



# Gestion des sédiments de dragage Management of dredging sediment

Nor-Edine ABRIAK  
Directeur Adjoint du LGCgE  
Professeur Associé à l'université de Sherbrooke (canada)  
Ecole des Mines de Douai

[nor-edine.abriak@mines-douai.fr](mailto:nor-edine.abriak@mines-douai.fr)





# Méthodologie et stratégie de gestion et valorisation des sédiments marins( avec une transposition aux sédiments fluviaux)

1- Méthodologie à adapter avant la valorisation  
(imposition aux maitres d'ouvrages :l'étude du risque sanitaire)

2-Valorisation



**1**- On présente une nouvelle méthodologie de gestion des opérations de dragage et une méthodologie de la gestion et valorisation des sédiments en génie civil qui a été appliquée dans le cadre du **projet SEDIMATERIAUX (2010-2015)**.

**2**- En outre, elle a été réalisée dans un contexte de développement durable. En effet, elle favorise, selon une démarche d'écologie industrielle, le développement et la mise en œuvre de solutions de valorisation des matériaux de dragage, afin de minimiser l'impact environnemental du dragage

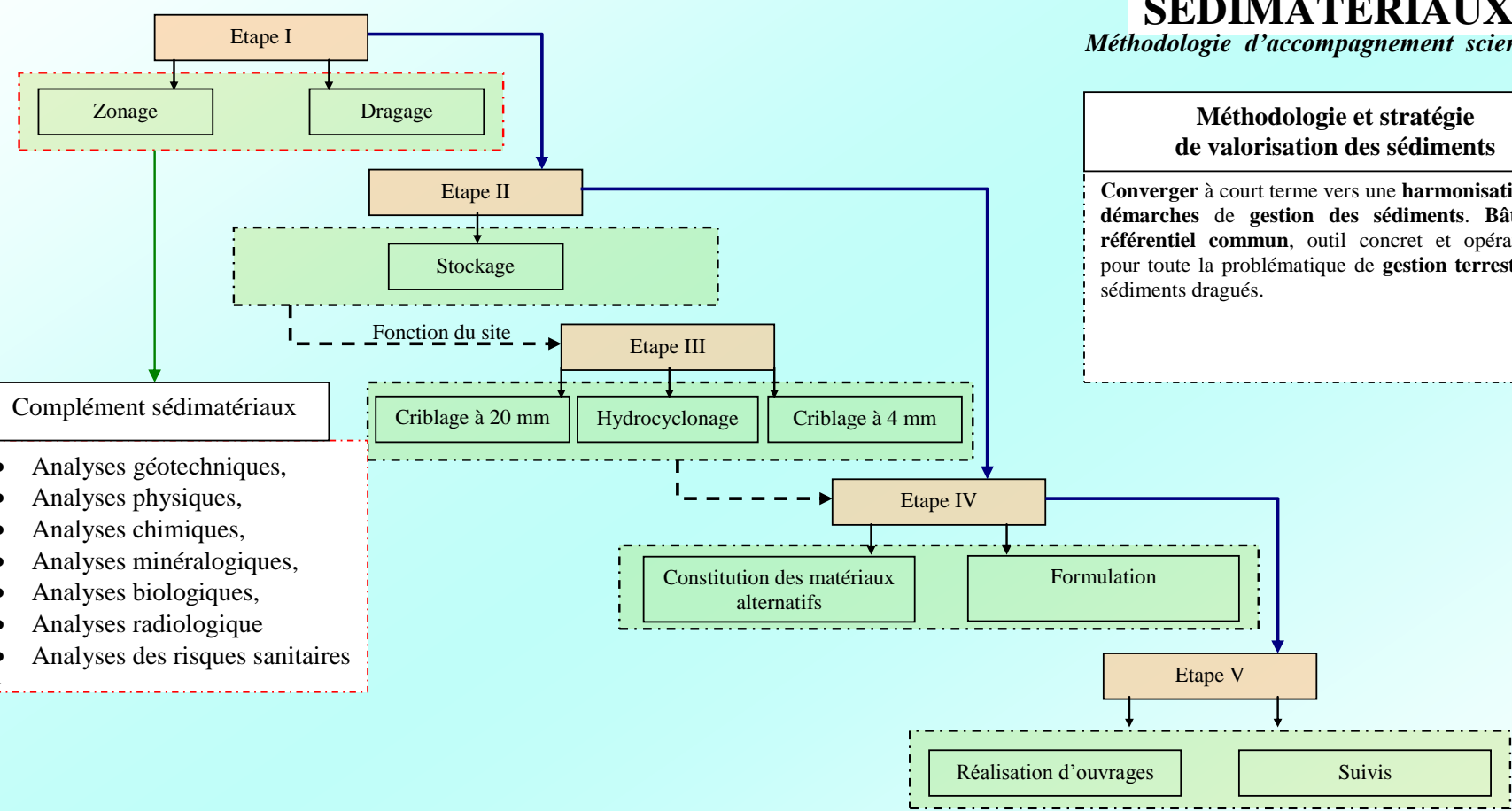


# SEDIMATERIAUX

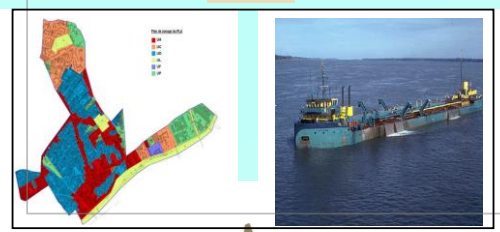
*Méthodologie d'accompagnement scientifique*

## Méthodologie et stratégie de valorisation des sédiments

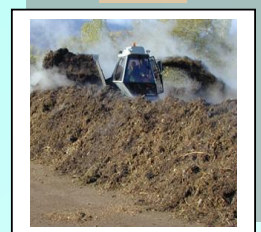
Converger à court terme vers une **harmonisation des démarches de gestion des sédiments**. Bâtir un **référentiel commun**, outil concret et opérationnel pour toute la problématique de **gestion terrestre** des sédiments dragués.



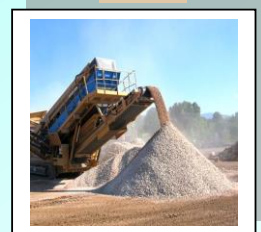
1



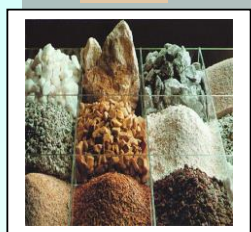
2



3



4



5



PRISMA

Matériaux du Génie-Civil & Environnement





L'objectif est de converger à court terme vers une harmonisation des démarches de gestion des sédiments. Pour ce faire, il est indispensable de bâtir un référentiel commun, outil concret et opérationnel pour toute la problématique de gestion terrestre des sédiments dragués:

**C'est l'objectif de la méthodologie de l'Ecole des Mines de Douai**



Les principales étapes de la méthodologie sont basées sur l'approche méthodologique développée à l'Ecole des Mines de Douai dans le cadre:

-du PREDIS

et

- le guide de la Direction Générale des Routes du ministère (Setra) pour les filières de valorisation en TP, relatif à « l'acceptabilité de déchets et matériaux en techniques routières - Aspects géotechniques et environnementaux - Démarche d'évaluation et cahier des clauses techniques particulières (CCTP) » :





## DESCRIPTION DES PRINCIPALES ETAPES DE LA METHODOLOGIE :

### Cinq grandes étapes:

L'approche scientifique de ces cinq étapes permettra:

- Une harmonisation des pratiques et de l'approche méthodologique pour la gestion à terre des sédiments marins dragués, afin d'éviter une gestion désorganisée de ces derniers.
- Démarche collective qui est menée en collaboration avec les industriels .

## Etape I

### Phase 1 : zonage

*Port ne disposant pas de place pour stocker les sédiments*

**Compléments analyses physico-chimiques,  
minéralogiques, géotechniques, radiologique, dangerosité et risques  
sanitaires**

### Phase 2 : dragage

*Etudes et analyses préliminaires, réalisation d'une  
procédure pour disposer de l'autorisation de faire un  
dragage*



## Etape I : étude des risques sanitaires

Les grandes étapes d'une évaluation des risques sanitaires sont :

1. **Un bilan des données existant sur la zone d'étude.** A ce stade sont présentées les données des concentrations des polluants, dans l'air, le sol et l'eau le cas échéant (= l'état initial) ;
2. **Un inventaire et le choix des polluants.** Cette étape consiste en une argumentation sur la liste des polluants retenus pour l'étude et sur leur concentration à considérer ;
3. **L'identification des dangers et de la relation dose/réponse.** Dans cette partie, sont retenues de façon argumentée les Valeurs Toxicologiques de Référence des polluants choisis à l'étape précédente ;



## 4. Une estimation des expositions. Elle se déroule en plusieurs temps qui sont :

- Le choix argumenté des voies d'exposition retenues (inhalation, ingestion, contact cutané) ;
- La description des méthodes et outils utilisés pour la détermination des concentrations dans les différents médias environnementaux (air, sol, végétaux,...) entrant en contact avec l'homme.

A ce stade sont introduites les données de l'état initial dans l'air, dans le sol et dans l'eau le cas échéant, pour les concentrations des polluants étudiés ;

- La définition des scénarios d'exposition qui précisent les populations cibles, les durées d'expositions, les hypothèses de ration alimentaire, etc. ;
- Le calcul, pour les populations cibles, des quantités de polluant absorbées sous la forme d'une dose d'exposition ;



5. La caractérisation du risque :
  - Pour les effets toxiques avec seuil, elle consiste à calculer un quotient de danger (QD) en comparant les quantités absorbées aux Valeurs Toxicologiques de Référence.
  - Pour les effets sans seuil, elle consiste à calculer un Excès de Risque Individuel de développer un cancer.
6. L'analyse des incertitudes de la caractérisation du risque.



La conclusion de l'évaluation du risque :

→ les résultats sont résumés, commentés et mis en perspective.

Au vu des résultats:

→ si les niveaux d'exposition sont jugés trop élevés ou les incertitudes trop importantes, les gestionnaires pourront être amenés à revoir les conditions de traitement, transport ou réemploi des sédiments afin que la filière proposée pour s'assurer de la recevabilité du projet en accord avec les réglementations et les autorités administratives.



## *Etape II*

Phase : Stockage

*Préparation et traitement des sédiments (déshydratation et maturation, traitements environ 6 mois suivant le volume à draguer)*



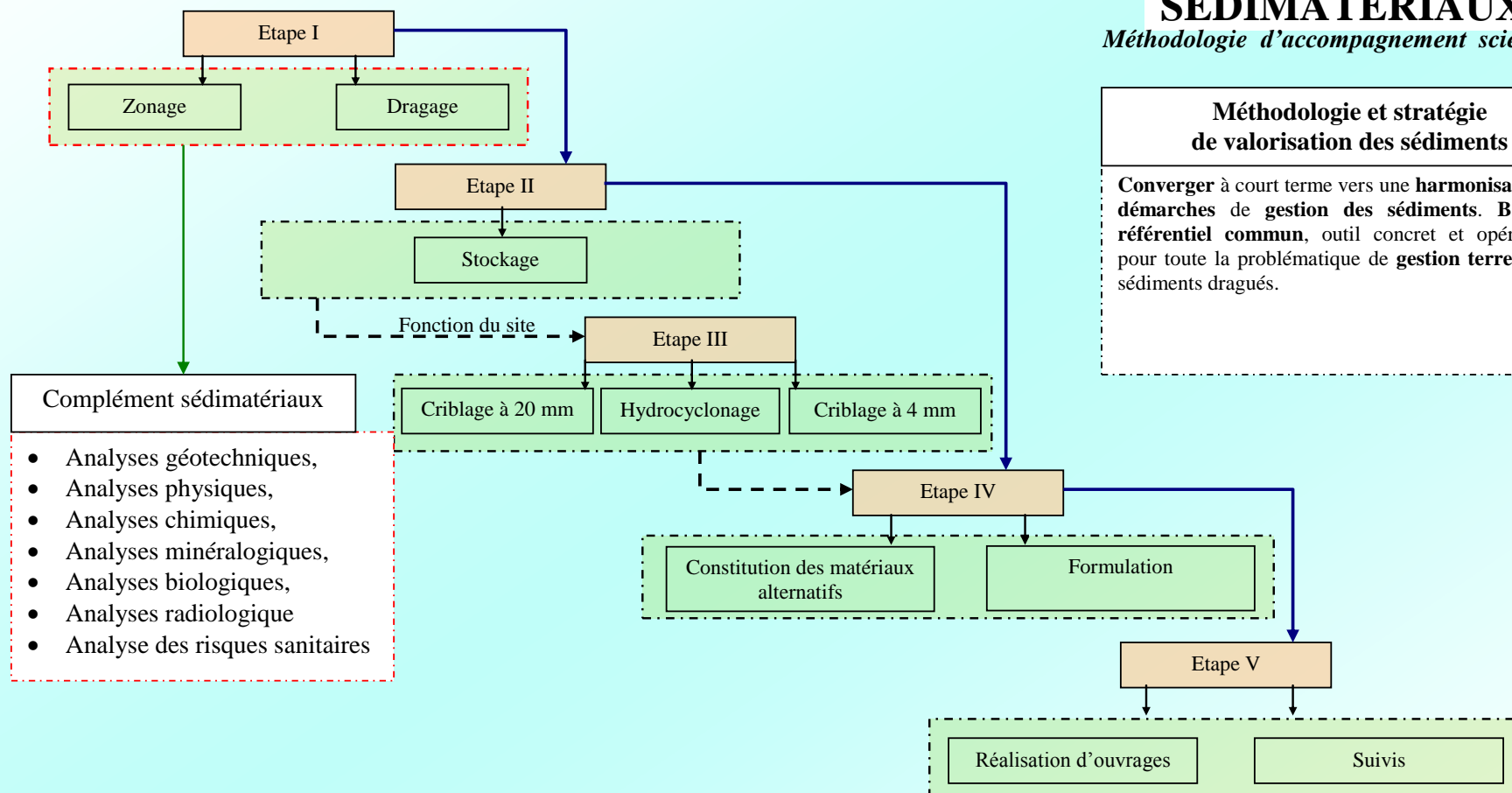


# SEDIMATERIAUX

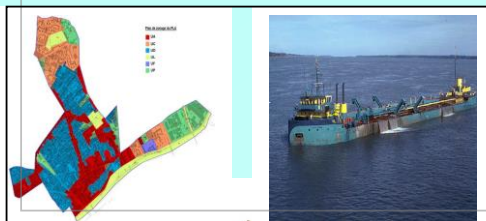
*Méthodologie d'accompagnement scientifique*

## Méthodologie et stratégie de valorisation des sédiments

Converger à court terme vers une **harmonisation des démarches de gestion des sédiments**. Bâtir un **référentiel commun**, outil concret et opérationnel pour toute la problématique de **gestion terrestre** des sédiments dragués.



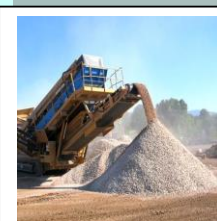
1



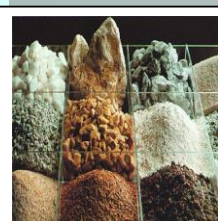
2



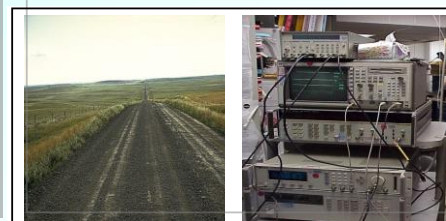
3



4



5





## Etape III

Dépend de la qualité des sédiments des ports:

Par exemple: pour GPMD *n'est pas nécessaire*

Phase 1 : criblage à 20mm

Phase 2 : criblage à 4 mm

Phase 3: Hydrocyclonage



## Etape IV

Phase 1: constitutions des matériaux alternatifs  
*Etude scientifique pour les différents scénarios de gestion à terre*

Phase 2: formulation  
*GT filières ministère*

## Etape V

Phase 1: Réalisation d'ouvrages  
*Conception et lancement d'un AO pour la mise en situation des matériaux dans leur filière destination ( exemple la réalisation d'un ouvrage aménagé intégrant les sédiments ; réalisation de l'ouvrage (route ou remblai),*

Phase 2 : suivis

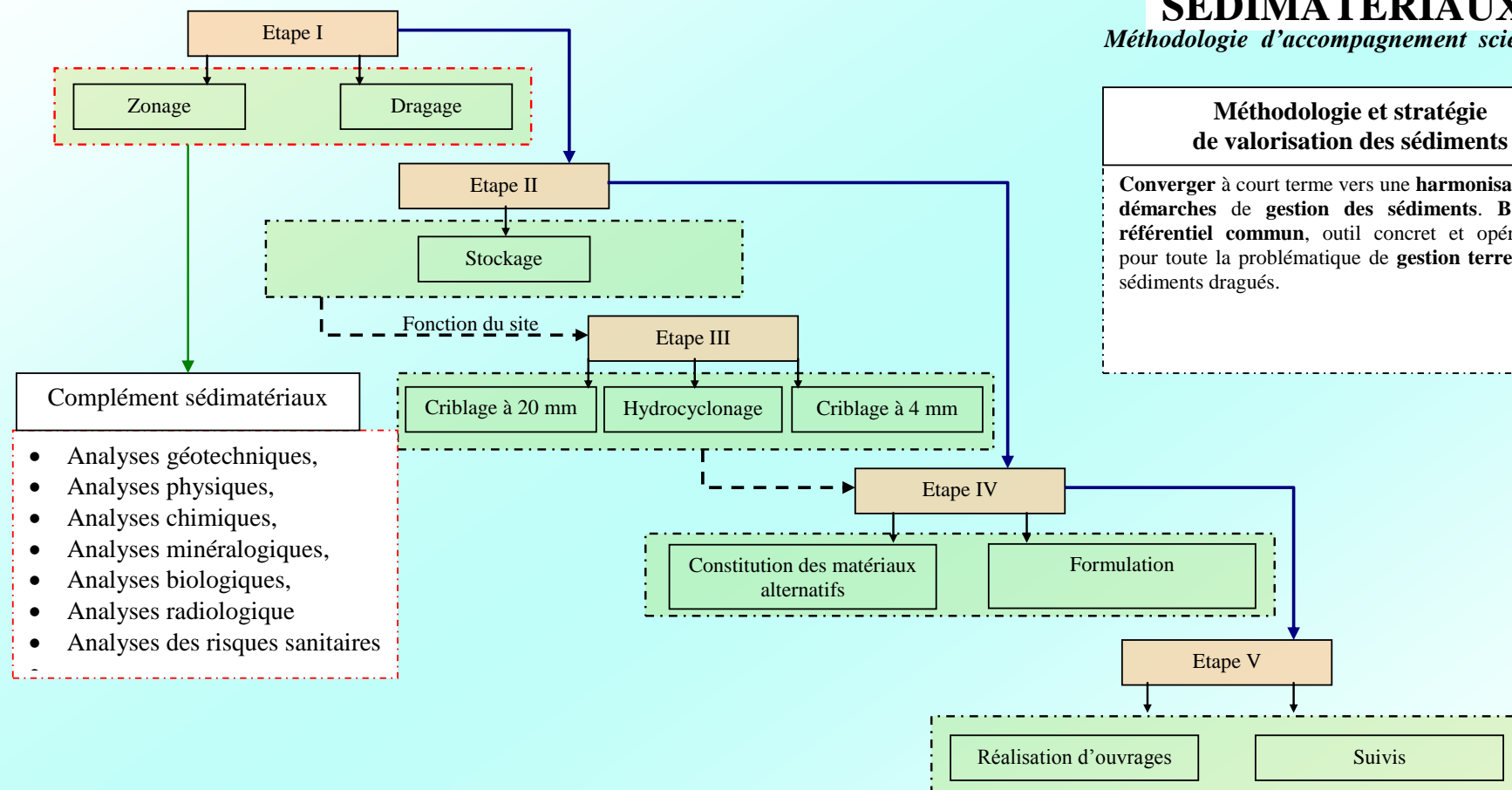


# SEDIMATERIAUX

Méthodologie d'accompagnement scientifique

## Méthodologie et stratégie de valorisation des sédiments

Converger à court terme vers une **harmonisation des démarches de gestion des sédiments**. Bâtir un **référentiel commun**, outil concret et opérationnel pour toute la problématique de **gestion terrestre** des sédiments dragués.



## Remarques:

Au stade actuel ,

- seule l'**Etape I** qui va être développée puisque les analyses correspondantes relèvent d'une approche du type recherche et non réglementaire.
- il en est de même pour le protocole dangerosité .
- l'analyse du point de partage déchet dangereux/déchet non dangereux se faisait à travers l'utilisation du protocole H14 et/ou autres, à définir dans le cadre national (BRGM)

## Etape I (Suite)

### Phase récupération de données existantes :

- visite du site,
- récupération des données technique, plan de situation, plans détaillés, plans bathymétriques..
- cadre géomorphique et géologique,
- liste des accidents passés,
- liste des pollutions répertoriées.



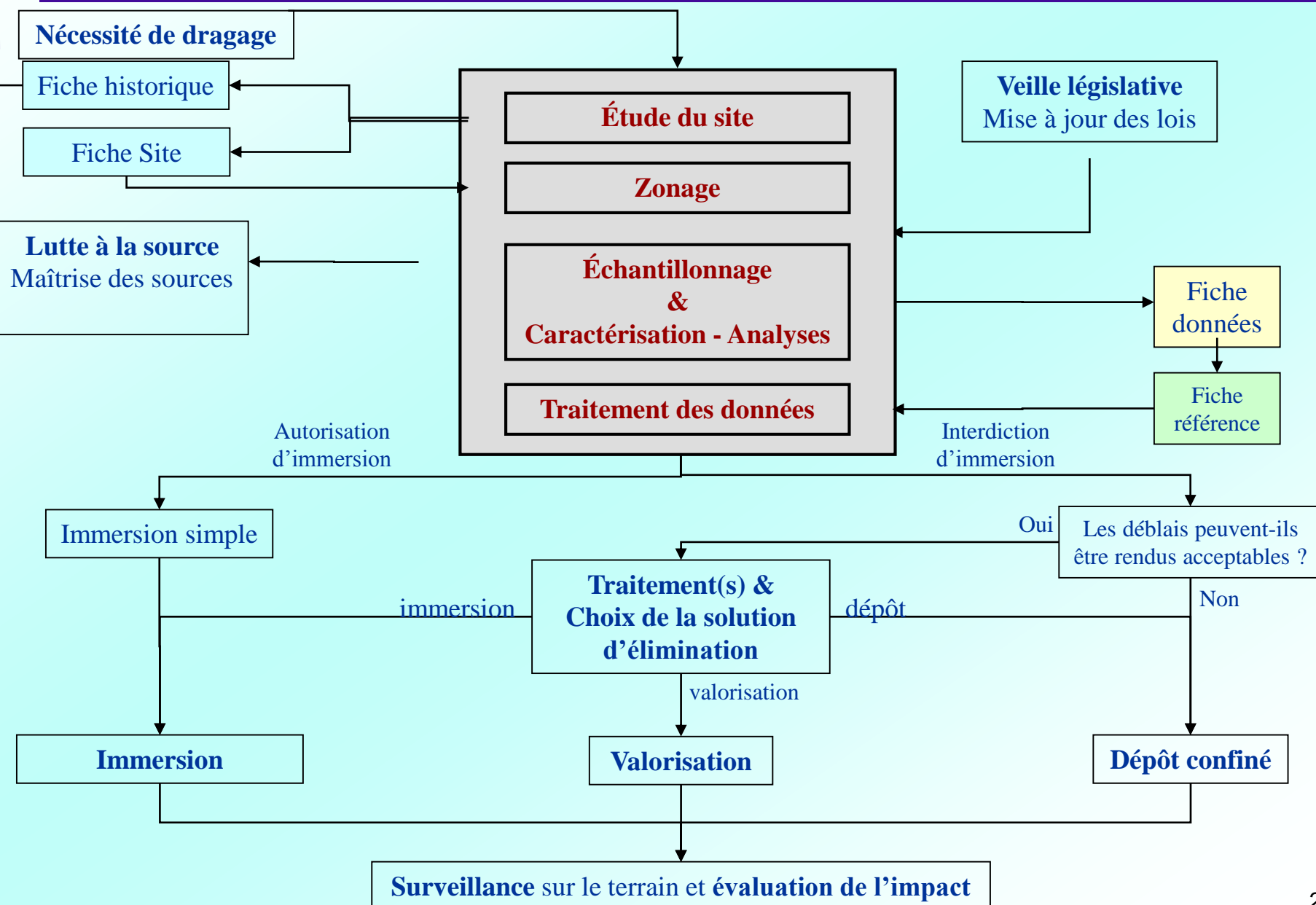
**A noté** qu'en général les données existantes ont été obtenues dans le cadre réglementaires lié au milieu marin(plan d'échantillonnage pour le milieu marin et les analyses correspondantes ciblent essentiellement la loi sur l'eau)

**1-Méthodologie générale à adapter avant la valorisation:**

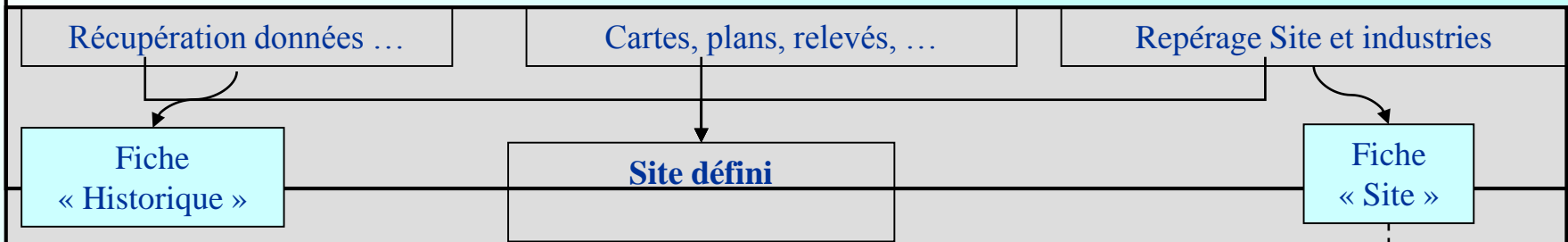




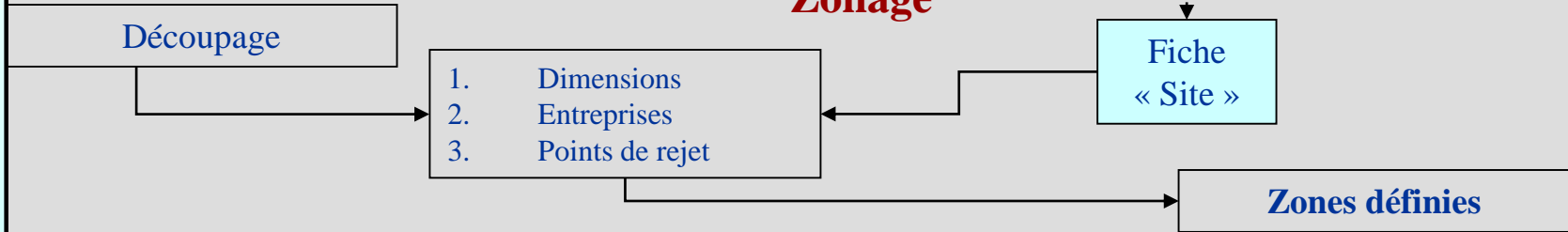
# Méthodologie générale à adapter avant la valorisation : **SEDIMATERIAUX**



## Étude du site



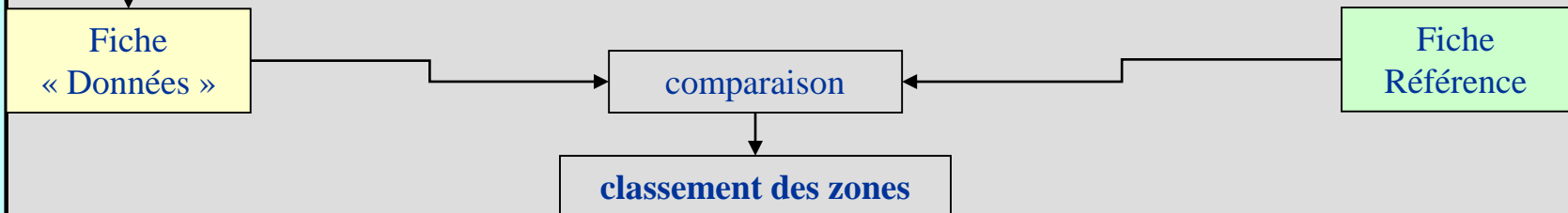
## Zonage

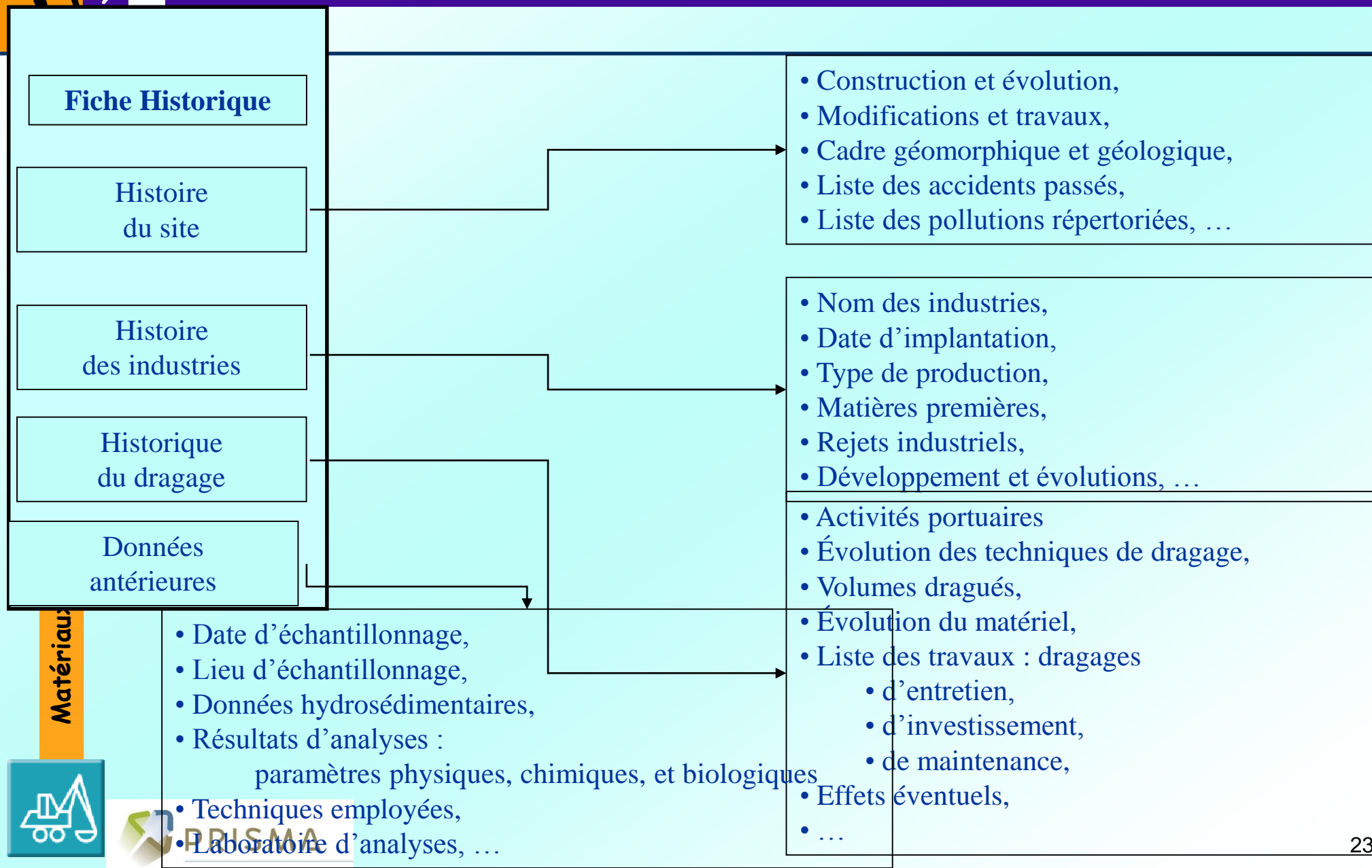


## Échantillonnage & Caractérisation Analyses



## Traitement des données





- Cartes du site,
- Cartes géologiques,
- Cartes bathymétriques,
- Cartes des lieux de dragage,
- Plans papier et/ou fichiers numériques, ...

- Implantation des industries,
- Quais de (dé)chargement,
- Zones de stockage,
- Points de rejets,
- Façades portuaires,
- Effluents des décharges industrielles,
- Sites contaminés, ...

- Zones de plaisance,
- Zones de mouillage
- Zones touristiques,
- Zones de culture,
- Sites de déchets militaires,
- Transports de matières premières,
- Écluses, ...

- Rejets d'égouts,
- Rejets d'eaux pluviales,
- Rejets des installations de traitements des eaux usées,
- Effluents des décharges municipales,
- Bassins versants,
- Routes et voies urbaines, ...

Fiche Site

Système  
graphique

Partie  
industries

Partie  
Port maritime

Partie  
urbaine



## Fiche Données

### Paramètres Généraux

### Paramètres Physiques

### Paramètres Chimiques

### Paramètres Biologiques

- Repérage Spatial : X, Y, Z,
- Date et Heure,
- Coefficient de marée,
- Direction et force du vent,
- Météo,
- Opération sur site des derniers jours, ...

- Matière sèche,
- Granulométrie,
- Masse volumique,
- Densité,
- Teneur en eau,
- Limites d'Atterberg & IP,
- Indice des vides,
- Vitesse de sédimentation, ...

- Biologique :  
Bio-essais ou tests d'écotoxicité, indices biologiques, tests bactériologiques.
- Bactériologique :  
Indicateurs de pollution fécale, autres indicateurs.

- Carbone Organique Total,
- Nutriments,
- Hydrocarbures totaux,
- Sulfures,
- Micropolluants organiques (HAP, PCB, ...),
- Micropolluants métalliques, ...



# Fiche d'identité du sédiment

*Exemple : fiche d'entité physique et mécanique*

*Le plan expérimental adopté est représenté dans le tableau ci-dessous.*

Etude physique			Etude Mécanique		
Essais	Paramètres	Observation	Essais	Paramètres	Observation
Analyse granulométrique	Cc et Cu	Matériau brut	Pénétromètre à cône	$C_u$ : résistance au cisaillement	Matériau brut et traité
Limites d'Atterbergs	$W_L$ , $W_P$ , $I_P$ et $I_C$	Matériau brut et traité	Scissomètre	$C_u$	Matériau brut et traité
Pycnomètre à hélium	$\gamma_s$	Matériau brut et traité	Pré consolidation	Tassement	Matériau brut et traité
Calcination	% de M.O	Matériau brut et traité	Oedomètre	Cc, Cs, Cv et $\sigma'_p$	Matériau brut et traité
pH mètre	pH	Matériau brut et traité	Triaxial	C et $\phi$	Matériau brut et traité
Mesure de Teneur en eau	$W_n$	Matériau brut et traité	Boite de cisaillement direct	C et $\phi$	Matériau brut et traité
Valeurs de bleu de méthylène	VBs	Matériau brut et traité	Perméabilité	k	Matériau brut et traité



# Exemple du sédiment du GPM de Dunkerque

- Exemple de Caractérisations physique et mécanique du sédiment du Port de Dunkerque



## Bilan de la caractérisation du sédiment non immergeable brut et traité

Sédiment	Brut	Traité à 5% de Cao
Teneur en fine (< 80µm)	96,5	96,5
Argile(< 2 µm)	12	--
Limon (2 à 63 µm)	80	--
Sable (> 63 µm)	8	--
D max	150	150
D min	0,14	--
W <sub>n</sub> (%)	174	169
W <sub>L</sub> (%)	103	93,77
W <sub>p</sub> (%)	59	58,77
I <sub>p</sub> (%)	44	35
I <sub>L</sub>	2,62	3,15
I <sub>C</sub>	1,62	2,15
Vbs	3	2,7
ρ <sub>s</sub> ( g/cm <sup>3</sup> )	2,5	2,52
% MO	11,46	11,24
PH	8,83	12,41
Classification USCS	OH	MH-CH
Classification AASHTO	A-7-5	A-7-5
Classification GTR (92)	F <sub>1</sub> A <sub>4</sub>	F <sub>1</sub> A <sub>3</sub>

# Bilan de la caractérisation du sédiment non immergeable brut et traité

Sédiment	Brut	Traité à 5% de Cao
Coefficient de compressibilité $C_c$	<b>0,723</b>	<b>0,66</b>
Coefficient de gonflement $C_s$	<b>0,060</b>	<b>0,015</b>
Coefficient de consolidation $C_v$ (m <sup>2</sup> /s)	<b>2,58 E-07</b>	<b>1,37 E-07</b>
Coefficient de perméabilité $k$ (cm/s)	<b>1,14 E-07</b>	<b>9,17 E-07</b>
Angle de frottement (essai triaxial)	<b>23,29°</b>	--
Cohésion (essai triaxial)	<b>0</b>	--
Angle de frottement (cisaillement rectiligne à la boîte)	<b>20,52°</b>	--
Cohésion (cisaillement rectiligne à la boîte) en MPa	<b>0</b>	--

# Bilan de la comparaison d'un sédiment pollué et non pollué

Sédiments	Pollués	Non pollués
Teneur en fine (< 80µm)	96,5	68,9
Argile(< 2 µm)	12	5,4
Limon (2 à 63 µm)	80	57,8
Sable (> 63 µm)	8	36,8
D max (µm)	150	--
D min (µm)	0,14	--
W <sub>n</sub> (%)	174	156
W <sub>L</sub> (%)	103	97,4
W <sub>p</sub> (%)	59	45
I <sub>p</sub> (%)	44	52,4
I <sub>L</sub>	2,62	2,12
I <sub>C</sub>	1,62	1,12
V <sub>bs</sub>	3	3
ρ <sub>s</sub> ( g/cm <sup>3</sup> )	2,5	2,5
% MO	11,46 (450°) – 16,21(550°)	10(450°) - 15,47(550°)
PH	8,83	7

# Bilan de la comparaison avec un sédiment pollué et non pollué

Sédiments	Pollués	Non pollués
Classification USCS	OH	OH
Classification AASHTO	A-7-5	A-7-5
Classification GTR (92)	F <sub>1</sub> A <sub>4</sub>	F <sub>1</sub> A <sub>4</sub>
Coefficient de compressibilité $C_c$	0,723	0,50
Coefficient de gonflement $C_s$	0,060	0,05
Coefficient de consolidation $C_v$ (m <sup>2</sup> /s)	2,58 E-07	1E-07
Coefficient de perméabilité $k$ (cm/s)	1,14 E-07	1E-07
Angle de frottement (essai triaxial)	23,29°	31°
Cohésion (essai triaxial)	0 MPa	0 kPa
Angle de frottement (cisaillement rectiligne à la boîte)	20,52°	28°
Cohésion (cisaillement rectiligne à la boîte) en MPa	0 MPa	0 kPa



# Conclusion

La fiche sédiment montre que les sédiments non immergeable possèdent presque les mêmes propriétés que les sédiments immergeable .

Grace à la fiche sédiments on montre d'une manière logique que le traitement de sédiment à 5% de chaux conduit à l'amélioration des caractéristiques physico-mécanique des sédiments pollués.

On peut également grâce à cette fiche proposer une loi de comportement mécanique qu'on pourra intégrée dans un code de calcul pour dimensionner par exemple une route.





- ✓ Procéder à des analyses plus poussées(minéralogique, chimique et biologique..) afin de compléter la fiche d'identité sédiment

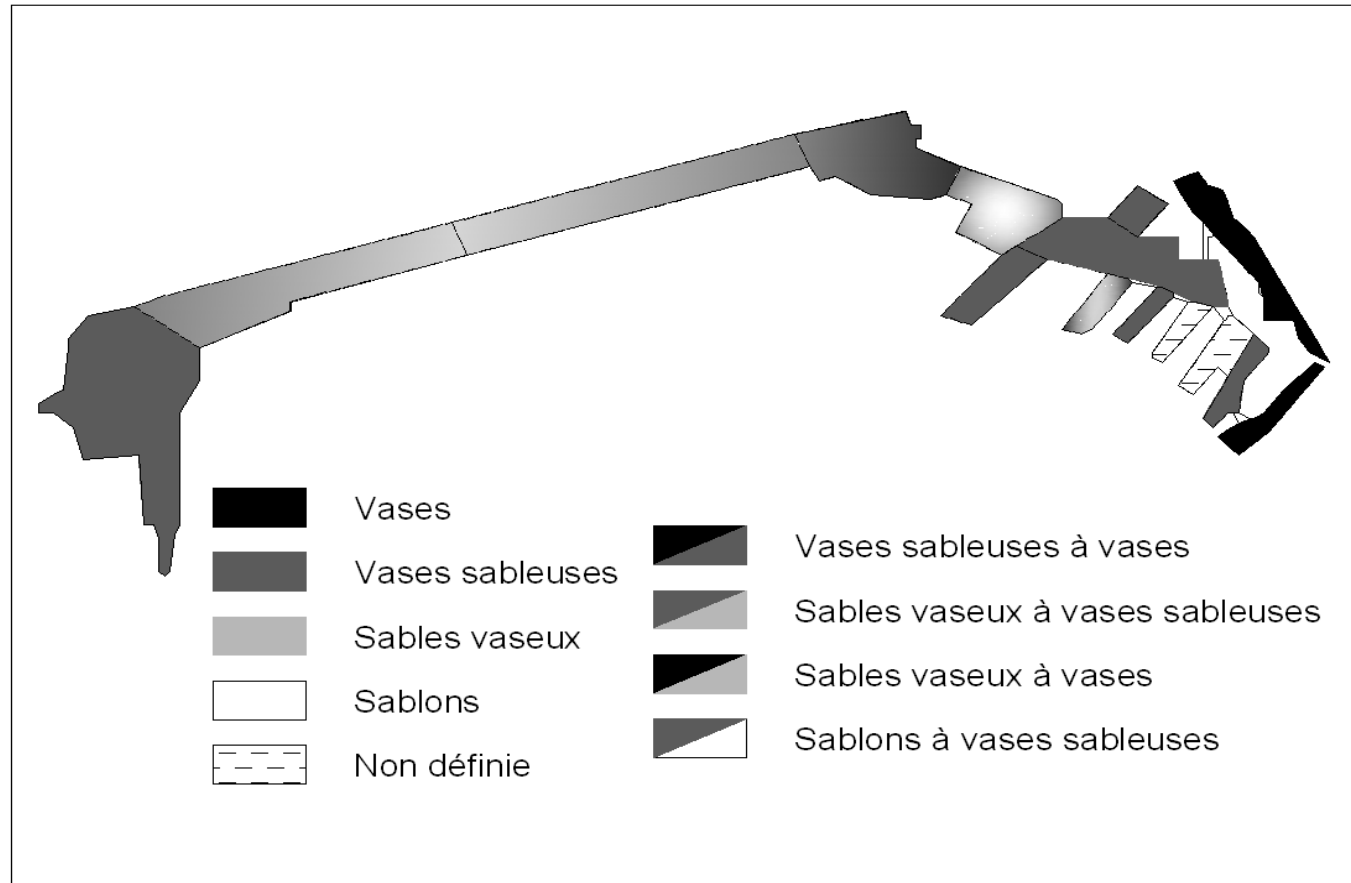


## Matériaux du Génie-Civil &amp; Environnement



# Etudes préalables:

## Caractérisation physique : granulométrie





---

## CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

- *Cette méthodologie est le résultat d'un partenariat long terme mené par des acteurs régionaux, sous l'égide de la Région Nord Pas de Calais*
- *Cette collaboration entre industriels, centres de recherche et institutions a permis de trouver des solutions à deux problèmes majeurs de cette région. Le premier concerne la gestion des opérations de dragage, dans le respect des critères environnementaux, sociaux et économiques. Le second est relatif à la pénurie de matériaux utilisables en génie civil qui est latent dans cette région.*







- *Grâce à une démarche d'intelligence économique et territoriale, qui s'est traduite sur le terrain par l'utilisation de l'écologie industrielle et par des nouvelles méthodes de caractérisation des sédiments et d'aide à la décision multicritère.*
- *cette méthodologie permet de répondre à ces attentes et en particulier au programme SEDIMATERIAUX et le programme européen PRISMA. En outre, elle permet l'intégration de tous les acteurs dans le processus décisionnel, permettant de dégager un consensus à partir de positions initiales divergentes.*



# *Résumé de la méthodologie développée dans les guides de la démarche SEDIMATERIAUX*

*Travaux réalisés par l'école des Mines de Douai*





## Cadre méthodologique

- A ce jour, le mode de justification de l'innocuité environnementale n'est pas précisé par un texte réglementaire ou un guide « officiel ».
- Le **guide méthodologique SETRA** (2011), relatif à la valorisation des déchets en technique routière, ne prend pas en compte les spécificités des sédiments de dragage.
- D'un point de vue normatif (et non réglementaire), la norme NF EN 12920+A1 propose une méthodologie pour démontrer l'innocuité environnementale d'un sédiment dans un scénario de valorisation.
- La norme NF EN 12920+A1 préconise entre autres la **caractérisation** des matériaux avant et après traitement, la mise en place et le **suivi du scénario de valorisation au laboratoire** et/ou sur le **terrain**, la modélisation du transfert des polluants et la validation de modèles.



# 1. La démarche

## Objectifs

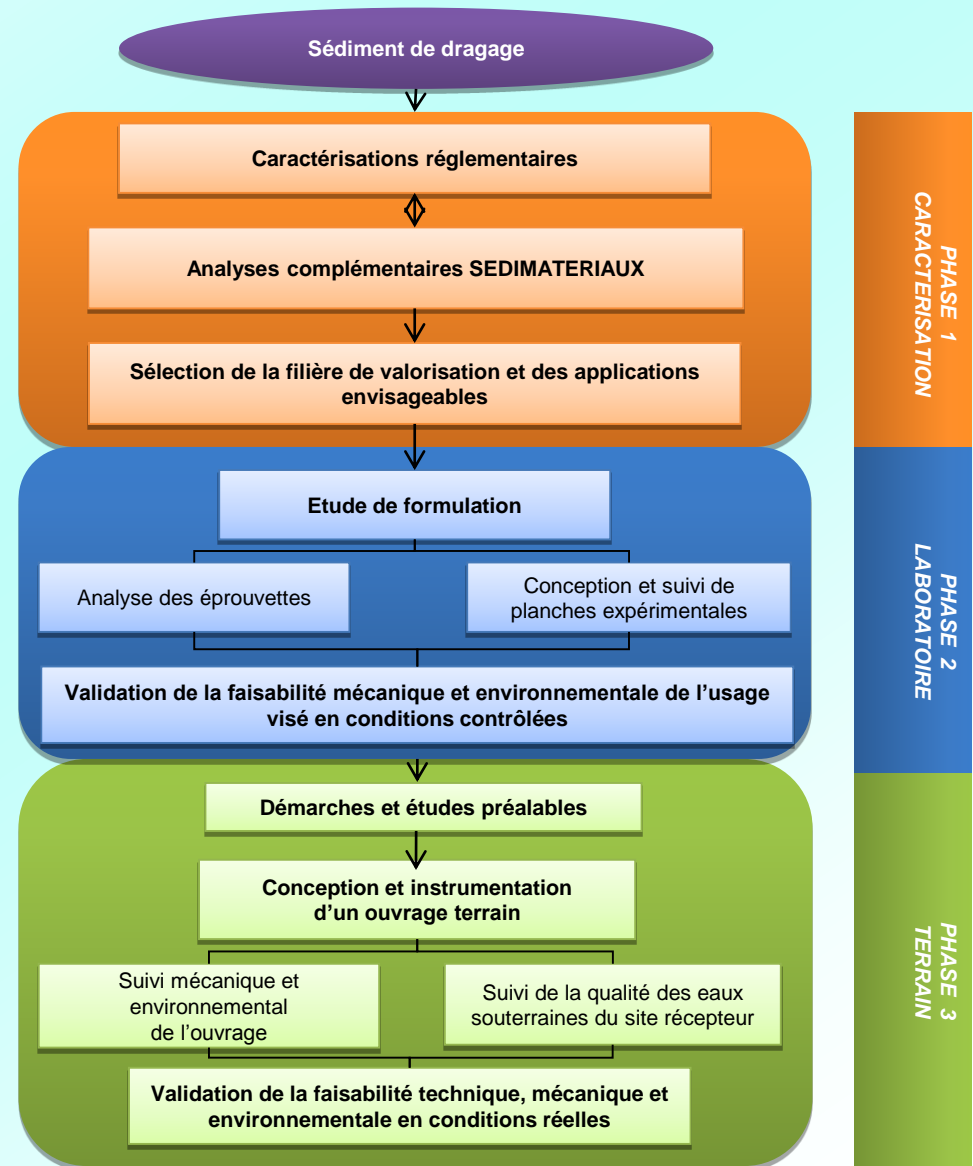
- Proposer aux gestionnaires une méthodologie opérationnelle permettant de répondre aux exigences réglementaires en matière de valorisation des déchets en s'appuyant **sur la norme NF EN 12920+A1**.
- Proposer des solutions opérationnelles aux gestionnaires ou détenteurs de sédiments de dragage via la réalisation d'un ouvrage de terrain dans des conditions environnementales maîtrisées
- Démontrer la faisabilité environnementale de la valorisation de sédiments de dragage dans différents scénarii d'usage afin de faire évoluer le cadre réglementaire



# 2. La démarche SEDIMATERIAUX

## Méthodologie

- Méthodologie élaborée à partir de la norme NF EN 12920+A1
- Méthodologie comprenant 3 phases cumulatives et dépendantes
- Méthodologie permettant d'aboutir à la réalisation d'un ouvrage opérationnel



## 2. *Présentation de la méthodologie*

### **Phase 1 : Caractérisation**

Connaissance du gisement de sédiments  
Etude d'impact du projet



### **Phase 2 : Etude en laboratoire**

Etude de formulation  
Réalisation de planches expérimentales



### **Phase 3 : Etude de terrain**

Réalisation de prototypes sur le terrain  
Evaluation des caractéristiques géotechniques et mécaniques  
Evaluation de l'impact environnemental



Validation de la faisabilité technique et  
environnementale





## Méthodologie opérationnelle pour trois filières de valorisation :

- Eco-modelés paysager,
- Sous couches routière,
- Blocs béton.





# *Merci de votre attention*

Financeurs de la démarche SEDIMATERIAUX

