recours à des plongeurs opérant l'aspiration des sédiments *in situ* permet également de limiter la remise en suspension. Néanmoins, cette technique reste plus longue, plus coûteuse et contrainte à des plus faibles surfaces peu profondes.

En 2017, comme au cours des années antérieures, l'immersion des sédiments demeure toujours la principale destination des déblais de dragage : 25,84 millions de tonnes de matériaux ont été immergées en mer ou en zone estuarienne, ce qui représente 84,7 % de la quantité totale de sédiments dragués pour l'année. Les GPM cumulent à eux seuls 91,5 % de la quantité totale immergée, soit 23,65 millions de tonnes de matériaux.

La remise en suspension des sédiments dragués concerne 4,06 millions de tonnes de matériaux, soit 13,3% de la quantité totale draguée. Ce mode de gestion est principalement utilisé en Guyane.

La valorisation directe des matériaux dragués (en rechargement de plage, comblement, terre-plein, renforcement de berges, etc.) a concerné 0,8% de la quantité totale draguée. Le rechargement de plage est la principale filière de valorisation directe mise en œuvre avec 171 210 tonnes de matière sèche valorisées soit 0,6% de la quantité totale draguée.

Enfin, pour l'ensemble des façades maritimes, un total de 351 850 tonnes de matière sèche a été déposé à terre en 2017, soit seulement 1,2% du total dragué. Notons que cette quantité peut varier considérablement d'une année à l'autre en fonction des chantiers de valorisation terrestre disponibles. Ainsi, le recensement de l'année 2015 faisait état de 10% du volume total déposé à terre (soit environ 3,4 millions tonnes). Cependant ce chiffre était gouverné par le chantier de création d'un polder en rade de Cherbourg qui a consommé à lui seul plus de 2 millions de tonnes de matériau.

1.1.2) Sédiments continentaux

Le CEREMA a réalisé une nouvelle enquête nationale auprès des gestionnaires des voies navigables et des ports fluviaux du Domaine Public Fluvial (DPF) afin de dresser un bilan des opérations de dragage de sédiments fluviaux sur la période 2011-2017 (*N.B.* Cet ouvrage intitulé « Rétrospective des dragages fluviaux en France - Période 2011-2017 » sera disponible en 2022). Les principales informations issues de cette enquête peuvent-être résumées comme suit :

Les voies navigables et les ports fluviaux représentent une partie du Domaine Public Fluvial (DPF). Les voies navigables représentent seulement 8 500 km des 16 000 km de voie d'eau que compte le DPF (Conseil d'État, 2010).

Sur ce DPF, les principaux gestionnaires français sont Voies Navigables de France (VNF) ; la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) ; les ports maritimes au niveau de leurs voies classées dans le DPF (ex. le grand port maritime de Rouen (GPMR)) ; et les ports intérieurs (ex. le port autonome de Paris (PP), le port autonome de Strasbourg (PS), etc.). L'État et les collectivités locales gèrent le réseau fluvial secondaire qui est plutôt à vocation du tourisme fluvial.

VNF, gestionnaire principal des voies navigables en France, entretient, exploite et développe 6 700km de fleuves, canaux et rivières canalisées (soit 79% du réseau), 4 000 ouvrages d'art et 40 000 hectares de DPF. VNF est organisée selon les directions territoriales suivantes : Bassin de la Seine, Rhône-Saône, Strasbourg, Sud-Ouest, Nord-Est, Nord-Pas-de-Calais, Centre Bourgogne. D'après les données collectées par le CEREMA, VNF a réalisé 746 opérations de dragage entre 2011 et 2017. Pour une année donnée, ce nombre varie entre 70 en 2012 et 187 opérations en 2016.

CNR gère et exploite 400 km de digues, 18 sites industriels et portuaires, 19 écluses (dont 5 de plaisance), 19 barrages, 49 centrales hydroélectriques, 27 000 hectares de domaine concédé (14 000 ha de fleuve + 13 000 ha terrestres) et dispose de 330 km de voies navigables ou non sur le Rhône et ses affluents : Saône, Ain, Durance, Petit Rhône, Isère, Drôme, Ardèche et Gard. La CNR est le deuxième opérateur en nombre d'opérations de dragage avec 149 opérations sur la période 2011-2017. Le nombre d'opérations sur une année se situe entre 17 en 2011 et 26 en 2014.

Les données concernant les dragages sur la période 2011-2017 sont disponibles uniquement pour les quatre gestionnaires qui ont répondu à l'enquête (*i.e.* VNF, CNR, GPMR, et Port de Paris). Ainsi, 953 opérations de dragage ont été recensées sur la période pour un volume dragué total déclaré de 12 418 160 m³. Sur une année, ce volume varie de 951 434 m³ en 2012 à 2 466 387 m³ en 2016.

Le volume moyen dragué par an sur la période est donc de 1 774 022 m³, alors que le volume moyen par opération de dragage est de 13 030 m³. Comme le montre l'illustration suivante (*i.e.* Figure 5), les volumes dragués sur la période ne sont pas équitablement répartis entre les différents gestionnaires. La CNR (1^{er} opérateur avec 4 817 296 m³ et un volume moyen par opération de 32 330 m³) et le GPMR (2^{ème} opérateur avec 4 468 886 m³ et un volume moyen par opération de 212 804 m³) représentent seulement 18 % des opérations de dragage mais, à eux deux, 75 % des volumes totaux dragués. À l'inverse, VNF qui représente 78 % des opérations comptabilisées ne compte que pour 25 % du volume total (soit 3 036 449 m³, et un volume moyen par opération de 4 070 m³). Port de Paris est le gestionnaire qui a dragué le plus faible volume avec 95 529 m³ au total, et un volume moyen par opération de dragage de 2 581 m³.

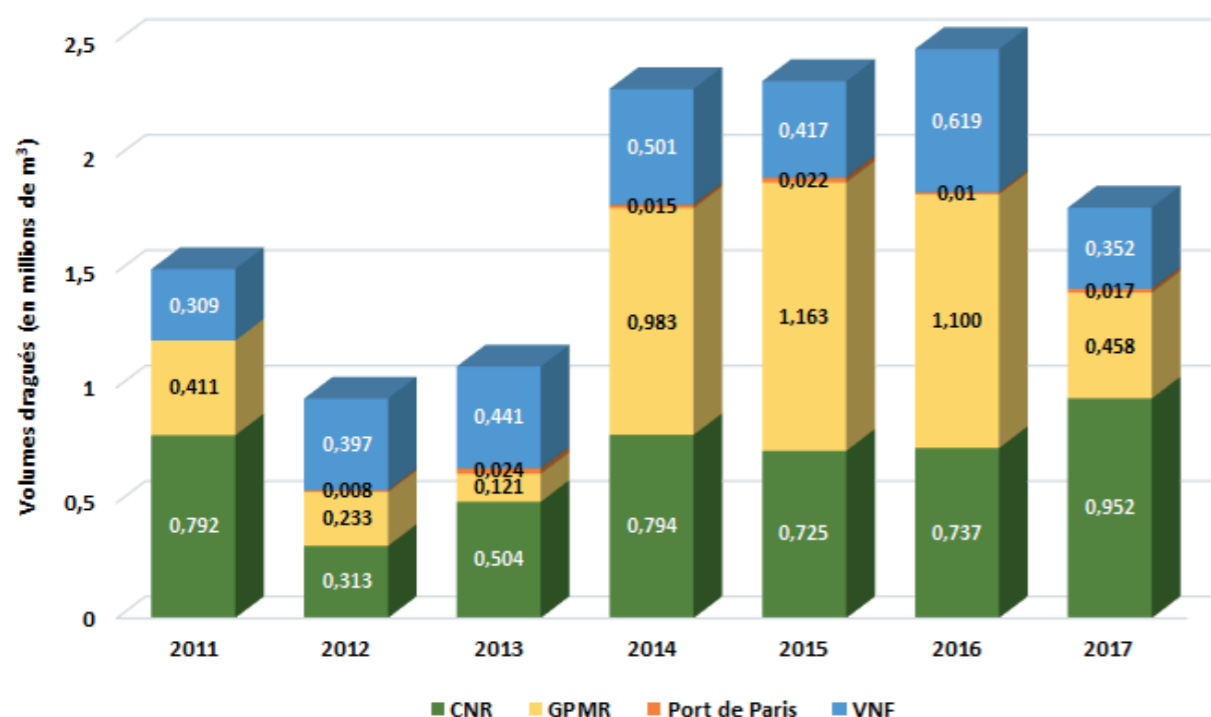


Figure 5 : Volumes dragués par année, répartis selon les gestionnaires (source CEREMA)

Concernant les types de dragages mis en œuvre, il ressort de l'enquête que les dragages d'entretien sont très largement majoritaires chez les différents opérateurs en nombre et également en volumes. Le GPMR est un cas particulier car les volumes dragués sur ses opérations d'investissement dépassent ceux de ses dragages d'entretien en raison de l'importance des volumes générés par la création de ses nouvelles infrastructures.

N.B. : Précisons que l'entreprise publique EDF (« Electricité De France ») est également un gestionnaire français important d'opérations de dragage en milieu fluvial, avec un volume annuel, répartis sur une dizaine d'opérations, de l'ordre de 0.5 million de m³ de sédiment dragué (dont environ 8% doivent être gérés à terre). En termes de caractéristiques, EDF exploite et entretient 433 installations hydroélectriques, 50 000 ha de retenues et 34 000 ha de foncier concédé ou privé.

Concernant les techniques de dragage mises en œuvre en milieu fluvial, celles-ci sont similaires aux dragages en milieu marin avec l'utilisation, en fonction du contexte (*i.e.* hauteur d'eau et courant, caractéristiques des sédiments et devenir, contexte environnemental), de dragues mécaniques (depuis la berge ou sur un ponton flottant) ou de dragues hydrauliques (aspiration des sédiments sous forme de boue liquide au moyen d'une pompe centrifuge à travers un long tube à embout appelé « élinde »).

L'enquête réalisée a permis de recenser 95% des opérations de dragage réalisées sur la période (901 / 953 opérations). La technique majoritaire est le dragage mécanique, utilisé dans 732 opérations (soit 81% des opérations comptabilisées), cependant celle générant les plus larges volumes de sédiment dragué est la technique hydraulique (57% des volumes dragués). En moyenne sur la période étudiée, un dragage mécanique traite un volume de 5 313 m³ de sédiment, alors qu'un dragage hydraulique correspond à un volume de 46 815 m³. Cette différence s'explique par le fait que la CNR et le GPMR utilisent en majorité la technique hydraulique et que ces gestionnaires génèrent de grands volumes en peu d'opérations, alors que VNF effectue beaucoup d'opérations de faibles volumes via majoritairement du dragage mécanique.

N.B. : La technique de chasse doit également être mentionnée. Elle consiste à remobiliser lors des crues une partie des sédiments accumulés dans les retenues d'eau. Ces opérations, économiquement intéressantes, sont encadrées réglementairement notamment en termes de conditions de débit et de seuils de qualités à respecter. L'évaluation suite aux chasses des flux contaminants sur les milieux aval et le milieu marin à proximité des estuaires doit être poursuivie et améliorée afin de pouvoir en apprécier les conséquences environnementales.

Concernant les moyens de transports utilisés pour évacuer les sédiments dragués, il ressort qu'un dragage hydraulique sera généralement suivi d'une remise en suspension dans l'eau ou d'une évacuation par conduite. Pour un dragage mécanique, les sédiments seront généralement transportés par barge et éventuellement par route selon la distance avec le centre de dépôt. Les résultats de l'enquête CEREMA sur 87% des opérations prises en compte, révèlent qu'en terme de volume transporté, la drague autoportée est le moyen de transport majoritaire (46% des volumes dragués). Néanmoins cette méthode est utilisée exclusivement par le GPMR, et ne compte que pour 4% en nombre des opérations de dragage. La technique la plus souvent utilisée en nombre d'opérations est la barge (61% des dragages), mais cela ne représente que 25% des volumes dragués. Sont également utilisés : la conduite de refoulement (23% des volumes, 15% des opérations de dragage), le transport routier (4% des volumes, 15% des opérations de dragage), ainsi que la combinaison transport routier et transport fluvial (1% des volumes, 5% des opérations de dragage). Seul le GPMR utilise les dragues autoportées (et exclusivement), la conduite de refoulement est une technique utilisée uniquement par la CNR, alors que VNF représente près de 90 % des opérations de dragage « Chaland, Barge ».

Enfin, concernant la qualité des sédiments dragués et leur destination sur la période 2011-2017, il ressort de l'enquête que 87% des sédiments fluviaux concernés sont classés comme déchets inertes (voir méthodologies de classement dans la suite du document). La CNR et le GPMR ne déclarent que des sédiments inertes, alors que VNF et Port de Paris déclarent une répartition globale quasi-homogène de sédiments inertes et de sédiments non-inertes non dangereux. Aucun sédiment dangereux n'a été recensé dans cette étude sur la période.

Les techniques de gestion identifiées sont divisées en deux catégories, la gestion en eau et la gestion à terre. La gestion en eau concerne le clapage, la remise en suspension et la restitution au fleuve (technique utilisée uniquement sur le Rhône) ; la gestion à terre concerne la valorisation des déblais dans la filière granulat, le remblaiement de carrières/gravières, la mise en dépôt ou encore le renforcement de berges. Pour les sédiments inertes, la technique qui représente le volume le plus important est le remblai de carrière/gravière. Les techniques de gestion par voie d'eau, bien que représentant 23 % des opérations de dragage effectuées, représentent 48 % des volumes inertes gérés. Pour les sédiments non inertes non dangereux, sur 77 opérations renseignées, les destinations principales sont le clapage et la mise en dépôt. Les techniques de gestion en eau et à terre sont utilisées dans des proportions similaires mais la gestion à terre concerne des volumes plus importants.

1.2. Cadre réglementaire des opérations de dragage

1.2.1) Sédiments d'origine marine ou estuarienne

Les opérations de dragage sont soumises aux procédures d'Autorisation ou de Déclaration au titre de la Loi sur l'Eau, suivant les dangers qu'ils présentent et la gravité de leurs effets sur la ressource en eau et les écosystèmes aquatiques (articles L.214-1 à L.214.6 du Code de l'Environnement).

Pour les sédiments marins et estuariens, les conditions selon lesquelles le dragage est soumis à Autorisation (A) ou Déclaration (D) sont précisées dans l'article R.214-1, rubrique 4.1.3.0 du Code de l'Environnement : « Dragage et/ou rejet y afférent en milieu marin » et s'appuient sur la composition chimique des rejets et sédiments ; les quantités à prélever ; la localisation des sédiments à draguer et la façade maritime concernée.

La demande d'Autorisation (rédigée selon les termes de l'article R. 214-6 du code de l'environnement) ou de Déclaration (rédigée selon les termes de l'article R. 214-32 du code de l'environnement) de dragage, qui présente de façon globale l'ensemble du projet de dragage (composition chimique des sédiments à draguer, quantités à prélever, localisation des sédiments à draguer et façade maritime concernée, objet du dragage, choix des techniques utilisées, exutoires disponibles, évaluation des impacts du projet sur l'environnement, évaluation des incidences Natura 2000, enquête publique,...) est déposée pour avis et validation à un unique service instructeur par le maître d'ouvrage. Sur la base de la proposition qui lui est faite, où toutes les possibilités sont envisagées, le service instructeur prononce sa décision et valide ou non le dossier de dragage.

L'instruction des dossiers de demande est assurée par le Préfet de Région ou de Département et leurs services techniques dont la police de l'eau (hébergés au sein de la DDTM (Direction Départementale des Territoires et de la Mer) ou de la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement).

Le maître d'ouvrage est la personne, physique ou morale, en charge de l'opération de dragage, qui a la responsabilité du bon respect des procédures règlementaires liées à sa mise en œuvre.

En France, les maîtres d'ouvrage sont, en fonction du mode de gestion administratif de la zone à draguer (*i.e.* gestion directe ou concédée) : les Autorités portuaires (Collectivités territoriales, Syndicats mixtes, Marine Nationale, Etat (GPM)) ; les Chambres de commerce ou des opérateurs privés.

CARACTÉRISATION INITIALE

La composition chimique des sédiments à draguer est comparée aux niveaux règlementaires* N1 et N2 (proposés par le groupe de travail GEODE et validés par le ministère) de concentration des contaminants (métaux, HAP, PCB, TBT) définis initialement par l'arrêté du 14 juin 2000, abrogé depuis le 31 juillet 2008 et remplacé par l'arrêté du 9 août 2006 complété par les arrêtés du 23 décembre 2009, 8 février 2013, 17 juillet 2014 et 30 juin 2020 relatifs aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse des rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R214-1 du Code de l'Environnement.

La circulaire d'application N°2000-62 du 14 juin 2000, non parue au journal officiel, précise l'interprétation des résultats, dans le cadre de l'immersion des sédiments :

- "Au-dessous du niveau N1, l'impact potentiel est en principe jugé d'emblée neutre ou négligeable"
- "Entre le niveau N1 et N2, une investigation complémentaire peut s'avérer nécessaire en fonction du projet considéré et du degré de dépassement du niveau N1"
- "Au-delà de N2, une investigation complémentaire est généralement nécessaire car des indices notables laissent présager un impact potentiel négatif de l'opération. Il faut alors mener une étude spécifique portant sur la sensibilité du milieu aux substances concernées, avec, au moins, un test d'écotoxicité globale du sédiment, une évaluation de l'impact prévisible sur le milieu et, le cas échéant, affiner le maillage des prélèvements sur la zone concernée".

Ces niveaux N1 et N2 (voir Tableau 1, Tableau 2, Tableau 3, et Tableau 4 suivants issus de l'Arrêté du 30 juin 2020 modifiant l'arrêté du 9 août 2006) sont, à ce jour, les seules données relatives à la qualité environnementale des sédiments de dragage.

Ils sont utilisés pour distinguer les sédiments « contaminés » des sédiments « non contaminés » ; encadrer la possibilité de leur immersion et la procédure règlementaire associée.

Tableau 1 : Niveaux relatifs aux éléments traces (en mg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2mm) – Arrêté du 30 juin 2020

ÉLÉMENTS TRACES	NIVEAU N1	NIVEAU N2
Arsenic	25	50
Cadmium	1.2	2.4
Chrome	90	180
Cuivre	45	90
Mercurure	0.4	0.8
Nickel	37	74
Plomb	100	200
Zinc	276	552

Tableau 2 : Niveaux relatifs au tributylétain (TBT) (en µg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2mm) – Arrêté du 30 juin 2020

PARAMÈTRE	NIVEAU N1	NIVEAU N2
TBT	100	400

Tableau 3 : Niveaux relatifs aux polychlorobiphényles (PCB) (en µg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm) – Arrêté du 30 juin 2020

PCB	NIVEAU N1	NIVEAU N2
PCB congénère 28	5	10
PCB congénère 52	5	10
PCB congénère 101	10	20
PCB congénère 118	10	20
PCB congénère 138	20	40
PCB congénère 153	20	40
PCB congénère 180	10	20

Tableau 4 : Niveaux relatifs aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (en µg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2 mm) – Arrêté du 30 juin 2020

HAP	NIVEAU N1	NIVEAU N2
Naphtalène	160	1130
Acénaphène	15	260
Acénaphylène	40	340
Fluorène	20	280
Anthracène	85	590
Phénanthrène	240	870
Fluoranthène	600	2 850
Pyrène	500	1 500
Benzo [a] anthracène	260	930
Chrysène	380	1 590
Benzo [b] fluoranthène	400	900
Benzo [k] fluoranthène	200	400
Benzo [a] pyrène	430	1 015
Di benzo [a, h] anthracène	60	160
Benzo [g, h,i] pérylène	1 700	5 650
Indéno [1,2,3-cd] pyrène	1 700	5 650

*** Origine des niveaux réglementaires N1-N2**

Les valeurs guides N1 et N2 ont été élaborées par le groupe de travail GEODE (groupe créé en 1990 à l'initiative de la Direction des Ports et de la Navigation Maritimes) pour satisfaire aux exigences de la convention de Barcelone de 1976 (pour la préservation de la Méditerranée) et de la commission OSPAR de 1992 (convention OSlo-PARis pour la préservation de l'Atlantique Nord-Est) concernant la gestion des sédiments dragués en milieu marin et estuarien.

L'arrêté du 14 juin 2000 (et ses modifications successives) reprend et fixe ces niveaux de références et précise leurs conditions d'utilisation.

Précisons que ces seuils **ont comme seule valeur d'offrir un encadrement réglementaire** aux choix de la destination des sédiments à draguer et à la procédure administrative associée, **mais qu'ils ne préjugent pas d'une potentielle toxicité des sédiments** (i.e. un sédiment inférieur à N1 peut néanmoins être toxique pour l'environnement et le biota).

Ces valeurs-seuils ont été élaborées différemment selon la nature des polluants :

Pour les éléments métalliques (ETM), elles se basent sur le traitement statistique des concentrations des différents métaux, mesurées lors de campagnes pluriannuelles le long du littoral français (Mer du Nord, Manche, Atlantique, Méditerranée) entre 1986 et 1990. Un graphique de répartition des concentrations en fonction du logarithme des pourcentages cumulés des mesures est établi. Les valeurs « naturelles » s'ordonnent selon une droite qui représente la distribution gaussienne des données : celles correspondant à des échantillons contaminés ne participent pas à cette distribution et s'écartent de la droite et ne sont pas retenues pour la suite. La valeur de concentration médiane est ainsi définie pour chaque élément métallique. De façon arbitraire, les niveaux N1 et N2 ont été pris égaux à, respectivement, 2 et 4 fois cette concentration médiane.

Pour les PCB, dont l'origine est uniquement anthropique, le niveau 2 a été calculé en considérant que la contamination des sédiments dragués devait garantir la consommabilité des poissons vivant au-dessus d'eux (avec un facteur de sécurité égal à 100). Le niveau 1 est arbitrairement défini comme égal à la moitié du niveau 2.

Pour les HAP, les seuils N1 et N2 sont basés à la fois sur les seuils d'effets écotoxicologiques disponibles et sur les niveaux de présence de ces contaminants dans les ports.

Pour le TBT, la modalité de définition des seuils n'a pas été trouvée. Néanmoins **les valeurs N1 et N2 définies posent question car elles sont très largement supérieures à la toxicité réelle ou supposée de ce composé** (voir en particulier les normes de qualités INERIS telle que la PNEC sédiment).

N.B. Le groupe GEODE est actuellement composé par la Direction ministérielle en charge des Ports ; la Direction ministérielle en charge de l'Eau et de la Biodiversité ; la Direction des Infrastructures du ministère de la Défense ; les GPM métropolitains et de Guadeloupe ; des services de polices de l'eau (SPEL) ; le groupement d'intérêt économique Dragages-Ports ; le Cerema ; 2 experts permanents (IFREMER et IUEM-UBO)

Deux autres paramètres importants définissent si l'opération de dragage nécessite une procédure d'autorisation ou de déclaration. Il s'agit de la quantité à prélever et de la localisation des sédiments à draguer par rapport à des zones conchylicoles ou de culture marine. Ces paramètres sont définis dans le Tableau 5 suivant, extrait de l'article R.214-1 rubrique 4.1.3.0 du Code de l'Environnement :

Tableau 5 : Conditions pour lesquelles les travaux de dragage maritime sont soumis au régime de déclaration ou d'autorisation (Code de l'Environnement)

Lieu	Volume (m ³)	Seuils de qualité		
		≤ N1	> N1 ^A , < N2	≥ N2 ^A
Indifférent	≥ 500 000	A		
Atlantique – Manche – Mer du Nord ET Rejet ≥ 1 km de conchyliculture ou cultures marines	≥ 50 000	D	A	
	< 50 000		D	
	≥ 5 000	n		
	< 5000			
Autres façades OU Rejet < 1 km de conchyliculture ou cultures marines	≥ 5 000	D	A	
	< 5000		D	
	≥ 500	n		
	< 500			

D : Déclaration ; A : Autorisation ; n : non classé.

^A : seuil franchi par au moins un des éléments.

Source : d'après R.214-1 rubrique 4.1.3.0 du Code l'Environnement.

Une distinction est ainsi faite selon les façades maritimes concernées mettant ainsi en évidence une spécificité selon la localisation des dragages

Le volume à considérer est la somme des volumes dragués au cours de 12 mois consécutifs sur un même site.

Au titre de l'article R.214-1, les dragages et les rejets qui font l'objet d'une procédure d'autorisation sont soumis à une étude d'impact* (élaborée selon Article R. 122-5 du code de l'environnement). Cette étude d'impact induit automatiquement une enquête publique* (Articles L. 123-1 à L.123-27 du code de l'environnement) pour informer le public et tenir compte de l'intérêt des tiers lors de l'élaboration du projet de dragage.

La réalisation de l'enquête publique est achevée par présentation des avis formulés en Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques (CODERST) et par la possibilité d'opposition du préfet.

D'autre part, selon l'article R. 414-19 du code de l'environnement, tout projet de dragage nécessitant une étude d'impact (donc tout projet soumis à autorisation) doit faire l'objet d'une évaluation de ses incidences* sur les sites classés Natura 2000 (qu'il soit localisé dans ou hors d'un site Natura 2000).

La procédure administrative d'autorisation du dragage est achevée, après examen et validation de l'ensemble des pièces exigées, par la signature de l'arrêté préfectoral et sa publication au Journal Officiel.

Si une zone prédéfinie doit être draguée périodiquement (i.e. dragage d'entretien), la procédure d'Autorisation de draguer est valable pour une durée maximale de 10 ans ; alors que la procédure de Déclaration n'est pas limitée dans le temps (article R.214-1 rubrique 4.1.3.0 du Code de l'Environnement). Au-delà de la durée d'autorisation (entre 6mois et 2ans avant l'expiration), une demande de renouvellement peut être formulée dans les formes prévues par les articles R.214-20 et R.214-21 du code de l'environnement. Celle-ci est soumise aux mêmes formalités que la demande initiale à l'exception de l'enquête publique. Les résultats des suivis effectués durant la période de validité de l'autorisation devront-être présentés devant le CODERST lors de l'examen de la demande de renouvellement, en présence du préfet qui prononcera la décision définitive.

*** voir les encarts exposés en suivant qui précisent les contenus de ces différentes démarches règlementaires (i.e. Etude d'impact ; Incidences Natura 2000 ; Enquête Publique).**

1.2.2) Sédiments d'origine continentale

Les opérations de dragage des sédiments continentaux sont également soumises aux procédures d'Autorisation ou de Déclaration au titre de la Loi sur l'Eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006, suivant les dangers qu'ils présentent et la gravité de leurs effets sur la ressource en eau et les écosystèmes aquatiques (articles L.214-1 à L.214.6 du Code de l'Environnement). Cette nomenclature « Loi sur l'Eau » également appelée nomenclature IOTA, désigne les Installations, Ouvrages, Travaux et Aménagements (IOTA) soumis à autorisation ou à déclaration par la législation sur l'eau.

Les conditions selon lesquelles le dragage de sédiments continentaux est soumis à Autorisation (A) ou Déclaration (D) sont précisées dans l'article R.214-1, rubriques 3.1.1.0, 3.1.2.0, 3.1.4.0, 3.1.5.0, et 3.2.1.0 du Code de l'environnement.

La rubrique 3.2.1.0 de l'article R214-1 précise le régime règlementaire en fonction des volumes de sédiment à extraire et de leur qualité (voir Tableau 7 suivant). Celle-ci doit-être évaluée au regard des seuils de contamination S1 fixés dans l'arrêté du 9 août 2006 (modifié au 30/06/2020) relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement (voir Tableau 6 suivant).

L'Arrêté du 30 mai 2008 définit 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 ».

L'arrêté précité indique que, pour programmer son opération de dragage, le gestionnaire de la voie d'eau ou de la retenue de barrage devra en préalable élaborer un dossier d'instruction qui présentera notamment :

- Le régime auquel est soumis son opération (Autorisation ou Déclaration)
- L'étude d'incidence (menée dans les conditions fixées à l'article 5 de l'arrêté du 30 mai 2008) relative à l'opération de dragage précisant la synthèse des enjeux environnementaux du site, la faisabilité de la remise dans le cours d'eau des matériaux notamment au regard de la contamination des sédiments, des effets sur les habitats aquatiques à l'aval et des conditions technico-économiques, les mesures d'évitement, de réduction ou de compensation envisagée
- Le programme d'intervention décrivant le plan de chantier prévisionnel, la destination des matériaux extraits, les éventuelles filières de traitement, etc. (Articles 6 et 9 de l'arrêté du 30 mai 2008).

Pour les dragages d'entretien, des plans de gestion doivent être définis à l'échelle d'Unités Hydrographiques Cohérentes (UHC) en lien avec les préconisations des SAGE applicables sur le territoire. Ces UHC sont des entités constituées « par une ou plusieurs voies navigables formant un ensemble cohérent en termes de gestion administrative, hydraulique, d'exploitation, de navigation et de pratiques de dragage ». Les opérations de dragage d'entretien menées à l'échelle d'une UHC sont considérées comme des opérations groupées. Elles doivent être programmées dans un plan de gestion de 5 à 10 ans soumis à déclaration ou autorisation « Loi sur l'eau » au titre de la rubrique 3.2.1.0 « entretien de cours d'eau et canaux » de la nomenclature Eau du Code de l'Environnement et validées par les services de la police de l'eau.

Les plans de gestion des opérations de dragage doivent ainsi identifier les besoins en dragages sur les années à venir (5 à 10ans) et planifier les opérations. Ils couvrent également le devenir des sédiments et identifient leurs filières de gestion. On parle ainsi de l'élaboration d'un Plan de Gestion Pluriannuel des Opérations de Dragage (PGPOD)*.

Par ailleurs, depuis le 1^{er} juin 2012, **les plans de gestion des dragages d'entretien** (i.e. PGPOD) ainsi que les **dragages d'investissement** relevant des rubriques 3.2.1.0 et 3.1.2.0 sont soumis à étude d'impact* au cas par cas. Un formulaire de demande d'examen au cas par cas doit être adressé au CGEDD (Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable) qui répondra sous 35 jours à partir du dossier réputé complet. L'absence de réponse vaut étude d'impact systématique. Tous les dossiers, qu'ils soient soumis à étude d'impact ou non doivent faire l'objet d'une enquête publique*. De même pour tout projet soumis à déclaration ou autorisation Loi sur l'eau, et pour tout projet soumis à étude d'impact, une évaluation des incidences* Natura 2000 doit être réalisée, que le projet soit ou non situé en zone Natura 2000. S'il est démontré que le projet n'a pas d'incidence, l'étude préliminaire vaut évaluation des incidences.

Que ce soit pour un dragage d'entretien ou un dragage d'investissement, à compter de la réception du dossier complet de demande de dragage par le guichet unique (i.e. police de l'eau), le CGEDD dispose de 3 mois pour publier l'arrêté d'ouverture de l'enquête publique. Suite à cette enquête publique, le dossier complet est soumis à la consultation du Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques (CODERST) avant la signature de l'arrêté préfectoral autorisant (ou refusant) le début des travaux.

Si l'autorisation est délivrée celle-ci est valable pour une durée maximale de 10 ans.

Précisons que le renouvellement d'autorisation d'un PGPOD est possible et doit être demandé 2ans avant la fin du PGPOD initial. Le contenu du dossier de la prolongation reste le même que pour la 1^{ère} autorisation (actualisé avec les résultats des suivis obtenus lors de la mise en œuvre du 1^{er} plan) et nécessite une nouvelle étude d'impact si préalablement exigée, cependant la procédure permet de s'affranchir d'une nouvelle enquête publique (Article R 214 20 du code de l'environnement).

*** voir les encarts exposés en suivant qui précisent les contenus attendus de ces différentes démarches réglementaires (i.e. PGPOD, Etude d'impact ; Incidences Natura 2000 ; Enquête Publique).**

CARACTÉRISATION INITIALE

Les seuils S1 relatifs aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 3.2.1.0 et 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement, et les conditions réglementaires pour lesquels les travaux de dragage de canaux et de cours d'eau sont soumis au régime de déclaration ou d'autorisation sont présentés dans les Tableau 6 et Tableau 7 suivants.

En cas de dépassement du seuil S1, il peut être toléré, sous réserve que les teneurs mesurées sur les échantillons en dépassement n'atteignent pas 1,5 fois les niveaux de référence S1 considérés : 1 dépassement pour 6 échantillons analysés ; 2 dépassements pour 15 échantillons analysés ; 3 dépassements pour 30 échantillons analysés ; 1 dépassement par tranche de 10 échantillons supplémentaires analysés.

Tableau 6 : Niveaux S1 relatifs aux éléments et composés traces (en mg/kg de sédiment sec analysé sur la fraction inférieure à 2mm) - Arrêté du 30 juin 2020

PARAMÈTRES	NIVEAU S1
Arsenic	30
Cadmium	2
Chrome	150
Cuivre	100
Mercure	1
Nickel	50
Plomb	100
Zinc	300
PCB totaux	0.680
HAP totaux	22.800

Tableau 7 : Régimes réglementaires en fonction de la qualité et du volume de sédiments continentaux à draguer
(Article R.214-1 du Code de l'Environnement - Rubrique 3.2.1.0)

VOLUME À EXTRAIRE (en m ³ /an)	Qualité / S1	Procédure liée (D ou A)
≤ 2000	< S1	D
≤ 2000	≥ S1	A
> 2000	Indifférent	A

D = régime administratif de Déclaration / A = régime administratif d'Autorisation

ÉLABORATION DU PLAN DE GESTION PLURIANNUEL DES OPÉRATIONS DE DRAGAGE (PGPOD)

(Source : Guide dragage VNF 2014)

1^{ère} étape : Définition et analyse de la cohérence de l'unité hydrographique d'intervention

2^{ème} étape : Diagnostic initial des milieux et bilan sédimentaire (report des principales zones de frayères, descriptif de la situation hydrobiologique, biologique et chimique ; description hydromorphologique du secteur comprenant une délimitation des principales zones d'érosion et de dépôt de sédiments ; descriptif des désordres apparents et de leurs causes, notamment dans le fonctionnement hydromorphologique du cours d'eau)

3^{ème} étape : Programme pluriannuel d'interventions des opérations (justification et localisation des travaux, calendrier prévisionnel de réalisation, moyens techniques mis en œuvre, modalités d'enlèvement des matériaux et volume prévisionnel, évaluation des impacts prévisionnels des opérations, mesures correctrices et de surveillance)

4^{ème} étape : Modalités de gestion des sédiments (devenir des sédiments déplacés, retirés ou remis en suspension dans le cours d'eau ; différentes filières envisagées et ce, en fonction du niveau de contamination global des sédiments)

5^{ème} étape : Bilan annuel et/ou à mi-parcours à élaborer dans le cadre de l'autorisation du PGPOD (dragages d'entretien) pour dresser le bilan des opérations réalisées, 1 an après les travaux ou à mi-parcours dans le cas d'une autorisation pluriannuelle de plus de 5 ans. Le bilan doit être adressé au service chargé de la police de l'eau. Le contenu du bilan est défini dans l'arrêté d'autorisation. Il est donc important de s'y référer. Toutefois il doit *a minima* reprendre les éléments suivants : localisation du (des) lieu(x) de travaux de façon précise ; dates des interventions réalisées ; volumes effectivement dragués et volumes restant le cas échéant en comparaison avec les volumes présentés dans la déclaration de travaux ; caractéristiques physico chimiques des sédiments dragués (facultatif) ; techniques de dragage utilisées (facultatif). Le devenir des sédiments dragués doit être présenté en reprenant les filières de transport et de gestion qui ont été utilisées et leurs modalités de mise en oeuvre. Synthèse des incidents sur le chantier. Bilan sur l'efficacité des travaux (Obligation réglementaire).

***CONTENU D'UNE ÉTUDE D'IMPACT**

Article R122-5 du code de l'environnement

(Fiche source : Guide dragage VNF 2014)

- Résumé non technique
- Description du projet (localisation, description des caractéristiques de l'ensemble du projet, estimation des types et des quantités de résidus et d'émissions attendus)
- Analyse de l'état initial du site et de son environnement
- Evaluation des incidences Natura 2000 (Article R.414-23)
- Analyse des effets positifs, négatifs, directs ou indirects, temporaires ou permanents du projet à court, moyen et long terme
- Analyse des effets cumulés du projet avec d'autres projets connus
- Présentation des principales solutions de substitution examinées et raisons pour lesquelles le projet présenté a été retenu
- Mesures prises en vue d'éviter, réduire ou compenser les impacts négatifs du projet
- Définition des mesures d'insertion envisagées en faveur de l'environnement et coût des mesures d'insertion
- Analyse des méthodes utilisées pour établir l'état initial et évaluer les effets du projet sur l'environnement
- Noms et qualités précises et complètes des auteurs des études
- Appréciation des impacts du projet sur l'ensemble du programme de travaux lorsqu'il est échelonné dans le temps
- Compatibilité du projet avec les documents d'urbanisme

***ÉVALUATION DES INCIDENCES NATURA 2000**

(Article R.414-23 du code de l'environnement)

(Fiche source : Guide dragage VNF 2014)

L'évaluation des incidences sur les sites Natura 2000 fait partie intégrante du dossier de demande d'autorisation et de l'étude d'impact.

Une étude des incidences sur les sites Natura 2000 doit être **ciblée** sur les habitats et espèces d'intérêt communautaire ; **exhaustive** : il s'agit d'analyser l'ensemble de l'activité et ses incidences possibles ; **proportionnée** aux enjeux de l'activité ; **conclusive** sur l'absence ou non d'incidence.

Elle doit contenir *a minima* :

- Présentation du projet et de sa localisation
- Analyse de l'état initial des habitats et des espèces comprenant :
 - le diagnostic des habitats et des espèces d'intérêt communautaire (en distinguant ceux ou celles qui sont prioritaires) dans la zone d'influence du projet sur la base des inventaires réalisés dans les DOCOB (Document d'Objectif) et FSD (Formulaire Standard de Données)
 - une cartographie des habitats et des espèces sur la base des DOCOB
- Analyse des incidences du projet présentant les effets notables, temporaires ou permanents, directs ou indirects, que les travaux peuvent avoir sur l'état de conservation des habitats naturels et des espèces qui ont justifié la désignation des sites. Cette partie devra permettre de conclure sur la significativité ou non des incidences.

Selon l'article R.122-4 du code de l'Environnement, l'étude d'impact peut valoir évaluation des incidences Natura 2000 lorsqu'elle contient les éléments exigés par l'article R.414-23 du code de l'environnement.

***ENQUÊTE PUBLIQUE**

Articles L.123-3 à L.123-19 et R.122-9 à R.122-15 du Code de l'Environnement

(Fiche source : Guide dragage VNF 2014)

Tous les projets soumis à étude d'impact doivent passer en enquête publique. L'enquête publique est une procédure ouverte à tous et sans aucune restriction qui permet au public d'être informé et d'exprimer ses appréciations, suggestions et contre-propositions sur un projet. **Sa durée doit être comprise entre 1 et 2 mois.** L'enquête publique est annoncée par arrêté préfectoral et par voie d'affichage. Elle est organisée dans la (ou les) mairie(s) concerné(es) par le projet. Un commissaire enquêteur est désigné. Il est chargé de rédiger un avis, synthèse des avis formulés par le public, afin de permettre au Préfet de décider de l'utilité publique du projet et la proportionnalité des mesures conservatoires ou compensatoires à observer.

Contenu du dossier d'enquête publique :

Les principaux éléments sont les suivants :

- L'étude d'impact et son résumé non technique + la décision et l'avis de l'AE-CGEDD (*i.e.* Autorité Environnementale - Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable)
- La mention des textes qui régissent l'enquête publique en cause et l'indication de la façon dont s'insère cette enquête dans la procédure administrative relative au projet
- La ou les décisions pouvant être adoptées au terme de l'enquête et les autorités compétentes pour prendre la décision d'autorisation ou d'approbation
- Les avis émis sur le projet, lorsqu'ils sont rendus obligatoires par la réglementation
- Le bilan de la procédure de débat public ou de concertation
- Lorsqu'aucune concertation préalable n'a eu lieu, le dossier le mentionne
- La mention des autres autorisations nécessaires pour réaliser le projet

1.3. Méthodologies de caractérisation des sédiments

1.3.1) Caractérisation avant dragage des sédiments marins/estuariens

Le préalable obligatoire à toute opération de dragage est la caractérisation physico-chimique des matériaux en place. Cette caractérisation a pour objectifs de statuer sur :

- Le cadrage réglementaire de l'opération de dragage : régime de déclaration ou d'autorisation au titre de la Loi sur l'Eau (voir § précédent)
- Le choix de la technique de dragage et les éventuelles mesures de protection à mettre en œuvre pour minimiser les impacts sur l'environnement
- Le mode de gestion des matériaux dragués

Pour réaliser la caractérisation préalable des sédiments, il est primordial de procéder à un échantillonnage pertinent et représentatif des volumes concernés par les opérations de dragage.

Dans ce but, la circulaire d'application N°2000-62 du 14 juin 2000 indique des « instructions générales d'échantillonnage et d'analyse des sédiments » permettant de donner un cadre opératoire de référence pour organiser puis affiner, le cas échéant, une analyse de sédiments. Le groupe GEODE a publié (novembre 2016) une étude intitulée : « Bonnes pratiques pour la caractérisation des matériaux en vue d'une opération de dragage et d'immersion en milieu marin et estuarien ». Par ailleurs, des fiches techniques de recommandations pour la mise en œuvre d'un plan d'échantillonnage émanant du ministère de l'environnement ont depuis été produites (CEREMA - décembre 2018).

La méthodologie proposée de mise en œuvre du plan d'échantillonnage comporte deux étapes principales :

1. L'établissement d'un zonage a priori de la qualité des sédiments réalisé à partir des caractéristiques du bassin versant et de la géomorphologie du secteur à caractériser (données historiques, bathymétrie, résultats quantitatifs et qualitatifs des investigations antérieures).
2. L'implantation des prélèvements pour la réalisation d'un échantillon représentatif du lot de sédiments à caractériser. Ces prélèvements seront à adapter en fonction du zonage réalisé lors de la première étape.

La circulaire du 14 juin 2000 identifie 3 contextes différents pour les sédiments marins ou estuariens :

1. Les zones à échanges libres qui sont caractérisées par des échanges importants de masse d'eau dus à de forts courants et/ou à une agitation importante.
2. Les zones confinées qui sont caractérisées par un faible mouvement des masses d'eau notamment les bassins portuaires fermés.
3. Les ports de plaisance pour lesquels il est tenu compte soit du volume à draguer défini pour les zones confinées, soit du nombre de bateaux. Le nombre d'échantillons à analyser correspond à la valeur la plus contraignante.

Selon ces 3 cas de figure, le nombre de prélèvements à effectuer pour correctement caractériser la zone à draguer est différent. La circulaire préconise les démarches suivantes (Tableau 8) :

Tableau 8 : Nombre de prélèvements en fonction de la situation (circulaire du 14 juin 2000)

VOLUME A DRAGUER (en m ³)	Nombre d'échantillons			Port de plaisance	
	Zone Libre (matériaux homogènes)	Zone Libre (matériaux hétérogènes)	Zone Confinée	Nombre de bateaux	Nombre d'échantillons
< 5 000	1	3	1	100	1
< 25 000	1	3	1 par 5000 m ³	< 500	2
< 100 000	2 - 3	4 - 6	5 + 1 par 25000 m ³	< 1 000	3
< 500 000	3 - 5	7 - 15	8 + 1 par 50000 m ³	> 1 000	5
< 2 000 000	6 - 10	16 - 30			
> 2 000 000	+ 4 par million de m ³ supplémentaire	+ 10 par million de m ³ supplémentaire			

N.B. : Pour les ports de plaisance, le nombre d'échantillons à analyser doit correspondre au critère le plus contraignant entre capacité d'accueil et volume à extraire.

L'établissement d'un zonage a priori permet d'adapter l'effort d'échantillonnage des sédiments en fonction de leur qualité probable (*i.e.* zone non polluée, zone intermédiaire et zone a priori polluée). Ce zonage n'influence pas le nombre d'échantillons à prélever mais permet de définir les emplacements à privilégier pour les prélèvements. Le zonage a priori est évolutif : chaque nouvelle donnée fournit une meilleure connaissance du site et permet d'améliorer la représentativité du zonage.

Pour les ports maritimes, un prélèvement de même masse est effectué par type d'activité identifiée : pêche, plaisance, avitaillement, carénage, cale de mise à l'eau, ponton, chenal, etc.

L'échantillonnage doit garantir le non mélange de sédiments de qualités différentes. La préparation, le conditionnement et la conservation des échantillons prélevés doivent permettre d'assurer la préservation et la traçabilité des échantillons. Les lignes directrices pour la préparation des échantillons, leur conditionnement et leur conservation sont détaillées dans la norme NF EN 16179.

Afin d'assurer la représentativité de l'échantillon à analyser par rapport à l'environnement originel un minimum de 3 points de prélèvement (réplicats) par site est préconisé. Ceci permet en outre d'obtenir un volume de sédiment suffisant pour garantir la faisabilité des analyses physicochimiques et si besoin écotoxicologiques.

Il est conseillé de prélever, si possible, des répliqués de sédiments de même nature et en quantités équivalentes. Il est également recommandé de réaliser le prélèvement sur l'intégralité de l'épaisseur de sédiments à draguer afin de moyenner les différents épisodes éventuels de contamination survenus sur un même point. En cas d'échantillonnage par carottage, on procédera de la même manière s'il est possible d'obtenir trois carottes pour chaque station, en prélevant les échantillons élémentaires au sein de la même strate sédimentaire homogène.

1.3.2) Analyses à réaliser pour la caractérisation des sédiments marins/estuariens

La méthode de caractérisation recommandée par la circulaire d'application N°2000-62 du 14 juin 2000 comporte 3 phases :

- **Phase I** : Propriétés physiques pour anticiper le comportement des sédiments pendant les opérations de dragage et d'élimination des matériaux : quantité des matériaux à draguer, granulométrie (% sable, vase, argile), % de matières sèches, densité, teneur en Al sur la fraction <2mm, teneur en COT sur la fraction <2mm.

Selon ces résultats, les matériaux de dragage sont susceptibles d'être exemptés des autres phases d'analyse s'ils satisfont à l'un des 3 critères suivant :

- Ils sont composés de matériaux géologiques jusqu'alors intacts
- Ils sont presque exclusivement composés de sable, gravier ou roche
- Le milieu dans lequel ils se trouvent se caractérise par l'absence de source appréciables de pollution ce qui doit être étayé par des analyses en micropolluants datant de moins de 3 ans.

Les matériaux de dragage ne répondant pas à l'un de ces critères doivent faire l'objet d'une caractérisation plus poussée, afin de pouvoir apprécier leurs effets potentiels sur le milieu marin.

- **Phase II** : Propriétés chimiques : La liste des paramètres chimiques à rechercher est précisée dans l'arrêté du 30 juin 2020. Ils concernent les teneurs présentes dans le sédiment en Eléments Traces Métalliques (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), Tributylétain (TBT), Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), Polychlorobiphényles (PCB).

Selon le contexte local, il peut s'avérer pertinent d'évaluer la présence de nutriments (azote et phosphore) et la qualité bactériologique des matériaux (germes).

- **Phase III*** (voir remarque en suivant) : Caractérisation biologique : Dans certain cas de dépassement du niveau N2 (ou même N1 si exigé), les impacts potentiels des matériaux de dragage devant être immergés peuvent justifier des caractérisations biologiques en complément de la caractérisation physique et chimique. Les analyses biologiques seront à effectuer sur des espèces représentatives suffisamment sensibles à la toxicité potentielle des sédiments (ex. Tests Ifremer sur larves d'huitres, larves d'oursin, développement embryonnaire d'œufs fécondés de bivalves, inhibition de la luminescence de *Vibrio fischeri*, etc.) et doivent permettre de déterminer les toxicités aiguë et chronique, ainsi que le risque de bio-accumulation.

Le choix des méthodes d'analyse biologique portera de préférence sur des méthodes existantes normalisées et validées. Ces analyses peuvent utilement être complétées par des observations des communautés benthiques sur le terrain.

Enfin, toujours en fonction du contexte local et des informations disponibles, des analyses complémentaires sur les sédiments à draguer peuvent être recommandées, par exemple la quantification de la radioactivité, la recherche de substances chimiques spécifiques (ex. pesticides, dioxines, etc.), etc.

***Remarque liée à la mise en œuvre de la phase III :**

Il est préconisé dans la réglementation de procéder à une évaluation du risque biologique « *dans certains cas de dépassement du seuil GEODE N2* ». Or comme nous l'avons présenté précédemment (et même si les seuils associés aux PCB et HAP résultent d'un compromis entre niveaux de présence de ces contaminants dans les sédiments portuaires et données écotoxicologiques), ces seuils ne préjugent pas suffisamment d'une potentielle toxicité des sédiments. L'exemple du projet SEDIVALD (cf. partie Fiches Projets), qui a révélé que certains sédiments présentant des teneurs en contaminants toutes inférieures au seuil N1, provoquaient néanmoins une réponse écotoxique (attribuée ultérieurement à la présence d'un pesticide, non recherché en routine), est révélateur de cette incohérence. Ce constat met en évidence la nécessité d'améliorer l'évaluation préalable des sédiments à draguer pour définir leur devenir par l'ajout de tests écotoxicologiques (normés) dès la phase II d'évaluation, sur des espèces représentatives et suffisamment sensibles à la toxicité potentielle des sédiments, en prenant en compte les toxicités aiguës et chroniques et les risques liés à la bioaccumulation.

Précisons également qu'un outil logiciel d'évaluation des risques liés à l'immersion des déblais de dragage des ports maritimes (Géodrisk, 2004) avait été élaboré en ce sens par l'IFREMER et GEODE pour différencier les sédiments dragués selon leur niveau de contamination, leur toxicité potentielle et mesurée, et apporter ainsi un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires. Cependant, en pratique et faute de mises à jour liées aux évolutions réglementaires, il n'est pas utilisé.

Le respect de la méthodologie de caractérisation avant dragage donne le cadre juridique et opérationnel du dragage et permet de définir la destination des sédiments dragués. Si l'échantillonnage réalisé et les résultats d'analyse obtenus démontrent une absence d'impact sur le milieu maritime (ou à défaut un impact considéré comme acceptable) alors les sédiments retirés seront considérés aptes à une gestion marine, et ils pourront être rejetés en mer sur des sites d'immersion définis par arrêté préfectoral.

Dans le cas contraire, si, suite à leur caractérisation et aux éventuelles études complémentaires, les sédiments ne sont pas aptes à une gestion marine, ils sont alors orientés vers une gestion terrestre où ils prendront le statut de déchet.

N.B. : Pour simplifier la prise de décision concernant les possibilités d'immersion, et pour respecter les objectifs définis dans la Loi du 20 juin 2016 pour l'économie bleue qui prévoit qu'à partir du 1^{er} janvier 2025 « le rejet en mer des sédiments et résidus de dragage pollués est interdit », de nouveaux seuils, dit **seuils N3**, doivent être prochainement proposés (et avec une révision probable de l'ensemble des seuils existants). Les modalités d'élaboration de ces seuils, qui interdiront l'immersion, n'ont pas encore été précisées (ex. prise en compte de la toxicité marine ? étude de l'effet cocktail ? analyse de la biodisponibilité et bioaccumulation ? ...).

1.3.3) Caractérisation avant dragage des sédiments continentaux

Pour les sédiments fluviaux, l'arrêté du 30 mai 2008 précité indique que les échantillons de sédiments doivent être représentatifs du contexte local. En particulier, leur nombre et les modalités d'obtention doivent être cohérents avec la surface concernée (incluant le volume et l'épaisseur), la nature granulométrique et physico-chimique du sédiment (homogénéité). Afin d'assurer la représentativité de l'échantillon à analyser par rapport à l'environnement originel un minimum de 3 points de prélèvement (réplicats) par site est également préconisé. Il est également recommandé de réaliser le prélèvement sur l'intégralité de l'épaisseur de sédiments à draguer.

Lors de la réalisation du prélèvement, une coupe verticale de l'épaisseur du dépôt à draguer est effectuée en mentionnant les informations suivantes :

- La localisation du prélèvement
- La texture des différentes strates sédimentaires (sables, graviers, vase) et leur épaisseur
- Les propriétés organoleptiques des strates sédimentaires (texture, couleur, odeur).

La stratégie d'échantillonnage suivante (Figure 6), retenue par VNF, peut-être mise en œuvre :

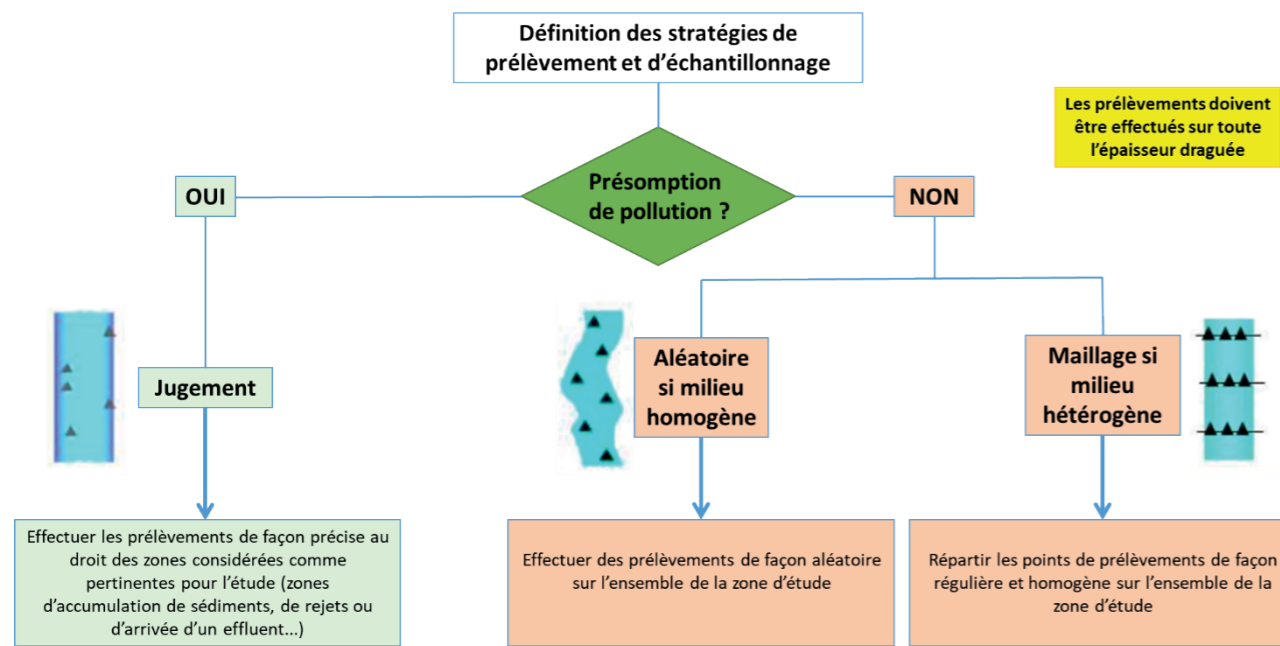


Figure 6 : Stratégie d'échantillonnage (Source d'après VNF, 2012)

Selon les recommandations établies par VNF (source « Guide dragage VNF 2014 ») : « le nombre d'échantillons à réaliser sera différent que l'on soit au niveau du diagnostic initial relatif au PGPOD ou à l'opération de dragage elle-même (entretien ou investissement).

À l'échelle du PGPOD, un maillage large est établi en fonction de la connaissance historique du site, d'une présomption de pollutions ou d'enjeu liés au devenir des sédiments. Un minimum de 10 à 12 échantillons pour un linéaire de 200 km est à réaliser.

À l'échelle de l'opération de dragage, le nombre d'échantillons à former est le suivant :

- En contexte rural, si le volume estimé de sédiments dragués est inférieur à 25 000 m³, alors on estime le nombre d'échantillons à 1 par tranche de 10 000 m³ en arrondissant toujours au nombre supérieur. Pour un volume supérieur à 25 000 m³, le nombre d'échantillons est estimé au minimum à 3 échantillons puis 1 échantillon par tranche de 20 000 m³
- En contexte urbain ou industriel, si le volume estimé de sédiments dragués est inférieur à 25 000 m³, alors on estime le nombre d'échantillons à 1 par tranche de 5000m³. Pour un volume supérieur à 25 000 m³, il faut prévoir au minimum 5 échantillons puis 1 échantillon par tranche de 10 000 m³ »

Le schéma résumant le nombre d'échantillons à constituer est présenté à la Figure 7 suivante :

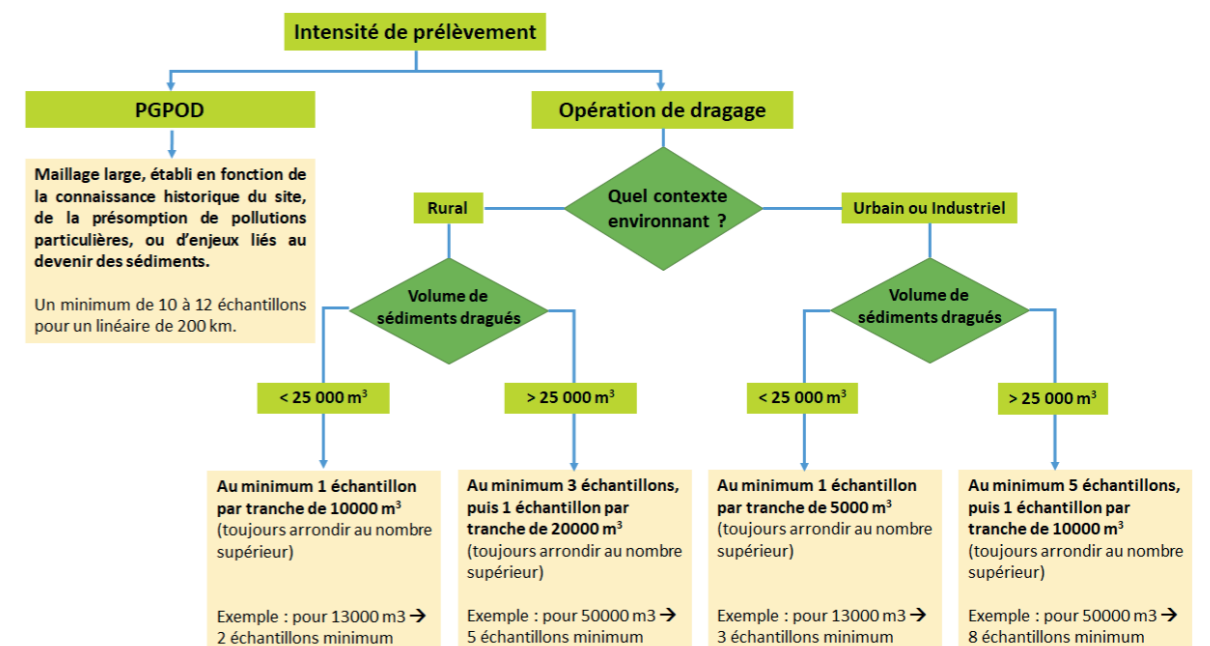


Figure 7 : Nombre d'échantillons à prélever en fonction du contexte (Source « Guide dragage VNF 2014 »)

1.3.4) Analyses à réaliser pour la caractérisation des sédiments continentaux

Les prescriptions générales applicables aux opérations d'entretien de cours d'eau ou canaux soumis à autorisation ou à déclaration sont données dans l'Arrêté du 30 mai 2008. Les articles 4 et 5 en particulier précisent :

« Le programme intégré dans le dossier d'autorisation ou déclaration définit les interventions prévues sur la base d'un diagnostic de l'état initial des milieux et d'un bilan sédimentaire faisant ressortir les déséquilibres, en référence à l'objectif de bon état ou de bon potentiel fixé pour l'unité hydrographique concernée.

Cet état initial des lieux comporte :

- Une étude des principales zones de frayères
- Un descriptif de la situation hydrobiologique, biologique et chimique
- Une description hydromorphologique du secteur comprenant une délimitation des principales zones d'érosion et de dépôt de sédiments
- Un descriptif des désordres apparents et de leurs causes, notamment dans le fonctionnement hydromorphologique du cours d'eau. »

La réglementation prévoit donc qu'avant d'intervenir sur un cours d'eau pour un dragage d'entretien ou un dragage d'investissement, il faut réaliser un « diagnostic de l'état initial des milieux et un bilan sédimentaire ». Cette réglementation ne précise pas en revanche, si, pour les dragages d'entretien, le diagnostic doit être effectuée lors de l'établissement du PGPOD ou avant l'opération de dragage à proprement dite. Nous pouvons citer ici VNF qui préconise, en raison du caractère dynamique du cours d'eau, d'effectuer une pré-caractérisation grossière (en termes de maillage et d'analyses) lors de l'établissement du PGPOD et d'approfondir cette caractérisation avant l'opération de dragage.

SOMMAIRE CHAPITRE 2

Le diagnostic préalable à l'établissement du PGPOD consistera à étudier, à l'échelle de l'UHC concernée par le PGPOD, la quantité et la qualité des sédiments présents ; la qualité de l'eau ; la faune et la flore présente.

Pour les sédiments, il faudra déterminer les zones et la quantité de sédiments à draguer (Cubature et Bathymétrie) sur la durée du PGPOD (5 – 10 ans), puis échantillonner les sédiments selon un maillage large (*i.e.* minimum 10 à 12 échantillons pour un linéaire de 200 km) et enfin analyser les sédiments récoltés.

Les analyses suivantes sont préconisées :

- Sur la phase solide des sédiments : granulométrie, azote Kjeldahl, phosphore total, carbone organique, perte au feu ; polluants du seuil S1 et Calcul de l'indice de contamination Q_{Sm} * (outil d'évaluation des risques qui permet d'évaluer l'effet de mélanges de polluants et de comparer les échantillons entre eux)
- Sur la phase interstitielle des sédiments : pH, conductivité, azote ammoniacal et azote total.

Pour déterminer la qualité de l'eau, les analyses suivantes seront à effectuer (sur *a minima* 3 échantillons distincts) : pH, conductivité, température, oxygène dissous, saturation en oxygène, matières en suspension, azote Kjeldahl azote ammoniacal, nitrites, nitrates, orthophosphates, phosphore total.

Enfin l'étude de la faune et la flore présente se fera sur la base d'analyses bibliographiques existantes, et en l'absence de données, le plan de gestion devra préciser qu'un inventaire sera réalisé lors de l'élaboration de la fiche d'incidence de l'opération.

Le diagnostic préalable à l'opération de dragage (d'entretien ou d'investissement) consistera, à l'échelle du site de dragage ciblé, à déterminer précisément les zones et la quantité de sédiments à draguer (Cubature et Bathymétrie) ; à échantillonner les sédiments selon un maillage fin : voir préconisations Figure 5 et Figure 6) ; à analyser les sédiments (mêmes analyses que celles réalisées à l'échelle de l'UHC du PGPOD plus celles prévues en cas de gestion à terre (voir chapitre 2 suivant : Carbone Organique Total (COT), Hydrocarbures totaux, BTEX, PCB, HAP, Analyses sur lixiviats - Critères de dangerosité HP1 à HP15 + Autres analyses selon la filière de gestion choisie).

La qualité de l'eau sur le site de dragage sera étudiée en procédant aux mêmes analyses que celles prévues lors de l'établissement du PGOD.

Enfin, il faudra pratiquer un inventaire de la faune et de la flore présente sur les zones à sensibilité particulière identifiées dans le cadre du PGPOD.

* Q_{Sm} – Indice de contamination – outil d'évaluation des risques :

$$Q_{Sm} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{S_i}}{n} \quad (\text{Équation n°1})$$

Avec :

C_i : Concentration du polluant i dans le sédiment

S_i : Valeur seuil S1 du polluant i (Arrêté du 9 août 2006)

n : Nombre de polluants mesurés

Interprétation de l'Indice de contamination : Si $Q_{Sm} < 0,5$ alors le Risque est considéré négligeable ; Si $Q_{Sm} > 0,5$ alors le Risque est considéré non négligeable et il faut vérifier la non-dangerosité (ex. via test sur *Brachionus*)

2.	OPTIONS DE GESTION DISPONIBLES SUITE AU DRAGAGE ET CADRE RÉGLEMENTAIRE	44
2.1.	Cadre réglementaire de la gestion aquatique des sédiments de dragage	44
2.2.	Cadre réglementaire de la gestion terrestre des sédiments de dragage	46

2. OPTIONS DE GESTION DISPONIBLES SUITE AU DRAGAGE ET CADRE RÉGLEMENTAIRE

2.1. Cadre réglementaire de la gestion aquatique des sédiments de dragage

Pour les sédiments marins ou estuariens, si l'échantillonnage réalisé et les résultats d'analyse des sédiments à draguer laissent présager une absence d'impact sur le milieu maritime (*i.e.* teneurs inférieures au seuil N1 ; ou à défaut, un impact considéré comme acceptable par les autorités compétentes) alors les sédiments retirés seront considérés aptes à une gestion marine, et ils pourront être immergés sur des sites de clapage définis par Arrêté Préfectoral.

Précisons que la circulaire du 6 décembre 2005 relative à l'Ordonnance n°2005-805 du 18 juillet 2005 a simplifié la procédure du permis d'immersion en instituant une procédure unique à travers l'application de la Loi sur l'Eau. Les autorisations ou déclarations délivrées vaudront permis d'immersion. Dans ce cadre, les préfets maritimes concernés doivent être formellement consultés par le préfet de département lors du dépôt de dossier de déclaration ou d'autorisation donnant lieu à immersion. L'avis du préfet maritime doit être rendu, dans le cas des autorisations, avant la mise en enquête publique.

Comme indiqué au chapitre précédent, l'immersion demeure le principal mode de gestion des déblais de dragage marin en France, avec près de 85% de la quantité totale de sédiments dragués concernés pour l'année 2017 et près de 95% en 2016.

Des investigations techniques préalables sont néanmoins à mener sur le site d'immersion sélectionné pour valider ce mode de gestion. En particulier, il convient :

- De renseigner de façon précise la localisation du site sur une carte marine
- D'analyser les conditions climatiques, la direction des vents et de la houle selon les saisons ; de procéder à un diagnostic de l'hydrodynamisme de la zone pour anticiper la dispersion des sédiments avec le cas échéant une modélisation hydrodynamique
- D'étudier les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du fond marin du site d'immersion et de la zone d'impact si dispersion (nature des fonds, granulométrie, topographie, inventaire de la faune benthique, des algues)
- D'analyser les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de la colonne d'eau
- De situer la proximité de zones présentant une importance scientifique ou biologique particulière (ex. : zones marines protégées, zones de pêche commerciale, zones de frai, couloirs de navigation, zones militaires interdites, zones d'extraction de matériaux, ...)

Source : « Opérations de dragages maritimes et modalités de gestion de leurs matériaux - Note technique - Cerema, 2021 »

Pour les sédiments continentaux, si les résultats d'analyse des sédiments à draguer demeurent inférieurs au seuil S1 ; ou à défaut, si l'impact présagé sur le milieu est considéré comme acceptable, alors les sédiments retirés seront aptes à une gestion aquatique (*i.e.* ils pourront être dilués dans le cours d'eau aval par remise en suspension ou clapage dans le courant (sous réserve d'un débit du cours d'eau suffisant)). La qualité des rejets dans les eaux de surface, définie par les seuils R1 et R2 (voir Tableau 9 suivant) permet de définir le régime auquel est soumis la remise en suspension ou le clapage (autorisation ou déclaration – Articles L214-1 à 3 du Code de l'environnement ; rubrique 2.2.3.0).

Si le flux total de pollution est supérieur ou égal au niveau de référence R2 pour au moins l'un des paramètres, une demande d'autorisation est à élaborer ; s'il est compris entre R1 et R2 pour au moins l'un des paramètres, le régime de la déclaration s'applique.

Selon la réglementation, la remise des sédiments dans le cours d'eau doit constituer la filière de gestion prioritaire afin de ne pas remettre en cause le mécanisme de transport naturel des sédiments et de maintenir le lit dans son profil d'équilibre. Les filières de gestion terrestres doivent donc être envisagées uniquement lorsqu'il est impossible de laisser les sédiments dans le cours d'eau.

Précisons également qu'il est nécessaire de vérifier la compatibilité de cette filière de gestion avec les orientations et dispositions des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) et éventuellement des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE).

Tableau 9 : Niveaux R1 et R2 relatifs aux éléments et composés traces, définis dans l'Arrêté du 9 août 2006 (modifié par l'arrêté du 30 juin 2020)

Paramètres	Niveau R1	Niveau R2
MES (kg/j)	9	90
DBO ₅ (kg/j)	9	60
DCO (kg/j)	12	120
Matières inhibitrices (équitox/j)	25	100
Azote Total (kg/j)	1.2	12
Phosphore Total (kg/j)	0.3	3
Composés organo-halogénés adsorbables AOX (g/j)	7.5	25
Métaux et Métalloïdes Métox (g/j)	30	125
Hydrocarbures (kg/j)	0.1	0.5

Concernant les possibilités de valorisation maritime ou fluviale, les principales filières actuellement utilisées (en plus de l'immersion ou clapage) sont le rechargement de plage et le renforcement de berges.

Pour le rechargement de plage, les sables issus des sédiments de dragage peuvent être utiles à cette filière à condition que leurs caractéristiques soient compatibles : absence de contamination, granulométrie (teneur en sable > à 75%) et couleur adaptée à la plage à recharger. Les sédiments à valoriser doivent être classés inertes (selon Arrêté du 28 octobre 2010 – remplacé par Arrêté du 12 décembre 2014) ou faire l’objet d’une étude spécifique selon la norme NF EN 12920 + A1.

Pour le renforcement de berges, aucune réglementation n’encadre encore la valorisation des sédiments en tant que matériaux alternatifs d’ouvrages maritimes ou fluviaux. Les sédiments à valoriser doivent être classés inertes, ou, a minima, respecter les seuils acceptables pour l’immersion (Seuils S1 ou N1/N2– Arrêté du 9 août 2006). Les eaux émises par l’ouvrage de valorisation doivent également respecter les seuils R1 et R2 de qualité des rejets dans les eaux de surface définis dans l’Arrêté du 9 août 2006. Par ailleurs, les caractéristiques géotechniques des matériaux mis en œuvre doivent respecter celles des matériaux classiques.

2.2. Cadre réglementaire de la gestion terrestre des sédiments de dragage

Les sédiments de dragage, qui suite à l’évaluation de leur contamination ou de leur dangerosité ne peuvent pas être immergés/remis en suspension, doivent être gérés à terre. Précisons également que certaines conditions hydrodynamiques (ex. débit de cours d’eau trop faible) peuvent également empêcher une remise en eau et obliger une gestion à terre (*i.e.* même pour des sédiments aptes à une gestion aquatique). Dans ce contexte, les sédiments sont alors considérés comme des déchets (Directive Cadre sur les Déchets du 19 novembre 2008 : Directive 2008/98/CE du Parlement Européen et du Conseil).

Selon la liste européenne des déchets, définie à l’annexe II de l’article L. 541-8 du code de l’Environnement, les sédiments (ou boues) de dragage peuvent relever des rubriques, dites « entrées miroir* », suivantes :

- 17 05 05* : Boues de dragage contenant des substances dangereuses
- 17 05 06 : Boues de dragage autres celles visées à la rubrique 17 05 05

Cette double rubrique ne permet pas de déterminer a priori le statut des sédiments dragués en tant que déchets : dangereux ou non dangereux. La vérification des 15 propriétés de danger énumérées à l’annexe I de l’article L. 541-8 du code de l’environnement (HP1 à HP15) doit donc être menée pour statuer sur chaque gisement.

Si le déchet sédiment ne répond à aucune des propriétés de danger, alors il est considéré comme étant non-dangereux (Article R. 541-8 du code de l’environnement).

La vérification du caractère dangereux des sédiments est simplifiée par le fait que les sédiments, de par leur nature, ne sont pas concernés par les propriétés HP1 (« Explosif »), HP2 (« Comburant ») et HP3 (« Inflammable »). Les propriétés HP9 (« Infectieux ») et HP15 (« Susceptible de donner naissance, après élimination, à une autre substance ») ne sont dans la pratique pas recherchées faute de méthode d’évaluation définie.

Concernant les autres propriétés, des groupes de travail pilotés par le Ministère de la Transition écologique et solidaire ont défini :

- Des seuils de concentration associés aux substances régulièrement mesurées dans les sédiments, permettant de garantir le caractère non dangereux au titre des propriétés HP4, HP5, HP6, HP7, HP8, HP10, HP11 et HP13 (INERIS/CEREMA) – voir Tableau 10 suivant
- Un protocole d’évaluation de la propriété écotoxique HP14 – voir Figure 8 suivante
- Un test spécifique pour la propriété HP12 (« Dégage des gaz toxiques ») (Test INERIS)

Ces seuils et protocoles n’ont, à ce jour, pas encore été intégrés dans les textes réglementaires

Tableau 10 : Seuils proposés pour évaluer le caractère dangereux des sédiments au titre des propriétés de danger HP 4, HP 5, HP 6, HP 7, HP 8, HP 10, HP 11, HP 13 (d’après INERIS/CEREMA)

Paramètres	Seuils permettant de garantir le caractère NON DANGEREUX d’un sédiment au titre des propriétés de danger HP 4 à 8, HP 11, HP 13 (mg/kg de matière sèche)
Arsenic	330
Cadmium	530
Chrome VI	250
Cuivre	4 000
Mercure	500
Nickel	130
Plomb	1 000
Zinc	7 230
PCB (7 congénères)	50
HAP (16 US-EPA)	500
TBT	3 000

Comme il est précisé sur le schéma suivant (Figure 8), la recherche du caractère écotoxique HP14 n’est à réaliser que lorsqu’un unique paramètre dépasse les niveaux de référence associés au sédiment S1 (ou N1 pour le TBT) définis dans l’Arrêté du 9 août 2006 révisé.

Ainsi, si le déchet sédiment ne répond à aucune des 15 propriétés de danger précitées, alors il sera considéré non-dangereux (Article R. 541-8 du code de l’environnement). Inversement, une réponse positive à une (ou plusieurs) des propriétés de danger classera automatiquement le sédiment dans la catégorie des déchets dangereux.

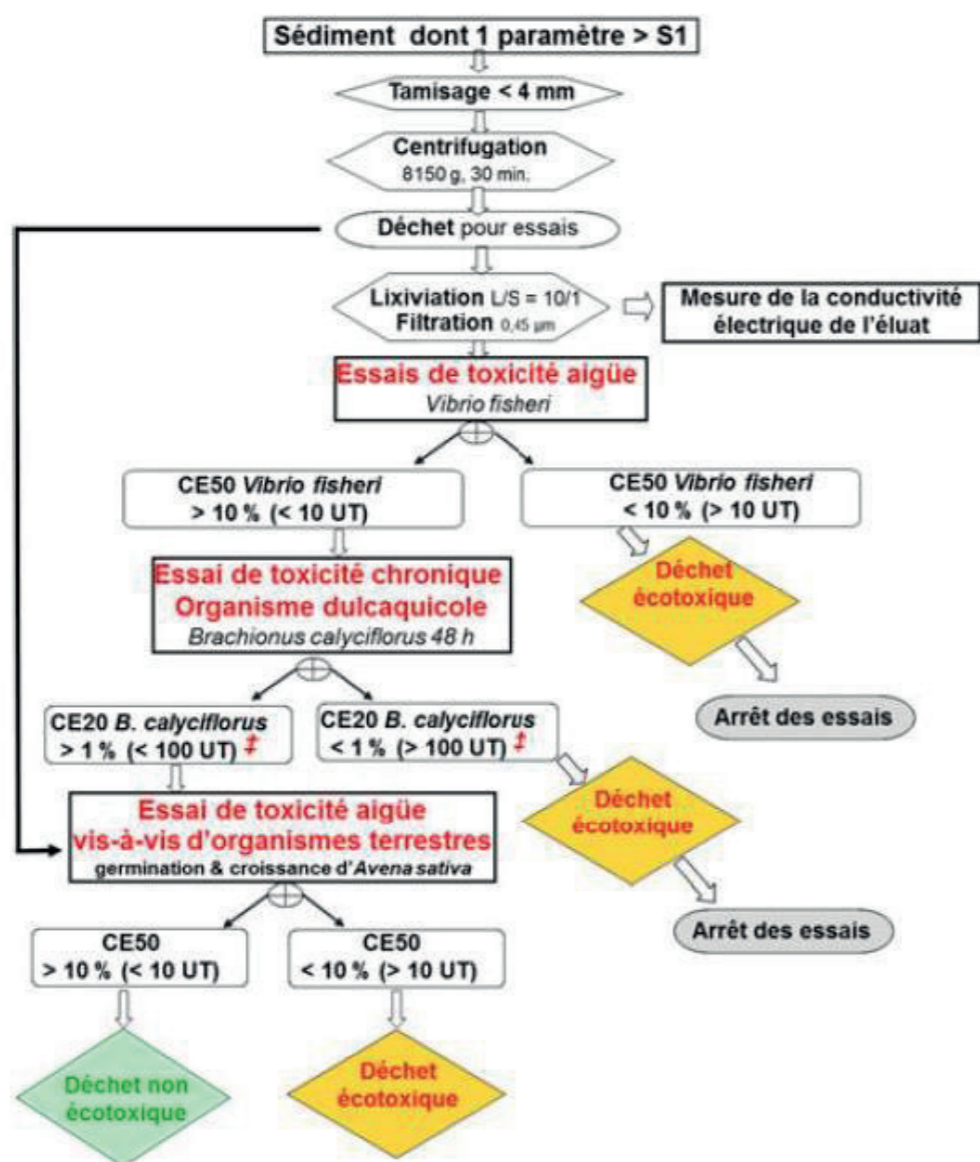


Figure 8 : Protocole d'évaluation de l'écotoxicité (propriété HP 14) des sédiments marins et continentaux destinés à une gestion à terre (1er octobre 2009)

Pour poursuivre l'évaluation du déchet sédiment (marin ou continental) et définir ses options de gestion à terre, il faut déterminer s'il appartient à la catégorie des déchets inertes. Pour cela, il faut vérifier s'il respecte les teneurs en contenu total et lixiviable définies dans l'arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux installations de stockage de déchets inertes (qui a remplacé l'arrêté du 28 octobre 2010). Si le sédiment ne respecte pas les valeurs définies (Cf. Tableau 11), alors il sera classé comme déchet non-inerte.

Pour mémoire, un déchet inerte est, au sens de la réglementation telle que définie dans l'Article R541-8 du code de l'environnement : « Tout déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine ».

Lorsque le déchet n'est pas valorisable (ex. déchet dangereux) ou n'est plus valorisable (i.e. déchet ultime après extraction des fractions valorisables), le seul exutoire est l'élimination en installation de stockage des déchets (ISD).

En France, il existe 3 principaux types d'installation de stockage des déchets :

- 1) ISDI : Installation de Stockage de Déchets Inertes (usuellement : « Décharge de Classe 3 »)
- 2) ISDND : Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (« Décharge de Classe 2 »)
- 3) ISDD : Installation de Stockage de Déchets Dangereux (« Décharge de Classe 1 »)

Chacune de ces installations disposent de critères d'admission propres basées sur une évaluation du contenu total et lixiviable du déchet (obtenu selon le test normalisé NF EN 12457-2). Le classement du déchet sédiment (Dangereux/Non-Dangereux/Inerte) est d'une importance capitale car c'est ce qui déterminera les modes de gestion disponibles.

- Pour les **Installations de Stockage de Déchets Inertes (ISDI)**, les critères sont définis dans l'Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes et sont présentés dans le Tableau 11 suivant :

Tableau 11 : Critères à respecter pour définir si un déchet est inerte (Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes)

➤ Paramètres à analyser en contenu total et valeurs limites à respecter :

Paramètre	Valeur limite à respecter exprimée en mg/kg de déchet sec
COT (carbone organique total)	30 000
BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes)	6
PCB (polychlorobiphényles 7 congénères)	1
Hydrocarbures (C10 à C40)	500
HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques)	50

➤ Paramètres à analyser lors du test normalisé de lixiviation (selon NF EN 12457-2) et valeurs limites à respecter:

Paramètre	Valeur limite à respecter exprimée en mg/kg de matière sèche
As	0,5
Ba	20
Cd	0,04
Cr total	0,5
Cu	2
Hg	0,01
Mo	0,5
Ni	0,4
Pb	0,5
Sb	0,06
Se	0,1
Zn	4
Chlorure ⁽¹⁾	800
Fluorure	10
Sulfate ⁽¹⁾	1 000 ⁽²⁾
Indice phénols	1
COT (Carbone Organique Total) sur éluat ⁽³⁾	500
FS (Fraction Soluble) ⁽¹⁾	4 000

(1) si le déchet ne respecte pas au moins une des valeurs fixées pour le chlorure, le sulfate ou la fraction soluble, le déchet peut être encore jugé conforme aux critères d'admission s'il respecte soit les valeurs associées au chlorure et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble. (2) Si le déchet ne respecte pas cette valeur pour le sulfate, il peut être encore jugé conforme aux critères d'admission si la lixiviation ne dépasse pas les valeurs suivantes : 1 500 mg/L à un ratio L/S = 0,1 L/kg et 6 000 mg/kg de matière sèche à un ratio L/S = 10 L/kg. Il est nécessaire d'utiliser l'essai de percolation NF CEN/TS 14405 pour déterminer la valeur lorsque L/S = 0,1 L/kg dans les conditions d'équilibre initial ; la valeur correspondant à L/S = 10 L/kg peut être déterminée par un essai de lixiviation NF EN 12457-2 ou par un essai de percolation NF CEN/TS 14405 dans des conditions approchant l'équilibre local. (3) Si le déchet ne satisfait pas à la valeur limite indiquée pour le COT sur éluat à sa propre valeur de pH, il peut aussi faire l'objet d'un essai de lixiviation NF EN 12457-2 avec un pH compris entre 7,5 et 8,0. Le déchet peut être jugé conforme aux critères d'admission pour le COT sur éluat si le résultat de cette détermination ne dépasse pas 500 mg/kg de matière sèche.

N.B. : ISDI+ : L'article 6 de l'arrêté du 12/12/2014 précité, prévoit une adaptation réglementaire : « Concernant les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 (i.e. stockage définitif de déchets sédiments), après justification particulière et sur la base d'une étude visant à caractériser le comportement d'une quantité précise d'un déchet dans une installation de stockage donnée et son impact potentiel sur l'environnement et la santé, les valeurs limites à respecter par les déchets visés par l'annexe II peuvent être adaptées par arrêté préfectoral. Cette adaptation pourra notamment être utilisée pour permettre le stockage de déchets dont la composition correspond au fond géochimique local. En tout état de cause, les valeurs limites retenues dans l'arrêté sur la lixiviation ne peuvent pas dépasser d'un facteur 3 les valeurs limites mentionnées en annexe II.

Cette adaptation des valeurs limites ne peut pas concerner la valeur du carbone organique total sur l'éluat. Concernant le contenu total, seule la valeur limite relative au carbone organique total peut être modifiée dans la limite d'un facteur 2. » - voir Tableau 12 suivant.

Tableau 12 : Critères d'admission des déchets en ISDI+

Article 6 de l'arrêté du 12/12/2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées)

➤ Paramètres à analyser en contenu total et valeurs limites à respecter :

Paramètre	Valeur limite à respecter en contenu total (en mg/kg de matière sèche)
COT (carbone organique total)	60 000
BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes)	6
PCB (polychlorobiphényles 7 congénères)	1
Hydrocarbures (C10 à C40)	500
HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques)	50

➤ Paramètres à analyser lors du test normalisé de lixiviation (selon NF EN 12457-2) et valeurs limites à respecter:

(Tableau 12 – suite)

Paramètre	Valeurs limites à respecter en contenu lixiviable (en mg/kg de matière sèche) (Selon test normalisé de lixiviation - NF EN 12457-2)
As	1.5
Ba	60
Cr total	1.5
Cu	6
Hg	0,03
Mo	1.5
Ni	1.2
Pb	1.5
Sb	0,18
Se	0,3
Zn	12
Chlorure (1)	2400
Fluorure	30
Sulfate (1)	3 000 (2)
Indice phénols	3
COT (carbone organique total) sur éluat (3)	500
FS (fraction soluble) (1)	12 000

(1) Si le déchet ne respecte pas au moins une des valeurs fixées pour le chlorure, le sulfate ou la fraction soluble, le déchet peut être encore jugé conforme aux critères d'admission s'il respecte soit les valeurs associées au chlorure et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble. (2) Si le déchet ne respecte pas cette valeur pour le sulfate, il peut être encore jugé conforme aux critères d'admission si la lixiviation ne dépasse pas les valeurs suivantes : 1 500 mg/l à un ratio L/S = 0,1 l/kg et 6 000 mg/kg de matière sèche à un ratio L/S = 10 l/kg. Il est nécessaire d'utiliser l'essai de percolation NF CEN/TS 14405 pour déterminer la valeur lorsque L/S = 0,1 l/kg dans les conditions d'équilibre initial ; la valeur correspondant à L/S = 10 l/kg peut être déterminée par un essai de lixiviation NF EN 12457-2 ou par un essai de percolation NF CEN/TS 14405 dans des conditions approchant l'équilibre local. (3) Si le déchet ne satisfait pas à la valeur limite indiquée pour le carbone organique total sur éluat à sa propre valeur de pH, il peut aussi faire l'objet d'un essai de lixiviation NF EN 12457-2 avec un pH compris entre 7,5 et 8,0. Le déchet peut être jugé conforme aux critères d'admission pour le carbone organique total sur éluat si le résultat de cette détermination ne dépasse pas 500 mg/kg de matière sèche.

- Pour les **Installations de Stockage de Déchets Non-Dangereux (ISDND)** et **Dangereux (ISDD)** des critères d'acceptation ont été définis au niveau européen par la Décision n°2003/33/CE du 19/12/02 établissant des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges, conformément à l'article 16 et à l'annexe II de la directive 1999/31/CE. Cette directive a été reprise au niveau français pour les déchets dangereux dans l'arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage de déchets dangereux (publié au JORF n°90 du 16 avril 2003). Les seuils d'acceptation de ces différentes catégories de décharges sont précisés dans le Tableau 13 suivant.

Tableau 13 : Critères d'admission des déchets dans les ISDND et dans les ISDD
(Décision n°2003/33/CE du 19/12/02 établissant des critères et des procédures d'admission des déchets dans les décharges, conformément à l'article 16 et à l'annexe II de la directive 1999/31/CE)

Paramètre	Valeurs limites à respecter en contenu lixiviable (en mg/kg de matière sèche) (Selon NF EN 12457-2 avec L/S de 10L/kg)	
	ISDND	ISDD
As	2	25
Ba	100	300
Cd	1	5
Cr total	10	70
Cu	50	100
Hg	0.2	2
Mo	10	30
Ni	10	40
Pb	10	50
Sb	0.7	5
Se	0.5	7
Zn	50	200
Chlorure	15 000	25 000
Fluorure	150	500
Sulfate	20 000	50 000
COT (Carbone Organique Total) sur éluat	800	1 000
FS (Fraction Soluble)	60 000	100 000
	Valeurs limites à respecter en contenu total	
COT (Carbone Organique Total)	5%	6%

Depuis le 15 février 2016, un arrêté relatif aux **installations de stockage de déchets de sédiments** a été publié (au JORF du 23 mars 2016) à destination des exploitants d'installations de stockage de déchets de sédiments relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées (voir ci-après – Tableau 14). Cet arrêté fixe les prescriptions techniques applicables aux installations de stockage de déchets de sédiments comparables aux installations de stockage de déchets non dangereux mais adaptées aux déchets de sédiments, du fait de l'importance des eaux présentes dans les sédiments de dragage.

Cet arrêté autorise un exploitant d'ISDND, sous condition de mise en place de mesures de protection spécifiques au déchet sédiment, d'accepter un sédiment classé dangereux (suite à l'évaluation de ses propriétés de danger) tant qu'il ne dépasse pas les valeurs en contenu total et lixiviable précisées par l'arrêté. En cas de dépassement des valeurs seuils, le seul exutoire possible sera alors l'installation de stockage de déchets dangereux (ISDD). Les critères d'admission dans une telle installation de stockage sont présentés dans le Tableau 14 suivant :

Tableau 14 : Critères à respecter pour l'acceptation de déchets de sédiments dangereux (Arrêté du 15 février 2016 spécifique aux ISD de sédiments)

Paramètre	Valeurs limites à respecter en contenu lixiviable (en mg/kg de matière sèche)
En contenu total	
COT	5%
En contenu lixiviable selon NF EN 12457-2	
As	2
Ba	100
Cd	1
Cr total	10
Cu	25
Hg	0.2
Mo	10
Ni	10
Pb	10
Sb	0.7
Se	0.5
Zn	50
Chlorure	15 000
Fluorure	150
Sulfate	20 000
COT (carbone organique total) sur éluat*	800
FS (fraction soluble)**	60 000

(*) Si le déchet ne satisfait pas aux valeurs indiquées pour le COT sur éluat à sa propre valeur de pH, il peut aussi faire l'objet d'un essai avec un rapport L/S =10 l/kg et un pH compris entre 7,5 et 8. Le déchet peut être jugé conforme aux critères d'admission pour le COT sur éluat si le résultat de cette détermination ne dépasse pas 800 mg/kg.
(**) Les valeurs correspondant à la fraction soluble (FS) peuvent aussi être utilisées à la place des valeurs fixées pour le sulfate et le chlorure.

N.B. : Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE) : Le décret n°2010-369 du 13 avril 2010 stipule que le stockage, le transit et le traitement des sédiments gérés à terre sont réglementés au titre de la législation relative aux Installations Classées Pour l'Environnement (ICPE). Les ICPE sont soumises aux régimes de déclaration, d'enregistrement (concerne uniquement les sédiments inertes) ou d'autorisation. Les articles R511-1 et suivants et R512-1 et suivants du code de l'environnement définissent la nomenclature, les critères et les seuils de déclenchement de ces procédures.

- Pour les sédiments inertes (rubriques ICPE n°2515, 2516, 2517, 2760-3), l'installation de stockage/transit/traitement est soumise à la procédure d'autorisation si la superficie de l'installation est supérieure à 30 000 m², à enregistrement si la superficie est comprise entre 10 000 et 30 000 m², à déclaration si la superficie est inférieure à 10 000 m².
- Pour les sédiments non inertes non dangereux (rubriques ICPE n°2716, 2760-2, 2771/2791), l'installation est soumise à la procédure d'autorisation si le volume de sédiments susceptible d'être présent est supérieur ou égale à 1000 m³ ; à déclaration si inférieur.
- Pour les sédiments dangereux (rubriques ICPE n°2717/2718, 2760-1, 2770/2791), l'installation est soumise à la procédure d'autorisation si la quantité de sédiments susceptible d'être présente est supérieure ou égale à 1 tonne ; à déclaration si inférieure.

L'article L541-2 du code de l'environnement stipule que la gestion du déchet à terre relève de la responsabilité de son producteur ou de son détenteur. Il en est responsable jusqu'à son élimination ou sa valorisation finale et cela même s'il le confie à un tiers. Il est également garant de la traçabilité des différentes opérations qui lui sont appliquées (production et conservation d'un Certificat d'Acceptation Préalable (CAP) et d'un Bordereau de Suivi des Déchets (BSD)).

Précisons que lorsque le dépôt du déchet sédiment est limitée à la durée des opérations de dragage et lorsque le dépôt est situé à proximité immédiate du chantier, alors il est exempté du régime réglementaire des ICPE.

En France, trois types d'ICPE sont ainsi répertoriés pour la gestion à terre des sédiments. Il s'agit de celles réalisant les opérations suivantes :

- 1) Tri, transit, regroupement (codes ICPE : 2516, 2517, 2716, 2717/2718)
- 2) Traitement (codes ICPE : 2515, 2771/2791, 2770/2791)
- 3) Stockage définitif (codes ICPE : 2760-1, 2760-2, 2760-3)

Ajoutons que les **rubriques IED** (« *Industrial Emission Directive* ») relatives aux émissions industrielles, transposées en droit français le 2 mai 2013, s'appliquent aux installations identifiées comme potentiellement les plus contributives aux émissions dans l'environnement en les soumettant à un suivi environnemental renforcé. La gestion à terre des sédiments peut donc être concernée par ces rubriques. En particulier, pour les terrains de dépôt définitif de sédiments non dangereux - non inertes et dangereux, la rubrique IED 3540 s'applique ; pour le stockage temporaire de sédiments dangereux, la rubrique IED 3550 est à appliquer.

La gestion à terre des sédiments non immergeables doit se faire dans des installations ICPE (sauf si valorisation directe, ou entreposage limité dans le temps sur site du chantier) que les sédiments soient d'origine continentale ou maritime

Les possibilités techniques et économiques de gestion à terre du sédiment dragué (*i.e.* Elimination vs. Valorisation) dépendent des caractéristiques physico-chimiques, environnementales et géotechniques du sédiment considéré. Différentes opérations de prétraitements et traitements sont disponibles (ex. Déshydratation ; Criblage/Dégrillage ; Bioremédiation ; Tri granulométrique - Hydrocyclonage, Centrifugation ; Ajout de flocculants ou autres additifs chimiques ; Traitements thermiques ; etc.) pour permettre d'améliorer les caractéristiques du déchet sédiment et ainsi limiter les coûts économiques liés sa gestion.

Ces opérations ont pour objectifs, soit de diminuer sa charge polluante pour ainsi autoriser une valorisation ou pour gagner des classes de stockage ; soit d'isoler certaines fractions spécifiques du déchet pour limiter le volume à stocker et augmenter la part valorisable. Cela sous-entend qu'un sédiment initialement classé déchet dangereux, pourra néanmoins être en partie valorisé, si suite à une opération de prétraitement ou de traitement, la fraction dangereuse a pu être isolée et retirée de la fraction non-dangereuse.

En effet, la réglementation française n'autorise les opérations de valorisation que pour des sédiments classés comme déchets non-dangereux. La directive cadre sur les Déchets (2008/98/CE) stipule que « la valorisation des déchets est la filière de gestion prioritaire, l'élimination ne devant être envisagée qu'en l'absence de solution autre ».

Les principales filières de valorisation à terre des sédiments de dragage (voir description au chapitre 3 du présent ouvrage) sont les suivantes :

- Rechargement des plages
- Technique routière
- Génie Civil – Matériaux de construction
- Travaux Publics Maritimes
- Aménagements paysagers
- Réhabilitation de carrière
- Epandage agricole - Amendement
- Couverture d'installation de stockage des déchets

Pour chaque opération de valorisation des sédiments, il est recommandé :

- De procéder à une évaluation environnementale de l'ouvrage de valorisation (selon norme NF EN 12920+A1 - Caractérisation des déchets - Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées)
- De respecter les guides et référentiels existants propres à chaque filière
- D'assurer une traçabilité des sédiments valorisés

Toutes les filières terrestres de valorisation ne disposent toujours pas de guides ou de référentiels en 2021

Remarque : le 4 juin 2021, un arrêté a été publié au Journal Officiel pour encadrer la sortie du statut de déchet pour les terres excavées et sédiments ayant fait l'objet d'une préparation en vue d'une utilisation en génie civil ou en aménagement. Nous présentons en suivant une synthèse permettant d'appréhender les modalités liées à cette sortie du statut de déchet :

Extraits et Synthèse de l'Arrêté du 4 juin 2021 fixant les critères de Sortie du Statut de Déchet (SSD) pour les terres excavées et sédiments ayant fait l'objet d'une préparation en vue d'une utilisation en génie civil ou en aménagement

Le présent arrêté fixe les critères dont le respect permet de faire sortir du statut de déchet des terres excavées et sédiments, en s'appuyant sur des opérations de contrôle, et si nécessaire de traitement.

(Article 1) Lot de terres excavées ou sédiments : il s'agit : a) Soit d'un volume de terre ou de sédiments issu de la même zone d'un site producteur ayant une nature et des caractéristiques physico-chimiques homogènes ; b) Soit d'un volume de terre ou de sédiment élaboré dans une installation de traitement, de transit, ou de regroupement, résultant d'un mélange ou d'un traitement, mais ayant une nature et des caractéristiques physico-chimiques homogènes.

(Article 2) Les terres excavées et sédiments qui ont fait l'objet d'une préparation en vue d'une utilisation en génie civil ou en aménagement cessent d'être des déchets lorsque la personne réalisant la préparation a vérifié que la totalité des critères suivants sont satisfaits :

a) Les seuls déchets acceptés dans le processus de préparation en vue d'une utilisation en génie civil ou en aménagement sont les terres, cailloux et boues de dragage relevant des codes déchets suivants : 17 05 03* (terres et cailloux contenant des substances dangereuses) ; 17 05 04 (terres et cailloux autres que ceux visés à la rubrique 17 05 03) ; 17 05 05* (boues de dragage contenant des substances dangereuses) ; 17 05 06 (boues de dragage autres que celles visées à la rubrique 17 05 05) ; 20 02 02 (terres et pierres).

b) Les terres excavées et sédiments non dangereux issus de la préparation en vue d'une utilisation en génie civil ou en aménagement peuvent être mis en œuvre sur un site receveur si les critères de qualité suivants sont respectés : la préservation de la ressource en eau et des écosystèmes présents au droit du site receveur est assurée ; les terres excavées et sédiments sont compatibles avec l'usage futur du site receveur sur le plan sanitaire ; la qualité des sols du site receveur est maintenue, lorsque cela est prévu par les guides existants.

N.B. Les opérations de mélange ayant pour objectif d'atteindre les critères de qualité définis précédemment sont interdites

Les terres excavées et sédiments **doivent répondre aux exigences définies par les guides publiés** sur le site officiel du ministère chargé de l'environnement. Leur caractérisation est réalisée selon les protocoles prescrits dans ces guides. Les usages prévus pour les terres excavées et sédiments sont conformes aux prescriptions d'usage et aux limitations d'usages des guides précités. En l'absence de guide applicable, le présent arrêté ne permet pas que les déchets listés sortent du statut de déchet.

Les seuls guides disponibles à l'heure actuelle sont les suivants :

- Acceptabilité de matériaux alternatifs en techniques routières – Évaluation environnementale (CEREMA -ex-SETRA- 2011)
- Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement (DGPR – 2020)
- Guide de valorisation hors site des terres excavées non issues de sites et sols pollués dans des projets d'aménagement (DGPR – 2020)

c) La personne réalisant la préparation a conclu, pour les terres excavées et sédiments ayant fait l'objet d'une préparation en vue d'une utilisation en génie civil ou en aménagement, un contrat de cession avec l'aménageur. Ce contrat pourra être fait par lot ou pour un ensemble de lots. Ce contrat devra au minimum comprendre : les coordonnées géographiques et un rayon incluant l'ensemble de la zone où a eu lieu l'excavation ; la période d'excavation des terres excavées et sédiments ; le volume de terres excavées et sédiments concerné ; le site receveur concerné par l'utilisation en génie civil ou en aménagement, identifié par des coordonnées géographiques et un rayon incluant l'ensemble de la zone de valorisation ; la période d'utilisation en génie civil ou en aménagement ; l'engagement de l'aménageur à respecter l'usage retenu pour la valorisation en génie civil ou en aménagement conformément aux guides disponibles ; les dispositions constructives et limitations d'usages selon les modalités des guides de valorisation reconnus et disponibles ; la qualité des terres excavées ou sédiments dragués évaluée selon les modalités des guides de valorisation reconnus et disponibles ; les modalités d'entreposage intermédiaire, lorsqu'un entreposage est nécessaire (...) ; la ou les opérations menées pour la préparation en vue d'une valorisation en génie civil ou en aménagement.

Pour un usage par la personne réalisant la préparation, celle-ci consigne les mêmes informations dans le manuel qualité mentionné dans l'arrêté ministériel du 19 juin 2015 relatif à la gestion de la qualité des opérations de valorisation de déchet.

(...)

(Article 3) La personne réalisant la préparation transmet une attestation de conformité à l'utilisateur de chaque lot de terres excavées et sédiments.

(Article 4) Chaque lot de terres excavées et sédiments est identifié par un numéro unique et le site producteur est référencé, afin de pouvoir justifier de la traçabilité et du statut de ces terres excavées et sédiments lors du contrôle des autorités compétentes.

(...)

La possibilité de sortir le sédiment dragué de son statut de déchet pourrait donc apparaître comme la 1^{ère} option de gestion à terre à considérer avant toutes les autres options de gestion existantes. Cependant à l'heure actuelle (*i.e.* décembre 2021), le manque de guides officiels d'application, spécifiques aux sédiments de dragage, limite fortement cette possibilité pour les gestionnaires. La rédaction de guides supplémentaires pourra modifier ce constat.

SOMMAIRE CHAPITRE 3

3.	FILIÈRES DE VALORISATION DISPONIBLES ET RÉFÉRENTIELS EXISTANTS	61
3.1.	Les filières de valorisation	63
	3.1.1) Valorisation des sédiments en technique routière	65
	3.1.2) Les sédiments pour l'industrie cimentière	73
3.2.	Autres voies de valorisation identifiées	82
	3.2.1) Valorisation de sédiments en amendement agricole	82
	3.2.2) Aménagement paysager	83
	3.2.3) Valorisation en matériaux de rechargement et de comblement	84
	3.2.4) Briques	84
3.3.	Outils de suivi environnemental	85
3.4.	Modélisation mathématique de la gestion des sédiments en vue d'une valorisation optimale	86

3. FILIÈRES DE VALORISATION DISPONIBLES ET RÉFÉRENTIELS EXISTANTS

Avant de présenter les diverses filières à maturité et les référentiels associés, nous présentons comment est mesurée l'évolution des connaissances, qui est à l'origine de cette progression et comment elles sont financées.

Le niveau de maturité d'une technologie se mesure sur le plan opérationnel à l'aide de l'échelle TRL (Technology Readness Level). Conçue par la NASA en 1974 pour gérer le risque technologique de ses programmes, elle était constituée initialement de 7 niveaux. Elle en compte 9 depuis 1995.

Outil structurant pour la gestion de l'innovation, l'échelle définit des critères techniques à respecter pour franchir les niveaux. En 2013, l'Organisation Internationale de la normalisation a défini la norme ISO 16290 comme standard pour évaluer les niveaux de maturité technologiques et les critères d'évaluation.

Les divers niveaux de l'échelle TRL et les techniques permettant le passage d'un niveau à l'autre sont représentés sur le schéma suivant (Figure 9) :

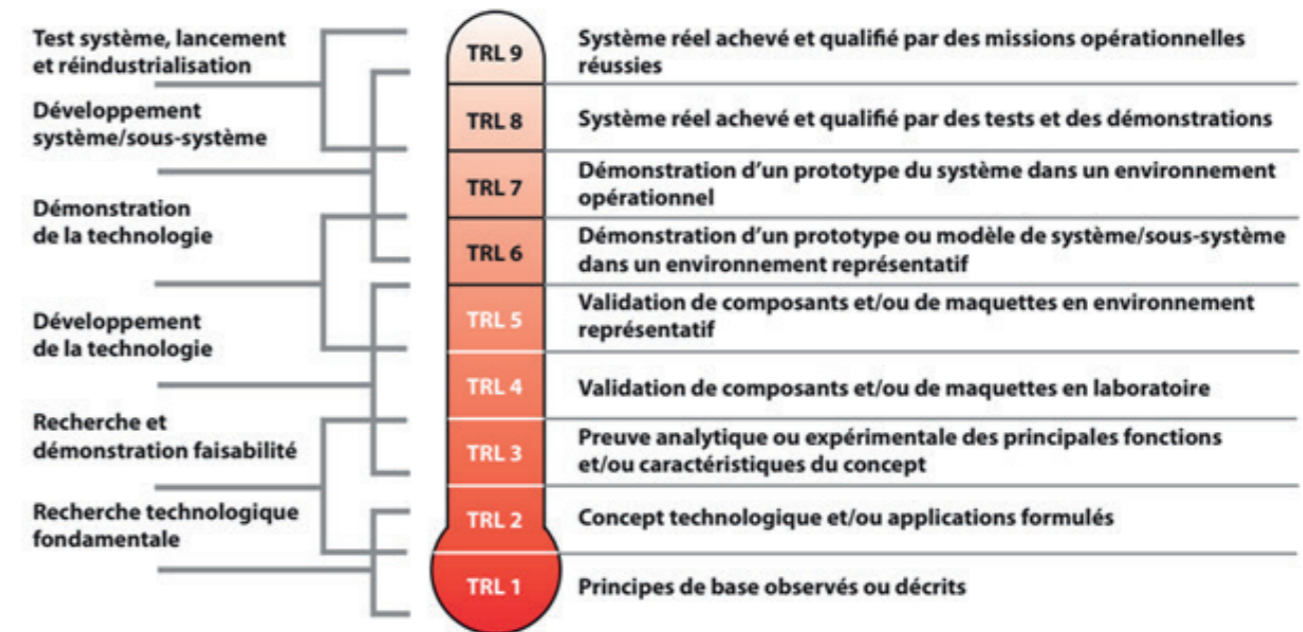


Figure 9 : Echelle TRL (Technology Readness Level (DGA, 2009))

Les niveaux 1 à 4 sont qualifiés d'émergence (niveau 1 : recherche fondamentale, niveaux 2 à 4 : recherche technologique en laboratoire et appliquée) ; de 5 à 7, il est question de développement (niveau 5 : démonstrateur, niveaux 6 et 7 : prototypes dans des conditions opérationnelles) ; les niveaux 8 et 9 correspondent au niveau de maturité de la connaissance.

L'échelle TRL mesure donc un niveau de maturité technologique. L'industrie s'est emparée de cet outil d'évaluation pour la stratégie d'innovation qu'il propose et le potentiel de développement économique et de création d'emplois associés.

Pour étudier son applicabilité à échelle industrielle il convient d'utiliser l'échelle MRL (Manufacturing Readness Level) qui compte 8 niveaux, de 3 à 10. Cette échelle MRL permet de mesurer la maturité marché d'un produit.

Ces deux échelles sont complémentaires et doivent être avancées en parallèle pour atteindre une maturité marché (Centre Technique Industriel, 2013).

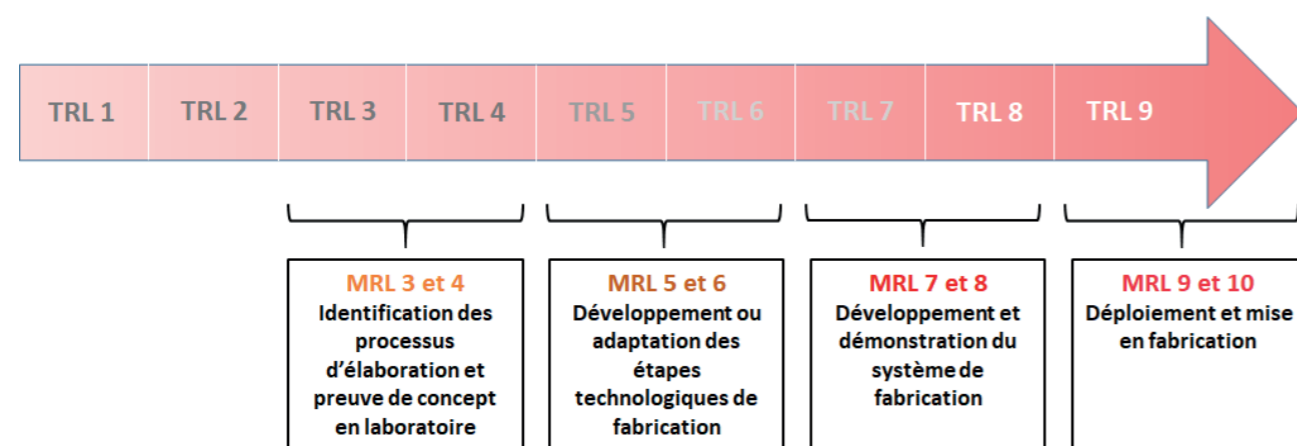


Figure 10 : Relation entre échelles TRL et MRL (d'après Centre Technique Industriel, 2013)

Les acteurs impliqués dans les divers niveaux de l'échelle TRL (Figure 10) sont les suivants :

- Niveaux 1 à 4 : recherche académique - chercheurs de laboratoires liés aux écoles d'enseignement supérieur et aux universités
- Niveaux 5 à 7 : recherche partenariale public - privé – projets collaboratifs
- Niveaux 8 et 9 : recherche privée pour ouverture de marché – industries et PME du sujet traité

La réalisation des projets nécessite des financements dont les sources sont diverses selon l'avancement des connaissances. Le schéma à la Figure 10 présente, en parallèle de l'évolution des connaissances, les sources de financements associées :

Si les financements au début et à la fin d'un processus de recherche sont clairement identifiés, la « vallée de la mort » (Valley of Death – entre TRL 4 et 7) représente la phase critique en termes de financements. Elle se situe en effet entre la phase de financements publics, à la base de l'échelle TRL, et les financements privés, au terme de l'avancement des connaissances avant ouverture de marché. Dans ce contexte, cette étape d'avancée des connaissances nécessite un effort partagé public - privé.

Ainsi, le recours aux projets collaboratifs, en réponses à des appels à projets, est une option que de nombreux acteurs retiennent pour passer ladite vallée. Par ailleurs, de nombreux organismes de financement retiennent l'échelle TRL dans les projets qu'ils souhaitent financer en précisant le niveau TRL souhaité. Selon la maturité des projets, les financements, accessibles par les porteurs de projets ou consortium, sont présentés sur la Figure 11.

Les organismes financeurs, présentés ci-avant, ne sont pas exhaustifs. De nombreux autres organismes proposent des financements aux divers niveaux de maturité des produits ou process, selon les thématiques qu'ils soutiennent (ex : Agences de l'Eau, Collectivités locales, ...). Les partenaires financiers peuvent intervenir en co-financement.

Les financements peuvent prendre la forme de subvention ou d'avances remboursables selon le niveau TRL du projet et la typologie des acteurs associés au projet.

En fonction du statut de l'organisme à financer, les taux varient de 80% pour les organismes publics lors de travaux aux premiers niveaux de l'échelle TRL à 20% pour les industriels en fin d'échelle TRL.

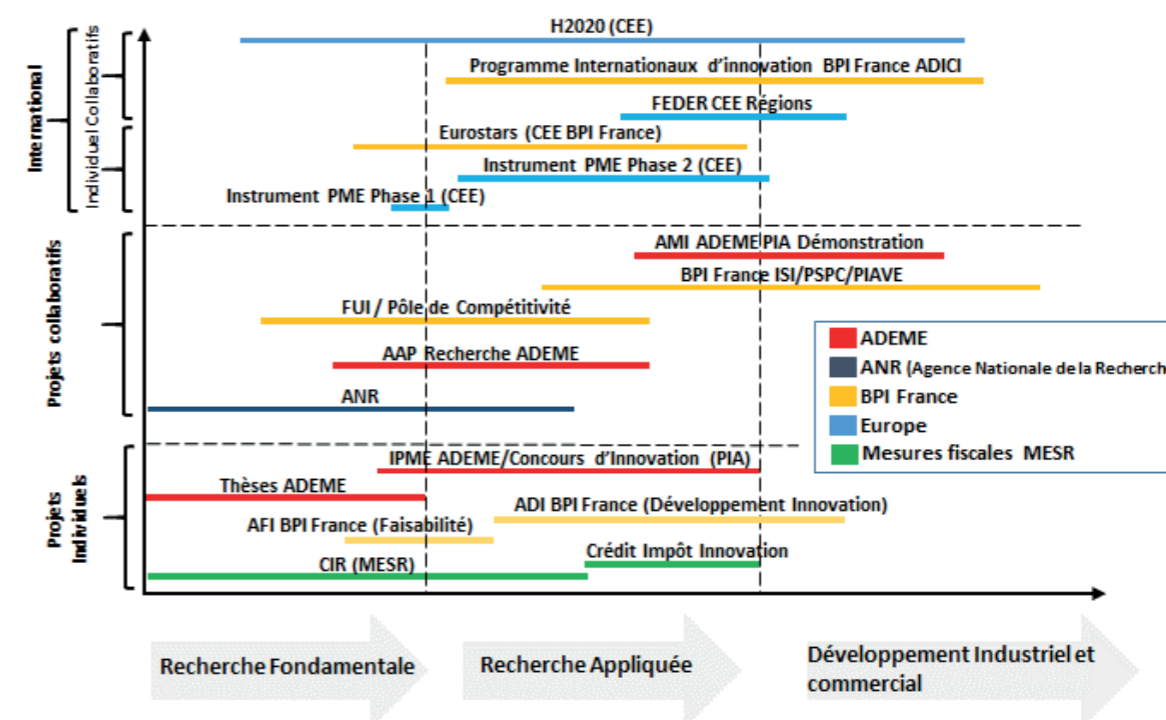


Figure 11 : Synthèse des principaux outils de financement de la Recherche & Développement & Innovation (Source d'après Keynergie)

Le traité fondateur de l'Union européenne interdit le financement des activités économiques car il fausse la libre concurrence. Pour autant, des exceptions existent pour la R&D et l'innovation, la protection de l'Environnement et la lutte contre le changement climatique. Chaque État membre définit les règles applicables en matière de régimes d'aides sur son territoire ainsi que les conditions à respecter par les bénéficiaires.

3.1. Les filières de valorisation

Le besoin de trouver des solutions alternatives en vue de la préservation de l'environnement et des ressources est plus que nécessaire : il est d'ordre vital. Désormais, la loi des 3R « Reduce, Recycle, Reuse » (Réduire, Recycler, Réutiliser) (Laustsen, 2007 ; Noll et al., 1986) semble prévaloir dans bon nombre de secteurs et la gestion durable des déchets est plus que jamais fortement encouragée, sinon exigée (Directive UE 2008/98/EU, Loi de transition énergétique pour la croissance verte (2015), etc.). En effet, face à des ressources naturelles non renouvelables et déclinantes et des réglementations environnementales de plus en plus contraignantes, l'utilisation de ces matériaux alternatifs dans le secteur de la construction est une solution pertinente. De nos jours, le niveau de production de déchets solides dans le monde est estimé à 2,2 milliards de tonnes par an (rapport de Banque Mondiale en 2016). Ce chiffre devrait sans doute s'accroître en raison du développement démographique et économique mondial mais aussi du fait d'une surconsommation et d'une utilisation inefficace des matériaux.

En France, environ 56 millions de m³ de sédiments humides sont dragués annuellement. En 2018, il a été dragué en France, au total, 29,3 millions de tonnes de matières sèches. Les sédiments, selon leur degré de pollution (teneur en éléments traces métalliques, hydrocarbures : HAP, PCB, TBT, etc.), ne peuvent plus être immergés et doivent être gérés à terre où ils sont considérés comme des déchets. Se pose alors le problème de leur devenir.

Plusieurs filières de traitement et de valorisation sont aujourd’hui explorées. Parmi celles-ci, la valorisation en technique routière en tant que couche de base ou couche de forme (Dubois et al., 2006), la fabrication de briques de construction (Cappuyns et al., 2015) la mise en place de butes paysagères, ainsi que leur utilisation en tant que matériaux de substitution du ciment et/ou du sable dans le béton (Amar et al., 2018 ; Belas et al., 2011; El Mahdi Safhi et al., 2019 ; Rodriguez et al., 2013), la valorisation en ouvrages maritimes, matériaux de remblaiement, valorisation en granulats.

À titre d’exemple, le devenir des sédiments dragués au niveau national par les Voies Navigables de France est présenté Figure 12. Elle montre les trois voies dominantes de valorisation à terre : le renforcement de berges, le remblaiement de carrière et l’amendement des sols. Parallèlement d’autres types de valorisation s’imposent de plus en plus comme les techniques routières, les liants, les granulats, etc. Il faut par ailleurs préciser qu’une fois les contraintes techniques maîtrisées, le succès et la pérennité des filières passent par les axes suivants :

- Maîtrise des coûts de production et de la compétitivité
- Estimation du potentiel marché
- Bonne connaissance du potentiel industriel des ressources (volumes des gisements, disponibilité, etc.)
- Prise en compte des paramètres juridiques et réglementaires
- Prise en compte de l’acceptabilité sociale

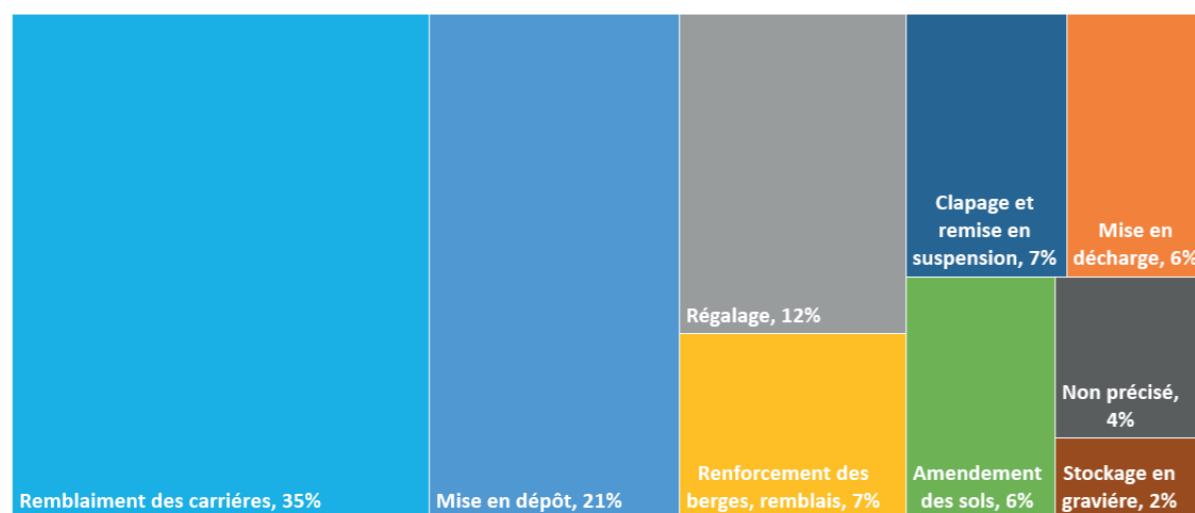


Figure 12 : Devenir des sédiments dragués de VNF en 2009 - % du volume (d'après BRGM, 2017)

3.1.1) Valorisation des sédiments en technique routière

Les ouvrages routiers sont des ouvrages linéaires occupant un très grand champ dans les travaux publics. En effet, les volumes consommés dans les ouvrages routiers représentent près de 50% de la consommation totale de granulats du secteur de la construction qui est estimée à 400 millions de tonnes. Leur réalisation passe par la prise en compte des référentiels et guides techniques définissant des limites techniques et réglementaires s’inscrivant dans le cadre d’une approche d’économie circulaire.

Les ouvrages routiers sont des constructions qui, dans leur architecture standard, sont composés de couches de matériaux consolidés et / ou liés et destinées à offrir une surface plane favorable au déplacement de véhicules et assurer le trafic de manière générale. La nomenclature est donnée à la Figure 13 et décrit les différentes couches présentes dans ce type de structure.

- La couche de forme : elle assure pendant les travaux la protection du sol-support contre la pluie et les effets de cycle gel-dégel. Celle-ci a une fonction de nivellement. En service, elle permet d’homogénéiser les caractéristiques mécaniques des matériaux constituant le sol ou le remblai et d’améliorer la portance à long terme.
- Les couches d’assise (couches de base et de fondation) : Elles constituent le corps de chaussée proprement dit qui a le rôle de réception et de transmission des charges. La couche de base, plus proche de la surface de la chaussée, subit des contraintes et des déformations notables ; il est donc nécessaire qu’elle présente des caractéristiques mécaniques plus élevées que celles de la couche de forme.
- Les couches de surface (couches de roulement et de liaison) : Elles se composent de la couche de roulement et éventuellement d’une couche de liaison. Elles ont deux fonctions, qui sont la protection du corps de chaussée vis-à-vis des infiltrations d’eau et la transmission des charges.

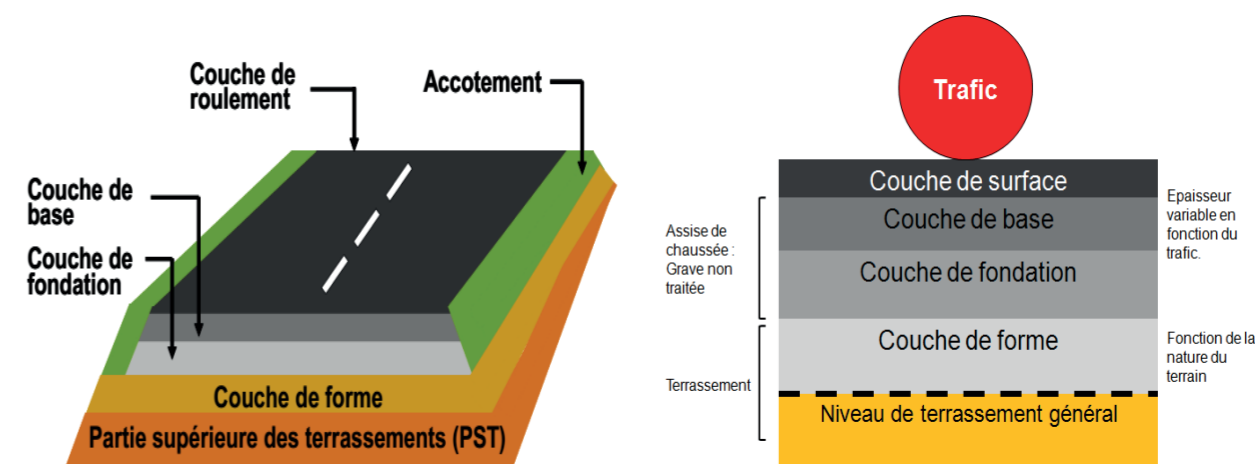


Figure 13 : Nomenclature des sous-couches routières (www.wikitp.fr)

Chacune de ces couches possédant des propriétés particulières, plusieurs critères doivent être satisfaits pour qu’un matériau, tel que les sédiments de dragage, y soient potentiellement valorisables. Les principaux paramètres jugeant l’adéquation d’un matériau pour une utilisation en assise de chaussée sont l’indice portant immédiat (IPI), l’optimum Proctor, la sensibilité au gel, la résistance en traction (R_t) et le module d’élasticité (E), la teneur en matières organiques (MO).

Les sédiments, selon leurs caractéristiques particulières et leurs états, peuvent donc requérir un traitement ciblé et efficient. Des traitements envisageables peuvent être par exemple :

- a) Le bio traitement à terre : Il s'agit d'une technique de bio-remédiation basée sur l'utilisation de souches d'enzymes dont le rôle consiste à dégrader les contaminants organiques
- b) Les traitements électrocinétiques : (Appelé aussi électro-remédiation), Ils visent à éliminer les contaminants (minéraux et organiques) dans les sols et sédiments contaminés à faible perméabilité par le biais d'un courant continu appliqué (technique utilisable in situ).
- c) Utilisation de Liant Hydraulique Routier (LHR) et/ou de mélanges ciment-chaux pour la stabilisation des matériaux. Par des réactions chimiques, la chaux aide à rendre utilisables des sols instables. Ce qui permet d'augmenter la portance et la résistance, d'augmenter la siccité, de faciliter les travaux de construction.
- d) La combinaison potentielle des points a), b) et c)

Ces traitements permettront notamment d'améliorer la compressibilité du matériau et ses capacités de portance. Pour ce qui est des propriétés spécifiques, les sédiments destinés à cette filière sont classés F11 ou F12 par le GTR (Guide des Terrassements Routier) au vu de leur teneur en matières organiques. Cette classe est constituée de deux sous-classes en fonction de la teneur en matière organique (% MO). Il faut tout de même rappeler dans bons nombres de cas, la classe F11 est la classe correspondante aux sédiments de dragage :

- F11 : $3\% < MO < 10\%$;
- F12 : $MO > 10\%$.

Les sédiments sont par ailleurs généralement considérés du point de vue granulométrique et géotechnique (NF P 11-300) comme des matériaux de classe A. Ce qui correspond à :

- une taille maximale des grains $D_{max} < 50\text{ mm}$
- un passant à $80\text{ }\mu\text{m}$ de 35 % minimum

Pour les matériaux de classe F11, une utilisation en couverture de surfaces végétalisées doit être privilégiée (talus, accotements, giratoires, ...). Toutefois, leur utilisation en remblai routier et non en couche de forme reste possible sous réserves de caractéristiques spécifiques notamment en termes de siccité (pourcentage massique de matière sèche) et de teneur en MO.

Pour ce qui est de la MO, une attention particulière doit y être apportée. Elle peut avoir un effet direct sur le temps de prise, de durcissement, les minimums de portance à atteindre, la captation de polluants minéraux et organiques. D'après le GTR, la matière organique peut également être inhibitrice de prise hydraulique car, du fait de sa présence, une certaine partie du liant devient inefficace.

Afin d'obtenir une route durable sur le plan géotechnique et mécanique, il est nécessaire de respecter des critères : de portance, de résistance en traction, de module d'élasticité.

Pour s'assurer de l'utilisation adéquate des sédiments dans la construction routière, il est nécessaire de garantir certaines caractéristiques géotechniques, minéralogiques et environnementales.

DESCRIPTION DES RÉFÉRENTIELS ET GUIDES D'APPLICATION :

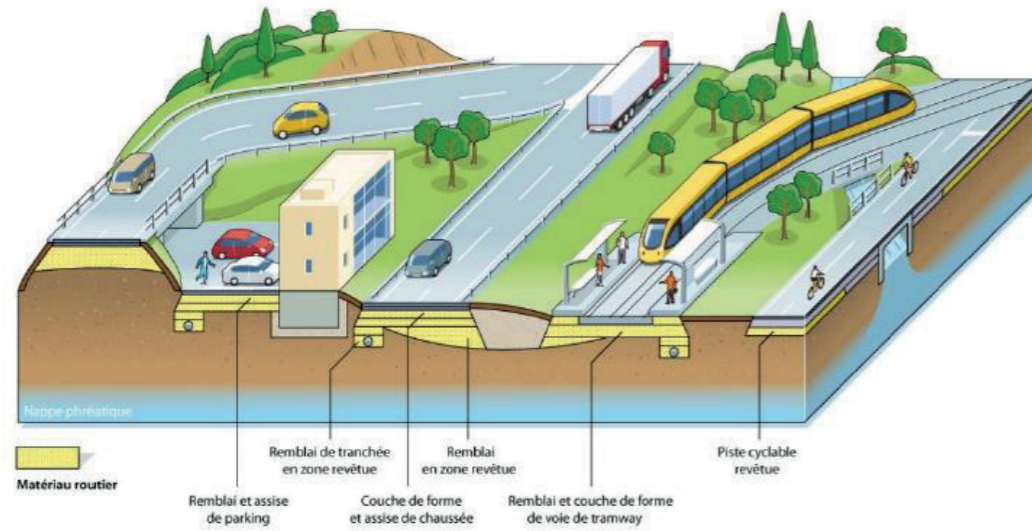
Guide SETRA

Un premier guide SETRA intitulé « *Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière* », édité en 2011, propose une démarche d'évaluation de l'acceptabilité environnementale des matériaux routiers à base de déchets (parmi lesquels les sédiments). Il est le résultat de collaborations entre divers organismes et acteurs sous la conduite du SETRA intégré au CEREMA au 1^{er} janvier 2014. Le guide expose un cadre technique et réglementaire pour la valorisation de déchets en technique routière. Les usages routiers envisagés dans le cadre du présent guide se distinguent selon le niveau d'exposition aux eaux météoriques. La vérification de la conformité environnementale du matériau alternatif élaboré à partir de sédiment ainsi que celle du matériau routier associé est effectuée en évaluant leur teneur en éléments polluants et en étudiant leur comportement à la lixiviation (selon NF EN 12457-2 ou NF EN 12457-4) par rapport à des valeurs limites préconisées dans le guide (cf. Tableau 3A - Annexe 3).

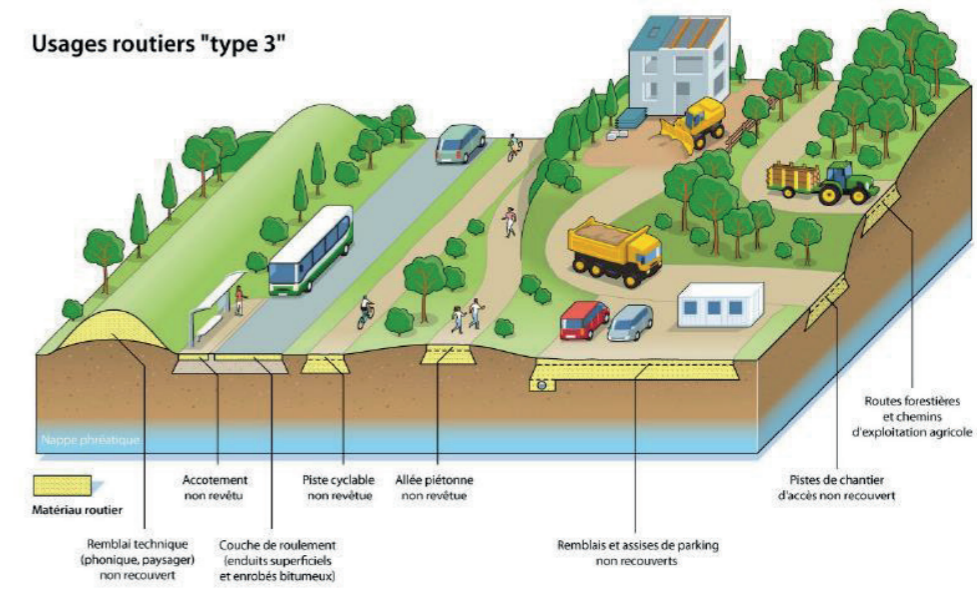
Trois types d'usage sont ainsi distingués (Voir Figure 14) :

- Les usages de type 1 d'au plus trois mètres de hauteur en sous-couche de chaussée ou d'accotement d'ouvrages routiers revêtus (remblai sous ouvrage, couche de forme, couche de fondation, couche de base et couche de liaison)
- Les usages routiers de type 2 : usages d'au plus six mètres de hauteur en remblai technique connexe à l'infrastructure routière (merlon de protection phonique ou paysagé) ou en accotement, dès lors qu'il s'agit d'usages au sein d'ouvrages routiers recouverts. Relèvent également des usages routiers de type 2 les usages de plus de trois mètres et d'au plus six mètres de hauteur en sous-couche de chaussée ou d'accotement d'ouvrages routiers revêtus.
- Les usages routiers de type 3 qui ne font eux, l'objet d'aucune restriction d'épaisseur de mise en œuvre : Sous-couche de chaussée ou d'accotement, au sein d'ouvrages routiers revêtus ou non revêtus ; Remblai technique connexe à l'infrastructure routière (ex : merlon de protection phonique ou paysagé) ou en accotement, au sein d'ouvrages routiers recouverts ou non recouverts ; Couche de roulement ; Remblai de pré-chargement nécessaire à la construction d'une infrastructure routière ; Système drainant (ex : tranchée ou éperon drainant, chaussée réservoir) ; Pistes de chantier ; Routes forestières ; Chemins d'exploitation agricole ; Chemins de halage.

Usages routiers "type 1"



Usages routiers "type 3"



Usages routiers "type 2"

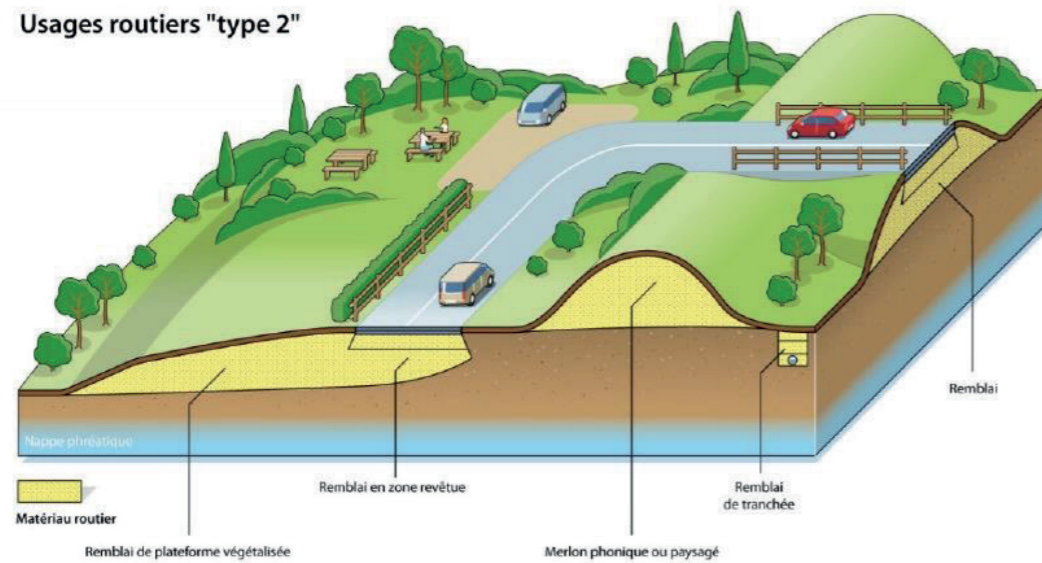


Figure 14 : Illustration des différents usages routiers des déchets prévus dans le guide méthodologique du Sétra, 2011 (Source : Guide méthodologique Sédiments, Valorisation des sédiments de dragage en technique routière, 2014 – Infographie Lorenzo Timon)

Il est important de rappeler que la philosophie du guide est focalisée sur les propriétés environnementales du matériau alternatif élaboré sur la base du déchet, et non pas sur le déchet lui-même. Pour tout autre usage routier envisagé, une étude, menée conformément aux dispositions de la norme NF EN 12920+A1 (Cerema, 2017; SETRA, 2011), doit être produite et soumise, pour validation, à la DREAL contrôlant l'installation de valorisation.

À l'horizon 2021, un nouveau guide SETRA (« fils ») doit voir le jour. Ce guide d'application du guide SETRA précisera spécifiquement la méthodologie à respecter pour valoriser dans les ouvrages routiers le matériau alternatif qu'est le sédiment. Il aura pour objet de donner les spécifications opérationnelles relatives aux matériaux valorisés, les axes du plan d'assurance de la qualité des projets concernés, et donnera également des recommandations quant au stockage des matériaux en phase chantier ainsi que les principes généraux de mise en œuvre.

Concernant l'évaluation environnementale, décrite dans le guide SETRA de mars 2011, préalable indispensable à la valorisation du déchet sédiment, un déroulé en 3 étapes est exigé : 1. Description du déchet et de son gisement ; 2. Description du matériau alternatif, du matériau routier et de l'usage routier envisagé ; 3. Caractérisation environnementale du matériau alternatif et du matériau routier.

La caractérisation environnementale (3^{ème} étape) est elle-même basée sur une évaluation en plusieurs niveaux, dont les 2 premiers (0 et 1) sont obligatoires :

- Niveau 0 - prérequis indispensable : Caractérisation du déchet sédiment et évaluation de sa dangerosité grâce au protocole HP14 non inscrit dans la réglementation : seuls les sédiments classés inertes ou non-dangereux peuvent-être valorisés.
- Niveau 1 : Analyse en contenu total et lixiviable (essai de lixiviation selon NF EN 12457-2)
- Niveau 2 : Essai de percolation (selon NF CEN/TS 14 405) et analyse des percolats

- **Niveau 3** : Étude spécifique en plot expérimental (étude de l'altération du matériau et de l'émission des polluants, du devenir des polluants émis par l'ouvrage via leur transfert dans le sol et dans la nappe ainsi que leurs effets sur la cible « eau », la modélisation du comportement, etc.)

Les évaluations du niveau 0 se basent sur les seuils GEODE (N1/N2/S1) associés aux sédiments et sur l'évaluation de la dangerosité ; celles du niveau 1 et 2 se basent sur les valeurs limites préconisées dans le guide SETRA (2011) et celles du niveau 3 (Figure 15) sur les valeurs limites préconisées dans le guide CEREMA (2015).

- **L'évaluation de niveau 0** est basée sur la détermination des teneurs totales présentes dans le sédiment par comparaison aux valeurs niveaux réglementaires GEODE (N1/N2 : marins et estuariens ou S1 : sédiment continentaux). Si les sédiments marins sont non immergeables ou si un dépassement du niveau S1 est constaté, une évaluation de la dangerosité du sédiment selon les propriétés de danger HP doit-être menée pour conclure sur la possibilité réglementaire de la valorisation et la poursuite de l'évaluation environnementale.
- **L'évaluation de niveau 1** est basée sur les teneurs en contenu total, et sur les teneurs en contenu lixiviable. Il s'agit ici d'étudier la variabilité et d'évaluer séparément les quantités relarguées en émission et en contenu total. L'acceptabilité en technique routière est alors validée ou non en fonction du dépassement des seuils pour les paramètres génériques et spécifiques (se référer aux tableaux 3, 4, 5, Annexe 3 du guide SETRA).
- **L'évaluation de niveau 2** est basée sur les teneurs en contenu percolable. Il s'agit ici de pratiquer un essai de percolation NF CEN/TS 14405 et un essai de lixiviation NF EN 12457-2 et de déterminer dans chaque cas les quantités relarguées cumulées pour les paramètres à suivre en émission. On se réfère alors au Tableau 6, Annexe 4 du guide SETRA, pour jurer de l'acceptabilité en technique routière.
- **L'évaluation de niveau 3** est à envisager lorsque les niveaux 1 et 2 de caractérisation environnementale ne permettent pas de justifier l'acceptabilité en technique routière d'un matériau alternatif. Les investigations à entreprendre peuvent reposer alors sur des essais modélisation complémentaires et/ou retour d'expérience, la réalisation d'essais en laboratoire complémentaires, la réalisation d'essais lysimétriques, la réalisation et le suivi de plots expérimentaux (échelle 1) (Figure 16). Cette approche permet de simuler le relargage dans des conditions se rapprochant du scénario d'utilisation envisagé et les seuils devront à minima satisfaire aux seuils fixés par le tableau 6, Annexe 4 dudit guide.

Précisons aussi que dans le cadre d'un contrôle de conformité, une procédure d'assurance qualité peut être mis en place pour investiguer la variabilité dans le temps.

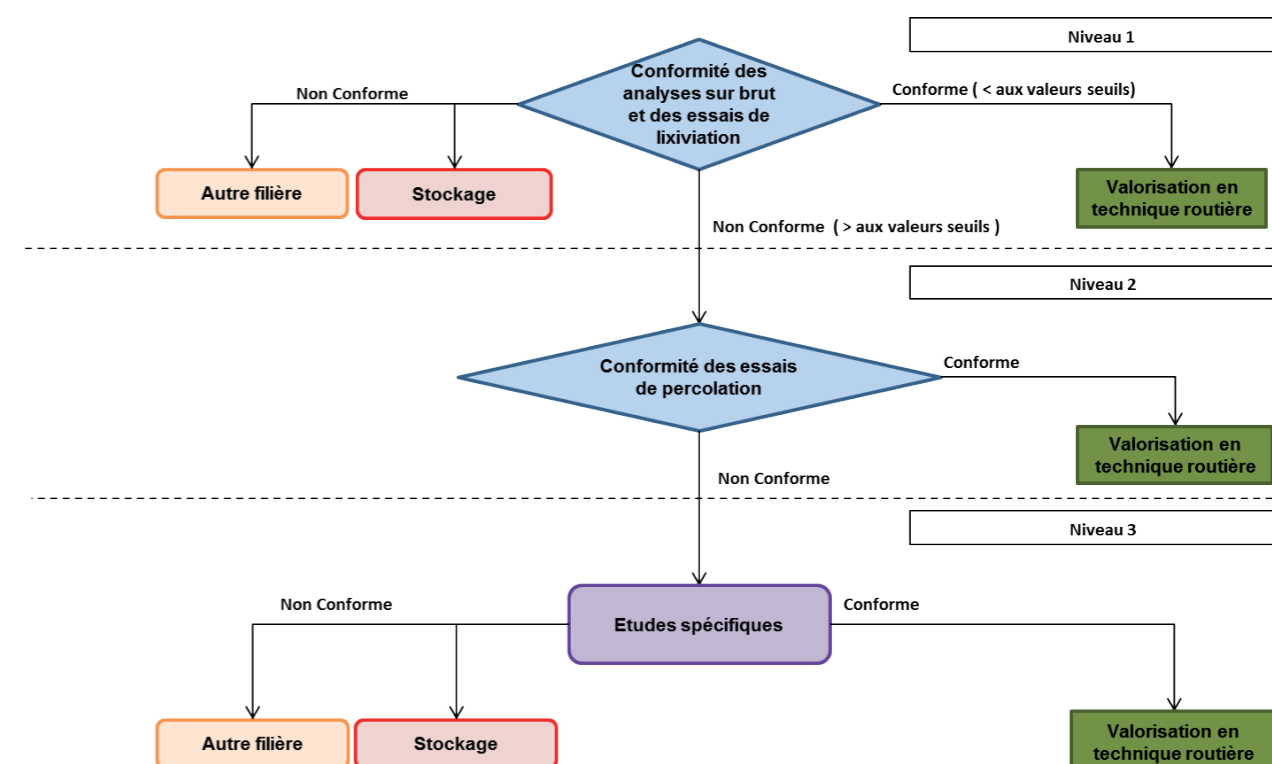


Figure 15 : Méthodologie développée dans le guide Setra 2011 (Source Sédiments)

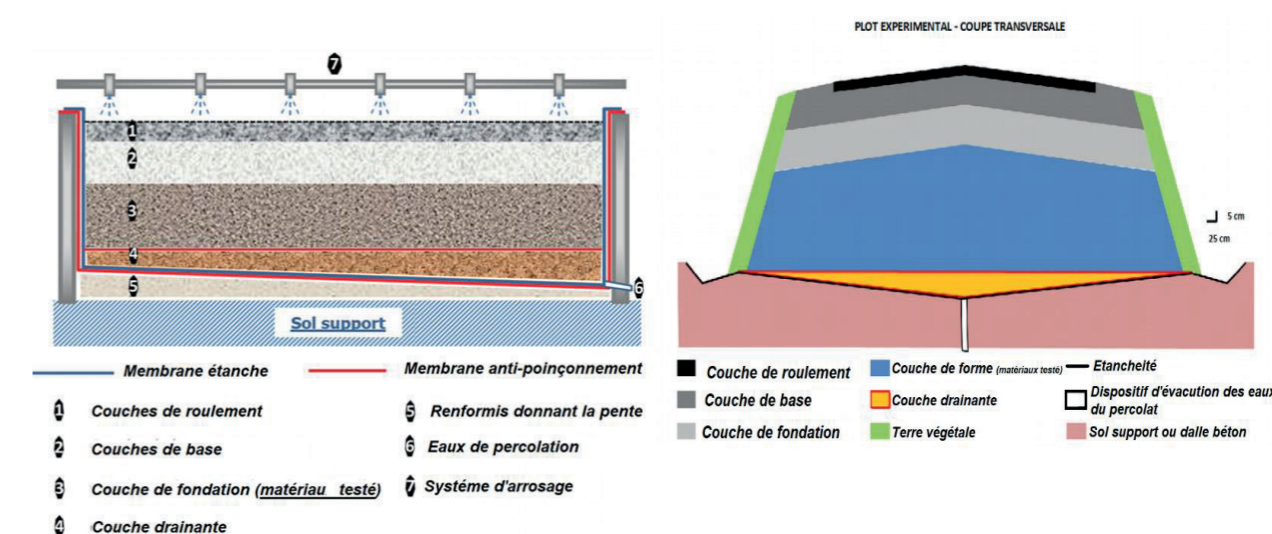


Figure 16 : a) Planche lysimétrique (source INSAVALOR/PROVADEMSE) et b) Planche expérimentale (source CEREMA)

Guides SEDIMATERIAUX

La démarche SEDIMATERIAUX est une démarche nationale (dans la continuité du projet SEDIMARD83 du Département du Var), initiée en 2009 par IMT Nord Europe et la Région Hauts de France avec le soutien de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, placée sous l'impulsion des pouvoirs publics français et européens, acteurs de l'industrie et de la recherche. Elle vise à créer un cadre technique et une démarche méthodologique de valorisation des sédiments dans les filières de la construction.

La démarche SEDIMATERIAUX a donc pour objectifs de :

- Proposer aux gestionnaires des ports et des zones fluviales des outils et méthodes opérationnels de gestion des sédiments
- Produire les données nécessaires à l'évolution du cadre réglementaire pour l'enrichissement des travaux et investigations du MEDDE
- Faire émerger et conforter au niveau national de nouvelles filières économiques de traitement et de gestion des sédiments dans un cadre environnemental maîtrisé
- Créer les conditions pérennes d'un partage d'expériences et de capitalisation des connaissances acquises
- Encourager l'innovation et structurer le développement de travaux de R&D

Le Guide méthodologique SEDIMATERIAUX « Valorisation des sédiments de dragage en technique routière » publié en Juin 2014 a constitué une base de travail scientifique et technique pour la construction d'un guide d'application relatif à l'utilisation des sédiments de dragage en technique routière.

La méthodologie développée dans ce guide est basée sur la norme NF EN 12920+A1 (2008) et repose sur trois phases principales : caractérisation initiale ; études laboratoires ; démonstrateurs.

Les démonstrateurs sont soumis, grâce à une instrumentation sur des planches expérimentales, à un suivi de leurs performances environnementales sur 12 mois. Sur la base des résultats obtenus une validation est donnée ou non pour un passage à l'ouvrage réel.

La démarche prévoit aussi la mise en place d'essais de caractérisation complémentaires lorsque les caractéristiques connues ne permettent pas de valider la valorisation dans la filière prévue (Figure 17). À chaque phase, des points de validation permettent de définir l'orientation des matériaux lorsque des verrous subsistent. Les matériaux à valoriser sont ainsi dirigés vers les phases suivantes ou vers des installations d'élimination ou de traitement si leur valorisation n'est pas acceptable pour l'environnement ou si leurs caractéristiques ne permettent pas de les orienter directement vers les autres filières (béton, techniques routières, etc.).

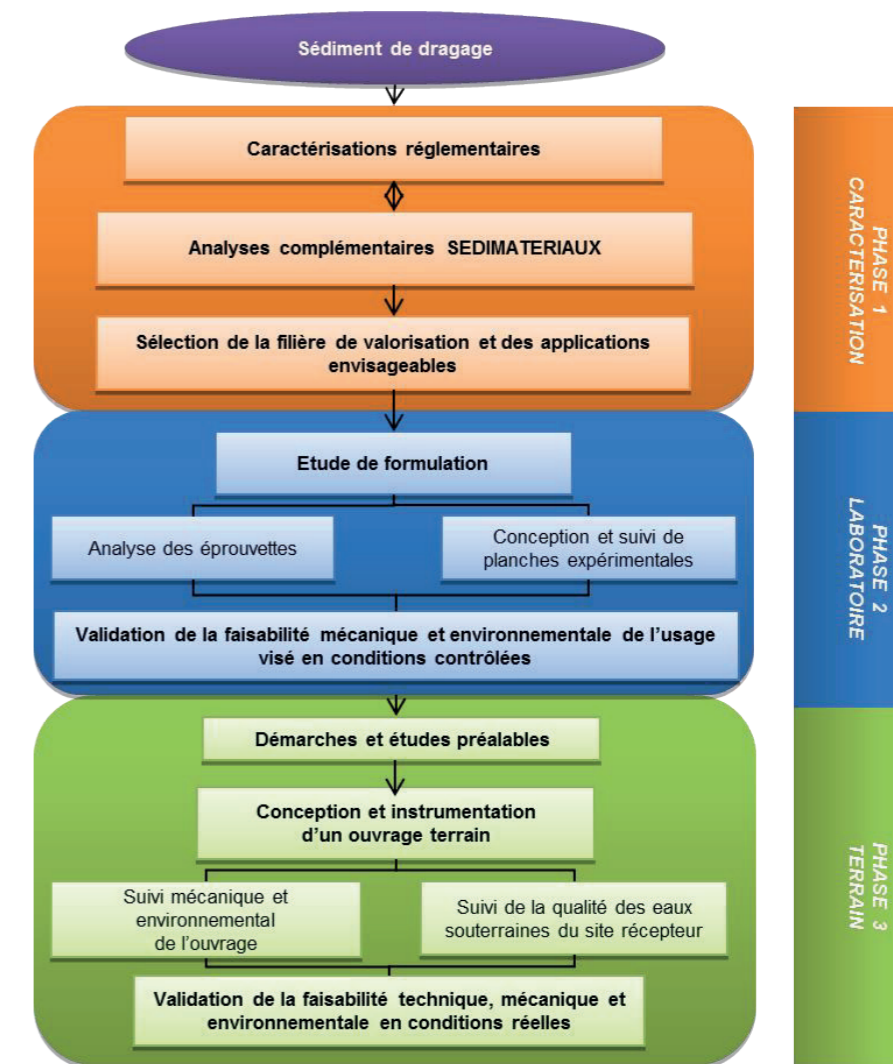


Figure 17 : Logigramme descriptif de la méthodologie Sédimatériaux (source : Guide méthodologique Sédimatériaux, Valorisation des sédiments de dragage en technique routière, 2014)

3.1.2) Les sédiments pour l'industrie cimentière

Entre 6 et 10 milliards de tonnes de bétons sont produits annuellement dans le monde. L'industrie de la construction a par ce fait un impact environnemental considérable qu'elle s'est d'ailleurs engagée à atténuer (En 2050, l'ambition est d'arriver à produire des ciments à -80% d'impact carbone comparé aux ciments actuels (Source : Infociments)). Il y a donc nécessité à trouver des méthodes de gestion efficaces (ex. utilisation de matériaux durables telle qu'impulsée dans bon nombre de doctrines nationales (trajectoire zéro carbone, LTECV) ou européenne avec le « Green Deal », etc.) et des techniques d'élimination appropriées.

L'industrie des liants pour la construction, quelque peu victime de son succès, produit à elle-seule environ 7% des émissions de CO₂ dans le monde (Kajaste & Hurme, 2016).

L'utilisation, dans ces filières cimentaires, de sous-produits tels que les sédiments pourraient clairement représenter un avantage économique et environnemental considérable (Figure 18).

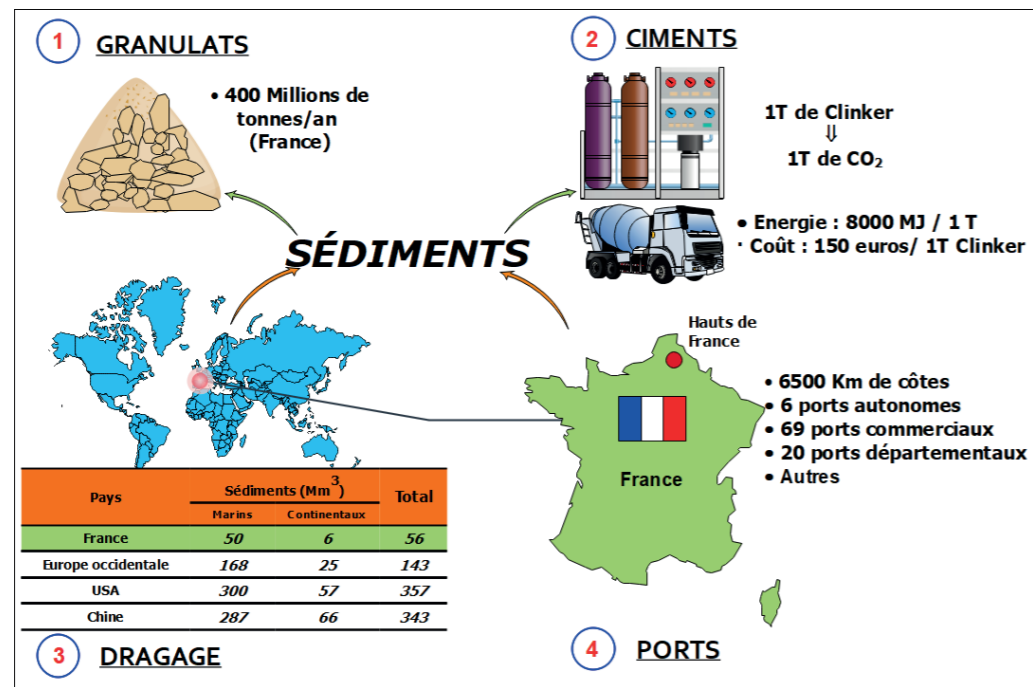


Figure 18 : Schématisation des interactions dans le cadre du principe 3R (Réduire, Réutiliser, Recycler) (Amar M., 2017)

Précisons que les sédiments (pour leur fraction sableuse) peuvent aussi être utilisés en tant que granulats dans les bétons en substitution du sable naturel. Cependant, la réglementation actuelle n'encadre pas encore suffisamment cette voie de valorisation. Ils pourraient néanmoins représenter une source considérable de matériaux pour ce secteur de la construction.

Béton, Ciment : Fabrication, Mécanismes d'hydratation

Le matériau béton est un matériau composite, multiphasique, constitué d'un squelette granulaire et d'une matrice cimentaire. Du fait de réactions chimiques d'hydratation suivies d'un durcissement, l'ensemble se rigidifie et procure au matériau des propriétés physico-chimiques spécifiques : des propriétés élastiques, une résistance à la compression élevée et à la traction faible, une perméabilité, etc. Ces propriétés ne sauraient exister sans une multitude de réactions chimiques en chaîne, enclenchées dès le contact entre le ciment anhydre et l'eau. Ces réactions donnent ainsi naissance initialement à la portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) qui fait office de gâchette à la prise, puis aux hydrates divers (C-S-H, C-A-H, C-A-S-H, etc.) représentant la "colle" de la matrice.

Le ciment et sa fabrication : Le ciment est un matériau artificiel issu de la cuisson pendant 1h à 1450°C d'un mélange de 75 à 80% de calcaire et de 15 à 20% d'argile et éventuellement de correcteurs (fillers, bauxite, etc.), donnant ainsi naissance au clinker. Le mélange initial est appelé cru cimentaire. Cette phase de clinkérisation est précédée d'un processus de décarbonatation (vers 700°C-950°C) très polluant et endothermique (il faut 1776kJ/kg de calcaire pur). En France, il a été produit, en 2018, 16,5 Mt de ciment (les ciments portland¹ CEM I et CEM II représentent près de 80% des ciments utilisés dans le béton). On peut estimer l'énergie nécessaire à la cuisson du clinker comme étant comprise entre 3 MJ/kg et 8 MJ/kg (Institute for Prospective Technological Studies, 2013 ; Kajaste & Hurme, 2016) dépendant du type de cuisson, du four, des matières de combustion, etc.

¹ On parle généralement de ciment portland en référence à la pierre calcaire de l'île de Portland se trouvant outre-manche (Angleterre)

Quant à la consommation électrique, elle s'établit entre 12 et 19 kWh/t de clinker et entre 115 et 130 kWh/t de ciment (Institute for Prospective Technological Studies, 2013). Il faut de plus prendre en considération l'énergie nécessaire à l'extraction et au transport des matières premières, le broyage, le stockage, ainsi que l'impact carbone qui en découle. Celui-ci peut atteindre pour un ciment CEM I : 756 à 866 kg/t de ciment produit.

Pour les différents motifs soulevés, il demeure évident que promouvoir des matériaux à moindre empreinte environnementale est nécessaire (à travers l'optimisation des procédés de fabrication et l'usage intégré et intensifié de sous-produits et coproduits industriels, etc.).

Hydratation du ciment : Il convient de rappeler que le ciment est un liant hydraulique (*i.e.* réagissant avec l'eau). Lors de sa fabrication, le calcaire fournit l'apport en oxyde de calcium (CaO) et les argiles fournissent la silice (SiO_2), l'alumine (Al_2O_3) et l'oxyde de fer (Fe_2O_3). Il est nécessaire de procéder à un mélange homogène des constituants et à un broyage fin (<100 μm) au terme du cycle.

Par ailleurs, il faudra procéder à un gypsage (*i.e.* ajout de gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) du clinker nécessaire au retardement de la prise du ciment.

Au terme de ces préparations sont obtenues des propriétés rhéologiques et mécaniques spécifiques. À titre indicatif, les proportions des principaux constituants sont données dans le Tableau 15 suivant:

Tableau 15 : Principales fractions chimiques dans le ciment hydraulique ainsi que leur proportion respective

Éléments chimique	Formule chimique	Proportion
Silicate tricalcique ou alite	$\text{C}_3\text{S} = 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	55 à 70%
Silicate bicalcique ou bélite	$\text{C}_2\text{S} = 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	18 à 20%
Aluminate tricalcique ou célite	$\text{C}_3\text{A} = 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	8 à 10%
Aluminoferrite tétracalcique ou brownmillerite	$\text{C}_4\text{AF} = 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	6 à 10%

Par ailleurs, les ciments hydrauliques ne possèdent pas réellement des propriétés pouzzoloniques propres (capacité à développer de la résistance en présence de chaux) mais plutôt des propriétés liantes. L'hydratation du ciment passe par la tenue de multiples réactions chimiques. Ce sont ces réactions qui donnent naissance à des hydrates (les silicates de calcium hydratés ou C-S-H) et aux composées indispensables à la durabilité de matrices tels que la portlandite. Les proportions suivantes sont obtenues à l'issue des réactions d'hydratation, c'est-à-dire à 28 jours :

⇒ 86% d'hydrates dont ≈ 56% de C-S-H ; ≈ 20% de portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ; ≈ 10% de sulfoaluminates

⇒ 7% d'eau

⇒ 7% de vides

L'utilisation d'additions minérales judicieusement choisies permet d'améliorer la résistance en augmentant la possibilité de combiner la chaux et donc de développer la résistance des matrices cimentaires.

Il y a donc une pertinence à étudier la possibilité d'utiliser les sédiments (notamment au vu de leur composition chimique riche en silice, calcaire, etc.) en tant qu'addition minérales pour former des crus cimentaires.

Valorisation des sédiments dans le cru cimentaire

La valorisation des sédiments dans le cru cimentaire, ou en tant qu'addition dans le liant, peut représenter une nouvelle source d'approvisionnement de matières. Le cru cimentaire est le mélange de minéraux avant cuisson permettant d'obtenir les clinkers puis les ciments.

Dans les différentes filières de la construction, le sédiment pourrait opportunément servir comme substituant partiel au ciment et/ou du sable et apparaît donc jouer un rôle important du point de vue économique et environnemental dans une logique d'économie circulaire.

La spécification des ciments, leurs compositions et leurs propriétés sont encadrées en France par la norme NF EN 197-1. Or, cette dernière ne fournit aucune exigence sur les caractéristiques des matières premières qui entrent dans la composition du cru ; elle n'apporte des contraintes que sur le produit final. Le cahier des charges sur la composition du cru et des matières premières reste donc différent d'une cimenterie à une autre. Également en perspectives, à partir de 2020, le comité CEN TC 51 normalisera de nouveaux types de ciments à base de calcaire, pouzzolanes, argiles. Ce qui ouvre de réelles possibilités.

Le mode de valorisation décrit ici consiste à remplacer dans le cru cimentaire une partie des matières premières courantes par le sédiment (Figure 19).

Ces derniers apportent les mêmes éléments chimiques majeurs (Ca, Si, Al, Fe) lors de la cuisson et de nombreuses cimenteries ont la possibilité d'intégrer efficacement ces SPI dans leurs process. Le type de sédiment valorisé et ses proportions dépendent d'une part de leur composition et d'autre part du contexte local (disponibilité de ces nouvelles ressources, coût de transport, etc.).

Ces techniques, actuellement en développement, permettent de valoriser généralement les sédiments mis en centre d'enfouissement technique ou de stockage. Ce type de valorisation est notamment intéressant pour les gestionnaires de cours d'eau, de ports, les acteurs industriels, les acteurs politiques et décideurs publics et reste une solution durable.

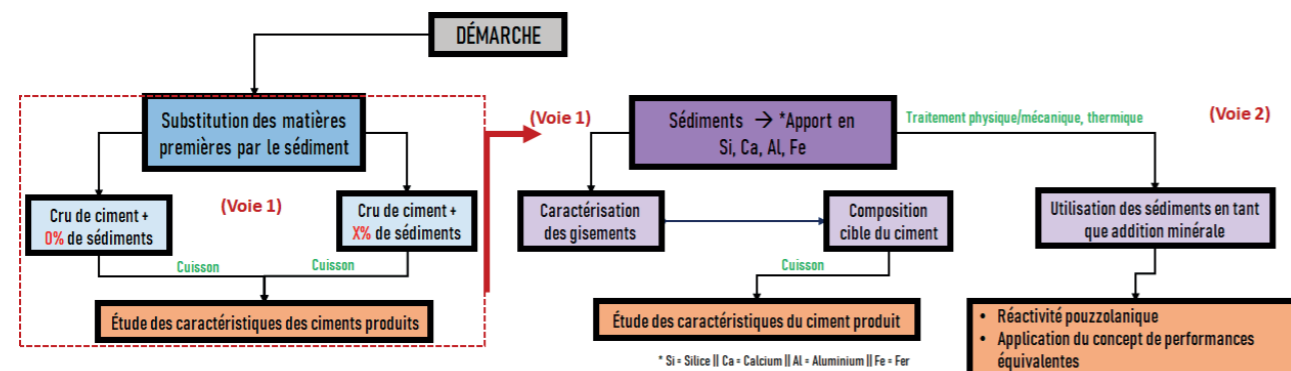


Figure 19 : Démarches de valorisation de sous-produits et de synthèse de ciments à base de sous-produits tels que les sédiments

Les sédiments possèdent la composition élémentaire chimique nécessaire pour pouvoir être valorisés en tant que constituant à part entière dans les crus cimentaires.

Les sédiments comme matière première secondaire pour la fabrication de nouveaux liants

La norme EN 206-1/CN ainsi que le Fascicule 65 autorisent, à travers le principe de performances équivalentes, l'utilisation d'additions minérales non explicitement citées par la norme telles que les sédiments. Ces derniers pourraient être placés sous la catégorie des pouzzolanes pouvant être définis comme dans les normes ACTM C125-07 : « Les pouzzolanes sont communément admises comme des matériaux n'ayant pas de propriétés liantes en eux-mêmes mais qui, en se combinant avec de la chaux à température ordinaire et en présence d'eau, forment des composés insolubles stables possédant des propriétés liantes ».

Cette possibilité offerte permet aussi de promouvoir le développement de ciment « vert », à faible impact environnemental (impact carbone diminué de 40%) comme les ciments LC3 (Limestone Calcined Clay Cement).

Eu égard à leurs caractéristiques physico-chimiques principales, les sédiments sont donc potentiellement valorisables en tant que matériaux pour la construction. Ils se sont d'ailleurs montrés efficaces en tant que produits de substitution dans les bétons dans de multiples études (Mymrin et al., 2017; Oh et al., 2011; K. Scrivener et al., 2017). D'où toute la pertinence de les valoriser dans les matrices cimentaires en s'appuyant sur une approche performantielle et sur le Concept de Performances Équivalentes (CPE) que nous allons détailler en suivant. Cela ouvre la possibilité de développer réglementairement des liants et produits cimentaires à base de sédiments.

Approche performantielle : L'originalité de cette approche porte sur la possibilité de définir des limites performantielles en lieu et place des limites de composition. En effet, eu égard aux multiples défis environnementaux et au développement des bétons technologiques (BHP : Bétons Hautes Performances ; BAP : Bétons Auto-Plaçants, etc.), l'utilisation de cette approche est particulièrement adaptée. Il y a aussi un intérêt réel dans les additions de type II dites pouzzolaniques. Ces dernières sont capables de développer en présence d'eau (H₂O) et de chaux (Ca(OH)₂) des hydrates de type C-S-H.

Notons que trois méthodes sont aujourd'hui utilisées dans le milieu de la construction :

- La transcription de données prescriptives
- La description de mécanismes de dégradation
- Le concept de performances équivalentes

Cette dernière méthode est celle qui est largement utilisée notamment dans les référentiels AFGC (Association Française de Génie Civil) et LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées). Ces référentiels et guides sont des documents techniques nationaux précisant les aspects techniques et pratiques des essais devant être mis en place dans le cadre d'une approche performantielle et qui permettent de simuler le vieillissement accéléré des ouvrages en béton.

Concept de Performances Equivalentes (CPE) : Son principe est le suivant : « *Il est autorisé d'utiliser un béton ayant une composition non explicitement indexée par les normes en vigueur mais ayant une équivalence en termes de performance vis-à-vis d'un béton de référence. Ceci en particulier pour ce qui est relatif à sa résistance au vu de l'environnement auquel il est exposé, sa durabilité, etc. (NF EN 206-1/CN)* ».

Ce concept ouvre la possibilité de qualifier un béton de composition particulière et se comportant au moins aussi bien qu'un béton de référence dont le niveau de risque a été jugé acceptable, dans un environnement donné. Ce concept a servi, dans de multiples cas, à la validation de l'utilisation d'additions minérales dites "nouvelles", en additions normées. C'est donc cette méthodologie qui sera adoptée dans le cadre de nos études en lien aux différentes spécifications sur les essais de durabilité pertinents. Cette approche définit également le concept de liant équivalent L_{eq} . Dès lors, la formulation proposée adopte une configuration dans laquelle le prépondérant rapport pondéral E/C est supplanté par le rapport E/ L_{eq} :

$$\frac{E}{L_{eq}} = \frac{E}{C + \sum_{i=1}^n (k_i * A_i)} \quad (\text{Équation n°2})$$

Avec :

- E = la masse d'eau effective (en kg)
- L_{eq} = la masse du liant équivalent (en kg)
- C = la masse du ciment dans le mortier substitué (en kg).
- k_i = coefficient d'activité/d'équivalence de l'addition i.
- A_i = la masse de l'addition i (en kg)

Le concept de coefficient k est basé sur la comparaison de la performance de durabilité d'un béton de référence contenant un ciment « C » et d'un béton d'essai dans lequel une partie du ciment « C » est remplacée par une addition A.

Influence sur la cinétique d'hydratation et la prise

La présence des additions minérales en général dans une matrice cimentaire est non sans conséquence sur les processus chimiques. En guise d'exemple, la présence d'additions à base calcaire comme les fillers calcaires peut conduire à la formation d'hydrates tels que l'hémi-carbonate et la stabilisation de l'ettringite qui sont des produits de la réaction chimique.

Dans le cas des métakaolins, ils contribuent à l'amélioration des parements et à la résistance alcali-granulat. Des auteurs comme K. Scrivener (*Scrivener et al., 2015*) ont déjà constaté la modification de propriétés, telles que la prise, et la modification de la chaleur d'hydratation lors de l'incorporation de sédiments ou de boues dans des matrices cimentaires.

Cet impact pourrait également être soupçonné dans le cas de l'addition des sédiments de dragage dans les matrices cimentaires à travers un effet physico-chimique, notamment un effet filler, et des effets chimiques telles que les effets pouzzolaniques (*Hu et al., 2014 ; Scrivener et al., 2015*).

En outre, des additions à forte teneur en calcite ($CaCO_3$) ou en chaux (CaO) comme les sédiments, favoriseraient l'hydratation de l'Alite (C3S) et la formation de composées hydratées (*Lothenbach et al., 2008 ; Care et al., 2000*). Cet effet est d'autant plus accentué que leur teneur est forte et la granularité fine.

Activité pouzzolanique des sédiments : L'utilisation des pouzzolanes dans leur généralité, en tant que matériau de construction, remonte au-delà de l'Égypte antique. À l'époque gréco-romaine était déjà utilisée la testa qui est une addition minérale à base de kaolinite broyée et calcinée, ou encore le Carbunculus (pierre volcanique calcinée aux propriétés pouzzolaniques).

Les premières tentatives de détermination de l'activité des additions minérales par des méthodes objectives remontent au 19^{ème} siècle notamment avec les travaux de L. Vicat.

Dorénavant, dans l'optique d'une démarche scientifique rigoureuse, un certain nombre de critères sont posés à l'endroit de ces essais :

- La rapidité, le caractère pratique
- La simplicité de la méthode
- La répétabilité et la reproductibilité
- Une applicabilité généralisable à toutes les additions
- La possibilité de comparaison effective avec d'autres essais

On retient donc qu'un test de pouzzolanité efficace est : rapide, pertinent (significatif) et fiable. Par ailleurs, une utilisation comme matières premières secondaires des sédiments, nécessite qu'un certain nombre de verrous scientifiques et techniques soient levés. Pour une valorisation efficace, une amélioration des performances, et une activation, un traitement thermique sont très souvent nécessaires. Ces traitements entraînent, dans les matériaux, des modifications et/ou transformations impactant le comportement global du matériau et visent à l'améliorer. Ces méthodes / traitements seront présentés en section §4.

Les essais d'activités pertinents sont principalement : le test de Frattini, le test de Chapelle, le suivi de la conductivité électrique, etc. Ces tests permettent de prospecter les mécanismes d'hydratation et leurs relations avec la composition physico-chimique de l'addition minérale.

La détermination du coefficient d'activité mécanique et la teneur en portlandite par analyse ATG permettent également d'estimer l'effet des sédiments dans ces matrices. Enfin, il est aussi important de rappeler que le suivi des cinétiques d'hydratation par calorimétrie ainsi que la quantification des hydrates par thermogravimétrie (ATG) est judicieux pour statuer sur l'influence de la présence des sédiments dans les matrices cimentaires.

L'activité pouzzolanique probable dans les sédiments est conditionnée généralement par la présence de phases minérales argileuses. Mais également par l'application de techniques de traitement thermiques pouvant conduire à une activation chimique.

Impact des contaminants dans les matrices cimentaires

Dans le cadre de la valorisation des sédiments, il semble que la présence des matières organiques et des polluants induit des conséquences notables sur les propriétés physico-chimiques. La présence de matières organiques dans les sédiments impacte les limites de liquidité et de plasticité et les propriétés géotechniques.

La présence de matières organiques réduit également la masse volumique et peut influencer les processus d'hydratation. Des études ont déjà montré que certaines catégories de matières organiques pouvaient sérieusement affecter les réactions pouzzolaniques et occasionner un effet marqué sur la prise et le durcissement du fait notamment de la formation d'un film protecteur autour des grains de ciment (Paria & Yuet, 2006 ; Sora et al., 2002). Certains contaminants présents peuvent aussi provoquer une dépassivation du milieu par baisse de pH et consommation des ions Ca^{2+} indispensables à la formation des cristaux de portlandite et aussi diminuer l'efficacité de l'adsorption des molécules organiques lors d'utilisation de superplastifiant. La présence d'acides humiques peut dans certains cas favoriser une réaction avec la portlandite et donner naissance à des produits insolubles.

À noter que dans les sédiments méditerranéens en particulier, des fibres de Posidonies peuvent-être présentes. Celles-ci sont imputrescibles et minéralisées, et il est très difficile de les séparer des déblais. Leur présence doit être analysée en termes de conséquences sur les caractéristiques des matériaux valorisés.

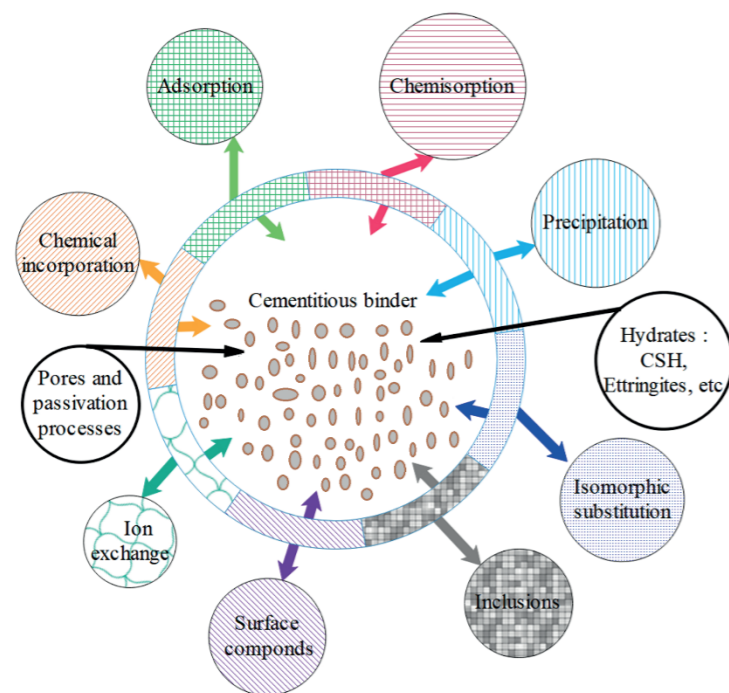


Figure 20 : Mécanismes de transport et percolation des polluants (Malviya & Chaudhary, 2006b, 2006a)

La présence de polluants minéraux dans les matrices cimentaires peut présenter un effet généralement néfaste (Figure 20) tant du point de vue mécanique que dans ses propriétés de durabilité (Malviya & Chaudhary, 2006b, 2006a) et de relargage. Ces polluants impactent donc négativement la résistance en compression en agissant sur la porosité du milieu et la formation du gel C-S-H.

C'est donc par une prise en considération de tous ces éléments qu'il est important de mettre en place des processus d'élimination partielle ou totale de ces polluants lors de la valorisation des sédiments dans des matrices cimentaires. Ceci notamment à travers un traitement thermique optimisé, etc.

Les sels marins tels que l'hydroxyde de sodium (NaOH) ou les sulfates de sodium entraînent, pour des concentrations inférieures à 2%, un accroissement des résistances au jeune âge mais cet effet s'inverse pour des concentrations au-delà de 8% (Malviya & Chaudhary, 2006a). Par ailleurs, l'adjonction de polluants minéraux ainsi que des sels marins entraîne nécessairement, quel que soit la concentration ou la nature, une augmentation de la densité de la matrice cimentaire à base de ciment portland (CEM). Des problématiques de durabilité (RSI) et de corrosion peuvent aussi être posées et doivent être étudiées.

Les essais de durabilité en valorisation dans les filières cimentaires : Porosité, ions chlorure, alcali-réaction, gel dégel, etc. :

Il est important de préciser que les matériaux cimentaires sont destinés à être utilisés dans un environnement possiblement agressif. Il est donc nécessaire d'étudier et de garantir la pérennité de ce type de matériaux à travers l'étude de leur durabilité. Par conséquent, il faut, dès la conception, prendre en compte la résistance que doit présenter le matériau au vu des agressions du milieu. Également, il semble opportun de quantifier son éventuel impact face à son environnement extérieur immédiat (effets de sa lixiviation). Dans la perspective de répondre à ces problématiques, de multiples essais de durabilité existent. Vis-à-vis de la durabilité, des performances et de l'impact environnemental, les essais pertinents à mettre en place seraient (voir Tableau 16) :

- Essais de diffusion des ions chlorures
- Attaques sulfatiques
- Réaction alcali-granulat
- Essai perméabilité à l'eau
- Perméabilité aux gaz
- Essai de gel-dégel
- Essais de carbonatation
- Essai de lixiviation

Il semble donc évident que la valorisation des sédiments dans la filière « liants » passerait par l'utilisation du concept de performance équivalente. Celle-ci offrirait la possibilité de les valoriser comme addition minérale sur garantie de performance.

Tableau 16 : Durées estimatives des essais de durabilité

	Durées	Objectif de l'essai
Attaque sulfatique interne et externe : LPC 66, NF 18-837, ASTM C1012 ou ASTM C452	28, 60 et 90 et 180 jours minimum	Évaluation du comportement et de la résistance au sulfates (suivi du gonflement et des variations dimensionnelles et de masse)
Perméabilité aux ions chlorure : XP P18-461 et ASTM C 1202-97	À maturation (28, 60, 90 et 180 jours)	Évaluation du potentiel de corrosion par intrusion d'ions chlorure et de l'effet sur les armatures
Gel– dégel : NF EN 18424/18425	En général pendant 6 mois et au minimum 3.5 mois	Évaluation du niveau de dégradation lors de cycles de gel-dégel
Porosité accessible à l'eau : NF P18-459	À maturation (28 jours minimum puis 60 et 90 jours)	Mesurer la porosité ouverte accessible à l'eau
Porosité par intrusion de mercure : NF P 94-410-3	À maturation du béton (28 jours minimum puis 60 et 90 jours)	Mesurer la porosité interne totale (connectée et non connectée)
Réactivité alcali-granulats : NF P18-594 / NF P18-454, ASTM C 1260	28, 60 et 90 jours minimum	Évaluer le potentiel réactif des granulats y compris sédiments en présence d'humidité en milieu alcalin (suivi du gonflement et des variations dimensionnelles et de masse)
Perméabilité au gaz : XP P18-463 et les méthodes AFPC-AFREM	28, 60 et 90 jours minimum	Évaluer de l'effet gaz dans la durabilité des bétons
Carbonatation accélérée : NF EN 13295 / XP P18-458	28, 60 et 90 jours minimum	Simuler la réaction de carbonatation au sein du béton et effet sur la dépassivation des aciers

3.2. Autres voies de valorisation identifiées

Il existe divers autres domaines où les sédiments peuvent aujourd'hui être valorisés. Les paragraphes suivants présentent quelques-unes de ces voies :

3.2.1) Valorisation de sédiments en amendement agricole

L'épandage agricole des sédiments de dragage apparaît comme une solution assez intéressante en vue d'une utilisation « naturelle » des sédiments. On peut dégager les trois voies principales de valorisation agricole :

- Amendement
- Reconstitution/reconstruction de sols
- Support de culture

L'article 9 de l'arrêté du 30 Mai 2008, mentionne la possibilité d'effectuer « un épandage agricole, sous réserve de l'accord des propriétaires des parcelles et du respect des prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles fixées par l'arrêté du 08 janvier 1998 ». De même, l'article 4.a) de la circulaire du 4 Juillet 2008, précise également que l'épandage des sédiments de dragage sur une parcelle agricole ne peut se réaliser que pour des sédiments non dangereux. La récente note du CEREMA (*Opérations de dragages maritimes et modalités de gestion de leurs matériaux*, 2021) précise les dispositions relatives aux conditions générales d'épandage des boues d'épuration prévues aux articles R.211-31 à R.211-45 du code de l'environnement et dans l'arrêté du 8 janvier 1998 ; mais montre qu'il y a inadéquation pour les sédiments marins notamment du fait de leur salinité.

Il faut par ailleurs évaluer le niveau de conformité des paramètres listés dans le Tableau 17.

Ce type de valorisation est plutôt réservé aux sédiments lacustres sans sels afin d'éviter d'affecter la qualité des sols. Les facteurs limitants en amendement agricole sont la méconnaissance de la valeur agronomique des sédiments, la possibilité de trouver des parcelles agricoles proches des voies navigables pour épandre les sédiments et enfin le cadre réglementaire adapté. Il faut donc s'assurer de leur innocuité pour connaître leur potentiel en valorisation agricole (qui est en outre lié à leur pouvoir fertilisant propre). Dans les sols les sédiments peuvent être aussi utilisés comme vecteur restructurant.

Tableau 17 : Paramètres agronomiques recherchés dans les sédiments de dragage

Paramètres recherchés	
Les paramètres agronomiques généraux	Les paramètres structuraux
MS, MO, pH, rapport C/N, NKT, NH4+, P, Ca, Mg, K, CEC, test de Phytotoxicité	Granulométrie, test de stabilité structurale, teneur en eau

3.2.2) Aménagement paysager

Les réalisations de remblais, merlons, mur d'isolation phonique, correspondent aux systèmes d'aménagements dont le principe est de combler un creux ou plus souvent d'élever un terrain. Les sédiments peuvent aussi être utilisés dans les ouvrages paysagers (buttes) dont la vocation est de constituer des « noyaux de biodiversité » ou encore un élément architectural et environnemental. Ces buttes ont à titre d'exemple permis de valoriser près de 300 000 m³ de sédiments du port de Dunkerque. Pour une valorisation dans de tels ouvrages les sédiments doivent garantir des propriétés de perméabilité et de teneur en matières organiques bien spécifiques. Par ailleurs, l'article L.541-32 du code de l'environnement prévoit qu'il doit être justifié que l'utilisation de ces déchets se fait dans un but de valorisation et non d'élimination. Ainsi, les sédiments à mettre en place dans les travaux de remblaiement doivent offrir des capacités géotechniques suffisantes pour garantir la stabilité d'ensemble de l'ouvrage.

La surcharge induite par le poids des terres ainsi rapportées ne devra pas remettre en question la stabilité des aménagements éventuels. La composition chimique des sédiments de remblai doit également être vérifiée. Parmi les avantages de ces systèmes on peut citer : facilité du suivi environnemental, valorisation intéressante (stockage de matériaux important évité), volumes valorisés très conséquents, impacts environnementaux faibles si la technique est bien maîtrisée.

3.2.3) Valorisation en matériaux de rechargement et de comblement

Les sédiments peuvent aussi être utilisés en tant que matériaux de rechargement pour les plages, le remplissage de cavités par la préparation de coulis, le comblement de carrières et de gravières, etc. Pour le cas particulier du rechargement de plages, les chlorures et sulfates présent dans le sédiment ne pose généralement pas problèmes.

Pour être aptes à être utilisés en rechargement de plage, les sédiments ne doivent pas être pollués (doivent être classés inertes au sens de l'arrêté du 28 octobre 2010 ou du 12 décembre 2014). Ils doivent aussi être de nature sableuse (teneur en sable >75 %).

Pour envisager une valorisation en réalisation de polders, il est important que les sédiments puissent être classés inertes ou non dangereux à la suite d'une étude de lixiviation (NF EN 12920 + A1). Par ailleurs, en fonction des dimensions horizontales et verticales, des règles d'obligation d'étude d'impact peuvent être nécessaires.

L'utilisation de sédiments, dans ce type d'opération permet de combler une cavité, et peut servir de couche imperméable pour une remise en eau du site, ou de support pour l'introduction de terres végétales. Cependant selon les termes de l'arrêté 22/09/1994 suivant les conditions d'admission de l'arrêté ministériel du 12 décembre 2014 relatif aux installations de stockage de déchets inertes (ISDI), qui fixe les règles de réhabilitations des carrières, les sédiments utilisés devront être inertes.

Pour le cas de sédiments marins, il est donc nécessaire de surveiller judicieusement les teneurs en chlorures et sulfates. Dans une approche similaire, les sédiments sont aussi parfois utilisés comme matériaux pour remodelage de dôme, pour assurer une parfaite étanchéité et un bon écoulement des eaux pluviales. Ce système profitant de l'imperméabilité des sédiments (notamment les fractions fines/argileuses).

3.2.4) Briques

La norme NF EN 771-1 (AFNOR, 2011b). "Spécification pour éléments de maçonnerie. Partie : Briques de terre cuite" sert de jauge quant à la production et la qualité des briques de terre cuite.

Les matières premières pour la fabrication des briques sont d'origine et de nature variées et bien souvent non spécifiées. Les garanties s'imposent outre l'innocuité des matériaux, aux propriétés finales des briques, tuiles et céramiques en termes de résistance et de performances (acoustiques, thermiques, etc.). La température de calcination est généralement choisie entre 600°C et 1200°C et un temps de cuisson de 6h à 48h. Ce qui correspond à la température de frittage mais contribue aussi à l'élimination de la pollution minérale ou organique lorsqu'elle est présente.

La plupart des travaux menés sur la valorisation des sédiments concluent à une qualité très satisfaisante des produits cuits fabriqués. Outre les multiples études laboratoire (Cappuyns et al., 2015 ; Minocha et al., 2003 ; Myrmin et al., 2017), des initiatives à échelle industrielle se sont aussi manifestées.

Afin de s'affranchir de désordres tels que l'apparition d'efflorescences en surface, la norme NF EN 771-1 prévoit, en fonction des conditions d'exposition à l'eau et de protection des briques, trois classes (S0 à S2) correspondant à des concentrations massiques maximales pour les ions Na⁺, K⁺ et Mg²⁺.

Pour ces différentes filières, il est important de conduire une approche par optimisation de multiples paramètres. Plusieurs méthodes commencent aujourd'hui à être utilisées et s'appuient sur la modélisation mathématique, l'analyse et l'exploitation de données avec l'intelligence artificielle, l'analyse opérationnelle, les SIG, etc. Nous allons présenter dans la suite des exemples d'outils opérationnels développés dans le cadre des projets européens USAR et PRISMA.

3.3. Outils de suivi environnemental

Dans le cadre d'un projet de valorisation des sédiments dans des produits ou ouvrages, il conviendra de mettre en place un outil de suivi environnemental. Il consiste à placer l'ouvrage de valorisation dans un dispositif de suivi où les conditions d'expositions sont contrôlées et maîtrisées (ex. pluviométrie, rayons UV, température, etc.). Le suivi devra permettre d'évaluer précisément le comportement et les propriétés environnementales et mécaniques des planches expérimentales. La durée du suivi des planches expérimentales sera comprise entre 6 et 12 mois en fonction des paramètres analysés.

Le principe de son fonctionnement est le suivant : une eau de process (de pluie ou déminéralisée) est pompée dans une cuve (ou GRV) puis asperge les planches expérimentales à l'aide de buses d'aspersion. Cette eau quantifiée précisément, est ensuite recueillie dans des fûts sous le bac où sont positionnées les planches expérimentales. La prise d'échantillon se fait alors dans ce fût, à l'aide du robinet de vidange. Une fois l'échantillon prélevé, l'eau est envoyée, grâce à une pompe installée dans le fût vers un fût de stockage. Une fois les résultats connus, l'eau est évacuée en fonction de sa contamination vers des filières adéquates.

Rappelons aussi que l'outil sera dimensionné de manière à ce que plusieurs planches expérimentales puissent être suivies en même temps et pour permettre l'ensemble des manipulations de montage et de prélèvements (Figure 21).

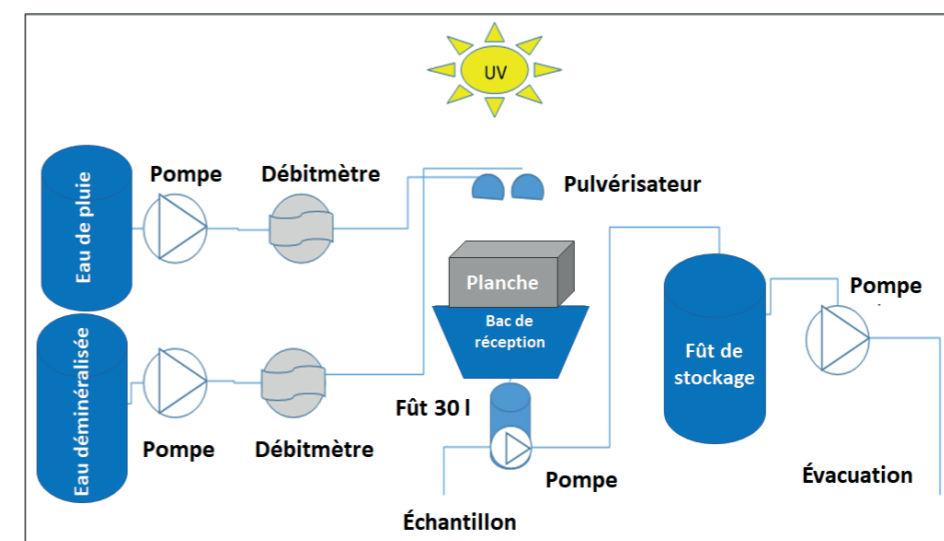


Figure 21 : Dispositif de suivi des planches expérimentales

L'importance de disposer d'un outil de suivi environnemental réside dans le fait qu'il permet d'accélérer le vieillissement d'un ouvrage via la simulation des conditions réelles et de déterminer son innocuité environnementale grâce à la comparaison entre un ouvrage témoin traditionnel et ce même ouvrage contenant des sédiments.

La comparaison est basée sur l'analyse des eaux de ruissellement ou de percolation qui se chargent plus ou moins en pollution au contact de l'ouvrage. À minima, les éléments traces métalliques (métalloïdes, fraction soluble) ainsi que les polluants organiques (HAP, PCB, BTEX, etc.) réglementés seront analysés sur les eaux de ruissellement des pilotes et ouvrages témoins et ceux réalisés à base de la formulation validée en phase laboratoire.

Ce suivi est complété d'une analyse des performances mécaniques de l'ouvrage (résistance à la compression, indentation : étude des propriétés internes et des interfaces et module d'élasticité) afin de s'assurer de la durabilité des différents produits formulés dans le temps.

3.4. Modélisation mathématique de la gestion des sédiments en vue d'une valorisation optimale

L'optimisation des solutions de valorisation doit être réalisée en amont de toute démarche expérimentale souvent lourde à exécuter. L'élaboration et l'utilisation d'outils ou de logiciels d'aide à la décisions basés sur des modélisations mathématiques, logistique, d'intelligence artificielle ou de gestion de flux peut orienter (scientifiques et décideurs) vers des choix de valorisation réalistes prenant en compte la complexité de la gestion des déchets, sous ou coproduits industriels.

Cette optimisation par la modélisation est multi échelle :

- Échelle du matériau : optimisation numérique par la recherche opérationnelle et l'intelligence artificielle des formulations à base de déchets en prenant en compte tous les paramètres en lien avec la conception, la formulation, l'utilisation et la fin de vie du matériau.
- Échelle urbaine et territoriale : aide à la création de métabolismes urbain circulaires des matériaux en prenant en compte différents acteurs et paramètres : le flux des déchets et matériaux, les phasages temporel et spatial des traitements, le stockage, le transport, la mise en œuvre, l'exploitation et la maîtrise de la fin de vie. Ceci en impliquant à chaque étape les d'acteurs qui sont à même de pouvoir recycler, réemployer et réutiliser ces ressources.

Concernant le management des sédiments, leurs traitements et leurs valorisations, certains outils et modèles existent sur le marché, mais restent très peu nombreux. La plupart de ces outils est basée sur de l'aide à la décision multicritères, ou souvent l'utilisateur doit lui-même donner une priorisation des critères qu'il juge important (le cout global, l'environnement, l'aspect social, etc.). Ces outils traitent rarement les couts directs de la valorisation des sédiments en prenant en compte simultanément les différentes dépenses liées à l'extraction, au traitement, au transport, au stockage, à la mise en œuvre, et à l'impact environnemental des sédiments valorisés.

Depuis quelques années, et notamment à travers des projets collaboratifs européens (Interreg PRISMA (2014-2017) et USAR (2017-2021)), plusieurs pays tels que la France, les Pays Bas, le Royaume Uni et la Belgique se sont lancés dans la mise en œuvre d'une nouvelle génération d'outils de management des sédiments.

L'IMT Nord Europe, partenaire de ces deux projets, a pris le leadership pour la création de nouveaux logiciels capables de proposer aux décideurs, managers de voie d'eau, industriels, bureaux d'études, collectivités et chercheurs, des solutions de valorisations optimales tout en prenant en compte les contraintes et critères normatifs et environnementaux, techniques et économiques sans avoir à poser au préalable des choix multicritères ou de devoir intégrer dans la base de donnée une quantité astronomique de données.

- **Exemple concret d'outil opérationnel**

À titre d'exemple, ci-dessous une description du fonctionnement de l'outil PRISMA (Promoting Integrated Sediment Management) équivalent à l'outil OSMS (Operational Sediment Management System) développé par l'IMT Nord Europe et ses partenaires. Cet outil est basé sur une modélisation mathématique de la gestion des sédiments en vue d'une valorisation dans des applications de génie civil et de renforcement des sols.

L'objectif de l'outil OSMS est de modéliser différentes contraintes à travers un modèle mathématique basé sur l'expérimentation et l'état des connaissances liées aux sédiments. La fiabilité de l'outil développé a été validée par une étude comparative entre résultats expérimentaux et de modélisation. La robustesse d'un modèle mathématique est appréciée à travers son temps d'exécution et la validité des résultats obtenus mais également dans la maîtrise des processus de valorisation. Dans l'organigramme ci-dessous (Figure 22) est représenté un exemple de processus, assez classique, utilisée pour la valorisation des sédiments de dragage.

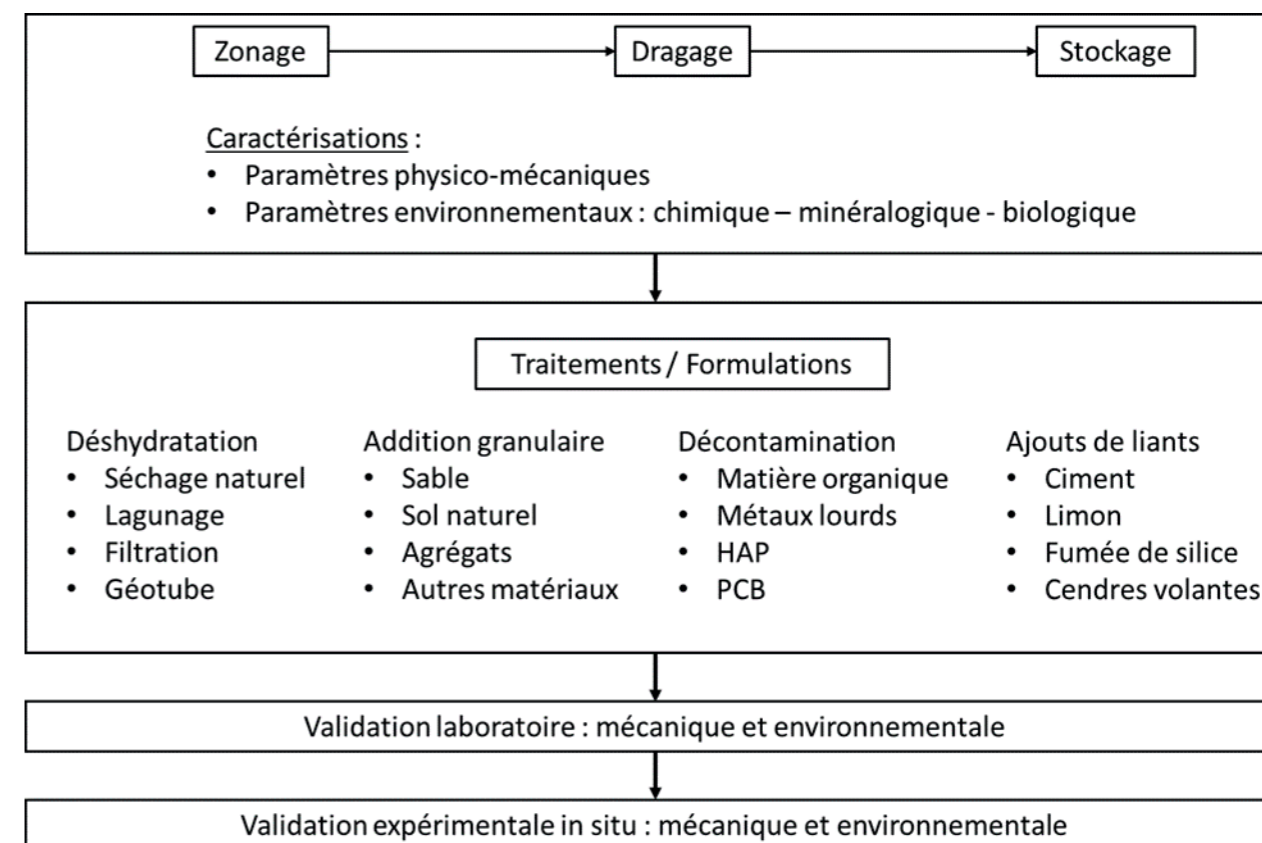


Figure 22 : Processus de valorisation des sédiments de dragage

L'étape de traitement et de formulation du nouveau matériau à base de sédiments nécessite un travail de réflexion et d'optimisation. Elle correspond aussi au choix des différents traitements nécessaires pour l'amélioration du comportement du sédiment tout en respectant des critères et exigences de faisabilité : mécaniques, environnementales et économiques.

Plusieurs techniques de traitement existent telles que la réduction de la pollution par les méthodes électrocinétiques (Laustsen, 2007), la réduction de la matière organique par décontamination biologique (Rodríguez et al., 2013) ou par calcination (Belas et al., 2011) et la réduction de la teneur en eau par filtre presse, géotubes ou décantation naturelle (Cappuyns et al., 2015). Les méthodes de formulation consistent principalement à augmenter la résistance du matériau en vue d'une valorisation.

Ces formulations se font principalement par des corrections et ajouts granulaires et/ou par des ajouts de liants hydrauliques (Amar et al., 2018 ; el Mahdi Safhi et al., 2019). Le choix et l'optimisation de ces méthodes de traitement se basent également sur des critères économiques, mécaniques et environnementaux.

Le principe de fonctionnement de l'outil est d'automatiser les résultats des recherches scientifiques obtenus sur la valorisation des sédiments et de les croiser avec des données et contraintes réglementaires et économiques. Ces résultats sont alors modélisés mathématiquement et intégrés dans un logiciel informatique.

Nous présentons ci-dessous les principales composantes de cet outil, ainsi que la modélisation mathématique des résultats scientifiques concernés. L'architecture globale de l'outil est illustrée à la Figure 23 ci-après.

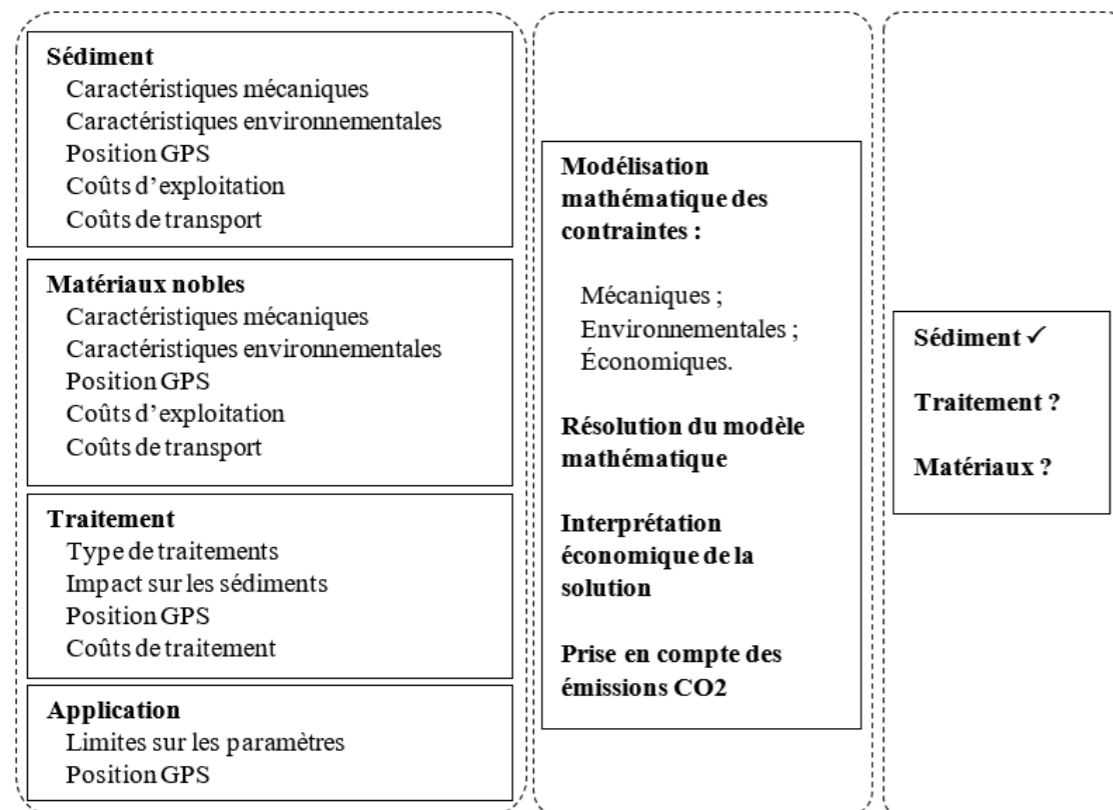


Figure 23 : Composantes du logiciel

Cet outil se décompose principalement en trois modules :

- **Données** : module destiné à la collecte des données liées aux sédiments, aux matériaux, aux centres de traitements et de stockage et aux applications souhaitées
- **Optimisation** : module destiné à la modélisation des contraintes puis à la résolution du modèle mathématique qui en résulte
- **Solution/Sortie** : module destiné à l'interprétation des solutions du modèle et à répondre aux questions soulevées. À titre d'exemple, l'outil doit répondre à ce type d'interrogation : pour un sédiment et une application donnée, quels sont les traitements et les ajouts granulaires optimaux ? (« Sédiment ? Traitement ? Matériaux ? »).

Données du modèle

Trois classes de données sont implémentées dans le modèle :

- Les données relatives au matériau
- Les données relatives aux centres de stockage et traitement
- Les données relatives aux applications

Données relatives au matériau (sédiment)

Le sédiment (resp. matériaux) est identifié principalement par les données suivantes :

- **Emplacement géographique** : l'adresse et/ou les coordonnées GPS de la position géographique nous permettent de calculer les coûts de transport des sédiments (resp. matériaux).
- **Coût unitaire du transport** : cette donnée est complémentaire à la première donnée. Elle nous permet d'évaluer le coût précis du transport des sédiments et des autres matériaux.
- **Coût d'exploitation ou d'achat** (en cas de matériaux additionnels) : Par rapport au sédiment, plusieurs types de dragage existent (dynamique, hydraulique, etc.). Le coût varie selon le type de dragage et l'emplacement du sédiment. Concernant les matériaux nobles, leur prix d'achat est une information importante car il s'agit d'un coût considérable.
- **Caractéristiques environnementales** : l'état chimique des sédiments (resp. matériaux) est important lors du processus de valorisation. Le choix des prétraitements et traitements sur les éléments polluants sera modélisés par des contraintes mathématiques afin de décontaminer ces sédiments d'une façon optimale.
- **Caractéristiques mécaniques** (granulométrie, plasticité, teneur en eau, etc.) : Ces données permettent de classer les sédiments (resp. matériaux). Elles permettent également d'identifier ses points faibles. Les caractéristiques de compactage considérées comme faibles sont corrigées par des ajouts granulaires, opération qui est prise en compte par un ensemble de contraintes du modèle mathématique.
- **Matière organique** : ce paramètre concerne principalement les sédiments. Selon l'application de la valorisation souhaitée des sédiments, il peut y avoir une limite en pourcentage toléré pour la matière organique (exemple : <3% pour l'application routière).

Les trois premiers paramètres font partie de l'objectif du modèle mathématique où est cherchée une solution à moindre coût. Les trois derniers font partie des contraintes du problème. L'ensemble des données permet de produire la fiche sédiment.

Données relatives aux centres de traitement : Pour la décontamination, les sédiments pollués sont souvent transportés en centres de traitements. De plus en plus des solutions de traitement mobiles voient également le jour. L'emplacement (adresse et/ou coordonnées GPS) de ces centres constitue alors une donnée nécessaire pour évaluer les coûts de transport. Chaque centre effectue un ensemble de traitements qui est pris en compte dans la modélisation. Chaque traitement dépend essentiellement de trois données : le coût du traitement, le sédiment à traiter et l'effet de ce traitement sur les contaminants. Une solution optimale du modèle est une solution qui propose les traitements suffisants pour décontaminer le sédiment à moindre coût selon les contraintes de l'application choisie.

Données relatives aux applications : Avant de présenter la modélisation mathématique mise en œuvre, quelques données importantes supplémentaires liées à l'application souhaitée doivent être implémentées : Limites de tolérance pour les paramètres chimiques et mécaniques (dans notre exemple, il s'agit de l'application « Route » où le guide SETRA doit être respecté) ; Coordonnées GPS de l'emplacement du projet (le lieu de réalisation de l'application (route dans notre exemple) doit être spécifié afin d'évaluer les coûts de transport). Après avoir introduit ces données, nous allons maintenant présenter la modélisation mathématique développée pour la formulation de nouveaux matériaux à base de sédiments. Rappelons que le modèle mathématique peut traiter d'autres sous-produits que les sédiments.

Optimisation : La gestion des données est très importante pour le processus de valorisation des sédiments. L'optimisation de la valorisation passe par une modélisation mathématique. Cette modélisation est nécessaire pour l'automatisation intelligente des traitements d'une riche base de données afin de satisfaire aux différentes contraintes du problème. La fonction « objectif » de cet outil répond à cette question principale : quel est le coût minimal d'une opération de valorisation en respectant toutes les contraintes techniques, réglementaires et économiques.

Validation du modèle : Exemple avec l'application routière : Afin de valider les modèles mathématiques, des tests ont été effectués sur différents types de sédiments en vue de leurs valorisations. Ces sédiments ont des concentrations de matières organiques plus élevées que les seuils tolérés en application routière. De plus, leurs propriétés mécaniques sont inférieures aux propriétés requises pour cette application. Comme indiqué précédemment, plusieurs traitements existent pour réduire la matière organique dans le sédiment (chimique et/ou ajout granulaire). D'autre part, pour améliorer la capacité portante de l'ouvrage et augmenter ainsi ses propriétés mécaniques, il est souvent nécessaire de faire des ajouts granulaires (exemple sable). À partir de ces observations, la méthodologie adoptée consiste en l'ajout de granulats additionnels pour améliorer la capacité portante du mélange (sédiment-sable). Pour cet exemple, trois types de sédiments et trois types de sable naturel sont choisis. Les différentes données relatives à ces matériaux avant mélange ont été introduites dans le modèle.

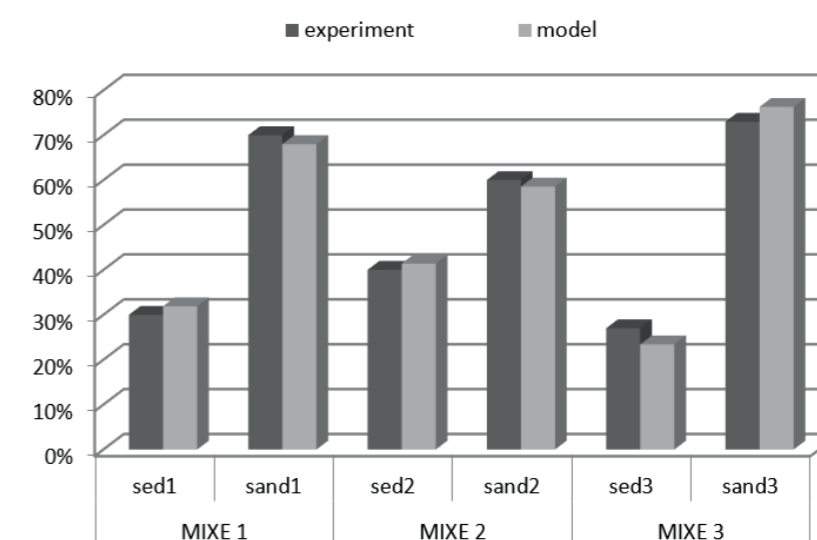


Figure 24 : Comparaison entre les résultats expérimentaux et ceux du modèle

La Figure 24 indique clairement que les résultats obtenus (pourcentage optimal des mélanges) par le modèle et par les essais expérimentaux sont très proches. Les mélanges résultants respectent les contraintes réglementaires pour la matière organique (<3%) et convergent vers les mélanges optimaux obtenus en laboratoire. Cet outil donne également le coût de l'opération de valorisation, la quantité de CO₂ émise et propose également les nouvelles courbes granulométriques des mélanges obtenus.

L'exemple de cet outil et de cette nouvelle approche n'est que le début de toute une génération de logiciels d'optimisation de la valorisation des sédiments. Plusieurs projets sont en cours pour développer cette approche et notamment à travers la chaire industrielle Ecosed D 4.0 : ECOnomie circulaire des SEDiments Digital 4.0. Dans cette chaire, plus d'une vingtaine de partenaires se sont réunis pour étudier et expérimenter les possibilités de valorisation des sédiments et ont mis comme objectif central le développement d'un logiciel d'optimisation de la valorisation des sédiments basé sur la même approche opérationnel d'aide à la décision.

À l'ère du numérique et de ses nouvelles possibilités, ces nouveaux partenariats vont sans doute aboutir à des outils performants répondant aux attentes des industriels, décideurs et autres acteurs, mais il est primordial d'accompagner ces travaux par des recherches approfondies et des volontés politiques constructives pour normaliser et faire accepter l'utilisation des sédiments comme nouvelles ressources. Plusieurs groupes de travail planchent actuellement sur le lancement de « GREEN DEAL » et d'engagement « public-privés » ce qui donne une belle perspective à cette thématique de la valorisation responsable des sédiments.

SOMMAIRE CHAPITRE 4

4.	TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES SÉDIMENTS	93
4.1.	Le prétraitement	93
4.2.	Les traitements	93
4.3.	Exemples de procédés	94
	4.3.1) La calcination traditionnelle	95
	4.3.2) La calcination flash	96
	4.3.3) Les méthodes chimiques	98

4. TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES SÉDIMENTS

Le traitement des sédiments de dragage peut viser de multiples objectifs à des fins de valorisation. Ces objectifs peuvent être de détruire, d'extraire, d'immobiliser ou neutraliser les contaminants, la fraction organique ; d'activer le matériau ; d'améliorer sa granulométrie ; etc.

4.1. Le prétraitement

Le prétraitement est la procédure initiale à appliquer en vue d'un traitement. Les opérations de prétraitement portent plusieurs intérêts. Elles visent en général à limiter le volume de sédiments à traiter par optimisation des volumes recyclables ; à réduire la teneur en eau en vue d'une facilité de transport et de stockage, à améliorer la peletabilité, etc. Il faut également préciser que les fractions fines restent un sujet important pour lequel des techniques adaptées doivent être davantage développées. Ces fractions posent notamment des problématiques importantes liées à la fixation des polluants minéraux ou organiques. Les techniques de prétraitement existantes peuvent être regroupées dans 2 grandes familles :

- **Séparation** : Technique d'attrition (hydrocyclonage), bassin de séparation, coagulation/floculation, criblage, dégrillage, déschlammage, etc.
- **Déshydratation** : Lagunage actif en bassin, tissus géopolymères, etc.

La technique de lagunage actif en bassin est une technique très utilisée notamment dans le secteur portuaire car cette méthode concerne principalement les produits de dragage extraits par drague hydraulique, technique majoritairement utilisée. À l'issue du procédé, on observe des siccités allant jusqu'à 65% ; ce qui facilite le transport et la mise en dépôt (Xu et al., 2014).

4.2. Les traitements

Ces procédés visent l'amélioration de propriétés spécifiques des sédiments ou la neutralisation des polluants présents. Ils se différencient par leurs moyens de mise en œuvre, leur efficacité, leurs intérêts, leurs limites et leurs coûts. La typologie des techniques de traitements courants est donnée ci-après :

- **Traitements physiques** (flottation, extraction sous vide, ...) : utilise les propriétés physiques tel que la gravité ou l'attraction interparticulaire
- **Traitements mécaniques** (filtre presse, filtre sous vide, centrifugation, ...)
- **Traitements chimiques** : ex. par ajout d'un oxydant chimique en vue de favoriser une réaction d'élimination (par exemple l'eau oxygénée H₂O₂) ; ajout de floculants
- **Traitements physico-chimiques** (phosphatation, acidification, dechloration, lessivage, ...), qui permettent, par le mélange avec des agents chimiques ou l'envoi d'un courant électrique, d'attirer et séparer les particules polluées, etc. Il existe par exemple le procédé Novosol® utilisant la phosphatation (stabilisation) + calcination. Avec ce procédé le traitement de sédiments ayant une teneur en eau de 50% peut coûter autour de 70€/t (Zeraoui et al., 2020).

- **Traitements biologiques** (bioremédiation, phytoremédiation, Sesatec®, bioréacteur, compostage, épandage sous serre, Rotamix®) : utilisation d'organismes vivants tel que les bactéries, champignons, algues, enzymes, etc. afin d'accélérer la biodégradation des polluants organiques tel que les HAP ou les huiles. À titre d'exemple, une technique de bioremédiation a été utilisée dans des ports varois, mais aussi dans certains projets Sedimatériaux tels que Biotraitement, Biosynergie®, Sediasphalte, etc. Il faut préciser qu'elle est réalisée in situ ce qui permet de réduire les impacts (absence de stockage, absence de transport, etc.)

- **Traitements thermiques** (désorption thermique, incinération, calcination, vitrification, pyrolyse, oxydation) : procédés visant sous haute température (600°C – 1500°C) à la désintégration totale ou partielle de la matière organique. Ils contribuent aussi à éliminer les polluants organiques et minéraux (HAP, PCP, TBT, Zn, etc.). La désorption thermique (DT) en four ou thermopile est particulièrement efficace pour la décontamination des sédiments : D'une part la DT chauffe la matrice à 400°C (voire 350° dans certains cas). En effet, certains polluants passent en phase gazeuse à des températures assez « basses ». D'autre part, ce sont les polluants organiques (HCT/HAP/PCB/TBT) qui sont essentiellement visés. Certains Éléments Traces Métalliques passent en phase gazeuse entre 350°C et 450°C (principalement le mercure Hg). À noter qu'il existe également le « venting chaud », technique assimilable à une DT qui a pour objet d'injecter de l'air chaud à 60°C-80°C, mais reste très peu adaptée aux sédiments à cause du taux d'humidité persistant après déshydratation (entre 40% et 30 % d'eau (soit 60 à 70% de siccité)).

- **Stabilisation par solidification** consiste en l'ajout d'un liant hydraulique à base de ciment ou de chaux (recarbonatation sous l'effet du CO₂ ambiant), les pouzzolanes, minéraux argileux ; possiblement à basse température (110°C - 150°C) - grâce à des liants organiques (bitume), puis stabilisation après moulage.

4.3. Exemples de procédés

Les techniques de traitement thermiques se sont montrées particulièrement efficaces car elles induisent une activation physico-chimique des phases minérales présentes. Cette activation permet d'améliorer les performances du matériau en atténuant, voire supprimant les effets néfastes des polluants minéraux (Zn, Cu, etc.) et organiques (HAP, matières organiques, etc.).

La Figure 25 montre une proposition de méthodologie d'optimisation de traitement physique et thermique.

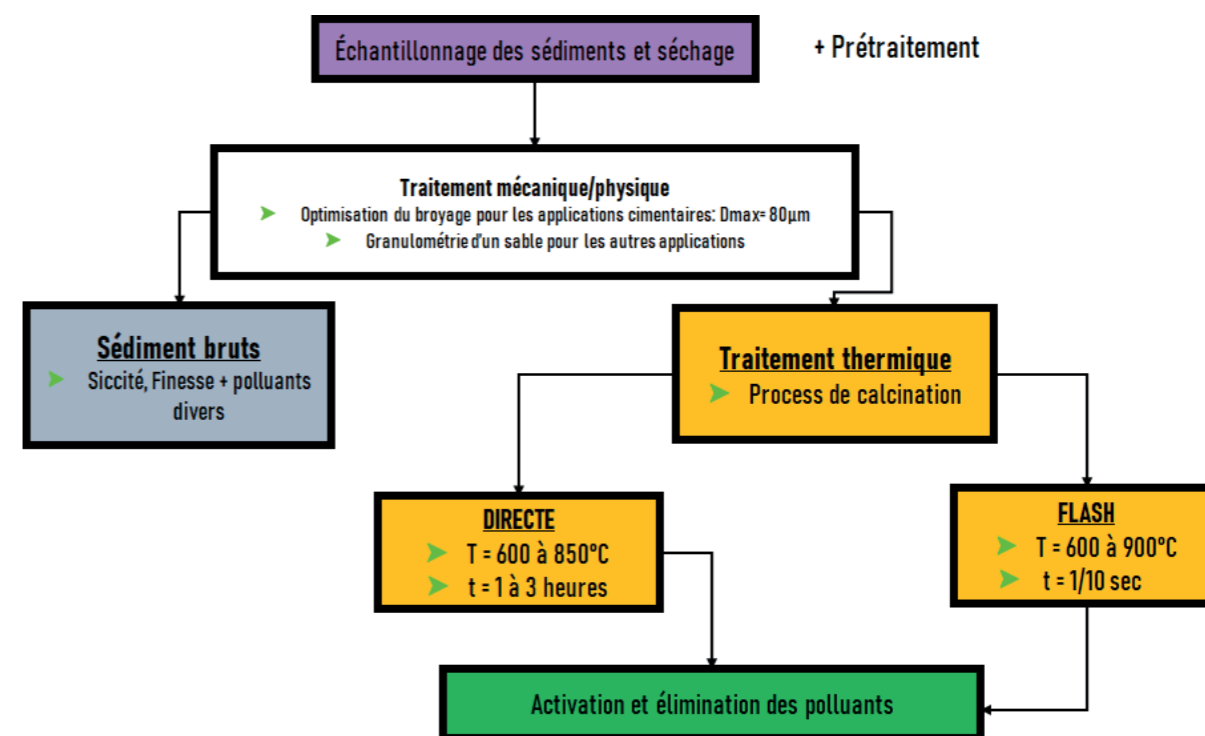


Figure 25 : Méthodologie de traitement des sédiments

4.3.1) La calcination traditionnelle

L'incinération ou la calcination des matériaux de dragage est une méthode thermique pouvant être utilisée pour le traitement des sédiments. Elle consiste en une calcination à haute température 500°C – 1000°C en vue d'éliminer entièrement les contaminants organiques et la totalité de l'eau présente. Elle vise aussi à rendre inertes certains polluants minéraux métalliques et organiques. Dans la pratique, un traitement de type désorption thermique (réalisé entre 350°C et 450°C) a un coût de 120 € HT/t à 250 € HT/t traité-transporté (en France ou ailleurs en Europe). D'autre part, l'incinération dans une unité industrielle (1200°C à 1500°C) et qui a pour but d'éliminer tous les polluants et notamment les ETM (métaux lourds) en brisant les molécules, aura un coût de traitement entre 400 et 600 € HT/t traité-transporté.

Ces écarts sont justifiés en partie par le manque de maturation des procédés (notamment technologiques) ainsi que leur variabilité. La technique consiste à placer dans un four chauffé à température adéquate, le matériau à traiter pendant une durée optimale à déterminer (Figure 26). Celle-ci est fonction de composition chimique, granulométrique et minéralogique et de la présence d'argiles. Le sédiment refroidi par trempé (refroidissement rapide) est récupéré et séparé mécaniquement pour éliminer les effets du frittage. Le produit traité est ainsi apte à être utilisé comme addition minérale dans des matrices liantes (base cimentaire, géopolymères, sols, etc.).

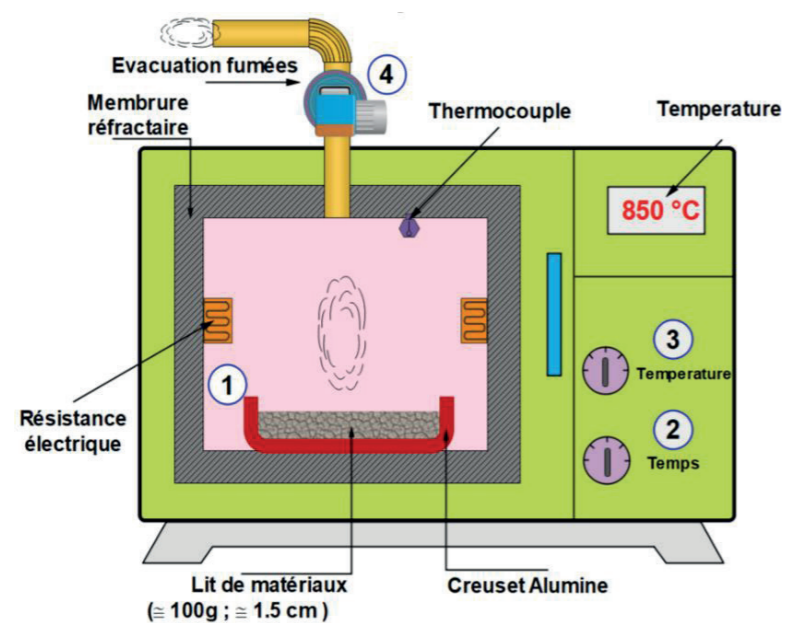


Figure 26 : Unité de traitement par calcination traditionnelle des sédiments (Amar M., 2017)

4.3.2) La calcination flash

La calcination flash (Figure 27) est une technique de traitement thermique consistant en une exposition rapide des matériaux finement divisés, en présence d'air, sous des températures élevées. La technique de calcination flash a été initialement utilisée pour activer chimiquement certaines argiles, telles que la Kaolinite, visant ainsi à leur conférer des propriétés pouzzolaniques. Lors de l'application de cette technique à certaines catégories d'argiles telles que les Kaolins, il a été relevé un processus de déshydroxylation. Cela correspond à l'élimination d'une liaison hydroxyle (-OH). Par ailleurs, du fait de l'instantanéité du processus, la calcination flash laisse émerger une destruction des phases minérales. La calcination dite traditionnelle peut permettre d'aboutir à de tels résultats. Cependant, les coûts énergétiques notamment sont très souvent élevés dans ce cas.

Deux paramètres sont particulièrement prépondérants : le temps d'exposition (débit matière) effectif (de l'ordre de quelques dixièmes (1/10)^{ème} de secondes) et la température de cuisson, celle-ci pouvant aller jusqu'à plus de 1200°C au niveau du cœur de la flamme. La rapidité du processus permet donc d'avoir des gains énergétiques très conséquents.

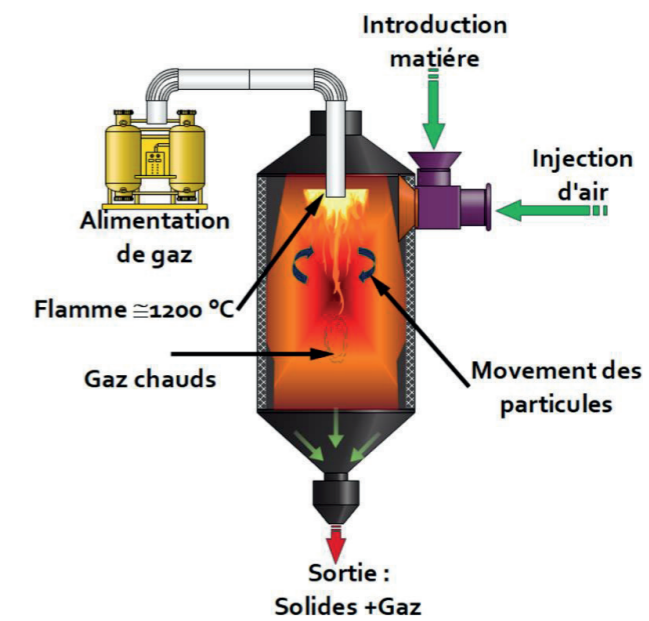


Figure 27 : Chambre de calcination FLASH des sédiments (Amar M., 2017)

Impacts du traitement sur les propriétés des matériaux

En général, les méthodes de traitement physique, chimique ou thermique, présentent plusieurs effets, de nature et d'échelle diverses :

- Modifications d'ordre physico-chimique
- Changement de granulométrie, de la forme des particules, ainsi que la finesse (densification)
- Élimination partielle ou totale des polluants
- Activation physico-chimique eu égard aux résistances mécaniques constatées. De plus, divers tests d'activité ont montré l'activité pouzzolanique améliorée du fait de divers traitements.

Toutes ces modifications et/ou transformations, résultats des différents modes de traitement, impactent favorablement le comportement global du matériau.

Il faut par ailleurs considérer l'impact carbone du traitement en soit. Une étude ACV (analyse du cycle de vie) permet de manière plus globale de donner une réponse fiable à cette question.

➤ Impacts d'ordre physico-chimique

Le tamisage ainsi que le broyage peuvent avoir des effets très bénéfiques car ils permettent d'accroître la finesse du produit (augmentation de la surface spécifique) et donc en l'occurrence sa réactivité. Les résultats de multiples travaux ont établi que la présence de fillers réactifs ou inertes favorisait les réactions d'hydratation du ciment (Dubois et al., 2009b; Lafhaj et al., 2008; Lors et al., n.d.; Satone et al., 2008). Cette activité peut aussi être liée à la décomposition de certains carbonates très présents dans les sédiments (Voir Tableau 18). Lors du traitement notamment thermique (désorption thermique (DT) ou incinération), l'inertage des métaux survient à des températures entre 400°C et 1500°C. Les métaux les plus volatils sont transformés en émissions gazeuses très souvent sous forme de HCl, SOx, NOx, dioxines et furanes (Satone et al., 2008).

Il est utile de signaler que le traitement de ces fumées est encadré par la législation et oblige la mise en place de systèmes de filtration. Concernant le traitement des gaz, la filtration dans des charbons actifs peut être une technique adaptée en fonction des polluants et pour des teneurs basses en polluant. Sinon, les gaz de la DT seront incinérés en post combustion à 1500°C, et les fumées d'incinérateurs (les REFIDI) seront traitées en ISDD.

Tableau 18 : Température moyenne de décomposition des principaux carbonates

Carbonates	Décomposition (°C)	Efficacité
Calcite	675	90% en 4h
Aragonite	645	-
Dolomite	450	20% en 16h
Magnesite	425	80% en 16h
Sidérite	425	90% en 1/4h

➤ **Le frittage :**

Outre les multiples réactions précitées, un des états majeurs observés lors de processus de calcination est le frittage. Du fait des hautes températures, les particules subissent un phénomène de collage correspondant à une consolidation par fusion totale ou partielle d'un matériau pulvérulent. Ceci entraîne la densification du matériau après recristallisation. Le frittage survient en général à la température dite de Tamann = $0.4 \text{ à } 0.5 * T_{\text{fusion}}$. Les différentes phases du processus de frittage sont :

- **Etape 1** : Réorganisation granulaire et montée de la température
- **Etape 2** : Fermeture des pores extérieurs et densification de la matrice
- **Etape 3** : Consolidation des particules et élimination de la porosité fermée

À noter que le frittage n'est pas systématique. Il peut à la place se produire un grossissement, la réaction dépendant de la source de matière (Agence de l'eau Artois-Picardie, 2001 ; Rozière et al., 2015).

4.3.3) Les méthodes chimiques

Le traitement chimique vise à éliminer principalement la fraction organique. Les produits chimiques les plus utilisés sont l'hypochlorite de sodium (NaOCl) et le proxidisulfate de disodium ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), mais le plus largement utilisé depuis son introduction dans l'analyse des sols par Robinson (en 1922) est l'eau oxygénée (H_2O_2) (Amar, 2017). Tous ces produits visent l'oxydation de la fraction organique mais peuvent présenter des conséquences connexes notamment par modification de la structure minérale (effet sur les argiles). Des études précédentes (Tableau 19) ont déjà suggérés certains protocoles pour l'élimination efficace, mais toutefois non totale, de la matière organique par voie chimique (Anger et al., 2014 ; Benkaddour et al., 2009 ; Bernache-assollant & Bonnet, 2005 ; Gutteridge & Dalziel, 1990 ; Mikutta, et al., 2005).

Ces méthodes peuvent présenter l'avantage d'être moins coûteuses (ex. 10€/L de H_2O_2) qu'un traitement thermique (comparaison à l'échelle laboratoire), mais elles ne semblent pas pouvoir activer efficacement la pouzzolanité des matériaux. De plus la fraction organique n'est pas totalement éliminée (entre 10% et 95%) (Mikutta et al., 2005).

Tableau 19 : Diverses méthodes de traitement chimiques et leurs impacts

Masse	Protocole	Conséquences	Référence
30 g de sol d<20 µm	Utiliser 500 ml d'une solution concentrée entre 15 et 30% de H_2O_2 . Température : sous température ambiante puis à 70°C. Durée : 24-72 heures	83 à 94% d'élimination de la MO. Impact sur le squelette granulaire	(Leifeld & Kögel-Knabner, 2001)
1 g de sol	Utiliser 50 ml d'une solution concentrée à 6 % de H_2O_2 répété 5 fois. Température : 80°C.	66 à 97% d'élimination de la MO. Impact sur la surface spécifique	(Theng et al., 1999)
4.5 g de sol	Utiliser 250 ml d'une solution concentrée à 6 % de NaOCl répété 6*6 heures. Température : 25°C ; pH = 8	49 à 81 % d'élimination de la MO. Isolation de la matière organique stable	(Mikutta, et al., 2005)
0.5 g de sol	Utiliser 20 g de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ avec solution tampon avec 22g NaHCO_3 Température : 80°C ; Durée : 48 heures	16 à 99 % d'élimination de la MO. Isolation de la matière organique stable	(Eusterhues et al., 2003)

SOMMAIRE CHAPITRE 5

5.	EXEMPLES DE PROJETS DE VALORISATION DES SÉDIMENTS	101
5.1.	Utilisation en couverture imperméable	101
5.2.	Réalisation de digues	101
5.3.	Bloc d'enrochement	101
5.4.	Brique de terre	102
5.5.	Exemples de divers projets de valorisation	102

5. EXEMPLES DE PROJETS DE VALORISATION DES SÉDIMENTS

5.1. Utilisation en couverture imperméable

Des sédiments ont été valorisés dans le cadre d'un projet d'aménagement d'un ancien site d'enfouissement à la Lande du Matz (56370 Sarzeau). Lors de ce projet, ce sont 33 000 m³ de vase qui ont été valorisés (en partie contaminée par du cuivre et du TBT). Le coût de l'opération s'élève 2,5 millions d'euros, soit 75,75 €/ m³.

5.2. Réalisation de digues

Dans le port de Brest, un projet d'extension en mer via la création d'un polder de 14Ha est en cours de réalisation. Il prévoit de valoriser 1 255 000 m³ de sédiments dragués dans casier créé par la jonction d'une digue (de 820m de long) et du quai existant.

Le projet VALODIGUE vise quant à lui l'utilisation de 22 500m³ de sédiments pour la réalisation d'une digue de 7 km dans le territoire de la CAPSO (Communauté d'Agglomération du Pays de Saint-Omer). Ces sédiments seront utilisés dans le noyau (fraction argileuse) et en couverture pour un coût global de 292 248 €.

5.3. Bloc d'enrochement

Le GPMD a commandé en 2013 la construction de 110 blocs de béton à base de sédiments (Figure 28). Ce projet a visé la valorisation de 600m³ de sédiments de dragage à travers la construction de blocs brise-vagues de 4 à 6 m³. Les sédiments sont alors initialement traités à 4% à base d'un ciment sulfo-alumineux AliPré®. Les blocs produits intègrent 12% et 20% de sédiments et des résistances de 39 MPa ont été atteintes à 28 jours. Le projet a conduit à la production de 150 blocs béton de 10 à 20 tonnes chacun, pour un budget de 150 000€, soit un prix moyen de 1000 € le bloc.

Un suivi environnemental est assuré et la durabilité étudiée et a permis de qualifier les blocs à 12% comme durables (Achour, 2013). Il existe également la route « Freyssinet 12 » dans l'enceinte du GPMD sur laquelle 450m³ de sédiments secs issus du port ont été utilisés dans sa couche de fondation.



Figure 28 : Bloc d'enrochement et Route Freyssinet 12 dans le GPMD, à base de sédiments valorisés (sedilab.sediments.fr)

5.4. Brique de terre

Centrale Lille, Solvay, les Briqueteries du Nord et Ramery, ont réalisé un démonstrateur de valorisation de sédiments à Templeuve (département du Nord). Il s'agit d'un bâtiment test de 20 m² qui utilise des briques intégrant 20% de sédiments fluviaux traités (Figure 29). Ces briques sont caractérisées par leur forte inertie thermique.

En 2010, la société VBC3000 proposait en France, la fabrication de céramique à partir d'un mélange d'argiles, de sédiments de curage et de boues organiques issues du traitement des eaux usées. Des études récentes montrent que les craintes des potentiels acheteurs sont liées à la fiabilité et la durabilité des produits ainsi qu'au risque de transfert des contaminants qu'elles peuvent contenir (Cappuyns et al., 2015).



Figure 29 : Ouvrage témoin en briques cuites de sédiment

Aux États-Unis, des sédiments sont utilisés dans divers projets de valorisation comme par exemple à Cleveland en tant que matériau de terrassement dans un projet de développement d'une zone industrielle (à hauteur de 230 000m³) ; ou encore dans le Wisconsin pour la formation d'îles-barrières anti-inondations (2 350 000m³ ; \$20 millions). En Belgique, des sédiments sont par exemple utilisés pour la formation de digues comme à Vlassenbroek où 105 000m³ de sédiments sont traités et aménagés par la société Envisan afin de protéger des phénomènes de crues.

5.5. Exemples de divers projets de valorisation

Les projets suivants sont décrits sommairement avec une indication de leur niveau TRL. Une fiche descriptive détaillée est disponible en annexe de cet ouvrage et donne accès à des informations telles que les partenaires impliqués, le financement du projet, les liens hypertextes renvoyant au projet, etc.

Le projet SEDIMEL (2013-2020) TRL 7/8 : Le projet SEDIMEL a étudié la valorisation des sédiments de la Métropole Européenne de Lille (MEL), avec des applications concrètes pour la réalisation d'ouvrages. Le projet SEDIMEL a permis de valoriser plus de 500 tonnes de sédiments de dragage. Les ouvrages réalisés concernent la création de 2 bassins tampon en modules de béton creux (Tourcoing et Leers) et la production d'un remblai de tranchée d'assainissement en coulis auto-compactant à base de sédiments (Bondues). Afin de mesurer l'impact mécanique et environnemental de ces ouvrages à base de sédiments, des témoins avec des matériaux naturels classiquement utilisés seront réalisés pour établir une étude comparative entre les 2 matériaux.

Le projet SEDICIM (2018-2021) TRL 7/8 : L'objectif de ce projet est d'étudier la possibilité d'intégrer des sédiments de dragage dans un processus de fabrication de liant hydraulique. Deux voies de valorisation sont étudiées : l'intégration de sédiments en cru de cimenterie (aujourd'hui constitué de matériaux provenant de carrières) et la valorisation des sédiments en tant qu'additions minérales après traitement thermique. L'ensemble des sédiments utilisés dans le cadre du projet SEDICIM sont caractérisés sur les aspects physiques, chimiques et minéralogiques. Des liants expérimentaux contenant du clinker intégrant des sédiments bruts et des sédiments calcinés seront ainsi produits et utilisés pour la réalisation de plusieurs pilotes environnementaux. Trois différentes applications de liants hydrauliques seront visées : le béton structurel, le béton non structurel et la technique routière. Un laboratoire de suivi environnemental de 100 m² a également été conçu et dimensionné spécifiquement pour le projet, ceci afin d'évaluer l'impact environnemental des différents liants formulés.

Le projet USAR (2016-2020) TRL 7/8 : Le projet USAR a visé la mise en place d'outils numériques de gestion et de valorisation des sédiments. Le projet a permis de dresser un inventaire conséquent en matière de volumétrie, de disponibilités, de pratiques de dragage et de management des sédiments en France, Belgique et Grande Bretagne. Les outils opérationnels mis en place permettent d'appréhender plus facilement les potentialités de valorisation. Des volumes de sédiments ont été testés pour être valorisés dans des ouvrages pilotes dont les performances ont été suivies.

Le projet SEDIMARD83 (2006-2009) TRL 7/8 : Le projet s'est appuyé sur 4 axes : Caractérisation, Mise en place d'un protocole de dangerosité, Mise en place d'un pilote industriel et Identification des filières terrestres de gestion. Le projet a mis en évidence la pertinence d'un traitement adapté aux sédiments à la suite d'études de caractérisation détaillées sur plusieurs typologies de sédiments. Les techniques de traitement testées : déshydratation mécanique, traitement chimique (avec procédé Novosol), ou traitement thermique par calcination, ont montré toute leur pertinence et leur intérêt. Les limites de ces méthodes ont pu aussi être mises en évidence.

Le projet VAL'AGRO (2016-2019) TRL 6/7 : Le projet VAL'AGRO, sous pavillon SEDIMATERIAUX, a contribué à développer une nouvelle filière de valorisation des sédiments fluviaux non dangereux pour la reconstitution de sols en milieux dégradés. Après une première phase de caractérisation, chaque lot de sédiments a été préparé pour sa structuration et sa décontamination (amendement en compost, phase de retournement pour aération et séchage, bio-traitement, etc.). VAL'AGRO a démontré la faisabilité technique de la reconstitution de substrats favorables en vue du développement d'une couverture végétale sur des espaces écologiques perturbés. Il a été aussi établi l'innocuité environnementale et sanitaire lors de la réutilisation des sédiments à échelle réelle.

Le projet SEDIASPHALTE (2018-2022) TRL 6/7 : Le projet consiste en l'évaluation et la démonstration du potentiel de valorisation des sédiments dans différentes formulations d'asphaltes pour diverses applications. Lors des phases à échelle laboratoire, l'IMT Nord Europe a travaillé sur des formulations d'asphaltes incorporant des sédiments de dragage. Les premiers résultats obtenus en juin 2020, ont permis de montrer qu'il était possible d'obtenir des asphaltes intégrant dans leur composition à minima 20% de sédiments de dragage. Ces sédiments sont répartis, selon leur granulométrie dans deux éléments composant le squelette de l'asphalte : les fillers (0 à 125µm) et les granulats (sables). Un traitement par biotraitement (Biosynergie®) permettra ensuite de réduire la teneur en matières organiques et visera à améliorer la compatibilité du sédiment aux formulations d'asphalte ; et donc de pouvoir augmenter le taux d'incorporation jusqu'à 70%, déjà satisfaisant (un traitement in situ est à l'étude).

Le projet SETARMS (2009-2013) TRL 6/7 : Le projet s'est inscrit dans une démarche globale d'étude et de valorisation des sédiments et a permis de créer autour de la Manche un pôle d'excellence scientifique dans le domaine. Le projet, en s'appuyant sur les projets SEDIMARD83, SEDIGEST et la démarche SEDIMATERIAUX, a permis d'obtenir des résultats intéressants et le renforcement de l'expertise déjà obtenue dans le domaine. Les travaux de caractérisation et de traitement ont permis de développer des matériaux performants pour une valorisation en technique routière. Des portions de route de longueur maximale 20m ont été mises en place en utilisant un liant hydraulique routier adapté, un correcteur granulométrique et un sable issu de dragage.

Le projet SEDIPARK (2018-2021) TRL 6/7 : Le projet SEDIPARK a pour objectif d'étudier la valorisation des sédiments de dragage en voirie légère. Le projet inclut différents acteurs et expertises de la région Haut de France. Les aspects liés aux processus industriels reproductibles et économiquement viables ont été également étudiés.

Le projet NEOBLOCK (2018-2022) TRL 6/7 : Le projet NEO'BLOCK a pour but d'étudier la valorisation des sédiments de dragage par la voie hydrothermale pour la réalisation de produits allégés. Le projet NEO'BLOCK est en cours et se poursuit jusqu'en 2022. Dans le cadre du projet NEO'BLOCK, les pavés autobloquants développés à base de sédiments portuaires du GPMD intègrent moins de 6% de ciment, ceci grâce à la réactivité des sédiments micronisés (broyés finement). Ce qui permettra de minimiser le coût et d'avoir un effet sur l'impact environnemental de tels produits. Le projet prévoit de réaliser également trois pilotes expérimentaux constitués de près de 200 pavés autobloquants. Des unités de parpaings, dalles et briques seront également fabriquées.

Le projet VALSE (2016-2019) TRL 6/7 : Le projet VALSE a contribué à poser des bases solides en matière de réutilisation de matériaux granulaire de type sédiments et terres excavées. Il a favorisé une dynamique de gestion économique, environnementale, sociétale des matières avec une approche orientée locale. Il vise aussi à mettre en oeuvre des process, outils (pXRF, Raman, FTIR, échantillonneurs passifs, électrodes, ...), et méthodes par le développement des matériaux de construction valorisés dans le but de créer une chaîne de valeur. La butte paysagère réalisée continue également d'être suivie.

Le projet SEDITERRA (2017-2020) TRL 5/7 : SEDITERRA propose la structuration opérationnelle de la gestion d'un nouveau déchet public : le déchet sédiment. L'objectif est de mutualiser les résultats d'expériences franco-italiennes via la mise en oeuvre et le suivi d'opérations pilotes de traitements et de valorisations menées à partir des sédiments des ports partenaires. Sur la base des nombreux échanges techniques et réglementaires menés entre les partenaires, des recommandations et des solutions techniques, sous la forme d'un arbre décisionnel (*i.e.* Lignes directrices) dans ce double contexte technico-réglementaire franco-italien ont pu être formulées.

Le projet SEDIMED (2010-2017) TRL 5/7 : Le projet a consisté à mener une étude des possibilités de valorisation de sédiments dragués dans 3 catégories d'ouvrages : buttes paysagères, route, bloc béton. L'étude laboratoire préalable définissait les propriétés des matériaux et éventuellement les traitements à mettre en oeuvre pour élaborer les écomatériaux. Les écomatériaux ont ensuite été suivis in situ sur les plans environnemental, géotechnique et sanitaire sur une durée représentative d'une année. Les sédiments sélectionnés ont présenté, après préparation, les caractéristiques adaptées aux filières de valorisation envisagées. La valorisation en technique routière, à hauteur de 30% de sédiments dans les routes et de 100% dans les buttes paysagères, a permis de réaliser des ouvrages aux performances satisfaisantes. Cela fut de même pour les filières béton. Le projet a également rendu possible la création d'un centre de traitement et de valorisation de terres et sédiments non-immérgeables à la Seyne-Sur-Mer (CPEM ENVISAN : Centre de Production d'Ecomatériaux). C'est une installation entièrement adaptée (dalle béton étanche, station de traitement des eaux) pour tester les possibilités de valorisation des sédiments en éco matériaux et produits durables.

Le projet SEDIBRIC (2018-2021) TRL 6 : Le projet SEDIBRIC, toujours en cours d'exécution à la date de rédaction du présent ouvrage, permettra *in fine* de mettre en place un pilote pré-industriel capable de fabriquer des briques et tuiles de terre cuite à base de sédiments. La variabilité des sédiments utilisés et son influence, l'évolution des sédiments dans le temps, la formulation/fabrication et validation des produits sont étudiées dans le cadre du projet. Parallèlement, une étude d'impact socio-économique est aussi menée.

Le projet SEDIFLUV (2016-2019) TRL 5/6 : Le projet a reposé sur des expérimentations réalisées en laboratoire et sur site à partir de matériaux extraits en région Île-de-France. Il vise aussi collecter des données relatives aux matériaux étudiés, à accompagner la mise en oeuvre d'éléments à taille réelle, les instrumenter pour la filière béton et de taille réduite pour la filière terre cuite. Ainsi des bétons préfabriqués non structurels de types pavés et bordures ont été produits.

Le projet CLEANSED (2013-2016) TRL 5/6 : Le projet prévoit une collaboration entre 3 pays européens pour une gestion, un traitement et une valorisation des sédiments de dragage. Les méthodes de traitement utilisées sont basées sur la phytotechnologie et/ou la bio-dégradation afin d'améliorer les propriétés des matériaux par élimination ou atténuation de la charge de pollution. Les résultats montrent que la phytotechnologie est efficace pour le traitement des sédiments. Cette technique conduit à diminuer la toxicité de ces derniers, mais présente l'inconvénient d'être longue (> 2 ans). Le projet a également permis de valoriser un gros volume de sédiments dans une route de 100m de long.

Le projet PRISMA (2011-2014) TRL 5/6 : Le projet a permis le développement et la mise en place d'un outil de gestion optimisée des sédiments. L'outil en question est un logiciel fournissant une solution rapide et optimisée pour le traitement de sédiments. Il permet de disposer d'une proposition de solution optimisée ainsi pour une valorisation du traitement opérée à l'application finale, tout en tenant compte (au mieux) des aspects environnementaux et technico-économiques relatifs aux sédiments. Le projet a permis aussi de réaliser en Belgique des ouvrages de protection de type digues.

Le projet SEDIPLAST (2015-2019) TRL 4/5 : L'objectif de ce projet était de substituer les sédiments dans le cru de cimenterie (aujourd'hui constitué de matériaux provenant de carrières) ou de les valoriser en tant qu'additions minérales pour la fabrication de liants cimentiers, de liants hydrauliques routiers ou de bétons. Dans ce projet, 12 sédiments de nature variée (5 marins et 7 fluviaux) ont été étudiés. Plus de 12 formulations différentes contenant des thermodurcissables, matériaux thermoplastiques, etc. ont pu être testées. Un classement UPEC (usure, poinçonnement, tenue en eau, agent chimique) a pu être réalisé et a montré les performances intéressantes de certaines formulations. Les résultats du projet permettent à une société d'envisager la fabrication de pavés drainant en thermoplastique.

Le projet SEDIVALD (2011-2012) TRL 3 : SEDIVALD s'intéresse aux sédiments non immergeables marins et continentaux du bassin Rhône Méditerranée et comporte 4 axes de travail. Ces axes (évaluation, évolution, caractérisation environnementale et géotechnique) visent l'étude et la caractérisation physico-chimique réglementaire des sédiments préalables au dragage et l'évaluation de la dangerosité de ces derniers (au travers du protocole HP14). SEDIVALD a mis en évidence l'intérêt de croiser des caractérisations basées essentiellement sur des analyses physico-chimiques en contenus totaux avec des caractérisations écotoxicologiques. Ce projet a également soulevé la question du seuil applicable aux TBT et celle de la recherche des pesticides absents des textes réglementaires français.

SOMMAIRE CHAPITRE 6

6.	SCHÉMAS ORGANISATIONNELS DE GESTION	107
6.1.	Des gestionnaires diversifiés à l'origine de quantités de sédiments variables	107
6.2.	Les initiatives locales de structuration de la gestion des sédiments	109
6.3.	La dynamique nationale pour une optimisation de la gestion des sédiments dragués	111
6.4.	Les schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragages et des filières de gestion des sédiments	113
6.5.	L'élaboration des schémas d'orientation territorialisés : premières mises en œuvre	118
6.6.	Perspectives de gestion coordonnée et mutualisée des sédiments dragués	119
	6.6.1) L'organisation territoriale et l'implication des acteurs	121
	6.6.2) Retours d'expériences et bonnes pratiques	125

6. SCHÉMAS ORGANISATIONNELS DE GESTION

Après la parution de la réglementation relative à l'encadrement de la gestion aquatique des sédiments en 2000, certains gestionnaires ont estimé nécessaire et pertinent de s'organiser de manière collaborative pour structurer localement la gestion de tous les sédiments dragués sur leur territoire. Des initiatives ont ainsi vu de jour.

L'organisation de la gestion des sédiments marins et continentaux suit la même logique bien que la réglementation soit différente. Pour les sédiments marins, ce sont les textes issus de la DCSMM qui s'appliquent alors que pour les sédiments continentaux ce sont ceux issus de la DCE, d'application antérieure.

Les activités de dragage et de gestion des sédiments doivent être structurées à l'aide de schémas qui intègrent les caractéristiques des territoires et les enjeux environnementaux, économiques ou organisationnels.

Pour les sédiments continentaux, des Plan de Gestion Opérationnelle des Dragages (PGOD) doivent être élaborés (voir chapitre 1).

L'organisation de la gestion des sédiments marins dragués est articulée selon les gestionnaires de la manière suivante :

- **GPM** : Ces établissements, du fait de leur importance économique, ont élaboré des stratégies de développement qui intègrent tous les paramètres de leurs activités en prenant en compte les activités des zones limitrophes. Ils ont notamment établi des Schémas Directeurs des Dragage.
- **Ports décentralisés de pêche, commerce et plaisance** : ces établissements doivent élaborer des schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et des filières de gestion des sédiments. Ces schémas, qui doivent refléter la structuration de la gestion sur les territoires, permettent d'intégrer les contraintes et spécificités locales. La mutualisation entre établissements et avec des GPM est une option qui doit être analysée dans le cadre de l'élaboration de ces schémas.

Les schémas intègrent la totalité des quantités à gérer, que cette gestion soit aquatique ou terrestre. Les activités de gestion aquatiques sont celles historiques et leurs filières de gestion sont bien organisées.

L'organisation de la gestion à terre de la gestion des sédiments en revanche est dans une phase de structuration et concerne une multitude d'acteurs qui doivent s'engager pour le développement opérationnel de cette gestion. La structuration de la gouvernance suivant la logique de l'Écologie Industrielle et Territoriale (EIT) semble être un des éléments de la démarche, adapté à la question.

6.1. Des gestionnaires diversifiés à l'origine de quantités de sédiments variables

Les établissements maritimes et fluviaux français, d'où proviennent les sédiments dragués, sont gérés par des acteurs divers, majoritairement publics.

Les établissements continentaux sont gérés essentiellement par Voies Navigables de France, la Compagnie Nationale du Rhône, EDF, tous 3 sous autorité de l'Etat, bien qu'avec des statuts différents.

Pour les établissements littoraux, les GPM sont sous autorité de l'Etat alors que les ports de plaisance, commerce et pêche, décentralisés, relèvent des collectivités locales (communes ou regroupements en communautés d'agglomérations ou urbaines, métropoles, syndicats mixtes ...).

Le GPM de Rouen gère les deux typologies de sédiments.

Chaque structure doit trouver les réponses à ses besoins de gestion et il semble évident que les options possibles soient étroitement liées à la dimension de l'établissement, à ses capacités financières et aux filières existantes sur le territoire. Les ports de plaisance, commerce et pêche sont particulièrement confrontés à cette complexité par comparaison des GPM, dont certains sont établis sur les estuaires des grands fleuves, ou aux gestionnaires fluviaux en charge également des abords des cours d'eau ou canaux. Par ailleurs, les enjeux locaux sont spécifiques aux territoires sur lesquels se trouvent les établissements concernés par les besoins de dragages et de gestions associés.

Bien que les quantités annuelles de **sédiments marins dragués** varient parfois sensiblement d'une année sur l'autre, en lien notamment avec les travaux réalisés ponctuellement, nous pouvons analyser les données 2017 en termes de quantités de matière sèche draguée. Ils représentent 30,49 millions de tonnes de sédiments au global, et les GPM sont à l'origine de 91,7% du total national. A noter que ce chiffre prend en compte les GPM d'outre-mer. Les quantités par GPM sont représentées sur la Figure 30.

Les ports de plaisance, commerce et pêche ont dû gérer 2,53 millions de tonnes de matière sèche draguée, soit 8,3 % de la quantité annuelle de 2017. En Méditerranée, nous pouvons souligner que les quantités draguées en 2017 (voir Chapitre 1, Figure 2) sont très limitées par rapport aux autres façades métropolitaines. Ceci peut être lié au fait que cette façade comporte un seul GPM et de nombreux ports décentralisés, plus ou moins importants, pour lesquels les opérations de dragage sont parfois plus complexes à mettre en œuvre compte tenu de leurs moyens humains et financiers.

Depuis le début du suivi national des opérations de dragage, la principale filière de gestion de ces déblais sur les façades Manche et Atlantique est l'immersion pour plus 85% des quantités draguées.

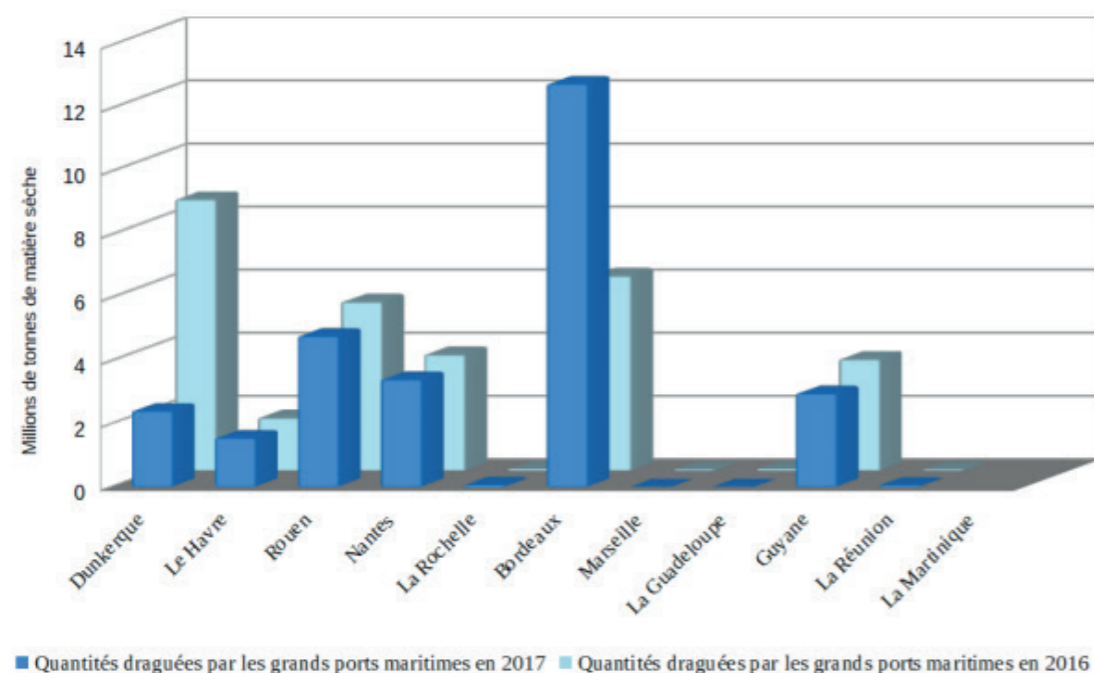


Figure 30 : Quantités de matières sèches draguées (en millions de tonnes) dans les GPM en 2016 et 2017 (source Enquête dragage CEREMA 2017)

Au sujet des **sédiments continentaux**, les quantités moyennes annuelles sont de 0,36 Mt pour VNF, 0,53 Mt pour le GPM de Rouen, de 0,57 Mt pour CNR et 0,46 Mt pour EDF, soit un total moyen annuel de 1,93 Mt (Source : *Rétrospective des dragages fluviaux en France Période 2011 – 2017 – CEREMA*).

Les quantités globales de sédiments, marins et continentaux, extraits en moyenne chaque année sont représentés sur la Figure 31.

Selon les caractéristiques des sédiments, la gestion de ces fractions peut être aquatique ou terrestre. La question de la planification se pose aujourd'hui de manière particulière pour les quantités à gérer à terre et particulièrement pour les ports décentralisés. En effet, la gestion à terre est en phase d'émergence et les travaux préparatoires à la planification opérationnelle de la gestion des sédiments marins favoriseront l'acquisition des données utiles.

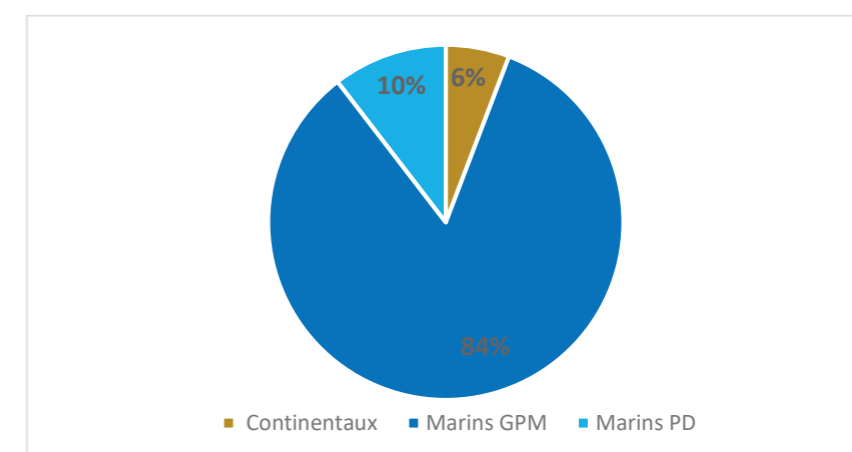


Figure 31 : Estimation des fractions de sédiments constitutives de la quantité moyenne annuelle

Quelles sont les documents relatifs aux modalités d'encadrement de la gestion de ces diverses quantités pour chaque typologie de sédiments ? C'est ce que nous allons aborder dans la suite de ce paragraphe.

6.2. Les initiatives locales de structuration de la gestion des sédiments

Lors de la réalisation du projet SEDIMARD83, porté par le Département du Var de 2000 à 2006, le constat de la difficulté, par chaque établissement portuaire isolé, de gérer la question des sédiments marins dragués souvent non immergeables, particulièrement en Méditerranée, a conduit le porteur de projet à élaborer un schéma de gestion à l'échelle du département du Var. Ce premier schéma français s'adossait à une Charte cadre « Dragages portuaires et environnement dans le département du Var », signée, début 2002, par toutes les autorités publiques locales, civiles et militaires, représentantes des gestionnaires portuaires. Les opérateurs portuaires étaient invités à adhérer à la Charte dont l'objectif était de favoriser les échanges sur la thématique dans le contexte local du Contrat de Baie de la Rade de Toulon porté par la Communauté d'Agglomérations Toulon Provence Méditerranée et de la démarche Ports Propres initiée par le Région Provence Alpes Côte d'Azur et collaboration avec l'Union des Ports de Plaisance Provence Alpes Côte d'Azur et Monaco (UPACA).

En se basant sur cette démarche innovante, des schémas départementaux ont ensuite été élaborés dans le Finistère en 2008, dans les Alpes Maritimes et dans le Morbihan en 2010. La Région Bretagne a adopté en 2011 une Charte des Dragages des ports bretons. D'autres opérateurs ont opté pour une mutualisation des outils de dragage comme les Départements de la Seine Maritime et de la Manche. Les Syndicats mixtes des ports de Caen-Ouistreham et de Dieppe ont créé un groupement de commandes pour les prestations de dragage et nivellement. Compte tenu de la spécificité du lieu, le bassin d'Arcachon a élaboré dès 2006 son Schéma Directeur de traitement des vases portuaires en lien direct avec les impacts de la gestion des sédiments et ses conséquences potentielles sur les zonages et périmètres de protection ainsi que sur les activités économiques du bassin, notamment la conchyliculture.

Ces diverses démarches ont tenté de répondre aux problématiques de gestion rencontrées par les ports de plaisance, commerce et pêche, sous autorités publiques locales. Initiées sur la base de volontés politiques, elles ont eu le mérite de proposer un état diagnostic territorial, et des perspectives de structuration de la gestion des sédiments. La réglementation en cours de construction sur le sujet et le manque de maturité scientifique de l'époque pour des filières alternatives à l'immersion ont toutefois limité la portée de ces premières démarches. Les retours d'expériences qu'elles présentent pourront néanmoins être utilisés à profit dans les futures stratégies à développer.

Toutes les initiatives locales ont retenu la mutualisation de gestion comme solution adaptée aux sédiments

Pour ce qui concerne les Grands Ports Maritimes (GPM), ceux-ci ont d'importantes quantités de sédiments à gérer mais, étant donné leur statut d'établissements publics de l'État, leurs emprises foncières et l'importance de leurs activités économiques, ils ont également d'avantage de moyens pour organiser cette gestion sur leur périmètre de compétence.

Ainsi, et à titre d'exemple, on peut citer le GPM de Rouen qui a initié en 2004 un schéma directeur de gestion et valorisation des sédiments continentaux de la Seine auquel est adossé le Plan de Gestion Opérationnelle des Dragages (PGOD).

Le GPM de Dunkerque a produit, dès 2006, un Schéma Directeur des Dragages (SDD) et a fait le choix de développer une approche multi filières de valorisation des sédiments pour laquelle il s'est équipé d'une zone de décantation des sédiments dragués.

Le GPM Marseille Fos, premier port français en termes de trafic de marchandises et passagers, a construit sur son enceinte en 2001 un bassin de confinement des sédiments dragués (*i.e.* le bassin Mirabeau) dont l'exploitation devait s'achever en 2011 mais qui a fait l'objet de demandes de prolongation de délai d'exploitation et qui est toujours utilisé en 2021.

Par ailleurs, le Groupement d'Intérêt Economique Dragages Ports, créé en 1979, est un outil partagé destiné à la réalisation des dragages des GPM qui permet une mutualisation des activités de dragage et des coûts associés.

Tous ces outils stratégiques de planification sont basés sur des initiatives locales et ont pour vocation de formaliser et d'harmoniser les règles de bonnes pratiques sur les territoires et de favoriser une gestion mutualisée et durable. Toutefois, ils mettent en évidence la nécessité et l'utilité d'organiser de manière plus structurée, à l'échelle adaptée, des outils méthodologiques favorisant l'émergence de schémas locaux. La pertinence de ces outils, en termes de démarche collaborative associée à une vision prospective, trouve aujourd'hui une traduction dans les attentes réglementaires particulièrement pour les ports décentralisés.

6.3. La dynamique nationale pour une optimisation de la gestion des sédiments dragués

Les obligations concernant les deux typologies de sédiments en termes de structuration de gestion présentent des différences car issues de réglementations distinctes. Toutefois, la logique suivie est identique. Il s'agit d'identifier les besoins de dragage sur un territoire et à une échelle de temps définie et de planifier les besoins relatifs à la gestion des sédiments selon leurs caractéristiques connues (capacités de stockage, centres de transit et de traitements existants, filières de valorisation, ...).

La gestion des sédiments continentaux dragués est encadrée par les mesures des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) dont les périmètres géographiques, correspondant aux bassins versants des grands fleuves, sont représentés sur la carte Figure 32.

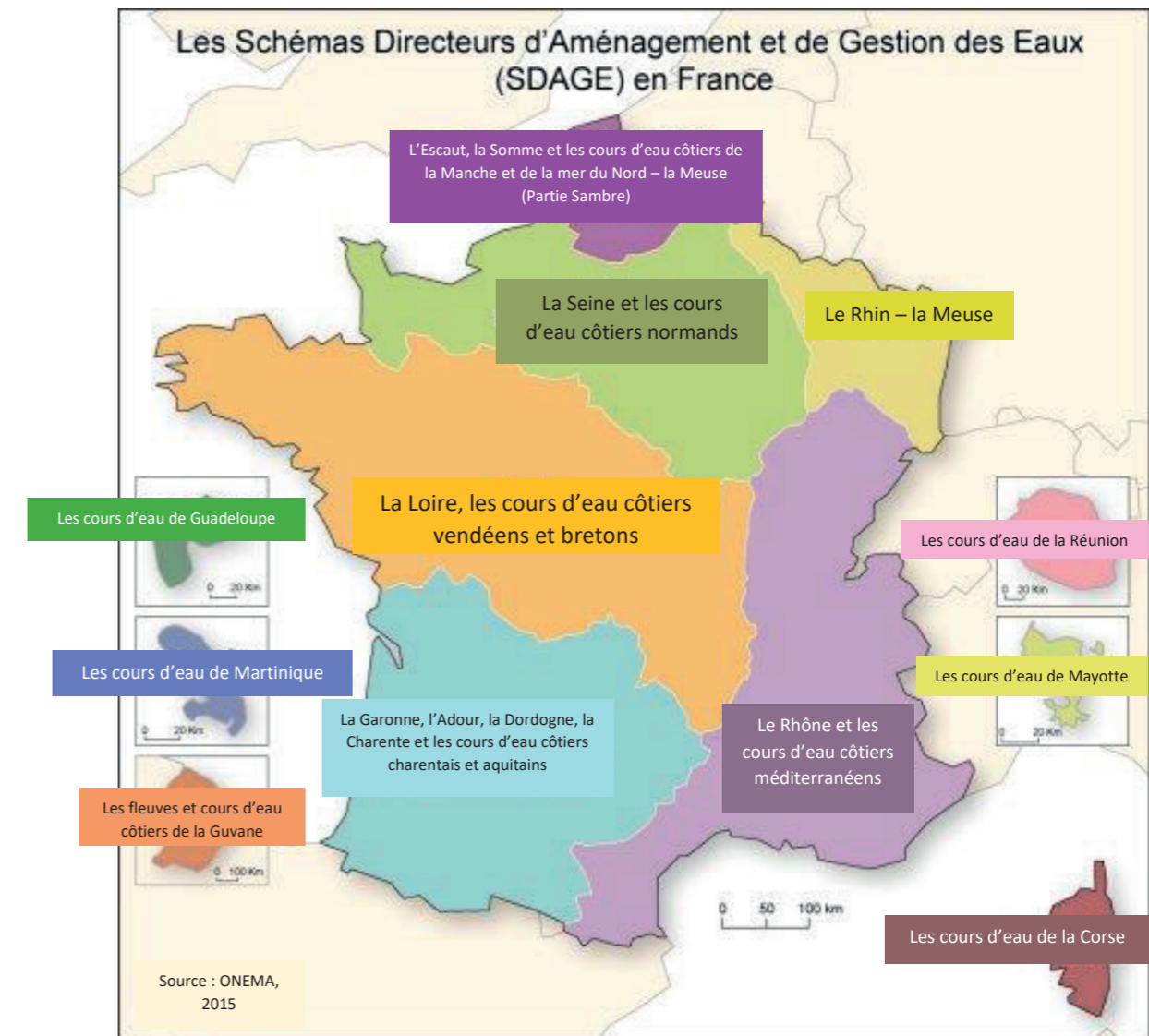


Figure 32 : Les périmètres des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux en France métropolitaine et outre-mer (source : <https://www.gesteau.fr/sites/default/files/cartes/sdaqe/sdaqe.ipa>)

Les SDAGE se déclinent localement en Schémas d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SAGE) mais tout le territoire ne dispose pas à ce jour de SAGE finalisés. Ces outils sont juridiquement opposables. Certains SDAGE, qui visent en premier lieu à assurer la bonne conservation des masses d'eaux, prévoient des engagements de déploiement de schémas d'orientation territorialisés qui peuvent contribuer à la démarche de planification des opérations de dragage et de gestion des sédiments marins.

En termes de schémas de gestion, l'article L215-15 du Code de l'Environnement précise que « *les plans de gestion doivent être établis à l'échelle d'une unité hydrographique cohérente et compatible avec les objectifs du SAGE quand il existe* ».

Ainsi, pour **les sédiments continentaux**, les gestionnaires doivent établir des Plans de Gestion Pluriannuels des Opérations de Dragage (PGPOD) qui s'inscrivent dans les mesures de la Directive Cadre Eau (DCE) de 2000, modifiée par la Directive 2013/39/UE du 12 août 2013 transposée en droit français par la loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques de 2006 (LEMA) (voir chapitre 1). Les SDAGE et SAGE définissent les mesures applicables à l'échelle des bassins versants pour une gestion intégrée de l'eau. Les objectifs fixés de bon état des milieux aquatiques reposent sur le bon état, tant écologique que chimique, des masses d'eau.

Au sujet des **sédiments marins**, la réglementation est plus récente. En 2009, le Grenelle de la Mer, et notamment son GT11 « Sédiments de dragage », a souligné dans sa recommandation n° 13, la nécessité de mise en place de plans de gestion des sédiments littoraux qui s'inscrivent dans une logique de Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC).

La Politique Maritime Intégrée (PMI), portée par l'Union Européenne (UE) depuis 2007, est transversale, intersectorielle et écosystémique. Elle a pour objectif la croissance bleue durable des activités qui s'exercent en mer et sur le littoral. Cette structuration réglementaire vise à développer une méthode de travail commune et une vision partagée et s'appuie sur l'application des Directives cadres communautaires « Stratégie pour le Milieu Marin » (DCSMM) de 2008 et « Planification de l'Espace Maritime » (DCPEM) de 2014. En France, la Stratégie Nationale pour la Mer et le Littoral (SNML) constitue le document stratégique national de référence pour la protection des milieux marins et la gestion intégrée et concertée des activités liées à la mer et au littoral, à l'exception de celles qui ont pour unique objet la défense ou la sécurité nationale. Le Document Stratégique de Façade (DSF) a pour but de définir à l'échelle géographique pertinente, la façade en métropole ou le bassin maritime en outre-mer, les outils permettant la mise en œuvre d'une gestion intégrée de la mer et du littoral.

Depuis 2011, la mise en œuvre en France de la DCSMM se traduit par l'élaboration de « Plans d'Action pour le Milieu Marin » (PAMM) à l'échelle des sous régions marines. Les PAMM constituent le volet environnemental du DSF ou de bassin maritime pour les départements d'outre-mer (DSBM), élaboré en conformité avec le DCPEM et en déclinaison avec la SNML.

Quatre façades maritimes ont été définies en France métropolitaine : Manche Est - Mer du Nord / Nord Atlantique - Manche Ouest / Sud Atlantique / Méditerranée.

Pour ce qui concerne les territoires d'outre-mer, les documents stratégiques de bassins maritimes, qui précisent les conditions de mise en œuvre de la SNML (Stratégie Nationale pour la Mer et le Littoral), concernent quatre bassins maritimes :

- Les Antilles (Martinique, Guadeloupe, Saint Martin et St Barthélemy)
- Sud Océan Indien (La Réunion, Mayotte et les Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF))
- La Guyane
- St Pierre et Miquelon

Considérant qu'en outre-mer la DCSMM et la DCPEM ne s'appliquent pas directement, les documents stratégiques de bassins maritimes doivent néanmoins venir préciser les conditions de mise en œuvre de la SNML en tenant compte des spécificités locales. À ce jour, seul un document projet a été finalisé en 2019 pour le bassin maritime Sud Océan indien, sur lequel seul le GPM de la Réunion est évoqué, mais il n'est pas fait mention de la nécessité d'élaborer un schéma de gestion des sédiments dragués. La Conférence Environnementale de 2013 abordait la nécessité de renforcer les bonnes pratiques en milieu portuaire afin de préserver le bon état écologique du milieu marin et des écosystèmes côtiers en menant, notamment, des réflexions sur la mise en place de Schémas d'Orientation Territorialisés des activités de gestion des sédiments dragués.

Enfin, dans le contexte d'élaboration de ces schémas, il est utile de rappeler que l'article 85 de la loi sur Économie bleue n° 2016-826 du 20 juin 2016 pose l'interdiction, à compter du 1^{er} janvier 2025, d'immersions de sédiments marins et résidus de dragage pollués. La méthodologie analytique, permettant de déterminer le seuil au-delà duquel toute immersion est interdite, reste à définir. Considérant que l'immersion est aujourd'hui la gestion retenue pour plus de 85 % des quantités draguées, et afin de préparer la réponse à cette mesure par des travaux scientifiques, **les schémas à élaborer doivent être l'occasion de mener des réflexions sur les solutions alternatives à l'immersion, les freins existants et les besoins à prendre en compte pour les lever**. Ainsi, ils pourront permettre, lors du diagnostic territorial à effectuer, d'identifier les outils existants ou à développer, notamment en termes de stockage, de traitement et valorisation à terre, de foncier disponible et de moyens financiers à mobiliser. Ce sont aujourd'hui les points bloquants de l'émergence de l'activité sur lesquels il convient de se pencher car les sites à développer relèvent des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). La création de ce type d'installation nécessite des procédures d'autorisation relativement longues auxquelles doivent s'ajouter les travaux d'aménagement des installations.

Pour les sédiments continentaux et pour ceux issus des GPM, les schémas existent donc. Pour les sédiments provenant des ports décentralisés, les schémas de gestion des sédiments marins restent à élaborer, bien que certains acteurs aient déjà pris l'initiative de produire des documents qui pourront servir de retour d'expérience et de base pour l'élaboration des schémas attendus.

La réglementation en vigueur propose une méthodologie qui s'inspire des bonnes pratiques des schémas développés sur la base d'initiatives locales et dont l'application a permis d'identifier les pistes d'amélioration. Elle oblige à la structuration d'une gouvernance qui associe des acteurs divers autour de cette thématique.

6.4. Les schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragages et des filières de gestion des sédiments

Les PAMM, finalisés en 2016, prévoient des programmes de mesures parmi lesquelles la mesure M024-NAR1b est destinée à « Favoriser la mise en œuvre de schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragages et des filières de gestion des sédiments, évolutifs et adaptés aux besoins locaux ».

Les programmes de mesure des PAMM reprennent les engagements nationaux pour la planification des activités de dragage à échelle locale pertinente

Les schémas attendus s'adressent aux activités de dragage des établissements portuaires de plaisance, de commerce et de pêche. En termes de valeur juridique, il s'agit de documents ayant un caractère indicatif et incitatif qui sont donc soumis aux volontés locales, plus ou moins marquées selon les territoires. L'objectif est de développer des outils d'aide à la décision, actualisés aux échelles spatio-temporelles pertinentes, afin d'anticiper les besoins des acteurs et de proposer des outils adaptés à l'optimisation environnementale de la gestion des sédiments dragués. Cette mesure fera l'objet d'une mise en œuvre harmonisée par les préfets coordonnateurs des sous régions maritimes et sera réalisée en deux étapes :

- La Phase N°1, réalisée en 2015, consiste en un cadrage méthodologique national proposant des lignes d'élaboration des schémas favorisant ainsi le caractère homogène des informations à transcrire,
- La phase N°2 prévoit une mise en place progressive d'instances de dialogue au niveau local en charge d'assurer l'élaboration de schémas locaux selon les priorités des territoires.

Il convient de noter ici que les GPM n'entrent pas dans le champ d'application des PAMM en termes d'élaboration des schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragages et des filières de gestion des sédiments. Les schémas attendus n'interdisent pas formellement l'association de ports décentralisés avec les GPM. Pour la façade méditerranéenne, cette possibilité est néanmoins inexistante compte tenu du seul GPM présent.

Compte tenu des forts enjeux locaux relatifs à la gestion des sédiments, nous pouvons noter qu'il est regrettable que les schémas d'orientation territorialisés des ports décentralisés ne soient pas une obligation réglementaire. En effet, ces documents doivent constituer des outils d'information à caractère indicatif et n'ont pas vocation à créer une nouvelle norme.

Pour autant, par la méthodologie d'élaboration proposée, et grâce aux échanges des divers acteurs associés à la gouvernance dans les GT dédiés, la démarche doit permettre de fixer et de hiérarchiser des objectifs partagés et favorisera ainsi une prise en compte des termes du document.

A l'identique des schémas de gestion des sédiments continentaux, l'obligation de mise en cohérence avec les SAGE, documents opposables, qui pourraient intégrer de manière plus complète ce sujet, permet néanmoins de contraindre les objectifs des schémas pour une harmonisation nationale et une adaptation des potentialités des territoires.

La représentation schématique de la Figure 33 détaille la Phase 1 de la méthodologie nationale développée dans les PAMM pour l'élaboration des Schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragages et des filières de gestion des sédiments.

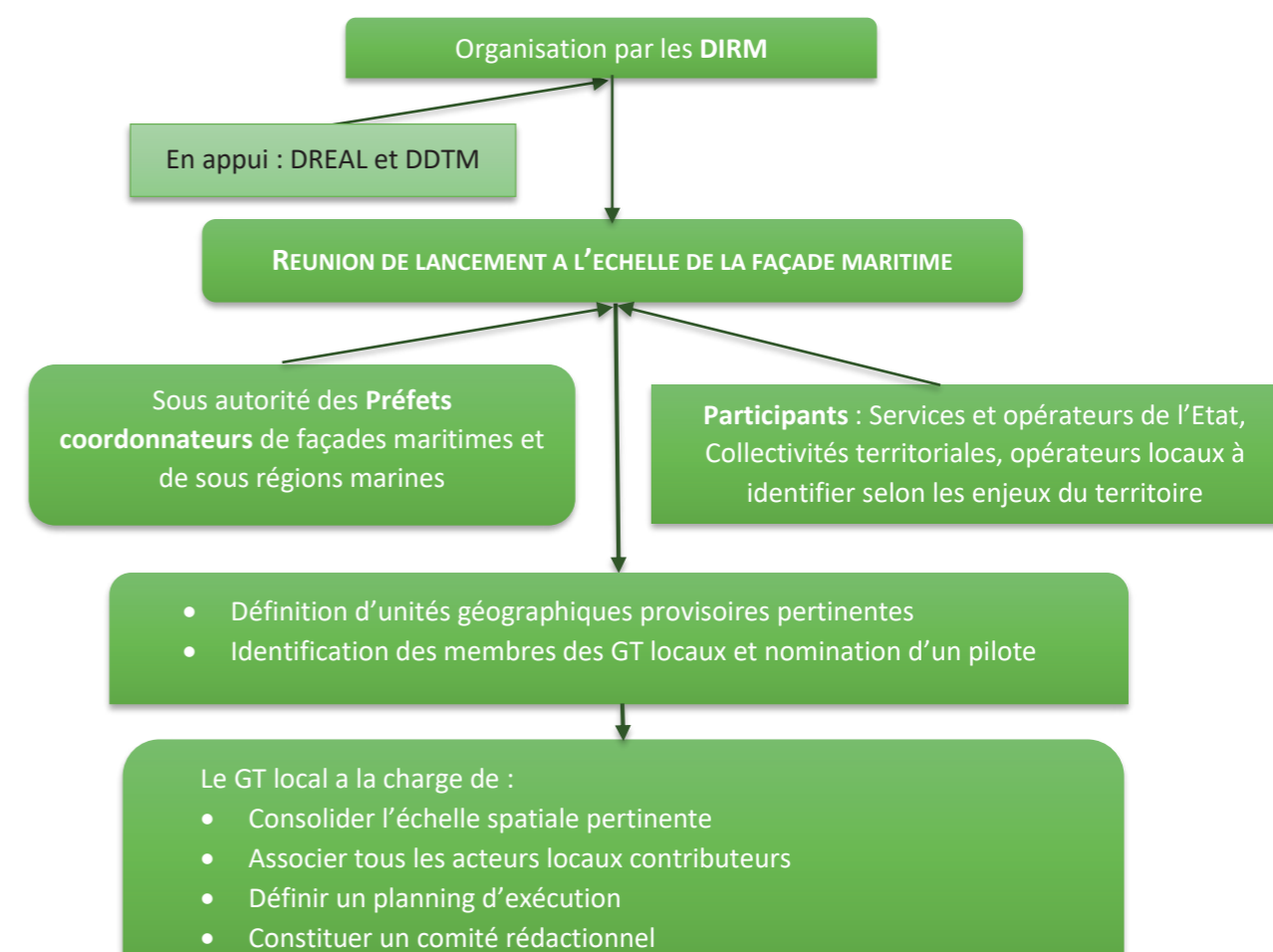


Figure 33 : Représentation de la méthodologie d'élaboration des schémas d'orientation territorialisés de opérations de dragage et filières de gestion des sédiments (Phase 1)

N.B. : parmi les participants, les représentants des ports de plaisance sont également concernés (Collectivités territoriales)

Le périmètre du schéma territorial sera fonction des enjeux et contextes locaux identifiés et pourra être élargi au-delà des limites d'application du PAMM voire du SDAGE. De plus, si des initiatives locales de planification existent, le format géographique retenu pourra être conservé, élargi ou fusionné avec d'autres initiatives à proximité. Dans ces dernières hypothèses, les acteurs à associer devront être identifiés et contactés.

Le facteur clé de succès du schéma à élaborer est la qualité et la représentativité de la gouvernance qui doit être organisée dans une logique participative afin d'assurer l'expression de tous les points de vue. Si des instances existent sur le territoire, il est préconisé de les associer afin d'assurer une représentativité au bon niveau pour garantir un travail collégial efficient.

En termes de délai de validité, la durée préconisée est de 10 ans mais peut être augmentée selon le contexte local. Il est cependant possible, avant le terme fixé, de procéder à une révision à la suite d'un bilan de mise en œuvre ou en cas de modification substantielle des activités ou d'évolution réglementaire applicable aux opérations visées par le schéma.

La Figure 34 synthétise les préconisations méthodologiques de 2016 du Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer relatives à l'élaboration des schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et des filières de gestion des sédiments.

Les DSF, dans lesquels s'inscrivent les PAMM, organisent, à l'échelle de chaque façade maritime, la cohabitation des activités et des usages de la mer et du littoral dans le respect de la préservation du milieu écologique. Ils fixent le cadre de référence pour les stratégies locales d'aménagement et de planification du littoral. Ils définissent également des objectifs de développement durable à l'horizon 2030. En pratique, ils orientent, par exemple, les processus de décision en matière d'autorisation d'activités et de conciliation des usages. Dans ce contexte, les schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragages et filières de gestion des sédiments doivent, par leur contenu, participer à la démarche de réflexion sur le lien terre – mer et l'aménagement du territoire pour les activités liées aux établissements portuaires, compte tenu de l'importance de ces activités en termes économiques, environnementaux et sociétaux.

Ces schémas sont composés de deux volets :

- **Un volet diagnostic** qui vise à recenser les activités du territoire considéré à une échelle de temps définie. Il s'agit dans un premier temps, et *a minima*, de présenter les enjeux réglementaires qui encadrent les opérations de dragage puis les enjeux environnementaux liés aux activités anthropiques qui peuvent influencer la qualité des sédiments à draguer et les potentiels impacts des opérations de dragage ainsi que les mesures de prévention mises en œuvre. Le diagnostic s'intéresse donc au territoire qui inclut le(s) bassin(s) versant(s) des ports et à sa gestion tant au sujet des activités implantées que de leurs apports polluants.

L'élaboration de ce volet doit être l'occasion d'étudier précisément l'impact de la contamination des eaux des bassins versants, et spécifiquement celles issues des zones urbanisées ou agricoles, sur la contamination des sédiments. Ces eaux participent potentiellement à la contamination détectée dans les sédiments portuaires ou fluviaux, positionnés in fine en réceptacle des bassins versants.

L'analyse des flux de contaminants de ces eaux doit permettre d'évaluer les flux par zone urbaine et d'activer le principe pollueur / payeur au sujet de la contamination transférée sans traitement. Pour chaque opération de dragage, des données doivent être collectées au sujet des sites dragués et de l'objet de l'opération, des quantités, des techniques de dragage et des qualités des sédiments. Les options de gestion mises en œuvre (immersion ou gestion à terre) seront précisées et les sites localisés. Les éventuelles expérimentations innovantes seront également évoquées ainsi que les conclusions auxquelles elles ont abouti. Ces informations, par le retour d'expérience qu'elles présentent, doivent permettre d'esquisser des bonnes pratiques locales utiles aux services de l'État et aux maîtres d'ouvrages.

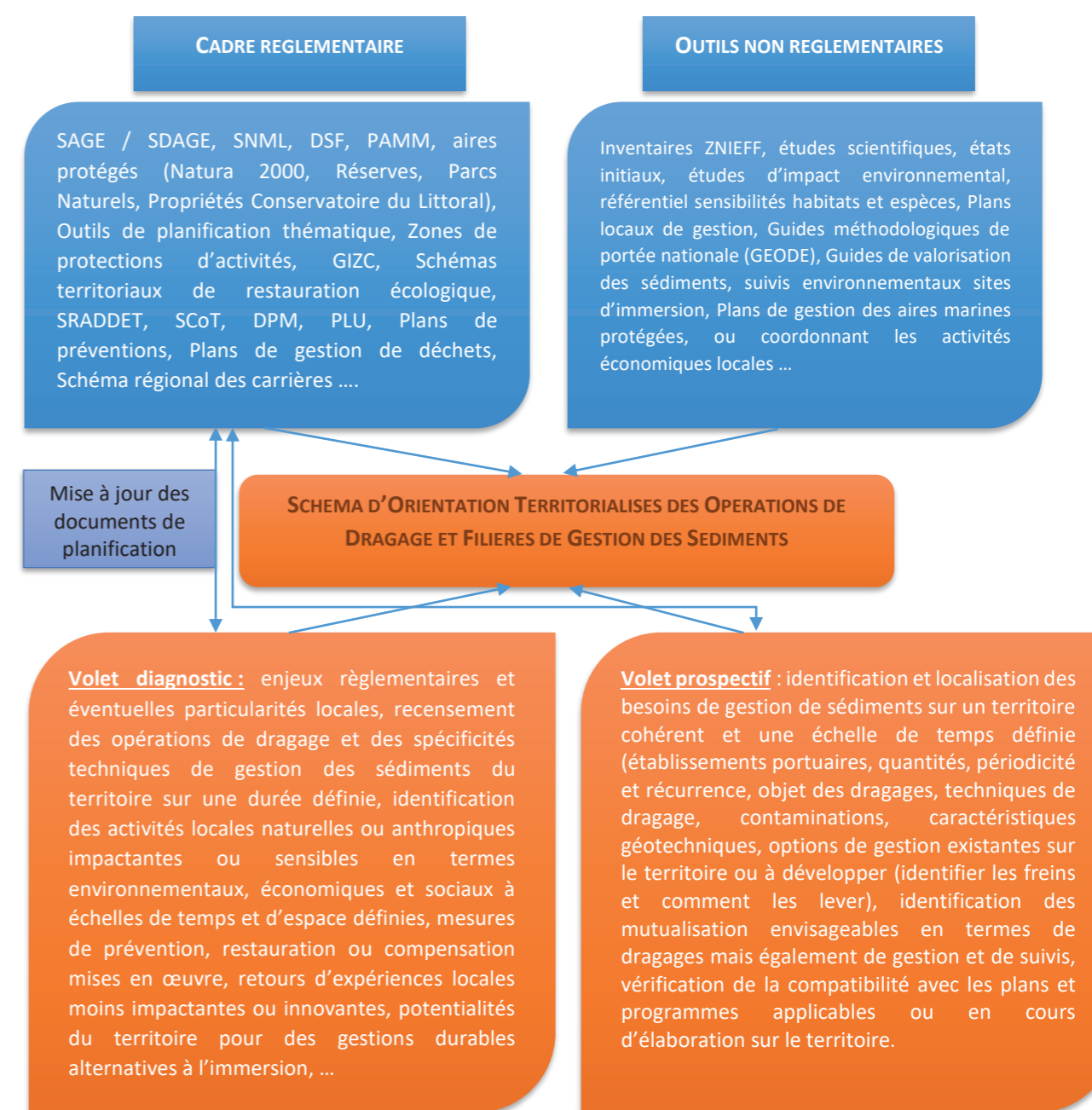


Figure 34 : Préconisations relatives aux contenus des schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et filières de gestion des sédiments (Phase 2)

- **Un volet prospectif** dont l'objectif est d'anticiper les opérations de dragage et les modes de gestion envisageables sur le territoire dans une échelle temporelle définie. Le schéma devra donc présenter de manière planifiée les quantités à draguer et les caractéristiques des sédiments, les techniques de dragage privilégiées et les modalités de gestion envisagées. Ces données visent à faciliter la lisibilité de l'activité selon des approches environnementales, organisationnelles et économiques. Il s'agit d'étudier les possibilités de mutualisation de certains travaux mais également des options de gestion en lien avec les filières locales dans une logique de maîtrise de l'impact environnemental cumulé.

Par ailleurs, afin de se préparer à répondre aux attentes de la loi sur l'économie bleue en terme de limitation des immersions, l'élaboration de ce schéma doit être l'opportunité d'analyser les potentialités du territoire pour ce qui concerne la gestion à terre et la valorisation des déblais. Dans ce contexte, la participation aux instances de gouvernance des collectivités territoriales pourra favoriser les réflexions utiles à l'aménagement du territoire en termes d'équipement en outils de gestion à développer mais également au sujet de l'utilisation des éco-matériaux issus des traitements pour une valorisation de sédiments. Enfin, la participation aux GT dédiés des services de l'Etat, en charge de l'instruction des dossiers d'autorisation, doit faciliter un dialogue avec les gestionnaires qui favorisera la recevabilité des dossiers de demande de dragage et facilitera leur traitement par les services instructeurs.

6.5. L'élaboration des schémas d'orientation territorialisés : premières mises en œuvre

Les actions utiles à l'émergence des schémas d'orientation territorialisés ont été initiées sur certains territoires sous deux types d'impulsions. Les services de l'Etat en charge de leur élaboration mais également des décideurs publics locaux, sensibilisés par le sujet sur leur territoire du fait de l'impact sur l'économie locale et de la pression sociale sur la nécessité de préserver l'environnement et la santé humaine en structurant les actions publiques de manière coordonnée.

En janvier 2019, la DIRM Méditerranée en partenariat avec l'ADEME, l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et les Régions Sud et Occitanie a lancé un Appel à Projets dont le lot 3 vise à proposer des schémas territoriaux comprenant une évaluation économique pluriannuelle et des pistes de propositions de financement mais également la définition et mise au point d'outils d'aide à la gestion des sédiments. Deux projets ont été retenus : un sur le périmètre de la Métropole Aix Marseille Provence et du Département des Bouches du Rhône et un sur les ports de Grimaud et du Golfe de St Tropez. Les lots 1 et 2 s'intéressent respectivement aux dragages mutualisés avec une gestion terrestre des sédiments à valoriser en travaux publics à échelle 1 et à des méthodologies et essais de valorisation en travaux publics maritimes à échelle pré industrielle. Ces deux lots doivent contribuer à la définition d'un schéma territorial de gestion des opérations et sédiments de dragage sur le périmètre du projet. Au total 5 projets ont été retenus pour les lots 1 et 2. Les informations relatives aux projets qui ont effectivement démarré et leur avancement ainsi que l'applicabilité des productions qui sont attendues n'ont pas encore fait l'objet de communications.

Concernant les initiatives locales qui émergent, sous l'impulsion de décideurs locaux élus des territoires littoraux, elles doivent participer à l'élaboration des documents de planification de leur espace maritime. Dans ce cadre, elles visent à favoriser et sécuriser le développement durable des activités et la coexistence des usages en tenant compte des différentes échelles d'application et de différentes temporalités. Les schémas d'orientation territorialisés relatifs à la gestion des sédiments s'inscrivent dans cette démarche plus large.

La Bretagne, qui a élaboré, dès 2011, une Charte des dragages des ports bretons, a décidé de se saisir de l'opportunité des préconisations du PAMM, relatives aux schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et de filières de gestion des sédiments, pour créer dès 2016 un groupe de travail « Dragages portuaires » piloté par la Région et l'Etat, dans le cadre de la Conférence Régionale de la Mer et du Littoral (CRML). Le schéma s'intéresse à 9 ports littoraux et à la Rade de Lorient. En termes de gestion, considérant que 77% des déblais dragués sont immergés, la Bretagne a su identifier et mettre en œuvre des solutions locales de gestion à terre pour les 23% de déblais non immergeables.

De plus, le schéma liste 4 grands enjeux liés aux dragages : économique, environnemental, de gestion et valorisation des sédiments et de gouvernance qui sont la base de la structuration du schéma en termes de propositions. La Rade de Lorient a finalisé en 2017 son Plan de Gestion des Opérations de Dragage (PGOD), pour répondre à la volonté politique mais également étudier les pistes de mutualisation des opérations notamment les études de planification ou le montage des dossiers d'autorisation.

Dans ce contexte, nous pouvons citer l'exemple du dossier de demande d'autorisation de dragages d'entretien des ports de la rade de Lorient déposé conjointement en 2018 par quatre Maîtres d'Ouvrages (Région Bretagne, Lorient Agglomération, Compagnie des ports du Morbihan et Naval Group).

Dans une zone où aucun dragage n'avait eu lieu depuis 30 ans, les opérations ont été initiées fin 2019, se dérouleront sur 10 ans et permettront d'extraire 1,4 millions de m3. La démarche partenariale a permis d'identifier les tâches et coûts associés à la charge de chaque acteur et de mutualiser les dépenses.

En Charente Maritime le Schéma territorial de gestion des sédiments de dragage à l'échelle de la Mer des Pertuis est en cours d'élaboration. La démarche a été initiée en juillet 2019 avec un objectif de finaliser le schéma fin 2020. Le territoire d'application du schéma a été défini et le diagnostic est en cours dans le cadre d'une gouvernance qui associe largement les acteurs locaux et assure ainsi la prise en compte des attentes exprimées. Le volet communication développé vise à une meilleure compréhension de la démarche afin d'en faciliter une large appropriation. A noter que le périmètre sur lequel s'appliquera le schéma inclut le GPM de la Rochelle.

Le constat que nous pouvons faire en 2020 est que **les initiatives visant à l'émergence des schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragages et filières de gestion des sédiments demeurent limitées.**

Les importants moyens à mobiliser pour lancer cette démarche, tant humains que financiers, expliquent probablement, en partie, les difficultés aussi bien pour les services de l'Etat, qui nécessitent une mobilisation locale pour agir efficacement, que pour les décideurs locaux soumis à de multiples obligations. Par ailleurs, les territoires qui se sont dotés d'outils plus anciens relatifs à la gestion des sédiments ont déjà structuré, au moins partiellement, cette gestion. Toutefois, les outils à développer, outre la réponse qu'ils peuvent apporter à des obligations réglementaires, doivent permettre d'améliorer la gestion des sédiments dans une vision proactive et inclusive qu'il est souhaitable d'encourager et de soutenir.

6.6. Perspectives de gestion coordonnée et mutualisée des sédiments dragués

Afin d'accompagner le lancement des démarches visant à élaborer les schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragages et filières de gestion des sédiments, il semble souhaitable que les services de l'Etat contribuent à créer des dynamiques locales en s'appuyant sur des initiatives des territoires, à l'image de l'appel à projet lancé par la DIRM Méditerranée. Il convient de noter que cette démarche est associée à des financements accessibles aux porteurs de projet et répond donc, en partie, aux difficultés financières d'élaboration du schéma.

Par ailleurs, une amplification de la communication ciblée, à l'attention des acteurs situés dans des zones soumises aux dragages et aux potentiels impacts associés, permettrait de sensibiliser les divers représentants des activités locales à l'intérêt, pour chacun, de s'associer à une telle démarche. Il serait ainsi possible de favoriser son appropriation par la mise en évidence des avantages respectifs liés à cette structuration collaborative qui intègre les enjeux et les besoins de toutes les activités présentes sur le territoire.

Notamment les industriels doivent être informés du marché potentiel que représentent les sédiments à gérer à terre afin de se positionner et de participer ainsi à l'émergence de l'activité.

La réalisation de l'état des lieux d'un territoire dans un mode dynamique, prospectif et partagé peut servir de socle à l'identification des pistes locales de développement des activités dont la gestion des sédiments n'est qu'une facette. Ce diagnostic peut servir d'outil d'aide à la décision politique sur l'aménagement du territoire et le soutien aux activités économiques.

En outre, et sur la base des retours d'expériences de ces 20 dernières années en matière de gestion des sédiments, des points clés ont été identifiés et doivent être traités dans le cadre de l'élaboration des schémas d'orientation territorialisés de opérations de dragages et filières de gestion des sédiments. Et ce, dans un contexte où les difficultés de gestion que rencontrent les opérateurs portuaires depuis 2000 sont aujourd'hui identifiées et souvent sans réponses opérationnelles, accessibles et applicables simplement. Il s'agit essentiellement :

1. De l'isolement des gestionnaires portuaires des établissements de plaisance, commerce et pêche, qui ont dû s'organiser notamment en se rapprochant des diverses associations dédiées au sujet portuaire (Union des Ports de France (UPF), les Union des ports de plaisance, la Fédération française des Ports de Plaisance (FFPP), l'Union des Ports de Plaisance Provence Alpes Côte d'Azur et Monaco (UPACA), etc.).
2. Du nombre limité d'outils opérationnels à destination des gestionnaires en termes d'options envisageables de gestion à terre
3. Des difficultés liées à la réglementation dense et complexe et en cours d'évolution encadrant l'activité
4. De l'optimisation de la lutte contre les apports chimiques qui ne sont pas liés uniquement à l'activité portuaire, mais également aux impacts anthropiques du bassin versant
5. De la mise en œuvre du principe pollueur / payeur pour la part de contamination issue des zones urbaines et agricoles principales
6. De la question du modèle économique de la gestion des sédiments non immergeables qui doivent alors être gérés à terre et deviennent des déchets publics
7. De la nécessaire cohabitation d'activités littorales, aux intérêts parfois divergents, mais dont les enjeux respectifs doivent pour autant être pris en compte
8. Du risque pour les industriels, notamment lié au cadre réglementaire non stabilisé, de diversifier leur activité dans l'économie circulaire pour une valorisation des sédiments non immergeables
9. Du marché concurrentiel dans lequel les matériaux valorisés doivent s'inscrire
10. Des réticences, pour les maîtres d'ouvrages, de prévoir des options d'utilisation de matériaux recyclés dans les cahiers des charges des marchés publics
11. De la difficulté à identifier les gisements en terme de quantités à gérer à terre en lien avec les attendus de la loi sur l'économie bleue qui fixe l'interdiction d'immersion des sédiments en 2025 mais dont les seuils restent à définir et dont les modalités de définition sont en cours de réflexion en 2020 (et qui n'ont toujours pas été présentées en fin 2021)
12. De la nécessité de constituer des lots de matériaux secondaires issus des sédiments gérés à terre de qualité acceptable et en quantité suffisante pour rendre faisable les valorisations.

Ainsi, une approche partenariale à l'échelle d'un territoire doit permettre, pour les services de l'État et les décideurs locaux, d'analyser les difficultés qui relèvent de leurs compétences respectives, d'identifier les freins à lever ainsi que les réponses possibles et de programmer la mise en œuvre des politiques. Par ailleurs, la réflexion partagée favorisera la maîtrise des coûts de gestion par les mutualisations qu'elle rendra possible.

A ce sujet, le retour d'expérience d'EDF (Stratégie Connaitre, Localiser et Evaluer – CLE – voir Figure 35)² sur ce sujet est intéressant et mérite d'être étudié pour analyser la répliquabilité aux sédiments marins.

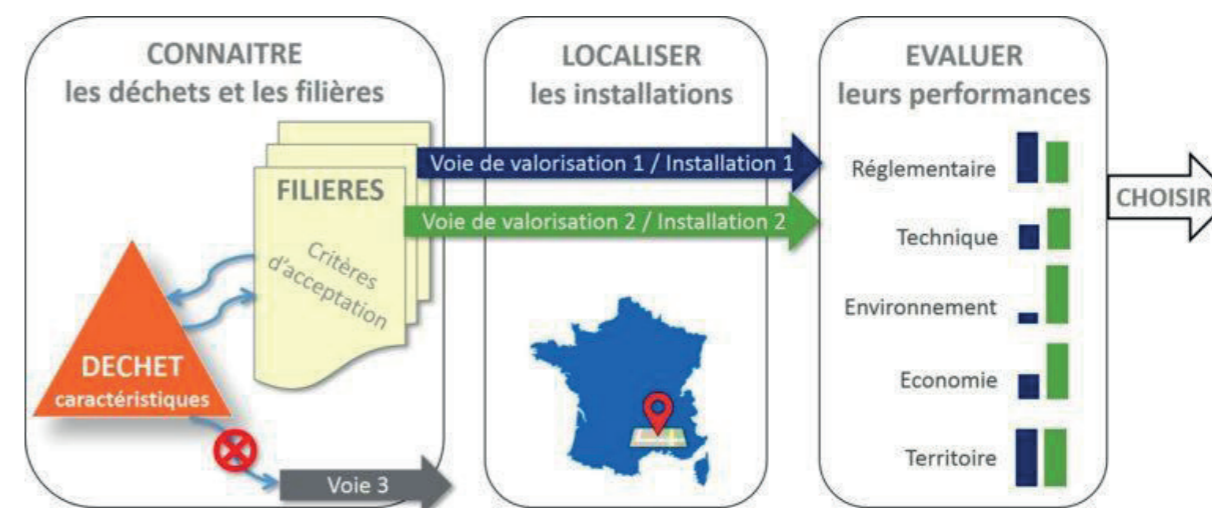


Figure 35 : Stratégie « Connaitre, Localiser et Evaluer » - Source EDF

La structuration de la gestion à terre des sédiments non immergeables passe donc par la mise en œuvre d'une gouvernance dont les enjeux sont présentés ci-après.

6.6.1) L'organisation territoriale et l'implication des acteurs

L'élaboration des Schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragages et filières de gestion des sédiments est liée aux démarches d'économie circulaire. Dans ce cadre, et afin de répondre de manière collaborative aux enjeux du territoire concerné, il convient d'organiser une gouvernance partenariale localisée. En effet, l'économie circulaire est un concept englobant et multiforme qui implique une approche transversale, tant en interne de la collectivité, en charge de la gestion des déchets, qu'au niveau territorial.

En tant que stratégie territoriale à vocation opérationnelle, une telle démarche doit donc être en prise directe avec la réalité et les spécificités du territoire : les enjeux et objectifs doivent être partagés par l'ensemble des acteurs, pour permettre son application concrète par ces mêmes acteurs. Il faut donc les impliquer dans la phase d'élaboration.

La participation d'une variété d'acteurs, tant dans la phase de conception que de mise en œuvre, permettra d'assurer : une appropriation de la démarche ; une diffusion efficace des attentes ; une mise à disposition optimale des compétences en présence.

² Sédiments et retenues artificielles ; une affaire de matière – Entretien avec M François Théry – Setec Lerm janvier 2020 (<http://doc.lerm.fr/sediments-de-retenu-es-artificielles-une-affaire-de-matiere/>)

Au travers de cette gouvernance partenariale, un groupe d'acteurs est impliqué dans la réflexion et la prise de décision pour élaborer et déployer la stratégie. Une telle méthode de pilotage introduit flexibilité et diversité des points de vue, grâce à un partenariat entre acteurs de secteurs ou d'échelles différentes, et qui ne sont pas en contact habituellement.

Il existe d'ores et déjà, au sein de chaque institution régionale ou aux échelles infrarégionales, des démarches et stratégies qui peuvent venir en soutien du développement d'une économie circulaire. Les plus importantes sont représentées dans la Figure 36³ ci-dessous:

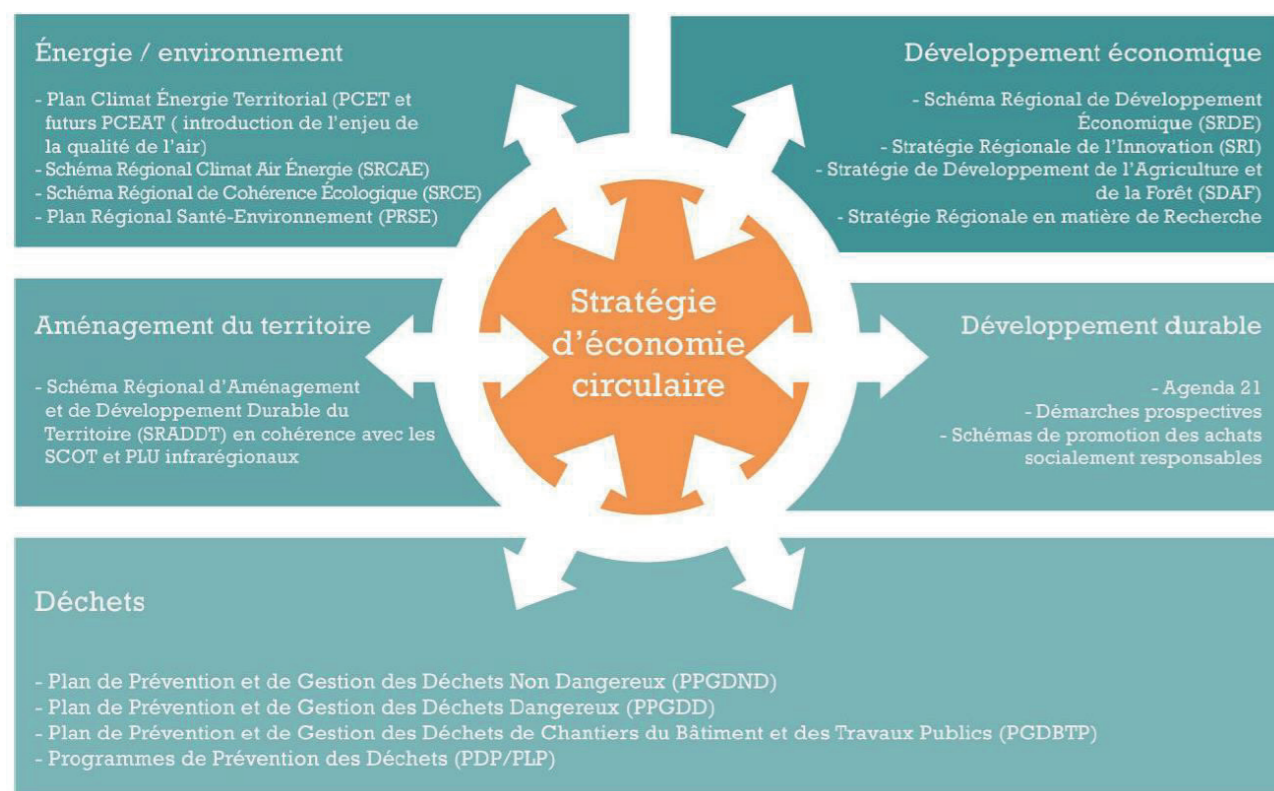


Figure 36 : Coordination de la stratégie régionale d'économie circulaire avec les autres démarches régionales
(Schéma de principe - Source : AUXILIA)

Le niveau régional semble être l'échelle adaptée pour l'élaboration des stratégies de gestion territoriale des questions relatives à l'économie circulaire. L'émergence de l'activité de gestion efficiente des sédiments est ainsi étroitement liée à la volonté politique affirmée à ce niveau. L'expérience de la Région Bretagne, très proactive depuis des années, en est un témoignage très utile.

Les schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragage et filières de gestion des sédiments, attendus par les PAMM issus de la mise en œuvre de la DCSMM, viendront compléter ces documents stratégiques et planificateurs, auxquels ils devront s'articuler. La logique de mutualisation doit être recherchée dans ces documents afin de mieux maîtriser les coûts, favoriser les économies d'échelle et limiter les besoins de transport.

³ Guide méthodologique du développement des stratégies régionales d'économie circulaire en France – ADEME/ARF (Etude réalisée par AUXILIA) - octobre 2014

Ils seront l'occasion, par le volet diagnostic partagé qu'ils doivent présenter, d'identifier les gisements et les filières accessibles sur le territoire. Ces schémas doivent également permettre d'associer, dans la gouvernance, les acteurs en capacité de développer les indispensables plateformes industrielles de gestion des sédiments par l'étude des potentialités du territoire. Des stratégies partenariales, associant des acteurs publics et privés, doivent être élaborées dans le cadre de chaînes de valeur afin de s'intégrer dans les logiques économiques et de développement territorial. Cette méthodologie vise à favoriser les convergences d'intérêts différents vers un objectif partagé. La Figure 37 suivante illustre l'organisation de la valorisation des déchets et les divers acteurs de la chaîne de gestion.



Figure 37 : La chaîne de valeur du marché de la valorisation des déchets
(Source : CMI, adaptation AUXILIA)

Les démarches relevant de l'Écologie Industrielle et Territoriale (EIT) s'inscrivent dans cette logique. En associant les organismes publics (Maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre, institutionnels, Chambres de commerces, Services de l'État, producteurs publics de matières premières, etc.) aux organismes privés (Maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre, entreprises de travaux, producteurs de matières premières naturelle et secondaires, sous-traitants, utilisateurs des infrastructures, riverains, etc.) pour l'élaboration d'une stratégie territoriale de développement durable, une partie de la solution peut être identifiée.

La représentation suivante (Figure 38) des processus globaux de l'EIT est accessible dans le rapport de 2014 du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) « Écologie Industrielle et Territoriale : le guide pour agir dans les territoires ».

Le réseau SYNAPSE⁴ (Réseau national des acteurs de l'Écologie Industrielle et Territoriale) peut être une aide au développement de ce type de démarche dans le contexte des sédiments.

⁴ <https://optigede.ademe.fr/ecologie-industrielle-territoriale-reseau-synapse>

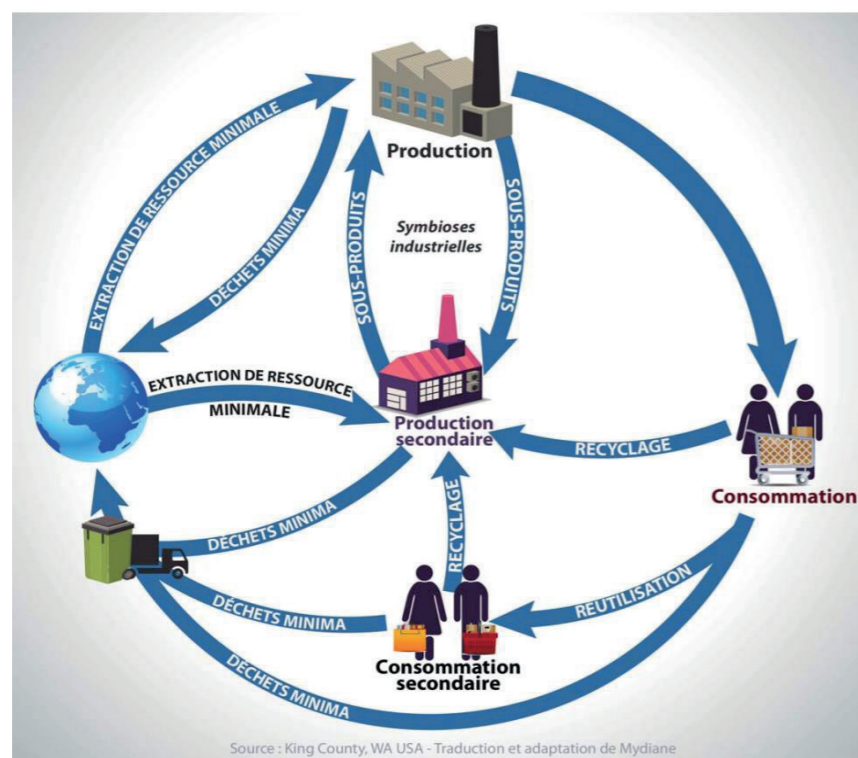


Figure 38 : Processus globaux de l'EIT – Source CGDD

- **Des maîtres d'ouvrages publics** qui doivent être sensibilisés et informés pour activer les clauses environnementales dans les consultations qu'ils lancent afin d'ouvrir des voies d'utilisation des matériaux issus du recyclage des MPS sédiments.
- **Des Industriels, producteurs de matériaux**, qui doivent de même être sensibilisés au potentiel de valorisation des sédiments dans les produits qu'ils commercialisent afin de permettre l'usage effectif des matériaux issus des traitements de sédiments.
- **Des acteurs de gestion des déchets** qui doivent pouvoir envisager la construction de plateformes ou la diversification de leur activité dans un contexte sécurisé et efficient d'ouverture opérationnelle de ce nouveau marché.
- **Des organismes partenaires financiers** qui doivent participer aux échanges afin de pouvoir contribuer à l'identification des sources de financements utiles.

Par ailleurs, compte tenu des travaux préparatoires à la définition des seuils N3, il semble opportun d'associer également les représentants des ministères en charge, afin d'étudier dès à présent les conséquences opérationnelles de ce seuil, notamment sur les quantités à prendre en compte.

Enfin et pour favoriser l'émergence de l'activité, le volet sensibilisation des acteurs, tant producteurs que consommateurs est une phase à ne pas sous-estimer.

6.6.2) Retours d'expériences et bonnes pratiques

Les initiatives existantes permettent d'identifier des solutions opérationnelles et peuvent être étudiées par le retour d'expérience qu'elles proposent. Leur répliquabilité doit être analysée afin de comprendre comment les développer sur les territoires selon les diverses typologies de sédiments et dans une logique d'économie circulaire.

Le retour d'expérience de VNF peut être ici cité pour les réponses qu'il apporte à certaines des questions évoquées ci-avant. Lors de l'exécution du projet ALLUVIO initié en 2016 sur une durée d'étude de 4 ans, VNF a amplifié ses réflexions sur les problématiques liées aux apports amont de sédiments afin d'initier un travail conjoint avec les acteurs locaux. De plus, pour accompagner le développement des filières de valorisation, VNF fait participer les usagers, qui contribuent aux contaminations, au financement de la gestion à terre des sédiments et envisage de mettre en place une incitation financière à destination des industriels. Les travaux du projet ont également mis en évidence l'intérêt de travailler de manière partenariale avec les décideurs locaux afin de favoriser l'émergence de changements de pratiques pour améliorer la gestion des eaux pluviales et des systèmes d'assainissement, limiter les apports de sédiments et le niveau de contamination mais également pour intégrer l'utilisation de sédiments valorisés dans les cahiers des charges des marchés publics. Dans cet objectif VNF prévoit de rédiger des guides techniques et juridiques à destination des Maîtres d'ouvrages publics et privés. Ces solutions pourraient être reprises à l'occasion de l'élaboration des schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragages et filières de gestion des sédiments marins.

Nous pouvons également citer la gestion des Sites et Sols Pollués (SSP) qui, du fait de son ancienneté, apporte des enseignements en termes de bonnes pratiques qui méritent d'être analysées pour étudier la répliquabilité sur le sujet de la gestion des sédiments. En 2008, le ministère en charge de l'environnement a engagé et financé l'élaboration d'une norme et d'un référentiel de certification des services dans le domaine des SSP. La démarche a conduit à réaliser un état des lieux des besoins des donneurs d'ordre et des contextes de gestion les plus fréquemment répertoriés.

À titre d'exemple, le GPM de Nantes-St Nazaire s'est lancé dès 2014 avec l'Agglomération de St Nazaire dans l'organisation d'une démarche d'écologie industrielle en zone portuaire en partenariat avec les acteurs industriels présents sur son établissement.

Ainsi divers acteurs ont un rôle à jouer pour contribuer à l'émergence de l'activité. Il s'agit notamment :

- **Des autorités publiques** en charge de l'élaboration des Schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragages et filières de gestion des sédiments
- **Des gestionnaires de sédiments** qui doivent être associés à la démarche d'évaluation des gisements afin d'améliorer la visibilité sur ce point clé qui est de nature à participer à l'émergence de plateformes de gestion et l'utilisation de matériaux alternatifs dans un périmètre limitant les transports. Les Cellules Économiques Régionales de la Construction pourraient jouer, dans ce cadre, un rôle de veille des flux de déchets potentiellement utilisables en MPS dans lequel les opérations de dragage pourraient être intégrées. En effet, la connaissance des gisements est un atout majeur pour les industriels qui cherchent à optimiser leurs approvisionnements⁵.

⁵ Projet ASURNET réalisé en partenariat par le BRGM, le CSTB, INSAVALOR-POLDEN, l'UTT et 13 Développement – rendu final en juin 2013

La norme NF X 31-620 « Prestations de services relatives aux SSP » est structurée en 4 parties et encadre l'ensemble des prestations liées aux missions d'études, d'assistance, de contrôle et de travaux. Cet outil de référence est à même d'aider les donneurs d'ordre à exprimer leurs besoins. Les prestataires qui répondent aux marchés doivent donc être certifiés selon cette norme, ce qui sécurise la qualité des prestations fournies et limite les aléas de chaque étape.

Ce référentiel, élaboré par le Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE) présente le champ et les conditions d'application de la certification des services SSP, les caractéristiques certifiées, les modalités d'évaluation par l'organisme certificateur de la conformité du service, de la nature et du mode de communication relatifs aux caractéristiques certifiées.

La norme et le référentiel clarifient les missions de chaque intervenant et la mission d'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage est particulièrement destinée aux donneurs d'ordre sans connaissances spécifiques du domaine ou qui ont des besoins sur des aspects très techniques.

Cette méthodologie d'encadrement d'une activité semble être adaptée à la question des sédiments dragués pour lesquels les gestionnaires des ports de plaisance, de commerce et de pêche n'ont souvent pas les connaissances ni les moyens humains permettant de s'assurer de la qualité et de la pertinence des services à externaliser.

SOMMAIRE CHAPITRE 7

7.	LE MODÈLE ÉCONOMIQUE DE GESTION A TERRE DES SÉDIMENTS NON IMMERGEABLES – PREMIÈRES RÉFLEXIONS	128
7.1.	Le contexte de la gestion des déchets en France	130
	<i>7.1.1) Typologies des déchets et logiques de gestion associées</i>	131
	<i>7.1.2) Options de gestion des déchets et efficacité</i>	131
	<i>7.1.3) La nécessaire préservation des ressources minérales naturelles</i>	133
	<i>7.1.4) Apports des études de l'Agence de la Transition Écologique (ADEME)</i>	134
	<i>7.1.5) Zoom sur les déchets auxquels peuvent se substituer les sédiments</i>	135
	<i>7.1.6) Coûts et organisation du financement de gestion des déchets</i>	136
7.2.	Quelles sont les problématiques de gestion à terre des sédiments et leurs impacts sur le modèle économique	139
	<i>7.2.1) Des gisements potentiels limités mais récurrents</i>	139
	<i>7.2.2) Des contaminations aux multiples sources</i>	146
	<i>7.2.3) Des outils industriels à développer</i>	148
	<i>7.2.4) Quels sont les gestionnaires pour lesquels les financements sont à mobiliser</i>	150
7.3.	Les principes du modèle économique	157
	<i>7.3.1) Outils d'évaluations chiffrées</i>	157
	<i>7.3.2) Proposition d'évaluation des coûts</i>	164
7.4.	Les sources potentielles de financements	174
	<i>7.4.1) Conditions et règles d'attributions des aides nécessaires</i>	174
	<i>7.4.2) La forme et l'origine des aides mobilisables</i>	178
	<i>7.4.3) La piste « fiscalité environnementale »</i>	180
	<i>7.4.4) L'application du principe Pollueur/Payeur</i>	182
	<i>7.4.5) La Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP)</i>	183
	<i>7.4.6) La Taxe sur la Valeur Ajoutée (TVA)</i>	184

7. LE MODÈLE ÉCONOMIQUE DE GESTION A TERRE DES SÉDIMENTS NON IMMERGEABLES – PREMIÈRES RÉFLEXIONS

La question abordée dans ce chapitre concerne le modèle économique associé à la gestion à terre des sédiments non immergeables.

N.B. : Les hypothèses posées et scénarii envisagés dans ce chapitre sont des outils utiles au raisonnement. En aucun cas ils engagent les organismes susceptibles de participer à un cofinancement de l'activité.

La situation actuelle est problématique pour de nombreux gestionnaires, qui peinent à assurer une navigation sécurisée de leurs plans d'eau, du fait du peu de filières de gestion à terre accessibles et à des coûts abordables. Il est donc urgent d'identifier les critères, notamment financiers, participant à l'émergence opérationnelle de l'activité de gestion de ces déchets.

Au sujet des **sédiments marins** gérés par immersion ou remise en suspension, les pratiques historiques, qui peuvent se poursuivre selon le niveau de contamination mesuré, ont un modèle économique structuré et qui ne nécessite pas de modifications. Il s'agit en moyenne de 85% des quantités de matières sèches draguées annuellement.

Les **sédiments continentaux** qui présentent des caractéristiques adaptées sont gérés par remise en suspension dans le lit des cours d'eau. S'ils présentent un niveau de contamination non acceptable, ou si le débit du cours d'eau concerné est insuffisant ou bien si leurs caractéristiques ne sont pas compatibles avec une gestion aquatique, ils sont gérés à terre.

Le modèle économique proposé dans le présent chapitre concerne les sédiments marins et continentaux qui doivent être gérés à terre. **Il s'agit d'un exercice visant à attirer l'attention du lecteur sur la dimension financière du traitement des sédiments** portuaires et des cours d'eau. Il conviendra par la suite de préciser les principes évoqués et certaines de ces évaluations.

La principale difficulté d'une gestion à terre des sédiments est liée aux coûts conséquents de cette gestion : Les gestionnaires de plans d'eau se trouvent confrontés à des niveaux de prix qu'ils peuvent avoir des difficultés à assumer.

Après une estimation des quantités à prendre en compte, nous établirons une évaluation des coûts de cette gestion et identifierons les sources potentielles de financement. Nous analyserons également, selon les statuts des gestionnaires, les possibilités existantes ou à créer, d'accès à des aides.

Les GPM bénéficient des dotations de l'Etat, pour les activités de dragage notamment mais la gestion des sédiments n'est pas éligible à ces financements en 2020.

Les gestionnaires de sédiments continentaux peuvent avoir accès à des financements externes dans le cadre d'opérations qui peuvent inclure la gestion des sédiments.

Les ports décentralisés, en revanche, ne peuvent accéder à des financements pour la gestion de leurs sédiments.

Le modèle économique proposé vise à identifier et rendre accessibles des sources de financements pour tous les gestionnaires qui mettent en œuvre la valorisation de leurs sédiments

Les quantités de sédiments marins non immergeables vont très probablement augmenter dans les prochaines années. En effet, l'article 85 de la loi sur Économie bleue n° 2016-826 du 20 juin 2016 pose, à compter, du 1^{er} janvier 2025, l'interdiction de « *rejet en mer des sédiments et résidus de dragage pollués* ». Les seuils au-delà desquels l'immersion sera interdite, baptisés seuils N3, restent encore à définir en 2021. Ce même article précise par ailleurs : « *une filière de traitement des sédiments et résidus et de récupération des macro-déchets doit être mise en place* ». La question des outils de traitement des sédiments se pose également. Compte tenu du nombre limité de centres industriels de transit et de traitement dédiés aux sédiments, le développement de l'activité de gestion à terre des sédiments passe également par des mesures favorisant l'équipement du territoire. Les conditions d'émergence de ces sites sont également étudiées par l'analyse des financements envisageables.

A terre, les sédiments, qu'ils soient marins ou continentaux, s'ils ne sont pas valorisés directement (essentiellement en rechargement de plage, remblai de carrières / gravières ou renforcement de berges) prennent le statut de déchets. Leur gestion s'inscrit ainsi dans une logique d'économie circulaire qui vise à changer de paradigme en développant de nouvelles manières de gérer les déchets d'activités, notamment, en réintroduisant la part valorisable dans les cycles de production matière.

ECONOMIE CIRCULAIRE

L'économie circulaire est basée sur 6 éléments principaux (d'après J.C. Levy, 2019) :

- L'utilisation modérée et la plus efficace possible des ressources non renouvelables
- Une exploitation des ressources renouvelables respectueuse de leurs conditions de renouvellement
- L'éco-conception et la production propre
- Une consommation respectueuse de l'environnement
- La valorisation des déchets en tant que ressources
- Le traitement des déchets sans nuisances

Il convient de souligner ici que les déchets - sédiments dragués non immergeables proviennent du Domaine Public Maritime (DPM) ou du Domaine Public Fluvial (DPF) et, dans ce contexte, relèvent tous de la catégorie de déchets publics.

Suivant la logique de l'économie circulaire, l'élaboration d'un modèle économique de l'activité de gestion à terre des sédiments dragués doivent inclure, outre les coûts techniques, une analyse chiffrée des performances des externalités environnementales, sociales et sociétales.

Externalités : ce terme indique la nuisance engendrée par la pollution ou plus généralement par la dégradation du capital naturel. Les externalités négatives correspondent à un dommage à l'environnement ou à un tiers sans que l'auteur n'ait à payer pour la nuisance occasionnée

Il semble en effet aujourd'hui indispensable de mettre en application concrète les principes du Développement Durable en intégrant, dans l'activité, l'idée que les ressources de notre monde sont limitées et que tout doit être mis en œuvre pour éviter leur épuisement.

Il s'agit donc d'aborder les questions de préservation des ressources, notamment minérales, qui sont non renouvelables et dont l'extraction doit être limitée, de la valorisation matière et de la gestion responsable des déchets.

Il s'agit également d'analyser l'activité économique associée en termes d'emplois générés mais aussi de besoins de financements et des sources potentielles de fonds.

Comment faire d'une nécessité environnementale un débouché économique ?⁶

Grâce aux données issues des nombreuses études scientifiques, l'activité de gestion à terre des sédiments est aujourd'hui entrée dans une phase où l'industrialisation doit pouvoir émerger en lien avec les perspectives qu'ouvre ce nouveau marché.

Ainsi, la gestion à terre des sédiments peut et doit être organisée par la création de plateformes de transit et de gestion, qui manquent actuellement et sont une étape préalable essentielle à l'ouverture opérationnelle des filières à maturité en termes de connaissances scientifiques. Les recherches doivent par ailleurs être poursuivies afin de compléter les connaissances sur les filières notamment maritimes.

Après avoir analysé l'organisation de la gestion des déchets en France, une approche plus ciblée sur la gestion des déchets du BTP, auxquels les sédiments peuvent se substituer ou avec lesquels ils peuvent être co-valorisés, permettra de proposer des pistes de réflexions et d'actions progressives relatives aux modalités de financement de la gestion à terre des sédiments non immergeables.

7.1. Le contexte de la gestion des déchets en France

Avant de poser les réflexions sur l'évaluation des besoins et les sources de financement pour la gestion à terre des sédiments non immergeables, il est utile de comprendre comment sont gérés les déchets en France.

⁶ Intervention de M Philippe Vasseur (Région Hauts de France Président de la mission rev3) lors des Assises Nationales Sédiments 2019

7.1.1) Typologies des déchets et logiques de gestion associées

De manière synthétique, on peut classer les déchets selon diverses typologies, en fonction du risque qu'ils font courir à l'homme et/ou à l'environnement. Ce classement oriente par ailleurs leurs possibilités de gestion :

- **Déchets Inertes (DI)** : « Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, qui ne se décompose pas, ne brûle pas, ne produit aucune réaction physique ou chimique, n'est pas biodégradable et ne détériore pas les matières avec lesquelles il entre en contact d'une manière susceptible d'entraîner des atteintes à l'environnement ou à la santé humaine » (Article R541-8 du code de l'environnement). Ils peuvent être préparés en vue d'une réutilisation pour être recyclés et/ou valorisés après mise en œuvre adaptée aux filières visées.
- **Déchets Non Dangereux Non Inertes (DNDNI)** : ce sont des déchets qui ne respectent pas les caractéristiques des déchets inertes mais qui, pour autant, ne sont pas considérés dangereux pour la santé et/ou l'environnement. Les options de gestion sont la réutilisation après traitement en vue d'un recyclage et/ou valorisation.
- **Déchets Dangereux (DD)** : Ces déchets contiennent des substances dangereuses pour la santé et/ou l'environnement. Ils sont placés dans des centres de stockage de déchets ultimes.

Réutilisation : « Toute opération par laquelle des substances, matières, ou produits qui sont devenus des déchets, sont utilisés de nouveau. »⁷

Les sédiments dragués peuvent entrer dans l'une ou l'autre de ces catégories, y compris les DD, mais sont le plus souvent classés non dangereux non inertes (DNDNI) quand issus de dragages marins et en majorité inertes (DI) mais également en mélanges non dangereux non inertes (DNDNI) et inertes (DI) pour les sédiments fluviaux ou issus de canaux.

Les possibilités de gestion des déchets varient selon leurs typologies et leurs performances en cas de valorisation.

L'exploitation des sédiments de dragage fait partie des innovations identifiées de valorisation dans le rapport PIPAME de 2016 « Marché actuel et offre de la filière minérale de construction et évaluation à échéance 2030 – Synthèse ».

7.1.2) Options de gestion des déchets et efficacité

La collecte, le transfert, la valorisation et l'élimination des déchets nécessitent de recourir à des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) qui sont strictement réglementées.

Les diverses options de gestion des déchets s'enchaînent de la façon suivante (Figure 39) :

⁷ Extrait de l'article L. 541-1-1 du Code de l'environnement

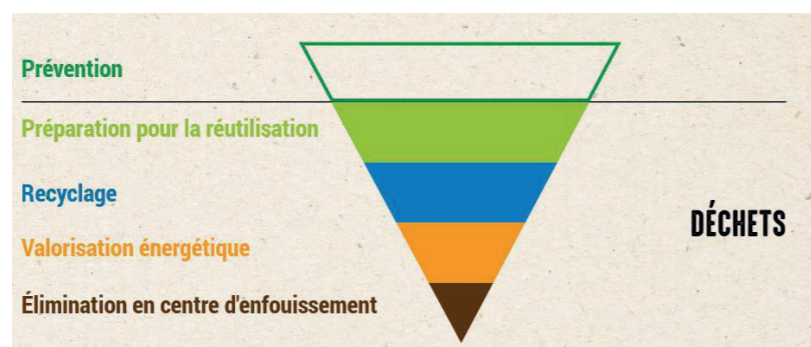


Figure 39 : Articulon de la gestion des déchets

(Source : Agence de la Transition Ecologique – ADEME, 2017)

Ce schéma représente les quantités diminuant au fil des options de gestion. Ainsi, la fraction stockée dans les centres d'enfouissement ne devrait représenter que les déchets ultimes pour lesquels les diverses autres options de gestion ne sont pas ou plus applicables à l'issue des traitements.

Les déchets non dangereux stockés en centre d'enfouissement doivent être limités de 50% en 2025 par rapport à 2010 selon les termes de la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV) de 2015.

En termes de gestion des déchets, les quantités de matière recyclée et les impacts énergétiques sont variables⁸ (Tableau 20). Ce sont les deux critères retenus pour évaluer la pertinence du recyclage en alternative de l'utilisation de matières premières primaires non renouvelables.

Tableau 20 : Synthèse des données relatives au recyclages des déchets – Source Agence de la Transition Ecologique (ADEME) 2017

Matériaux	% Matière recyclée	Quantité matière recyclée (Mt)	Consommation / Economie d'énergie (TWh)	Emplois (collecte et préparation)	CA (M€)
Papiers cartons	67%	5,4	+12	8 214	918
Verre	56%	2,4	- 3	1 937	103
Métaux ferreux	49%	8,3	-31	11 730	2 200
Aluminium	53%	0,51	-12	9 392	ND
Bois	41%	1	+2	6 100	620
Inertes BTP (granulats)	8%	28	-2	16 737	1 800

⁸ Bilan 2014 de la production de déchets en France – DATA-LAB - Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer en charge des relations internationales sur le climat

La première information pouvant être tirée de ce tableau est la variation du taux de matière recyclée selon le matériau. Pour les granulats, le taux est faible en pourcentage mais correspond à une quantité de matière importante.

Outre l'économie de matière première primaire, l'intérêt du recyclage s'évalue en termes d'impact environnemental

L'impact, en termes de consommation d'énergie, est variable selon le matériau considéré. Ainsi, le recyclage de certains produits tels que les papiers, cartons ou bois a nécessité une consommation d'énergie alors que pour le verre, les métaux ferreux, l'aluminium et les déchets inertes du BTP, une économie est réalisée par comparaison avec la production issue de matières premières primaires. Au sujet du chiffre d'affaire, le recyclage des métaux ferreux et des déchets inertes BTP génère les chiffres les plus élevés en lien avec la quantité de matière gérée. La gestion de ces deux matériaux est, de plus, à l'origine d'emplois nombreux.

Les sédiments dragués non immergeables peuvent être valorisés à terre selon diverses filières. Les déchets sédiments peuvent être comparés, en termes d'usages possibles, aux déchets minéraux du BTP et sont utilisables en alternative des extractions terrestres ou marines de granulats. C'est cette comparaison qui sera retenue pour analyser les modalités d'émergence du modèle économique.

7.1.3) La nécessaire préservation des ressources minérales naturelles

Bien que les gisements de Matières Premières Primaires (MPP) minérales en France soient encore importants et de qualité, l'application des logiques politiques de déploiement de l'économie circulaire conduit à optimiser la valorisation des déchets minéraux dans un objectif de limitation des extractions et des impacts environnementaux associés à ces activités

Le sable est la deuxième ressource naturelle la plus consommée après l'eau.

A ce sujet, la Loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV) de 2015, et les Plans d'Action qui l'accompagnent, fixaient des objectifs chiffrés de valorisation matière des déchets du BTP pour 2020. Des efforts ont été effectués par les acteurs du BTP pour répondre à cette contrainte réglementaire. La valorisation à terre des sédiments non immergeables, par la production d'écomatériaux issus de ces MPS, s'inscrit dans cette orientation afin d'économiser des ressources minérales non renouvelables.

L'ouverture et le développement de filières de gestion terrestre des sédiments non immergeables doit participer aux objectifs réglementaires de préservation des ressources.

La question des outils nécessaires aux traitements préalables à la valorisation et de leurs performances doit être abordée compte tenu du nombre limité actuel de plateformes industrielles de traitements dédiées à ce type de déchet.

7.1.4) Apports des études de l'Agence de la Transition Écologique (ADEME)

L'ADEME, Agence de la Transition Ecologique, est un établissement public à caractère Industriel et Commercial (EPIC) placé sous la tutelle des Ministères de la Transition Ecologique et Solidaire et de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. Son activité est règlementée dans le Code de l'Environnement. L'Agence intervient dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources afin de participer à l'émergence d'une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse. L'Agence accompagne les citoyens, les acteurs économiques et les territoires dans les domaines de l'énergie, l'air, l'économie circulaire, le gaspillage alimentaire, les déchets, les sols, etc. par des conseils et des aides au financement de projets mais également de recherche jusqu'au partage de solutions. À tous les niveaux, elle met ses capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

Dans ce contexte, elle produit des rapports diagnostics et des propositions de mesures visant à améliorer les activités des domaines qu'elle gère. La lecture de ces rapports permet de préciser certains paramètres relatifs à la gestion des déchets en France.

Ainsi, en 2011, l'ADEME a lancé l'étude « 50 entreprises témoins » visant à analyser le coût de gestion des déchets produits dans des secteurs d'activités très différents. Par la méthode des coûts de flux de matière ou coûts complets, l'étude a mis en évidence que les déchets n'ont pas de rentabilité ni de réelle valeur ajoutée.

Le déchet, au sens large, n'a pas de valeur ajoutée.

Cette réalité cache des différences selon les déchets, si la logique d'économie circulaire est suivie. En effet, la gestion optimisée des déchets peut permettre des économies de matière première primaire qui, dans le cas des sédiments, sont des matières minérales non renouvelables. La complexité économique de la valorisation des déchets-sédiments tient au fait que la perte de matières premières primaires non renouvelables, liée à l'extraction et les impacts environnementaux de l'activité ne sont pas monétarisés de façon représentative. Monétarisation qui est par ailleurs complexe à réaliser.

Concernant l'activité économique de gestion des déchets du BTP, le rapport de décembre 2011 de l'ADEME « Analyse technico-économique de 39 plateformes françaises de tri / valorisation des déchets du BTP » présente une étude comparée de diverses typologies de plateformes en termes de nature de déchets entrants et matériaux sortant, de chaîne de gestion, de coûts d'investissement et de fonctionnement, d'efficacité de valorisation matière. La nature du site d'accueil et son équipement influencent le taux de recyclage. Les plateformes étudiées sont celles qui effectuent principalement un tri et une mise en filière de valorisation des déchets du BTP. Les recommandations qui concluent l'ouvrage permettent d'attirer l'attention sur des aspects qui concourent à la réussite de la création et de l'exploitation d'un site pour une activité optimisée à des coûts maîtrisés.

Selon l'outil industriel de gestion, la performance de la valorisation matière des déchets du BTP est très variable, de 55 à 90 % pour les DI et de 10 à 70% pour les DND

Les enseignements de cette analyse doivent être étudiés en lien avec la gestion à terre des sédiments non immergeables afin d'appréhender l'ensemble des critères pour la construction ou diversification d'installations aptes à répondre aux besoins de traitement et économiquement viables.

Le rapport ADEME de juin 2012, relatif à l'étude sur le prix d'élimination des déchets inertes du BTP, met en évidence de nombreux paramètres qui influencent les coûts de gestion : une importante diversité de sites d'accueil des déchets (stockage et/ ou traitement) qui conduit à une variation de prix, hors TGAP, allant de 2 à 8€ HT/t pour les mélanges de DI et de 6 à 55€ HT/t pour les mélanges de DI et DNI. Le critère de localisation est également un facteur à considérer, des variations de prix de service étant constatées selon les régions.

Selon les caractéristiques des sites d'accueil des déchets, les coûts de gestion varient de 6 à 55 € HT hors TGAP pour les mélanges DI/DNDNI

Ces coûts actualisés en 2020 sont plutôt, hors transport, de 2 à 15€ HT pour les mélanges de DI. Pour les mélanges DI-DNI, si la proportion de DI est inférieure à 40% ou si elle n'a pas de valeur positive (terres sans intérêt géotechnique), il est possible qu'il soit nécessaire de déclasser ces déchets au coût de 80€ HT/tonne, hors transport et TGAP. La valorisation des mélanges DI-DNI est donc liée à sa faisabilité technico-économique.

Face aux coûts de gestion générés et à l'efficacité des traitements pour une réutilisation de matière première secondaire, l'orientation, privilégiée aujourd'hui pour la gestion des déchets, est la réduction de la production⁹. Les déchets - sédiments ne sont pas issus de produits en fin de vie mais de la nécessité de maintenir des hauteurs d'eau compatibles avec une navigation sécurisée ou la réalisation de travaux d'aménagement. Cette option n'est donc pas applicable aux sédiments.

Au cœur de l'économie circulaire, le recyclage est le principal contributeur à l'économie de matière et à la diminution de la pression sur les matières non renouvelables.

7.1.5) Zoom sur les déchets auxquels peuvent se substituer les sédiments

Les sédiments peuvent être valorisés comme matériaux alternatifs des matières minérales naturelles ou des MPS issues des déchets du BTP.

Les matériaux avec lesquels les sédiments non immergeables sont « en concurrence » en terme de matière représentent les quantités suivantes :

- *Matière première primaire (MPP)* : Production annuelle des activités extractives en 2018 : 323,7 Mt de granulats naturels extraits dont 2% de granulats marins¹⁰
- *Matière première secondaire (MPS)* : Déchets du BTP recyclés en 2018 : 121,5 Mt recyclés sur plateformes ou *in situ* qui couvrent 27% des besoins en granulats¹⁰

⁹ Programme national de prévention des déchets 2014-2020 - MEDDE

¹⁰ Dépliant UNPG chiffres 2018 – web UNICEM

Les autorisations d'exploitation des carrières terrestres de roches meubles ont diminué de 50% environ entre 1982 et 2008¹¹

Le besoin annuel de granulats en 2018 a été estimé à 445 Mt par l'Union Nationale des Industries de Carrières Et Matériaux de construction (UNICEM)¹¹. Les données présentées indiquent, par ailleurs, un solde d'échanges d'import / export de 2,2 Mt importées. La réutilisation des sédiments en MPS permettrait de limiter les extractions de matières premières primaires, les importations et ainsi les impacts environnementaux associés.

Il semble également utile ici de préciser que l'exploitation de granulats marins nécessite d'importants investissements : entre 5 et 10 M€ pour les aménagements portuaires et entre 4 et 13 M€ pour les installations de traitement. Les navires utiles à l'exploitation représentent entre 25 et 65 M€¹². Ces coûts conséquents, qui, par ailleurs, n'intègrent pas le chiffrage des impacts environnementaux des extractions profondes, interrogent. Dans la logique actuelle d'économie circulaire, le fléchage d'une partie des fonds vers des activités de recyclage semble plus pertinent et adapté.

Nous insistons sur le fait que les matériaux pour lesquels les sédiments sont des alternatives n'intègrent pas, dans leurs coûts, les externalités amont et aval ce qui, de fait, fausse l'intérêt économique de ces déchets valorisables.

Réintégrer les externalités de l'impact environnemental des matières vierges/recyclées dans leur prix de vente

Analysons à présent le coût de la gestion des déchets et les modalités de financement existantes.

7.1.6) Coûts et organisation du financement de gestion des déchets

Les coûts de gestion sont extrêmement variables selon les typologies de déchets, les centres d'enfouissement qui les accueillent et les territoires. On constate d'autre part une pénurie d'exutoires, plus ou moins marquée localement, qui conduit à une augmentation des prix d'acceptabilité. De plus, les transports participent aux impacts environnementaux et leur coût s'ajoute au coût total de gestion. Selon l'étude ADEME de 2012, les coûts de gestion, hors TGAP, peuvent être estimés à :

- DD (ISDD ; anciennement classe 1) : au minimum de 200 €/t
- DNDNI (ISDND ; anciennement classe 2) : de 60 à 90 €/t
- DI (ISDI ; anciennement classe 3) : de 10 à 20 €/t

Pour les sédiments, une adaptation des ISDI a été créée : les ISDI+ (voir chapitre 1). Les coûts moyens de gestion en ISDI+ sont estimés à 25€/t (hors TGAP)

¹¹ Livre blanc – Carrières et granulats, pour un approvisionnement durable des territoires – UNPG 2011

¹² www.sablesetgravieresenmer.fr - les données clés, quelques repères.

Ces coûts sont à nuancer selon la typologie et la quantité de déchets, la densité et le niveau de contamination.

Pour les déchets du BTP, l'analyse des prix de 2012 pour la gestion des mélanges de DI varie de 0 à 51 €/t et pour les mélanges DI/DNDNI de 0 à 100 €/t selon les lieux d'accueil et les régions. Ces différences très conséquentes sont multifactorielles.

En termes de financement, l'étude de la gestion des déchets en France permet de mettre en évidence que le modèle économique est articulé selon trois options fiscales en lien avec les modalités de production des déchets:

1. Les ordures ménagères dont la gestion est financée par les producteurs : Taxe d'Enlèvement des Ordures Ménagères (TEOM) pour les ménages et Redevance d'Enlèvement des Ordures Ménagères (REOM) pour les établissements publics d'enseignement ou de recherche
2. Les déchets issus de produits mis sur le marché sont soumis au dispositif de Responsabilité Elargie du Producteur (REP). Dans ce contexte, les producteurs intègrent le coût de gestion des déchets dans le prix de vente des produits. Certaines filières ne sont pas encore soumises au dispositif REP qui vise néanmoins à s'étendre.
3. La Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP), pour sa composante « déchets », a pour objectif de taxer les installations de stockage et d'incinération des déchets en fonction des quantités de déchets réceptionnées dans chaque installation et des performances environnementales de celles-ci. Le taux de TGAP varie selon les types de déchets et les options de gestion : plus important pour le stockage et plus limité pour les valorisations. Elle ne s'applique pas pour les déchets minéraux mais s'applique aux activités extractives à hauteur de 0,20 €/t.

Ainsi pour les trois options fiscales, c'est le producteur qui a la charge du financement des déchets qu'il produit.

La Taxe Générale des Activités Polluantes (TGAP) est un impôt qui s'applique en France à diverses activités polluantes. Elle a été instituée par la Loi de Finances de 1999 et est entrée en application en 2000

La TGAP est appelée à augmenter progressivement pour inciter à la limitation du stockage au profit du recyclage et de la valorisation. En 2021, la TGAP pour les ISDD est de 26,53 € HT/t et augmente en fonction de l'indice des prix à la consommation. Pour les DND, l'augmentation plus rapide de la TGAP vise à favoriser le tri. La TGAP des DND varie selon que les déchets soient fermentescibles ou non. Pour les déchets non fermentescibles, elle est de 54 € HT/t alors que pour les déchets fermentescibles elle est de 30€ HT/t. Pour ces deux typologies de DND, la TGAP atteindra 65€ HT/t en 2025.

La Loi de finances 2018 a supprimé le volet ICPE de la TGAP. Les installations de traitement de sédiments ne seront donc pas soumises à cette taxe mais la fraction de sédiments qui devra être stockée supportera ce coût

Le financement de la gestion des déchets qui relèvent du dispositif REP, mis en place à la suite du Grenelle de l'Environnement (art L.541-10 du Code de l'Environnement), oblige les acteurs économiques qui mettent sur le marché des produits générant des déchets, à en prendre en charge tout ou partie de la gestion, notamment financièrement. Le coût de la gestion est ainsi répercuté sur le coût du produit payé par le consommateur et non par le contribuable, sauf pour les déchets issus des produits qui se retrouvent dans les déchets ménagers et dont le coût de gestion est alors payé deux fois. Afin de répondre à cette obligation réglementaire, qui s'inspire du principe « pollueur – payeur », des éco-organismes, agréés par l'Etat, ont été créés et assurent la collecte et la gestion des déchets.

Ces éco-organismes reçoivent les financements utiles des producteurs et sont spécialisés par filières de REP. Pour répondre à cette obligation, les producteurs peuvent procéder de manière individuelle ou collective.

Bien que le dispositif REP ait vocation à s'élargir, les acteurs du BTP ne sont pas soumis à une REP en 2020 malgré les réflexions menées au niveau de l'Etat en 2018 (Rapport Vernier). L'application de la REP pour les produits et matériaux de construction du secteur du bâtiment, qui devait entrer en vigueur au 1^{er} janvier 2022, est finalement reportée d'un an sur décision du ministère de la Transition écologique. En 2020, les modalités de gestion des déchets du BTP sont définies par les textes réglementaires et inscrites localement dans les Plans Régionaux de Prévention et Gestion des Déchets (PRPGD). Le financement de cette gestion est à la charge des commerces de gros qui vendent les matériaux, produits et équipements de construction. Le calendrier de la mise en œuvre de la REP prévoit que les éco-organismes soient agréés dès le début 2022 et auront à financer la reprise gratuite des 42 millions de tonnes de déchets du bâtiment à partir de janvier 2023.

En termes de responsabilité du producteur ou détenteur de déchets, non encadrée par un dispositif REP, c'est le maître d'ouvrage qui doit formaliser ses exigences et attentes envers le maître d'œuvre et les prestataires doivent proposer des solutions de gestion (ADEME, 2017). Cette responsabilité oblige également à mettre en œuvre une traçabilité.

En synthèse :

- Les déchets – sédiments n'entrent pas dans les critères du dispositif REP
- Seule une partie des déchets – sédiments devra être orientée vers des centres d'enfouissement et la TGAP ne s'appliquera que sur ces volumes.

Les quantités valorisables doivent être évaluées afin de pouvoir chiffrer les besoins financiers de la réutilisation de ces matériaux. Il sera alors possible d'identifier les sources potentielles de ces fonds et leurs modalités d'octroi selon les destinataires.

La question à laquelle le modèle économique doit répondre est l'identification des besoins de financements et les sources possibles de ces fonds

Cette rapide présentation de la gestion des déchets en France conduit à poser diverses questions pour chiffrer les besoins afin de permettre l'émergence de l'activité de valorisation à terre des sédiments non immergeables. Nous allons maintenant analyser ces divers sujets.

7.2. Quelles sont les problématiques de gestion à terre des sédiments et leurs impacts sur le modèle économique

L'organisation de la gestion à terre des sédiments est étroitement liée aux quantités à prendre en compte. Le dimensionnement de ces quantités de matière, s'il peut être estimé aujourd'hui, va évoluer par application de la loi sur l'économie bleue de 2016 et notamment en fonction des seuils N3 en cours de définition et applicables dès 2025. Quel impact auront ces nouveaux seuils sur les quantités annuelles moyennes de sédiments marins non immergeables ?

Par ailleurs, aujourd'hui les établissements portuaires doivent gérer seuls l'ensemble de la contamination fixée sur les sédiments alors même que son origine n'est pas exclusivement liée à leur activité. Le principe Pollueur / Payeur doit-il être appliqué ? Et si oui, comment ?

Enfin, la question des destinataires des financements à identifier se pose. Certains établissements portuaires bénéficient d'aides externes et d'autres ne peuvent y accéder. Quelles sont les freins et les adaptations à envisager afin que tout gestionnaire de sédiments puisse être soutenu dans ses activités de dragages ? Pour ce qui concerne les plateformes industrielles à créer ou réorienter, est-il possible de soutenir le développement de ces installations indispensables pour l'émergence opérationnelle de l'activité et, dans l'affirmative, comment ?

7.2.1) Des gisements potentiels limités mais récurrents

Au sujet des quantités de matériaux, les gisements potentiels de sédiments dragués à gérer à terre sont variables selon leurs origines, continentale ou marine. D'autre part, les quantités correspondent essentiellement à des travaux d'entretien récurrents et peuvent évoluer considérablement lors de travaux neufs. Nous pouvons néanmoins souligner que les sédiments liés aux travaux neufs sont inclus dans les données présentées dans les enquêtes CEREMA, dont les références sont précisées ci-après, pour tous les types de sédiments.

Nous analysons dans un premier temps la totalité des quantités de matière sèche draguées pour les deux typologies de sédiments.

Pour les **sédiments continentaux** selon les données du rapport d'août 2021 du CEREMA intitulé « Rétrospective des dragages fluviaux en France 2011 – 2017 », les principaux gestionnaires de sédiments continentaux sont VNF (Voies Navigables de France), la CNR (Compagnie Nationale du Rhône) et le GPM de Rouen (GPMR). Cette rétrospective indique la répartition annuelle des quantités de sédiments dragués par opérateur présentée ci-après auxquels nous avons ajouté les quantités d'EDF Hydro avec les données de 2019. La Figure 40 permet de visualiser ces données. La quantité annuelle moyenne est estimée à 1,93 Mt.

Pour les **sédiments marins**, les données issues des Enquête dragages du CEREMA permettent d'estimer la quantité annuelle moyenne, calculée à partir des données de 2011 à 2017, à 31Mt de matière sèche draguée. La répartition des quantités entre les GPM et les Ports Décentralisés (PD) est représentée sur la Figure 41 suivante.

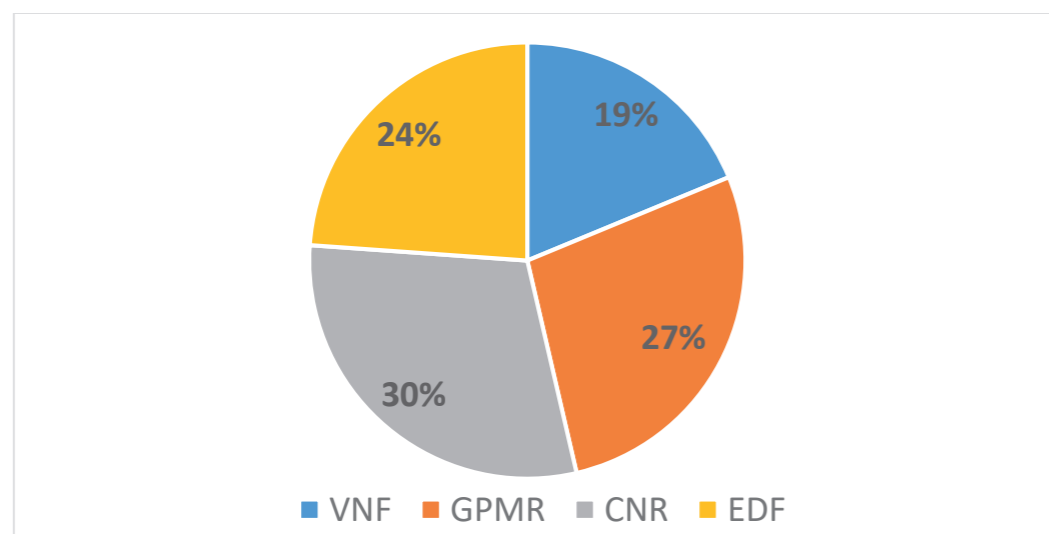


Figure 40 : Répartition des quantités annuelles moyennes de sédiments dragués entre les principaux opérateurs continentaux (D'après « Rétrospective des dragages fluviaux en France - Période 2011-2017 » - Bron : Cerema, 2021)

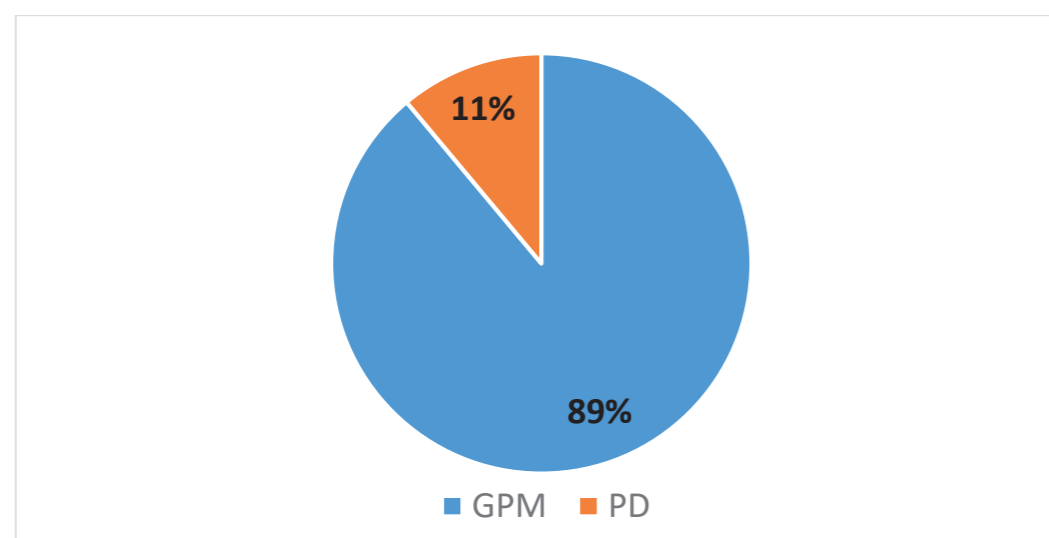


Figure 41 : Répartition des quantités annuelles moyennes de sédiments dragués entre les principaux opérateurs maritimes

En terme de gestion à terre des sédiments, les filières doivent avoir la capacité d'absorber de faibles quantités annuelles par comparaison aux déchets minéraux du BTP. Les filières identifiées sont souvent communes aux deux types de déchets.

Selon que les sédiments soient continentaux ou marins, les quantités par modes de gestion mis en œuvre sont très différents.

Pour les **sédiments continentaux**, les données issues de la rétrospective CEREMA de 2021, qui concernent VNF, GPMR et CNR, pour les quantités cumulées de sédiments DI et DNDNI permettent de proposer la représentation de la Figure 42.

Pour presque 30% des quantités cumulées des sédiments DI et DNDNI, les modalités de gestion ne sont pas accessibles. Les quantités annuelles gérées à terre représentent 38% des volumes dragués, soit 0,56 Mt selon les données fournies dans la Rétrospective CEREMA de 2021.

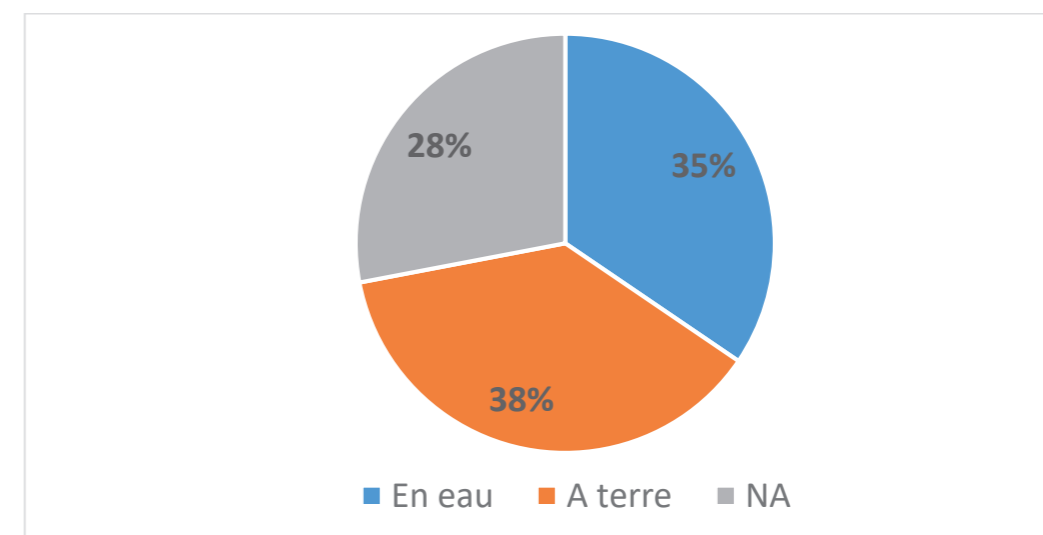


Figure 42 : Répartition par filières de gestion des volumes annuels moyens de sédiments continentaux produits par GPMR, CNR et VNF

D'autre part, EDF, non inclus dans les données de la rétrospective CEREMA, ambitionne de valoriser la totalité des sédiments non immergeables, dont 90% sont classés inertes¹³, ce qui revient à ajouter 0,46 Mt.

Dans ce contexte la répartition des quantités de matière selon les modes de gestion devient (Figure 43) :

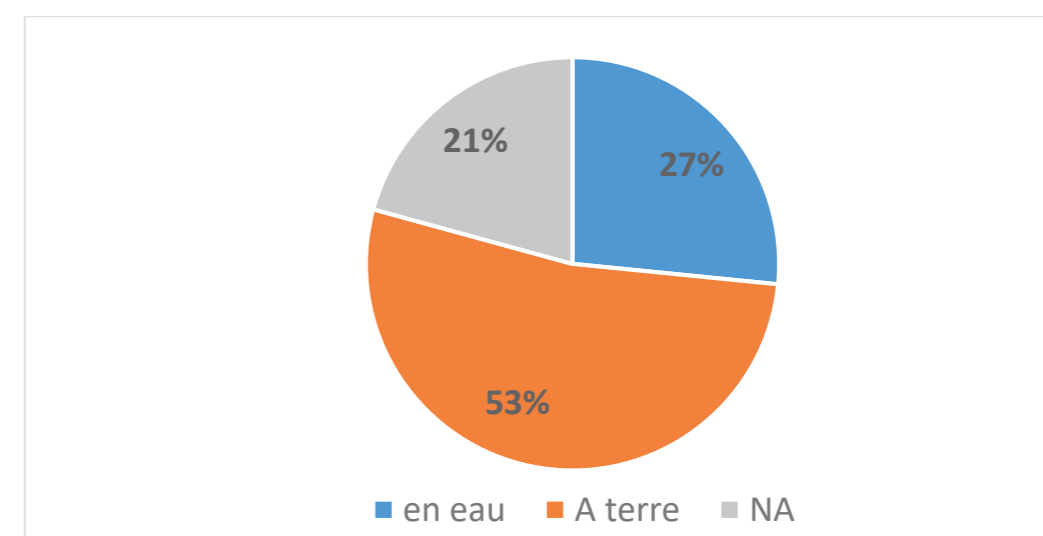


Figure 43 : Répartition par filières de gestion des volumes annuels moyens de sédiments continentaux produits par GPMR, CNR, VNF et EDF

¹³ Actes Assises Nationales de la valorisation des Sédiments – octobre 2019 – Intervention de M Emmanuel Branche

La quantité annuelle moyenne à prendre en compte pour une gestion à terre des sédiments continentaux est estimée à 1 Mt soit 53% des quantités totales draguées

Pour les **sédiments marins**, en revanche, la part de quantités gérés à terre est nettement inférieure comparativement à la quantité globale draguée, comme le visualise la Figure 44.

La moyenne annuelle des quantités de matière sèche draguée en mer et gérée à terre au niveau national, selon les enquêtes dragages du CEREMA, en considérant la période de 2011 à 2017, est de 1,15 Mt. Il est toutefois nécessaire de préciser que les volumes valorisés en rechargement de plage, donc en valorisation directe, ne sont pas considérés comme des déchets. Ils représentent 0,22 Mt et sont donc exclus de l'analyse relative au modèle économique.

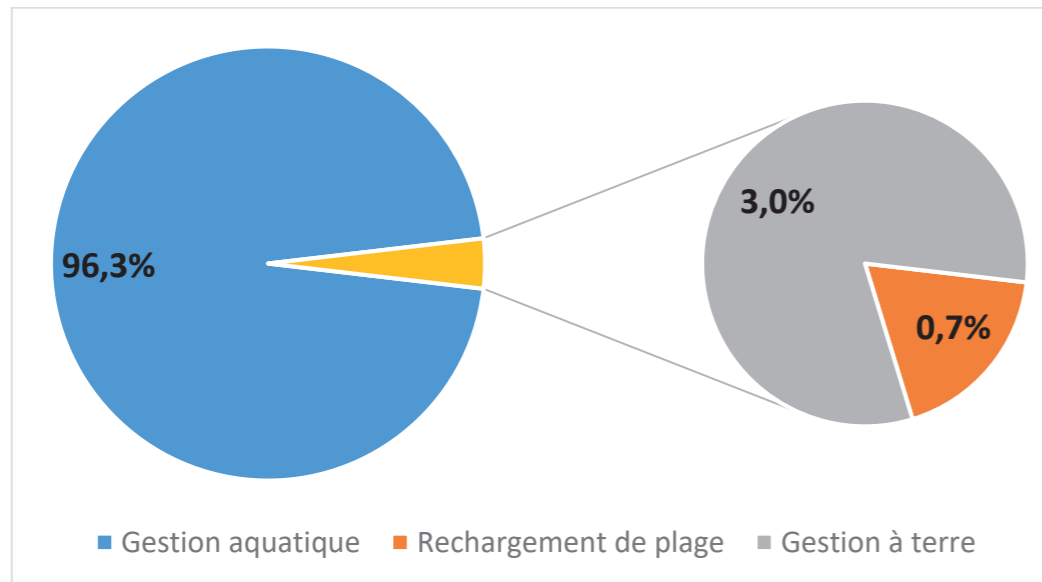


Figure 44 : Répartition par filières de gestion des quantités moyennes de sédiments marins dragués sur la période 2011 à 2017

La quantité annuelle moyenne à prendre en compte en 2020 pour une gestion à terre des sédiments marins est estimée à 0.93 Mt soit 3% des quantités totales draguées

S'il est aujourd'hui difficile d'estimer les quantités de sédiments marins qui seront à gérer à terre sur le moyen terme, sans précisions sur les modalités de définition des seuils N3, l'analyse du bilan national effectué en août 2009 sur les sédiments marins par le Réseau national de surveillance de la qualité des Eaux et des sédiments des Ports Maritimes (REPOM) de 1997 à 2006 permet d'obtenir une image de la contamination marine mesurée sur cette plage de temps.

Créé en 1997, le REPOM a la mission depuis 2010 de suivre la qualité des sédiments portuaires par étude des substances DCE et DCSMM

Bien qu'aucune mise à jour plus récente de ces données pour l'ensemble du territoire ne soit accessible, ce bilan nous permet d'avoir une première vision de la situation. En se basant sur les niveaux N1 et N2 de l'arrêté du 9 août 2006, le bilan cité indique que tous les bassins ont des dépassements du niveau N1 voire N2 sur certains paramètres hormis pour les PCB dans le bassin Artois Picardie.

Les diagrammes ci-dessous (Figure 45) présentent les données par bassin de 1997 à 2006 :

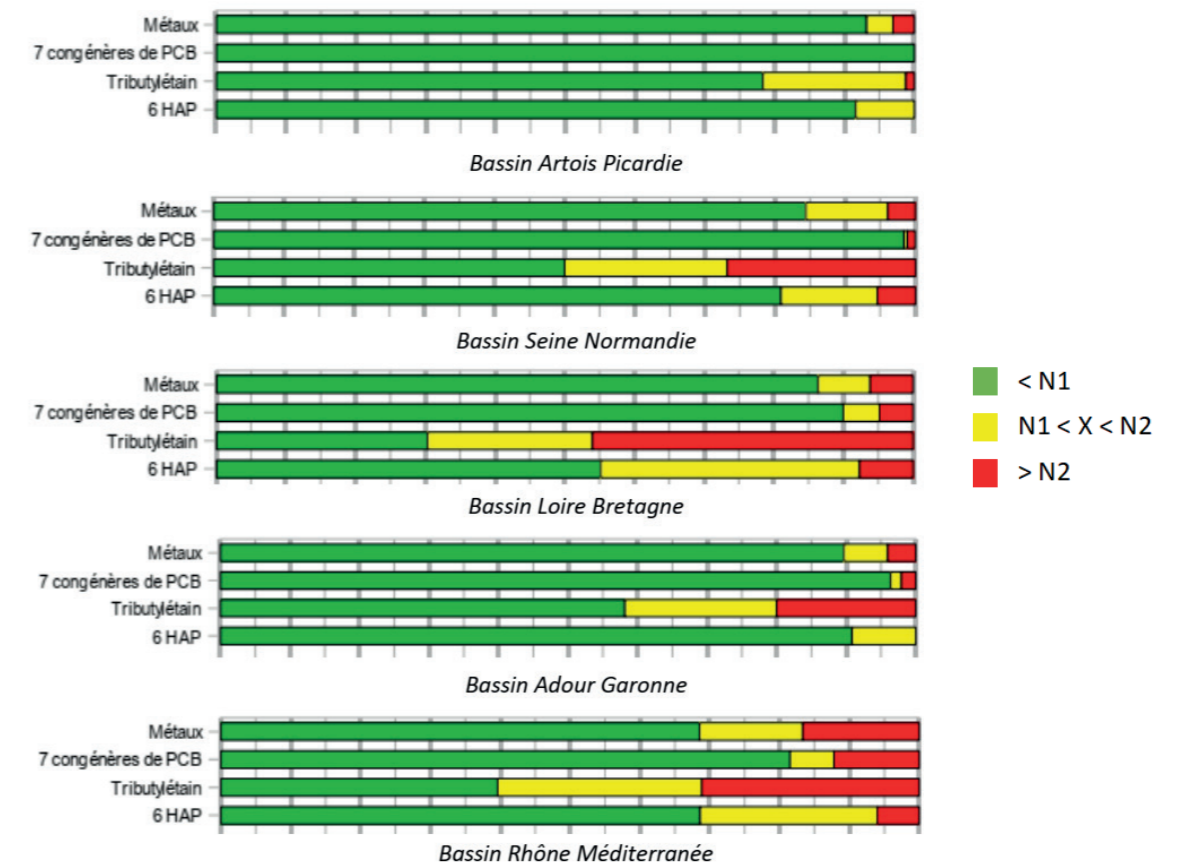


Figure 45 : Programme Sédiment du REPOM, 1997 à 2006, niveaux de référence par Bassin

Il est important de souligner ici le niveau de contamination généralisé du TBT. Comme cela a été précisé dans le chapitre relatif à la caractérisation et à la définition des seuils N3, ce contaminant risque fort d'être le paramètre qui déterminera les volumes non immergeables lors de sa parution.

Le Tributylétain (TBT) est le principal contaminant qui déterminera très probablement les quantités à gérer à terre en 2025

Sans connaître les seuils, qui seront définis par application de la loi sur l'Économie Bleue de 2016, il est difficile d'évaluer précisément le volume non immergeable à horizon 2025. Toutefois, considérant que tous les dragages analysés et listés dans le rapport du CEREMA « Enquête dragages 2017 » (Cf. chapitre 1) présentent au moins un dépassement du seuil N1 pour un paramètre, il est probable que les quantités annuelles des déblais marins dragués à gérer à terre vont augmenter.

L'hypothèse retenue, qui servira de base aux raisonnements tenus ci-après, au sujet du modèle économique est, a minima, le doublement des quantités de sédiments marins à gérer à terre.

Nous pouvons noter que, dès que l'activité entrera effectivement dans une phase opérationnelle, ces quantités pourront évoluer, en quelques années, probablement à la baisse, compte tenu de toutes les actions de limitation des contaminations qui sont mises en place. Il convient, à ce titre, de souligner l'importance de la réduction à la source des flux d'apports contaminants à la mer. Cette probabilité doit néanmoins être vérifiée dans le temps.

Par application de l'hypothèse posée, la quantité annuelle moyenne de sédiments marins à gérer à terre pourrait être évaluée à 2 Mt à l'horizon 2025

Cette estimation est basée sur les données étudiées qui intègrent les quantités de matière extraites en lien avec des travaux neufs. Il convient toutefois de noter qu'un dragage lié à des travaux neufs est susceptible de faire évoluer à la hausse la quantité annuelle à considérer mais ne peut être évalué précisément en l'absence d'informations sur les futurs projets de travaux. Par ailleurs, lors de la préparation de l'opération de travaux neufs, les coûts liés à la gestion des sédiments sont inclus dans le chiffrage de l'opération. Néanmoins, il est souhaitable d'inclure ces quantités dans le modèle économique si les options de gestion mises en œuvre répondent aux critères définis. C'est la raison pour laquelle, nous avons calculé la moyenne annuelle des quantités de sédiments en intégrant les sédiments issus des travaux neufs.

Les quantités cumulées des sédiments marins et continentaux qui seront à gérer à terre annuellement à moyen terme sont estimées à 3 Mt.

Les quantités du déchet-sédiment gérés à terre restent faibles par comparaison avec les MPS du BTP. Toutefois les coûts de gestion sont liés aux outils nécessaires et aux traitements à appliquer qui sont plus complexes. La mutualisation est un facteur qui permettra de limiter les coûts et ainsi les besoins de financement de cette gestion.

D'autre part, pour répondre aux besoins de matériaux et afin de limiter les extractions de MPP, il peut être envisagé en théorie, en suivant une logique de valorisation de matières minérales non renouvelables de réutiliser à terre les sédiments immergeables. L'intégration de ces quantités dans l'analyse du modèle économique pourrait participer à en diminuer les coûts de gestion à la tonne.

Au stade actuel de l'activité, il semble que la gestion à terre de sédiments immergeables qui, de fait, conduirait à augmenter leurs coûts de gestion, ne pourra être mise en œuvre sans identification des fonds utiles à son financement. Dans la présente analyse, nous ne tiendrons donc pas compte de ces quantités.

En synthèse les quantités annuelles moyennes de sédiments à prendre en compte pour une gestion à terre sont estimés à 2 Mt pour ceux d'origine marine (Tableau 21) et à 1 Mt pour ceux d'origine continentale (Tableau 22). La répartition de ces quantités par typologie de déchets / sédiments est représentée sur les tableaux suivants :

Tableau 21 : Estimation moyenne annuelle des quantités de sédiments marins selon la classification déchets

Sédiments marins non immergeables	Estimation en % sur quantité totale	Options de gestion possibles		Quantités (t)
		Gestion	%	
DD	5%	Stockage	100%	100 000
DNDNI	85%	Stockage	40%	680 000
		Valorisation	60%	1 020 000
DI (ISDI+)	10%	Stockage	20%	40 000
		Valorisation	80%	160 000

Tableau 22 : Estimation moyenne annuelle des quantités de sédiments continentaux selon la classification déchets

Sédiments continentaux non immergeables	Estimation en % sur quantité totale	Options de gestion possibles		Quantités (t)
		Gestion	%	
DD	0%	Stockage	100%	0
DNDNI	13%	Stockage	30%	39 000
		Valorisation	70%	91 000
DI (ISDI+)	87%	Stockage	20%	174 000
		Valorisation	80%	696 000

Les quantités de sédiments marins et continentaux à gérer à terre sont donc estimés à 3 Mt dont 1,97 Mt pourront être valorisés et 1,03 Mt devront être stockés en centre d'enfouissement. Ces informations sont représentées sur la Figure 46 suivante :

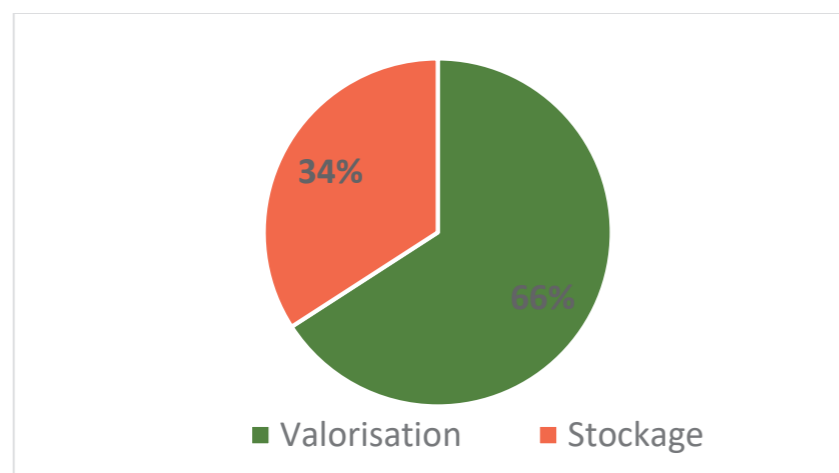


Figure 46 : Estimation de répartition des options de gestion à terre des sédiments

La valorisation à terre des sédiments pourrait donc permettre d'équilibrer la balance commerce extérieur de granulats déficitaire de 2,2 Mt.

Après l'estimation des quantités et les options de gestion à terre envisageables, nous allons aborder la question des sources de contamination des sédiments. En effet, les contaminations ont diverses origines qui devraient orienter les financements pour leur gestion par application du principe pollueur / payeur. Il convient toutefois de rappeler que le dragage portuaire est un besoin spécifique des ports. La gestion de ce besoin doit, d'une façon ou d'une autre, relever de la responsabilité du propriétaire ou du gestionnaire du port et directement impliquer les usagers des ports. Si des aides sont potentiellement possibles pour le traitement des contaminants dans les sédiments, elles ne pourront pas atteindre les 100%. De fait, l'évolution des modalités de dragage et du devenir des sédiments portuaires concernera également les usagers sur le plan économique.

7.2.2) Des contaminations aux multiples sources

Les sédiments qui sont à gérer à terre ne respectent pas le référentiel de gestion aquatique. La question du financement de l'activité est donc étroitement liée à l'origine de la pollution présente, mais également à qui bénéficie le dragage. Les activités portuaires sont à l'origine d'une partie des pollutions mesurées dans les sédiments : zones industrielles, aires de carénages, stations d'avitaillement, etc.

Toutefois, les établissements gestionnaires de sédiments ne sont généralement pas à l'origine de l'ensemble de la contamination à gérer lors des opérations de dragage. En effet, des contaminations historiques existent dans certains sites, comme à Toulon par exemple avec le sabordage de la flotte lors de la dernière guerre. De plus, des sources multiples de contaminations, transportées par les eaux de ruissellement des bassins versants, sur lesquels se trouvent les zones urbaines, industrielles ou agricoles, arrivent dans les installations portuaires et fluviales sans être parfaitement traitées.

Certaines zones portuaires peuvent également présenter des réseaux d'assainissement défaillants, des chantiers de réparation navales peu engagés dans la gestion environnementale de leur activité ou bien encore des aires de carénage dépourvues de dispositif de collecte et de traitement des eaux.

La pertinence de faire peser l'intégralité des coûts de gestion sur l'établissement gestionnaire du plan d'eau, qu'il soit maritime ou fluvial, doit être questionnée. Le principe pollueur/payeur semble pertinent nonobstant la nécessité de bien connaître les sources d'apports au port.

En effet, par application du principe « Pollueur – Payeur », instauré par la loi de 1975, les personnalités morales ou physiques à l'origine de la contamination ont la responsabilité de financer les activités de dépollution en vue d'une restauration conforme à l'état initial.

A titre d'exemple, des eaux usées et pluviales, issues d'une zone urbanisée, doivent être collectées et traitées avant rejet dans l'environnement. En cas de défaillance sur le système de traitement, c'est la collectivité qui est en responsabilité. La question se pose également pour les sédiments remis en suspension lors des crues des grands fleuves, au cours des opérations de chasse, et qui transportent jusqu'à l'estuaire et la mer les contaminants présents.

Les gestionnaires fluviaux, bien que non à l'origine de la contamination présente, participent ainsi aux contaminations transférées à la mer. La prise en compte de la contamination avant remise en suspension dans le lit du fleuve doit être envisagée. VNF, par exemple, met en œuvre ce principe en faisant participer financièrement les responsables de rejets les plus importants en MES, les gestionnaires de quai et les titulaires de Conventions d'Occupations Temporaires aux opérations de dragages¹⁴. Le montant de la participation demandée est fonction du volume décantable auquel est appliqué le prix du m³ dragué.

La difficulté réside dans l'estimation de la masse polluante à prendre en compte et dont les critères d'estimation sont spécifiques aux particularités de la zone urbaine considérée mais également du devenir des apports en mer. L'évaluation financière de l'impact de ces contaminations est une question pour laquelle le chiffrage peut être complexe.

La participation aux financements des opérations de dragages des responsables des contaminations permet de réduire les coûts des opérations et d'inciter à réduire les sources

Ainsi, le financement de la gestion des sédiments dragués est actuellement à la charge des gestionnaires des plans d'eau alors même que la totalité de la contamination, qui entraîne des surcoûts de gestion, n'est pas issue uniquement de l'activité des établissements.

Les modalités d'application du principe « Pollueur – Payeur » sont pertinentes. Elles doivent être réfléchies pour les adapter à la gestion des sédiments dragués contaminés.

¹⁴ L'article 15 du décret n° 91-797 du 20 août 1991 autorise VNF à percevoir des participations financières proportionnelles au montant des frais générés par certaines utilisations du domaine – source : Circulaire technique Dragages et gestion des sédiments – VNF février 2017

Il convient de noter ici que de nombreux gestionnaires portuaires ont su prendre en charge leur impact environnemental afin de maîtriser les conséquences de leurs activités. Nous pouvons citer, à titre d'exemple à suivre, la démarche « Ports Propres », lancée en Région Sud PACA en 2001 par la Région, l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, l'ADEME et l'Etat (DREAL), qui a permis aux établissements portuaires, l'obtention d'aides financières et d'accompagnements techniques afin d'améliorer de manière significative la gestion environnementale de leur établissement.

Les gestionnaires ont ainsi fait preuve d'un engagement fort de préservation de leur environnement et ont été soutenus dans leur démarche par l'UPACA à l'origine, en 2012, de la certification européenne AFNOR « Ports Propres » ou CWA "Clean Harbour Guidelines" et de la Norme AFNOR « Ports Propres Actifs en Biodiversité » en 2018. Cette dernière norme est complémentaire et optionnelle à la certification Ports propres en 2018¹⁵.



La méthodologie d'évaluation des sources de pollutions, de leurs flux et de leurs impacts sur les sédiments doit être identifiée ainsi que le chiffrage de l'impact généré en termes de coûts de gestion.

Analysons à présent la question des outils industriels nécessaires à l'émergence opérationnelle de la gestion à terre des sédiments dragués.

7.2.3) Des outils industriels à développer

La plupart des quantités de sédiments non immergeables doit être gérés à terre dans des ICPE, tant pour les fractions valorisables que pour celles qui sont à stocker. Ces installations sont règlementées. Leur création nécessite un long processus décisionnel et des investissements conséquents.

En 2020, le territoire français est peu équipé d'outils industriels de gestion des sédiments non immergeables en vue d'une valorisation. Seules sept plateformes sont en fonction (et une supplémentaire à venir) :

- *Pour les sédiments marins* : (1) le Centre de Production d'Eco Matériaux (CPEM), inauguré par Envisan France en septembre 2015 et situé dans la rade de Toulon à destination des établissements portuaires locaux, (2) une plateforme d'accueil des sédiments DNIND issus de la Rance géré depuis 2018 par l'Établissement public territorial de bassin Rance Frémur - baie de Beussais, (3) un centre de traitement des sédiments opérationnel depuis 2018 sur le GPM La Rochelle en capacité d'accepter les sédiments de Charente maritime et de Vendée, (4) un bassin de lagunage situé sur le foncier du GPM de Dunkerque pour son usage propre et (5) une plateforme de traitement des sédiments dans le Finistère (Concarneau).

Enfin (6) le Biocentre du Sud-Ouest (BSO), inauguré en novembre 2021, peut accueillir des terres non inertes ou polluées et des sédiments pollués issus des dragages et est géré par l'association du Groupe ORTEC, du Groupe CASSOUS et du Groupe GARANDEAU.

- *Pour les sédiments continentaux*, (7) la plateforme de valorisation de Bruyère sur Oise disposant d'un quai fluvial, inauguré par Vinci Construction France au printemps 2015 et géré par sa filiale Extract et (8) un projet de création d'une plateforme de transit, traitement et valorisation multi-filières des terres et sédiments situé à Sérézin-du-Rhône porté par Solvalor Rhône pour lequel une enquête publique a été menée en février 2019.

En outre, les sites de dépôts et traitements de VNF, aménagés pour leur usage propre, sont répartis sur le territoire en fonction des sites de dragages. Les localisations géographiques des diverses installations de traitement des sédiments afin de le rendre valorisables sont représentées sur la Figure 47 suivante. Cette carte, qui ne présente pas les sites VNF, permet de visualiser les besoins en termes de centres de traitement. Sur la façade méditerranéenne, notamment, le déficit est flagrant.



Figure 47 : Localisations des plateformes de gestion des sédiments existantes en 2021 (©pbardocz – stock.adobe.com)

¹⁵ plus d'informations : www.ports-propres.org

L'émergence de l'activité de gestion à terre des sédiments non immergeables en vue d'une valorisation est étroitement liée à la disponibilité des outils de gestion. Il est donc indispensable, sur la base de l'évaluation des gisements à produire, d'identifier les besoins et les potentialités des territoires ainsi que les modalités techniques et financières de création des centres industriels ou les procédés de diversification d'activité des centres existants. La mutualisation des moyens de traitement doit être un objectif fort.

Les industriels intéressés par l'activité de gestion des sédiments doivent pouvoir identifier les conditions de rentabilité des centres afin de sécuriser les investissements

Afin de faciliter l'acceptabilité sociétale et limiter le Nimby (Not In My Back-Yard : acronyme américain signifiant « pas dans mon arrière-cour »), il pourrait s'agir d'analyser les possibilités de diversification de centres existants, tels que les centres de gestion des déchets, les centres de traitement des sols pollués ou encore des centres dédiés au traitement des granulats marins. Des études de faisabilité technique, juridique et financière permettraient de préciser les possibilités territorialisées et, en cas de bénéfice avéré, d'analyser les modalités d'investissement à activer et les fonds mobilisables.

L'impulsion des politiques locales, en lien avec les Plans Régionaux de Prévention et Gestion des Déchets (PRPGD), dont ils ont la charge, est un facteur facilitant la création des plateformes manquantes. En effet, ces outils locaux s'insèrent dans les Schémas Régionaux d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET) qui redonnent à la planification territoriale un rôle stratégique. Ces documents sont opposables aux décisions de l'administration dans le domaine des déchets.

Enfin, pour les centres à créer ou à diversifier, la proximité du gisement doit être étudiée afin de limiter autant que possible les transports terrestres qui impactent l'environnement et augmentent les coûts.

Les conditions à remplir, pour accompagner de manière efficiente et sécurisée l'émergence d'outils de gestion, doivent être étudiées et réunies afin d'inciter les industriels à être des catalyseurs et accélérateurs de transformation du modèle économique vers une logique circulaire de qualité et compétitive.

Une fois les quantités à gérer à terre estimés et le déficit des centres de gestion localisé, nous allons aborder la question des destinataires des aides.

7.2.4) Quels sont les gestionnaires pour lesquels les financements sont à mobiliser

Les établissements gestionnaires de plans d'eau ont des surfaces foncières variables qui dimensionnent leurs niveaux d'activité et donc de ressources.

En effet, ces établissements hébergent des activités très diverses et leurs ressources sont essentiellement liées aux services qu'elles proposent (amarrages pour les activités de plaisance, pêche, commerce, transports de passagers, de fret et conteneurs, activités industrielles, chantiers navals, production énergétique (terminaux méthaniers, usines de construction d'éoliennes), etc.).

Par ailleurs, le statut diffère entre les typologies de ports. De ce statut, dépendent les possibilités de financement externe de l'activité, notamment pour les dragages. Ce constat est en partie à l'origine des difficultés d'émergence de l'activité de gestion à terre des sédiments.

D'autre part et compte tenu du déficit d'outils industriels de gestion, la question du financement des plateformes qui font défaut se pose. Le statut juridique du gestionnaire de l'installation est un facteur qui va orienter les possibilités de financements de ces plateformes qui, tout comme les installations de stockage, relèvent de la catégorie des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Si ces plateformes sont souvent gérées par des entreprises ou grands groupes privés, selon les territoires elles peuvent également être sous gestion publique.

Les gestionnaires de sédiments

Au sujet des **établissements portuaires continentaux**, seuls VNF et le GPM de Rouen effectuent des gestions à terre significatives. VNF, Etablissement Public Administratif (EPA), placé sous la tutelle de l'Etat, peut bénéficier d'aides issues fonds publics européens, nationaux et locaux (notamment dans la cadre du volet fluvial de Contrats de Plan Etat – Région (CPER)), pour assurer les travaux nécessaires à ses missions, y compris les activités de dragage¹⁶. Les financements accessibles pour VNF ne concernent toutefois pas spécifiquement la gestion des sédiments mais s'inscrivent dans le cadre de projets globaux. Le GPM de Rouen a accès à des dotations d'Etat comme nous le précisons ci-après.

Pour les sédiments marins, la situation est plus complexe.

Les 66 ports de commerce (au sens de l'arrêté du 24 octobre 2012) dont 12 Ports Maritimes (11 GPM (métropole et outre-mer) et 1 port d'intérêt national (St Pierre et Miquelon)) sont des établissements publics de l'Etat. Ces ports ont accès à des cofinancements, de la part de l'Etat¹⁷ et des collectivités locales, pour compléter leurs fonds propres mais là encore, les financements ne peuvent être mobilisés pour la gestion des sédiments.

De plus, du fait de leurs emprises foncières, ils peuvent accueillir de nombreuses industries et développer des activités logistiques et d'intermodalité importantes et ainsi bénéficier des ressources associées. Leur importance économique (trafic maritime, en import / export, transport de passagers et croisières) conduit l'Etat à s'engager fortement pour les soutenir et développer ces activités afin de maintenir leur compétitivité.

Les collectivités participent à ces financements, notamment dans le cadre des contrats de plan Etat – Région (CPER) et du Contrat de plan interrégional Etat - Région 2015-2020 (CPIER), afin de garantir un développement économique territorial. Ces établissements sont donc aidés par l'Etat (fonds européens FEDER), par des collectivités ou des opérateurs privés (investissements de superstructure).

L'Etat participe activement au développement du transport maritime français par le biais, notamment, de la stratégie nationale portuaire et, dans ce cadre, contribue financièrement aux investissements et aux travaux d'entretien des GPM, notamment des dragages.

¹⁶ CPER 2007/2013 VNF Thema

¹⁷ Répartition entre les GPM de la dotation d'Etat affectée aux travaux de dragage, d'entretien et d'exploitation des certains ouvrages dans les GPM – Rapport du Ministre de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer au Ministre des Finances et Comptes Publics – Juillet 2016

Pour ce qui concerne les **ports décentralisés** (approximativement 500 établissements), ce sont essentiellement des ports de plaisance, commerce et pêche, placés sous la tutelle des collectivités territoriales (Communes, Départements, Régions, Syndicats mixtes ...). Gérés en budgets annexes des budgets principaux des collectivités auxquelles ils sont rattachés, les ressources de ces Services Publics Industriels et Commerciaux (SPIC) sont issues des services rendus aux usagers et leurs possibilités de percevoir des aides sont limitées et règlementées par le Code Général des Collectivités Territoriales (CGCT). L'activité de dragage ne relève pas des activités susceptibles de pouvoir être aidées¹⁸. Pour autant, l'activité économique liée à ces établissements est importante sur les territoires.

Le budget d'un SPIC doit être présenté à l'équilibre en dépenses et recettes selon le CGCT

De plus, ces ports font très souvent l'objet de Délégations de Service Public (DSP), conclues antérieurement à l'évolution de la réglementation de 2000, qui n'incluent pas les coûts de gestion des sédiments, selon les préconisations des textes en vigueur en 2021. Les surcoûts constatés ont un impact non nul dans l'équilibre financier défini aux contrats. De nombreuses délégations de service public seront à renouveler dans les prochaines années et cela pourra être l'occasion de faire évoluer ce volet qui, toutefois, devra présenter une stabilité pour limiter les risques et permettre des réponses de qualité aux consultations à venir. Il est important de souligner que les délégataires actuels estiment que l'augmentation des coûts de gestion des sédiments ne permettra pas de proposer des réponses équilibrées financièrement. La question du financement de cette activité est donc centrale pour permettre le renouvellement des contrats de concessions.

Les autorités portuaires, du fait du transfert de compétences de l'Etat, sont propriétaires des ports et des équipements transférés et doivent en assurer une gestion efficiente. Il existe un cadre particulier concernant la gestion financière d'un port mais il ne concerne pas les opérations de dragage. Son intégration est à étudier.

Pour donner une idée chiffrée des coûts de gestion des sédiments non immergeables sur les coûts des services pour les usagers des ports de plaisance, commerce et pêche et des conséquences financières d'intégration du surcoût « dragages », une analyse est proposée ci-après.

En termes de ressources et particulièrement de tarification de la redevance d'amarrage, le prix de la place au port peut varier du simple au quadruple selon la durée du droit d'usage, la taille de l'emplacement et surtout la localisation de l'établissement. A titre d'exemple, pour une embarcation de 10 m, il faut compter environ 900€ / an pour s'amarrer sur la façade Atlantique Sud (1 600€ à La Rochelle), 1 100€ en Bretagne (900€ à Lorient), 1 500€ dans le Var (2 000€ à Vallauris). Et plus le bateau est grand plus la place est chère. Elle atteint 12 000 € / an pour un bateau de 12m et 24 000 € / an pour un bateau de 15 m dans le port de Marseille¹⁹.

¹⁸Ministère de la Mer – Acteurs, réseau et activités portuaires en France (<https://www.mer.gouv.fr/acteurs-reseau-et-activites-portuaires-en-france>)

¹⁹ <https://blog.bandofboats.com/fr/place-port-france-prix-dela>

Pour les amarrages le long des berges ou quais des fleuves et canaux, pour une péniche Freycinet, les coûts varient de 800 à 7 000 €/an.

Afin d'appréhender les conséquences, sur les tarifications des redevances d'amarrage, de l'intégration du coût de gestion des sédiments non immergeables, deux scénarios fictifs sont étudiés. Nous utiliserons les coûts à la tonne, qui intègrent les frais liés à l'évacuation dans les filières, estimés dans les Tableau 31 et Tableau 32 :

- Scénario 1** : Petit port de 300 places qui nécessite un dragage de 2 000 t pour lequel 50% doit être stocké à un coût de 169 €/HT/t et 50% est valorisable à un coût de 123 € HT/t, soit un montant total de 292 000 € HT pour la gestion des matériaux extraits
- Scénario 2** : Grand port de 1000 places qui nécessite un dragage de 20 000 t pour lequel 50% doit être stocké à un coût de 169 €/HT/t et 50% est valorisable à un coût de 123 € HT/t, soit à un coût total de 2 920 000 € HT pour la gestion des matériaux extraits

Les opérations de dragage sont des interventions programmées pour lesquelles des provisions doivent être constituées. Dans ce cadre, nous allons évaluer les besoins financiers permettant de provisionner durant 5 ans avant la date prévisionnelle de l'opération.

Nous posons l'hypothèse que les augmentations sont effectuées de manière homogène à un taux identique pour toutes les places au port.

Scénario 1 : petit port

Le Tableau 23 suivant présente les tarifications moyennes estimées pour un petit établissement portuaire de 300 places :

Tableau 23 : Estimation des tarifications moyennes pour un port de 300 places

Dimensions embarcations	Nombre de places	Redevances amarrage (PU € TTC)	Recettes places au port
Petites	150	1 500 €	225 000 €
Moyennes	100	4 000 €	400 000 €
Grandes	50	6 000 €	300 000 €
Total (€ TTC)			925 000 €

L'augmentation des redevances doit permettre de collecter 292 K€. Elle correspond donc à l'application d'un taux homogène de 31,6 %, comme l'indique le Tableau 24 suivant :

Tableau 24 : Augmentation homogène des redevances portuaires pour un petit port

Dimensions embarcations	% augmentation	Augmentation globale des redevances amarrage (PU € TTC)	Recettes places au port
Petites	31,6 %	1 974 €	296 030 €
Moyennes	31,6 %	5 263 €	526 272 €
Grandes	31,6 %	7 894 €	394 698 €
Total (€ TTC)			1 217 000 €

Le lissage sur 5 ans de cette augmentation, pour la constitution de provisions, conduit à une augmentation annuelle de 6,3 %, comme précisé sur le Tableau 25 suivant :

Tableau 25 : Estimation des nouvelles redevances d'amarrage pour un petit port

Dimensions embarcations	% augmentation annuelle	Nouvelles redevances amarrage annuelles (PU € TTC)	Recettes places au port
Petites	6,3 %	1 595 €	239 204 €
Moyennes	6,3 %	4 253 €	425 255 €
Grandes	6,3 %	6 379 €	318 940 €
Total (€ TTC)			983 400 €

Nous constatons que cette évolution des tarifs est significative mais semble envisageable sans difficultés majeures.

Scénario 2 : grand port

Le Tableau 26 suivant présente les tarifications moyennes estimées pour un grand établissement portuaire de 1000 places.

Tableau 26 : Estimation des tarifications moyennes pour un port de 1 000 places

Dimensions embarcations	Nombre de places	Redevances amarrage (PU € TTC)	Recettes places au port
Petites	400	3 500 €	1 400 000 €
Moyennes	350	10 000 €	3 500 000 €
Grandes	250	15 000 €	3 750 000 €
Total (€ TTC)			8 650 000 €

L'augmentation des redevances doit permettre de collecter 2,92 M€. Elle correspond donc à l'application d'un taux de 33,8 %, comme l'indique le Tableau 27 suivant :

Tableau 27 : Augmentation homogène des redevances portuaires pour un grand port

Dimensions embarcations	% augmentation	Augmentation globale des redevances amarrage (PU € TTC)	Recettes places au port
Petites	33,8 %	4 682 €	1 872 601 €
Moyennes	33,8 %	13 376 €	4 681 500 €
Grandes	33,8 %	20 064 €	5 015 899 €
Total (€ TTC)			11 570 000 €

Le lissage sur 5 ans de cette augmentation, pour la constitution de provisions, conduit à une augmentation annuelle de 6,8 %, comme précisé sur le Tableau 28 suivant :

Tableau 28 : Estimation des nouvelles redevances d'amarrage pour un grand port

Dimensions embarcations	% augmentation annuelle	Nouvelles redevances amarrage annuelles (PU € TTC)	Recettes places au port
Petites	6,8 %	3 736 €	1 494 512 €
Moyennes	6,8 %	10 675 €	3 736 303 €
Grandes	6,8 %	16 013 €	4 003 185 €
Total (€ TTC)			9 234 000 €

Là encore, nous constatons que cette évolution des tarifs semble envisageable sans difficultés majeures, même si l'augmentation n'est pas négligeable.

Par ailleurs, et afin de limiter les besoins financiers futurs, les ports qui ne l'ont pas encore fait, pourront également assumer leur responsabilité en programmant des actions de limitations des apports polluants, sous la forme d'investissements pour améliorer la qualité de la gestion environnementale de leurs installations mais également par de la sensibilisation aux usagers qui participent à l'impact.

Enfin, la prise en compte du principe pollueur / payeur permettra de limiter cette hausse en sollicitant financièrement les responsables des contaminations extérieures à l'établissement portuaire, quand elles existent.

Cette étude très synthétique mérite d'être approfondie et précisée, notamment en prenant en compte les autres sources de recettes des établissements portuaires (amarrages réservés aux usagers de passage, éventuelles activités de transports de passagers et fret, occupations des espaces, etc) ainsi que les investissements réalisés pour améliorer la gestion environnementale des établissements. Elle permet néanmoins de donner un ordre d'idée.

Le besoin de financement des ports décentralisés, afin de couvrir le coût de gestion des sédiments non immergeables, conduit à une augmentation des tarifications qui peut être significative.

De plus, l'impossibilité de draguer, en perturbant le fonctionnement des établissements, peut même aboutir à une diminution des ressources, du fait de places qui deviennent inutilisables à la suite de la sédimentation.

Les possibilités de financements externes, existantes pour les GPM et gestionnaires de sédiments continentaux, doivent être étendues aux ports décentralisés

Les gestionnaires de plateformes de traitement

Les outils industriels efficaces pour une gestion à terre des sédiments manquent aujourd'hui et participent aux difficultés d'émergence de l'activité. Cette question est très prégnante pour les ports de plaisance, commerce et pêche qui ne sont pas en capacité de développer des outils pour leur usage propre.

En effet, les gestionnaires des canaux et fleuves ont également la charge de gérer les berges des voies d'eau. Ils peuvent ainsi valoriser sur place les sédiments traités comme en témoigne, notamment, la réalisation effectuée dans le cadre du projet Alluvio, porté par VNF mis en œuvre dans le cadre de la démarche SEDIMATERIAUX. Pour les GPM, le foncier dont ils ont la charge ouvre des perspectives de réutilisation qui sont à même de faciliter la gestion à terre des volumes contaminés issus de leurs établissements. Nous pouvons citer, à titre d'exemple, le GPM de Dunkerque qui s'est doté d'un bassin de lagunage actif et réutilise les sédiments dans des sous-couches de routes, dans la fabrication de blocs béton, pour des écomodèles paysagers ou encore de granulats artificiels²⁰.

Les outils industriels permettant le traitement, la réutilisation ou le recyclage doivent être identifiés et/ou développés de manière localisée sur les territoires dans une logique de mutualisation.

En termes de besoin de financements, celui-ci est lié aux investissements à entreprendre qui sont fonction de l'équipement de l'outil. Il peut s'agir de nouvelle plateforme ou de la diversification de plateformes existantes, les coûts varient selon les cas de figures et sont difficiles à évaluer à ce stade. De plus, le statut de la plateforme, public ou privé, peut également ouvrir ou limiter les pistes de financements. En prenant en compte ces contraintes, nous analyserons simplement les pistes de financement possibles et préciserons les contraintes associées au statut juridique du porteur, qui peut être privé ou public.

Un fois posées, de manière synthétique, les problématiques relatives à la gestion à terre des sédiments, nous aborderons les principes du modèle économique à structurer.

7.3. Les principes du modèle économique

Sur la base des informations précédentes, la question centrale qui se pose pour imaginer le modèle économique de gestion à terre des sédiments est la suivante : comment évaluer les coûts à prendre en compte pour dimensionner les besoins de financement ?

Pour tenter d'y répondre, nous allons poser les principes du modèle économique, procéder à une évaluation chiffrée du coût de la valorisation à terre, en prenant un exemple de dragage de sédiments marins « moyen », pour pouvoir estimer le besoin de financement.

Cela nous permettra d'estimer une fourchette haute de l'enveloppe de fonds nécessaires pour l'ouverture opérationnelle de l'activité. Nous analyserons ensuite les contraintes propres à chaque typologie d'acteurs potentiel bénéficiaire d'aides.

7.3.1) Outils d'évaluations chiffrées

Pour analyser les critères relatifs au modèle économique de la gestion à terre du déchet -sédiment, il convient de ne pas considérer le seul coût direct de gestion mais bien d'introduire, dans les réflexions, les principes de base de l'économie circulaire rappelés sur la Figure 48 suivante :



Figure 48 : Les 3 piliers de l'Économie Circulaire (source : ADEME)

La réglementation en vigueur oriente vers la mise en œuvre de l'économie circulaire par opposition à l'économie linéaire existante, et particulièrement dans la gestion des déchets pour une transition vers un développement durable.

²⁰ Dunkerque promotion : Valorisation des sédiments non immergeables www.dunkerquepromotionport.org

L'objectif fixé est de limiter la consommation de ressources en réintroduisant la matière contenue dans les déchets dans les cycles de production. Mais l'économie circulaire vise également à réduire les impacts de l'activité sur le changement climatique, la dégradation de la qualité de l'eau, la pollution de l'air, l'artificialisation des sols, la perte de la biodiversité avec les conséquences sanitaires, économiques et sociales associées.

Le volet environnemental est donc à prendre en compte dans le chiffrage des coûts de gestion des sédiments non immergeables.

À cette dimension de l'économie circulaire, il convient d'ajouter la notion d'économie verte afin de prendre en compte les éco-activités qui produisent des biens ou des services ayant pour finalité la protection de l'environnement ou la gestion des ressources²¹. Les périmètres respectifs de ces deux activités sont représentés Figure 49 :

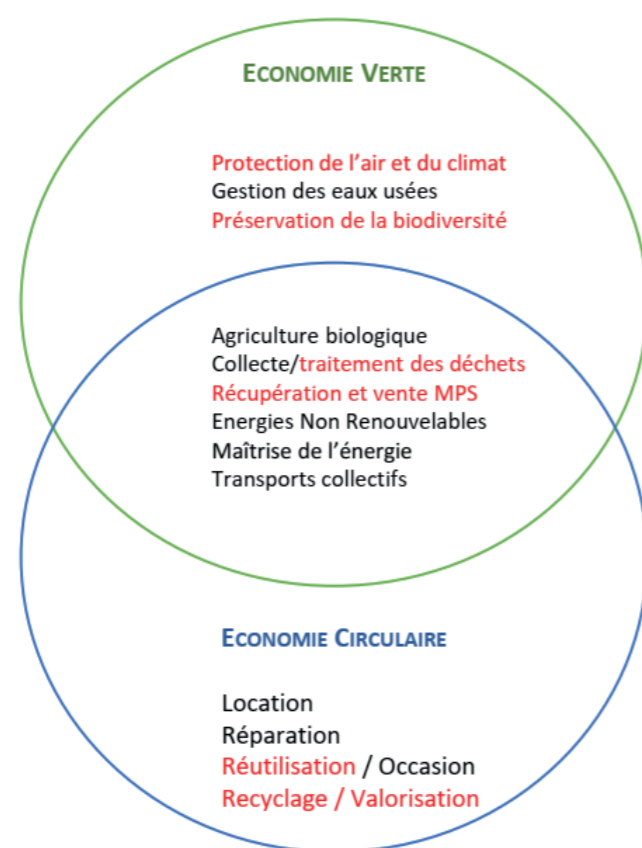


Figure 49 : Economie verte vs économie circulaire¹⁹

La gestion des sédiments dragués non immergeables impacte des items qui relèvent des deux typologies d'économies et visent à proposer un modèle de mise en œuvre du développement durable.

²¹ Commissariat Général au Développement et Durable Service des données et études statistiques – Observatoire national des emplois et des métiers de l'économie verte – Nouveau périmètre des activités de l'économie verte – juillet 2020

Le modèle économique à élaborer au sujet de l'activité de gestion des déchets sédiments doit être construit afin de répondre au besoin de financement de la gestion d'un déchet public, produit sur le domaine public, de favoriser le développement d'une activité industrielle durable et l'investissement dans des outils indispensables à l'ouverture opérationnelle de la gestion à terre des sédiments non immergeables.

Au stade actuel des connaissances, et bien que les politiques publiques en faveur de l'économie circulaire se multiplient en France, il n'existe pas de modèle macroéconomique aboutit et adapté à l'économie circulaire (ADEME et al., 2018) dans des thématiques autres qu'énergétique ou climatique, bien que la recherche et le développement dans ce domaine soient très actifs. Les modèles existants ne représentent que de manière incomplète les leviers par lesquels une transition vers une économie circulaire pourrait s'effectuer. Ils n'intègrent pas la notion de matière comme ressource naturelle ou de déchets, de recyclage ou encore la durée de vie des produits.

Par ailleurs, la qualité et la précision de l'analyse repose sur la disponibilité et la qualité des données qui sont rares dans la thématique d'économie circulaire et particulièrement pour les sédiments. Le sujet de la gestion des sédiments contaminés est à l'origine de données extrêmement spécifiques selon les territoires, voire les établissements dragués. Il existe, en effet, une grande variabilité des sédiments à draguer en termes de volumes, de granulométrie, de contamination et de fréquence nécessaire des dragages. La dimension macroéconomique, à ce stade, n'est donc pas le plus adaptée pour avancer sur le thème du modèle économique à développer. En outre, la pertinence d'une gestion locale, par territoire, est avérée si l'intérêt de limiter les transports est pris en compte, tant sur le plan économique qu'environnemental. Dans ce contexte, une étude technico-économique plus ciblée semble aujourd'hui davantage à même de répondre à la question à une échelle locale. Ce type d'étude peut être opportunément mené sur les territoires dans le cadre de l'élaboration des Schémas d'Orientation Territorialisés des opérations de dragage et filières de gestion des sédiments attendus par les Plans d'Actions pour le Milieu Marin (PAMM).

Pour estimer le coût de la gestion des déchets, l'ADEME a développé, dès 2005, une méthode d'analyse et un outil : La Matrice des coûts (Figure 50) et la Méthode ComptaCoût®.

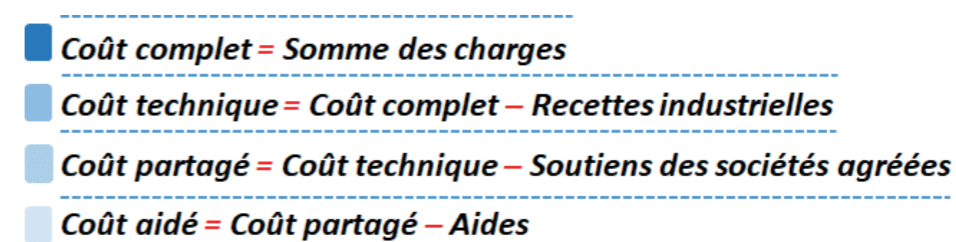


Figure 50 : Matrice des coûts – ADEME

Pour ce qui concerne la gestion des sédiments dragués, le coût complet de gestion à terre en vue d'une valorisation est aujourd'hui complexe à chiffrer. De plus, il n'existe pas, particulièrement pour les ports décentralisés, de recettes industrielles, de soutien des sociétés agréées ou d'aides. Ce n'est pas le cas des GPM ou des gestionnaires de sédiments continentaux qui peuvent bénéficier d'aides de l'Etat pour des activités spécifiques dont toutefois la gestion des déblais dragués est exclue. Ainsi, la totalité du coût de gestion à terre des sédiments est à la charge des gestionnaires et c'est bien tout l'enjeu de modèle économique à créer : l'identification de sources de financement pour accompagner l'émergence d'une activité sur les territoires visant à la valorisation en MPS en alternative d'une ressource non renouvelable.

Dans la logique d'économie circulaire, le coût complet d'une opération de dragage est composé de diverses natures de dépenses :

- **Coûts techniques** : liés aux opérations de préparation et d'exécution des dragages, aux activités soit d'immersion soit de traitements, liés à la valorisation ou au stockage des déblais, liés à la gestion des risques, aux investissements utiles à l'installation d'outils de traitement en vue d'une valorisation ou d'un recyclage
- **Coûts environnementaux** : volet comptabilisant les coûts, amont et aval à l'opération, liés directement à la préservation de l'environnement, y compris l'estimation des coûts de gestion de la contamination non issue de l'activité du port
- **Coûts sociaux** : les frais de personnel et les coûts liés à l'impact de développement d'une nouvelle activité (création d'emplois directs non délocalisables et indirects)

Le chiffrage des diverses typologies de coûts est fonction de l'opération de dragage et de la filière de gestion possible localement. Les éléments à prendre en compte et les difficultés d'évaluation sont étudiées ci-après :

Les coûts techniques

Les opérations de dragage génèrent des coûts liés aux prestations souvent externalisées relatives aux études préalables, aux travaux de dragage en eux-mêmes et aux activités de suivi des impacts. La gestion des déblais (y compris leur transport) qui correspond essentiellement aujourd'hui à l'immersion, au ré-engraissement de plages ou au stockage en centres d'enfouissement sont également à inclure dans le coût de l'opération. L'estimation des coûts liés à la gestion à terre reste à ce jour complexe du fait d'une réglementation en évolution, du peu d'outils de gestion dans un objectif de valorisation et de retours d'expériences de l'utilisation de matériaux issus de MPS dont le coût sera très probablement variable selon la filière retenue.

Ainsi, dans le cadre d'un choix de filières à sélectionner pour la réutilisation des MPS issues du traitement des sédiments, un Bilan Coûts / Avantages (BCA) peut être mené afin d'identifier la meilleure option de gestion en intégrant des considérations environnementales, sanitaires, techniques (y compris normatives) et économiques.

À ce sujet, le guide méthodologique élaboré en 2016 par l'ADEME et UPDS donne des pistes adaptées à la gestion des sites et sols pollués qui peuvent être analysées pour étudier leur répliquabilité au sujet des sédiments à gérer à terre. Toutefois, au stade actuel des connaissances et bonnes pratiques limitées dans cette gestion, considérant que le BCA repose sur la comparaison de plusieurs possibilités sur la base de critères définis, cet outil ne pourrait être retenu qu'au cas par cas et ne permettrait d'avoir qu'une vision partielle par manque de données. Néanmoins, une première réflexion de cet ordre pourrait être menée lors de l'élaboration des schémas d'orientation territorialisée des opérations de dragage et de gestion des sédiments en lien avec les réalités locales. Cet outil pouvant évoluer lors d'évaluations périodiques à définir dans les schémas. Une analyse au niveau national doit également être programmée afin de constituer une base de données des retours d'expériences locales et des perspectives qu'ils ouvrent.

Les coûts environnementaux

L'évaluation des coûts environnementaux reste délicate et les données peuvent être très variables selon les critères retenus.

Pour obtenir des évaluations chiffrées, nous pouvons estimer le coût du cycle de vie qui permet de monétariser les externalités environnementales qui viennent s'ajouter aux coûts directs. Les coûts de ces externalités correspondent aux coûts d'incidences environnementales négatives et positives supportées par l'ensemble de la société²². Pour un produit, l'ensemble des coûts peut être représenté comme suit (Figure 51) :

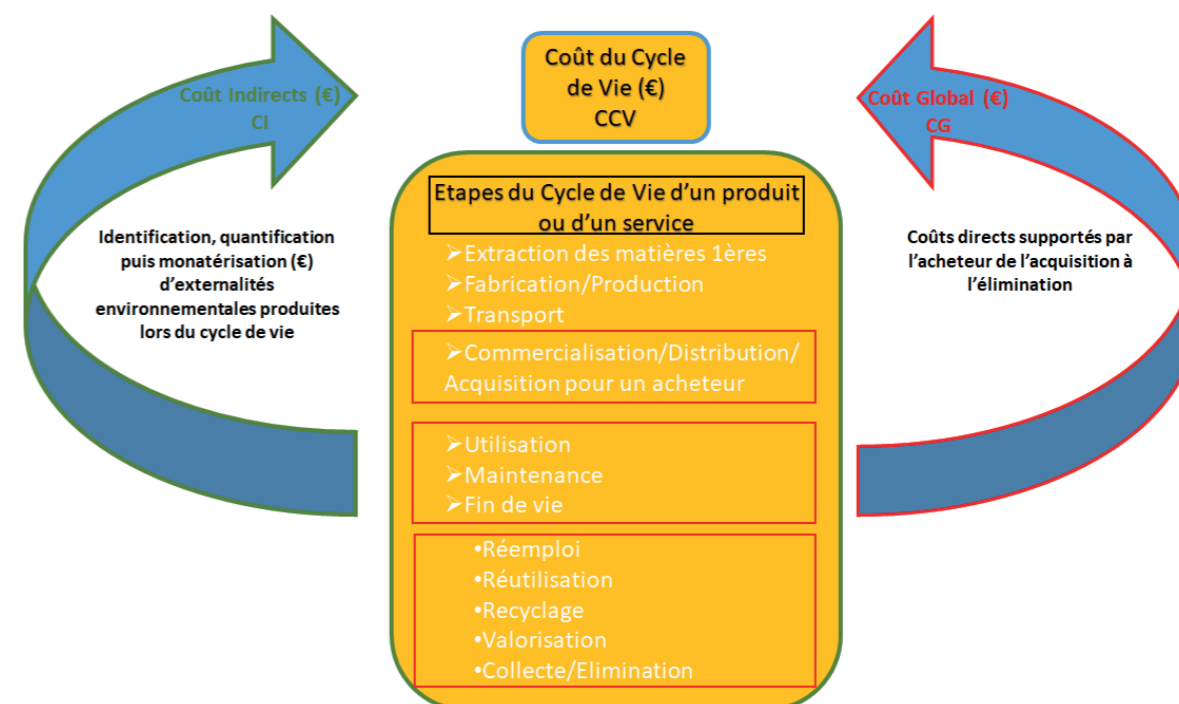


Figure 51 : Représentation des concepts d'évaluation du coût d'un produit et corrélations des diverses approches²²

La réalisation du bilan environnemental selon la méthode normalisée d'Analyse du Cycle de Vie (ACV) permet d'identifier et de quantifier les impacts environnementaux des produits, ouvrages ou services sur l'ensemble des étapes de leur cycle de vie (cf. Norme ISO 14040 « *Management environnemental – Analyse du cycle de Vie – Principes et cadres* » complétée par la norme ISO 14044 « *Management environnemental – Analyse du Cycle de Vie – Exigences et lignes directrices* »).

Pour les déchets, le périmètre de l'ACV est limité et peut être schématisé comme en suivant (Figure 52)²³ :

²² Notice introductive : prise en compte du coût du cycle de vie dans une consultation – Groupe d'Etude des Marchés – Développement Durable (GEM-DD) – mars 2016

²³ Évaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse du cycle de vie – mai 2017 – FEDEREC / ADEME

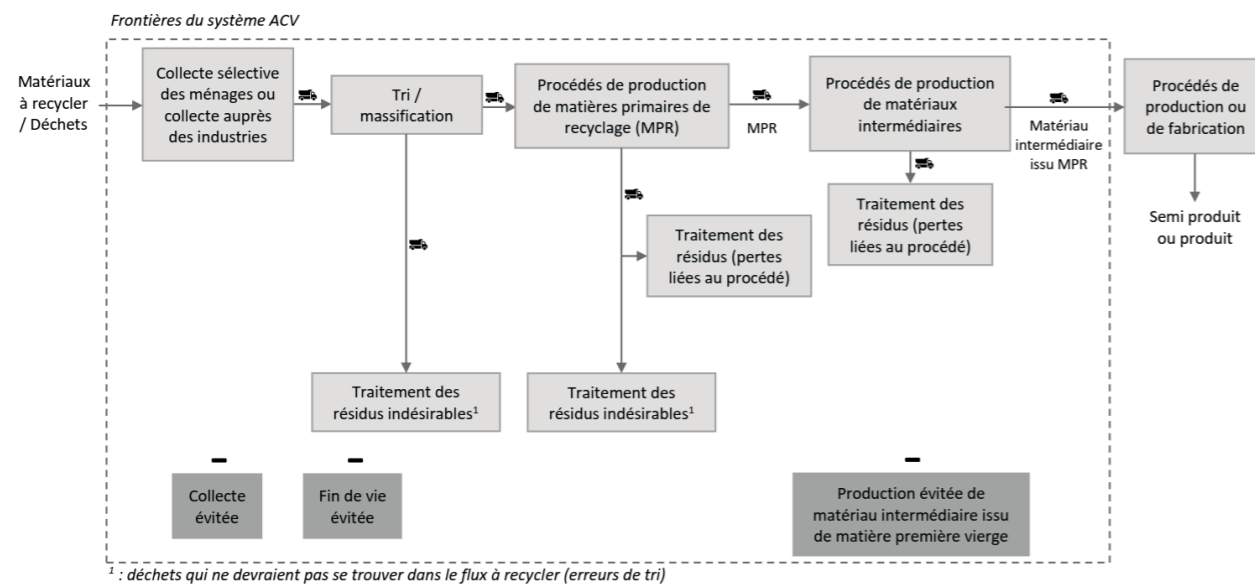


Figure 52 : ACV du recyclage des déchets - Source FEDEREC – ADEME (2016)

Pour chaque procédé, les chiffrages des coûts sont réalisés à la suite de la mesure des entrées/sorties et des consommations et émissions telles que représentées ci-dessous (Figure 53) :

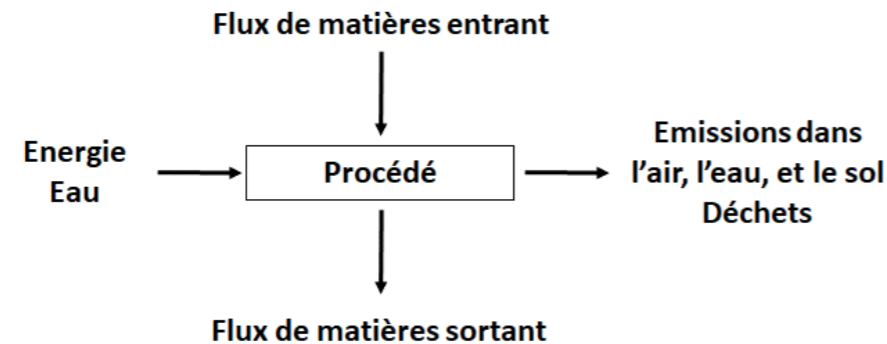


Figure 53 : Informations typiques de l'inventaire d'un procédé

Parmi les critères environnementaux pour les sédiments dragués, il convient de compléter ce schéma, en amont, par les mesures liées à la préservation des impacts environnementaux des opérations d'extraction des déblais et, en aval, par les dispositions de suivi et de traçabilité prescrites réglementairement. L'économie de matière première primaire et des coûts d'extraction et de transports associés évités doivent aussi être pris en compte.

Pour illustrer cette démarche, nous pouvons citer le retour d'expérience du secteur de la construction des routes. Pour estimer son impact environnemental, il s'est intéressé dès 1999 à l'Analyse du Cycle de Vie dans ses activités.

A l'issue de la démarche, des éco-comparateurs, visant à analyser les impacts environnementaux exploitables par l'ensemble de la profession, ont été élaborés : le Système d'Evaluation des Variantes Environnementales (SEVE) par l'Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française (USIRF) et l'ECO-comparateur Routes Constructions Entretien (ECORCE) par l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR).

L'utilisation de ces outils permet de comparer les coûts environnementaux relatifs aux économies d'énergie de diverses options comme indiqué sur le diagramme ci-après (Figure 54) :

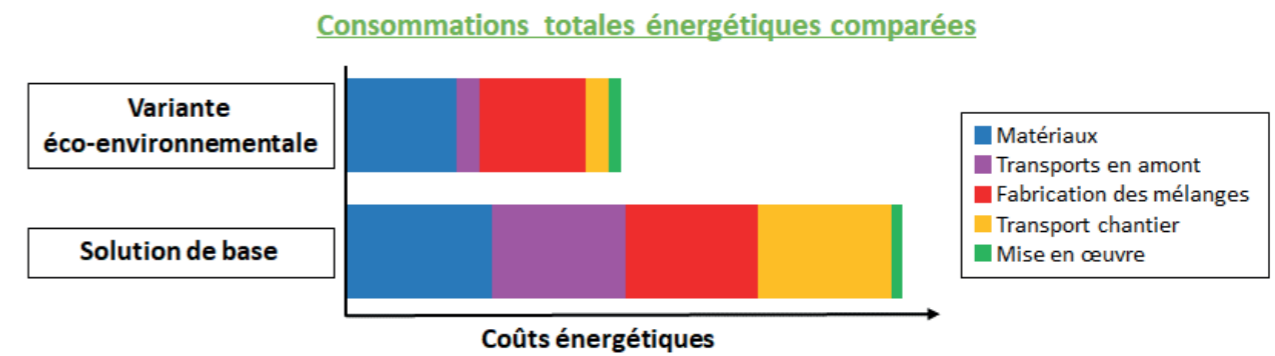


Figure 54 : Évaluation comparée des consommations énergétiques de deux options d'aménagements routiers (D'après USIRF)

Les modalités d'adaptation de ces outils à la question de la gestion des sédiments doivent être analysées en lien avec les filières retenues.

En ce qui concerne l'évaluation chiffrée des flux contaminants extérieurs à l'activité portuaire, les études menées par le Bureau des Recherches Géologiques et Minières (BRGM) sur les quantités de sédiments arrachés aux bassins versants puis transportés et les suivis des apports contaminants effectués par les Agences de l'Eau constituent des outils qu'il pourrait être utile d'étudier. Les données produites par les réseaux de surveillance de la qualité des eaux mais également les recherches menées sur le sujet doivent également être prises en compte afin d'évaluer aussi finement que possible les quantités à considérer en lien avec des zones spécifiques. En effet, les flux sont liés aux contextes locaux et ne peuvent en être dissociés.

Au sujet des quantités non valorisables, les prix à considérer sont limités aux contraintes de gestion liées aux installations destinées à stocker ces déchets.

Les coûts sociaux

En ce qui concerne les coûts sociaux, ils sont de deux ordres :

- Coûts des personnels en poste (emplois directs) dans les établissements portuaires ou fluviaux, donneurs d'ordre susceptibles utilisateurs des MPS
- Coûts des personnels à prévoir (emplois indirects) dans les plateformes industrielles de gestion à créer ainsi que les personnels de bureaux d'études sollicités lors de l'élaboration des documents à produire pour toute activité de dragage

Les personnels des établissements portuaires et fluviaux, en charge des dragages de leurs sédiments, sont confondus aujourd'hui avec la masse salariale. Toutefois, par l'émergence d'une activité de gestion à terre, l'expertise nécessaire pourrait amener à la création de postes dédiés, possiblement mutualisés lorsque l'autorité portuaire gère divers établissements. Par ailleurs, par la création d'une nouvelle activité, le tissu économique local sera impacté directement et indirectement. En effet, la création de centres de traitement ou la diversification de l'activité de centres existants peuvent être à l'origine de création de postes non délocalisables. L'activité d'ingénierie des bureaux d'étude sera complétée par cette nouvelle compétence. Les industriels, utilisateurs des MPS produits, seront également partie prenante de cette nouvelle activité. Enfin, les donneurs d'ordres locaux seront amenés, dans leurs marchés publics, à activer une clause environnementale pour laquelle des compétences devront être acquises tant en termes de rédaction des besoins que d'évaluations des offres et de suivi des chantiers. Les besoins en termes de personnels sont fonction des moyens humains et des compétences existantes sur les territoires, des quantités à gérer localement et des outils qui devront être créés ou diversifiés.

Si l'évolution des coûts salariaux des producteurs de sédiments, des bureaux d'étude ou des donneurs d'ordre sont difficiles à estimer à ce stade, pour les installations industrielles à créer, une estimation des coûts peut être effectuée par comparaison avec les sites de gestion des déchets du BTP présentés dans le rapport de l'ADEME « Analyse technico-économique de 39 plateformes françaises de tri / valorisation des déchets du BTP » de décembre 2011. Selon ce rapport, pour un site avec une chaîne de tri mécanisée et la valorisation de DI et DND, les coûts de personnel représentent environ 40 % des frais de fonctionnement.

D'autre part, l'utilisation de l'Analyse Sociale du Cycle de Vie (ASCV), par l'étude des impacts sociaux et sociétaux de l'activité, pourrait venir compléter l'analyse. Le couplage des deux méthodes, ACV et ASCV, doit encore faire l'objet de travaux mais reste néanmoins une piste de recherche intéressante²⁴ à explorer.

7.3.2) Proposition d'évaluation des coûts

Bien que les questions soient nombreuses et les réponses très incomplètes, une proposition d'évaluation des coûts à la charge des gestionnaires de sédiments, avec toutes les incertitudes qui s'imposent, est proposée ci-après. Les paramètres qui vont influencer les coûts sont nombreux : la typologie de la zone à draguer (zone à échange libre, confinée, portuaire), la profondeur du dragage, son accessibilité, l'homogénéité des sédiments, la technique de dragage, la filière de gestion ciblées, etc. L'hypothèse traitée ci-après est celle d'un dragage dans un port destiné à retirer des sédiments peu profonds et homogènes en termes de granulométrie pour un volume total de 28 000 t soit 20 000 m³. Pour un volume plus important, les coûts à la tonne seront diminués mais ce volume représente une moyenne haute pour un port de plaisance, commerce ou pêche. L'estimation proposée n'intègre pas les coûts ultérieurs de gestion qui pourront être à la charge du gestionnaire. Une indication des coûts techniques et environnementaux, à intégrer dans le calcul, est proposée à l'aide du code couleur suivant :

- Coûts techniques
- Coûts environnementaux

Les coûts sociaux, relevant des frais de personnel, ne sont pas inclus dans les deux coûts distingués. Compte tenu des activités préparatoires et de suivi des prestations externalisées sur la durée de l'opération programmée sur 2 ans environ, il est possible de les estimer à approximativement 30 000 € par opération si la maîtrise d'œuvre est assurée par le maître d'ouvrage. En cas de prestation de maîtrise d'ouvrage externalisée cette estimation est susceptible de varier.

²⁴ Guide Synergie-TP : Comment appliquer l'écologie industrielle et territoriale aux travaux publics ? – co financement ADEME 2012

Tous les coûts indiqués relèvent de la section de fonctionnement. Ce constat oriente les possibilités de financement.

Deux propositions, présentées ci-dessous, visent à mesurer l'écart de coût entre une gestion aquatique en mer et une gestion à terre et ainsi la part pour laquelle des financements doivent être identifiés :

1. Sédiments inférieurs à N1 : gestion par immersion
2. Sédiments entre N1 et N2 ou supérieurs à N2 : gestion à terre

➤ Pour la première hypothèse, le chiffrage d'une opération compatible avec la filière immersion permet de proposer les éléments chiffrés ci-après (Tableau 29) :

Tableau 29 : Simulation pour un dragage de 28 000 tonnes et filière immersion

Etape de l'opération	Section Ft / Inv ^t	Coût unitaire (€ HT)	Quantité	Coût global € HT/t	Délais (mois)
ETUDES PRELIMINAIRES					
Bathymétrie et estimation volume à draguer	F ^t	6 000	1	6 000	2
Prélèvement échantillons	F ^t	2 500	3	7 500	1
Analyses préalables	F ^t	1 500	3	4 500	1,5
Montage dossier déclaration / autorisation (marché)	F ^t	15 000	1	15 000	3 (marché) + 3 exe + 2 à 6 mois instruction
DRAGAGE					
Amenée et repli (marché)	F ^t	35 000	1	35 000	3 (marché) + 0,5
Dragage (marché)	F ^t	8	28 000	224 000	0,5
GESTION					
Immersion (marché)	F ^t	2	28 000	56 000	0,5
Suivi des impacts (analyses)	F ^t	6	1 000	6 000	1
Total (€ HT)				354 000	22
Total (€ HT /t)				12,64	

N.B. : les prix indiqués sont des estimations qui sont susceptibles de variations selon les contextes

Le coût total de l'opération dans le cadre d'une immersion, en incluant les salaires du Maître d'Ouvrage, est estimé à 384 000 € HT soit un coût à la tonne de 13,71 € HT.

La part des coûts techniques, environnementaux et sociaux dans le coût total en € HT/tonne se répartit comme suit :

- Coûts techniques : 87,50 %
- Coûts environnementaux : 4,69 %
- Coûts sociaux : 7,81 %

➤ Pour une opération dont le niveau de contamination des sédiments oriente vers une gestion à terre, en termes chiffrés, les coûts moyens estimés pour une valorisation sont (Tableau 30) :

Tableau 30 : Simulation pour un dragage de 28 000t et valorisation à terre

Etape de l'opération	Section Ft / Inv ^t	Coût unitaire (€ HT)	Quantité	Coût global € HT/t	Délais (mois)
ETUDE PRELIMINAIRE					
Bathymétrie et estimation volume à draguer	F ^t	6 000	1	6 000	2
Prélèvement échantillons	F ^t	2 500	3	7 500	1
Analyses préalables	F ^t	1 500	3	4 500	1,5
Montage dossier déclaration / autorisation (marché)	F ^t	15 000	1	15 000	3 (marché + 3 exe + 2 à 6 mois instruction)
DRAGAGE					
Amené et replis	F ^t	35 000	1	35 000	3 (marché) + 0,5
Dragage	F ^t	8	28 000	224 000	0,5
Suivi des impacts (analyses)	F ^t	1 000	6	6 000	1,5
ACCUEIL EN CENTRE DE TRAITEMENT DES SEDIMENTS					
Transport camion 10 km	F ^t	4	28000	112 000	3 (marché) + 0,5
Analyses complémentaires	F ^t	2000	3	6 000	1
Accueil en centre de traitement pour une valorisation (technique routière)	F ^t	70	28 000	1 960 000	4
Total (€ HT)				2 376 000	27,5
Total (€ HT /t)				84,86	

N.B. : les prix indiqués sont des estimations qui sont susceptibles de variations selon les contextes

Le coût de 70€ HT/t pour un traitement en centre dédié est une estimation moyenne. Les coûts varient entre 50 et 90€ HT/t. Les quantités non valorisables, à orienter vers les centres d'enfouissement, peuvent également impacter le coût appliqué.

Le coût total de l'opération dans le cadre d'une valorisation à terre, en incluant les salaires du Maître d'Ouvrage, est estimé à 2 406 000 € HT soit un coût à la tonne de 85,93 € HT.

La part des coûts techniques, environnementaux et sociaux dans le coût total en € HT/tonne se répartit comme suit :

- Coûts techniques : 93,10 %
- Coûts environnementaux : 5,65 %
- Coûts sociaux : 1,25 %

En synthèse, la différence de prix entre une filière immersion et une filière à terre peut être estimée à environ 2 M€ pour un dragage de 28 000 tonnes de sédiments à gérer.

La gestion à terre multiplie par, a minima, plus de 6 le coût d'un dragage de sédiments marins avec immersion

Cette somme est la conséquence directe des coûts d'acceptation en centre de traitement en vue d'une réutilisation des matériaux dragués. La création des plateformes industrielles ICPE de traitement nécessite des investissements lourds, pour répondre aux contraintes réglementaires et disposer des outils utiles et performants pour les activités de traitement, ce qui explique en partie les coûts appliqués.

Ainsi, la répartition des coûts et des financements peut être représentée par les histogrammes tels que présentés en Figure 55.

Le coût total de l'opération « type » de dragage de 28 000 tonnes est de 2,406 M€ HT dans lequel le coût du traitement en vue d'une valorisation représente à lui seul environ 81 %.

Il est aisément compréhensible que de nombreux gestionnaires soient bloqués face à ce niveau de coûts et particulièrement les ports décentralisés dont les recettes sont stables et limitées aux services rendus aux usagers. Il convient toutefois d'insister ici sur le fait qu'il n'est envisageable de cofinancer que la part de contamination qui n'est pas issue de l'activité des sites portuaires. En effet, les usagers des ports paient pour le service rendu. Tous les coûts relatifs à l'activité des établissements doivent être pris en charge par les redevances des usagers. Seule la gestion de la part de la contamination provenant de l'extérieur des ports pourrait être cofinancée. La difficulté réside dans l'évaluation de cette contamination « importée ». Par hypothèse, dans les données suivantes, nous considérerons qu'en moyenne 30% de la contamination est extérieure aux établissements. Il s'agit d'une hypothèse moyenne retenue pour le raisonnement, qui peut sembler élevée.

Il est aujourd'hui reconnu que les contaminations peuvent être très variables d'un site à l'autre et que la gestion environnementale des ports s'est améliorée grâce aux aménagements réalisés ces dernières années. Il est également acquis que la gestion des flux contaminants des bassins versants a été une priorité dans les mesures d'amélioration de la gestion des eaux par les collectivités. Enfin, en ce qui concerne la gestion des flux contaminants d'origine agricole, les données actuelles indiquent qu'elle doit encore être améliorée.

En appliquant cette hypothèse nous proposons la représentation suivante (Figure 55):

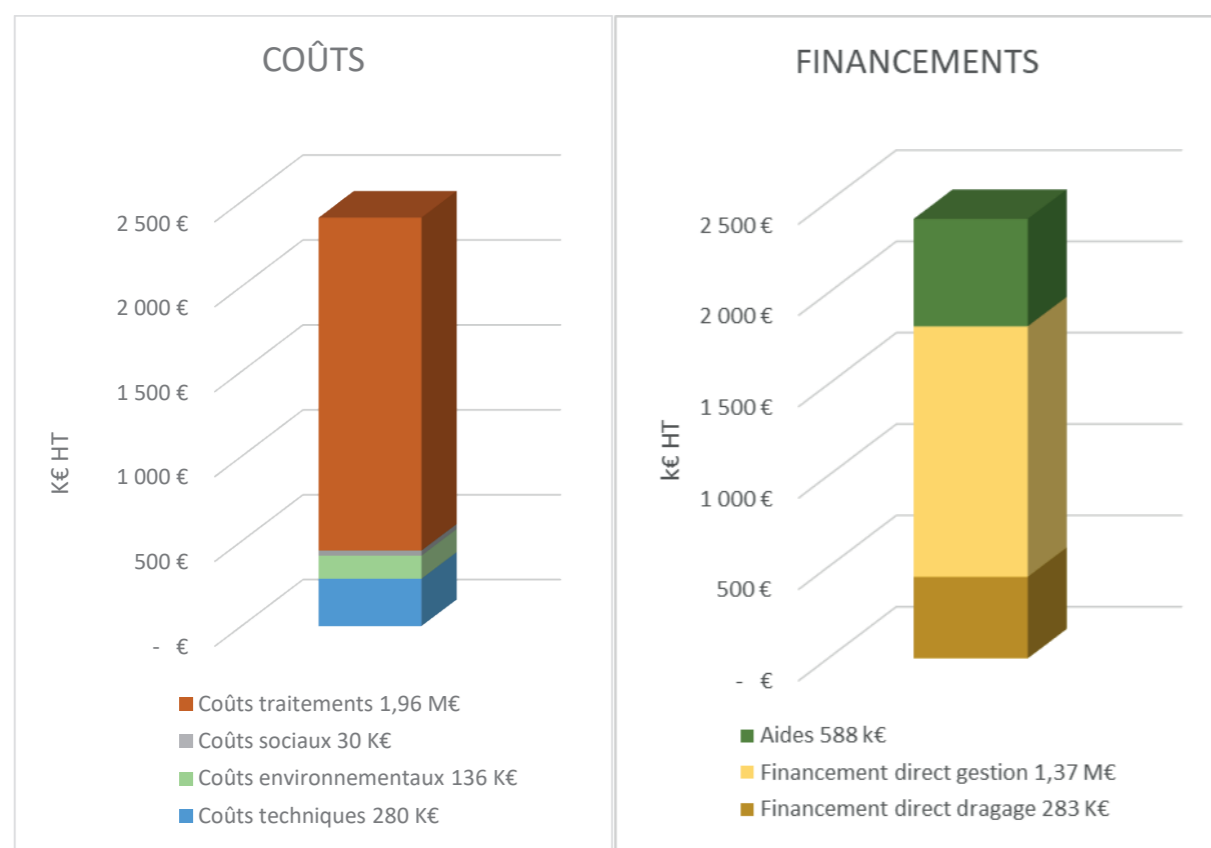


Figure 55: Proposition d'évaluation des coûts et sources de financements d'une opération de dragage avec orientation à terre des déblais

Compte tenu des difficultés financières d'effectuer un dragage pour certains établissements, la contamination présente et possiblement non issue de l'activité du port devrait être accompagnée. En revanche, la part de la contamination dont l'origine est l'activité de l'établissement doit rester à la charge de celui-ci. Face aux peu d'outils industriels de gestion disponibles sur le territoire, ces mêmes gestionnaires optent parfois pour un stockage en centre d'enfouissement afin de pouvoir assurer une navigation en sécurité de leur établissement. Cette option, retenue par absence de solution locale alternative, est contraire aux attentes réglementaires et doit être limitée autant que possible.

Pour les sédiments marins, les coûts de la valorisation à terre et du stockage en centre d'enfouissement sont équivalents

Les coûts moyens d'acceptabilité des sédiments en centre de traitement peuvent être analysés à la lumière de ce qui se pratique pour les déchets du BTP. L'acceptabilité en centre de traitement des matériaux issus du BTP conduit à un coût moyen très variable selon les lieux d'accueil et les régions.

En analysant les chiffres de gestion de ces déchets, il peut être estimé pour une opération de dragage de 28 000 tonnes de sédiments mélangés DNDNI, que les coûts d'acceptation en centre d'enfouissement varient de 60 à 90 € HT/t, hors TGAP, soit entre 1,68 M€ et 2,52 M€HT pour le volume à gérer selon les lieux d'implantation des plateformes d'accueil et leurs équipements. Ces montants, hors TGAP, sont équivalents à ce que nous pouvons estimer aujourd'hui pour l'accueil en centre de valorisation de sédiments, ce qui plaide pour l'organisation opérationnelle de la valorisation des sédiments.

Cette estimation est susceptible de varier selon les performances des plateformes de traitement existantes ou à créer. Enfin, la totalité des gisements ne sera pas réutilisable / recyclable du fait des caractéristiques des déblais et de la présence de macro-déchets. Une fraction, variable selon les caractéristiques des déblais, devra être orientée vers des centres d'enfouissement pour déchets ultimes. Les coûts d'acceptation des centres de traitement sont variables, liés aux caractéristiques des sédiments à traiter et à l'équipement des sites, mais relativement du même ordre de grandeur que les coûts des centres d'enfouissement auxquels s'ajoute toutefois la TGAP.

En repartant de l'estimation moyenne annuelle des quantités et de leurs caractéristiques, proposée au § 7.2, nous pouvons évaluer les coûts de gestion de la manière suivante (Tableau 31 et Tableau 32) :

Tableau 31 : Estimation des coûts de gestion à terre des sédiments marins selon leur classification et caractéristiques

Sédiments marins									
Classification sédiments marins non immergeables	Estimation en % sur quantité totale	Options de gestion possibles		Quantités (t)	Coûts en € HT / t				Total € HT
		Gestion	%		Séchage	Tri / traitement	Evacuation filières	Coût total en € HT / t	
DD	5%	Stockage	100%	100 000	50 €	- €	220 €	270 €	27 000 000 €
DNDNI	85%	Stockage	40%	680 000	50 €	- €	110 €	160 €	108 800 000 €
		Valorisation	60%	1 020 000	50 €	75 €	- €	125 €	127 500 000 €
DI (ISDI +)	10%	Stockage	20%	40 000	50 €	- €	25 €	75 €	3 000 000 €
		Valorisation	80%	160 000	50 €	60 €	- €	110 €	17 600 000 €

Pour ce qui concerne les coûts de tri/traitement, les 60€ correspondent à la fourchette haute de ce qui est pratiqué pour les DI et 75€ représente une moyenne de prix.

Pour les coûts d'évacuation filières des DD et DNDNI, la TGAP est incluse. Pour les DI, en revanche, le coût est hors TGAP car ces quantités sont en effet progressivement orientées en stockage de carrière pour lequel la TGAP ne s'applique pas.

Nous pouvons souligner que le coût à la tonne pour l'option de valorisation pourrait être inférieur à celui du stockage pour le DNDNI et supérieur pour les DI.

Pour les sédiments marins, le coût total annuel peut être ainsi estimé à 283,90 M€ HT dont 138,80 M€ HT pour le stockage et 145,10 M€ HT pour la valorisation.

En termes de coût à la tonne, pour la fraction valorisable globale, il s'élève à 123 € HT/t et pour la fraction à stocker, il se chiffre à 169 € HT/t.

Tableau 32 : Estimation des coûts de gestion à terre des sédiments continentaux selon leur classification et caractéristiques

Sédiments continentaux									
Classification sédiments continentaux non immergeables	Estimation en % sur quantité totale	Options de gestion possibles		Quantité (t)	Coûts en € HT / t				Total € HT
		Gestion	%		Séchage	Tri / traitement	Evacuation filières	Coût total en € HT / t	
DD	0%	Stockage	100%	-	50 €	- €	220 €	270 €	- €
DNDNI	13%	Stockage	30%	39 000	50 €	- €	110 €	160 €	6 240 000 €
		Valorisation	70%	91 000	50 €	75 €	- €	125 €	11 375 000 €
DI	87%	Stockage	20%	174 000	50 €	- €	25 €	75 €	13 050 000 €
		Valorisation	80%	696 000	50 €	60 €	- €	110 €	76 560 000 €

Pour les sédiments continentaux, le coût total annuel peut être estimé à 107,23 M€ HT dont 19,29 M€ HT pour le stockage et 87,94 M€ HT pour la valorisation.

En termes de coût à la tonne, pour la fraction valorisable, il s'élève à 111,73 € HT/t et pour la fraction à stocker il se chiffre à 91 € HT/t.

A titre d'information, concernant les sédiments continentaux, la rétrospective des dragages fluviaux sur la période de 2011 à 2017, produite en 2021 par le CEREMA, indique un coût volumique moyen de 38,98 € HT/m³ soit rapporté à la tonne, 32,48 € HT/t. A noter que le coût volumique est lié aux volumes à gérer et varie de 3,56 € HT/m³ à 246,48 € HT/m³ soit, rapporté à la tonne, de 2,96 € HT/t à 205,40 € HT/t.

La mise en perspectives des coûts de gestion à terre des sédiments marins et continentaux permet de proposer la visualisation suivante (Figure 56) :

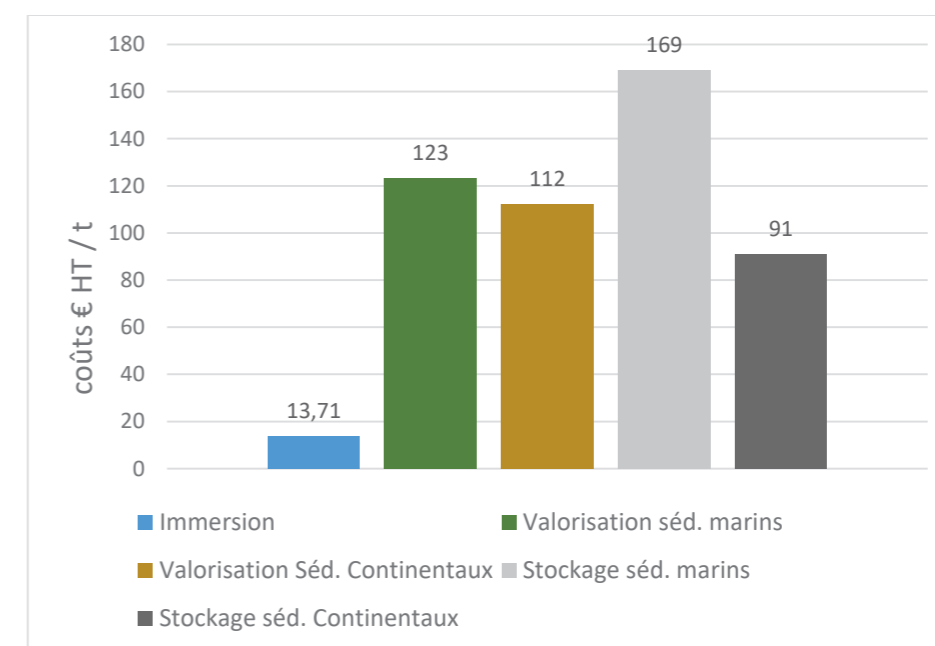


Figure 56 : Représentation des coûts moyens de la gestion à terre des sédiments marins et continentaux

La première information de cet histogramme est que les coûts volumiques de gestion à terre pour toutes les typologies de sédiments sont nettement supérieurs à ceux de la gestion aquatique, d'un facteur 10 en moyenne.

Pour les deux options de gestion à terre, les coûts moyens estimés appliqués aux sédiments marins sont supérieurs à ceux des sédiments continentaux. Nous pouvons noter que pour les sédiments marins, les coûts à la tonne pour la valorisation sont inférieurs à ceux du stockage.

En revanche, pour les sédiments continentaux le coût à la tonne pour la valorisation est supérieur à celui du stockage. Ces différences de coûts sont liées aux caractéristiques des matériaux qui conduisent à des traitements ou gestions plus ou moins complexes à mettre en œuvre.

Les coûts cumulés des deux typologies de sédiments conduisent donc à un total de 391,13 M€ HT dont 158,09 M€ HT pour le stockage et 233,04 M€ HT pour la valorisation

La répartition des enveloppes annuelles moyennes selon les deux options de gestion sont représentés sur la Figure 57 suivante :

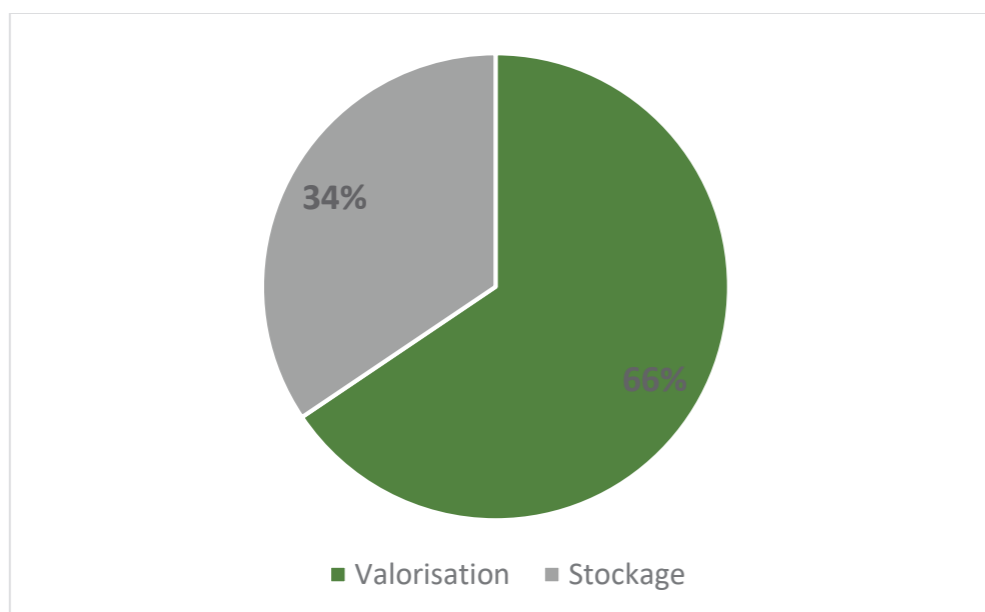


Figure 57 : Estimation de la répartition des enveloppes en M€ HT selon les options de gestion à terre

L'enveloppe de l'option valorisation est supérieure à celle du stockage qui inclut la TGAP.

Une fois estimés les quantités de matériaux et les coûts de gestion, nous devons aborder les modalités de financement. Avant de déterminer les enveloppes à mobiliser, il convient de définir une stratégie de financement. La méthodologie proposée est précisée ci-après :

1/ Seules les activités de traitement, en vue de proposer un produit valorisé, peuvent être financées. Cette méthode présente de nombreux avantages :

- Inciter les gestionnaires à la valorisation
- Sécuriser des quantités de sédiments à orienter vers les plateformes de traitement
- Inciter les territoires à s'équiper de plateformes de valorisation indispensables à l'ouverture opérationnelle des filières
- Sécuriser une production régulière de MPS issues de sédiments

2/ Le résiduel à stocker pourrait être aidé à la condition que la quantité valorisable ait été traitée pour une valorisation

3/ La fraction DD pourrait également être aidée, *a minima* une fois, pour traiter le passif, afin de limiter les gestions inadaptées. Une des conditions pourrait être que l'établissement s'équipe des installations nécessaires afin de ne plus contaminer les sédiments. Si la pollution à l'origine de la classification DD n'est pas issue de l'activité portuaire, l'origine présumée ou réelle devra être identifiée et le responsable sollicité pour participer au financement.

Dans ce cadre, les montants à mobiliser pour accompagner les gestionnaires de sédiments pourraient être répartis selon les deux scénarii suivants entre les fonds publics, issus des établissements portuaires et gestionnaires de cours d'eau et canaux et les partenaires financiers, et l'application du principe pollueur-payeur.

Les taux retenus dans l'hypothèse, qui s'appliquent aux 2 scénarii, sont précisés dans le Tableau 33 suivant :

Tableau 33 : Hypothèse de répartition de l'origine des fonds nécessaires à la gestion des sédiments non immergeables

Origine des fonds	Taux	Montant total	Fraction valorisable	Fraction à stocker
		(M€ HT)		
Gestionnaires sédiments	70 %	274	163	111
Fonds publics	21 %	82	49	33
Pollueur Payeur	9 %	35	21	14
Total		391	233	158

Cette hypothèse, retenue pour le raisonnement, n'est qu'un principe qui est soumis aux décisions des autorités et des partenaires financiers.

Pour chaque fraction, les représentations suivantes (Figures 58 & 59) permettent de visualiser les répartitions financières.

1. Fraction valorisable

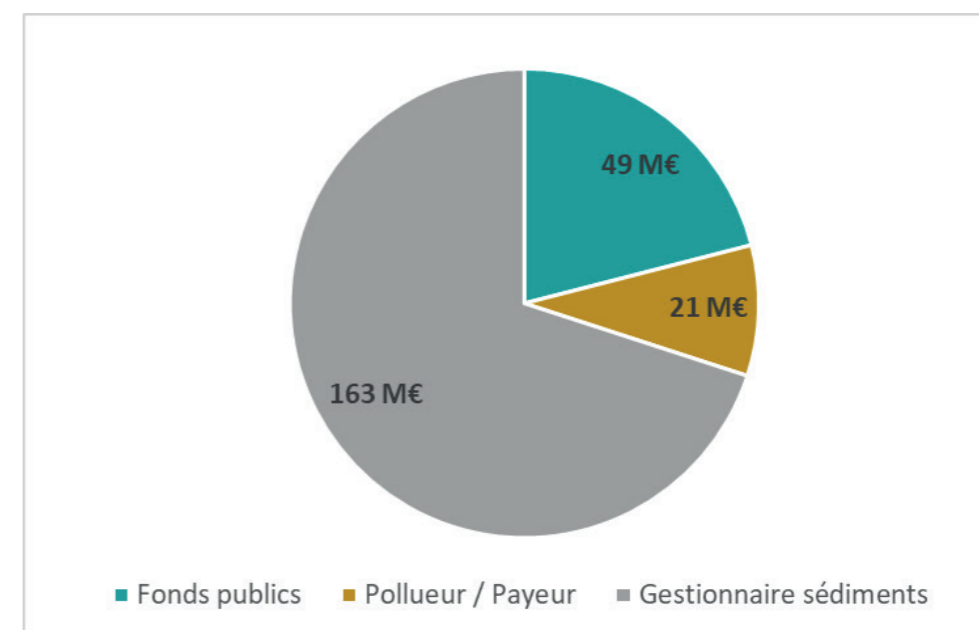


Figure 58 : Scénario 1 : répartition des fonds pour la gestion de la fraction valorisable des sédiments non immergeables

2. Fraction à stocker

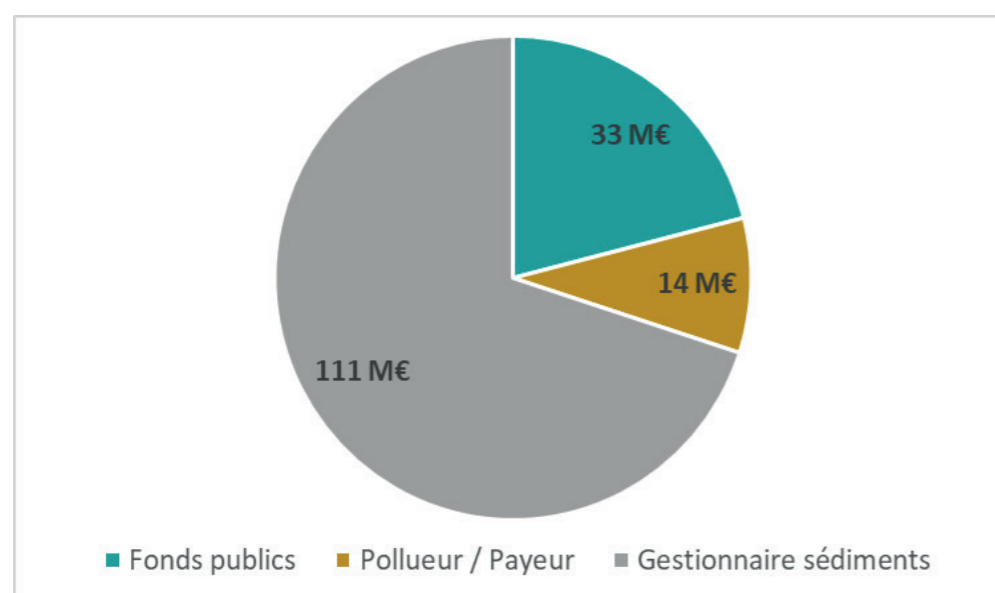


Figure 59 : Scenario 2 : répartition des fonds pour la gestion de la fraction à stocker des sédiments non immergeables

Ainsi, sur la base des informations disponibles et des hypothèses posées, il s'agit d'identifier les sources possibles de financement annuel moyen à hauteur de 70 M€ HT pour financer la gestion à terre des déchets – sédiments issus du domaine public maritime et fluvial, en vue d'une valorisation auxquels pourrait s'ajouter une enveloppe de 47 M€ HT, hors TGAP, pour la gestion de la fraction à stocker. Enfin, si un financement ponctuel de la fraction classée déchet dangereux était retenu, le montant à mobiliser est estimé à 27 M€ HT, hors TGAP.

Une fois les enveloppes des coûts de gestion dimensionnées, nous pouvons à présent étudier les potentielles sources de financement.

7.4 Les sources potentielles de financements

Après avoir estimé les coûts, nous allons analyser les sources de financements externes ainsi que les possibilités d'attribution, en termes de règles et conditions à respecter, de formes d'aides et de fonds accessibles. La démarche sera menée pour l'ensemble des établissements en charge de la gestion de sédiments non immergeables et particulièrement les ports décentralisés, mais également pour l'accompagnement de l'investissement productif permettant la création de plateformes dédiées aux traitements à terre des sédiments en vue d'une valorisation.

7.4.1) Conditions et règles d'attributions des aides nécessaires

Une distinction doit être faite selon les potentiels bénéficiaires des aides. S'il s'agit de gestionnaires portuaires, leur statut public facilite, en principe, l'obtention de fonds publics qui sont gérés par des organismes publics. C'est le cas des GPM et des gestionnaires de sédiments continentaux.

Pour les ports décentralisés la question est plus complexe car les règles définies pour ces Services Publics Industriels et Commerciaux (SPIC) contraignent les accès à des financements. Pour les acteurs qui investissent et gèrent les plateformes de traitement des sédiments, en revanche, il s'agit généralement d'organismes privés pour lesquels les aides ne doivent pas apporter un avantage concurrentiel. Des règles ont été définies à l'échelle européenne afin de s'assurer que les aides attribuées ne faussent pas la concurrence.

Les gestionnaires de plans d'eau

Sédiments continentaux

Les principaux gestionnaires de sédiments continentaux sont de statut public pour VNF et GPMR. La CNR est une société anonyme à Directoire concessionnaire du Rhône dont la majorité du capital est détenu par des personnes morales de droit public (ENGIE, Etat, Collectivités territoriales).

Ces deux typologies d'acteurs peuvent accéder à des financements externes pour certaines activités liées à l'entretien des établissements dont ils ont la charge ou à leur modernisation. Compte tenu de cette possibilité, il s'agit d'autoriser des financements spécifiquement fléchés pour la gestion à terre des sédiments, ce qui relève d'un choix politique dans une logique de mise en œuvre de l'économie circulaire pour ces matériaux.

Sédiments marins

Le principal point de blocage, pour attribuer des aides financières aux établissements portuaires qui sont dans l'incapacité de mobiliser les fonds nécessaires pour la gestion à terre des sédiments, est lié à leur statut. En effet, la loi de décentralisation de 2004 et la loi du 4 juillet 2008 portant réforme portuaire ont modifié, de manière importante, l'organisation des ports maritimes français.

Les ports de commerce les plus importants ou desservant les départements d'outre-mer sont, pour la plupart, sous la responsabilité de l'État : en métropole, ils ont le statut de "Grand Port Maritime" (GPM) qui s'est substitué, en octobre 2008, à celui de Port Autonome.

Les GPM bénéficient d'une dotation d'Etat affectée aux travaux de dragage, d'entretien et d'exploitation de certains ouvrages portuaires

Tous les autres ports sont placés, depuis le 1er janvier 2007, en application des lois de décentralisation de 1983 et 2004 des collectivités locales ou territoriales, sous autorité des collectivités territoriales (régions ou départements) ou de syndicats mixtes pour les ports de commerce ; des départements pour les ports de pêche et des communes pour les ports de plaisance. Leur gestion est soit en régie directe de l'autorité soit concédée aux Chambres de Commerce et d'Industrie ou à des organismes privés. Dans le cadre de délégations de services publics, l'autorité délégante a une obligation de contrôle de l'activité du délégataire dans le respect des termes du contrat de concession. Ces établissements sont qualifiés de Services Publics Industriels et Commerciaux (SPIC) et la question de savoir s'ils entrent dans le champ de la concurrence n'est pas tranchée sur le plan juridique.

L'impact des modalités de gestion, en régie directe ou en délégation de service public sous forme de contrats de concession, sur le caractère concurrentiel de l'activité peut être analysé. Pour autant, les fonciers et plans d'eau des établissements portuaires se trouvent sur le domaine public maritime, incessible et inaliénable, ces établissements sont soumis aux règles de comptabilité publique et les recettes, perçues en échange du service rendu à l'utilisateur, sont des fonds publics collectés par le comptable public, les décisions relatives à la gestion font l'objet d'un vote par l'assemblée délibérante de la collectivité en sa qualité d'autorité et, enfin, le juge compétent pour régler les litiges éventuels est le juge administratif.

Les recettes des budget annexes des SPIC relèvent de fonds publics et sont gérés par des fonctionnaires habilités

Les règles d'attribution des aides en France se conforment au Règlement Général d'Exemption par Catégorie (RGEC) issu du Règlement (UE) n° 651/2014. Ce règlement indique que les aides ne doivent pas donner aux bénéficiaires un avantage concurrentiel injuste.

En 2017, une évolution du RGEC élargit le champ d'application pour couvrir les aides aux infrastructures portuaires et aéroportuaires. Ainsi, les pays de l'UE peuvent désormais procéder à des investissements publics sans contrôle préalable de la Commission dans les ports maritimes jusqu'à 150 M€ et dans les ports fluviaux jusqu'à 50 M€.

Par ailleurs, la notion de service public n'existe pas en droit communautaire. On parle d'activités d'intérêt général. La notion d'intérêt général est un concept imprécis et plastique, délicat à manier mais très souvent retenu pour justifier des décisions de la jurisprudence.

Appliqué à une thématique environnementale, il peut s'entendre comme un droit à un environnement préservé et, par conséquence, qualifier toute action qui participe à la protection et restauration de l'environnement. Considérant que les opérations de dragage sont encadrées par des textes qui visent à protéger l'environnement et que l'objectif de la gestion à terre, outre une limitation de l'impact aquatique, est de valoriser les matériaux dragués, en alternative de ressources non renouvelables, dans une logique d'économie circulaire, il semble que la notion d'intérêt général puisse être appliquée aux opérations de dragage et de gestion de sédiments non immergeables.

Dans ce cadre, et bien qu'une étude juridique plus poussée soit utile, il est possible d'estimer que la gestion des sédiments ne relève pas d'une activité entrant dans le champ de la concurrence.

La solution de gestion de tout type de déchet réside dans les sources de financements, dédiées ou accessibles, qui sont souvent multiples.

Considérant que le modèle économique relatif à la gestion des sédiments à terre doit être réfléchi à l'échelle nationale et que le CGCT autorise les « aides exceptionnelles » du budget principal de la collectivité en compétence vers les budgets annexes du ou des port(s) sous son autorité, il est possible de considérer que les financements nécessaires pourront être sollicités et perçus, pour ces cas de figure, par les autorités publiques compétentes qui les reverseront aux budgets annexes concernés. Il convient de souligner ici que les dépenses relatives à un dragage d'entretien relèvent majoritairement de la section de fonctionnement et que ce constat oriente les options d'aides envisageables présentées ci-après. Enfin, ce financement existe déjà pour les GPM et VNF, il est souhaitable qu'il soit organisé également pour les établissements portuaires décentralisés.

Les acteurs gestionnaires de plateformes

Depuis la loi NOTRe du 7 août 2015, ce sont les Régions qui sont compétentes pour établir un Plan Régional de Prévention et Gestion des Déchets (PRPGD) comprenant des objectifs en matière de prévention, de recyclage et de valorisation. La planification régionale concerne tous les déchets (hors nucléaires) et est opposable à toutes les décisions publiques prises en matière de déchets.

Selon les typologies de déchets, les autorités publiques peuvent décider de créer des centres de gestion et de les gérer directement ou de déléguer l'aménagement des installations de stockage et la gestion associée. En cas de délégation, le titulaire est sélectionné suite à une procédure qui relève du code des marchés Publics. L'aménagement du site et la gestion mise en œuvre restent sous la responsabilité de l'autorité publique qui a un devoir de contrôle.

Les acteurs publics

Dans le cas des sédiments à gérer à terre, qui nous le rappelons sont des déchets produits sur le domaine public maritime ou fluvial, les autorités publiques, d'une manière générale et compte tenu de la complexité du sujet, n'assurent pas en direct la création des centres dédiés et la gestion de ces matériaux. Il s'agit d'une activité qui relève du secteur privé.

Les acteurs privés

Pour les investissements privés à envisager sur les territoires qui ne disposent pas d'outils de gestion à terre des sédiments, les acteurs qui souhaitent se mobiliser pour développer cette activité peuvent être accompagnés. Les pistes de financement accessibles pour cette typologie d'acteurs seront étudiées. Cependant, afin de ne pas fausser la concurrence, ils devront respecter la règle des minimis. Cette règle, mise en place par la Commission Européenne et prolongée jusqu'au 31/12/2023 (par le Règlement (UE) 2020/972 de la Commission du 2 juillet 2020), vise à limiter le montant d'aides qu'une entreprise peut percevoir. La somme définie est de 200 000 € cumulés sur une période de 3 exercices fiscaux. Si de nombreuses aides sont concernées par ce dispositif, le Crédit d'Impôt Recherche (CIR) et le Crédit d'Impôt Innovation (CII) en sont exclus. La Figure 60 ci-après donne davantage de précisions sur les possibles sources de financements.

Les financements à identifier peuvent être issus de divers organismes, qui interviennent alors de manière collaborative, en soutien à un projet local dans le cadre d'une stratégie territoriale. Il convient toutefois de préciser que la totalité des fonds nécessaires ne peut pas provenir de fonds publics et qu'une partie importante des fonds devra être d'origine privée.

L'analyse des diverses pistes de financement identifiées et des formes qu'elles peuvent avoir est présentée ci-après.

7.4.2) La forme et l'origine des aides mobilisables

Les aides financières peuvent prendre diverses formes selon les partenaires financiers sollicités et les stratégies définies. Elles s'inscrivent dans des programmes qui évoluent dans le temps sur des thématiques spécifiques et en lien avec l'évolution réglementaire associée.

Elles sont également liées à la qualité des mesures d'amélioration auxquelles elles ont pu participer dans les programmes précédents.

Les organismes gestionnaires des fonds peuvent intervenir, selon leurs prérogatives, soit au niveau d'un territoire défini, soit au niveau national. Par ailleurs, il est fréquent que des cofinancements soient obtenus à la suite de la sollicitation de divers partenaires financiers qui interviennent de manière conjointe sur des sujets qui présentent des activités en lien avec diverses thématiques. Les aides peuvent correspondre à des orientations politiques de collectivités qui souhaitent donner une impulsion au développement de leurs territoires selon des stratégies thématiques selon leurs domaines de compétences.

Des dispositifs nationaux peuvent également être activés :

- Appels à Manifestation d'Intérêt (AMI) des différents Ministères gérés par l'ADEME
- Investissements d'Avenir pilotés par l'ADEME
- Projets de Recherche (Agence Nationale de la Recherche ANR)
- Le CIR et CII : ce sont des mécanismes de réduction d'impôts afin de soutenir les activités de recherche et d'innovation. Le premier s'adresse à toutes les entreprises soumises à l'impôt sur les sociétés ou sur le revenu tandis que le second est destiné aux PME

L'accompagnement financier des projets locaux peut passer par :

- Des subventions, accordées au travers d'appels à projet ou de contractualisation directe et à des taux variables selon les porteurs de projets
- Des prêts à taux zéro
- Les aides peuvent également prendre la forme d'assistance technique pour l'élaboration des documents administratifs en vue de l'obtention des autorisations (dossiers ICPE, demandes de permis de construire) ce qui permettra de faciliter les instructions des dossiers et d'optimiser les délais de ces étapes.

Depuis 2014, certaines Régions activent la procédure AMI pour soutenir leur développement local sur des thématiques ciblées

Par ailleurs, des outils multipartites peuvent également exister pour le cofinancement d'opérations :

- Le Contrat de Plan État-Région ou Contrat de Projet Etat-Région ou Contrat Interrégional Etat-Région
- Les conventions régionales État-Région-ADEME
- Les Contrats régionaux de développement durable

Les fonds peuvent provenir de plusieurs sources :

- Fonds publics nationaux des collectivités territoriales ou de l'État, par l'intermédiaire de ses diverses Agences
- Fonds structurels européens, gérés en Région, comme le Fonds européen de développement régional (FEDER) dont l'environnement est l'un des axes principaux
- Les programmes gérés par l'Europe tels que LIFE, Horizon 2020 et tous les programmes relatifs à la période 2021-2027 notamment
- Fonds privés : NEF coopérative de finances solidaires, crédit Coopératif ou Business Angel

L'échelle régionale est adaptée à l'intervention des compétences des collectivités et des acteurs locaux, institutionnels et privés, du fait leurs capacités d'action territorialisée dans une logique d'EIT

En synthèse, l'articulation des financements, en lien avec les niveaux TRL, peut être représentée de la manière suivante (Figure 60) :

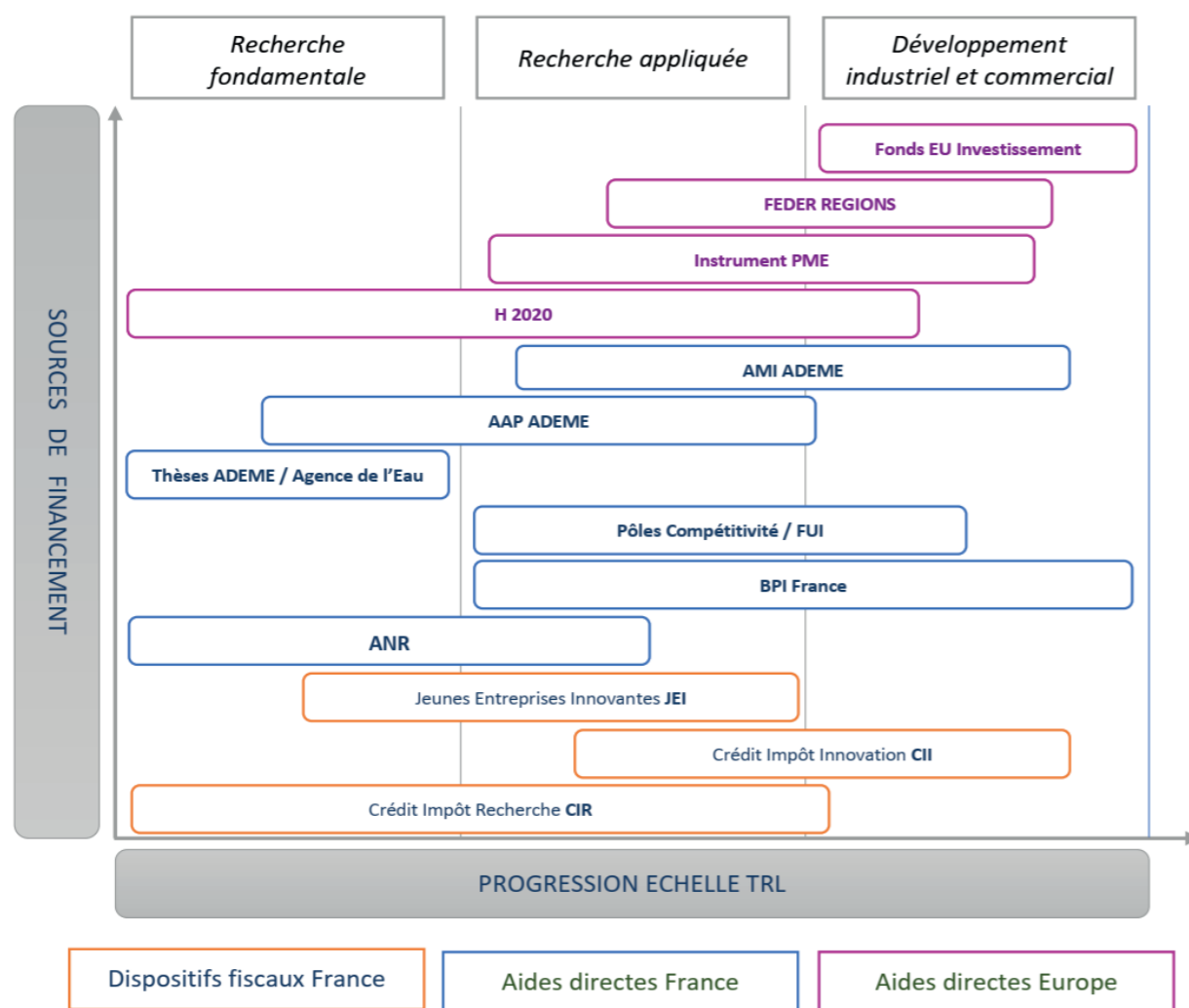


Figure 60 : Synthèse des principaux outils de financement de la Recherche à la mise sur le marché

Les activités pouvant être financées sont liées aux programmes des cofinanceurs qui peuvent intervenir à diverses étapes d'avancement des connaissances au sens de l'échelle TRL : très en amont pour les travaux de recherche ou en accompagnement d'investissements productifs quand la maturité des connaissances est acquise.

Plus on avance dans l'échelle TRL et plus les enveloppes sont conséquentes. Toutefois, les taux d'intervention et les montants accessibles sont variables selon le statut juridique du potentiel bénéficiaire.

En ce qui concerne les sources des fonds à mobiliser, la fiscalité environnementale constitue la piste privilégiée sur la thématique de gestion à terre des sédiments non immergeables.

7.4.3) La piste « fiscalité environnementale »

La fiscalité environnementale vise à réduire les pollutions, à assurer un usager raisonné des ressources et préserver les milieux et la biodiversité.

Les recettes issues de la fiscalité environnementale peuvent être affectées à des dépenses de préservation et d'amélioration de l'environnement, ou favorisant l'innovation verte, afin de maximiser le gain environnemental. Les fonds sont confiés en gestion à des organismes qui interviennent sur des thématiques ciblées.

LES INTERVENTIONS DES AGENCES

Dans le cas de la gestion à terre des sédiments, du fait de la potentielle pollution multi sources des déblais extraits, la fiscalité environnementale doit être considérée comme une source de financement qu'il conviendrait de rendre accessible aux gestionnaires de plans d'eau décentralisés selon des critères environnementaux.

Une gestion maîtrisée des sédiments non immergeables dragués et valorisés à terre présente plusieurs intérêts environnementaux : une diminution des pollutions présentes dans les fonds sous-marins des établissements, une limitation des impacts de remobilisation des contaminants dans la colonne d'eau lors des immersions, une valorisation matière à même de limiter les besoins d'extractions de matière non renouvelable et les impacts associés. Cette activité doit être soutenue et accompagnée tant au niveau des gestionnaires des plans d'eau qu'au niveau de la création d'outils dédiés à la gestion à terre.

Pour ce qui est des Agences gestionnaires des fonds publics en lien avec la thématique sédiments, on peut citer l'Agence de la Transition Ecologique, pour le volet « déchets », les Agences de l'Eau pour le volet « Eau ».

Pour la thématique « Déchets » c'est l'Agence de la Transition Ecologique qui a la charge de la gestion des fonds.

Dans le cadre du programme en vigueur en 2020, l'Agence de la Transition Ecologique intervient, notamment, sur la thématique du développement de l'économie circulaire et de la gestion des déchets. Les aides peuvent intéresser des actions de communication / animation, des études et conseils, des investissements et des activités de recherche et innovation en soutien au développement de l'économie circulaire. Les aides sont octroyées majoritairement via les Directions Régionales présentes sur les territoires.

Ces informations sont en cohérence avec la question de la gestion du déchet-sédiment. Pour autant, il n'est pas possible aujourd'hui pour les SPIC de bénéficier d'aides pour une opération de dragage en vue d'une gestion à terre des sédiments dans la logique d'économie circulaire.

L'Agence de la Transition Ecologique a été dotée par l'État en 2009 d'un « Fonds Économie Circulaire » d'un montant moyen de 200 M€ par an, entre 2009 et 2020, soit environ 35% du budget annuel de l'Agence sur la période²⁵. Ce fonds est consacré au soutien d'opérations s'inscrivant dans les objectifs de la politique déchets, définie par la LTECV de 2015. Bien que les questions de développement de l'économie circulaire et de préservation des ressources soient incluses dans les politiques publiques, les actions listées comme finançables relèvent de l'écologie industrielle et territoriale, la commande publique durable, l'écoconception des produits.

Là encore, les financements pour les opérations de gestion à terre des sédiments en vue d'une valorisation ne sont pas inclus dans le programme défini au stade actuel de développement de l'activité.

Pour ce qui concerne l'accompagnement à l'investissement productif, permettant la création d'installations de traitement des sédiments, le Programme Investissements d'Avenir, piloté par le Secrétariat Général pour l'Investissement et géré par l'Agence de la Transition Ecologique depuis 2010, semble être un outil adapté. Il a pour objet de soutenir la réalisation d'expérimentations préindustrielles, de démonstrateurs de recherche, ou de premières industrielles dans notamment le domaine de l'économie circulaire.

²⁵ <https://www.ademe.fr/expertises/dechets/passer-a-laction/fonds-economie-circulaire>

Les projets présentés doivent toutefois présenter une innovation. Un appel à projet sur le sujet de la création ou diversification d'activités de plateformes industrielles pour l'émergence de la gestion des sédiments non immergeables en vue d'une valorisation pourrait être un thème retenu afin d'équiper le territoire des outils manquants à proximité des gisements.

Pour la thématique « Eau » ce sont les Agences de l'Eau qui ont la charge de la gestion des fonds collectés.

Les Agences de l'Eau, établissements publics administratifs placés sous la double tutelle des ministères chargés de l'environnement et du budget, compétentes sur les six bassins versants nationaux, ont pour mission de faciliter, par des aides financières, la réalisation des travaux utiles à l'ensemble du bassin hydrographique dont elles ont la responsabilité et qui visent à préserver la ressource en eau. Le programme 2019 – 2024 est doté de presque 13 Md€, au total sur la période, pour aider aux activités en lien avec la thématique « eau ».

Sur le sujet des sédiments, l'Agence de l'Eau a accompagné de nombreux projets en Région Sud, Région Rhône Alpes et Artois Picardie

Au niveau local, ce sont les collectivités locales qui sont compétentes en termes de gestion de l'eau. Si, pour les services d'eau potable et d'assainissement, les usagers assurent le financement, pour les autres actions de la collectivité relatives à la gestion durable de l'eau, l'Agence de bassin peut apporter un soutien financier en lien avec son programme d'interventions qui répond aux objectifs et orientations fixés dans les SDAGE. Par ailleurs, à l'échelle du bassin versant, les collectivités peuvent s'engager dans des actions plus larges en faveur du bon état des milieux aquatiques. Les accords techniques et financiers conclus programment des actions à mettre en œuvre sur plusieurs années.

L'Agence de l'Eau intervient financièrement pour accompagner les projets territoriaux prioritaires sous forme d'aides ou dans le cadre d'appels à projets thématiques.

7.4.4) L'application du principe Pollueur/Payeur

Les contaminations mesurées dans les sédiments ne sont pas liées à la seule activité des établissements portuaires. Leurs origines sont multi sources, parfois diffuses, et difficilement quantifiables. Dans ce contexte, les modalités d'application du principe « Pollueur/Payeur », pour une gestion à terre de sédiments non immergeables, doivent être analysées.

Il est nécessaire d'étudier précisément l'impact de la contamination des eaux des bassins versants, et spécifiquement celles issues des zones urbanisées, sur la contamination des sédiments. En effet, comme le démontrent les réseaux de surveillance mis en œuvre par application de la réglementation en vigueur (notamment DCE et DCSP), les contaminants issus des eaux urbaines ne sont pas suffisamment traités avant rejet dans l'environnement par les systèmes dédiés, voire pas du tout comme c'est le cas pour les eaux pluviales de certaines collectivités (Zgheib, 2009). Ces eaux participent potentiellement à la contamination mesurée dans les sédiments portuaires ou fluviaux, souvent positionnés en réceptacles des bassins versants. L'analyse des flux de contaminants de ces eaux doit permettre d'évaluer les flux par zone urbaine et d'activer le principe pollueur / payeur au sujet de la contamination transférée sans traitement.

Les actions des Agences de l'Eau ont permis de limiter les sources de pollutions industrielles, domestiques et urbaines mais nous constatons un accroissement des pollutions agricoles et d'élevage

Les contrats de baie sont des outils adaptés à l'identification des sources de contaminations et à la mise en œuvre d'actions de lutte. De nombreux contrats de baie ont vu le jour particulièrement en Région Bretagne et en Région Sud.

A titre d'exemple, les collectivités implantées sur le pourtour de la rade de Toulon se sont engagées, dès 2002, dans la démarche Contrat de Baie qui prévoyait un programme d'actions sur 5 ans. Ce premier contrat de baie était consacré à l'assainissement et à la réduction des flux de pollution mais également à des actions diagnostiques visant à évaluer la qualité de l'environnement. Il a été suivi par un second contrat de baie qui avait pour objet la reconquête de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques. Un contrat de baie des îles d'Or, lancé en 2016 avec un programme sur 5 ans et dont le périmètre géographique d'intervention est plus large, s'est notamment fixé comme axes de travail la maîtrise des apports polluants et des contaminants chimiques issus des bassins versant et l'amélioration de la gestion écologique des milieux naturels.

Les Contrats de Baie permettront, à terme, de limiter les apports polluants et ainsi, une fois les contaminations historiques traitées, seules les contaminations issues des activités portuaires seront à gérer

Ce type de programme est de nature à améliorer l'identification qualitative et quantitative des flux contaminants et à limiter les impacts des eaux de ruissellement des bassins versants sur la qualité des sédiments. Il permet également d'accompagner techniquement les collectivités compétentes sur ces thématiques.

La mise en œuvre de ce principe nécessite :

- La détermination des sources
- L'identification des flux
- La saisie du responsable à l'origine de la contamination
- La détermination du coût à appliquer

Les modalités de définition du coût estimé selon le flux mesuré devront être définies. La méthodologie mise en œuvre par VNF constitue un retour d'expérience utile.

7.4.5) La Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP)

Conçue pour faire baisser les volumes de déchets mis en décharge ou incinérés, son coût est lié à la gestion mise en œuvre : la logique suivie est de rendre le stockage plus cher que les options de réutilisation, recyclage ou valorisation. Cette modulation, au-delà de la limitation des impacts environnementaux, vise à inciter les acteurs économiques à investir pour une gestion plus durable des déchets. La TGAP est due par les collectivités et les entreprises en fonction du volume de déchets produits.

La trajectoire de la TGAP a pour objet que le coût moyen de l'élimination des déchets devienne supérieur au coût moyen de leur recyclage

En conformité avec les objectifs fixés dans la FREC, le projet de loi de finance 2019 a prévu d'augmenter progressivement la TGAP applicable à l'incinération et à l'enfouissement. La hausse de la TGAP produira une recette supplémentaire d'environ 130 millions d'euros (M€) en 2021 puis 180 M€ en 2022 et 260 M€ en 2023.

La TGAP vient alimenter les fonds gérés par l'ADEME

Le fléchage d'une partie de ces fonds vers la gestion à terre des sédiments pourrait être étudié avec attention.

7.4.6) La Taxe sur la Valeur Ajoutée (TVA)

La TVA est un impôt indirect, sur les produits et services, qui est proportionnel au prix de vente hors taxe et est appliqué à des taux variables selon les produits ou les services. Il est payé par le consommateur et les entreprises jouant le rôle de collecteur de l'impôt pour le compte de l'Etat. Certaines opérations en sont exonérées comme, à titre d'exemple, les activités de pêche maritime, de commerce extérieur ou encore de transports internationaux.

Les budget annexes des ports de plaisance, commerce et pêche sont assujettis à la TVA. Le taux pour des prestations de service est de 20% en France métropolitaine et de 8,5% dans les départements d'outre-mer.

Le Projet de Loi de Finance 2019 prévoit une évolution de la fiscalité en 2021 qui vise à permettre aux collectivités de bénéficier d'un taux de TVA réduit de 10% à 5,5% en 2025, par application de la FREC, pour les prestations de collecte, de tri et de traitement des déchets ménagers et assimilés effectués dans le cadre du service public de gestion des déchets. Il conduira à une diminution de 100 M€ des dépenses en 2025.

Il n'existe pas de taux réduit de TVA pour les sédiments à gérer à terre. Une TVA spécifique pourrait être étudiée.

Tableau 34 : Taux applicables aux déchets ménagers et assimilés (DMA) en 2021²⁶

Prestation	Taux
COLLECTE	
Collecte en déchetterie	5,5 %
Collecte en mélange	10 %
TRAITEMENT	
Tri	5,5 %
Traitement des refus de tri consécutifs à une prestation de tri orienté vers des filières d'élimination (pour acceptation filières, transport et traitement)	10 %
Valorisation « matière »	5,5 %
Valorisation énergétique (méthanisation)	10 %
Prestation de valorisation des mâchefers / scories et des imbrulés issus de l'incinération des DMA	10 %
Incinération, stockage ou toute forme d'élimination	10 %
VENTE PRODUITS	
Vente de produits issus de valorisation matière (il s'agit de livraisons de biens)	Taux propre au produit
Vente de compost issus d'opérations de valorisation biologique ou organique (si les produits sont assimilables à des engrais le taux est de 10% (CGI art 278bis, 5°)	20 %

Pour la gestion des déchets autres que DMA (déchets industriels notamment collectés et gérés dans les centres dédiés) le taux de TVA normal (20 %) s'applique même lorsqu'elle participe au service public de gestion des déchets.

Par ailleurs, si un maître d'ouvrage commande des prestations de services relevant de taux différents, le CGI prévoit que, si ces prestations distinctes relèvent d'une seule et même opération, un seul taux doit être appliqué et le taux retenu est celui le plus élevé.

Si les taux en vigueur sont appliqués aux sédiments à gérer à terre le taux à retenir est de 20% pour l'ensemble des volumes.

²⁶ Source : <https://bofip.impots.gouv.fr/bofip/710-PGP.html/identifiant%3D3DBOI-TVA-LIQ-30-20-70-20210519>

Considérant que les sédiments à gérer à terre peuvent faire l'objet d'une valorisation matière permettant une économie de MPP non renouvelable, l'application d'un taux de TVA réduit à minima à 10% doit être envisagée

L'application d'un taux de TVA à 10 % sur l'ensemble des quantités moyennes annuelles à gérer à terre conduirait à un coût total de 430,24 M€ TTC ce qui correspond à un montant de TVA de plus de 23 M€ pour la fraction valorisable et de presque 16 M€ pour la fraction à stocker.

Selon l'imputation des dépenses (fonctionnement ou investissement) la TVA n'est pas toujours une dépense qui peut être récupérée. Pour les collectivités territoriales notamment seule une partie de la TVA payée en investissement peut être récupérée.

Les critères permettant l'élaboration du modèle économique de la gestion à terre des sédiments sont nombreux comme nous venons de le voir. Afin de clôturer ce chapitre nous proposons une synthèse des diverses informations développées.

7.5. En synthèse

L'élaboration du modèle économique de la gestion à terre des sédiments consiste à identifier les besoins de financements, les sources potentielles de fonds ainsi que les critères et modalités pour les rendre accessibles.

Comme nous l'avons précisé plus haut, l'hypothèse retenue pour l'accompagnement financier des ports est de n'envisager le cofinancement que de la gestion de la part de contamination qui n'est pas issue de l'activité des sites portuaires. Par hypothèse, nous avons considéré que 30% de la contamination est concernée. Il s'agit d'une hypothèse moyenne retenue pour le raisonnement.

Les besoins d'accompagnement financier concernent donc, en moyenne annuelle, environ 600 000 t de sédiments marins et 310 000 t de sédiments continentaux.

Il s'agit donc :

- Pour les gestionnaires des plans d'eau :
 - D'évaluer les besoins en termes de financements correspondant au surcoût lié à la gestion à terre. Une évaluation temporelle sur 10 ans des besoins de dragages ainsi que des quantités à considérer et de leurs caractéristiques devra être produite afin d'estimer le gisement annuel moyen et les quantités à gérer à terre. L'impact de la loi sur l'économie bleue sur les quantités des gisements à gérer à terre devra être analysé dès que les modalités de définition du seuil N3 seront précisées.
 - Compte tenu du fait que les GPM et les gestionnaires de sédiments continentaux peuvent avoir accès à des financements fléchés, étudier les possibilités permettant aux ports décentralisés d'y avoir également accès et le mettre en œuvre. Il s'agit d'assurer une égalité de traitement de l'ensemble de ces acteurs.

- Pour les industriels qui seraient intéressés à créer des plateformes de gestion ou à diversifier leurs activités : de dimensionner leurs outils selon les gisements locaux potentiels, gisements qui doivent être estimés dans une logique de mutualisation à échelle territoriale pertinente. Les gestionnaires des plateformes de gestion de sédiments profonds existantes sur la façade atlantique, devront être associés à la réflexion et des études socio-économiques produites pour estimer la faisabilité de l'activité sur ces installations en fonction des quantités qu'elles pourraient gérer. La possibilité de disposer de bassins tampon devra être étudiée afin de sécuriser les disponibilités dans le temps de matériaux à traiter et de permettre aux gestionnaires de programmer leurs dragages. Enfin les investissements à prévoir devront être en lien avec les durées d'amortissement afin de disposer d'outils financièrement viables.

Pour démultiplier l'impact et générer des économies d'échelle, il est intéressant de financer des équipements communs à une communauté d'acteurs

- Pour les partenaires financiers : le montant annuel d'aides à mobiliser pour les gestionnaires de sédiments non immergeables est estimé à 70 M€ pour la fraction valorisable et 47 M€ pour les quantités à stocker. Ces montants devraient être répartis entre fonds publics et fonds issus de l'application du principe pollueur/payeur. Le Tableau 35 ci-après propose une hypothèse de répartition des fonds :

Tableau 35 : Hypothèse de répartition des aides à envisager pour la gestion des sédiments non immergeables

Origine des fonds	Fraction valorisable		Fraction à stocker	
	Montants (M€)	Taux	Montants (M€)	Taux
Fonds publics	49	70%	33	70%
Pollueur/Payeur	21	30%	14	30%
Total	70		47	

Ces propositions permettent d'avoir un ordre de grandeur des sommes à mobiliser. Elles sont, bien évidemment, susceptibles d'évoluer selon les arbitrages des instances décisionnelles des partenaires financiers. Divers paramètres peuvent influencer la répartition des aides dont notamment les fonds disponibles et les programmes d'intervention des co financeurs, les gestionnaires cibles, les territoires, les filières de gestion visées, etc. Elle permet néanmoins de visualiser la possible répartition des sommes en jeu annuellement et les volumes financiers à mobiliser.

D'autre part, les aides seront sollicitées lorsque les outils nécessaires à la valorisation seront accessibles. Certains territoires en sont dotés, comme nous l'avons vu précédemment, mais d'autres ne peuvent retenir que la stockage lorsqu'une gestion à terre doit être envisagée. La programmation précise des fonds devra donc tenir compte de ce paramètre.

Enfin, la Feuille de Route Économie Circulaire (FREC) « 50 mesures pour une économie 100% circulaire », élaborée pour atteindre les objectifs du Plan Climat dans le cadre de la mise en œuvre de l'Accord de Paris doit être mentionnée. En effet, elle présente des propositions qui peuvent répondre aux problématiques soulevées et qui sont une synthèse des éléments développés dans le présent chapitre.

Il s'agit essentiellement de :

1. **Accompagner l'investissement productif** d'incorporation des MPS pour l'émergence de plateformes de traitement (mobilisation des outils de financements, publics ou privés, via les outils de finance verte)
2. **Sécuriser les investissements** utiles pour organiser la gestion à terre en s'appuyant sur une dynamique d'accords volontaires d'intégration de matières recyclées
3. **Gérer les ressources de manière plus soutenable** en, notamment, incitant les Régions à réaliser des bilans flux de matières en élargissant le rôle des observatoires déchets en conséquence
4. **Adapter la fiscalité** pour rendre la valorisation des déchets moins chère que leur élimination
5. **Soutenir l'économie circulaire via des financements dédiés** (fonds spécifique innovation : fonds déchets ADEME transformé en fonds économie circulaire – flécher, en collaboration avec les Conseil Régionaux en leur qualité d'Autorité de gestion, des fonds FEDER)

SOMMAIRE CHAPITRE 8

8.	PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS	190
8.1.	Caractérisation préalable	190
8.2.	Règlementation	191
8.3.	Schémas de gestion	191
8.4.	Outils de gestion	192
8.5.	Modèle économique	192
8.6.	Recherche	193
8.7.	Communication/Sensibilisation	194

8. PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS

Les perspectives formalisées ci-après visent à permettre d'améliorer la qualité de la gestion des sédiments en France. Elles abordent divers aspects de cette gestion et contribuent toutes à faire avancer la thématique dans la logique de développement durable selon toutes ses composantes (Cf. Figure 61).



Figure 61 : Les composantes du développement durable

8.1. Caractérisation préalable

La caractérisation préalable telle qu'elle est mise en œuvre en France est basée sur une évaluation chimique de certains contaminants. Elle n'est pas conforme aux attendus et méthodologies des textes internationaux et européens. En effet, la seule analyse chimique d'un nombre limité de contaminants n'est pas en capacité d'évaluer le risque que la gestion des sédiments fait courir à l'environnement et à la santé. Seule une approche intégrée qui associe la chimie, l'écotoxicologie et les populations benthiques est à même d'évaluer le risque de manière efficiente (cf. Guide pour l'évaluation de la dangerosité des sédiments contaminés en eau douce – AFB en collaboration avec IRSTEA - septembre 2019). Les recommandations pouvant être formulées sont :

- Orienter le devenir maritime des sédiments de dragage (et des écomatériaux élaborés) par une évaluation, lors de la phase d'analyse préalable, du risque écotoxique qu'ils peuvent engendrer en complément de la seule évaluation chimique par application des termes des textes internationaux et européens. S'inspirer pour cela par exemple de la méthodologie développée en Italie.
- A l'occasion des réflexions pour la détermination du seuil N3, prévoir de compléter la caractérisation initiale des sédiments par des paramètres d'analyse des risques (écotoxicologie, biodisponibilité) et des options de pré-orientation des filières de gestion envisageables, aquatiques ou terrestres, selon la qualité des sédiments. A terme il peut être envisagé d'utiliser majoritairement les tests écotoxicologiques, en capacité d'évaluer le risque sur le mélange complexe de contaminants présents. Ces biotests devront être envisagés sur différents niveaux trophiques.
- Selon les résultats analytiques obtenus prévoir des analyses complémentaires qui permettent d'identifier les options de valorisation possibles, dans un premier temps avec les filières à maturité, dans un second temps, selon les filières qui s'ouvrent.

8.2. Réglementation

La réglementation en vigueur doit être améliorée et complétée sur divers points. Une liste non exhaustive est proposée ci-après :

- Finaliser l'encadrement réglementaire de l'activité pour sécuriser la création de centres de traitement et la gestion mutualisée par territoire notamment par la production d'un cadre normatif spécifiques aux MPS issues des sédiments
- Disposer (conformément à ce qui est annoncé depuis de nombreuses années) des guides d'application encadrant clairement les possibilités de valorisation en TP maritime, en génie civil et en techniques routières adaptés aux spécificités du déchet sédiment
- Disposer rapidement des données relatives aux seuils N3
- Rendre obligatoire la valorisation des produits de dragage dans la commande publique (ex. clause environnementale) et autoriser le recours aux variantes afin de proposer des solutions innovantes. Les cahiers des charges doivent de plus demander la preuve des bénéfices attendus indiqués dans les offres (financiers, environnementaux, etc.)
- Adapter la fiscalité pour rendre la valorisation des déchets moins chère que leur élimination
- Étudier et mettre en œuvre les options ouvertes par le CGCT pour permettre aux gestionnaires de ports décentralisés de plaisance, commerce et pêche d'accéder à des aides y compris en fonctionnement
- Faire évoluer les règles d'attribution des partenaires financiers sur la thématique et les adapter au statut des ports décentralisés (SPIC)

8.3. Schémas de gestion

Les PAMM finalisés en 2016, prévoient des programmes de mesures parmi lesquelles la mesure M024-NAR1b est destinée à « Favoriser la mise en œuvre de schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragages et des filières de gestion des sédiments, évolutifs et adaptés aux besoins locaux ». Les schémas attendus s'adressent aux activités de dragage des établissements portuaires décentralisés de plaisance, de commerce et de pêche. L'objectif est de développer des outils d'aide à la décision, actualisés aux échelles spatio-temporelles pertinentes, afin d'anticiper les besoins des acteurs et de proposer des outils adaptés à l'optimisation environnementale de la gestion des sédiments dragués. Ces schémas doivent constituer des outils d'information à caractère indicatif et n'ont pas vocation à créer une nouvelle norme. Considérant le contexte actuel de gestion des sédiments il est souhaitable que l'élaboration de ces schémas soit obligatoire. En effet, ils sont une étape indispensable à la structuration de l'activité au niveau local permettant d'assurer une mutualisation des moyens à mettre en œuvre dans une approche collaborative et avec des objectifs partagés. Les informations communes aux SDAGE et Schémas peuvent être une piste qui conduit à l'obligation de certains items partagés :

- Disposer de plans actualisés de dragage d'entretien à l'échelle locale pour faciliter les possibilités de mutualisation d'opérations qui est un des points clés à atteindre lors de l'élaboration des Schémas d'Orientation Territorialisés des Opérations de Dragage et Filières de Gestion des sédiments
- Adapter le cadrage des opérations en fonction de la façade maritime concernée, ceci en lien avec les fortes variabilités locales et la typologie des ports

- c. Développer une gouvernance locale qui favorise l'organisation de la gestion durable des sédiments par la prise en compte de tous les paramètres du territoire et agir sur l'acceptation sociétale du déchet (ex. bureau référent qui centralise et oriente)
- d. Connaître les besoins de travaux à l'échelle locale où pourraient être employés les sédiments (ex. bureau référent qui centralise et oriente)

8.4. Outils de gestion

Les outils de gestion pour une valorisation à terre des sédiments non immergeables ne sont pas suffisamment développés sur le territoire national. Afin de permettre une ouverture opérationnelle de gestion à terre maîtrisée des sédiments les pistes de développement des plateformes proposées sont à étudier.

- a. Analyser à l'échelle nationale les outils de gestion existants, les potentialités des territoires et les volumes pour le développement des outils manquants qui peuvent être soit des créations soit des réorientations d'activités d'outils existants. Cette analyse peut être réalisée lors de l'élaboration des schémas d'orientation territorialisés des opérations de dragages et des filières de gestion des sédiments.
- b. Evaluer la pertinence de créer des bassins de stockage temporaires mutualisés entre plusieurs ports pour constituer de plus larges volumes, pour sécuriser la disponibilité dans le temps d'une MPS et donner aux gestionnaires portuaires plus de souplesse dans les programmations des dragages
- c. En ce qui concerne l'équipement des plateformes de gestion prévoir la possibilité de créer des lots aux caractéristiques proches qui, suite aux traitements, constitueront des lots de MPS homogènes pour pouvoir accéder aux filières
- d. Encourager l'utilisation d'outils numériques pour identifier la localisation des gisements, leurs caractéristiques, les possibilités de valorisation
- e. Capitaliser les divers projets de caractérisation et de valorisation des sédiments et ordonner la centralisation des résultats dans une base commune nationale (ou européenne). Cette recommandation permettrait de plus de s'aligner avec la loi sur l'Open Data n°2016-1321 du 7 octobre 2016 pour une République numérique (« Loi Lemaire »)
- f. Développer des éco-comparateurs visant à analyser les impacts environnementaux de l'activité sur le modèle du Système d'Evaluation des Variantes Environnementales (SEVE) et de l'ECO-comparateur Routes Constructions Entretien (ECORCE)
- g. Identifier les aides à l'investissement productif pour accompagner l'émergence des futures plateformes industrielles de traitement des sédiments

8.5. Modèle économique

Les organismes producteurs de sédiments n'ont pas tous les mêmes capacités financières pour assurer la gestion qui leur incombe. Les GPM et gestionnaires de fleuves et canaux sont des organismes sous tutelle de l'Etat qui perçoivent des dotations financières pour leurs activités. Les ports décentralisés de plaisance, commerce et pêche ne peuvent percevoir qu'à titre exceptionnel des aides par application de leurs règles comptables.

Le surcoût lié à la gestion à terre des sédiments non immergeables peut être difficilement financé par les seules capacités financières des ports. Les pistes d'aides à étudier sont multiples pour permettre l'émergence pérenne de l'activité de gestion à terre des sédiments dans une logique d'économie circulaire.

Par application des hypothèses posées au chapitre 7, seule la contamination « importée » dans les établissements portuaires, les cours d'eau et les canaux pourrait être cofinancée. La contamination issue de l'activité de l'établissement reste à sa charge. Il s'agirait donc d'identifier une enveloppe de plus de 390 M€ pour gérer l'ensemble des quantités non immergeables.

Si la logique précisée ci-avant est retenue, et selon l'hypothèse posée au chapitre 7, en moyenne les établissements portuaires devraient faire en sorte d'être en capacité de financer 70% de la contamination présente et dont ils sont supposément à l'origine. Ainsi, seuls les 30% restant pourraient faire l'objet d'une aide financière. Les sources de ces fonds doivent être réfléchies et précisées.

A ce stade, il convient d'améliorer et d'affiner :

- a. Evaluation des coûts :
 - i. Développer des outils analytiques aptes à dimensionner les coûts de gestion à terre des sédiments en prenant en compte l'ensemble des coûts techniques et des externalités environnementales et sociales de manière cohérente avec l'économie circulaire
 - ii. Identifier les gisements et sources de contaminations afin d'intégrer les seuls coûts liés à l'activité des établissements et évaluer les coûts des contaminations d'origine extérieure
 - iii. Analyser les coûts des traitements à opérer dans des centres industriels dans un objectif de valorisation afin de les optimiser
- b. Identification des sources de financement :
 - i. Dimensionnement financier à la charge des gestionnaires de ports, fleuves et canaux lié à leur impact environnemental
 - ii. Enveloppes dédiées des principaux financeurs de l'environnement
 - iii. Fléchage d'une partie des fonds issus de l'évolution de la TGAP vers la gestion globale des sédiments de dragage
 - iv. Adaptation de la TVA aux activités de valorisation des sédiments, à l'identique de ce qui est mis en œuvre pour les déchets ménager et assimilé, par application de la FREC
 - v. Application du principe Pollueur / Payeur pour les flux de contaminants dont l'origine n'est pas l'activité portuaire (eaux pluviales des zones urbaines, eaux usées non ou mal traitées, ...)

8.6. Recherche

Des actions de recherche, visant à améliorer les connaissances et la maîtrise des process, doivent être entreprises:

- a. Identifier les déficits de connaissances, les hiérarchiser et organiser le soutien financier pour qu'elles puissent être menées (recherche académique et industrielle)
- b. Mener les travaux attendus sur la valorisation en TP maritimes
- c. Prioriser le financement de projets de recherche et développement innovants conduisant vers un transfert technologique et un renforcement des partenariats recherche/industrie

- d. Promouvoir la mise en place de plateformes et outils numériques d'optimisation de valorisation des matières premières secondaires et sous-produits tels que les sédiments

8.7. Communication/Sensibilisation

Les actions de communication et de sensibilisation sont une étape indispensable pour permettre à tous les acteurs de la chaîne de gestion de participer à l'ouverture opérationnelle de l'activité de gestion à terre des sédiments.

- a. Dans la communication insister sur le positionnement du « déchet sédiment » dans le marché du négoce de matériaux recyclés (le sédiment traité devient une MPS qui est considérée au même titre que les autres granulats issus du recyclage avec un avantage économique et environnemental de préservation d'une matière 1^{ère} non renouvelable)
- b. Sensibiliser les Régions à la question de la gestion à terre des sédiments en lien avec leurs compétences notamment « Déchets »
- c. Améliorer la communication à l'attention des industriels, potentiels producteurs et utilisateurs de MPS
- d. S'inscrire dans une démarche relevant de l'Ecologie Industrielle Territoriale afin de créer une dynamique locale collaborative et partenariale

9. RÉFÉRENCES

- Achour R. - "Valorisation et Caractérisation de la Durabilité d'un Matériau Routier et d'un Béton à Base de Sédiments de Dragage" - 2013
- ADEME (Vicard F., Leblanc C., Saussay A., I Care & Consult, OFCE) - "Modélisation macroéconomique appliquée à l'économie circulaire" – 2018
- ADEME - Analyse technico-économique de 39 plates-formes françaises de tri/valorisation des déchets du BTP - décembre 2011
- ADEME - Etude sur le prix d'élimination des déchets inertes du BTP - Juin 2012
- ADEME, Fiche technique « Déchets des travaux publics », septembre 2017
- ADEME, UPDS – Elaboration des bilans coûts-avantages adaptés aux contextes de gestion des sites et sols pollués – Guide méthodologique - 2016
- Agence de l'eau Artois-Picardie - "Méthodes de gestion et de réutilisation des sédiments pollués: inventaire détaillé technique et financier des méthodes de curage, de traitement et des usages possibles: logiciel d'aide à la décision pour la gestion des sédiments" - 2001
- Amar M. - "Étude expérimentale et numérique de la valorisation des sédiments de dragage dans les matrices cimentaires" Lille 1 - 2017
- Amar M., Benzerzour M., Abriak N. E. - "Towards the establishment of formulation laws for sediment-based mortars", *J. Build. Eng.* - 2018, doi: 10.1016/j.job.2017.12.011
- Anger B., Moulin I., Perin E., Thery F., Levacher D. - "Utilisation de sédiments fins de barrage dans la fabrication de mortiers" - XIIIèmes JNGCGC, Dunkerque, pp. 953–960 - 2014 - doi: 10.5150/jngcgc.2014.105
- Belas N., Aggoun S., Benaissa A., Kheirbek A. – « Valorisation des déchets naturels dans l'élaboration des nouveaux bétons et matériaux de construction » - 2011
- Benkaddour M., Kazi Aoual F., Semcha A. - "Durabilité des mortiers à base de pouzzolane naturelle et de pouzzolane artificielle" - *Rev. Nat. Technol.*, no. 1, pp. 63–73 - 2009
- Bernache-assollant D. - "Spectrométrie de masse ; Principe Frittage : Frittage, aspects physico-chimiques, frittage en phase solide" - *Tech. De l'Ingénieur* - 2014
- Bernache-assollant D. and Bonnet J.-P. - "Frittage : aspects physico-chimiques – Les différentes étapes du frittage en phase solide" - *Tech. De l'Ingénieur*, vol. AF6620 – 2005
- BRGM, 2017 - Devenir des sédiments dragués de VNF en 2009 - % du volume
- Cappuyns V., Deweirt V., Rousseau S. - "Dredged sediments as a resource for brick production: Possibilities and barriers from a consumers' perspective" - *Waste Manag.*, vol. 38, pp. 372–380 - 2015, doi: 10.1016/j.wasman.2014.12.025
- Care Y. C. S., Baroghel-bouny V., De Larrard F. - "Effet des additions minérales sur les propriétés d'usage des bétons-Plan d'expérience et analyse statistique" - *Lab. Cent. des Ponts Chaussées*, no. 1161–028X – 2000
- Centre Technique Industriel - 2013 - Dossier thématique : La recherche expérimentale - Degré de maturité technologique suivant les TRL

- Cerema - Aide à la mise en oeuvre du niveau 3 de caractérisation environnementale - Volet N°1 : les essais lysimétriques et plots expérimentaux - Note d'information « Environnement – Santé – Risque » – N°04 – Juillet 2015
- Cerema - Échantillonnage des sédiments marins et fluviaux – Du plan d'échantillonnage aux analyses de laboratoire Synthèse documentaire et recommandations – Collection Références CEREMA - décembre 2018
- Cerema - Enquête dragage 2017 - Enquête nationale sur les dragages des ports maritimes - Cerema, 2020. Collection : Données. ISBN : 978-2-37180-483-8
- Cerema - Opérations de dragages maritimes et modalités de gestion de leurs matériaux - Note technique - Cerema, 2021. Collection : Références. ISBN : 978-2-37180-445-6
- Cerema - Rétrospective des dragages fluviaux en France - Période 2011-2017 - Cerema, 2021. Collection Données. ISBN : 978-2-37180-537-8
- Dubois V., Abriak N. E., Ballivy G. - "The use of marine sediments as a pavement base material", *Waste Manag.*, vol. 29, no. 2, pp. 774–782 - 2009 - doi: 10.1016/j.wasman.2008.05.004
- El Mahdi Safhi A., Benzerzour M., Rivard P., Abriak N.-E. - "Feasibility of using marine sediments in SCC pastes as supplementary cementitious materials" *Powder Technol.*, vol. 344, pp. 730–740 - Feb. 2019, doi: 10.1016/J.POWTEC.2018.12.060.
- Eusterhues K., Rumpel C., Kleber M., Kögel-Knabner I. - "Stabilisation of soil organic matter by interactions with minerals as revealed by mineral dissolution and oxidative degradation" - *Org. Geochem.*, vol. 34, no. 12, pp. 1591–1600 - Dec. 2003, doi: 10.1016/j.orggeochem.2003.08.007
- GEODE - Bonnes pratiques pour la caractérisation des matériaux en vue d'une opération de dragage et d'immersion en milieu marin et estuarien - EGIS Eau - Novembre 2016
- GEODE. Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion. Guide méthodologique. EGIS. Décembre 2012
- Gutteridge W. A. And Dalziel J. A. - "Filler cement: The effect of the secondary component on the hydration of Portland cement" - *Cem. Concr. Res.*, vol. 20, no. 6, pp. 853–861 - Nov. 1990 - doi: 10.1016/0008-8846(90)90046-Z
- Hu J., Ge Z., Wang K. - "Influence of cement fineness and water-to-cement ratio on mortar early-age heat of hydration and set times" - *Constr. Build. Mater.*, vol. 50 - January 2014, pp. 657–663, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.10.011
- Institute for Prospective Technological Studies Sustainable Production and Consumption Unit European IPPC Bureau, "Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide," *Eur. Comm.*, pp. 35–45 - 2013
- Jocelyn R. - "Calcination des Sédiments de Dragage Contaminés - Etudes des Propriétés Physico-chimiques" - 2008.
- Kajaste R. and Hurme M. - "Cement industry greenhouse gas emissions - Management options and abatement cost," *J. Clean. Prod.*, vol. 112, pp. 4041–4052 - Jan. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.07.055.
- Lafhaj Z., Samara M., Agostini F., Boucard L., Skoczylas F., Depelsenaire G. - "Polluted river sediments from the North region of France: Treatment with Novosol® process and valorization in clay bricks," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 5, pp. 755–762 - May 2008 - doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2007.01.023

- Laustsen G. - "Reduce–Recycle–Reuse: Guidelines for Promoting Perioperative Waste Management," *AORN J.*, vol. 85, no. 4, pp. 717–728 - Apr. 2007, doi: 10.1016/S0001-2092(07)60146-X.
- Leifeld J. and Kögel-Knabner I. - "Organic carbon and nitrogen in fine soil fractions after treatment with hydrogen peroxide" - *Soil Biol. Biochem.*, vol. 33, no. 15, pp. 2155–2158 - 2001
- Levy J.-C. "L'économie circulaire : l'urgence écologique ?" - *Presse de l'école nationale des ponts et chaussées* - 2009
- Lors C., Tiffreau C., Laboudigue A. - "Effects of bacterial activities on the release of heavy metals from contaminated dredged sediments" - *Chemosphere* - 2004 - doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.04.009
- Lothenbach B., Le Saout G., Gallucci E., Scrivener K. - "Influence of limestone on the hydration of Portland cements" - *Cem. Concr. Res.*, vol. 38, no. 6, pp. 848–860 - 2008, doi: 10.1016/j.cemconres.2008.01.002
- Malviya R. et Chaudhary R. - "Factors affecting hazardous waste solidification/stabilization: A review" - *J. Hazard. Mater.*, vol. 137, no. 1, pp. 267–276 - 2006, doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.01.065
- Malviya R. et Chaudhary R. - "Leaching behavior and immobilization of heavy metals in solidified/stabilized products." - *J. Hazard. Mater.*, vol. 137, no. 1, pp. 207–17 - 2006, doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.01.056
- Mikutta R., Kleber M., Jahn R. - "Poorly crystalline minerals protect organic carbon in clay subfractions from acid subsoil horizons" - *Geoderma*, vol. 128, no. 1–2, pp. 106–115 - Sep. 2005, doi: 10.1016/j.geoderma.2004.12.018
- Mikutta R., Kleber M., Kaiser K., Jahn R. - "Review : Organic Matter Removal from Soils using Hydrogen Peroxide" - *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 69, pp. 120–135 - 2005, doi: 10.2136/sssaj2005.0120
- Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer - "Réseau national de surveillance de la qualité des eaux et des sédiments des ports maritimes : Bilan du Répom" - aout 2009
- Minocha A. K., Jain N., Verma C. L. - "Effect of inorganic materials on the solidification of heavy metal sludge." - *Cem. Concr. Res.*, vol. 33, no. 10, pp. 1695–1701 - Oct. 2003, doi: 10.1016/S0008-8846(03)00146-7
- Mymrin V., Stella J. C., Scremim C. B., Pan R. C. Y., Sanches F. G., Alekseev K., Pedroso D. E., Molinetti A., Fortini O. M. - "Utilization of sediments dredged from marine ports as a principal component of composite material," *J. Clean. Prod.*, vol. 142, pp. 4041–4049 - Jan. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.10.035.
- Noll K. E., Haas C. N. , Patterson J. W., "Recovery, recycle and reuse: Of hazardous waste," *J. Air Pollut. Control Assoc.*, vol. 36, no. 10, pp. 1163–1168, 1986, doi: 10.1080/00022470.1986.10466165
- Oh H., Lee J., Banthia N., Talukdar S.- "An Experimental Study of the Physicochemical Properties of a Cement Matrix Containing Dredged Materials," *Mater. Sci. Appl.*, vol. 02, no. 07, pp. 847–857 - 2011, doi: 10.4236/msa.2011.27115
- Paria S. and Yuet P. - "Solidification-stabilization of organic and inorganic contaminants using portland cement: a literature review" - *Environ. Rev.* – 2006
- Rodríguez O., Kacimi L., López-Delgado A., Frías M., Guerrero A, - "Characterization of Algerian reservoir sludges for use as active additions in cement: New pozzolans for eco-cement manufacture," *Constr. Build. Mater.*, vol. 40, pp. 275–279 - 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.10.016

- Rozière E., Samara M., Loukili A., Damidot D. - "Valorisation of sediments in self-consolidating concrete: Mix-design and microstructure"- *Constr. Build. Mater.*, vol. 81, pp. 1–10 - Apr. 2015 - doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.01.080
- Satone H., Mamiya T., Mori T, Tsubaki J. - "Solidification mechanism of the sediment formed by particle settling—analysis of the final state of the sediment" - *Advanced Powder Technology* - january 2009 - doi.org/10.1016/j.appt.2008.10.002
- Scrivener K. L., Juilland P., Monteiro P. J. M. - "Advances in understanding hydration of Portland cement," *Cement and Concrete Research*, vol. 78. Elsevier Ltd, pp. 38–56 - Dec. 01, 2015, doi: 10.1016/j.cemconres.2015.05.025.
- SETRA - Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière - Évaluation environnementale - mars 2011
- Sora I. N., Pelosato R., Botta D., Dotelli G. - "Chemistry and microstructure of cement pastes admixed with organic liquids" - *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 22, no. 9–10, pp. 1463–1473 -2002
- Theng B. K. G., Ristori G. G., Santi C. A., Percival H. J. - "An improved method for determining the specific surface areas of topsoils with varied organic matter content, texture and clay mineral composition" - *Eur. J. Soil Sci.*, vol. 50, no. 2, pp. 309–316 - Jul. 1999, doi: 10.1046/j.1365-2389.1999.00230.x
- VNF - Circulaire technique : Dragages et gestion des sédiments - Document interne (mise à jour 22/02/2017)
- VNF - Guide dragage - Mai 2014 - Document interne
- VNF - Opérations de dragage. Circulaire technique. Février 2012
- Xu Y., Yan C., Xu B., Ruan X., Wei Z. - "The use of urban river sediments as a primary raw material in the production of highly insulating brick" - *Ceram. Int.*, vol. 40, no. 6, pp. 8833–8840 - Jul. 2014, doi: 10.1016/j.ceramint.2014.01.105
- Zeraoui A., Benzerzour M., Maherzi W., Mansi R., Abriak N.-E. - "New software for the optimization of the formulation and the treatment of dredged sediments for utilization in civil engineering"- *J. Soils Sediments 2020 206*, vol. 20, no. 6, pp. 2709–2716 - Apr. 2020, doi: 10.1007/S11368-020-02605-3
- Zgheib S. - "Flux et sources de polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire" - *Hydrologie. Ecole des Ponts ParisTech* - 2009

10. ANNEXE : FICHES PROJETS DE VALORISATION

SEDITERRA	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : SEDITERRA - LIGNES DIRECTRICES POUR LE TRAITEMENT DURABLE DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE DE L'AIRE MARITTIMO Acronyme : SEDITERRA
	Informations financières : Budget : 1,85 millions d'euros Financement : programme : FEDER - Programme INTERREG Italie-France Marittimo 2014-2020
	Chef de file : Département du Var (Fr) Partenariat : INSA de Lyon, Collectivité de Corse, ISPRa Livourne, Province de Pise, Région Autonome de Sardaigne, Université de Gènes
	Durée du projet : 44 mois Date de début : 01/03/2017 - Date de fin : 31/10/2020
	Objectifs du projet : Tester et mettre en oeuvre des solutions de prétraitement/traitement sur les sédiments dragués (Séparation granulométrique, Lavage ; Déshydratation par géotubes ; Mycoremédiation ; Pyrogazéification de fractions de fibres organiques) ; Aménager un centre de Recherche et Développement (R&D) en méditerranée.
	Sites et zones géographiques France, Italie – Régions méditerranéennes
Description du projet	S'inscrivant dans les objectifs définis dans la stratégie Europe 2020, le projet SEDITERRA valorise la production d'éco-matériaux issus de la gestion des sédiments. SEDITERRA propose la structuration opérationnelle de la gestion d'un nouveau déchet public : le déchet sédiment. L'objectif est de mutualiser les résultats d'expériences franco-italiennes via la mise en oeuvre et le suivi d'opérations pilotes de traitements et de valorisations menés à partir des sédiments des ports partenaires. SEDITERRA vise à élargir un processus de capitalisation par un échange de bonnes pratiques et une appropriation à échelle transfrontalière (Italie/France) permettant l'émergence d'une réglementation adaptée, et commune, de la gestion à terre des sédiments de dragage non-immersibles.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	SEDITERRA a permis d'analyser et de comparer deux modèles de gestion des sédiments de dragage : le modèle italien et le modèle français. Sur la base des nombreux échanges techniques et réglementaires menés entre les partenaires, des recommandations et des solutions techniques sous la forme d'un arbre décisionnel (<i>i.e.</i> Lignes directrices) dans ce double contexte technico-réglementaire franco-italien ont pu être formulées.
Retombées	SEDITERRA a permis d'analyser et de comparer deux modèles de gestion des sédiments de dragage : le modèle italien et le modèle français. Les expériences diverses en matière de traitements et de valorisations des sédiments de dragage ont pu être partagées entre les acteurs. Sur la base des nombreux échanges techniques et réglementaires menés entre les partenaires, des recommandations et des solutions techniques sous la forme d'un arbre décisionnel (<i>i.e.</i> Lignes directrices) dans ce double contexte technico-réglementaire franco-italien ont pu être formulées.
Pour plus d'informations	https://sediterra.net/fr/

SEDI VALD	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : SEDIments VALorisation Dangersité Acronyme : SEDI VALD
	Informations financières : Budget : 110 000 € HT Financement : co financements (80%) par Agence de l'Eau RMC, Région Sud PACA, ADEME PACA et CA Toulon Provence Méditerranée
	Chef de file : Porteur de projet Ecole des Mines ParisTech Sophia Antipolis (Laboratoire CRC) et ARMINES Partenaires sous-traitants <ul style="list-style-type: none"> PROVADEMSE, Institut Pasteur de Lille IPL, SGS Multilab, CETE Méditerranée Laboratoire Eurofins
	Durée du projet Date de début : 01/01/2011 - Date de fin : 30/09/2012
	Objectifs du projet : Études sur la caractérisation physico-chimique réglementaire des sédiments préalables au dragage et évaluation de la dangersité des déblais : <ul style="list-style-type: none"> La propriété HP14 – évaluation de la dangersité initiale : participation à la campagne nationale d'essais sur le protocole (menée par le BRGM) et propositions d'optimisation de la démarche La propriété HP15 – anticiper l'évolution de la dangersité : premier état des lieux de cette propriété dans le cadre de la gestion du « déchet sédiment » Les diagnostics environnementaux avant dragage nécessaires à la définition des modes de gestion et du potentiel de valorisation
	<i>NB : Le projet a utilisé les données issues du projet SEDI MARD83</i>
Sites et zones géographiques	Façade Méditerranéenne
Description du projet	Étude de la dangersité des sédiments dans le cadre d'une gestion à terre et mise en perspective des résultats d'analyses physico-chimiques réglementaires. Les analyses réalisées ont été effectuées en doublon afin d'appréhender l'effet laboratoire.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Certains sédiments étudiés à l'aide du protocole HP14 se sont révélés « déchets dangereux » alors qu'ils présentaient soit des niveaux de contamination très supérieurs à N2 soit de très faibles de contaminations pour les paramètres GEODE. Pour ces derniers cas, l'écotoxicité mesurée est liée à des molécules qui ne sont pas recherchées lors des phases préalables au dragage. Pour la propriété HP15, les études des traitements mis en oeuvre dans SEDI MARD augmentent systématiquement la toxicité des sédiments sans pour autant conduire à leur classement « dangereux », un premier screening pour cibler les traitements « à risque HP15 » a été effectué.
Retombées	Mise en évidence de la nécessité d'améliorer les méthodes de diagnostic préalable en couplant les données physico-chimiques et écotoxicologiques afin d'appréhender de manière réaliste la dangersité des sédiments dragués quelles que soit les filières de gestion ultérieures, marines ou terrestres.
Pour plus d'informations	Guide de réalisation du projet SEDI VALD téléchargeable en PDF sur le site CAP Sédiments http://www.cap-sediments.fr/ (Bibliothèque publique)

CLEANSED	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : Innovative integrated methodology for the use of decontaminated river sediments in plant nursing and road building Acronyme : LIFE CLEANSED
	Informations financières : Budget : 1 655 370,00 € Financement : programme Life+ 2007-2013
	Chef de file : Istituto per lo studio degli ecosistemi del Consiglio Nazionale delle Ricerche (Italie) Partenariat : <ul style="list-style-type: none"> • Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (Espagne), • Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa (Italie), • Istituto di Biometeorologia del Consiglio Nazionale delle Ricerche (Italie), • Navicelli S.p.a (Italie), Università di Firenze, Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agroalimentari e dell'Ambiente (Italie)
	Durée du projet : 30 mois Date de début : 01/10/2013 - Date de fin : 31/03/2016
	Objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> • Développement d'une approche multi-échelle de gestion durable des sédiments, Mise en place de méthodes de traitement adaptés • Valorisation des sédiments traités dans des pépinières et matériaux d'apport pour conservation de la biomasse • Valorisation en technique routière
Sites et zones géographiques	France, Espagne, Italie
Description du projet	Le projet prévoit une collaboration entre 03 pays européens pour une gestion, un traitement et une valorisation des sédiments de dragage. Les méthodes de traitement utilisées sont basées sur la phytotechnologie et/ou la bio-dégradation afin d'améliorer les propriétés des matériaux par élimination ou atténuation de la charge de pollution.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	<p>Le diagramme illustre l'échelle TRL de 1 à 9. Les étapes sont : TRL 1 (Observation des principes de bases), TRL 2 (Formulation du concept technologique), TRL 3 (Preuve expérimentale du concept), TRL 4 (Validation de la technologie en laboratoire), TRL 5 (Validation de la technique dans un environnement pertinent), TRL 6 (Démonstration dans un environnement pertinent), TRL 7 (Démonstration dans un environnement opérationnel), TRL 8 (Système complet et fonctionnel), TRL 9 (Succès des missions / opérations). Les piliers de soutien sont : Recherche fondamentale (TRL 1-2), Pilier 1 : Recherche technologique (TRL 2-5), Pilier 2 : Démonstrateur (TRL 5-8), et Pilier 3 : Compétitivité (TRL 8-9).</p>
Résultats	Les résultats montrent que la phytotechnologie est efficace pour le traitement des sédiments. Elle conduit à démunie la toxicité de ces derniers, mais présente l'inconvénient d'être long (> 2 ans). Le projet a également permis de valoriser un gros volume de sédiments dans une route de 100m de long.
Retombées	Mise en place d'ouvrage, Développement de méthodes de traitement
Pour plus d'informations	http://www.lifecleansed.com/en

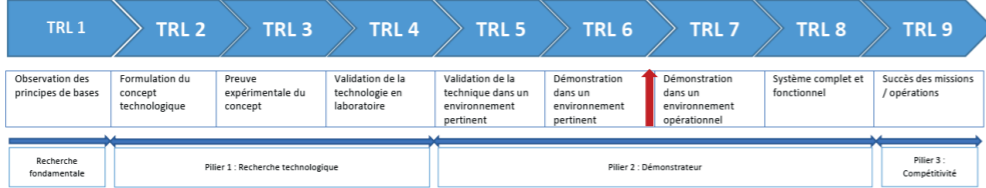
SEDIFLUV	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : valorisation des SEDiments FLUViaux sur site dans un contexte de développement durable Acronyme : SEDIFLUV
	Informations financières : Budget : - € Financement : programme : CPER, Région
	Chef de file : CEREMA Partenariat : Région Île-de-France, Clamens, Voies Navigables de France (VNF)
	Durée du projet : 36 mois Date de début : 2016 - Date de fin : 2019
	Objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> • Valorisation de sédiments dans le béton et produits de terre cuite • Démontrer la faisabilité de construction d'éléments de plateformes logistiques portuaires, des éléments préfabriqués (bordures, pavés) et de briques à partir de matériaux formulés avec des sédiments prélevés sur site • Intégration d'une étude socio-économique
Sites et zones géographiques	France
Description du projet	Le projet SEDIFLUV avait pour but d'identifier les solutions technico-économiques et environnementales optimales pour une valorisation de sédiments. Il s'agira de démontrer la faisabilité de réutilisation de sédiments lors de la mise en œuvre d'éléments de construction. Différents types de matériaux sont concernés, dont en particulier ceux utilisés au sein des matériaux cimentaires pour les ouvrages d'art et bitumineux pour les réseaux d'infrastructures routières.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	<p>Le diagramme illustre l'échelle TRL de 1 à 9. Les étapes sont : TRL 1 (Observation des principes de bases), TRL 2 (Formulation du concept technologique), TRL 3 (Preuve expérimentale du concept), TRL 4 (Validation de la technologie en laboratoire), TRL 5 (Validation de la technique dans un environnement pertinent), TRL 6 (Démonstration dans un environnement pertinent), TRL 7 (Démonstration dans un environnement opérationnel), TRL 8 (Système complet et fonctionnel), TRL 9 (Succès des missions / opérations). Les piliers de soutien sont : Recherche fondamentale (TRL 1-2), Pilier 1 : Recherche technologique (TRL 2-5), Pilier 2 : Démonstrateur (TRL 5-8), et Pilier 3 : Compétitivité (TRL 8-9).</p>
Résultats	Le projet a reposé sur des expérimentations réalisées en laboratoire et sur site à partir de matériaux extraits en région Île-de-France. Il vise aussi collecter des données relatives aux matériaux étudiés et à accompagner la mise en œuvre d'éléments à taille réelle et les instrumenter pour la filière béton et de taille réduite pour la filière terre cuite. Ainsi des bétons préfabriqués non structurels de types pavés et bordures ont été produits.
Retombées	Mise en place de Pilote, Fabrication de produits (Briques de construction, Béton), mise en place de base de données
Pour plus d'informations	https://www.cerema.fr/fr/innovation-recherche/recherche/projets/mise-oeuvre-methodologie-economiquement-viable-valorisation

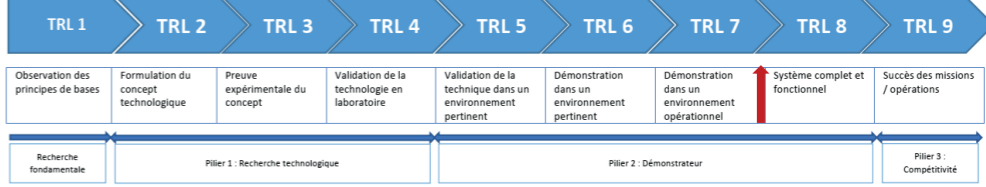
SEDIBRIC	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : valorisation de SEDiments en BRIQues et tuiles Acronyme : SEDIBRIC
	Informations financières : Budget : 972 000 € Financement : <u>programme</u> : Financement région Normandie + ADEME
	Chef de file : FFFTB, CTMNC Partenariat : <ul style="list-style-type: none"> Le Grand Port Maritime du Havre (GPMH) – Coordinateur du projet, Le Grand Port Maritime de Rouen (GPMR), L'école Mines ParisTech (Centre de Géosciences), Le Centre de conseil et d'innovation en logistique – CRITT Transport & Logistique, L'Université du Havre (UMR – Laboratoires Ondes & Milieux Complexe), Université de Caen Normandie (EA 4651 Aliments Bioprocédés Toxicologie Environnements)
	Durée du projet : 36 mois Date de début : 2018 - Date de fin : 2021
	Objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> Valorisation des sédiments dans les filières brique pour la construction Mise en place d'un pilote préindustriel Intégration d'une étude socio-économique
	Sites et zones géographiques
Description du projet	Le projet SEDIBRIC vise l'étude et la valorisation des sédiments argileux dans les filières brique pour la construction. Le projet repose sur 05 axes et utilisera les sédiments de dragage provenant des ports du Havre et de Rouen pour les filières des tuiles et briques sur l'axe Seine via la mise en place un pilote pré-industriel s'appuyant sur des produits en terre cuite. Ce projet a pu prendre pied grâce à l'Appel à Manifestation d'Intérêt « Transition énergétique et valorisation économique » du Contrat de Plan Interrégional État-Régions Vallée de la Seine.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Le projet SEDIBRIC qui est toujours en cours d'exécution permettra in fin de mettre en place un pilote pré-industriel capable de fabriquer des briques et tuiles de terre cuite à base de sédiments. Pour arriver à cette finalité, des étapes de prise en compte de la variabilité des sédiments et de son influence, ainsi que de leur évolution, la formulation/fabrication et validation des produits existent dans le projet. Parallèlement, une étude d'impact socio-économique est aussi menée.
Retombées	Compréhension des mécanismes et paramètres majeur entrant en compte lors de la valorisation de sédiments pour la filière brique
Pour plus d'informations	https://www.portdufutur.fr/sites/portdufutur/files/fichiers/2019/02/SEDIBRICbourdin.pdf

PRISMA	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : Promoting Integrated Sediment Management Acronyme : PRISMA
	Informations financières : Budget : 6 408 452 € Financement : <u>programme</u> : FEDER INTERREG IVA "2 Mers Seas Zeeën"
	Chef de file : Buck Consultants International (B) Partenariat : Waterways and Sea Canal (B), Broads Authority (UK), Water Board of Schieland and Krimpenerwaard (NL) and Armines acting through Centre de Douai (FR)
	Durée du projet : 36 mois Date de début : 01/05/2011 - Date de fin : 01/06/2014
	Objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> Développement d'outils de gestion des sédiments Management expérimental et numérique des sédiments Mise en place de méthodes de traitement optimisées
Sites et zones géographiques	France, Belgique, UK
Description du projet	Le projet PRISMA est un projet INTERREG visant à développer des méthodes et technique de gestion, de management et d'optimisation de l'utilisation des sédiments de dragage. Le projet repose sur 03 axes : Amélioration des processus de dragage, Développement de méthodes de traitement, mise en place d'outils et d'actions en faveur de la réutilisation efficace des sédiments.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Le projet a permis le développement et la mise en place d'un outil de gestion optimisée des sédiments. L'outil en question est un logiciel fournissant une solution rapide et optimisée pour le traitement de sédiments. Il permet de disposer d'une proposition de solution optimisée ainsi pour une valorisation du traitement opéré à l'application finale, tout en tenant compte (au mieux) des aspects environnementaux, technico-économiques relatifs aux sédiments. Le projet a permis aussi de réaliser en Belgique des ouvrages de protection de type digues.
Retombées	Mise en place d'outils numérique d'optimisation de la valorisation des sédiments, consolidation de base de données sédiments
Pour plus d'informations	http://www.ovale-solutions.com/index.php/fr/nos-projets/prisma

SEDICIM	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	<u>Nom complet</u> : Valorisation des sédiments de dragage dans l'industrie cimentaire <u>Acronyme</u> : SEDICIM
	<u>Informations financières</u> : <u>Budget</u> : 5 200 000 € <u>Financement</u> : <u>programme</u> : FEDER
	<u>Chef de file</u> : EQIOM <u>Partenariat</u> : IMT Nord Europe, Neo-Eco
	<u>Durée du projet</u> : 48 mois <u>Date de début</u> : 01/11/2018 - <u>Date de fin</u> : 31/12/2022
	<u>Objectifs du projet</u> : <ul style="list-style-type: none"> • Valorisation des sédiments dans l'industrie cimentaire • Validation industrielle et ouvrages pilotes • Mise en place d'un laboratoire de suivi environnemental
Sites et zones géographiques	France
Description du projet	L'objectif de ce projet est d'étudier la possibilité d'intégrer des sédiments de dragage dans un process de fabrication de liant hydraulique. Deux voies de valorisation sont étudiées : l'intégration de sédiments en cru de cimenterie (aujourd'hui constitué de matériaux provenant de carrières) et la valorisation des sédiments en tant qu'additifs minéraux après traitement thermique.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats (en cours)	La caractérisation des sédiments a montré leur compatibilité avec une valorisation en cimenterie. Du clinker contenant des sédiments a pu être fabriqué industriellement et celui-ci a présenté les mêmes phases minéralogiques qu'un clinker traditionnel. Le traitement thermique par calcination flash sur les sédiments du projet a montré une activation des sédiments. Les différents produits fabriqués avec les liants contenant des sédiments ne montrent pas d'impact environnemental néfaste par comparaison aux produits témoins réalisés à base de liants traditionnels. La fabrication des pilotes expérimentaux n'a pas montré de difficultés particulières concernant la mise en œuvre des produits. Le suivi mécanique et environnemental des pilotes est en cours.
Retombées	Développement de plusieurs produits et liants pour l'industrie cimentaire. L'étude technico-économique permet de s'assurer de la viabilité de la filière envisagée, et des problématiques techniques et industrielles à prioriser.
Pour plus d'informations	https://ecoseddigital.wp.imt.fr/sedicim/

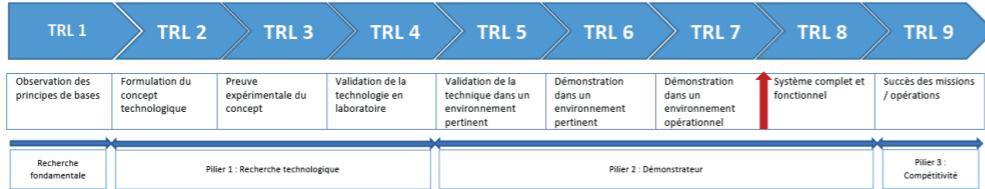
VAL'AGRO	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	<u>Nom complet</u> : VALorisation AGROnomique des sédiments fluviaux <u>Acronyme</u> : VALAGRO
	<u>Informations financières</u> : <u>Budget</u> : 1 500 000 € <u>Financement</u> : <u>programme</u> : FEDER
	<u>Chef de file</u> : BAUDELET ENVIRONNEMENT <u>Partenariat</u> : l'Université d'Artois, La communauté urbaine d'Arras, IMT Nord Europe, Le Groupe Baudalet, LFB Biotechnologies, La Région Hauts-de-Franc
	<u>Durée du projet</u> : 36 mois <u>Date de début</u> : 01/11/2016 - <u>Date de fin</u> : 31/10/2019
	<u>Objectifs du projet</u> : <ul style="list-style-type: none"> • Valorisation des sédiments pour amendement agricole • Favoriser la valorisation agronomique en support de végétalisation des sédiments fluviaux non inertes non dangereux. • Développement de synergies territoriales intelligentes.
Sites et zones géographiques	France
Description du projet	Le projet VAL'AGRO sous pavillon SEDIMATERIAUX développe une nouvelle filière de valorisation des sédiments fluviaux non dangereux pour la reconstitution de sols en milieux dégradés. Le projet a ciblé deux applications : formulation de « substrats de végétalisation » et de réalisation de « remblais ».
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Après une première phase de caractérisation, chaque lot de sédiments a été préparé pour sa structuration et sa décontamination (amendement en compost, phase de retournement pour aération et séchage, bio-traitement, etc.). VAL'AGRO a démontré la faisabilité technique de la reconstitution de substrats favorables en vue du développement d'une couverture végétale sur des espaces écologiques perturbés. Il a été aussi établi l'innocuité environnementale et sanitaire lors de la réutilisation des sédiments à échelle réelle.
Retombées	Compréhension des principes à respecter pour l'utilisation en amendement agricole des sédiments, et processus de végétalisation, application du biotraitement dans un projet important.
Pour plus d'informations	https://www.sedilab.com/portfolio-item/valagro/

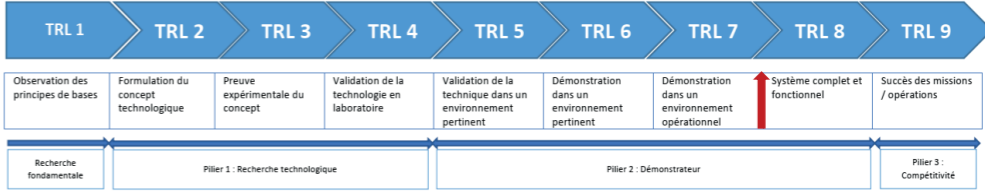
SEDIASPHALTE	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : Valorisation des sédiments de dragage dans les asphaltes d'étanchéités Acronyme : SEDIASPHALTE
	Informations financières : Budget : 5 300 000 € Financement : programme : FEDER
	Chef de file : NORD-ASPHALTE – IMT Nord Europe Partenariat :
	Durée du projet : 49 mois Date de début : 01/06/2018 - Date de fin : 31/05/2022
	Objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> Valorisation des sédiments dans les asphaltes d'étanchéité (6 applications) Substitution de granulats naturels par les sédiments optimisés Validation industrielle des résultats scientifique
	Sites et zones géographiques
Description du projet	Le projet consiste en l'évaluation et la démonstration du potentiel de valorisation des sédiments dans différentes formulations d'asphaltes pour diverses applications. L'objectif est de mettre au point plusieurs formulations permettant de fabriquer différents types de matériaux selon des critères physiques, mécaniques et environnementaux variés pouvant répondre aux besoins en matériaux d'étanchéité de divers secteurs d'activités.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats (en cours)	Lors des phases à échelle laboratoire, l'IMT Lille-Douai a travaillé sur des formulations d'asphaltes incorporant des sédiments de dragage. A fin juin 2020, les résultats ont permis de montrer qu'il était possible d'obtenir des asphaltes intégrant dans leur composition a minima 20% de sédiments de dragage. Ces sédiments sont répartis, selon la granulométrie dans deux éléments composant le squelette de l'asphalte : les fillers (0 à 125µm) et les granulats (sables). Un traitement par biotraitement (Biosynergie®) permettra de réduire la teneur en matières organiques et visera à améliorer la compatibilité du sédiment aux formulations d'asphalte ; et donc de pouvoir augmenter un taux d'incorporation jusqu'à 70%, déjà satisfaisant (un traitement in situ est à l'étude).
Retombées	Valorisation inédite des sédiments dans les asphaltes d'étanchéité. Développement d'une nouvelle filière. Couplage étude scientifique et industrielle.
Pour plus d'informations	https://ecoseddigital.wp.imt.fr/sediasphalte/

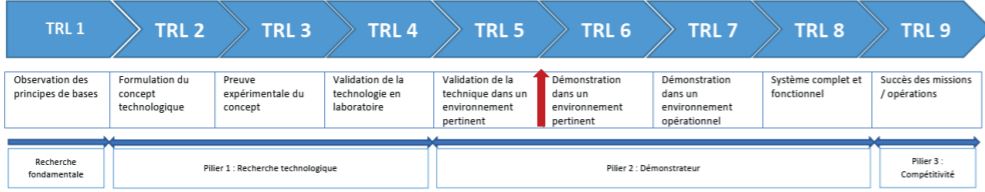
SEDIMEL	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : Valorisation des sédiments de dragage de la MEL Acronyme : SEDIMEL
	Informations financières : Budget : 4 300 000 € Financement : programme : FEDER
	Chef de file : MEL Partenariat : NEO-ECO – CERIB – LIB INDUSTRIES – EUROVIA – JEAN LE FEBVRE – COLAS - SEDILAB
	Durée du projet : 84 mois Date de début : 01/06/2013 - Date de fin : 31/06/2020
	Objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> Valorisation des sédiments pour la fabrication d'hydrocycls Fabrication d'un coulis autocompactant pour du remblayage de tranchée Réalisation de trois ouvrages
	Sites et zones géographiques
Description du projet	Le projet SEDIMEL étudie la valorisation des sédiments de la Métropole Européenne de Lille (MEL), avec des applications concrètes pour la réalisation d'ouvrages. La fabrication d'hydrocycls destinés à des chaussées réservoir et de coulis de remblaiement ont été prévus. Le choix des filières de valorisation a été fait en fonction des caractéristiques des sédiments de la MEL et des besoins de matériaux de construction pour des travaux d'aménagement engagés sur son territoire.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Le projet SEDIMEL a permis de valoriser plus de 500 tonnes de sédiments de dragage. Les ouvrages réalisés concernent la création de 02 bassins de tamponnement en modules de béton creux (Tourcoing et Leers) ; Réalisation d'un Remblais de tranchée d'assainissement en coulis autocompactant à base de sédiments (Bondues). Afin de mesurer l'impact mécanique et environnemental de ces ouvrages à base de sédiments, des témoins avec des matériaux naturels classiquement utilisés seront réalisés pour établir une étude comparative entre les 2 matériaux.
Retombées	Mise en place d'un démonstrateur en zone urbaine (avec différentes problématiques liées aux Hydrocycls, Coulis auto-compactant, Ouvrages, Remblaiement), valorisation d'un volume conséquent de sédiments
Pour plus d'informations	https://www.sedilab.com/portfolio-item/sedimel/

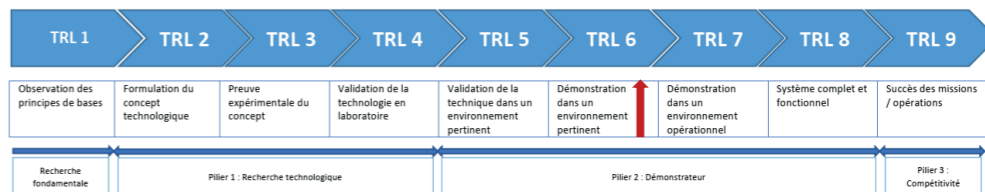
NEOBLOCK	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : Nouvelle approche de valorisation des sédiments par voie hydrothermale. Acronyme : NEO'BLOCK
	Informations financières : Budget : 2 027 696 € Financement : programme : FEDER
	Chef de file : NEO-ECO – IMT Nord Europe Partenariat :
	Durée du projet : 48 mois Date de début : 01/06/2018 - Date de fin : 31/05/2022
	Objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> • Valorisation des sédiments de dragage par la voie hydrothermale • Fabrication de blocs, dalles, briques de construction • Fabrication du premier béton cellulaire autoclavé à base de sédiments de dragage portuaire (65 à 70% en masse de la matrice solide)
Sites et zones géographiques	France
Description du projet	Le projet NEO'BLOCK a pour but d'étudier la valorisation des sédiments de dragage par la voie hydrothermale pour la réalisation de produits allégés. Il est aussi l'occasion d'étudier la co-valorisation avec d'autres déchets granulaires : sables de déconstruction, mâchefers d'incinération (MIDND), scories Waelz, sables de fonderie. Des pistes prometteuses en termes de compatibilité entre les sédiments et ces déchets granulaires ont notamment été détectées, mais les développements doivent être approfondis.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Le projet NEO'BLOCK est en cours et se poursuit jusqu'en 2022. Dans le cadre du projet NEO'BLOCK, les pavés autobloquants développés à base de sédiments portuaires GPMD intègrent moins de 6% de ciment, ceci grâce à la réactivité des sédiments micronisés (broyés finement). Ce qui permettra de minimiser le coût et avoir un effet sur l'impact environnemental de tels produits. Le projet prévoit de réaliser aussi trois pilotes expérimentaux constitués de près de 200 pavés autobloquants. Des unités de parpaings, dalles et briques seront également fabriquées.
Retombées	Exploration d'une nouvelle technique de valorisation par la voie hydrothermale, mise en place de démonstrateurs à échelle réelle
Pour plus d'informations	https://ecoseddigital.wp.imt.fr/neoblock/

VALSE	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : Nouvelles ressources transfrontalières : vers une validation de scénarii de valorisation de sédiments et autres matériaux Acronyme : VALSE
	Informations financières : Budget : 4 157 724 € Financement : programme : FEDER Interreg France-Wallonie-Vlaanderen 2014-2020
	Chef de file : ISSeP (B) Partenariat : <ul style="list-style-type: none"> • ARMINES, BRGM, INERIS, DGO2 - Direction des Recherches hydrauliques, Université Lille 1, Centre Terre et Pierre, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Douai, VNF - Voies Navigables de France, Vito
	Durée du projet : 48 mois Date de début : 01/01/2016 - Date de fin : 31/12/2019
	Objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> • Renforcement des techniques et principes de valorisation des matières telles que les sédiments et terres excavées • Exécution d'ouvrages pilotes (buttes, piste cyclable) • Étude de faisabilité et intégration des problématiques locales
Sites et zones géographiques	France, Belgique
Description du projet	Le projet VALSE contribue à poser des bases solides en matière de réutilisation de matériaux granulaire de type sédiments et terres excavées. Ceci par une prise en compte de l'historicité des matériaux, leur impact sur les milieux, l'optimisation des méthodes et procédés. La finalité du projet VALSE tend vers l'opérationnalité par la valorisation en vraie grandeur.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Le projet VALSE a favorisé une dynamique de gestion économique, environnementale, sociétale des matières avec une approche orientée local. Il vise aussi à mettre en œuvre des process, outils (pXRF, Raman, FTIR, échantillonneurs passifs, électrodes, ...), et méthodes par le développement des matériaux de construction valorisés dans le but de créer une chaîne de valeur. La butte paysagère réalisée est continue également d'être suivie.
Retombées	Réalisation d'ouvrages, Mise en place d'outils de caractérisation environnementale, renforcement des partenariats européens
Pour plus d'informations	https://valse.info/

USAR	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	<p>Nom complet: Using Sediment As a Resource Acronyme : USAR</p>
	<p>Informations financières : Budget : 4 821 010 € Financement : programme : FEDER Interreg 2 Seas Mers Zeeën 2014-2020</p>
	<p>Chef de file: Regional Water Authority of Schieland and Krimpenerwaard (NL) Partenariat :</p> <ul style="list-style-type: none"> Waterways and Seacanal (B), Westcountry Rivers Trust (UK), ARMINES (FR)
	<p>Durée du projet : 48 mois Date de début : 01/03/2016 - Date de fin : 30/04/2020</p>
	<p>Objectifs du projet :</p> <ul style="list-style-type: none"> Mise en place d'outils numériques de gestion intégrée des sédiments Optimisation du management des sédiments Valorisation des sédiments dans des ouvrages à échelle 1 Consolider les pratiques transeuropéens d'étude, de caractérisation et de valorisation des sédiments
Sites et zones géographiques	France, Belgique, Grande Bretagne
Description du projet	Le projet USAR vise la mise en place d'outils digitaux de gestion et de valorisation des sédiments. La conception de ces outils est basée sur une meilleure connaissance des pratiques de réutilisation des sédiments chez les différents partenaires, ainsi que la prise en compte des paramètres généraux locaux ainsi que des aspects logistiques, réglementaires et économiques. Il vise aussi à renforcer les possibilités de valorisation des sédiments dans les ouvrages.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Le projet a permis de dresser un inventaire conséquent en matière de volumétrie, de disponibilités, de pratiques de dragage et de management des sédiments en France, Belgique et en Grande Bretagne. Les outils opérationnels mis en place permettent d'améliorer les principes de valorisation. Des volumes importants de sédiments ont pu être optimisés puis valorisés dans des ouvrages pilotes réalisés et suivis concomitamment.
Retombées	Valorisation dans les ouvrages pilotes, Développement d'outils numériques opérationnels, renforcement de la coopération scientifique et technique entre pays européens.
Pour plus d'informations	https://www.interreg2seas.eu/en/usar-imt-lille-douai-armines

SEDIMARD 83	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	<p>Nom complet : Sédiments Marins Dragés du Var Acronyme : SEDIMARD 83</p>
	<p>Informations financières : Budget : 1 800 000 € Financement : programme : CD83, Agence de l'eau (AERMC), Région PACA, ADEME</p>
	<p>Chef de file : CD VAR Partenariat :</p> <ul style="list-style-type: none"> Marine Nationale (Arsenal de Toulon) ; Chambre de Commerce et d'Industrie du Var (Port de St Mandrier et de Brégaillon) ; Le Conseil Général des Alpes Maritimes (Port de Cannes) ; La Communauté Urbaine de Marseille Provence Métropole (Port de Marseille) ; Le Conseil Général du Finistère (Port du Guilvinec) ; La Région Emilia Romagna (Port de Ravenna) ; La commune de Bandol (Port de Bandol) ; La commune de Sanary (Port de Sanary) ; La commune du Lavandou (Port du Lavandou).
	<p>Durée du projet : 36 mois Date de début : 2006 - Date de fin : 2009</p>
	<p>Objectifs du projet :</p> <ul style="list-style-type: none"> Étude et caractérisation de sédiment pour une valorisation Développement d'outils d'évaluation Mise en place de bassins de bioremédiation Mise en place d'une plateforme industriel de traitement (1ha)
Sites et zones géographiques	France
Description du projet	Le projet s'appuie sur 04 axes : Caractérisation, Mise en place d'un protocole de dangerosité, Mise en place d'un pilote industriel et Identification de la pertinence des filières terrestres de gestion. Il vise ainsi à identifier les premiers éléments de réponses opérationnelles locales à la problématique nationale de gestion des sédiments avec prise en compte de leurs variétés.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Le projet a mis en évidence la pertinence d'un traitement adapté à des sédiments à la suite des études de caractérisation détaillées sur plusieurs typologies de sédiments. Les techniques de traitement testés par déshydratation mécanique, traitement chimique (avec procédé Novosol), ou traitement thermique par calcination, ont montré toute leur pertinence et leur intérêt. Les limites de ces méthodes ont pu aussi être mis en évidence.
Retombées	Mise en place d'un outil opérationnel pilote, création d'une chaîne de valeur
Pour plus d'informations	https://sediterra.net/storage/doc/GR-SEDIMARD-83.pdf

SEDIMED	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : Filières de valorisation des sédiments marins méditerranéens Acronyme : SEDIMED
	Informations financières : Budget : 8,9 millions € Financement : FUI, Collectivités territoriales, ADEME, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée
	Chef de file : ENVISAN France Partenariat : ARMINES/Ecoles des Mines, INERIS, CEREMA, COLAS, ERG Environnement
	Durée du projet : 72 mois Date de début : 2010 - Date de fin : 2017
	Objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> Essais de valorisations terrestres de sédiments marins dragués Suivis des performances géotechniques et environnementales des prototypes réalisés (route – butte paysagère - béton) Accompagnement et validation réglementaire Créer un démonstrateur en zone portuaire (CPEM ENVISAN)
Sites et zones géographiques	France
Description du projet	Le projet a consisté à mener une étude des possibilités de valorisation de sédiments dragués dans 3 catégories d'ouvrages : butes paysagères, route, bloc béton. L'étude laboratoire préalable définissait les propriétés des matériaux et éventuellement les traitements à mettre en œuvre pour élaborer les écomatériaux. Les écomatériaux élaborés ont ensuite été suivis in situ sur une durée représentative d'une année.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Les sédiments sélectionnés ont présenté après préparation, les caractéristiques adaptées aux filières de valorisation envisagées. La valorisation en technique routière, à hauteur de 30% de sédiments dans les routes et de 100% dans les buttes paysagères, a permis de réaliser des ouvrages aux performances satisfaisantes. Cela fut de même pour les filières béton. Le projet a également permis la création d'un centre de traitement et de valorisation de terres et sédiments non-immérgeables à la Seyne-Sur-Mer (CPEM ENVISAN : Centre de Production d'Ecomatériaux). C'est une installation entièrement adaptée (dalle béton étanche, station de traitement des eaux) pour tester les possibilités de valorisation des sédiments en éco matériaux et produits durables.
Retombées	Création du CPEM, création d'emplois et d'une filière
Pour plus d'informations	<ul style="list-style-type: none"> https://www.polemermediterranee.com/Activites-Projets/Ports-logistique-et-transport-maritime/SEDIMED https://www.polemermediterranee.com/Actualites/News/Envisan-lance-la-construction-de-son-Centre-de-Production-d-Eco-Materiaux

SETARMS	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : Sustainable Environmental Treatment and Reuse of Marine Sediment Acronyme : SETARMS
	Informations financières : Budget : 5,2 millions € Financement : programme : Interreg IVA Francia (Manche) - Angleterre
	Chef de file : Partenariat : <ul style="list-style-type: none"> ARMINES, Conseil Général des Côtes d'Armor, IMT Nord Europe, ESITC Caen, EUROVIA, Grand Port Maritime du Havre - GPMH, LASEM Cherbourg, Ports Normands Associés - PNA, Université de Brighton, Université de Caen, Université d'Exeter
	Durée du projet : 48 mois Date de début : 2009 - Date de fin : 2013
	Objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> Étude et caractérisation de sédiment pour une valorisation Mise en place d'outils économiques et réglementaires Création d'ouvrages pilotes et suivi
Sites et zones géographiques	France, Angleterre
Description du projet	Le projet s'inscrit dans une démarche globale d'étude et de valorisation des sédiments et créer un pôle d'excellence scientifique dans le domaine, autour de la manche. Il prévoit aussi de réaliser une caractérisation fine au niveau géochimique et géotechnique. La valorisation efficace de ces matériaux en technique routière a ainsi faite grâce à une optimisation de l'ensemble des paramètres matériaux. La fiabilité économique et environnementale a aussi été étudiée.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Le projet s'étant appuyé sur les démarches et projets issus SEDIMAR, SEDIGEST et la démarche SEDIMATERIAUX a permis d'obtenir des résultats intéressants et le renforcement de l'expertise déjà obtenue dans le domaine. Les travaux de caractérisation et de traitement ont permis de développer des matériaux performants pour une valorisation en technique routière. Les portions de route de longueur maximale 20m ont ainsi été mis en place sont réalisés avec un liant hydraulique routier adapté, l'utilisation d'un correcteur granulométrique et un sable de dragage.
Retombées	Renforcement du partenariat outre-manche, meilleure connaissance des techniques et propriétés, outils mis en œuvre pour la valorisation des sédiments en technique routière.
Pour plus d'informations	https://www.setarms.org/index.php

VALODIGUE	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : Valorisation de sédiments dans les ouvrages de lutte contre les inondations Acronyme : VALODIGUE
	Informations financières : Budget : 292 248 € Financement : programme : Région des Hauts de France, ADEME, Neo Eco, IMT NE
	Chef de file : Communauté d'Agglomération du Pays de Saint-Omer (CAPSO) Partenariat : <ul style="list-style-type: none"> Région des Hauts de France, ADEME, Neo Eco, IMT NE
	Durée du projet : 48 mois Date de début : 2017 - Date de fin : 2020
	Objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> Valorisation de sédiments en construction de digues Qualification de sédiments Formulation d'un éco-matériau de digue à base de sédiment et suivi environnementales
Sites et zones géographiques	France
Description du projet	Le projet a visé l'étude et la valorisation des sédiments du canal de Neufossé en construction de digue. Le projet a étudié la valorisation en couverture et en noyau de digue, avec 23500 m ³ de sédiments dragués prévus à termes. Les matériaux ainsi que les formulations doivent répondre à des propriétés et caractéristiques physiques, chimiques et géotechniques notamment en termes de portance, perméabilité, etc. Dans son ensemble, le projet évalue donc la faisabilité technique et environnementale de la valorisation de ces sédiments fluviaux dans la filière des ouvrages de lutte contre les inondations.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Le projet VALODIGUE a permis d'identifier et lever les verrous pour poursuivre ces travaux d'étude de faisabilité de valorisation de sédiments à l'échelle laboratoire pour une réutilisation en noyau comme en couverture de digue. L'outil de suivi environnement a permis de montrer que l'utilisation des sédiments dans des proportions optimales à hauteur de 50% (en substitut des sables de carrière dans le noyau de digue) garantissait une innocuité environnementale en situation de percolation ou d'immersion.
Retombées	Validation scientifique et expérimentale de la valorisation de sédiments en ouvrage de protection, Renforcer la démarche territoriale en faveur de l'économie circulaire
Pour plus d'informations	https://www.sedilab.com/portfolio-item/valodigue-ouvrages-de-digues/

SEDIPARK	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : Valorisation des sédiments en voirie légère. Acronyme : SEDIPARK
	Informations financières : Budget : 1 100 000 € Financement : programme FEDER
	Chef de file : Partenariat : <ul style="list-style-type: none"> Université d'Artois, LGC gE, Groupe Lhotellier, LFB Biotechnologies, Cerema, Région Hauts-de-France
	Durée du projet : 36 mois Date de début : 01/10/2018 - Date de fin :
	Objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> Valorisation des sédiments de dragage en technique routière Utilisation des sédiments en couche de fondation et de roulement Inscription dans le cadre de la démarche SEDIMATERIAUX
Sites et zones géographiques	France
Description du projet	Le projet SEDIPARK a pour objectif d'étudier la valorisation des sédiments de dragage en voirie légère. Le projet incluant différents acteurs et expertises de la région des Haut de France. Les aspects liés aux processus industriels reproductibles et économiquement viables ont été également étudiés.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Le projet a permis l'utilisation des sédiments en voirie légère en couche de fondation et couche de roulement. Cette voirie sera de type parking. Le projet est toujours en cours et les résultats actuels ont déjà montré un potentiel fort des sédiments à une telle utilisation.
Retombées	Réalisation d'ouvrages, Prise en compte des aspects sociaux-économiques

SEDIPLAST	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : Conception d'un matériau composite sédiment-plastiques recyclés Acronyme : SEDIPLAST
	Informations financières : Budget : 1 217 000 € Financement : programme : FEDER
	Chef de file : Neo-Eco Partenariat : IMT Lille Douai, Armines
	Durée du projet : 48 mois Date de début : 01/11/2015 - Date de fin : 31/10/2019
	Objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> • Co-valorisation sédiments - matériaux plastiques • Fabrication de produits (haltères, pavés, etc.) par extrusion avec une charge minérale, des métaux recyclés et un liant plastique • Formulation d'eco-matériaux contenant 80 % de sédiments et 100 % de matériau recyclés
Sites et zones géographiques	France
Description du projet	Inscrit dans le cadre de la démarche SEDIMATERIAUX, le projet SEDIPLAST vise la fabrication de matériaux composites jusqu'à 100% recyclés. Cette nouvelle matière est conçue à base de sédiments non dangereux en mélange avec des plastiques issus du tri des déchets ou de résine. Le projet développe des éco-produits pour les revêtements de sol, en ce sens, les matériaux ont été classifiés selon des classements UPEC définis par des protocoles du CSTB.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Dans ce projet, 12 sédiments de nature variée (5 marins et 7 fluviaux) ont été étudiés. Plus de 12 formulations différentes contenant des thermodurcissables, matériaux thermoplastiques, etc. ont pu être testées. Un classement UPEC (usure, poinçonnement, tenue en eau, agent chimique) a pu être réalisé et a montré les performances intéressantes de certaines formulations.
Retombées	Les résultats du projet permettent à une société d'envisager la fabrication de pavés drainant en thermoplastique.
Pour plus d'informations	https://www.sedilab.com/portfolio-item/sediplast/

SEDICYCLE	
Fiche d'identité Présentation et objectifs	Nom complet : Valorisation des sédiments en piste cycle Acronyme : SEDICYCLE
	Informations financières : Budget : 770.000 € Financement : programme FEDER
	Chef de file : BECI Partenariat : <ul style="list-style-type: none"> • SYMOE, IMT Nord Europe, GPMD, Région des hauts de France, Université d'Artois, CEREMA Nord Picardie, DREAL
	Durée du projet : 48 mois Date de début : 2014 - Date de fin : 2018
	Objectifs du projet : <ul style="list-style-type: none"> • Évaluation de la quantité de sédiments incorporable dans une piste cyclable • Application de la démarche SEDIMATERIAUX et élaboration de bétons • Mise en place d'analyse environnementales et suivi
Sites et zones géographiques	France
Description du projet	Le projet prévoit la réalisation en Zone Industrielle de Grande Synthe (Département du Nord, 59) d'une piste cyclable de à base de sédiments. Il a la spécificité du Grand Port Maritime de Dunkerque. Ce qui donne voie à une véritable opportunité de valorisation des sédiments. Un certain nombre d'études ont été réalisées à échelle laboratoire pour valider la sélection des sédiments, les étapes de formulations, réalisation de planches expérimentales et suivi environnemental.
Positionnement au niveau de la chaîne de gestion Ou Position sur échelle TRL	
Résultats	Le projet a permis de démontrer que la valorisation des sédiments (à hauteur de 50% de la fraction sableuse) en voirie légère de type béton routier est pertinente tout en garantissant l'absence d'effet néfaste sur l'environnement. Le passage des planches en laboratoire au pilotes in situ a permis de tester la mise en œuvre et d'optimiser les formulations. Trois pilotes expérimentaux de 15 m conçus, réalisés et instrumentés sont suivis à long terme.
Retombées	Transfert technique et technologique, Interaction public-privé, Instrumentation, Mise en œuvre de la valorisation des sédiments dans les bétons
Pour plus d'informations	https://doczz.fr/doc/2427584/r%C3%A9alisation-d-une-piste-cyclable-%C3%A0-base-de-s%C3%A9diments-marins

« GESTION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE EN FRANCE : BILAN, PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS »

Sous la direction de :

Dr. Mouhamadou Amar
Pr. Mahfoud Benzerzour
Pr. Nor-edine Abriak

Avec les contributions de :

Dr. Erwan Tessier
Ilaria Franzetti Tivolle



COPRODD ETC

JUILLET 2022

