

*"Nous n'avons pas hérité la Terre de nos ancêtres
mais l'empruntons à nos enfants."* Antoine de Saint Exupéry



GUIDE DES REALISATIONS



SEDIMARD 83

L.SANNIER - I.TIVOLLE - J.MEHU - J.L.AQUA





SEDIMARD



FICHE DE LECTURE PAR LES MEMBRES DU COMITE DE LECTURE « CAP SEDIMENTS »

Type de recueil synthétique : Guide Réalisation

Date : **Mai 2013**

Intitulé : « GR SEDIMARD 83 »

Thématique : Travaux de Recherches et Développement sur la gestion terrestre des sédiments marins non immergeables.

Auteurs : **Laurent SANNIER, Jean-Luc AQUA**

Co-auteurs : **Jacques MEHU, Ilaria TIVOLLE**

Comité de lecture :

- Julie Ducros (représentante MEDDE - DGPR)
- Léa Gérard (représentante MEDDE - DEB)
- Gérard Bresson (Préfecture Maritime méditerranée)
- Patrick Vaillant (CETE Lyon)
- Yves Perrodin (ENTPE)
- Xavier Rasseneur (Conseil Général du Finistère)
- Nor Edine Abriak (Ecole des Mines de Douai)
- Pascal Grégoire (Grand Port Maritime de Dunkerque)
- Jean-Ulrich Mullot (LASEM - Marine Nationale)
- Didier Vanhack (Syndicat Mixte Port Toulon Provence)
- Jacques Mehu (INSA de Lyon)

Type de relecture : relecture sur conformité réglementaire, références bibliographiques et terminologiques.

Ce document reflète uniquement les opinions des auteurs. Le Ministère en charge de l'Ecologie ne saurait être tenu responsable de toute utilisation qui pourrait être faite des informations qui y sont contenues.



Avis et commentaires du comité de lecture :

Le comité de lecture précise que la valorisation de déchets stabilisés est interdite en France. Les traitements qui visent à l'élimination de la contamination doivent donc préférentiellement être mis en œuvre si une valorisation est visée.

Le Comité de lecture précise que le cadre réglementaire et méthodologique décrit dans le document est celui qui prévalait à la date de lancement du projet. Le lecteur est donc invité à s'informer sur le cadre réglementaire actuellement applicable avant de lancer son opération.

Site internet : www.cap-sediments.fr Mail de contact : contact@cap-sediments.fr

Photographies : E.M.D., Jean-Louis Loeuillard, Laurent Loubrieu, Marine Nationale, Pizzorno, PROFIDELIS

Conception et pagination : **PROFIDELIS**

Contact : M. Gilles VAUCOULEUR - Tél 09 66 90 39 89 - Mail contact@profidelis.fr



La présente maquette a été offerte gracieusement par la société PROFIDELIS, de façon à permettre aux contributeurs au projet CAP SEDIMENTS d'harmoniser les Guides et en faciliter la lecture. Pour autant, PROFIDELIS ne saurait voir son image, son professionnalisme et sa responsabilité mis en cause par une mauvaise utilisation par les contributeurs des règles de pagination proposées, par des erreurs de style, de syntaxes, de communication et plus généralement par une utilisation qui ne respecte pas les règles de l'art. Ainsi, chaque contributeur annonce assumer l'ensemble des textes, propos, visuels, liens, références et mises en page relatifs à son Guide de Réalisation ou à son Guide Thématique. La maquette et la pagination de ce Guide sont protégées par le régime du droit d'auteur. Toute reproduction réédition, modification ou redistribution est totalement interdite sans autorisation écrite de PROFIDELIS.



I. RESUME	4
II. CONTEXTE	
II.1 Problématique générale	5
II.2 L'exemple du Var	6
II.3 La gestion des sédiments, enjeux au regard du Développement Durable	7
II.4 Contexte réglementaire	8
III. OBJECTIFS	
III.1 Objectifs généraux	10
III.2 Structuration du projet en axes de travail	10
III.3 Objectifs détaillés par axe de travail	10
IV. ORGANISATION DU PROJET	
IV.1 Conseil Général du Var, porteur du projet	11
IV.2 Partenaires institutionnels	11
IV.3 Partenaires techniques	11
IV.4 Conseil Général du Var et Préfecture Maritime	13
IV.5 Groupe d'Experts Scientifiques	14
IV.6 Gouvernance et animation du projet	15
V. MOYENS MOBILISES	
V.1 Principaux prestataires mobilisés	16
V.2 Plateforme portuaire de la rade de Toulon	17
V.3 Outils et matériels de laboratoire	17
V.4 Equipe mobilisée pour la conduite du projet	24
V.5 Budget de l'opération	24
VI. DESCRIPTION DES TRAVAUX	
VI.1 Description des travaux par axe de travail	25
VI.2 Calendrier d'exécution	38
VII. PRINCIPAUX RESULTATS ET LIVRABLES	
VII.1 Résultats généraux	39
VII.2 Résultats au regard des objectifs détaillés	40
VII.3 Difficultés rencontrées	40
VII.4 Documents à l'issue du projet	51
XIII. CONCLUSIONS	
XIII.1 L'essentiel à retenir	53
XIII.2 Perspectives	54
IX. ANNEXES SEDIMARD 83	
IX.1 Publications et brevets	56
IX.2 Présentation du savoir-faire du porteur du projet	57

NB : vous pouvez retrouver toutes les définitions des organismes et des termes scientifiques et techniques sur le site www.cap-sediments.fr dans la rubrique « glossaires ».



SEDIMARD



Résumé



SEDI.MAR.D. 83 (SEDiments MARins Dragués du Var), un programme d'identification des modes terrestres de gestion des sédiments dragués.

Les procédures réglementaires des opérations de dragage sont parfaitement adaptées à une gestion maritime: « l'immersion des sédiments ».

Cependant, les pratiques de rejets en mer présentent des risques forts de dispersion de produits écotoxiques dans l'environnement marin, milieu très sensible.

Les législations nationales, européennes et internationales deviennent donc de plus en plus contraignantes et limitent l'immersion (volume, localisation géographique, proximité d'une zone conchylicole ou de culture marine, niveaux de contamination).

Les sédiments « non immergeables » doivent faire l'objet d'une gestion terrestre.

Ils entrent alors dans la liste européenne des déchets et l'encadrement des modalités de leur gestion (valorisation ou stockage) reste encore à préciser.

Les sédiments marins méditerranéens présentent des niveaux de contaminations élevés pour des volumes de dragage faibles sauf dans le cas de construction d'infrastructures nouvelles où les quantités peuvent devenir importantes.

Du fait de leurs niveaux de contaminations, ils sont souvent « non immergeables ».

De nombreux ports de la côte méditerranéenne doivent donc trouver des solutions alternatives à l'immersion et sont confrontés au quadruple problème de l'absence d'un contexte réglementaire précis sur le devenir à terre des sédiments, de l'absence de solutions techniques industrielles de traitements, de l'absence de filières terrestres adaptées aux volumes en jeu et de l'absence d'un modèle économique afférent à la gestion à terre.

Le projet SEDIMARD 83, lancé en 2006 par le Conseil Général du Var, s'inscrit dans ce contexte d'identification des modes terrestres de gestion alternatifs à l'immersion et a eu pour objectifs, à travers la réalisation et l'exploitation d'un démonstrateur pilote industriel à Toulon (Var), d'apporter des données sur :

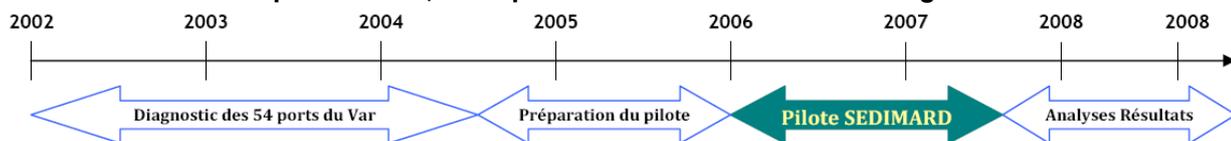
- Axe 1 :** Caractérisations des sédiments « non immergeables » en qualité de déchet
- Axe 2 :** Evaluation de la dangerosité
- Axe 3 :** Evaluation de l'efficacité des traitements & faisabilité d'un outil industriel de gestion des sédiments
- Axe 4 :** Identification des filières terrestres de gestion possibles pour le Var

Le projet a également permis d'identifier de nombreux verrous technologiques et scientifiques autour de la gestion à terre des sédiments.

Légende du visuel (thématiques du projet en vert)

- 1 Diagnostic et monitoring : outils d'échantillonnage et d'analyse in-situ
- 2 Dragage
- 3 Restauration
- 4 Stockage provisoire
- 5 Prétraitement
- 6 Traitement et potentiel de valorisation
- 7 Valorisation, filières de valorisation travaux terrestres, travaux maritimes

Préalablement au projet SEDIMARD 83, un diagnostic qualitatif de la contamination sédimentaire des 54 ports varois, et la quantification des volumes à draguer ont été réalisés.



SEDIMARD 83, réalisation :

- ⇒ d'un pilote industriel pour traiter les sédiments de 10 sites portuaires (200 m³ par port)
- ⇒ d'un ensemble de travaux de recherches scientifiques (écotoxicité, caractérisation...)
- ⇒ d'un ensemble de travaux d'ingénierie environnementale (analyses multicritères, recherche de filières...)
- ⇒ d'actions de communication et de sensibilisation des acteurs de la filière, du public et aussi des associations





II.1 PROBLEMATIQUE GENERALE

Depuis de nombreuses décennies, les voies navigables ont été exposées à une grande variété de contaminants qui sont encore présents dans les sédiments de fond.

Rappelons aussi que des millions de mètres cubes sont dragués chaque année, juste pour l'entretien des canaux fluviaux et pour la maintenance et l'accès des ports.

La gestion des sédiments est ainsi devenue un réel problème dans tous les pays industrialisés.

Par leur localisation en réceptacle de bassins versants et leur capacité d'adsorption, les sédiments constituent des réservoirs de contaminations multiples (métaux lourds, hydrocarbures, PCB, TBT, pesticides, perturbateurs endocriniens, etc.).

Sous l'impulsion des conventions internationales et des directives européennes, les normes environnementales françaises relatives au dragage des sédiments marins ont évolué.

Des seuils de contamination pour les différents polluants (métaux, PCB, HAP, TBT) ont ainsi été définis par le groupe GEODE (Groupe d'Etude et d'Observation sur le Dragage et l'Environnement) afin de limiter l'immersion et préserver l'écosystème maritime.

Aujourd'hui, la problématique consiste donc à identifier des solutions de gestion à terre (valorisations ou stockage) alternatives au rejet en mer pour les sédiments contaminés.

Pour des raisons économiques et/ou environnementales, les sédiments, non immergeables, ne peuvent pas être simplement orientés vers des centres d'enfouissement techniques réglementés.

Une approche multi-filières de gestion s'impose donc avec deux groupes de filières terrestres :

- Le stockage en centres de stockage réglementés ou en sites de dépôt monospécifique (réversibles ou non).
- La valorisation en TP terrestres ou TP maritimes et en génie civil.

La grande variabilité de contamination des sédiments oblige à étudier :

- Leur dangerosité et leur positionnement vis-à-vis des critères d'acceptabilité de stockages réglementés.
- La conception d'un site de dépôt monospécifique adapté aux risques environnementaux que présentent les sédiments stockés (en dehors du programme SEDIMARD 83).
- La définition d'un seuil de valorisation (hors programme SEDIMARD83) et les limites d'efficacité des traitements éventuels.

Les filières de gestion sont à évaluer sur la base de considérations environnementales (risques sanitaires et impacts écologiques), économiques (trouver des solutions viables) et sociétales (limiter les impacts sur les populations, créer des emplois dans le cadre de filières industrielles).

Enfin, une gestion de type immersion coûte en moyenne 30 à 40 fois moins cher qu'une gestion environnementale terrestre.

La mise en place d'un modèle économique pour le financement de la gestion des sédiments - nouveau déchet public - est donc une vraie priorité, car les gestionnaires de ports ne peuvent pas supporter seuls les coûts afférents et ne sont, bien souvent, pas à l'origine de la pollution qu'ils ont à gérer.





« Résultats du diagnostic " des ports varois »

- **Gisement potentiel en 2002** : 420 000 m³ dont : 145 000 m³ > N1 et 215 000 m³ > N2 (seuils de l'arrêté du 14 juin 2000);

- **Projection sur 20 ans du gisement** : (incluant les besoins en dragage et l'estimation de la sédimentation): 1 100 000 m³ dont 650 000 m³ supérieurs N1 et difficilement immergeables de par la nature des contaminations présentes.

Diagnostic (2001) sur les 54 ports du Var In Vivo Environnement / CG 83.



CONSEIL GÉNÉRAL

Les CMR

Ce sont des Composés Cancérogènes, Mutagènes et Reprotoxiques.

La classification CMR de l'Union européenne distingue trois catégories de polluants :

- CMR confirmés pour l'homme par des données épidémiologiques

- Substances pour lesquelles il existe une forte présomption d'augmentation de la fréquence des effets CMR

- Substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets CMR possibles mais informations disponibles insuffisantes.

II.2 L'EXEMPLE DU VAR

Dès le début des années 2000, le Conseil Général du Var, maître d'ouvrage et gestionnaire de ports départementaux, a été confronté à la gestion des sédiments marins qui ne remplissaient pas les critères de l'immersion.

La gestion s'est avérée d'autant plus complexe que les sédiments étaient depuis toujours rejetés en mer et qu'on ne disposait pas de connaissances scientifiques et techniques sur les possibilités de gestion des sédiments en qualité de déchets.

Toute recherche de solutions de gestion environnementale en vue du dragage des sédiments non-immergeables imposait donc des réflexions sur :

⇒ Les aspects techniques, environnementaux, sanitaires des scénarios de gestion (valorisation ou stockage) notamment suite aux opérations de traitements à court, moyen et long terme.

⇒ Les aspects juridiques liés à la gestion de type valorisation et à la sortie du statut de déchet au niveau européen, national, territorial et local.

⇒ Les aspects économiques, dont la définition des modalités d'accompagnement des gestionnaires portuaires.

⇒ L'identification des lieux de valorisation de sédiments, surtout s'ils sont contaminés car les épandages sur les sols de sédiments marins engendrent un risque d'impact irréversible sur l'environnement.

⇒ Les aspects sanitaires et risques pour la santé des travailleurs liés à la présence de contaminants Cancérogènes, Mutagènes, Reprotoxiques (C.M.R.).

⇒ Les aspects majeurs d'information, de sensibilisation voire de formation des acteurs concernés.

Pour travailler sur les différents items, le Conseil Général du Var a donc lancé une phase de diagnostic des ports varois ayant pour objectif d'identifier les enjeux et les besoins liés au gisement local des sédiments.

L'étude de la faisabilité de cet outil industriel passe par :

⇒ La réalisation d'un pilote industriel permettant de définir les caractéristiques techniques, et d'identifier les modalités de traitement / valorisation adaptées localement.

⇒ Le déblocage de freins à la gestion / valorisation terrestre des sédiments non immergeables, comme l'absence de méthode de définition du caractère dangereux ou non dangereux du déchet.

Le diagnostic des ports varois réalisé par le bureau d'étude IN VIVO Environnement comprenait 3 volets :

1. Un diagnostic quantitatif et qualitatif du gisement des 54 ports du département permettant d'appréhender les volumes de dragages, les niveaux de contaminations des sédiments et les caractéristiques granulométriques.

2. L'identification de filières de valorisations possibles et l'étude de l'opportunité d'un centre de traitement dédié.

3. La préparation d'un projet pilote industriel de traitements (projet SEDIMARD 83).

Les principales conclusions de ce diagnostic ont mis en évidence un gisement présentant une grande variabilité physico-chimique et géotechnique ainsi qu'un volume de dragage récurrent estimé entre 25 000 et 50 000m³ par an (dont 80% du volume trop contaminé pour être immergé).

Ces estimations ne prennent pas en compte les dragages liés à la construction de nouvelles infrastructures susceptibles de générer des volumes de dragage importants sur une courte période.

Le diagnostic a clairement montré la nécessité de s'orienter vers un mode de gestion environnemental terrestre des sédiments marins varois qui entrent alors dans la liste des déchets.

L'étude a aussi démontré l'opportunité de création d'un outil industriel de regroupement, de tri et de traitement unique pour tous les ports varois.



II.3 LA GESTION DES SEDIMENTS, ENJEUX AU REGARD DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Au niveau environnemental

La protection du littoral, territoire dont la fragilité est soumise à une très forte pression anthropique ; la reconquête des milieux aquatiques par la lutte contre les pollutions chimiques en Méditerranée et en amont par celles des affluents et fleuves qui s'y déversent ; la limitation des extractions en carrières par substitution de matériaux recyclés ; mais également en fonction des spécificités de chaque territoire : l'accroissement du transport par voie d'eau ; la limitation des émissions de CO₂ et la prévention des inondations, sont autant de sujets qui dépendent d'une gestion durable des sédiments côtiers ou fluviaux.

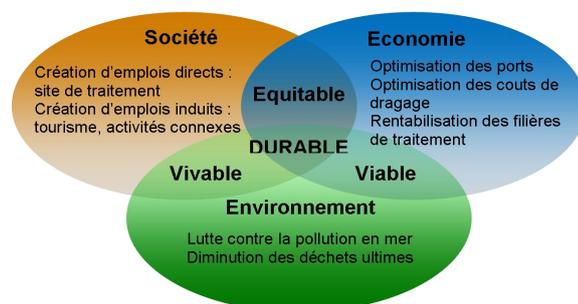
Au niveau économique

Le renforcement de la compétitivité des grands ports et canaux français par optimisation des coûts de dragage, la rentabilisation des filières de traitement et de recyclage des sédiments, la fourniture de matériaux de substitution pour certains usages en travaux publics sont tous tributaires des options retenues pour le devenir ultime et pérenne des sédiments issus d'opérations de dragage. La problématique du financement de la haute qualité environnementale se pose de façon encore plus

complexe. Les ports de plaisance représentent une mosaïque d'autorités et de gestionnaires pour lesquels l'isolement et les différences structurelles et financières rendent impossible une mobilisation des moyens nécessaires à une solution de gestion durable et financièrement acceptable.

Au niveau sociétal

Un apport de solutions permettant de faire face aux interdictions de rejets en mer, à la limitation des impacts des dépôts et apportant une aide pertinente à la préservation de l'environnement dans le respect des réglementations sont autant d'objectifs privilégiés pour le développement de filières de gestion. Filières susceptibles de créer des milliers d'emplois directs et induits.



Le projet SEDIMARD 83, un projet de Développement Durable

Le projet ambitionne de faire émerger dans le Var des filières industrielles de gestion/valorisation des sédiments non immergeables.

Par l'extraction de la part valorisable, la gestion des sédiments non immergeables apparaît comme un cas d'école de l'économie circulaire.

La gestion terrestre des «déchets-sédiments» s'organisera autour de solutions combinées associant des solutions de stockage et des solutions de valorisation. Les solutions de stockage reposeront sur la mise en place de dépôts mono-spécifiques adaptés aux caractéristiques des sédiments qui ne peuvent accéder aux sites de stockage réglementés (ISDI, ISDnD et ISDD) pour des considérations environnementales et/ou économiques.

L'enjeu principal est de réserver strictement ces sites de stockages spécifiques à la fraction non valorisable pour ne pas saturer inutilement ces outils coûteux, difficiles à ouvrir et donc rares.

Cette volonté oblige à :

- Définir les potentiels et seuils de valorisation du déchet ;
- Mettre au point les procédés d'extraction de la fraction valorisable.

La fraction valorisable représente des milliers de tonnes de matériaux utilisables (remblais, construction, restauration écologique sous-marine, etc.) permettant une économie substantielle de ressources naturelles.

Le projet SEDIMARD 83 vise donc à promouvoir la protection de l'environnement par l'identification de filières environnementales de gestion alternatives au rejet en mer.



Groupe d'Etude et d'Observation sur le Dragage et l'Environnement qui porte son expertise à la gestion des accès maritimes aux ports des côtes de France en intégrant autant les enjeux de la garantie des profondeurs navigables que ceux de l'environnement et de l'économie, en développant des expertises et des études sur les sujets relatifs au dragage et à l'environnement tout en formulant des recommandations pour les suivis des incidences des dragages et des immersions.



L'immersion

Opération qui consiste à déverser en mer des substances en particulier des sédiments issus de dragage.

C'est une des filières principales de gestion des sédiments de dragage.

Cette filière est très réglementée et la gestion n'est pas toujours possible, en particulier si les sédiments sont fortement contaminés et dépassent les seuils limites d'immersion (\geq N2).

II.4 CONTEXTE REGLEMENTAIRE

En 2006 la réglementation en vigueur sur la gestion des opérations de dragage se résumait à l'arrêté du 9 août 2006 qui déterminait les niveaux de référence 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.

Cet arrêté impose avant dragage de réaliser des analyses à partir d'échantillons de sédiments bruts, prélevés dans la zone du futur dragage (le nombre de prélèvements et d'analyses étant fonction des volumes à draguer).

Ces analyses préalables sont ensuite comparées aux niveaux de contaminations N1 et N2 définis par le groupe de travail GEODE.

Le sédiment est caractérisé par rapport à ses teneurs en ETM (8 éléments), en PCB (7 congénères) et en TBT (avec l'arrêté complémentaire du 08/02/2013, les HAP sont depuis également analysés).

En fonction de cette caractérisation le sédiment est classé :

< **Niveau 1** : Impact potentiel jugé d'emblée neutre ou négligeable ;

Entre Niveaux 1 et 2 : Investigations complémentaires proportionnées ;

> **Niveau 2** : Investigations approfondies ou immersion impossible.

Ces niveaux de référence, plus communément dénommés « Seuils GEODE », permettent de définir des niveaux de contaminations et d'appréhender l'impact potentiel, sur le milieu récepteur marin, des déblais de dragage dans le cadre d'opérations « dragage/immersion ».

Lors de dépassements des seuils précités, des essais d'écotoxicité sont recommandés sur des organismes marins (toxicité aiguë vis-à-vis d'une bactérie et de crustacés, développement embryonnaire et spermio-toxicité chez le mollusque et l'oursin) afin de vérifier le non impact potentiel vis-à-vis du milieu marin.

En cas de contaminations supérieures aux seuils et/ou d'impact écotoxique avéré sur le milieu récepteur marin, l'immersion est interdite, les déblais de dragage doivent alors être gérés à terre.

Le sédiment marin quitte alors la problématique « eau » pour intégrer une problématique terrestre : celle des « déchets ».

Une note juridique du ministère en charge de l'environnement, en date du 18 septembre 2002, relative à la gestion des sédiments extraits des cours d'eau et canaux le confirme.

Cette note stipule que « seuls les sédiments remis en suspension qui se redéposent en aval et qui restent donc dans le même milieu (le cours d'eau) peuvent ne pas être considérés comme des déchets ».

En l'absence d'évolution réglementaire contraire, ces dispositions peuvent être étendues au domaine marin.

Ainsi, depuis 2006, dès lors qu'une filière terrestre est envisagée pour les déblais de dragage marins, l'approche de l'Administration se fonde donc sur le décret n°2002-540 du 18 avril 2002 qui reprend la nomenclature européenne des déchets.

Cette dernière classe les sédiments dans les rubriques :

⇒ 17 05 05*¹ boues de dragage contenant des substances dangereuses ;

⇒ 17 05 06 boues de dragage autres que celles visées à la rubrique 17 05 05*.

(* L'astérisque qui suit le code indique qu'il s'agit d'un déchet dangereux.)

La première étape de la gestion des déblais de dragage à terre est donc la vérification du caractère de dangerosité, défini à l'annexe 1 du décret n°2002-540 du 18 avril 2002 des déchets, selon 14 critères, qui vont de H1 à H14.

H14 représente le critère le plus adapté de par la nature du sédiment. Il est relatif à l'écotoxicité du déchet.

Il est discriminant et complète utilement les analyses physico-chimiques préalables par une évaluation de la toxicité du cocktail de contaminants présents (analysés ou non analysés).



Ecotoxicologie

Science qui étudie l'impact des substances toxiques et leurs devenir sur les écosystèmes.

L'écotoxicologie s'intéresse donc aux transferts des contaminants dans les biotopes et les biocénoses, ainsi qu'aux transformations et effets qu'ils peuvent provoquer sur les organismes vivants et sur les processus écologiques fondamentaux.

La mission d'évaluation de la dangerosité a été assurée par le bureau d'études Polden d'INSAVALOR, spécialisé dans les problématiques d'évaluation environnementale et notamment de gestion des « déchets ». L'identification d'un protocole discriminant sur le caractère dangereux a été faite par une approche écotoxique (propriété H14).

Le protocole « SEDIMARD 83 » s'appuie sur la réalisation de 4 tests écotoxicologiques, sur éluat et matériau brut, élaborés en étapes successives.

Il est fondamental de s'assurer que les sédiments sont non-dangereux pour une orientation éventuelle dans des filières de valorisation.

Il apparaît donc nécessaire :

- ⇒ D'identifier le statut du déchet (déchets dangereux ou non dangereux).
- ⇒ De positionner le déchet par rapport aux référentiels réglementaires existants.

Une des réglementations se rapprochant au mieux de la problématique est celle des critères d'admission des déchets en décharge.

(Décision 2002/33/CEE du Conseil de l'Europe du 19 décembre 2002, établissant des critères d'admission dans les décharges, conformément à l'article 16 et à l'annexe II de la Directive 1999/31/CE du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets).

Ces critères vont permettre d'orienter les déchets, en différentes catégories de stockage grâce à 3 seuils :

- ⇒ Seuils hauts toujours dépassés pour l'admission en décharge pour déchet inerte (ISDI).

Remarque : L'article 8 de la Liste des déchets admissibles dans une installation de stockage pour déchets inertes précise que « seuls les déchets mentionnés dans l'arrêté autorisant l'exploitation de l'installation et figurant sur la liste peuvent être admis dans les alvéoles de stockage de cette installation ».

Les sédiments dragués ne figurent donc pas dans cette liste et ne peuvent donc a priori pas être orientés vers les décharges pour déchets inertes comme rappelé dans la circulaire du 4 Juillet 2009.

- ⇒ Seuils hauts régulièrement dépassés pour l'admission en décharge pour déchet non dangereux (ISDnD).

- ⇒ Seuils hauts rarement dépassés pour l'admission en décharge pour déchet dangereux (ISDD).



Eluat

Solution obtenue après lixiviation d'un solvant (ex. eau de pluie) sur une matrice solide (ex. sédiment).

Les sédiments contiennent diverses molécules chimiques (sous formes adsorbées, absorbées ou précipitées), qui peuvent, lorsque les conditions physico-chimiques et/ou biologiques changent (lors d'un dragage par exemple) et au contact d'un solvant (ex. eau de pluie), migrer vers le milieu environnant et provoquer des nuisances écologiques.

Les possibilités de gestion vont ensuite être limitées par les contraintes techniques, sanitaires, environnementales et économiques des différentes filières envisageables.

Même si le terme de boues n'est pas clairement défini, l'introduction de ces matériaux dans la classification des déchets a permis une clarification de leur statut qui implique, pour les producteurs de boues de dragage, de tenir compte des objectifs de la loi sur les déchets et de sa modification du 13 juillet 1992 à savoir :

- ⇒ Prévenir et réduire la production et la nocivité des déchets.
- ⇒ Organiser le transport des déchets en le limitant en distance et en volume.

- ⇒ Essayer de valoriser les déchets pour obtenir de nouveaux matériaux.
- ⇒ Assurer l'information du public sur toutes les opérations de production et d'élimination des déchets.

Aujourd'hui, les sédiments marins sont reconnus comme étant des déchets dès lors qu'ils sont gérés à terre. Leur gestion va donc nécessiter une évaluation de leur dangerosité !



III.1 OBJECTIFS GENERAUX

Le projet SEDIMARD 83 vise à identifier les premiers éléments de réponses opérationnelles locales à une problématique de gestion des sédiments qui dépasse largement le cas du Var. Problématique soulignée en 2007 lors du Grenelle de l'Environnement, puis lors du Grenelle de la Mer en 2010 pour :

- Faire émerger et conforter au niveau local des filières économiques de traitement et de gestion du nouveau déchet «sédiment».
- Eclairer et enrichir les travaux et investigations du Ministère en vue d'un accompagnement sur la dimension réglementaire et autour des :
 - Aspects liés au caractère dangereux ou non du déchet.
 - Besoins méthodologiques en liaison avec les filières de valorisation.
- Construire une banque de données à grande échelle sur les procédés de traitements existants adaptés aux sédiments méditerranéens.
- Permettre l'identification des verrous technologiques et scientifiques de façon à orienter les futurs programmes de recherches autour des besoins opérationnels.

III.2 STRUCTURATION DU PROJET EN AXES DE TRAVAIL

Pour atteindre ses objectifs le programme a été structuré en 4 axes de travail :

Axe 1 : Caractérisations environnementales et géotechniques des sédiments ;

Axe 2 : Définition d'un protocole d'évaluation de la dangerosité ;

Axe 3 : Installation d'un pilote industriel :

Sous axe 3.1 : Evaluation des prétraitements et des traitements applicables aux sédiments non immergeables,

Sous axe 3.2 : Evaluation des impacts et de l'acceptabilité sociétale de la plateforme industrielle.

Axe 4 : identification des filières terrestres de gestion et analyse multicritères des scénarios.

III.3 OBJECTIFS DETAILLES PAR AXE DE TRAVAIL

Axe 1 :

- Caractérisation d'un large panel de sédiments pour identifier la variabilité environnementale et géotechnique susceptible d'être rencontrée lors d'une gestion terrestre.
- Réaliser des caractérisations adaptées à une approche de type stockage ou de type valorisation des déchets et identifier les paramètres bloquants.
- Caractérisation des macro-déchets très abondants dans les ports varois et identifier leurs filières de gestion possibles.

Axe 2 :

- Mettre en place l'outil d'évaluation permettant d'identifier si le sédiment est un déchet dangereux ou non-dangereux.

Axe 3 :

Sous axe 3.1 :

- Evaluer l'efficacité des traitements, prétraitements et éventuels besoins d'adaptation des procédés industriels aux spécificités de sédiments méditerranéens.

Sous axe 3.2 :

- Identifier les risques d'impacts liés au fonctionnement d'une installation industrielle de traitement des sédiments.
- Favoriser l'information et la sensibilisation du public sur les enjeux d'une installation de traitement de sédiments non-immergeables.

Axe 4 :

- Identifier les potentialités offertes par le territoire en capacité de filières d'accueil.
- Analyser les scénarios de gestion en vue de les hiérarchiser aux regards de l'ensemble des thématiques de développement durable.





**Agence de l'eau
RMC**
(Rhône-Méditerranée & Corse)

Son siège est situé à Lyon, c'est un établissement public de l'Etat, placé sous la double tutelle des Ministères en charge de l'Ecologie et des Finances.

L'Agence de l'Eau mène une politique active reconnue en matière de lutte contre les pollutions toxiques.

IV.1 CONSEIL GENERAL DU VAR, PORTEUR DU PROJET

SEDIMARD 83 est un projet sous maîtrise d'ouvrage du Département du Var, s'inscrivant dans le cadre des Contrats d'Objectifs lancés en 2004.

Les Contrats d'Objectifs Départementaux bénéficient d'un suivi direct par la Direction Générale des Services, permettant une réactivité en terme de gestion de projet (crédits, marchés, chaîne décisionnelle raccourcie, etc.).

Le Conseil Général du Var s'est fait accompagner par un Assistant à la Maitrise d'Ouvrage : le bureau d'étude IN VIVO ENVIRONNEMENT.

IV.2 PARTENAIRES INSTITUTIONNELS

Dès son origine, le projet a pris l'attache du Ministère de l'Environnement pour identifier les données les plus pertinentes à produire et faciliter ainsi leur appropriation par l'Etat à l'issue de l'opération.

Les partenaires institutionnels locaux intégrés dans le processus décisionnel de l'opération :

- L'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse
- La Région Provence Alpes Côte d'Azur
- L'ADEME PACA

De plus, le projet SEDIMARD 83 a été inscrit dans l'ensemble des projets du Contrat de Baie de la Rade de Toulon.



IV.3 PARTENAIRES TECHNIQUES

Le projet SEDIMARD 83 a regroupé dix maîtres d'ouvrages, gestionnaires portuaires français et italiens, confrontés à la problématique de gestion de sédiments marins non immergeables. Ils ont tous contribué au financement de l'opération pilote en proportion à leur investissement dans les travaux réalisés.

- La Marine Nationale (Arsenal de Toulon)
- La Chambre de Commerce et d'Industrie du Var (Port de St Mandrier et de Brégailhon)
- Le Conseil Général des Alpes Maritimes (Port de Cannes)
- La Communauté Urbaine de Marseille Provence Métropole (Vieux Port de Marseille)
- Le Conseil Général du Finistère (Port du Guilvinec)
- La Région Emilia Romagna (Port de Ravenne)
- La commune de Bandol (Port de Bandol)
- La commune de Sanary (Port de Sanary)
- La commune du Lavandou (Port du Lavandou)



Ces partenaires techniques ont dimensionné avec précision l'étendue de leurs prestations en définissant les volumes de sédiments intégrant le projet, les lieux des prélèvements et la typologie des essais de traitements à réaliser sur le site pilote industriel.

Cette participation technique et également financière a été formalisée dans une Charte Cadre « Dragage et environnement » établie entre les partenaires et le Conseil Général du Var, maître d'ouvrage de l'opération.



**Toulon
Provence
Méditerranée**
COMMUNAUTÉ D'AGGLOMÉRATION

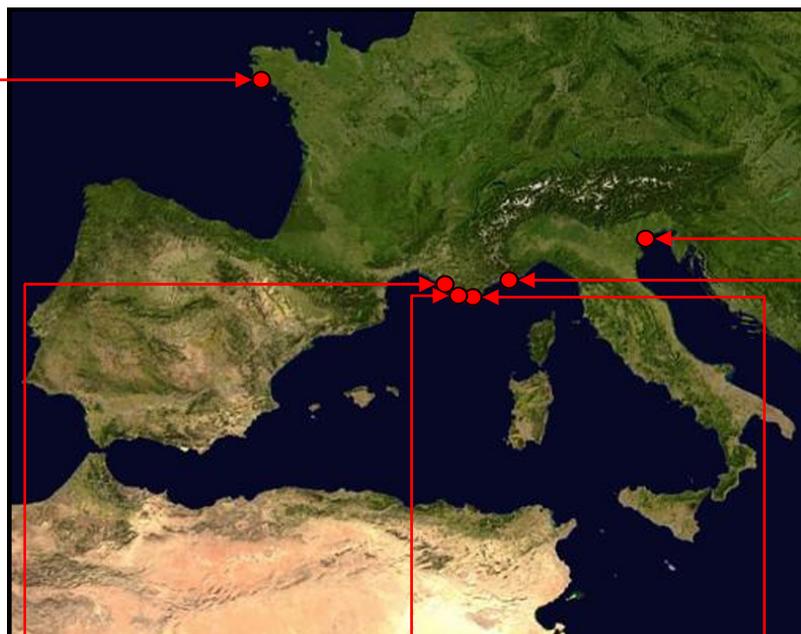


**Le contrat de baie
de la rade de
Toulon**

C'est un schéma global de reconquête de la qualité des eaux et des milieux aquatiques engageant l'ensemble des acteurs de la rade sur un programme d'actions de 5 ans reconductible.

La question des sédiments a été intégrée dès le premier Contrat de Baie à travers deux projets phares: SEDIMARD 83 et CARTOCHIM.

Localisation des ports des partenaires techniques



Le Guilvinec



Toulon



Le Lavandou



Ravenna



Marseille



Bandol



Brégailion



Cannes



Sanary



St. Mandrier



SEDIMARD



Organisation

IV.4 CONSEIL GÉNÉRAL DU VAR ET PRÉFECTURE MARITIME, UNE COLLABORATION DE PLUS DE 10 ANNÉES SUR LA THÉMATIQUE

Commencée en 2000, lors de la réalisation des diagnostics des sédiments varois, la collaboration initiée par une problématique partagée, civile et militaire, dans la rade de Toulon s'est renforcée lors de l'opération SEDIMARD 83 et s'est poursuivie au-delà sur les projets qui ont suivi comme SEDIGEST, SEDIVALD, la plateforme SEDIMED et la future plateforme R&D SEDIPLATEFORME.

Témoignage sur une longue et fructueuse collaboration entre la Préfecture Maritime et le Conseil Général du Var :

« Le port militaire de Toulon est le plus important port de la Marine Nationale.

L'arrivée de nouvelles unités maritimes à l'horizon 2015 - 2020, telles que les frégates multi-missions et les sous-marins nucléaires d'attaque de type « Suffren », nécessite de disposer d'une hauteur d'eau plus importante aux postes d'accostage.

Le dragage des fonds marins devient alors une opération indispensable.

Bien que le niveau de qualité des sédiments soit, sur certaines zones à draguer, largement au-dessus des seuils acceptables, en raison des pratiques industrielles conduites au début du siècle dernier et aux traces laissées par les derniers événements historiques dont le port militaire a été la cible durant la dernière guerre mondiale, l'objectif de mise en place d'une démarche de valorisation est envisageable et largement soutenue par la Préfecture Maritime.

Cette démarche, qui s'inscrit dans un Schéma Directeur de Développement Durable souhaité par le Ministre de la Défense, a démarré depuis plusieurs années déjà.

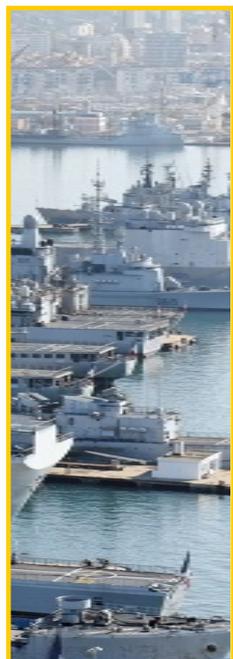
A ce titre, la Marine Nationale a encouragé et participé à la création d'une plateforme expérimentale piloté par le Conseil Général (SEDIMARD 83) et souhaite aujourd'hui mettre à profit les procédés validés lors de cette phase pilote pour éviter l'envoi des sables dans une filière de stockage de déchets ultimes.

L'intérêt est à la fois environnemental et économique !

De même, l'implication dans un projet, dont l'objectif est de mutualiser les connaissances techniques et réglementaires, appuyé par notre témoignage sur cette première opération d'envergure pour la région toulonnaise est pleinement dans l'axe de notre communication et de notre transparence au profit des experts et des usagers concernés et complète, par le volet sociétal, cette démarche. »

Gérard Bresson

*Chef du bureau environnement,
CECMED*





Etablissement public placé sous la tutelle conjointe des Ministères de l'Ecologie et de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche qui participe à la mise en œuvre des politiques publiques en matière d'énergie et de protection de l'environnement et a pour mission de réaliser des opérations de : maîtrise et promotion des énergies renouvelables, optimisation de la gestion des déchets, management environnemental, notamment de traitement des sols pollués.

IV.5 GROUPE D'EXPERTS SCIENTIFIQUES

De par son caractère innovant, le projet a nécessité de pouvoir répondre à des questions scientifiques complexes. Le Conseil Général du Var a souhaité être accompagné par un Groupe d'Experts Scientifiques (GES) indépendant pour suivre le déroulement des différentes missions.

Le GES a été constitué : une équipe de 6 experts, spécialisés sur les différentes disciplines concernées dans le cadre de la gestion des sédiments, dirigé par M. **Claude ALZIEU** de l'Ifremer (laboratoire de Sète) :

- **IFREMER** - Sète > M. **Claude ALZIEU**
⇒ Compétences : Ecotoxicité marine - Référent dans la problématique des dragages
- **ESITC** - Université de Caen > M. **Daniel LEVACHER**
⇒ Compétences : Matériaux - Valorisation matériaux - Caractérisation mécanique
- **Université de Pau et des Pays de l'Adour** Pau > M. **Olivier DONARD**
⇒ Compétences : Comportement des différents contaminants
- **IRSTEA** - Lyon > M. **Marc BABUT**
⇒ Compétences : Ecotoxicologue
- **CNRSSP** - Ecoles des Mines de Douai > Mme **Claire ALARY**
⇒ Compétences : Matériaux et sites et sols pollués
- **BRGM** - Nantes > M. **Pierre CONIL**
⇒ Compétences : Matériaux - Valorisation Caractérisation minéralogique
- **CETE MEDITERRANEE** - Aix en Provence > M. **Patrick GENTILINI**
⇒ Compétences : Matériaux - Valorisation Caractérisation minéralogique



Le GES a assuré deux missions en liaison avec le Conseil Général du Var :

⇒ **Mission 1 « Conseil et Expertise »** sur :

- Les procédures de chantier (échantillonnage, prélèvements, traitements, analyses, résultats, banque de données métadonnées, structuration des livrables, etc...)
- La définition de la dangerosité du déchet « sédiment »
- Les caractérisations physico-chimiques et géotechniques du déchet « sédiment » arrivant sur le site et durant les phases de traitements
- Les procédés de traitements/prétraitements et procédures de chantier
- La constitution de la banque de données et métadonnées
- L'assistance à l'interprétation des résultats
- Les avis sur les différents rapports de synthèses et sur les publications

⇒ **Mission 2 « Travaux de recherches complémentaires ciblés »**

Le Maître d'Ouvrage a sollicité les experts pour mener à bien des travaux complémentaires sur des études ciblées autour de questions scientifiques complexes apparues au cours de l'exécution (voir tableau ci-dessous)

UT2A	Devenir des métaux au cours de traitements (spéciation)
	Etude statistique sur l'ensemble des analyses du pilote
	Modélisation et validation
Université de Caen	Etude des caractéristiques géotechniques des sédiments solidifiés/stabilisés
ICRAM	Ecotoxicité des sédiments bruts
	Ecotoxicité des sables du pilote
LRSAE (Université de Nice)	Evaluation de la stabilisation des métaux dans des sédiments marins par additifs minéraux
CETE Méditerranée	Caractérisations géotechniques des sables du pilote
	Caractérisations géotechniques des matériaux alternatifs du pilote

Le succès du projet SEDIMARD 83M n'aurait pas été possible sans la contribution de M. Claude ALZIEU et de son Groupe d'Experts Scientifiques !



CETE
Méditerranée

CETE Méditerranée
Le Centre d'Études Techniques de l'Équipement assiste les DRE, les DDE et les Collectivités Territoriales pour établir des documents de planification, participer à la conception des grands projets d'infrastructure et des opérations d'aménagement plus localisées.

Cette expérience de terrain du CETE permet le développement des outils méthodologiques en relation avec les services techniques centraux (SETRA, CERTU, LCPC).

IV.6 GOUVERNANCE ET ANIMATION DU PROJET

La gouvernance mise en place par le Conseil Général du Var a conduit à l'animation de **3 groupes de travail**. Le projet a fait l'objet de nombreux échanges avec le Ministère en charge de l'Ecologie et a également été présenté à tous les acteurs de la filière « sédiments », y compris du monde associatif.

Les échanges avec les services de l'Etat ont été nombreux et ont permis de faire évoluer le cadre réglementaire sur les aspects de l'évaluation de la dangerosité.

Les trois groupes de travail (GT) sont :

- Le **GT1**: Groupe d'Experts Scientifiques
- Le **GT2** : Constitué des partenaires institutionnels qui ont accompagné techniquement et financièrement le déroulement de l'opération
- Le **GT3** : Constitué des partenaires techniques impliqués directement dans l'exécution avec les sédiments de leur port

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

L'animation du projet a été assurée par le Conseil Général du Var.

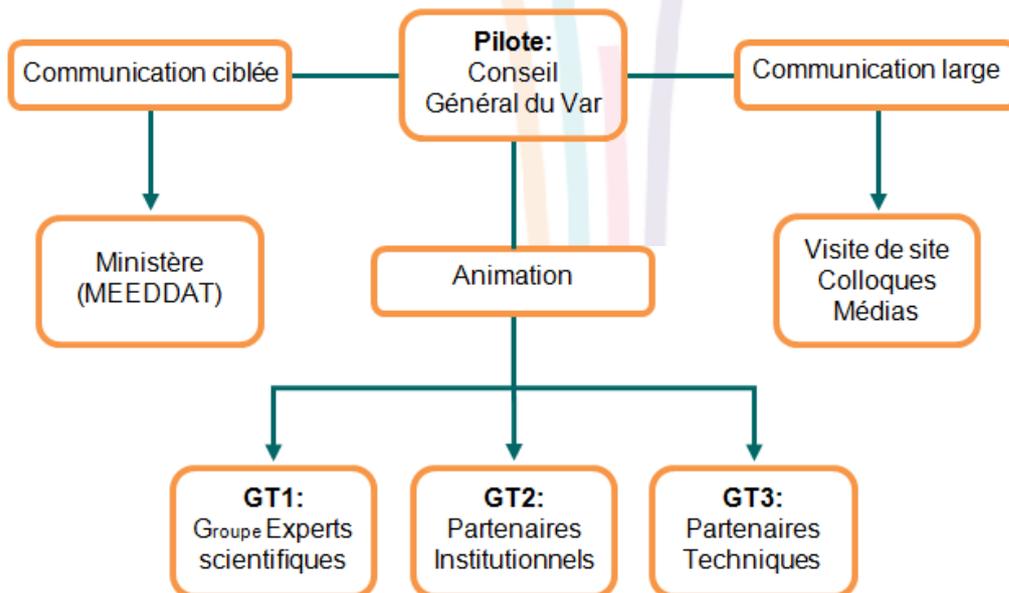


Schéma de l'organisation, de l'animation et de la communication du projet SEDIMARD 83





SEDIMARD



Moyens mobilisés

IN VIVO

Bureau d'études en océanographie et environnement marin, IN VIVO conseille les porteurs de projets de dragage des investigations de terrain à l'étude de solutions de gestion à terre des sédiments, demandes d'autorisation et suivis environnementaux. IN VIVO réalise également la maîtrise d'œuvre de travaux, des études bilan et prospective (légalisation & pratiques) et participe à des projets de R&D concernant la gestion des sédiments.

V.1 PRINCIPAUX PRESTATAIRES MOBILISÉS



⇒ **IN-VIVO Environnement** : Assistant à la Maîtrise d'ouvrage. Le bureau d'études spécialisé dans la thématique avait également réalisé les diagnostic préalable.



⇒ **ECOTERRRES - SDI - GTM** (retenu dans le cadre d'un appel d'offre européen) : en charge de la réalisation du pilote industriel avec installation et exploitation du site pilote au port de commerce de **Brégaillon**, réalisation des dragages et des analyses de laboratoire.



⇒ **INSAVALOR POLDEN** : Bureau d'études déchets :

- Evaluation de la dangerosité du déchet "sédiment non immergeable" avec la proposition d'un protocole associé
- Définition des cahiers des charges "produits" (sortants) sur les filières
- Analyse multicritères de l'ensemble des opérations de traitements réalisés sur le pilote industriel
- Etude exploratoire de la stabilisation des liants et sables
- Etude de faisabilité technique et environnementale de la stabilisation des fines issues du dessablage des sédiments marins
- Note technique sur les procédés de traitement à la chaux

⇒ **Laboratoire Départemental d'Analyses du Var** : en charge de la banque de données métadonnées physiques du projet et d'analyses environnementales spécifiques.



⇒ **LASEM** : Laboratoire d'Analyses de Surveillance et d'Expertise de la Marine Nationale en charge des analyses sur la radioactivité des sédiments dragués.



⇒ **Université de Caen** en charge d'une Étude des caractéristiques géotechniques des sédiments solidifiés/stabilisés.



⇒ **Université de Nice (LRSAE)** en charge de l'étude d'évaluation de la stabilisation des métaux dans des sédiments marins par additifs minéraux.



⇒ **ICRAM** (Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica al Mare) : en charge des essais d'écotoxicité marine sur sédiments bruts et de sables issus des opérations de dessablage.



⇒ **CETE Méditerranée** (Centre d'Études Techniques de l'Équipement d'Aix en Provence) : en charge de la caractérisation géotechnique des sables du pilote et de certains matériaux alternatifs du pilote.



⇒ **Université de Pau (UT2A Ultra-Traces Analyses Aquitaine)** : en charge d'une série d'études autour du comportement de certains métaux durant les phases de compostage.



⇒ **Cabinet juridique Uglo Lepage** : étude juridique prospective.



ECOTERRRES

Entreprise de travaux spécialisée dans le domaine de l'environnement, axe ses activités autour de quatre pôles :

- l'assainissement des sols et des eaux souterraines
- la gestion des produits de dragage et de curage
- la réhabilitation de décharges et l'aménagement de centres d'enfouissement technique (CET)
- la revitalisation d'anciennes friches industrielles



La rade de Toulon

Elle se divise en une grande rade à l'est et une petite rade à l'ouest.

Dans la petite rade, on trouve en outre l'arsenal militaire et le port de commerce de Toulon, ainsi que la base des écoles de plongée de la Marine Nationale, diverses fortifications, une base de recherches de l'IFREMER et des parcs de pisciculture.

V.2 PLATEFORME PILOTE DE LA RADE DE TOULON

Le site pilote a été installé en 2006 sur une friche industrielle d'un hectare située sur la zone industrielle de Brégaillon dans la rade de Toulon.



Localisation du terre plein exploité pour le pilote SEDIMARD 83



Lixiviation

Extraction par un solvant (eg. Eau, acide, etc.) des constituants solubles présents dans une matrice solide (eg. sol, sédiment, déchets).

Les conditions opérationnelles de l'extraction liquide (ie. lixiviation) sont définies par des normes (eg. NF EN 12457-2).

L'aménagement du site a fait l'objet d'un dossier Loi sur l'Eau instruit par la DRIRE (devenue DREAL) et pour lequel les organismes étatiques ont été consultés comme la Cellule Qualité des Eaux Territoriales de la DDTM et la Préfecture Maritime (proximité du site avec l'arsenal de Toulon).

A la date de l'instruction du dossier, la DRIRE a confirmé que les activités réalisées sur le site ne correspondaient à aucune des rubriques de la nomenclature ICPE. Il est à noter qu'aujourd'hui les zones de transit et les activités de traitement des sédiments ont été ajoutés à cette nomenclature.

A la fin de cette expérimentation l'engagement avait été pris de remettre le site dans son état d'origine.

Un diagnostic environnemental a démontré qu'après la période d'exploitation et le démontage des installations, aucun n'impact résiduel n'était constaté, ce qui a conforté la qualité des mesures de protection déployées lors du projet.

V.3 OUTILS ET MATERIELS DE LABORATOIRE

Les principaux outils et matériels de laboratoire mobilisés sont :

1. Une plateforme pilote industrielle étanche équipée d'outils de réception des sédiments et d'une station de traitement des eaux.
2. Des outils de traitements et de prétraitements, sur la plateforme et hors site, capables de traiter plusieurs centaines de tonnes.
3. Des engins de dragage nécessaires aux prélèvements de volumes significatifs d'échantillons (80 à 200m³), qui interviennent dans des zones ciblées par l'opération.
4. Un large éventail d'équipements de laboratoire pour réaliser les analyses environnementales (physico-chimique, lixiviation, percolation, écotoxicologique) et géotechniques (essais de compression, comportement mécanique des matériaux).



SEDIMARD



Moyens mobilisés

1. Plateforme pilote industrielle de traitement d'une superficie d'un hectare



Débroussaillage - terrassement



Mise en place des réseaux - VRD



Création de bassin d'accueil des sédiments



Création d'une zone de bioremédiation



Réalisation de voiries



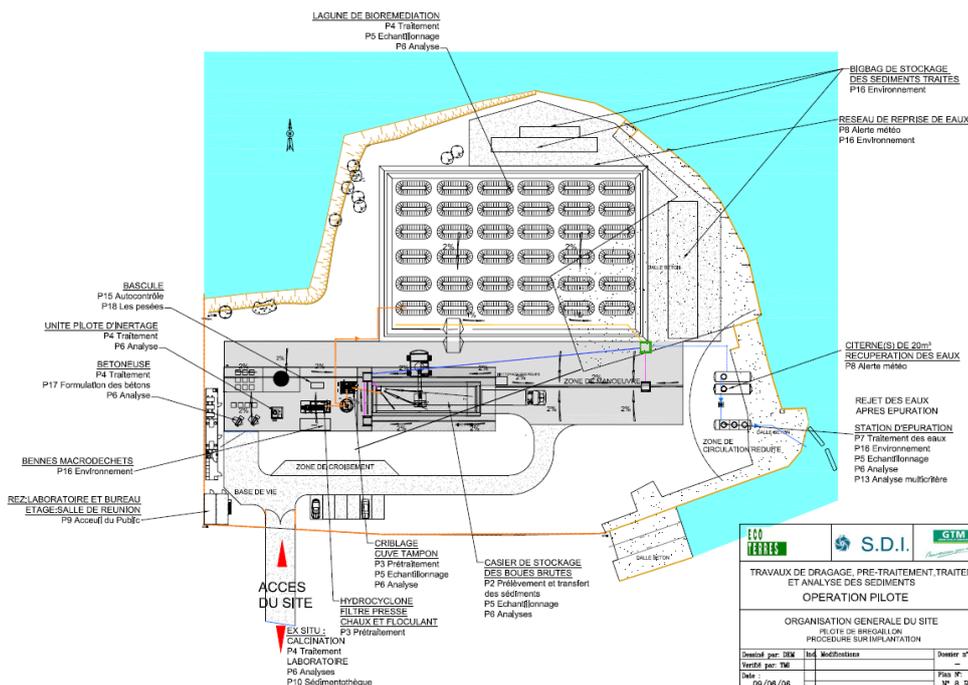
Mise en place d'une unité de traitement des eaux



Installation des machines de traitements



Installation de chantier : laboratoire, salle de réunion, bureaux de l'entreprise et du maître d'œuvre.



Plan général du Pilote SEDIMARD 83



Hydrocyclone

Outil qui permet de séparer des particules sur la base de différence de comportements hydrodynamiques dans un écoulement centrifuge.

Le liquide, riche en particules, entre à l'intérieur du cyclone où, sous l'effet de la force centrifuge, on obtient une séparation du liquide et des particules fines (mises en suspension) qui sortiront du cyclone par le vortex, tandis que les particules grossières seront retenues.

2. Outils pilotes de prétraitements du projet SEDIMARD 83

Pour les opérations de traitements et de prétraitements la plus grande partie des outils et équipements mobilisés ont été mis en place sur la plateforme à Brégaillon, toutefois, certaines opérations de traitements ont également eu lieu hors site.

⇒ **Outils mis en place sur la zone industrielle et portuaire du port de commerce de Brégaillon :**

- Construction d'une plateforme étanche, avec récupération et traitement de l'ensemble des eaux de la plateforme (précipitations, eaux de process et eaux des sédiments)
- Construction d'un bassin de réception
- Construction d'un bassin de bioremédiation (ou de lagunage actif)

Des unités mobiles de traitements et de prétraitements ont été mises en place par la société ECOTERRES titulaire du marché de travaux :

- **Outils de dessablage** permettant de séparer la fraction fine ($<63\mu\text{m}$), les sables ($63\mu\text{m}-4\text{mm}$) et les macro-déchets ($4-20\text{mm}$ et $> 20\text{mm}$). Séparation utilisant un hydrocyclone, un crible mécanique et un épaisseur.



<<< **Crible mécanique** >>>

pour obtenir la séparation
des macro-déchets
($4-20\text{mm}$ et $> 20\text{mm}$)



Crible Mécanique

Les sédiments dragués sont refoûlés à travers une série de tamis afin de trier les particules selon leurs dimensions.

Le dispositif est généralement installé en début de chaîne pour éviter l'intrusion d'éléments grossiers notamment macro-déchets.

Epaisseur :

Procédé d'épuration qui permet de séparer de la phase liquide, les particules solides en suspension par décanation.

Les sédiments tombent au fond du réservoir et l'eau est récupérée.



<<< **Hydrocyclone** pour la séparation des sables et de la fraction fine ($63\mu\text{m}$ et $> 4-20\text{mm}$)



<<< **Epaisseur** permettant de favoriser la séparation des particules les plus denses du fluide >>>





Filière STEP

Les eaux issues des sédiments, les eaux utilisées pour les prétraitements et traitements, les eaux de nettoyage des engins et les eaux de ruissellement sont toutes obligatoirement traitées avant d'être rejetées en mer.

La filière de traitement est la même qu'une station d'épuration classique, elle permet de réduire les différents contaminants présents dans l'eau jusqu'à respecter les normes de rejets classiques.

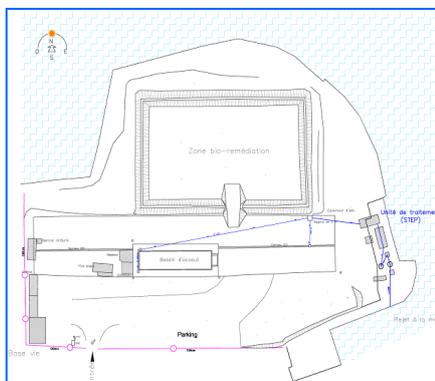
- **L'outil de déshydratation** permettant de réaliser des opérations de filtrage/pressage mécanique dans le but de réduire rapidement la teneur en eau et de diminuer le volume.



<<<< **Filter Presse** >>>>



- **L'unité de traitement des eaux** composée d'un bassin de réception et de décantation, d'un bassin d'aération, d'un filtre à sable, d'un bassin de mélange (réduction du taux d'ammoniaque), d'un filtre à charbon actif.



<<<< **STEP** >>>>



Floculant

C'est un polymère synthétique utilisé en épuration pour aider la décantation de particules fines en suspension (argiles, limons, colloïdes).

Le floculant va faire s'agréger les particules fines en flocons plus gros.

Les agrégats deviennent de plus en plus lourds et sédimentent alors plus facilement pour pouvoir être récupérés.

- **La station de phosphatation – Mini pilote Novosol[®]** fournie par la société SOLVAY à ECOTERRES permettant de réaliser la première étape de phosphatation du procédé NOVOSOL[®] (la calcination à 650°C étant réalisée dans unité de traitement extérieure au site - cf. paragraphe suivant).





Calcination

Process d'élimination de la matière organique et des matières volatiles.

En portant à haute température le sédiment (jusqu'à 1050°C), la matière organique, volatile, s'oxyde et s'échappe sous forme gazeuse (les fumées sont alors traitées).

La calcination peut permettre également de développer des effets liants en augmentant la propriété pouzzolanique.

⇒ **Outils utilisés à l'extérieur du site de Brégaillon :**

Des outils extérieurs au site ont été utilisés pour mener à bien des essais de calcination, des essais de dessablage industriel ainsi que des essais de valorisation dans des procédés fonctionnant à échelle industrielle (compostage des fibres de posidonies, valorisation matières en cimenteries).

- **Unité de calcination** (en Belgique - Site ECOTERRES) pour réaliser des essais de traitements par calcination à 4 températures différentes :

1. 450°C
2. 650°C (étape 2 du procédé Novosol®)
3. 900°C
4. 1050°C

Ces calcinations ont été réalisées hors site essentiellement pour des raisons techniques et administratives liées aux autorisations préfectorales relatives au traitement des fumées.

- **Dessablage industriel** (à Sisteron) de petites quantités en carrière pour réaliser des essais comparatifs entre un hydrocyclone à l'échelle pilote (à Brégaillon) et un hydrocyclone industriel.



Compostage

Processus biologique de conversion et de valorisation des matières organiques en produit stabilisé : le compost.

Ce procédé est applicable aux boues et donc aux sédiments (riches en azote) par ajout de coproduits riches en carbone (eg. déchets verts, etc.).

Le compostage est une opération qui consiste à dégrader sous l'action de diverses bactéries, des déchets organiques en présence de l'oxygène de l'air.

- **Plateforme de compostage de déchets verts** (à Signes) pour réaliser des essais de valorisation de la fraction 4-20 mm essentiellement constituée de fibres de posidonies.



- **Cimenterie dans les Bouches du Rhône** pour réaliser des essais de valorisation « Valmat » des sédiments argileux répondant aux critères d'acceptabilité de l'usine et susceptibles d'entrer dans la chaîne de fabrication du ciment.



3. Equipements de dragage et transport vers le site pilote

Comme pour l'ensemble des opérations liées au site pilote industriel SEDIMARD 83, une procédure relative aux prélèvements et aux transports des sédiments a été établie pour chacun des ports.

Les opérations de dragage ont été réalisées depuis la berge à l'aide d'une pelle hydraulique ou d'un godet hydraulique manutentionné par une grue de levage télescopique. Ce mode opératoire s'est justifié de par :

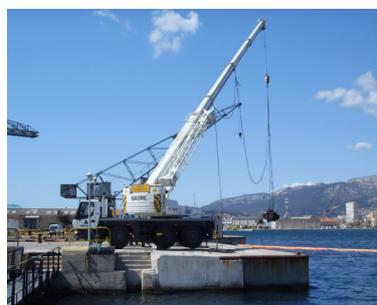
- la faible bathymétrie des zones à draguer ;
- la nature des sédiments et la faible quantité de sédiments dragués (entre 80 et 220 m³ par port).

Les sédiments ont ensuite été chargés dans des camions à bennes étanches puis acheminés jusqu'à la plateforme pilote de SEDIMARD 83.

Les opérations de dragage et de traitements des sédiments ont été réalisées suivant l'ordre suivant :

ARSENAL TOULON > CANNES > BANDOL > BREGAILLON > ST MANDRIER > SANARY > LAVANDOU > Vieux Port de MARSEILLE > GUILVINEC > RAVENNE.

Une fois arrivés sur le site, les sédiments prélevés ont été stockés en bassin d'accueil avant d'être soumis à tous les essais de traitements, prétraitements et analyses prévus.



Prélèvements des sédiments



Chargements des sédiments dans des camions équipés de bennes étanches

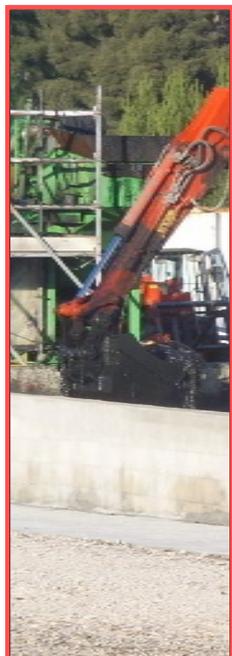
Entre chaque dragage, un lavage méticuleux des installations a été effectué afin de ne pas mélanger deux sédiments d'origines différentes.



Chargement dans le bassin



Eau surnageante sur sédiments bruts dans le bassin d'accueil





4. Matériels de laboratoire

Un réseau de laboratoires, avec les équipements adaptés aux normes en vigueur au moment de la réalisation du projet, a été mobilisé par l'entreprise ECOTERRES pour effectuer l'ensemble des analyses de l'opération SEDIMARD 83 :

- Analyses physico-chimiques
- Essais de lixiviation, de percolation, écotoxicologiques
- Essais géotechniques

Les principaux laboratoires missionnés ont été :

- Le laboratoire LENCA à Nice pour les analyses physico-chimiques et les essais de lixiviation
- Le laboratoire SIGMA pour les analyses minéralogiques, les essais de compression sur les sédiments traités par liants hydrauliques, et les essais de bétons réalisés
- Le laboratoire SGS Multilab pour les essais CNA (Capacité de Neutralisation Acido-Basique)
- Le laboratoire de l'INSA de Lyon division POLDEN pour les essais écotoxicologiques terrestres, les essais sur liants hydrauliques et les essais de percolation
- L'ICRAM (laboratoire italien équivalent à l'Ifremer) pour les essais écotoxicologiques marins
- L'université de Caen pour des essais mécaniques
- Le CETE Méditerranée pour les caractérisations géotechniques
- Le Laboratoire Départemental d'Analyses du Var pour les analyses d'eau



Le Laboratoire départemental d'analyses du Var (LDA83)

Service du Conseil Général du Var implanté sur deux sites géographiques : Draguignan et Toulon. Ce service public est un partenaire local spécialisé en analyses de laboratoire, conseil et expertise sur les thématiques environnementales (eau, air), hygiène alimentaire et santé animale.

Avec près de 55 pharmaciens, ingénieurs, docteurs ès sciences, techniciens, préleveurs et personnels administratifs, le laboratoire possède une compétence reconnue au niveau national par son accréditation COFRAC et ses agréments des Ministères de la Santé, de l'Agriculture et celui du Développement Durable.

Ainsi, quelque soit le besoin de son client (particulier, collectivités, industrie, bureaux d'études, artisans,...), le LDA83 garantit un traitement de la demande impartial et indépendant.

Impliqué dans de nombreuses missions locales de contrôles sanitaires environnementaux, le LDA83 a récemment spécialisé l'activité de ses deux pôles analytiques dracénois et toulonnais afin d'améliorer encore sa réactivité et son expertise au profit du client.

En 2013 :

- Le site de Toulon est devenu le site référent pour les analyses et expertises des eaux destinées à la consommation humaine et des eaux usées (effluents industriels, agricoles, etc).
- Le site de Draguignan est le site référent pour les analyses d'eaux de loisirs (piscines, baignades), analyses Légionelles et plans de maîtrise sanitaires associés, analyses et conseils en sécurité alimentaire, santé animale et air intérieur.



Le Laboratoire d'analyses du Var en chiffres :

- 3000 m² de plateforme analytique
- 40000 analyses d'eaux par an (eaux destinées à la consommation humaine, eaux usées, légionnelles, eaux de baignades, eaux hospitalières...)
- 60000 analyses de santé animale
- 3000 analyses alimentaires



V.4 EQUIPE MOBILISEE POUR LA CONDUITE DU PROJET



Le Conseil Général du Var a mobilisé, pendant les trois années de cette opération, une équipe de trois personnes, complétée ponctuellement par des intervenants experts internes à la collectivité des directions juridiques, marchés publics et communications.

Un investissement humain très conséquent du Département qui a permis le succès du Contrat d'Objectif SEDIMARD 83 :

- Un Chef du Projet : M. **Jean-Luc AQUA** > Chef du service d'étude et travaux de la Direction des Ports
- Un Chargé de la conduite de l'opération : M. **Laurent SANNIER** > Chargé d'opération du Bureau d'études et travaux de la Direction des Ports
- Une chargée de la gestion administrative et financière : Mme **Ilaria TIVOLLE** > Chef du Service Comptabilité Budget de la Direction des Ports

Fin 2012, le Conseil Général du Var a maintenu le cap à travers le lancement d'un nouveau contrat d'objectif : **SEDIMARD 2**.

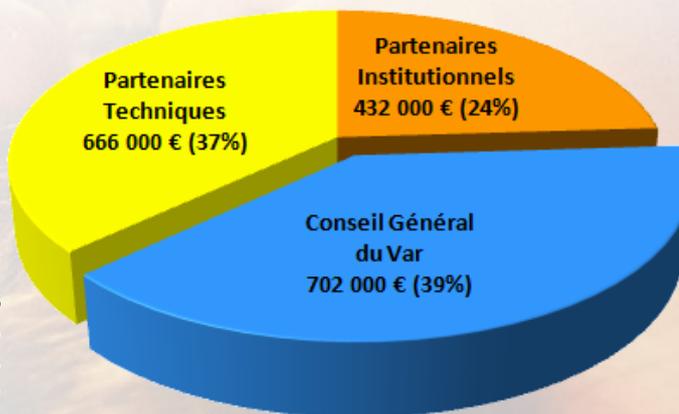
V.5 BUDGET DE L'OPERATION

Le budget global de l'opération a été de 1.8 M€ HT.



24% de financements extérieurs octroyés de la part de partenaires institutionnels acteurs impliqués dans la thématique des déchets et de la protection du milieu aquatique :

- > Agence de l'Eau RMC
- > Ademe PACA et Angers
- > Région PACA.



37% des fonds ont été apportés par les partenaires techniques et maîtres d'ouvrages publics portuaires qui ont souhaité participer à l'opération.

39% des fonds en autofinancement par le Département du Var.

Région PACA

La Région et SEDIMARD 83

« La Région poursuit son accompagnement pour le développement durable des activités portuaires, en particulier en matière environnementale, avec la confirmation de la démarche « Ports Propres » et le soutien à la recherche pour le traitement des pollutions sédimentaires, problématique majeure qui recouvre elle-même des questions relatives à la santé, à l'environnement, au développement économique, à l'aménagement du territoire, et à la coopération. »

Nathalie BERNARD, Chef du Service Mer et Littoral de la région PACA



Limites d'Atteberg

Teneurs en eau pondérable correspondantes à des états particuliers d'un sol :

- Limite de liquidité (W_L) : teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.

- Limite de liquidité (W_P) : teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre l'état plastique et solide.

- Indice de plasticité (I_p) : domaine situé entre les états de liquidité et de plasticité. Il est déterminé par la relation :

$$I_p = W_L - W_P$$

VI.1 DESCRIPTION DES TRAVAUX PAR AXE DE TRAVAIL

L'élaboration du projet a pu s'appuyer sur un grand nombre de caractérisations de sédiments, réalisées au travers de diagnostics départementaux ou régionaux, qui ont permis d'apporter une photographie qualitative fiable des polluants présents.

Toutefois, l'étude bibliographique au démarrage du projet n'a pas mis en évidence de travaux relatifs au potentiel de valorisation à terre des sédiments et les principales données récupérées correspondaient essentiellement à des recherches académiques autour des phases de caractérisations.

Deux expérimentations pilotes ont servi de support aux travaux du Conseil Général du Var (pilote « sediment washing » de l'autorité du port de Venise, pilote « solvay-colas » dans le Nord-Pas-de-Calais).

Au niveau communautaire, les données bibliographiques utilisées provenaient des importants travaux du groupe SEDNET (SEDiment NETwork), projet partenarial à l'échelle européenne sur les échanges thématiques et bibliographiques relatifs à la caractérisation, au dragage et à la gestion des sédiments.

En fonction de l'ensemble des données existantes, les sédiments du projet ont été sélectionnés de façon à être représentatifs d'un large éventail de qualités environnementales, depuis des sédiments peu contaminés jusqu'à des sédiments potentiellement dangereux.

Le projet SEDIMARD 83 s'est articulé autour de 4 grands axes de travail :

- **Axe 1** : Caractérisations environnementales et géotechniques du sédiment
- **Axe 2** : Définition d'un protocole d'évaluation de la dangerosité
- **Axe 3** : Installation pilote industriel :
 - Sous axe 3.1 : Evaluation des prétraitements et traitements applicables aux sédiments non immergeables
 - Sous axe 3.2 : Evaluation des impacts et de l'acceptabilité sociétale de la plateforme
- **Axe 4** : Identification des filières terrestres de gestion et analyses multicritères de scénarios

L'ensemble du projet a été organisé à travers 17 procédures de cadrage, validées par le groupe d'experts scientifiques, destinées à assurer une bonne reproductibilité tout au long de l'opération et permettant une intercomparaison fiable des résultats des différents traitements effectués sur les sédiments.

AXE 1 : Caractérisations environnementales et géotechniques des sédiments

Les caractérisations des sédiments ont été réalisées pour permettre une orientation dans différentes filières au delà du simple référentiel qualité Géode. Des évaluations environnementales adaptées à la gestion terrestre ont été menées et une première réflexion autour du potentiel de valorisation a été initiée.

L'hétérogénéité environnementale des sédiments étudiés sur le pilote SEDIMARD 83 correspond au large éventail de qualités susceptibles d'être rencontrées sur le littoral méditerranéen (représentativité confirmée en 2012 par le projet SEDIVALD dont le guide est téléchargeable sur le site CAP SEDIMENTS).

⇒ Caractérisations géotechniques :

Les données géotechniques ne sont pas utiles pour une filière de type immersion mais ces caractérisations du déchet « sédiment » influencent les possibilités de valorisation.

Les essais de caractérisation effectués ont été les suivants :

- Teneur en eau (NF EN 12880)
- Teneur en matière organique (NF ISO 14235)
- Granulométrie (NF ISO 13320)
- Valeur au bleu de méthylène (EN 933-9)
- Limites d'Atteberg
- Etude minéralogique



Teneur en Eau

Paramètre qui définit l'état hydrique du matériau. Elle est désignée par W et exprimée en %. La teneur en eau est définie par la formule $W(\%) = \text{masse d'eau} / \text{masse sèche} * 100$

Siccité

Paramètre d'évaluation de la consistance des boues. Elle est désignée par S et définit en %.

La siccité est le rapport de la masse sèche et de la masse humide du matériau. $S(\%) = \text{masse sèche} / \text{masse totale humide} * 100$.



GEODRISK

Logiciel développé par l'Ifremer pour faciliter l'évaluation des risques écologiques que pourrait représenter l'immersion des sédiments portuaires dragués.

L'Ifremer et le groupe interministériel Géode, ont réalisé un logiciel d'aide à la décision: GEODRISK

Celui-ci a confirmé que l'immersion est impossible pour les sédiments les plus contaminés.

⇒ **Caractérisations environnementales dans le contexte d'immersion**

• **Caractérisations physico-chimiques**

Ces caractérisations ont porté sur les sédiments bruts à leur arrivée sur le pilote ainsi que sur les sables et les fines issus de la séparation granulométrique. Les données produites ont permis de positionner les sédiments vis-à-vis des seuils GEODE et de pouvoir apprécier précisément la variabilité.

• **Caractérisation de la toxicité**

L'évaluation de la toxicité des sédiments vis-à-vis du milieu marin a été réalisée par l'ICRAM (Institut Central pour la Recherche scientifique et technologique Appliquée à la Mer) et par l'ARPA (Emilia-Romagna - Ingegneria Ambientale).

Les bio-essais effectués ont été les suivants:

1. *Vibrio fischeri* (Microtox®) - Solid Phase Test (SPT) sur matrice sédimentaire - Test aigu sur matrice sédimentaire ;
2. *Corophium orientale* : 10-jours et 28-jours en survie sur matrice sédimentaire - Test chronique sur matrice sédimentaire ;
3. *Paracentrotus lividus* : fécondation et développement larvaire sur l'éluat extrait de la matrice sédimentaire - Test chronique sur éluat.

Grâce à ces essais, qui viennent compléter les mesures physico-chimiques en contenu total et de façon à approfondir l'évaluation des risques d'impacts sur le milieu marin, le logiciel GEODRISK, développé par l'Ifremer, a été utilisé.

Au cours du projet, un indice global de qualité environnementale a été proposé pour faciliter l'interprétation et le classement des données :

Calcul des QN1 de tous les sédiments bruts à partir des analyses physico-chimiques

L'indice QN1 est un indice élaboré par analogie avec l'indice QPEC proposé par les voies navigables de France. Cet indice a pour objectif de positionner les sédiments dans un classement environnemental, des plus contaminés aux moins contaminés. Cet indice, qui ne considère pas les TBT, est - bien que discutable - une première approche de ce que pourrait être la définition de classes environnementales.

$$QN1 = \frac{1}{n\left(\frac{C_i}{N1_i}\right)}$$

C_i: Concentration du paramètre *i* ;
N1_i: Valeur de N1 pour le paramètre *i* ;

⇒ **Caractérisations environnementales (bruts, lixiviats) dans le contexte de gestion terrestre**

Les caractéristiques environnementales ont également été utilisées pour positionner les sédiments au regard de seuils réglementaires ou méthodologiques relatifs aux deux modes de gestion terrestre, *i.e.* le stockage ou la valorisation :

- Stockage : Position par rapport **aux valeurs des seuils d'acceptabilité en ISDD** (Installation de Stockage de Déchets Dangereux), **ISDND** (Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux) et **ISDI** (Installation de Stockage de Déchets Inertes)
- Valorisation : Evaluation de la possibilité de valorisation par comparaison aux **seuils limites du Guide SETRA** : "Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière" dans sa version provisoire (les seuils ayant été durcis dans la version finale publiée)



Guide SETRA

Le guide méthodologique, édité par le Sétra en mars 2011, vise à fournir une démarche d'évaluation de l'acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs élaborés à partir de déchets et destinés à être utilisés en technique routière.

Il s'adresse en priorité aux professionnels des travaux publics et aux industriels qui souhaitent étudier les possibilités de valorisation des déchets qu'ils détiennent ou qu'ils produisent.



La spectrométrie gamma

Technique qui permet d'identifier et de quantifier les éléments radioactifs (émetteurs gamma) présents dans un échantillon. L'analyse d'un échantillon par spectrométrie gamma donne naissance à un spectre, caractérisé par la présence de plusieurs pics. Chaque pic correspond à un rayonnement gamma issu de la désintégration des noyaux instables (ou atome radioactif) présents dans l'échantillon. Par la position et par la surface des pics sur le spectre, on détermine les radioéléments présents ainsi que leurs teneurs.

• Caractérisation radio-écologique

Le niveau de radioactivité potentiel des sédiments prélevés a été mesuré par le laboratoire de surveillance radiologique du LASEM de Toulon.

Les mesures ont été réalisées par spectrométrie gamma sur les radionucléides naturels et artificiels.

Le traitement des échantillons répond à la norme NF M 60-780-4 : « *Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Bio-indicateurs* ».

Enfin, l'analyse des échantillons en spectrométrie gamma répond à la norme NF M60-790-6 : « *Mesure de la radioactivité dans l'environnement* ».

Chaque spectre a été exploité par le logiciel « Interwinner® » qui permet :

- L'étalonnage en énergie
- La recherche atomique des pics
- Le marquage manuel des pics non détectés lors de la recherche automatique
- La décomposition des doublets
- La soustraction du bruit de fond
- L'identification des radioéléments
- Le calcul de l'activité de chaque radioélément en tenant compte du rendement du détecteur pour chaque géométrie de comptage, du pourcentage d'émission et de la décroissance radioactive
- L'estimation de l'erreur relative exprimée en pourcentage et en activité

AXE 2 : Définition d'un protocole d'évaluation de la dangerosité

Le projet s'est appuyé sur la note juridique du 19.09.02 du Ministère de l'Écologie qui rappelait que les sédiments sont un sous produit de l'activité de dragage qui vise à établir un libre écoulement de l'eau et non pas à exploiter un matériau particulier en vue de son utilisation.

Il apparaît que l'approche H14 permet d'identifier les effets de multi-contaminants sans pour autant les doser tous.

En effet, le dosage exhaustif de toutes les molécules n'est pas envisageable, aussi bien pour des raisons économiques, que pour des raisons liées aux connaissances scientifiques.

Ils sont généralement destinés à l'abandon et, dans ce sens, dans de nombreux cas considérés comme des déchets.

De plus, dans le cas de contaminations multiples, comme dans les sols ou les sédiments, il est connu que les effets cocktails ne sont pas négligeables.

Cette note indique que, très souvent, le critère H14 relatif à l'écotoxicité du déchet est déterminant pour savoir si un déchet est dangereux ou non, tout en rappelant qu'il n'existe aucune méthode officielle pour savoir si un déchet est écotoxique ou non.

La définition du caractère dangereux ou non dangereux du déchet « sédiment » est la clé d'entrée pour pouvoir définir des modes de gestion terrestre.

C'est donc une approche écotoxique d'évaluation de la dangerosité qui a été développée sur SEDIMARD 83.

En complément des analyses environnementales et géotechniques prévues initialement, des études ont été menées par le groupe d'experts scientifiques sur la caractérisation des sédiments :

- Tests d'écotoxicité Batox d'impact sur le milieu marin, réalisé conjointement entre l'Ifremer et l'ICRAM à Livourne, sur les sables issus du dessablage
- Etude de caractérisation géotechnique réalisée par l'Université de Caen.



Effet cocktail

Effets sur la santé de plusieurs substances chimiques auxquelles l'homme peut être simultanément exposé. Cette définition suggère que des molécules prises séparément peuvent voir leur toxicité augmenter lorsqu'elles sont combinées. Nous vivons entourés de la chimie et de substances chimiques très nombreuses. Environ 30 000 substances chimiques sont utilisées en Europe pour tous les usages industriels si on se réfère aux demandes d'enregistrement et d'évaluation du règlement européen.



- **Caractérisation de la dangerosité dans le contexte de gestion terrestre des sédiments** (toxicité vis à vis du milieu terrestre)

L'évaluation de la toxicité vis-à-vis du milieu terrestre se réalise sur deux parties du déchet :

- Une **fraction liquide** constituée :
 - Des lixiviats, issus de l'eau interstitielle piégée dans le sédiment, qui permettent de tester la toxicité directe
 - Des percolats, qui résultent de la percolation de l'eau au travers du sédiment, qui permettent de tester la toxicité indirecte
- Une **fraction solide** constituée des sédiments marins qui ont été déshydratés par centrifugation.

⇒ **Evaluation de la toxicité de la fraction liquide**

Evaluation de l'écotoxicité aiguë de l'eau interstitielle et du percolat des sédiments bruts avec des organismes marins comparables aux organismes d'eau douce utilisés habituellement pour les déchets (étape de screening).

Batterie retenue pour l'évaluation de l'écotoxicité aiguë des lixiviats des sédiments centrifugés avec des organismes d'eau douce :

	Organisme	Spécificités	Référence
Centrifugation	--	9 500 rpm - 30 min	Non normalisé
Lixiviation	--	Ratio S/L = 1/10 - 24 h	EN 12457-2
Daphnia Magna	Crustacé	Aigu - 24 h	EN ISO 6341
Vibrio Fischeri	Bactérie	Aigu - 30 min	EN ISO 11348-3

Batterie retenue pour l'évaluation de l'écotoxicité chronique des percolats des sédiments centrifugés avec des organismes d'eau douce :

	Organisme	Spécificités	Référence
Centrifugation	--	9 500 rpm - 30 min	Non normalisé
Lixiviation	--	Ratio S/L = 1/10 - 24 h	EN 12457-2
Pseudokirch. subcapitata	Algue verte	Chronique - 72 h	EN ISO 8692
Vibrio Fischeri	Rotifère	Chronique - 48 h	ISO/CD 20666

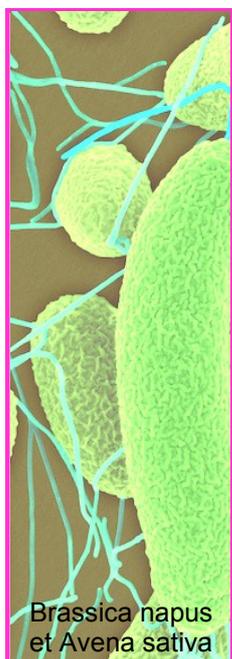
⇒ **Evaluation de la toxicité de la fraction solide**

Evaluation de l'écotoxicité des sédiments marins déshydratés par centrifugation.

Le choix des bio-essais et des méthodes de préparation des échantillons s'est fait en accord avec les experts français et avec les travaux de normalisation en cours au niveau européen.

Batterie retenue pour l'évaluation de l'écotoxicité aiguë des sédiments centrifugés avec des organismes terrestres :

	Organisme	Spécificités	Référence
Centrifugation	--	9 500 rpm - 30 min	Non normalisé
Eisenia fetida	Vers	Aigu - 14 j	ISO 11268-1
Brassica napus / Avena sativa	Végétaux supérieurs	Aigu germination	ISO 11262-2



Brassica napus
et Avena sativa



AXE 3 : Installation pilote industriel

- **Sous-axe 3.1 Evaluation des prétraitements et traitements applicables aux sédiments non immergeables**

Les sédiments peuvent être fins, argileux, plus ou moins organiques, avec des teneurs en eau importantes et des niveaux de contaminations très variables.

Les traitements et prétraitements mis en œuvre sur le site pilote SEDIMARD 83 ont été les suivants :

- Compostage ou bioremédiation
- Dessablage
- Déshydratation mécanique
- Calcination (450/900/1200°C)
- Phosphatation
- Procédé Novosol® (phosphatation/calcination)
- Chaulage
- Traitements aux liants hydrauliques
- Traitement des fibres de posidonie
- Valorisation en cimenterie

Les sédiments ont fait l'objet de traitements et de combinaisons de traitements en fonction des filières visées (e.g.: bioremédiation > dégrillage > stabilisation au liant). Ces combinaisons de traitements ont été intégrées à la bibliothèque scientifique du site Web CAP SEDIMENTS.

Chaque sédiment a été traité selon deux approches :

- Les sédiments bruts qui comprennent les fines (<63µm), les sables (entre 63µm et 2 mm) et la fraction grossière (>2mm)
- Les sédiments criblés et séparés en 3 lots : les fines, les sables et les fractions grossières

Les essais de prétraitements et de traitements ont été réalisés sur les 10 sédiments des ports des partenaires techniques.

Ils ont fait l'objet de procédures validées par le groupe d'experts scientifiques pour cadrer les modes opératoires et les conditions techniques de réalisation.

Ces procédures ont permis d'assurer la reproductibilité des mesures sur tous les sédiments et donc de faciliter la comparaison des résultats.

Pour simuler le fonctionnement potentiel d'un stock tampon, il a été décidé de mélanger les sédiments des ports de Sanary et du Lavandou (origines différentes mais niveaux de contamination comparables).

Ports dragués dans le cadre du projet (entre 80 et 200T MS sauf Guilvinec et Ravanne 100 à 200 kg)	Sédiments caractérisés et traités (Bruts/fines/sables)
Arsenal	Arsenal
Cannes	Cannes
Bandol	Bandol
Bregailon	Brégaillon
St Mandrier	St Mandrier
Sanary	Mélange Sanary/ Lavandou
Lavandou	
Vieux Port Marseille	Vieux Port Marseille
Guilvinec	Guilvinec
Ravanne	Ravanne 1
	Ravanne 2



En géotechnique, où l'on s'intéresse avant tout au comportement mécanique des sols, on distingue :

- **Les argiles :** Granulométrie inférieurs à 4µm
- **Les limons :** Granulométrie comprise entre 4 - 20µm (limons fins) et 20 - 63 µm (limons grossiers).
- **Les Sables :** Granulométrie est située entre 63µm et 2mm
- **Les Gravier :** Granulométrie comprise entre 2mm et 20mm



Hydrocarbure

Composé organique contenant exclusivement des atomes de carbone et d'hydrogène.

Sous forme de carbone fossile, ils sont une ressource énergétique essentielle pour l'économie depuis la révolution industrielle, mais aussi source de gaz à effet de serre issus de leur combustion. Ce sont des ressources non renouvelables (à échelle humaine de temps).

⇒ **Le Compostage ou bioremédiation** a pour objectif de réduire la teneur en eau et d'abattre les teneurs en chlorures et en contaminants (matière organique, TBT, ...)

A leur arrivée sur le site ou après le dessablage, les sédiments bruts ou fins sont mis en place dans la lagune étanche de bioremédiation, ils présentent alors une forte teneur en eau (50%). Les sédiments s'assèchent et deviennent pelletables. Ils sont alors mis en andains et retournés chaque semaine, pendant 4 à 6 mois.



⇒ **Le Dégrillage / Criblage / Dessablage** permet de séparer les macro-déchets très présents et les différentes fractions granulométriques contenues dans les matériaux bruts. Sur le pilote SEDIMARD 83 le principe mécanique retenu pour le dessablage a été l'hydrocyclonage permettant de séparer la fraction fine (0-63µm) de la fraction grossière (63µm / 2mm) après criblage à 2mm.

⇒ **La Déshydratation mécanique** permet de réduire rapidement la teneur en eau et de diminuer le volume. L'action consiste à augmenter la siccité pour obtenir une meilleure manœuvrabilité du produit. L'eau libérée peut être séparée des matières sèches par différents moyens mécaniques, allant du simple drainage sur grille jusqu'à des filtres à faible pression (filtre à bande) ou forte pression (filtre presse), mais également par des systèmes de centrifugation.

Sur le Pilote SEDIMARD 83 le principe mécanique utilisé pour la déshydratation mécanique a été la pression par filtre presse avec ajout de floculants.

⇒ **La Phosphatation** (Utilisation du mini-pilote SOLVAY): La phosphatation est un traitement chimique par ajout d'acide phosphorique.

Ce traitement chimique est une technique d'inertage sans utilisation de liant hydraulique. Le but du procédé n'est pas d'éliminer les métaux lourds mais seulement de les stabiliser (par fixation dans le réseau de phosphate de calcium néoformé), c'est-à-dire d'empêcher la contamination de l'environnement notamment par des phénomènes de relargage.

Il en résulte que le niveau en concentration massique des métaux reste le même que sur le matériau brut (il n'y a pas de destruction ou de désorption des contaminants).

La phase de traitement chimique a pour but théorique de stabiliser les métaux sous forme de phosphates insolubles.

⇒ **La calcination à 450°C, 650°C** (pour les produits préalablement phosphatés lors de la phase B du procédé Novosol®), **900°C et 1050°C** : le traitement par calcination a pour principal objectif de détruire par oxydation la matière organique et par voie de conséquence les polluants organiques.

Le procédé a également été testé pour vérifier si d'éventuelles propriétés pouzzolaniques des sédiments fins calcinés se développaient.





⇒ **Le procédé Novosol[®]** mis au point par la société SOLVAY, comporte 2 étapes (phosphatation et calcination) dissociables suivant les objectifs recherchés :

- Stabilisation des métaux lourds par fixation dans un cristal de phosphate de calcium formé par ajout d'acide phosphorique
- Destruction des composés organiques par calcination

Pour réaliser ces essais de traitement, la société SOLVAY a mis à disposition un mini-pilote industriel permettant de réaliser la première étape du procédé : la stabilisation des métaux lourds par phosphatation.

La seconde étape de calcination à 650°C a été réalisée en Belgique.

⇒ **Le Chaulage** : La chaux est un matériau qui existe sous différents états (vive, hydratée...) et différentes formes (poudres, granulés, blocs). La chaux vive est utilisée dans les travaux publics en présence de sols sensibles à l'eau (déshydratation par réaction exothermique) et de sols fins (restructuration).

De plus, elle est utilisée en dépollution de sols fortement contaminés par des hydrocarbures.

Le chaulage a été testé sur le projet comme alternative à la calcination permettant de réduire la teneur en matière organique présente dans les sédiments.

Mode opératoire du traitement à la chaux sur SEDIMARD 83 :

- Etape 1 : déterminer les types de chaux les plus adaptés et définir la meilleure réaction en fonction du pourcentage d'incorporation et de la forme choisie ;
- Etape 2 : mise en œuvre, sur un volume de plusieurs tonnes, du traitement défini à l'étape 1 et évaluation de l'efficacité du traitement sur la matière organique. Mesure de gain de performance vis-à-vis de la maniabilité du matériau.

⇒ **Traitements aux liants hydrauliques :**

Lors du projet SEDIMARD 83, l'inertage des contaminants par des traitements à base de liants hydrauliques a été testé.

L'inertage correspond à 3 approches différentes :

- Utilisation du pouvoir pouzzolanique du déchet « sédiment » notamment après calcination dans les formulations de bétons normés et non normés
- Valorisation de la fraction sableuse issue des opérations de dessablage dans les formulations de bétons normés et non normés
- Stabilisation / Solidification du déchet « sédiment » par des traitements à base de liants hydrauliques

L'inertage

Préalablement établi comme l'ensemble des techniques utilisées de manière à réduire, voire supprimer l'action d'un contaminant sur l'environnement.

Sachant qu'une matière inerte est une matière sans activité ni mouvement propre, donc sans énergie ni réaction. Pour les sédiments, il est impossible de parler d'inertage. En effet, le terme inertage englobe différents stades de traitement du sédiment, il ne s'agit pas d'une technique de dépollution mais seulement de stabilisation.

(BOUCARD L. et al.)



Herbiers de posidonies

Plantes aquatiques de la famille des *Posidoniaceae*.

Les fibres des feuilles de posidonies, difficilement dégradables, sont rassemblées par les mouvements de la mer en boules feutrées, appelées aegagropiles, souvent rejetées sur les plages de Méditerranée.

Les herbiers de posidonies sont essentiels pour l'écologie de la méditerranée, ils fournissent en effet un abri et de la nourriture, pour de nombreuses espèces.

⇒ **Traitement des fibres de posidonie** : pour les ports du Var, une présence forte de débris végétaux (fibres de posidonies mêlées à toutes les fractions granulométriques) a été constatée.

Les fibres de posidonies possèdent la particularité d'être très peu putrescibles.

Des essais de valorisation de cette fraction végétale, issue des sédiments varois (Sanary/Lavandou, Bandol, Brégaillon et Saint-Mandrier), ont donc été réalisés au niveau d'une unité de compostage située à Signes, dans le Var, gérée par VEOLIA.

Après 6 mois de compostage le matériau a été affiné à deux diamètres suivant l'utilisation future la plus adaptée :

- 10mm : utilisation pour les particuliers
- 25mm : utilisation pour cultures, espaces verts

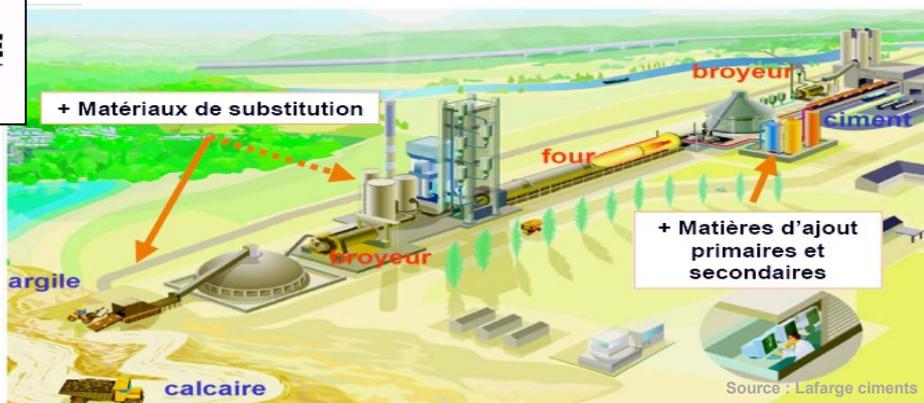
⇒ **Valorisation en cimenterie** : des essais de valorisation des fractions fines (< 63µm) en tant que matériaux de substitution en cimenterie ont été menés sur les sites de La Malle (13) et de Port La Nouvelle (11).

En effet, les fines issues des opérations de dessablage de la plate-forme pilote de Brégaillon, constituées d'argile, peuvent être utilisées dans le procédé cimentier en les incorporant dans les matières premières avant cuisson à 1200°C dans le four de fabrication du ciment.

L'essai a porté sur un ajout de 160 tonnes de fines de sédiments sur un total de 30 000 tonnes de pré-homogénéisation utilisées pour la fabrication du cru cimentier. Les fines ont été préalablement analysées afin de vérifier que leurs compositions chimiques répondaient aux critères d'acceptabilité du site :

- $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 > 80\%$ sur cendres ;
- Siccité > 50% (cible 80%) ;
- Chlorures < 0,5%, tolérance 1% ponctuellement ;
- Hg < 10ppm ;
- As+Co+Cr+Ni+Pb+Sb+Se+Sn+Te+V < 10 000ppm ;
- Hg+Cd+Ti < 100ppm ;
- HCT < 5 000ppm, HAP < 1 000ppm,
- PCB et PCT < 50ppm ;
- COT < 3%; autre, sous réserve d'un essai industriel de qualification ;
- Granulométrie : selon point d'introduction avant ou après concasseur primaire.

Durant le passage du lot considéré dans les fours, en plus des contrôles en continu habituels (COV totaux, HCl, NOx, SO₂, poussières), un contrôle des émissions de métaux lourds aux cheminées a été réalisé par un organisme extérieur (Norisko) afin de vérifier l'absence d'impacts sur l'environnement.



⇒ Combinaisons de traitements

Les traitements réalisés au cours de l'opération SEDIMARD 83 ont été appliqués seuls ou en combinaisons (e.g. : phosphatation + compostage + liants hydrauliques).

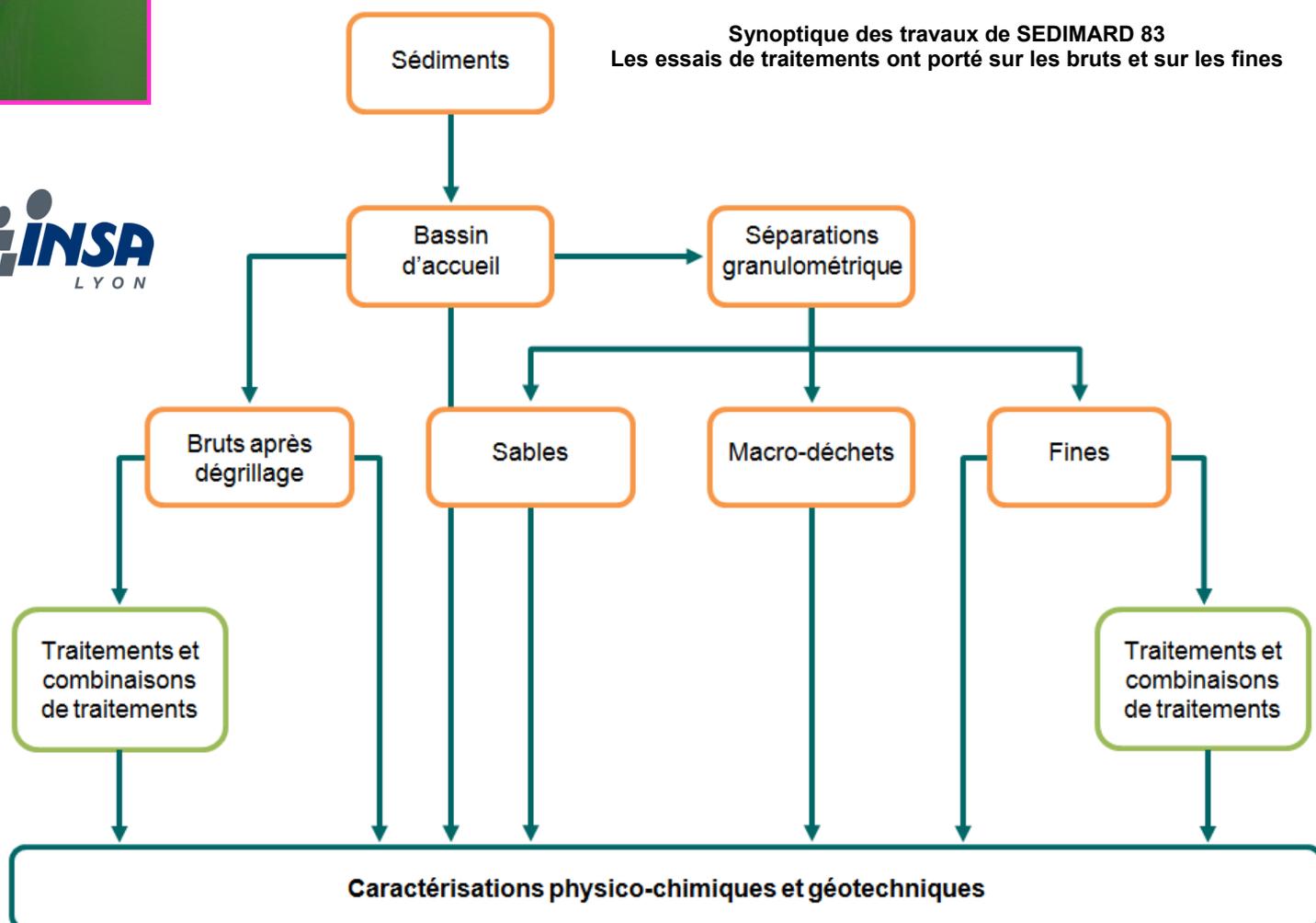
Les combinaisons de traitements peuvent améliorer les caractéristiques des sédiments avec plus d'efficacité qu'en additionnant l'effet de plusieurs traitements seuls. Les effets des différents traitements combinés peuvent donc s'amplifier. Toutefois, certaines combinaisons ont l'effet inverse et rendent moins efficace le traitement global (e.g. compostage de sédiments dessablés totalement inefficace).

Tout l'enjeu des combinaisons consistait donc à identifier un synoptique de traitements optimum permettant d'obtenir un sédiment avec des caractéristiques améliorées.

Cependant, devant la variabilité environnementale et géotechnique des sédiments étudiés, il est rapidement apparu impossible de mettre au point une combinaison unique de traitement efficace sur tous les sédiments.



Synoptique des travaux de SEDIMARD 83
Les essais de traitements ont porté sur les bruts et sur les fines





- **Sous-axe 3.2 : Evaluation des impacts et de l'acceptabilité sociétale de la plateforme industrielle de traitement**

> Problématique de gestion des eaux de la plateforme pilote

La préoccupation principale dans le cadre d'une unité pilote industrielle de traitement pour les sédiments est la prise en compte de la gestion des eaux (de ruissellement, de procédés, de ressuyage...).

Etant donné la typologie des traitements utilisés et l'emplacement du pilote industriel en bordure immédiate du milieu marin, le programme SEDIMARD 83 a dû travailler, dès la conception du projet, sur une gestion maîtrisée des eaux de la plateforme. Cette dimension du projet étant centrale pour l'obtention d'une autorisation administrative des travaux établie en lien étroit avec la **Cellule Qualité des Eaux Littorales du Var de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (CQEL)**.

La plateforme a donc été étanchéifiée et un réseau de collecte de l'ensemble des eaux a été installé, raccordé à un point unique (puits de relevage), à partir duquel les eaux chargées étaient traitées dans une installation à charbon actif.

A la fin du processus de traitement, l'eau était rejetée en mer après vérification des seuils limites de rejet fixés par la CQEL dans le cadre du processus réglementaire d'instruction au titre de la Loi sur l'Eau (cf. : tableau ci-contre).

> Des mesures de suivi du fonctionnement de l'unité de traitement des eaux ont été mises en place en lien avec la CQEL et l'entreprise.

> L'analyse des eaux de rejet de la station d'épuration a été réalisée mensuellement à 3 niveaux :

1. Dans le puits de relevage (influent)
2. En sortie du bassin de mélange (eau interne)
3. En sortie de l'unité de la STEP (effluent)

Seuils imposés par la CQEL. >>>

Ces valeurs sont génériques en France, proposées pour les eaux douces et le milieu marin et peuvent faire l'objet d'adaptations locales

Paramètres	Rejet maximum
pH	5.5 à 8.5
DCO (équivalent COT)	125 mg/l
MES	30 mg/l
As	0.1 mg/l
Cd	0.2 mg/l
Cr	0.5 mg/l
Hg	0.05 mg/l
Ni	0.5 mg/l
Pb	0.5 mg/l
Zn	2 mg/l
PCB(7)	0.005 mg/l
HAP (16)	0.005 mg/l
Hydrocarbures totaux	10 mg/l
TBT, DBT, MBT	0.001 mg/l
Al+Fe	5 mg/l
As+Cd+Cr+Cu+Hg+Ni+Pb+Zn	15 mg/l



Les CQEL

Les eaux littorales sont placées sous la surveillance des Cellules Qualité des Eaux Littorales, les **CQEL**, qui elles même dépendent du Ministère de l'environnement.

Les CQEL permettent d'asseoir toutes les dispositions prises en matière réglementaire, de contrôler la mise en œuvre de ces dispositions et d'évaluer l'efficacité des mesures concernant l'assainissement, les rejets et la préservation du milieu.



Puits de relevage



Prélèvement au niveau du bassin de mélange



Rejet en mer



SEDIMARD



Description des travaux

• Problématique de la pollution de l'air :

Une campagne de mesures a été réalisée à la demande de la Chambre de Commerce et d'Industrie du Var, dans le cadre du programme LIFE ENVIRONNEMENT SIMPYC. Elle a eu comme objet l'étude de l'influence de la zone portuaire sur la zone urbaine qui l'entoure du point de vue de la qualité de l'air.

La campagne de mesures, centrée sur la zone portuaire, complète les informations dont dispose Atmo PACA sur l'agglomération toulonnaise (6 sites de mesures permanents et les études précédentes menées sur ce territoire).

Deux autres campagnes de mesures, menées par Atmo PACA, se sont déroulées sur Toulon en même temps que l'étude SIMPYC, dont une campagne de mesures sur le pilote SEDIMARD 83 de Brégailhon (en collaboration avec Toulon Provence Méditerranée (TPM)).

• Information, communication, auprès des acteurs locaux et nationaux de la filière (maîtres d'ouvrages, professionnels, industriels, associations, particuliers, ...). Le pilote SEDIMARD 83 a été ouvert aux visites afin de favoriser l'information du public en toute transparence.

Plus de 1000 personnes ont ainsi pu visiter le site en exploitation !

Professionnels du déchet, services de l'Etat, entreprise de BTP (Granulats), organismes de recherche français et européens, associations de défense de l'environnement, associations d'usagers, élus locaux, écoles, journalistes

presse et télévision...

L'ensemble de ces visites a été organisé et géré par le Conseil Général du Var en lien avec l'entreprise ECOTERRES en charge de l'exploitation du site.



Presse et télévision :

Un fort affichage médiatique spontané et positif a démarré lors des opérations de prélèvement du Vieux Port de Marseille. La problématique liée à cette opération, et les premiers articles de l'Agence France Presse (AFP) ont suscité la curiosité des médias nationaux et internationaux.

Ainsi en quelques semaines le projet SEDIMARD 83 a fait l'objet :

- D'une centaine d'articles de presse : AFP, Actu Environnement, le Courrier international, journaux locaux (Var matin)
- De reportages télévisés nationaux et européens dont les principaux journaux télévisuels : Euronews, LCI, France 2, TF1
- D'émissions Radio : France info



Le pilote de traitement des boues de port présenté à Paris

BRÉGAILLON Le pari Sedimard 83 est en passe d'être gagné



De nombreuses délégations ont été reçues à Brégailhon pour découvrir le site pilote de traitement des boues de port. Hier après-midi, ce ont des techniciens venus de régions qui ne possèdent pas de stations de traitement des boues de port. Ils ont pu visiter le site pilote de traitement des boues de port de Brégailhon.

2 millions d'euros par an Le projet sera financé par le port de Marseille et par le département du Var. Le coût de l'opération est de 2 millions d'euros par an.

Le port de Marseille Le port de Marseille est le plus grand port de France. Il traite chaque année 100 millions de tonnes de marchandises.

Le traitement des boues Les boues de port sont un déchet dangereux. Elles sont traitées dans des usines de traitement des boues de port.

Le site pilote de Brégailhon Le site pilote de Brégailhon est une installation de traitement des boues de port de 1000 tonnes par jour.

Le projet SEDIMARD 83 Le projet SEDIMARD 83 est un projet de traitement des boues de port de 1000 tonnes par jour.

Le financement Le projet SEDIMARD 83 est financé par le port de Marseille et par le département du Var.

Le calendrier Le projet SEDIMARD 83 est en cours de construction et sera opérationnel en 2010.

Le contact Pour plus d'informations, contactez le port de Marseille ou le département du Var.

Comment ça marche ?

Le site pilote de Brégailhon est une installation de traitement des boues de port de 1000 tonnes par jour. Les boues de port sont traitées dans des usines de traitement des boues de port. Le site pilote de Brégailhon est une installation de traitement des boues de port de 1000 tonnes par jour.

Le projet SEDIMARD 83 Le projet SEDIMARD 83 est un projet de traitement des boues de port de 1000 tonnes par jour.

Le financement Le projet SEDIMARD 83 est financé par le port de Marseille et par le département du Var.

Le calendrier Le projet SEDIMARD 83 est en cours de construction et sera opérationnel en 2010.

Le contact Pour plus d'informations, contactez le port de Marseille ou le département du Var.



Interface active entre le milieu socio-économique et les laboratoires, INSAVALOR est la filiale de Recherche & Développement, Valorisation et Formation Continue de l'INSA de Lyon.

Promoteur actif de la recherche de l'INSA de Lyon, INSAVALOR favorise les relations entre les laboratoires et les entreprises en quête de solutions technologiques, de compétences et de formations pour leurs projets innovants.



CONSEIL GÉNÉRAL



POLDEN est une équipe d'études et de recherche d'INSAVALOR qui est compétente dans le domaine des déchets industriels et urbains, des sédiments et des sols pollués.

POLDEN contribue au développement ou à l'optimisation des stratégies de traitement et de valorisation des déchets industriels et urbains, des sédiments et des sols pollués, en tant que nouvelles ressources de matières premières ou d'énergie et dans un objectif de Développement Durable.

Axe 4 : Identification de filières de gestion et analyses multicritères de scénarios

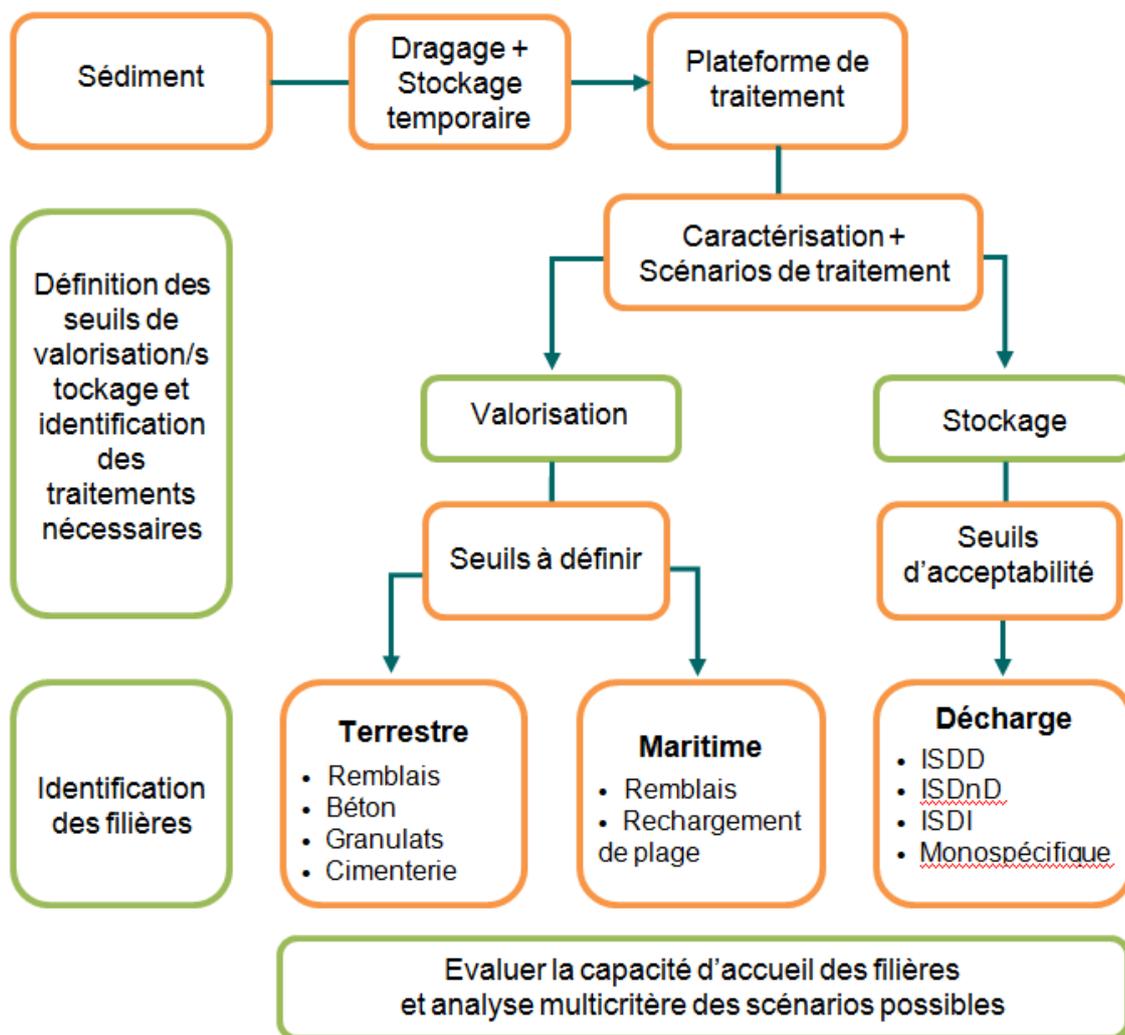
Cet axe a été abordé pour permettre d'identifier les différentes filières envisageables pour les sédiments et orienter les programmes de R&D nécessaires à mettre en place.

Les différentes filières de gestion à terre possibles sont la valorisation (béton, remblais, TP...) ou le stockage (ISDD, ISDnD, ISDI).

La seconde tâche a consisté à identifier les conditions d'accès et les traitements à appliquer permettant d'orienter les sédiments, vers l'une ou l'autre de ces filières.

Enfin, la dernière tâche a été l'analyse des différents scénarios de gestion en fonction des capacités d'accueil des différentes filières. Pour ce faire, un outil d'analyse multicritères a été développé, en lien avec le bureau d'études INSAVALOR POLDEN, afin de permettre aux décideurs de visualiser avantages et inconvénients des différentes possibilités de gestion.

Les solutions de gestion identifiées sont spécifiques à un territoire et doivent s'établir à un niveau local. Si le principe de ce volet de l'étude est reproductible, il n'a été appliqué que pour les scénarios varois dans le cadre de l'opération SEDIMARD 83.





Analyse multicritères

Méthodologie dont le but est d'apporter une aide à la décision pour des problèmes complexes.

Il s'agit d'utiliser un modèle mathématique adapté aux décisions à prendre en décrivant la réalité de façon la plus objective possible.

Pour modéliser le problème et faciliter la décision, on définit des actions à suivre qui seront jugées par des critères.

Analyses multicritères

Les analyses multicritères de procédés et de filières sont des outils utilisés pour permettre une comparaison la plus objective possible de différents scénarios. Ces outils sont particulièrement importants quand le choix du scénario doit être partagé entre plusieurs entités dont les intérêts peuvent diverger.

La comparaison entre scénarios se base sur une liste de critères sélectionnés par le(s) donneur(s) d'ordres avec la possibilité de les pondérer en fonction des contextes locaux particuliers (exemple dans une zone Natura 2000, le poids des critères environnementaux sera renforcé).

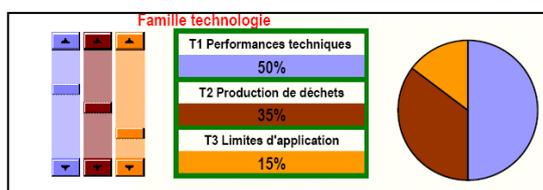
Ces analyses constituent aussi de parfaits supports en vue d'assurer une communication partagée et facilitent ainsi une approche concertée avec le public.

Dans le cadre de l'opération SEDIMARD 83, les critères ont été regroupés en 4 familles qui représentent les grands thèmes d'intérêt de la gestion des déchets selon le développement durable.

La majorité des critères a été renseignée avec des données objectives récoltées lors de la mise en œuvre du pilote de prétraitement et traitement. En revanche, certains des critères ont été difficilement quantifiables car ne bénéficiant pas de données chiffrées pour l'élaboration de leur note et dans ce cas, une note d'expert a été proposée.

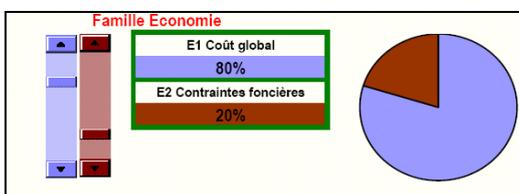
• **La famille technologique** regroupe les critères qui jugent des qualités purement techniques du procédé :

- T1 : Performances techniques par rapport au potentiel polluant
- T2 : Part du gisement brut non traité (dont production de déchets solides destinés à la mise en décharge)
- T3 : Limites d'application - Robustesse du procédé (selon le débit de sédiment admissible et selon la sensibilité aux variations de qualité du sédiment)



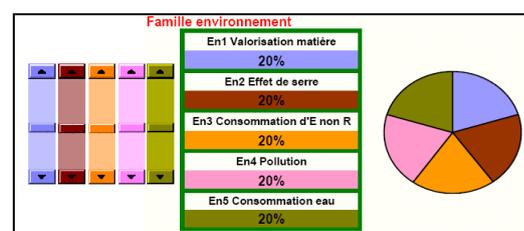
• **La famille économique** représente la problématique des coûts des solutions et regroupe les critères :

- E1 : Coût de traitement (coût d'investissement et coût global)
- E2 : Emprise au sol / Contraintes foncières



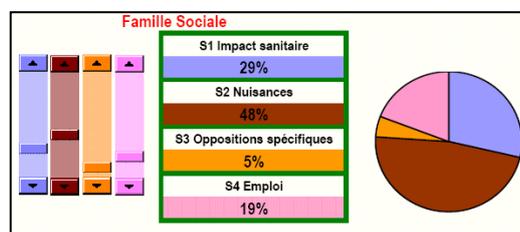
• **La famille environnementale** se compose de critères jugeant de la qualité environnementale de l'action :

- En1 : Valorisation matière
- En2 : Contribution à l'effet de serre
- En3 : Consommation d'énergie non renouvelable
- En4 : Pollutions engendrées
- En5 : Consommation d'eau.



• **La famille sociale** juge des actions au travers de critères sociaux.

- S1 : Impact sanitaire (sur la santé des travailleurs et des populations environnantes)
- S2 : Nuisances (odeurs, bruit, trafic)
- S3 : Oppositions spécifiques
- S4 : Emplois



Deux analyses multicritères pour SEDIMARD 83

> Analyse des prétraitements et traitements des sédiments, l'élimination des résidus et le type de valorisation des produits obtenus. Le but étant de discriminer les différents procédés envisagés pour le traitement des sédiments contaminés.

> Examen des propositions de scénarios de gestion établis par le maître d'ouvrage au sujet de la prise en compte du dragage jusqu'aux filières de valorisation complètes. Elle a eu pour objectif de comparer les scénarios de traitement dans leur globalité.



VI. 2 CALENDRIER D'EXECUTION

L'opération SEDIMARD 83 a démarré en 2003 après le diagnostic des 54 ports varois, les données continuent à être exploitées en 2013.

⇒ **2003** : Signature de la charte « Dragage et Environnement »

⇒ **2004 à juin 2005** : Conception du pilote industriel et lancement d'un appel d'offre européen

- Structuration de la gouvernance et de l'animation du projet
- Dépôt des demandes d'autorisations administratives (loi sur l'eau, ICPE, Pyrotechnique) nécessaires à l'installation du site et aux opérations de dragage
- Montage des marchés nécessaires à l'opération dont l'appel d'offre européen remporté par l'entreprise belge ECOTERRES SA spécialisée dans la gestion à terre des déblais de dragage

⇒ **Janvier 2006 à mars 2006** : Installation du site pilote dans la Zone Industrielle Portuaire de Brégaillon

⇒ **Avril 2006 à mai 2007** : Dragages des ports des partenaires techniques et traitements des sédiments sur la zone pilote, le site étant organisé pour accueillir un port après l'autre

⇒ **2007** : Bilan étape à mi-parcours de l'opération pour réorienter et redéfinir les traitements à développer ou à abandonner

⇒ **Juin 2008 à 2009** : Replis des installations, analyses et interprétations des résultats



ESQUISSE DU SITE PILOTE
SEDIMARD 83



Il existe 3 types de décharges :

- **Les ISDI**
Installation de Stockage de Déchets Inertes
- **Les ISDD**
Installation de Stockage de Déchets Dangereux
- **Les ISDnD**
Installation de Stockage de Déchets non Dangereux

VII.1 RESULTATS GENERAUX

Le projet SEDIMARD 83 a permis de confirmer les difficultés d'identifier des filières terrestres adaptées aux sédiments non-immérgeables, voire parfois de démontrer l'absence de filière de gestion :

- Rareté ou absence de filière de stockage car les sédiments marins ne peuvent être orientés en ISDI (jamais), ISDnD (souvent) ou ISDD (parfois) pour des raisons environnementales et économiques et les dépôts monospécifiques ne sont pas réglementés
- Absence de filière de valorisation car les méthodologies et/ou les seuils ne sont pas établis
- Absence de modèle économique associé à la gestion terrestre, mode de gestion 30 à 40 fois plus onéreux qu'un simple rejet en mer



Photo de la décharge expérimentale monospécifique du projet Ty Coq

Le projet a permis d'élaborer un protocole d'évaluation H14 de la dangerosité du déchet (protocole SEDIMARD) qui a été repris par l'Etat (DGPR) et a fait l'objet d'une campagne de tests au niveau national par le BRGM en 2010.

Le projet a également permis d'apporter les premières caractérisations géotechniques et environnementales des sédiments en qualité de déchets et a produit une base de données, relative à une évaluation de l'efficacité des traitements existants, au travers de la réalisation de plus de 3000 analyses et essais.

Enfin, le projet a aussi permis d'identifier très précisément les verrous technologiques et scientifiques à lever pour permettre l'accès à des filières terrestres de gestion.



Déchet dangereux

Tout déchet identifié tel qu'à l'article 5 du décret n°2002-540 du 18 avril 2002 relatif à la classification des déchets.

Les déchets dangereux sont les déchets issus de l'activité industrielle présentant un risque pour la santé ou l'environnement et qui nécessitent un traitement adapté.

Pour les sédiments, les propriétés les plus pertinentes pour l'évaluation de la dangerosité sont les propriétés H14 et H15.



De ce fait, SEDIMARD 83 a contribué à l'orientation de la recherche sur les principaux projets qui se sont développés ensuite sur la thématique, tels que :

SEDIMED : pour travailler spécifiquement sur l'acceptabilité environnementale de filières.

SEDIPLATEFORME : pour travailler sur l'ensemble de la chaîne industrielle et la création d'un pôle méditerranéen de recherches sur la thématique.

Le projet SEDIMARD 83 est clairement à l'origine de la plupart des programmes « SEDI » qui se sont développés en France après l'opération du Conseil Général du Var.



Fraction fine

Ce sont des particules de sédiment inférieures à 63µm et qui sont principalement constituées d'argiles.

De par leur petite taille, elles présentent un grande surface spécifique et sont capable d'adsorber de fortes concentration de contaminants.

Cette fraction est donc la plus problématique car elle est la plus polluée et la plus difficile à traiter.

VII.2 RESULTATS AU REGARD DES OBJECTIFS DETAILLES

Le projet SEDIMARD 83 permis d'atteindre des résultats significatifs pour les 4 axes de travail

Axe 1 : Caractérisations géotechniques et environnementales des sédiments

Les sédiments sont des déchets présentant de grandes variabilités environnementales et géotechniques qui rendent complexe leur gestion.

Le sédiment contient environ 50% d'eau et différentes fractions qui doivent toutes faire l'objet de réflexions pour définir les modes de gestion terrestre.

La synthèse des bilans matières réalisés permet d'identifier différentes catégories de particules :

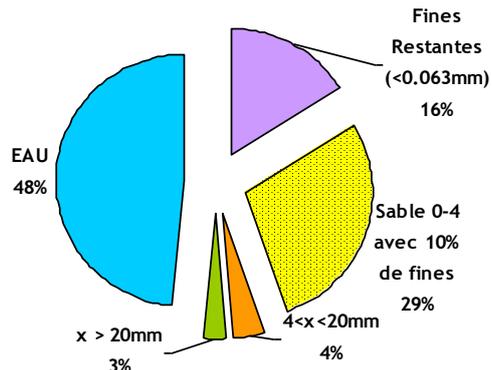
- **Les particules solides : Fraction > 2mm :**
 - Macro déchets (X> 20mm)
 - Fraction entre 4 et 20mm. La limite de 4mm a été préconisée suite à différents tests
- **Les sables : Fraction < 2mm (ou < 4mm) :**
 - Les sables 0-2mm contiennent encore 10% de fines (valeur moyenne de l'efficacité d'un hydrocyclonage).
 - Cette valeur de 10% a été obtenue après criblage des différents ports dans un site équipé d'un hydrocyclone industriel.
- **Les fines : Fraction < 0.063mm, obtenues après lavage des sables :**

Dans les sédiments analysés les trois classes de taille étaient présentes en proportions variables confirmant une grande variabilité y compris au niveau des fractions constituantes.

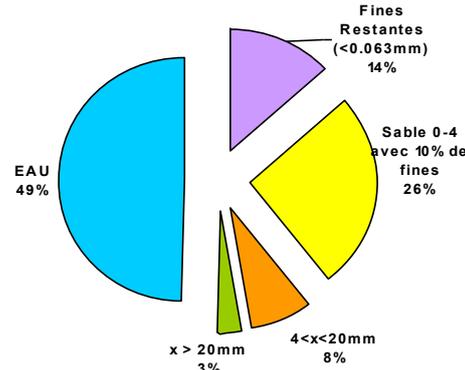
Composition du sédiment de Brégaillon



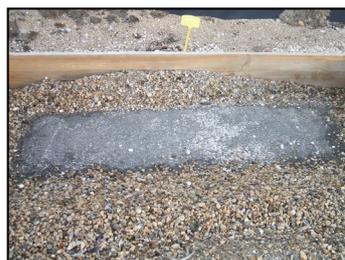
Composition du sédiment de l'Arsenal



Composition du sédiment de Marseille



(2 - 20mm)- Loupe binoculaire



Fraction 0-2mm



Fraction 20-80mm
Macro déchets



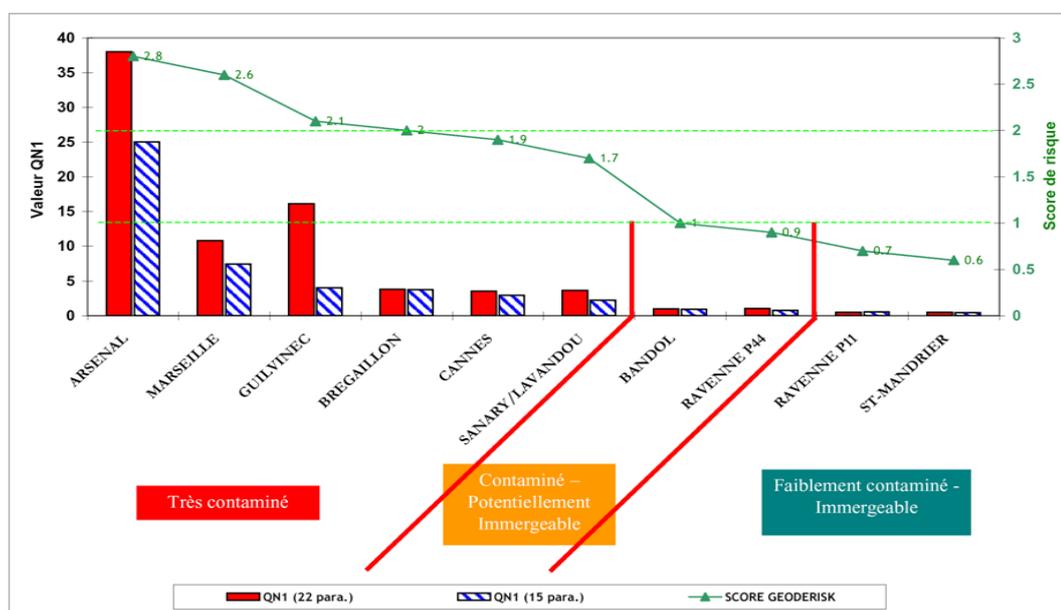
SEDIMARD



Principaux livrables et résultats

⇒ Caractérisations physico-chimiques et lixiviations

D'un point de vue environnemental, le projet SEDIMARD 83 a traité un large éventail de qualités de sédiments, représentatif des différents niveaux de contamination susceptibles d'être rencontrés lors d'une gestion terrestre.



Classement Environnemental (hors dangerosité) des sédiments de l'opération SEDIMARD 83 en fonction du QN1 et des scores de risque

⇒ Caractéristiques minéralogiques et géotechniques

D'un point de vue minéralogique, les sédiments qui ont été utilisés lors du projet SEDIMARD 83 sont composés majoritairement de quartz, de calcite, de feldspaths, d'illite et de kaolinite, avec des compositions proches pour les trois sites de la rade de Toulon. Ces données sont étroitement liées aux sites étudiés.

Les caractéristiques géotechniques mesurées ont mis en évidence la grande variabilité des sédiments avec néanmoins une caractéristique commune : la finesse des sables présents. Cette caractéristique est importante, car elle implique obligatoirement un renforcement du squelette granulaire quel que soit le scénario de valorisation visé.

	Arsenal	Brégail- lon	Ravenne P11	Marseille	St Man- drier	Sanary/ Lavan- dou	Guilvi- nec
Classification GTR Taux en MO	F12	F11	/	F12	F12	F11	/
Classification GTR Taux de fines	A	A	A	B	B	B	B
Classification GTR Ip ou MB	A3	A1	N.M.	B6	B5	B5	B5
Classification GTR	A ₃ F ₁₂	A ₁ F ₁₁	A	B ₆ F ₁₂	B ₅ F ₁₂	B ₅ F ₁₁	B ₅

Il ressort de l'ensemble des analyses (environnementale, minéralogique et géotechnique) que les analyses « GEODE » réalisées réglementairement avant dragage sont parfaitement adaptées pour pré-évaluer l'impact potentiel d'un rejet en mer. Toutefois, celles-ci sont trop incomplètes pour pouvoir orienter un scénario de gestion à terre.

Au regard des enjeux environnementaux et économiques d'une gestion à terre, les caractérisations avant dragage doivent impérativement être améliorées en nombre et nature, notamment par la réalisation de caractérisations géotechniques.



⇒ Positionnement par rapport à une solution de type stockage

A leur arrivée sur la plateforme, les sédiments présentent des teneurs en eau de 50% environ d'où la nécessité d'augmenter la siccité pour les rendre pelletables. Les caractérisations réalisées (analyses physico-chimiques, lixiviations) font apparaître des paramètres bloquants vis-à-vis de l'accès en stockages réglementés :

- En contenu total : dépassements en COT, PCB totaux, HAP totaux et HCT
- En lixiviation : dépassements des chlorures, sulfates, fractions solubles, molybdène, antimoine et sélénium

A noter toutefois que la mesure des COT en contenu total est rendue hors COFRAC par les laboratoires du fait de la présence jugée trop importante des chlorures.

Il ressort de ces caractérisations que les sédiments ne peuvent accéder que difficilement aux sites de stockage existants et que le développement d'un outil de stockage monospécifique est une priorité.

Concernant les essais de lixiviation, il est à noter que les résultats apparaissent homogènes quelque soit le niveau de contamination en contenus totaux. Ce résultat pose question sur la taille des polluants dans la matrice sédiment et sur les méthodes de mesure de leur mobilité.

Il ressort qu'un scénario de stockage hors site portuaire dans une installation règlementée ne peut se concevoir sans prétraitements préalables ou sans dérogation pour les chlorures et la siccité.

S'il apparaît nécessaire d'augmenter la tenue mécanique du stock, des traitements devront alors être appliqués.



⇒ Positionnement par rapport à une solution de type valorisation

Un scénario de type valorisation nécessite de s'intéresser aux caractéristiques environnementales, mais également aux propriétés géotechniques des sédiments. Le référentiel méthodologique utilisé est le référentiel GTR (Guide de Terrassement Routier) qui permet un classement des sols en vue d'identifier les possibilités de réemploi. A noter que ce référentiel nécessite d'être utilisé avec réserves du fait des spécificités des sédiments, et notamment de la présence de fibres de posidonies qui peuvent fausser les résultats et interprétations des mesures de matière organique.

L'étude du comportement mécanique à long terme des fibres de posidonies dans la fraction 0-4mm et des possibilités de lavage est une question non traitée à ce jour.



Le renforcement par des sables anguleux de carrière ou issus du recyclage du BTP est indispensable suivant le scénario visé. D'un point de vue environnemental, les paramètres problématiques pour la valorisation sont identiques aux paramètres identifiés pour le stockage. Les essais de lixiviation sont utilisés dans les deux cas. Un scénario de valorisation ne pourra se concevoir sans étapes de prétraitements et traitements préalables. Il faudra également tenir compte de l'efficacité dans le temps des traitements.

⇒ Macro-déchets

Les macro-déchets sont apparus très abondants sur tous les sites de l'opération au-delà des hypothèses prévues avant projet. Ils sont constitués de déchets de natures très variées (bois, ferrailles, plastiques, verres, ...). Ils seront probablement impossibles à valoriser à moins d'un lavage soigné difficilement concevable d'un point de vue économique.



Macro-déchet

C'est un produit défini par l'accord de Ramoge comme « un déchet issu de l'activité humaine, flottant en surface ou immergé, transporté par les courants marins ou par les fleuves jusqu'au littoral et se déposant sur les plages ou sur le fond ».

Ces déchets, de taille supérieure à 20mm, sont en général sortis des circuits traditionnels de gestion des déchets après avoir été abandonnés dans la nature, jetés en mer ou emportés par un coup de vent.



Chlorures

Les sédiments marins ont une teneur en chlorures liée à celle de l'eau de mer. Les chlorures sont souvent toxiques pour les organismes d'eau douce ou terrestres, pour autant, les sels à l'origine de la salinité de l'eau de mer ne sont pas considérés comme des substances dangereuses par la réglementation, ce qui fait que les sédiments ne doivent pas être considérés comme "contenant des substances dangereuses" au seul titre de leur salinité. Les sédiments seront traités à terre comme des déchets et ne pourront vraisemblablement pas bénéficier d'un régime réglementaire particulier (NDA).

⇒ Cas particulier des chlorures

La mer contient en moyenne 35g d'ions chlorures par kg d'eau. Cette teneur se retrouve donc naturellement dans les sédiments.

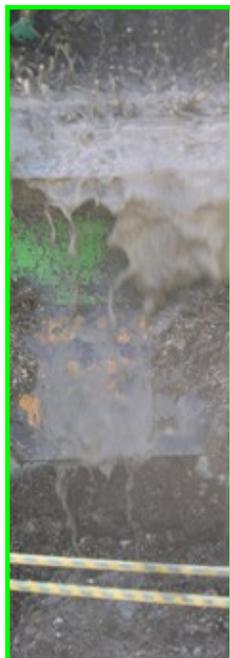
Une telle concentration en sel représente une des difficultés majeures de la gestion terrestre des sédiments marins, en stockage et en valorisation. Les effets des chlorures sur les faunes et flores terrestres sont forts, avec une mortalité fulgurante des espèces non halophiles.

Pour le stockage, les teneurs en chlorures et en fractions solubles dépassent les seuils d'acceptabilité en centres ISDI (toujours), ISDnD (souvent), ISDD (parfois). Concernant les méthodologies de valorisation basées sur des essais de lixiviation et de percolation, les résultats sur ces paramètres sont problématiques pour accéder aux filières.

Pour autant, les chlorures ne classent pas le sédiment en déchet dangereux. Le protocole d'évaluation de la dangerosité prévoit même une étape de centrifugation pour les éliminer en amont de l'essai. Les chlorures masqueraient les effets toxiques des véritables cocktails de contaminants (mercure, plomb, HAP, TBT, PCB, ...). Ils empêchent de mesurer la « réelle » dangerosité du déchet.

Différentes stratégies possibles pour la question des chlorures :

- Une étape de prétraitement : à la différence des autres contaminants, les chlorures ne sont pas fixés aux sédiments. Leur élimination est simple à réaliser par action de la pluie ou par lavage forcé. A ce titre, si les sédiments présentent un réel potentiel de valorisation, l'ajout de sable, prévu généralement en fin de traitements pour améliorer les propriétés mécaniques, peut s'envisager, pour partie, dès la mise en andains. Cela améliorera la circulation d'eau et favorisera une élimination plus rapide du sel.
- Concernant le stockage, deux approches sont envisageables (hors cas de dérogation). Le prétraitement pour respecter les critères d'acceptabilité avant orientation dans un centre de stockage existant ou la conception d'un site de stockage mono-dépôt avec une installation de traitement des eaux adaptée aux fortes teneurs en chlorures.
- Dans une approche de type valorisation : il convient de distinguer les scénarios situés en bord de mer, où les terrains présentent des écosystèmes adaptés à la présence de chlorures, des autres scénarios. Dans le premier cas et après vérification, la présence de chlorures n'est pas forcément problématique, dans le second cas, une étape de lavage apparaît indispensable.

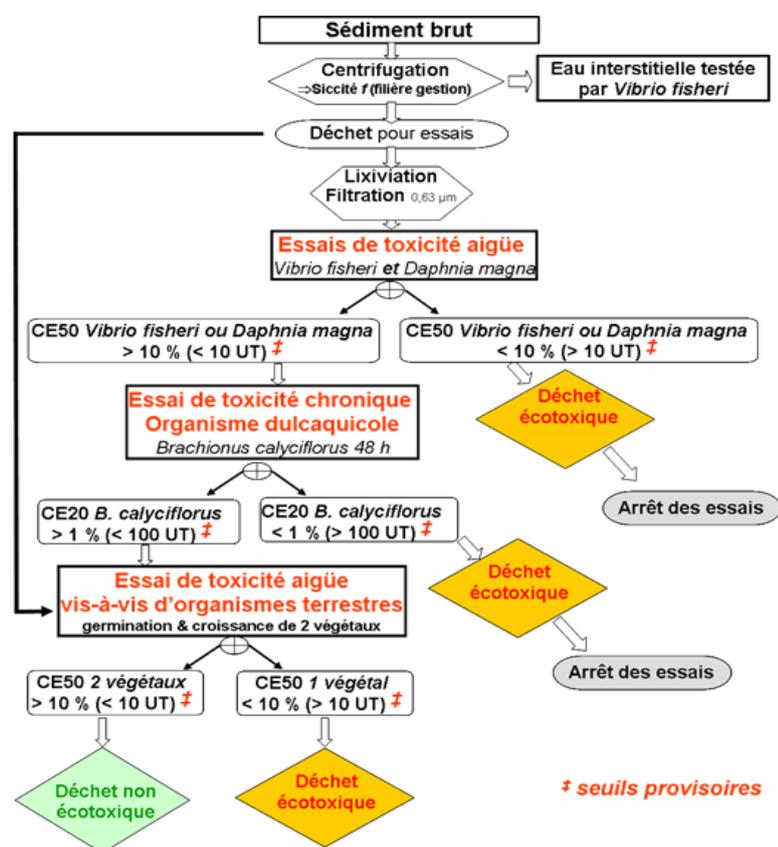




Axe 2 Définition d'un protocole d'évaluation de la dangerosité

Le projet SEDIMARD a permis de bâtir un protocole de définition de la dangerosité suivant la propriété H14 : écotoxicité.

Ce protocole, présenté au Groupe de Travail du Ministère en charge de l'Environnement (GT « dangerosité des sédiments ») en décembre 2008, a été établi par le groupe d'experts scientifiques de SEDIMARD 83 en collaboration avec le bureau d'études déchets missionné (POLDEN INSAVALOR).



Protocole SEDIMARD 83 établi et retenu par le groupe de travail « dangerosité des sédiments » du MEEDDM pour l'évaluation de la propriété H14 sur les sédiments marins et continentaux (30 juin 2009).

Ce protocole a servi de support au BRGM pour réaliser une campagne d'essais à l'échelle nationale pour le compte du Ministère en charge de l'écologie.

Pour travailler sur la propriété H14 et H15, un programme d'essais complémentaires porté par l'école des Mines de Paris (Armines Laboratoire CRC de Sophia Antipolis) a également été lancé en 2011 : SEDIVALD, dont le guide de réalisation est disponible sur le site de CAP SEDIMENTS.

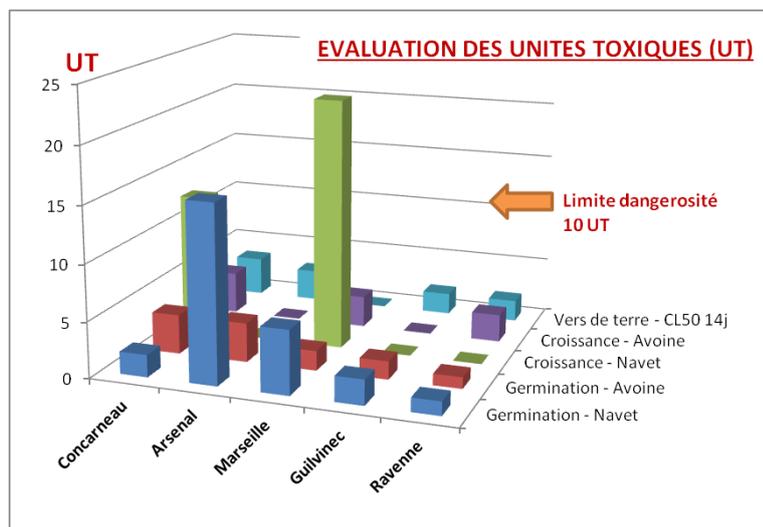
> Résultats du protocole d'évaluation de la dangerosité :

Très peu de sédiments sont suffisamment contaminés pour être considérés comme des déchets dangereux.

Il a été conclu que 3 sites ont des sédiments classés « dangereux » :

- L'Arsenal
- Marseille
- Concarneau

Il s'agit de zones techniques (carénage) identifiées en fond de port et donc très fortement impactées.





Spéciation

Ce sont les formes chimiques sous lesquelles existe un contaminant (ex. ETM).

La forme chimique (i.e. réduite, oxydée, complexée, etc.) du contaminant peut influencer fortement sur sa toxicité et sa mobilité et il est donc primordial de la déterminer.

Axe 3 : Installation du pilote industriel

L'installation du pilote a parfaitement fonctionné, conformément aux besoins du chantier pendant les deux années de son exploitation. Des difficultés de mise en route, liées au caractère fortement argileux et colmatant des sédiments de la rade de Toulon, ont été rapidement résolues par l'entreprise ECOTERRRES et les rendements ont pu être respectés.

• Sous-axe 3.1 : Evaluation des prétraitements et traitements applicables aux sédiments non immergeables

Les différents procédés testés ont donné des résultats intéressants et il a été possible d'identifier les avantages, les inconvénients et les limites de chacun des procédés.

D'une façon générale, il apparaît probable que les opérations de traitements seront limitées aux sédiments dont le potentiel de valorisation semble intéressant. Les sédiments les plus contaminés semblent en effet difficilement traitables à partir des seuls procédés existants en 2007.

Toutefois, le projet a permis d'identifier des prétraitements et traitements importants en vue d'une gestion terrestre (guide thématique traitements téléchargeable sur le site web de CAP SEDIMENTS).

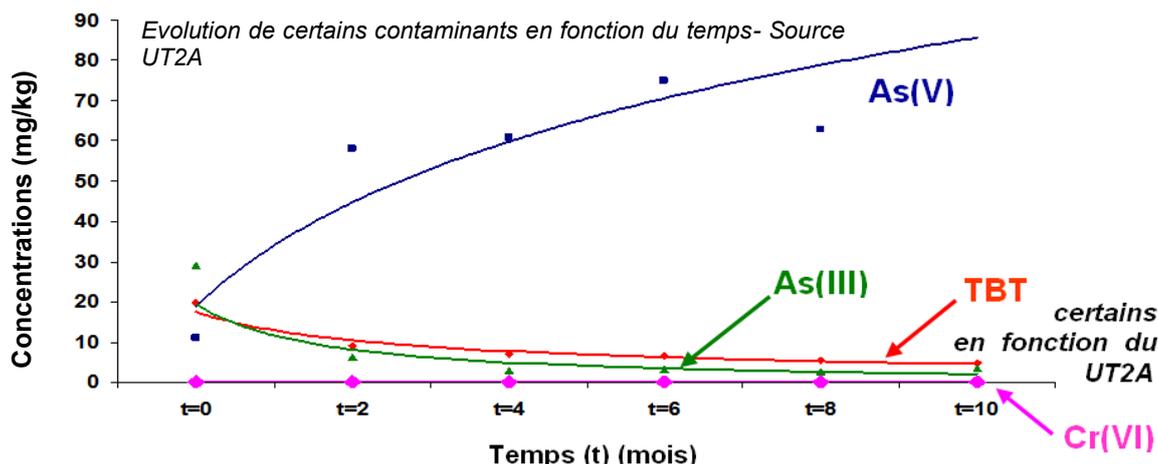
⇒ Assèchement et prétraitement en lagune étanche de type bioremédiation :

Ce traitement provoque l'assèchement des sédiments qui arrivent sur la plateforme. Il se positionne en début de processus et permet :

- La réduction de la pollution associée à des composés toxiques dégradables (TBT et HAP notamment)
- La réduction de la matière organique, l'abaissement des teneurs en hydrocarbures, la chute de la teneur en chlorure et la réduction de la teneur en eau. Certains métaux lourds changent également de spéciation après une durée de compostage supérieure à 4 mois

La bioremédiation réalisée sur SEDIMARD 83 a révélé que ce prétraitement améliorerait considérablement les propriétés du sédiment et qu'il constituait une étape indispensable avant les opérations d'orientations en filières

Il a aussi été mis en évidence qu'une simple correction granulométrique facilitait l'abattement des chlorures en augmentant la porosité des sédiments. Au bout de 3 à 4 mois, les sédiments sont « secs » et le criblage, pour la séparation des macro-déchets et des différentes fractions, est facilité.





SEDIGEST

GESTion durable des SEDiments de dragage des ports : Projet de 40 mois démarré en 2008. Il avait pour objectifs de développer une méthodologie d'évaluation des risques écologiques du stockage à terre des sédiments prétraités de dragage des ports et d'élaborer un guide sur cette gestion.

Le projet devait également permettre de lever les principaux verrous sur la compréhension des mécanismes pouvant créer ces risques.



Les Composés Organiques Volatils (COV)

Regroupent une multitude de substances qui peuvent être d'origine biogénique (origine naturelle) ou anthropogénique (origine humaine). Ils sont toujours composés de l'élément carbone et d'autres éléments tels que l'hydrogène, les halogènes, l'oxygène, le soufre...

Leur volatilité leur confère l'aptitude de se propager plus ou moins loin de leur lieu d'émission, entraînant ainsi des impacts directs et indirects sur les animaux et la nature.

Les autres traitements testés sur le pilote ont montré des efficacités variables suivant la nature de la contamination.

La démarche d'identification des objectifs de traitements est étroitement liée au potentiel ou aux seuils de valorisation qui sont, eux-mêmes, étroitement liés à une démarche d'évaluation des risques telle que développée dans le projet SEDIGEST de l'ENTPE (cf. guide téléchargeable sur le site web CAP SEDIMENTS).

⇒ **Dégrillage/Criblage/Dessablage** : traitement intéressant dès lors que la caractérisation réalisée sur matériaux bruts montre un potentiel de valorisation qualitatif et quantitatif de la fraction sableuse.

- Les sables 63µm/4mm extraits avec l'hydrocyclone pilote sont de meilleure qualité environnementale que les sédiments bruts, la fraction fine concentrant la pollution. La qualité environnementale des sables s'améliore encore dès lors que la puissance de l'hydrocyclone augmente.
- Des chutes des niveaux de contaminations de l'ensemble des paramètres mesurés ont été constatées. Toutefois, les sables issus des sédiments les plus contaminés restent pollués et ne sont toujours pas immergeables au regard de leur toxicité. Une partie des sables obtenus est potentiellement valorisable en technique routière au regard des seuils environnementaux utilisés sur le guide SETRA provisoire.
- La qualité géotechnique des sables issus du dessablage reste très moyenne : limoneux, organiques, mal gradués et fins (à l'exception des sables du Guilvinec). Un renforcement du squelette granulaire apparaît donc indispensable.
- Des modes de gestion pour des lots différents sont à définir car le dégrillage/criblage/dessablage génère des sous-produits : macro-déchets, fraction 2 - 20mm et eau.

⇒ **Calcination** à 450°C, 900°C et 1050°C : traitement efficace dès 450°C, mais le coût de traitement est élevé et génère des problématiques de pollution de l'air.

- Le traitement par calcination peut engendrer une émission de Composés Organiques Volatils (COV) ayant un impact direct sur la santé.
- La matière organique est détruite dès 450°C.
- Les matériaux calcinés et utilisés lors des traitements par liants hydrauliques augmentent les résultats à la compression.

Ces COV sont fortement réglementés et des normes de qualité de l'air ont été établies. Cela a engendré des difficultés pour trouver un calcinateur en capacité de recevoir ce type de produit fortement chargé en COT.

⇒ **Phosphatation** : le traitement par Phosphatation semble avoir des difficultés à stabiliser certains contaminants comme l'arsenic et le cadmium dont la mobilité a même été augmentée.

Pas d'effet constaté de la phosphatation sur la lixiviation des contaminants métalliques, hormis une légère baisse constatée pour le Cr, Sb, Zn et TBT.



SEDIMARD



Principaux livrables et résultats



⇒ **Novosol[®]** : le procédé combine phosphatation et calcination, il ne permet pas de stabiliser tous les métaux lourds :

- Les teneurs en COT ont diminué
- Après calcination, une lixiviation, importante à forte, du molybdène, du chrome, des sulfates et des chlorures a été constatée

⇒ **Traitement à la chaux** : complexe à mettre en œuvre car nécessite une phase préalable de formulations et de définition de la nature de la chaux la plus efficace à utiliser en fonction d'une pollution qui est variable d'un site à l'autre :

- Favorise la lixiviation du Cuivre de façon importante et du Chrome dans une moindre mesure
- Les teneurs en matière organique ont diminué mais pas de façon significative
- En terme de classification environnementale, vis-à-vis de référentiels terrestres (stockage ou valorisation), le traitement à la chaux ne permet pas d'améliorer l'accessibilité dans les filières



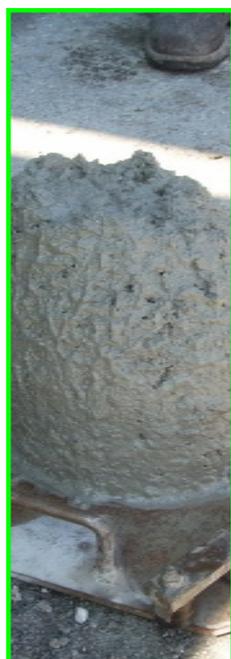
CONSEIL
GÉNÉRAL

⇒ **Traitements par liants hydrauliques (solidification, stabilisation)** : plus efficaces sur les sédiments bruts que sur les fines issues du dessablage

- L'utilisation de matériaux calcinés à 450°C semble améliorer considérablement la résistance à la compression.
- Les meilleurs résultats sont obtenus sur sédiments bruts traités.
- Pour atteindre une résistance à l'écrasement de 1MPa, la solidification à partir de formulations uniquement à base de ciment nécessite des dosages importants compris entre 10 et 15%. Elles sont donc économiquement coûteuses : 60% des formulations finales mises en œuvre (validées à partir des formulations d'essais) ont un dosage de ciment d'environ 15% de MS (matière sèche).
- Les additifs de type cendre volante mis en œuvre dans les formulations de traitements par liants hydrauliques permettent d'améliorer les résultats à la compression notamment la Soproline[®]
- La stabilisation à partir de liants hydrauliques diminue le relargage des sédiments traités et prétraités (analyses effectuées à court terme dans le cadre du projet).

Les résultats du projet, mené à l'échelle d'un pilote industriel, méritent d'être vérifiés par des essais de valorisation à échelle 1 sur des volumes réels et des mises en situation de valorisations ou de stockage mono-dépôt, de façon à :

- Valider la faisabilité technique et environnementale des procédés de traitements les plus prometteurs testés dans le cadre de ce programme et identifier les éventuels effets d'échelle.
- Etudier la durabilité technique et environnementale des procédés de stabilisation.
- S'intéresser aux comportements des sédiments mis en situation (scénario de valorisation de type TP routiers et scénario de stockage mono-dépôt)





SEDIMARD



Principaux livrables et résultats

• Sous-axe 3.2 : Evaluation des impacts et de l'acceptabilité sociétale de la plateforme

L'amélioration significative des connaissances sur SEDIMARD 83 a permis d'identifier avec précision les niveaux de contamination des sédiments et d'assurer une prise de conscience collective d'une obligation de gestion environnementale de ce nouveau déchet public.

La couverture médiatique spontanée du projet a montré l'intérêt sociétal autour des problématiques environnementales. Le site pilote de la Seyne-sur-mer a également fait l'objet d'un accueil très favorable de la part des acteurs locaux qui ont parfaitement intégré l'utilité d'une installation nécessaire à la restauration écologique et indispensable pour éviter le rejet en mer des sédiments contaminés.

Du point de vue des risques et nuisances, le suivi très rigoureux de l'installation a permis de s'assurer de :

- L'absence de nuisances olfactives
- L'absence de pollutions de l'air
- Le non-impact des sols
- La capacité à maîtriser les envois
- La parfaite efficacité de l'installation de traitement des eaux du site :

> la station de la plateforme de Brégaillon a fonctionné correctement et la qualité de l'eau rejetée a été parfaitement conforme aux normes de rejet imposées,
> les boues issues du fonctionnement de la station se caractérisent comme un déchet dangereux au regard des critères d'acceptabilité des ISD. Les seuils ont été dépassés pour : l'arsenic, le mercure, le plomb, les hydrocarbures et les chlorures lixiviés,
> l'efficacité de la station de traitement des eaux a été un des points très positifs de l'opération.



Filtere à charbon actif de la filière d'épuration du projet SEDIMARD 83



Le programme SEDIMED

Il a pour principal objectif d'éclairer et enrichir les travaux du MEDDTL de façon à faire émerger et conforter au niveau national les filières économiques de traitement et de gestion des sédiments marins.

Il doit permettre aux acteurs régionaux portuaires, de la recherche, du traitement et de la valorisation des sédiments, de pouvoir se positionner dans le cadre d'une compétition internationale sur ces thématiques.

En résumé : le site pilote a permis de bien cadrer les précautions à prendre pour le déploiement d'une installation à l'échelle 1 comme SEDIMED.





SEDIMARD



Principaux livrables et résultats

AXE 4 : Identification de filières terrestres de gestion et analyses multicritères de scénarios

Les filières de gestion, étudiées au cours du projet, sont des filières de valorisation ou des filières de stockage. Elles ont fait l'objet d'un guide thématique dédié téléchargeable sur le site web de CAP SEDIMENTS. D'un point de vue général, les filières identifiées pour ce déchet public à fort volume sont difficilement accessibles essentiellement du fait de l'absence de seuil de valorisation et de l'absence de dépôt monospécifique pour la fraction non valorisable.

La variabilité géotechnique et environnementale des sédiments joue fortement sur les possibilités de gestion.

De ce fait, une filière unique ne peut être envisagée !

Il s'agit donc d'identifier un ensemble de solutions de valorisation couplé avec un site de stockage mono dépôt pour la fraction non valorisable.

Les analyses multicritères

Deux analyses multicritères ont été réalisées : une adaptée aux procédés de traitement des sédiments marins du Var et l'autre élargie aux scénarios de gestion :

1. La première analyse multicritères concerne le prétraitement et le traitement des sédiments, l'élimination des résidus et le type de valorisation des produits obtenus.

Elle a eu pour but de comparer les différents procédés envisagés pour le traitement des sédiments contaminés.

2. La seconde analyse multicritères examine les propositions de scénarios de gestion établis par un maître d'ouvrage, de la prise en compte du dragage jusqu'aux filières de valorisation complètes.

Elle a eu pour objectif de comparer les scénarios de traitement dans leur globalité.

> La méthode utilisée est l'analyse multicritères AMTRASC83. Elle s'appuie sur la méthode AMTRAD (Analyse Multicritères de TRAitement de Déchets) développé par POLDEN.

Les scénarios qui ressortent en tête des analyses multicritères sont ceux qui ne proposent pas de bioremédiation mais qui utilisent un dessablage.

Cette discrimination s'explique par la grande surface foncière demandée pour établir des lagunes de bioremédiation, mais également par la faible création d'emploi de ce procédé par rapport aux autres traitements.

Ces éléments font donc baisser respectivement les notes de critères économiques et sociétaux.

Le dessablage, quant à lui, cumule des notes positives dans les critères économiques (demande peu de place, peu onéreux) et sociétaux (forte création d'emplois).

Les analyses multicritères ont confirmé l'intérêt d'un centre de regroupement, de prétraitement et de traitement des sédiments dans la rade de Toulon, au barycentre du gisement départemental, en zone industrielle et portuaire.

NB : Un guide thématique sur les analyses multicritère est téléchargeable sur le site CAP SEDIMENTS.





VII.3 DIFFICULTES RENCONTREES

Le retour d'expérience de l'opération pilote a mis en évidence un ensemble de problématiques opérationnelles qui ont un impact important dans le cadre d'une gestion terrestre :

- Présence très abondante de macro-déchets qui a généré des difficultés lors des opérations de dragage et de traitements sur le site de Brégaillon.
- Présence de munitions enfouies dans les sédiments, dont certaines non explosées.
- Présence de fibres de posidonies, parfois majoritaires dans la fraction 4-20mm et présentes également dans la fraction 0-4mm.
- Caractère argileux qui a fait chuter les rendements lors des phases d'hydrocyclonage au démarrage du pilote.
- Difficultés liées au caractère innovant de l'opération (première opération de cette nature en France) et donc émergence de nombreuses questions scientifiques et techniques au fur et à mesure de l'exécution.
- Difficultés inhérentes à l'animation d'un projet nécessitant la coordination d'un nombre considérable d'acteurs.
- Difficultés liées à l'acceptabilité sociétale levées dès le début des travaux.
- Les limites du projet SEDIMARD 83 sont liées à l'absence de connaissance vis-à-vis de la durabilité de l'efficacité de traitements.





SEDIMARD



Principaux livrables et résultats

VIII.4 DOCUMENTS A L'ISSUE DU PROJET

Le programme a été synthétisé dans 3 guides de la bibliothèque publique « CAP SEDIMENTS » :

- Un guide de réalisation **GR SEDIMARD 83**
- Un guide thématique - **GTh Traitements**, retour d'expérience SEDIMARD 83
- Un guide thématique - **GTh Prétraitement**, retour d'expérience SEDIMARD 83
- 21 rapports d'étude réalisés au cours de l'opération et intégrés à la bibliothèque scientifique en ligne « CAP SEDIMENTS »
- 2 films réalisés pendant l'exécution du pilote industriel, visualisables sur le site web de « CAP SEDIMENTS »

Toutes les données analytiques produites ont été numérisées et archivées en banque de données métadonnées (également disponibles sur le site « CAP SEDIMENTS »).

Les données analytiques produites lors des phases de caractérisations et à toutes les étapes des différentes combinaisons de traitement ont été regroupées à l'aide de deux outils :

1. Une banque de données et de métadonnées numériques comportant plus de 2700 fiches analytiques soit environ 37 000 données produites. Réalisée sous un format Excel, elle permet de regrouper et de retrouver facilement l'ensemble des rapports, essais et analyses réalisés dans le cadre de l'opération.
2. Une banque de données physiques d'échantillons prélevés lors des traitements dénommée « **sédimentothèque** » réalisée au sein du laboratoire départemental d'analyses du Var à Draguignan.

Plus de 520 échantillons de sédiments bruts ou traités ont ainsi été stockés. Préalablement lyophilisés ou non, puis congelés pour les non lyophilisés à -80°C , et -25°C pour les lyophilisés.

L'intérêt étant de pouvoir revenir sur une analyse si besoin, mais également de commencer une banque de données physiques pour les laboratoires de recherche, Ecoles et Universités, en charge de travaux sur la thématique des sédiments et de leur gestion.



La « sédimentothèque » réalisée au sein du laboratoire départemental d'analyses du Var



SEDIMARD



Principaux livrables et résultats

Axe - Libellé - Date	Auteurs
1 - Caractérisation mécaniques des sédiments de ports méditerranéens en vue de leur réutilisation en remblai (2 rapports) - Février 2008	M. LEVACHER Université de Caen
1 - Projet d'étude SEDIMARD « Battox » - Batterie de tests d'écotoxicité sur matériau brut - Octobre 2007	M. PELLEGRINI ICRAM
2 - Evaluation de la dangerosité des sédiments marins - Rapport bibliographique Version finale - Juin 2006	Mme BAZIN INSAVALOR POLDEN
2 - Evaluation de la dangerosité des sédiments marins - Phase expérimentale Version finale - Novembre 2008	Mme BAZIN INSAVALOR POLDEN
3 - Stabilisation solidification des sédiments du Var (4 rapports) - 2006	M. BRULA INSAVALOR POLDEN
3 - Note technique sur les procédés de traitement à la Chaux - Novembre 2006	M. BRULA INSAVALOR POLDEN
3 - Stabilisation solidification des fines bioremédiées (1 rapport) - Juillet 2008	M. ABDELGHAFOUR INSAVALOR POLDEN
3 - Etude de Faisabilité de stabilisation de sédiments marins par additifs minéraux Décembre 2008	M. MARMIER LRSAE - Université de Nice
3 - Evolution des métaux et de leurs formes chimiques dans des vases portuaires stockées à terre - Juillet 2007	Mme SEBY UT2A - Université de Pau
3 - Rapport de synthèse sur la validation des données - Analyse statistique et interprétation scientifique - Décembre 2008	M. DONARD UT2A - Université de Pau
3 - Modélisation de l'évolution des formes chimiques des métaux dans des vases portuaires en fonction du temps de stockage à terre - Décembre 2008	Mme SEBY UT2A - Université de Pau
3 - Bilan Etape SEDIMARD 83 - Juin 2007	M. GROSDÉMANGE IN VIVO
3 - Essais industriels de dessablage - Sisteron - Août 2008	M. SANNIER Conseil Général du Var
3 - Guide pour le choix des coupures granulométriques des boues portuaires issues du pilote - Avril 2007	M. SANNIER - Conseil Général du Var M. GENTILINI - Cete Méditerranée
4 - Définition des cahiers des charges produits sortants (2 rapports) - Août 2008	M. MEHU INSAVALOR POLDEN
4 - Analyse Multicritères (4 rapports) - Août 2008	M. BRULA INSAVALOR POLDEN
4 - Valorisation de sédiments marins de dragage - Caractérisation géotechnique de 8 matériaux à base de sédiments marins - mai 2008	M. GENTILINI CETE Méditerranée
4 - Caractérisation géotechnique de 7 échantillons de matériaux alternatifs - Juillet 2007	M. GENTILINI CETE Méditerranée
4 - Note technique des traitements et des filières de valorisations des sédiments portuaires méditerranéens - Mars 2006	M. GROSDÉMANGE - IN VIVO
4 - Rapport final - Complément sur l'étude des filières de destination des déblais de dragage Juillet 2008	M. GROSDÉMANGE - IN VIVO
4 - Test de sédiments marins en tant qu'amendement organique - Décembre 2008	M. SANNIER Conseil Général du Var

Tableau des 21 livrables mis en ligne sur la bibliothèque scientifique du site « CAP SEDIMENTS »

CAP SEDIMENTS >>> Projet de capitalisation et de recherche valorisant les études relatives à la gestion à terre des sédiments



IX.1 L'ESSENTIEL A RETENIR

Les sédiments non immergeables doivent être gérés à terre, ils prennent alors le statut de déchets.

Dans ce contexte, les cadrages réglementaires de l'opération de dragage, basés sur les paramètres à prendre en compte (seuils GEODE), sont insuffisants et doivent être complétés suivant le scénario terrestre envisagé, **par tout ou partie des caractérisations suivantes :**

- Analyses minéralogiques
- Essais géotechniques en liaison avec les référentiels GTR/GTS
- Analyses physico chimiques élargies en nombre et en nature de contaminants
- Essais de lixiviation et analyses de la mobilité des contaminants présents
- Essais de percolation
- Evaluation de la dangerosité du déchet

> Le protocole H14, mis au point lors de l'opération SEDIMARD 83, permet d'identifier si le sédiment est un déchet dangereux ou non dangereux.

> Les sédiments varois présentent des quantités importantes de macro-déchets et de fibres de posidonies. Ils contiennent également des teneurs significatives en contaminants métalliques et organiques et sont généralement difficilement immergeables.

> Les sédiments sont aujourd'hui orphelins de filières terrestres de gestion : stockage ou valorisation.

> Les prétraitements et traitements testés sur le site pilote industriel ont montré leurs efficacités, notamment pour les sédiments les moins contaminés.

La gestion à terre des sédiments passe aujourd'hui par :

- La mise en place d'un outil industriel adapté
- La définition d'un centre de stockage, adapté pour la fraction non valorisable, de type mono-dépôt
- La définition de classes environnementales, de potentiels et de seuils de valorisation pour la fraction à valoriser
- La définition d'un modèle économique cohérent et stable pour le financement de la gestion de ce déchet public. Les ports ne pouvant supporter seuls les charges afférentes
- Le développement de travaux de R&D, centrés sur les filières, avec mise en scénarios de plots d'essais significatifs
- La poursuite de la R&D autour de la mise au point de traitements robustes sur un déchet multi-contaminants

D'un point de vue opérationnel, le projet a apporté :

- Un retour d'expérience sur le fonctionnement d'un centre de traitements et la hiérarchisation des procédés
- Une amélioration des connaissances de caractérisations au-delà du référentiel « GEODE »
- Une proposition d'un protocole H14 d'évaluation de la dangerosité
- Une identification des verrous à lever pour travailler à la valorisation et au stockage





IX.2 PERSPECTIVES

Le programme SEDIMARD 83 a fait l'objet de nombreuses présentations lors de colloques nationaux et internationaux. Il a donné lieu à de multiples débats avec des scientifiques, des institutionnels, des gestionnaires, des politiques (Assemblée nationale en 2008).

> Les résultats, dont une partie est publiée dans la revue Paralia (BENOIT-BONNEMASON et al., 2009 ; LEVACHER et al., 2009 ; SANNIER et al., 2009 ; SEBY et al., 2009), sont dans bien des cas originaux et encourageants quant aux possibilités de traitement à terre des sédiments contaminés.

> L'opération a permis d'obtenir des informations techniques et environnementales indispensables à la résolution de la problématique de gestion et de proposer des protocoles aptes à compléter la réglementation.

> Le travail partenarial entre les gestionnaires portuaires et les acteurs du monde de la recherche s'est avéré être un facteur déterminant !

> Enfin, les solutions pour une gestion durable des sédiments contaminés, conformes aux attentes sociétales et aux obligations réglementaires, sont maintenant appréhendées par tous les acteurs locaux. Ainsi, elles sont basées sur une approche multi-filières et s'adaptent aux caractéristiques qualitatives et quantitatives des potentialités territoriales.

> D'un point de vue opérationnel, il convient désormais de s'intéresser aux filières de destination des matériaux traités.

> La sécurisation technique et environnementale de ces filières, simplement abordée lors du programme SEDIMARD 83, apparaît donc comme une priorité avant d'envisager une mise en œuvre généralisée.

> De même, la réalisation d'un référentiel commun, constituant un outil concret et opérationnel pour tous les maîtres d'ouvrages, demeure un objectif pour le futur.

> La mobilisation des acteurs de la recherche et des acteurs des filières lors de l'opération a permis de faire émerger des projets et des initiatives d'industriels :

- Le programme **SEDIGEST** porté par l'**ENTPE** sélectionné dans le cadre de l'appel à projets ANR (PRECODD 2007) consiste en l'élaboration d'une méthodologie de validation de la filière « restauration de cavités terrestres de la bande littorale ».
- Le projet **SEDIMED**, porté par **ENVISAN**, filiale du Groupe International de Dragage Jan De Nul, labellisé par le Pôle Mer PACA, a été retenu lors du 8^{ème} appel à projets du Fonds Unique Interministériel, qui porte sur la création d'une plateforme industrielle de traitement des sédiments sur l'Aire Toulonnaise (ZIP Brégaillon).

Au-delà des aspects techniques et réglementaires, la mise en place d'un dispositif économique cohérent et stable - permettant d'accompagner financièrement les ports dans la mise en œuvre des solutions de traitements identifiées lors du programme SEDIMARD 83 - demeure l'enjeu le plus important de la démarche.

Rappelons qu'une gestion environnementale coutera toujours 30 à 40 fois plus cher qu'un simple rejet en mer.





SEDIMARD I > SEDIMARD II

En 2012, le Conseil Général du Var a décidé de relancer une série de contrats d'objectifs territoriaux.

L'un d'entre eux (SEDIMARD II) est la suite de l'opération SEDIMARD 83.

SEDIMARD II a pour objet de capitaliser les travaux réalisés sur la thématique dans le cadre de SEDIMARD I de 2005-2009, pour :

- Valoriser une démarche d'excellence éco-industrielle.
- Accompagner l'émergence des outils techniques et financiers pour la gestion environnementale terrestre des sédiments marins dragués.

L'idée étant de mettre à profit l'expertise reconnue du Département pour accompagner le montage d'un Pôle de Recherches Méditerranéen sur le Territoire (SEDIPLATEFORME) et ainsi développer des outils d'innovations à dispositions des acteurs économiques varois.

Ce contrat vise à maintenir et à développer la fonction support du territoire Provence Méditerranée pour les collectivités présentes sur le département et à favoriser l'émergence de projets d'innovations éco-industrielles.

« **SEDIMARD II** » apportera des réponses très concrètes aux grands enjeux cités précédemment :

- Formation, information des gestionnaires de ports varois à partir d'un Guide Méthodologique, d'un site Web et d'un colloque permettant d'accompagner les gestionnaires portuaires dans leurs besoins opérationnels : CAP SEDIMENTS.
- Etude de l'opportunité et de la faisabilité d'un fonds collectif d'accompagnement des gestionnaires portuaires pour le financement de la gestion des opérations de dragage.
- Etablissement d'un Schéma Départemental pour la Gestion et la valorisation des sédiments de dragage devant faire l'objet d'une gestion terrestre. Ce schéma sera établi en lien avec la révision du PDEDMA.
- Accompagnement du montage d'un Pôle de Recherches SEDIPLATEFORME sur le territoire, regroupant les plus grandes écoles françaises (Mines, INSA, ENTPE), les universités locales (Toulon, Nice) et les EPIC du domaine (IFREMER, INERIS, CETE), outil d'innovations à disposition des acteurs locaux et ouvert sur le bassin méditerranéen.



PDEDMA

Le Plan Départemental d'Élimination des Déchets Ménagers et Assimilés PDEDMA est un document administratif qui vise à organiser la collecte et l'élimination des ordures ménagères et des produits assimilés.

La loi n°92-646 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement a prévu que chaque département devait faire l'objet d'un Plan d'élimination des déchets ménagers et assimilés.



X.1 PUBLICATIONS ET BREVETS

Des articles ont été produits dans le cadre de cette opération.

Liste des articles intégrés à la bibliothèque scientifique du site de CAP SEDIMENTS :

- N°1 : « Préface SEDIMARD 83 / Un programme opérationnel d'identification des modes de gestion durable des sédiments marins ».

Auteurs : AQUA - CG83 / BOISSERY - Agence de l'eau RMC / ALZIEU - responsable du Groupe d'Experts Scientifiques du projet SEDIMARD 83.

- N°2 : « Caractérisation géotechnique des sédiments méditerranéens pour une valorisation ».

Auteurs : LEVACHER - Université de Caen / SANCHEZ - Université de Nantes / DUAN - Ecole central de Lille.

- N°3 : « Toxicité des sédiments marins déposés à terre ».

Auteurs : BAZIN - Insavalor division POLDEN / BABUT- CEMAGREF.

- N°4 : « Analyse statistique des données obtenues sur les sédiments traités au site pilote de SEDIMARD 83 ».

Auteurs : BENOIT-BONNEMASON - UT2A / SEBY- UT2A.

- N°5 : « Etude de l'évolution des formes chimiques des métaux dans des sédiments marins dragués stockés à terre ».

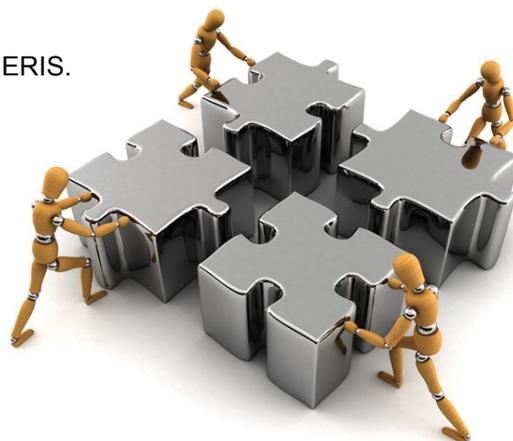
Auteurs : SEBY- UT2A / BENOIT-BONNEMASON - UT2A.

- N°6 : « Approche économique et validation de méthodes de traitements aux liants hydrauliques de sédiments marins contaminés ».

Auteurs : SANNIER - CG83 / LEVACHER - Université de Caen / JOURDAN – CG83

- N°7 : « Les apports de SEDIMARD 83 aux aspects techniques de la réglementation sur les sédiments déposés à terre ».

Auteurs : DOMAS - CTPL / HAZEBROUCK - INERIS.





M. Horace
LANFRANCHI
Président du CG 83

X.2 LE DEVELOPPEMENT DURABLE, UN ENGAGEMENT FORT DU CONSEIL GENERAL DU VAR

Le territoire varois s'étend sur une superficie de 5973 km² et compte 432 km de côtes littorales.

Sa situation géographique privilégiée permet de découvrir tant ses plages de sable que ses rivières et ses massifs.

En outre, il offre des balades et randonnées sur plus de 340 000 hectares de forêt et marie harmonieusement les activités pastorales, agricoles et forestières.

Conscient de la valeur de son patrimoine naturel, le Conseil général du Var le protège et le valorise activement, notamment par la qualification de 259 hectares en espaces naturels sensibles.

Au delà de ses principales compétences obligatoires (Solidarité, Collèges, Routes), le Conseil général du Var s'est engagé à préserver la qualité et le cadre de vie : gestion des déchets, protection des forêts, prévention des risques....

Dès 2005, le Conseil général du Var a initié des projets spécifiques sous la forme de contrats d'objectifs autour de problématiques ciblées : la gestion de la ressource en eau et la gestion des sédiments non immergeables dont le projet SEDIMARD 83 volet 1.

Le Conseil général du Var s'est également doté de moyens opérationnels comme le laboratoire d'analyses (contrôle, maîtrise et préservation de la qualité des eaux, des aliments et des filières agricoles) ou encore en qualité de gestionnaire de la Réserve Naturelle Nationale de la Plaine des Maures.

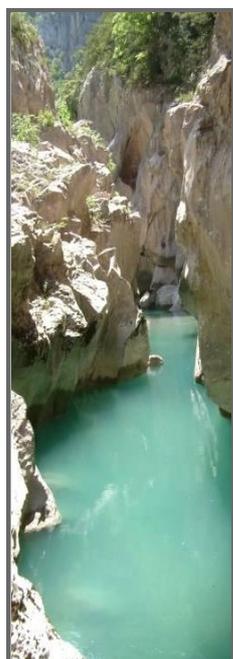
En 2012, le Conseil général du Var a franchi un second palier d'innovation au travers de la mise en place de 53 contrats d'objectifs territoriaux qui favorisent une approche de l'action publique ouverte à la concertation, au plus près des besoins.

Les contrats d'objectifs territoriaux sont le fruit d'une concertation permanente avec les acteurs de terrain. Ils répondent aux besoins locaux par des projets adaptés aux spécificités des huit territoires varois* en s'appuyant sur leurs potentiels et leurs dynamiques de développement. Ils prennent en compte l'identité de chaque territoire, ses enjeux, ses aspirations, ses vocations.

Les contrats d'objectifs territoriaux bénéficient d'un partenariat renforcé : plus de 300 partenaires institutionnels et économiques contribuent à la réussite de ces projets contractualisés.

Mariage réussi entre environnement et innovation, action partenariale et ancrage territorial, le projet SEDIMARD 83 volet 2 est l'un des cinquante trois Contrats d'Objectifs Territoriaux.

* Provence méditerranée, Provence Verte, Haut Var Verdon, Cœur du Var, Golfe de Saint Tropez, Fayence, Est Var.



CONSEIL GÉNÉRAL