



IMT Nord Europe

École Mines-Télécom

IMT-Université de Lille



GESTION DES SÉDIMENTS : LES SOLUTIONS INNOVANTES APPLIQUÉES EN BTP

Lille , le 24 mars 2022

Prof. Abriak Nor-Edine : IMT Nord-Europe

Professeur Associé à l'Université de Sherbrooke (Canada)

Directeur Adjoint du LGCgE

Vice-président du CD2E : Economie Circulaire

POURQUOI FAIRE DE L'INNOVATION ?

- Le mot évoque des images de scientifiques qui présentent des inventions révolutionnaires. Bien que cette conception constitue une partie importante de l'ensemble de l'idée, l'innovation dans le domaine sédiment doit aujourd'hui être située dans un contexte beaucoup plus large.
- L'innovation renvoie vraiment à une façon imaginative de faire face au changement. Il s'agit dans notre cas de générer de nouvelles idées au sujet de la valorisation des sédiments en génie civil, d'effectuer de la recherche et du développement, d'améliorer les processus de formulation et de fabrications.
- L'innovation nous aide à anticiper plus rapidement à l'évolution de la réglementation et aussi tirer profit des occasions qui se présentent, à agir au lieu de réagir aux problématiques rencontrés par exemple des grands ports maritimes. Elle pourra aider les ports à se distinguer de la concurrence européennes.

POURQUOI INNOVER ET INVESTIR DANS LE DOMAINE DES SÉDIMENTS ?

Un double effort axé sur l'agilité et l'**investissement** technologique permet de consolider ses propres atouts, car ces deux priorités se complètent.

L'agilité permet d'obtenir de meilleures formulations adaptées au BTP , et **investir** dans la technique de traitement, procès et laboratoire permet en retour d'améliorer l'agilité de l'équipe scientifique qui travaille dans ce domaine.

QUELS SONT LES 5 TYPES D'INNOVATION ?

Joseph Schumpeter distingue à ce titre 5 formes d'innovations . On les retrouve dans le domaine du sédiments et qui sont intégrées dans la chaire Ecosed Digital 4.0 à savoir :

1-l'innovation de produits : on souhaite que le sédiment devient un matériaux alternatif.

2-l'innovation de procédés ;

Pour fabriquer un produit à base des sédiments , on est amené à innover ou améliorer soit le procès ou le procédés.

3-l'innovation de modes de production ;

4-l'innovation de débouchés ;

5-l'innovation de matières premières.

Pour réaliser une route ou un quai à base des sédiments, on a été confronté dès le départ aux cinq types d'innovations.

1-Les sédiments sont gorgés d'eau : impossible à faire des essais triaxiaux ou à la boîte de Cassagnarde ,pour cratérer les sédiments (utilisation en remblais ou couche de forme), Impossible d'utiliser l'odomètre pour étudier les tassements à moyen terme et à long terme etc.... Donc il a fallu adapter le matériel du laboratoire (1^{er} innovation),

1- impossible de faire la décantation et ensuite la consolidation : concevoir un nouveau outil spécifique pour les sédiments (2^{ème} innovation)

Pourquoi ? Car c'est très important d'avoir les caractéristiques physique et mécanique avant tout utilisation .

Ensuite si les sédiments sont non immergeables ,il va falloir les traiter avant de les réutiliser donc il faut savoir si le traitement va améliorer les caractéristiques des sédiments avant leur utilisation au niveau ouvrage.

Ci-dessous les deux fiches issus des méthodes innovantes:

FICHE D'IDENTITÉ DU SÉDIMENT

Exemple : fiche d'entité physique et mécanique

Innover c'est aussi adapter les essais classiques aux sédiments et les adopter .

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	γ_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 ϕ	Matériau brut et traité
Mesure de Teneur en eau	W_n	Matériau brut et traité	Boite de cisaillement direct	C et ϕ	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 la Méthode innovante appliquée à la caractérisation physique et mécanique du sédiment du Port de Dunkerque

BILAN DE LA CARACTÉRISATION DU SÉDIMENT NON IMMIRGEABLE 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 _n (%)	174	169
W _L (%)	103	93,77
W _p (%)	59	58,77
I _p (%)	44	35
I _L	2,62	3,15
I _C	1,62	2,15
Vbs	3	2,7
ρ _s (g/cm ³)	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 ₁ A ₄	F ₁ A ₃

BILAN DE LA CARACTÉRISATION DU SÉDIMENT NON IMMERGEABLE BRUT ET TRAITÉ

Sédiment	Brut	Traité à 5% de Cao
Coefficient de compressibilité Cc	0,723	0,66
Coefficient de gonflement Cs	0,060	0,015
Coefficient de consolidation Cv (m2/s)	2,58 E-07	1,37 E-07
Coefficient de perméabilité k (cm/s)	1,14 E-07	9,17 E-07
Angle de frottement (essai triaxial)	23,29°	--
Cohésion (essai triaxial)	0	--
Angle de frottement (cisaillement rectiligne à la boîte)	20,52°	--
Cohésion (cisaillement rectiligne à la boîte) en MPa	0	--

BILAN DE LA COMPARAISON D'UN SÉDIMENT POLLUÉ ET NON POLLUÉ

Sédiments	Pollués	Non pollués
Teneur en fine ($< 80\mu\text{m}$)	96,5	68,9
Argile ($< 2\mu\text{m}$)	12	5,4
Limon ($2 \text{ à } 63\mu\text{m}$)	80	57,8
Sable ($> 63\mu\text{m}$)	8	36,8
D max (μm)	150	--
D min (μm)	0,14	--
W_n (%)	174	156
W_L (%)	103	97,4
W_p (%)	59	45
I_p (%)	44	52,4
I_L	2,62	2,12
I_C	1,62	1,12
Vbs	3	3
ρ_s (g/cm^3)	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 ₁ A ₄	F ₁ A ₄
Coefficient de compressibilité C _c	0,723	0,50
Coefficient de gonflement C _s	0,060	0,05
Coefficient de consolidation C _v (m ² /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

L'adaptation des moyen expérimentaux est une vrai innovation car elle a permis de montrer 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 intégrer dans un code de calcul pour dimensionner par exemple une route.

Cette méthode innovante a été utilisée pour la réalisation de la route de Dunkerque en 2012 et autres produits de génie civil

On présente ci-dessous la méthode innovante adoptée par sédimatériaux



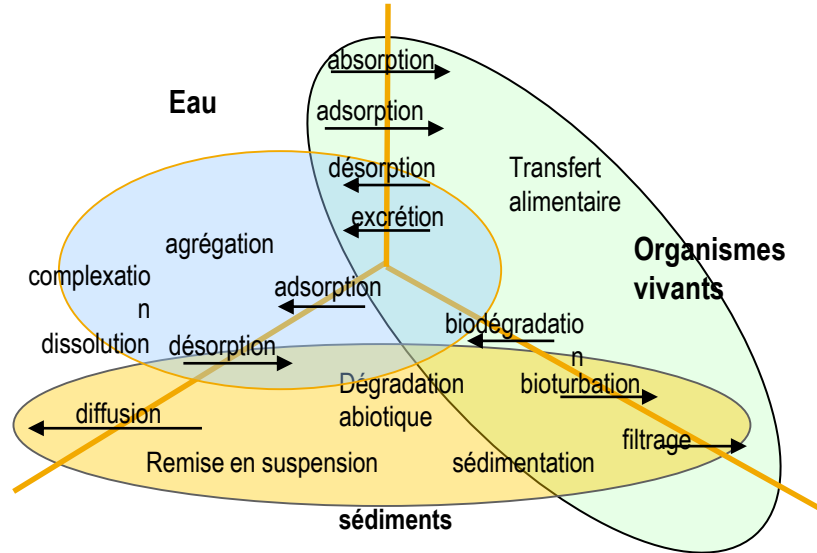
**INNOVATION :
PRÉSENTATION DE LA MÉTHODOLOGIE
DÉVELOPPÉE DANS LES GUIDES DE LA
DÉMARCHE SEDIMATERIAUX**

CONCLUSION ET SYNTHÈSE

1. Problématique
2. La démarche SEDIMATERIAUX
3. Phase 1: Caractérisation des sédiments de dragage
4. Phase 2: Etude en laboratoire
5. Phase 3: Ouvrage terrain
6. Conclusions
7. Perspectives

1. INNOVATION (2/4)

Interactions sédiment/contaminants



Différents Processus
Physiques / chimiques / biologiques



Caractéristiques de la colonne d'eau
Constituants sédimentaires
Composante biologique

1. PROBLÉMATIQUE (3/4)

Devenir des sédiments de dragage

- Selon la circulaire du 4 juillet 2008, « les sédiments de dragage non dangereux peuvent en fonction de leur composition... » faire l'objet de :
 - Régilage sur terrains riverains ou épandage sur parcelles agricoles ou la mise en terrain de dépôt
 - Remblaiement de carrière lorsque les sédiments sont considérés comme inertes ou la valorisation pour la réalisation de travaux d'aménagement



Scénarii possibles sous réserve que le maître d'ouvrage démontre l'innocuité environnementale au regard de l'usage envisagé.

1. PROBLÉMATIQUE (4/4)

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.

2. La démarche *SEDIMATERIAUX* (1/2)

Objectifs



Proposer aux gestionnaires une **méthodologie innovante** et opérationnelle permettant de répondre aux exigences réglementaires en matière de valorisation des déchets en s'appuyant sur la norme NF EN 12920+A1.

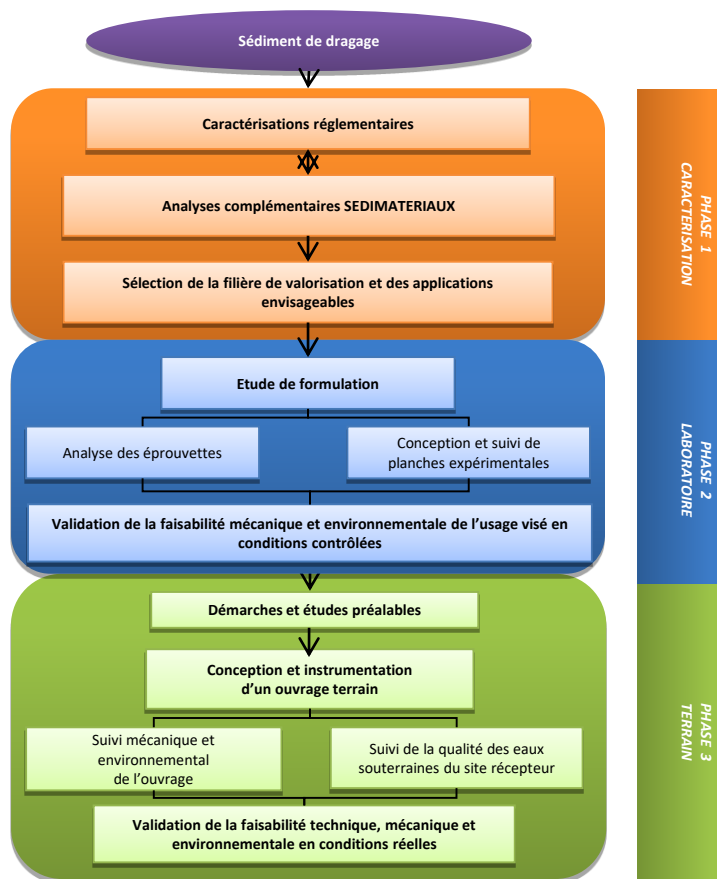
Proposer des **solutions innovantes** opérationnelles aux gestionnaires ou détenteurs de sédiments de dragage via la réalisation d'un ouvrage de terrain dans des conditions environnementales maîtrisées

Démontrer la faisabilité environnementale de la valorisation de sédiments de dragage dans différents scénarii d'usage afin de faire évoluer le cadre réglementaire

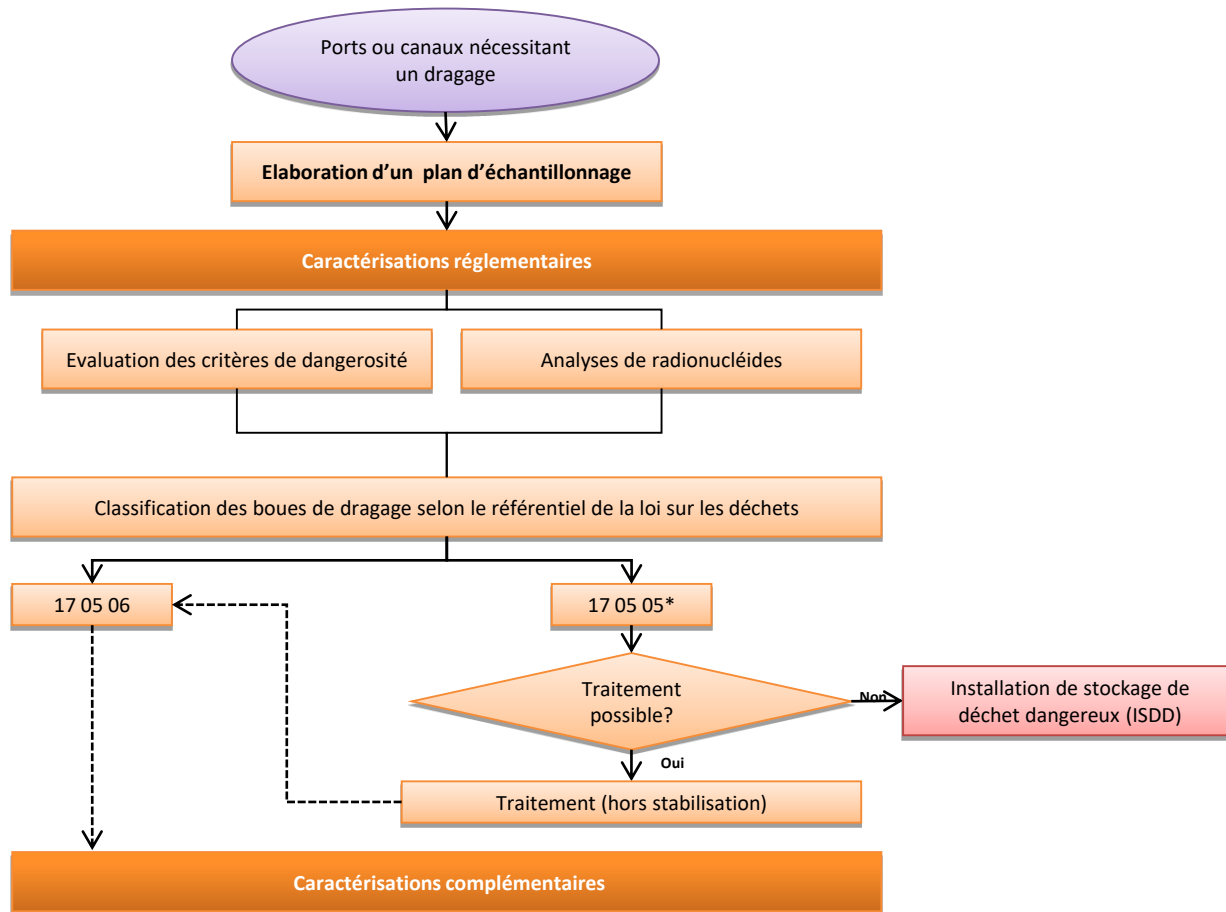
2. La démarche SEDIMATERIAUX (2/2)

Méthodologie

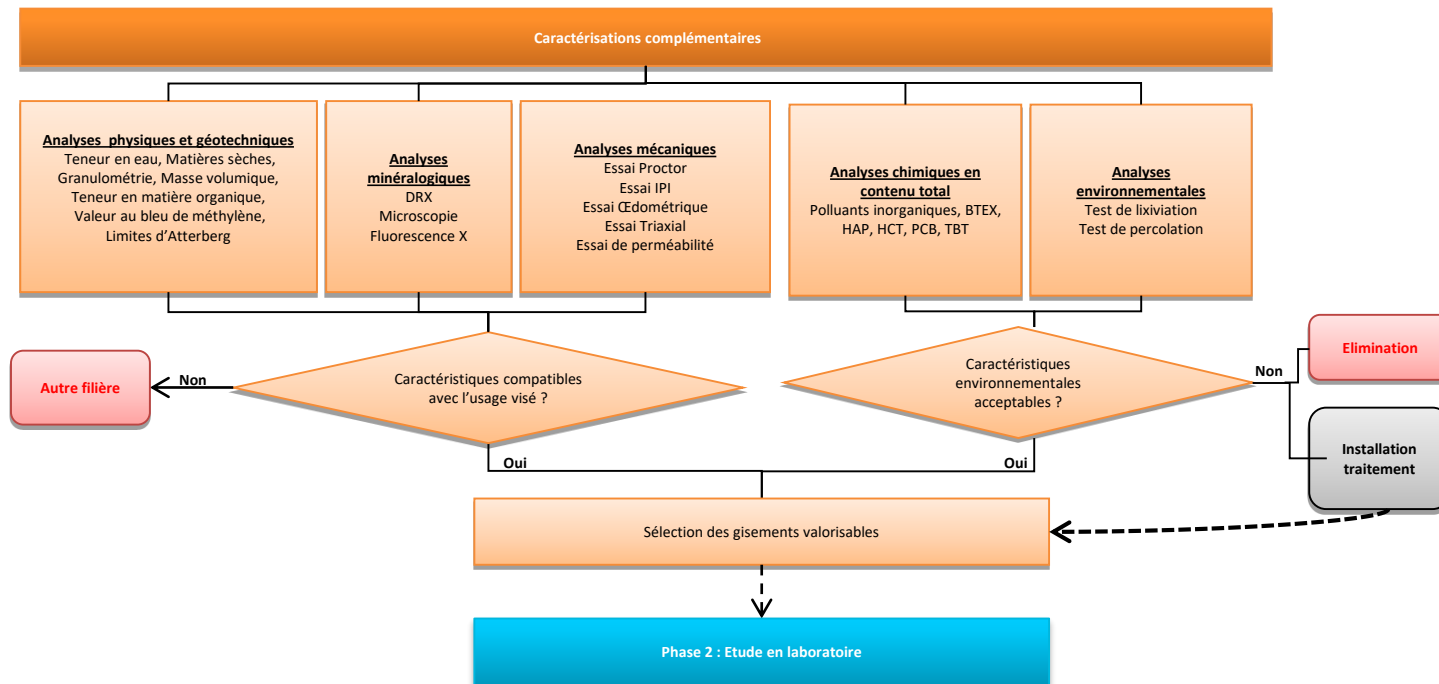
- Méthodologie élaborée à partir de la norme NF EN 12920+A1
- 
- Méthodologie comprenant 3 phases cumulatives et dépendantes
- 
- Méthodologie permettant l'aboutir à la réalisation d'un ouvrage opérationnel



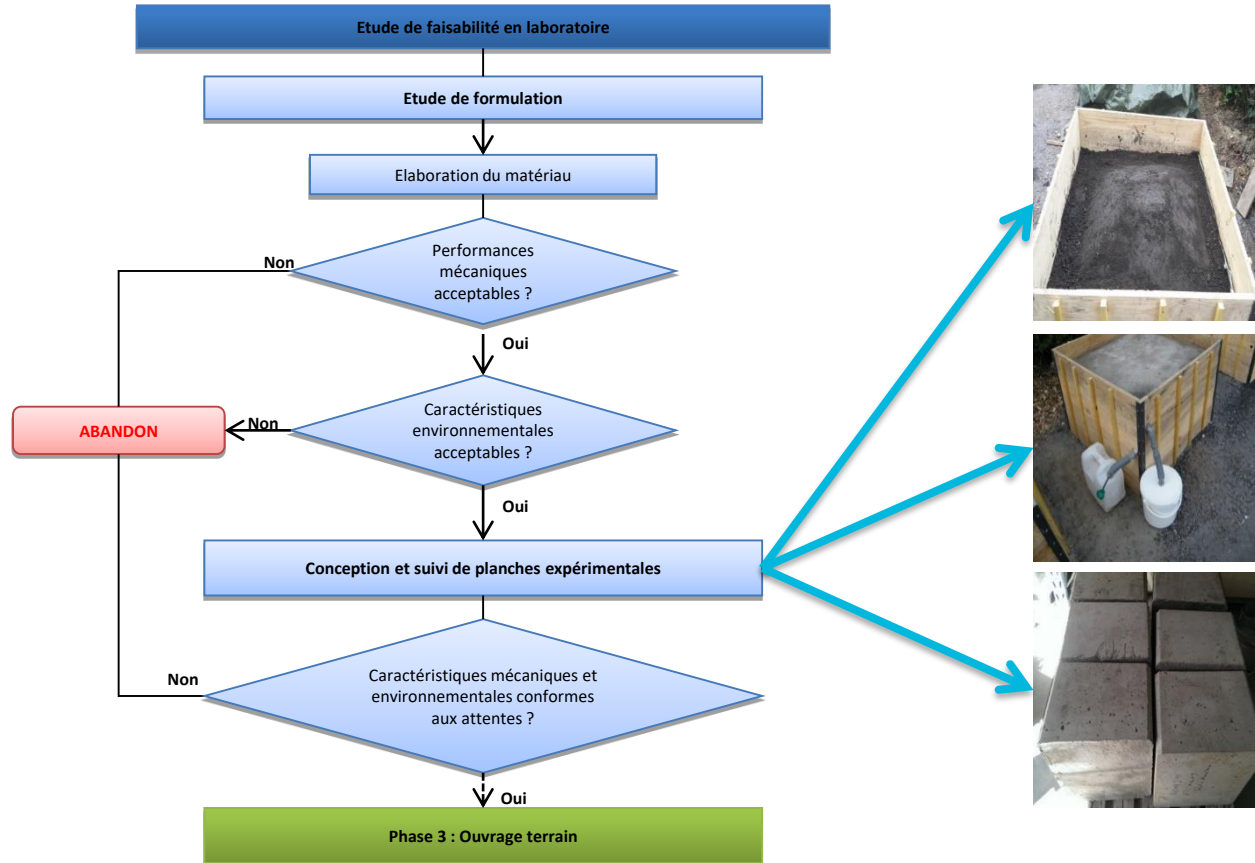
3. PHASE 1 : CARACTÉRISATION (1/2)



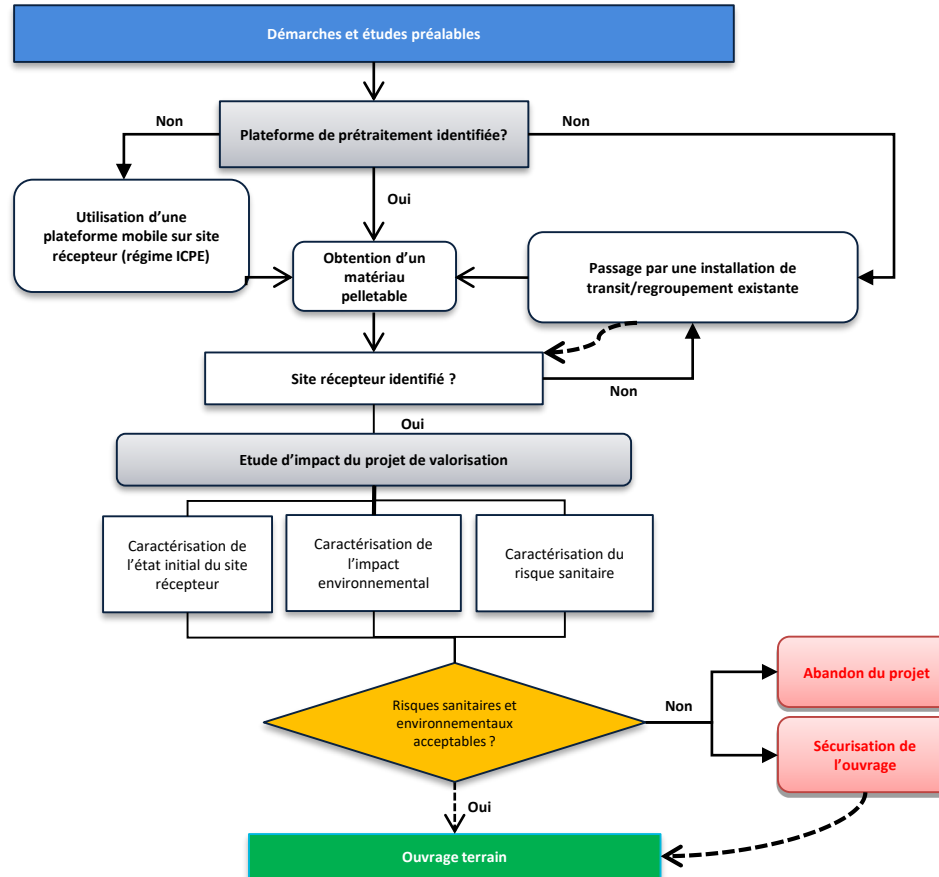
3. PHASE 1 : CARACTÉRISATION (2/2)



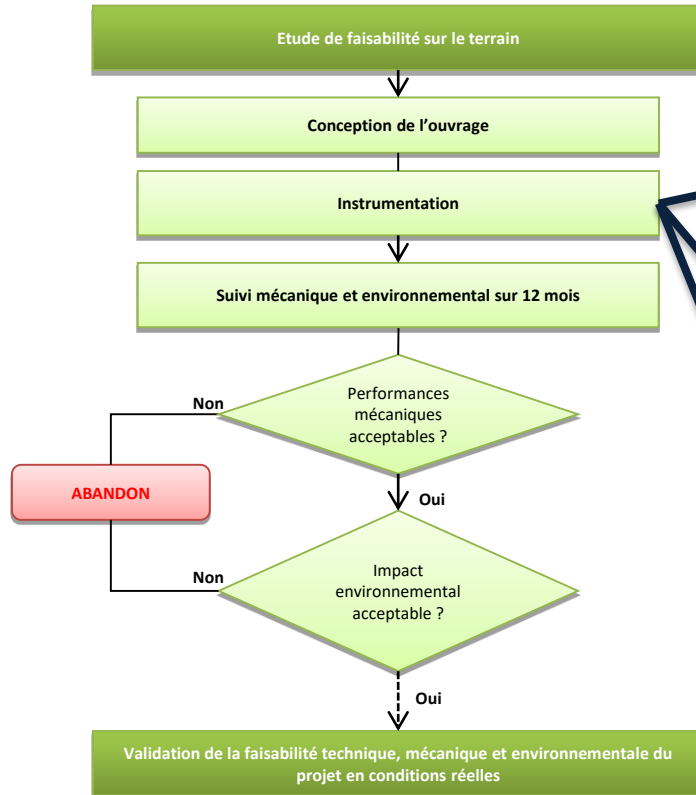
4. PHASE 2 : LABORATOIRE (1/1)



5. PHASE 3 : OUVRAGE TERRAIN (1/2)



5. PHASE 3 : OUVRAGE TERRAIN (2/2)



6. CONCLUSIONS (1/4)

Une méthodologie Innovante permettant de réaliser une étude spécifique multi-échelle pour évaluer l'innocuité environnementale d'un sédiment dans différents scénarios de valorisation

La phase 1 : obtention de la carte d'identité du sédiment et orientation des études de faisabilité en laboratoire

La phase 2 : Etude de la faisabilité de la valorisation pour un usage donné

La phase 3 : Réalisation d'un ouvrage terrain et de la faisabilité technique et environnementale de la filière de valorisation à l'échelle terrain

6. CONCLUSIONS (2/4)



Méthodologie opérationnelle
pour trois filières de
valorisation :

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



CONCLUSIONS (3/4)

En conclusion

L'attitude à adopter pour élaborer un **matériau innovant** à base de sédiment consiste à être pragmatique : il convient de « faire au mieux », en respectant un code de bonne pratique, compte tenu des appareillages disponibles au moment de l'étude.

En particulier, il est indispensable de suivre une méthode assez stricte, fondée sur la connaissance des conditions locales de l'applications de l'ouvrage et sur une calibration et une validation fine des instrumentations du suivi environnemental utilisés pour le cas traité et pour l'analyse des résultats de l'étude.

CONCLUSIONS (4/4)

-Mais un autre élément participera de façon décisive à l'élaboration d'autres matériaux innovants ,c'est le retour d'expérience issu du suivi des opérations de SEDIMATERIAUX. Cette présentation apportera une aide précieuse à la fois aux industriels et aux bureaux d'études œuvrant dans le domaine du BTP mais aussi aux autorités en charge du contrôle des études.

Merci de votre attention

Financeurs de la démarche SEDIMATERIAUX

