



**IMT Mines Alès**  
École Mines-Télécom



# IMT MINES ALÈS

## DÉPARTEMENT GÉNIE CIVIL BÂTIMENT DURABLE

[jean-claude.souche@mines-ales.fr](mailto:jean-claude.souche@mines-ales.fr)

*C2MA - Centre des Matériaux des Mines d'Alès  
Pôle Matériaux et Structures du Génie Civil  
Département Génie Civil Bâtiment Durable*

FEVRIER 2023





## Ecodrege Med II – appel à projets Readynov

Valorisation de fines issues de dragages  
dans des matériaux cimentaires



Projet R&D collaboratif accompagné par AD'OCC



# Bilan journée DIRM à Marseille le 24 janvier 2023, suite Appel à projets de 2019

## En Région Sud :

des schémas directeurs de dragages sont en cours d'élaboration, il font apparaître quelques principes :

- Majorité des sédiments sableux (golfe de Saint Tropez)
- Rechargement de plages comme solution de valorisation privilégiée
- Les fines finissent, au mieux, sur la plate-forme « Envisan » pour être stockée / valorisée ...

## En Région Occitanie :

Le schéma directeur des dragages est terminé depuis des années,

- Plusieurs projets travaillent sur la valorisation des fines
- Le projet de Marseillan – CG 34, valorisations en travaux routiers
- Le projet de dragages mutualisés des ports de la baie d'Aigues Mortes et les valorisations en piste, béton courant, Béton autoplaçant, béton routier etc...

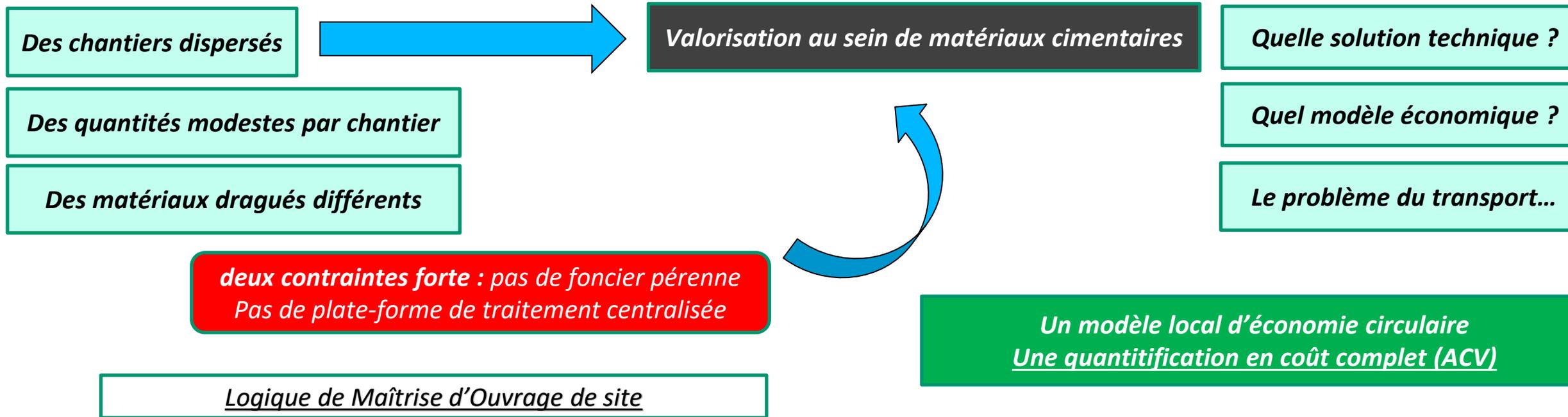
⇒ **sur les dragages en général et la valorisation des fines en particulier, l'Occitanie paraît être en pointe**

Des guides qui semblent répondre aux problématiques mais de façon très « théorique » sans contextualisation des dragages. Ils ont l'avantage d'exister et de fournir un cadre « administratif » aux solutions et aux principes de valorisation

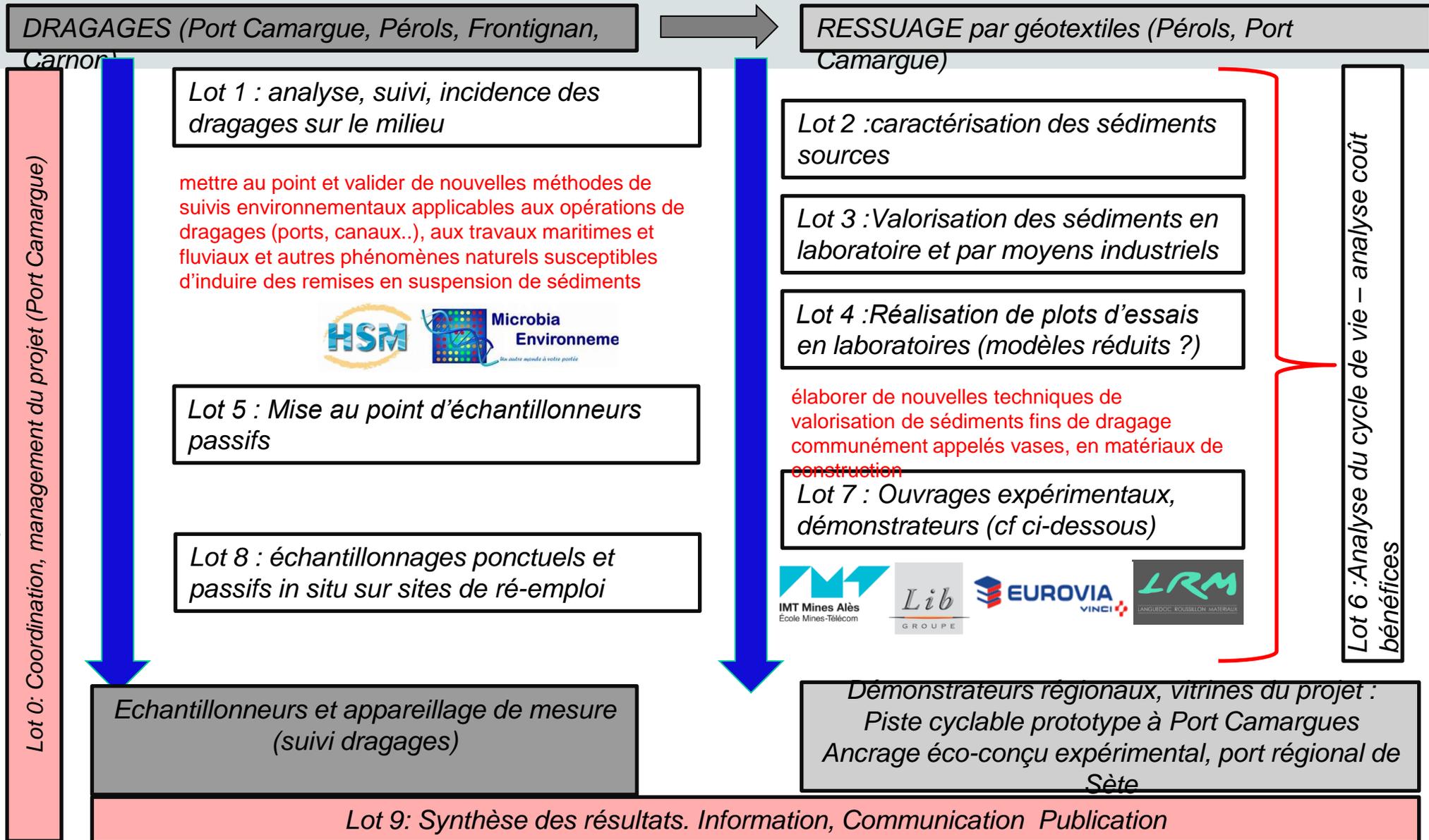
# Enjeux du projet (EcodredgeMEd II)

## Etat des lieux en région Occitanie : Schéma Directeur de valorisation des sédiments de dragages :

- 4,5 millions de m<sup>3</sup> hors VNF (hors objet de l'étude)
- 1,6 millions de m<sup>3</sup> pour les **ports de plaisance** = de petits chantiers dispersés sur le littoral, matériaux divers (30 % sable et 70 % fines dont < 10 % « pollués ») en entretien ou bien en « remise à niveau » de ports
- => les sables ne posent pas de problème de réemploi
- => matériaux à **dominantes fines** (< N1/N2, non dangereux...) => **valorisation à terre => objectif d'ECODREDGE'MED II**



# Organisation du projet



# Démarche envisagée

**Alternative 1:** Pas de transport  
Valorisation en place,  
techniques simples, chantier local P



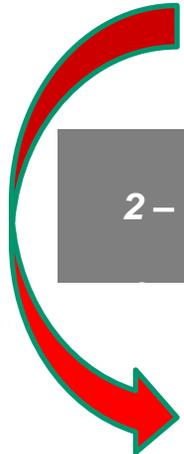
**Un besoin :**  
**Matériaux fins à draguer / valoriser**  
Port Camargue, Pérols (dragage mutualisé 5 ports)

**Une contrainte forte :** pas de foncier disponible,  
seulement pour un prétraitement par ressuage



**Alternative 2:**  
Transport et valorisation, chez un carrier local

1 – Mélange sédiments / granulats  
2 – fines utilisées pour correction granulaire de sable à béton



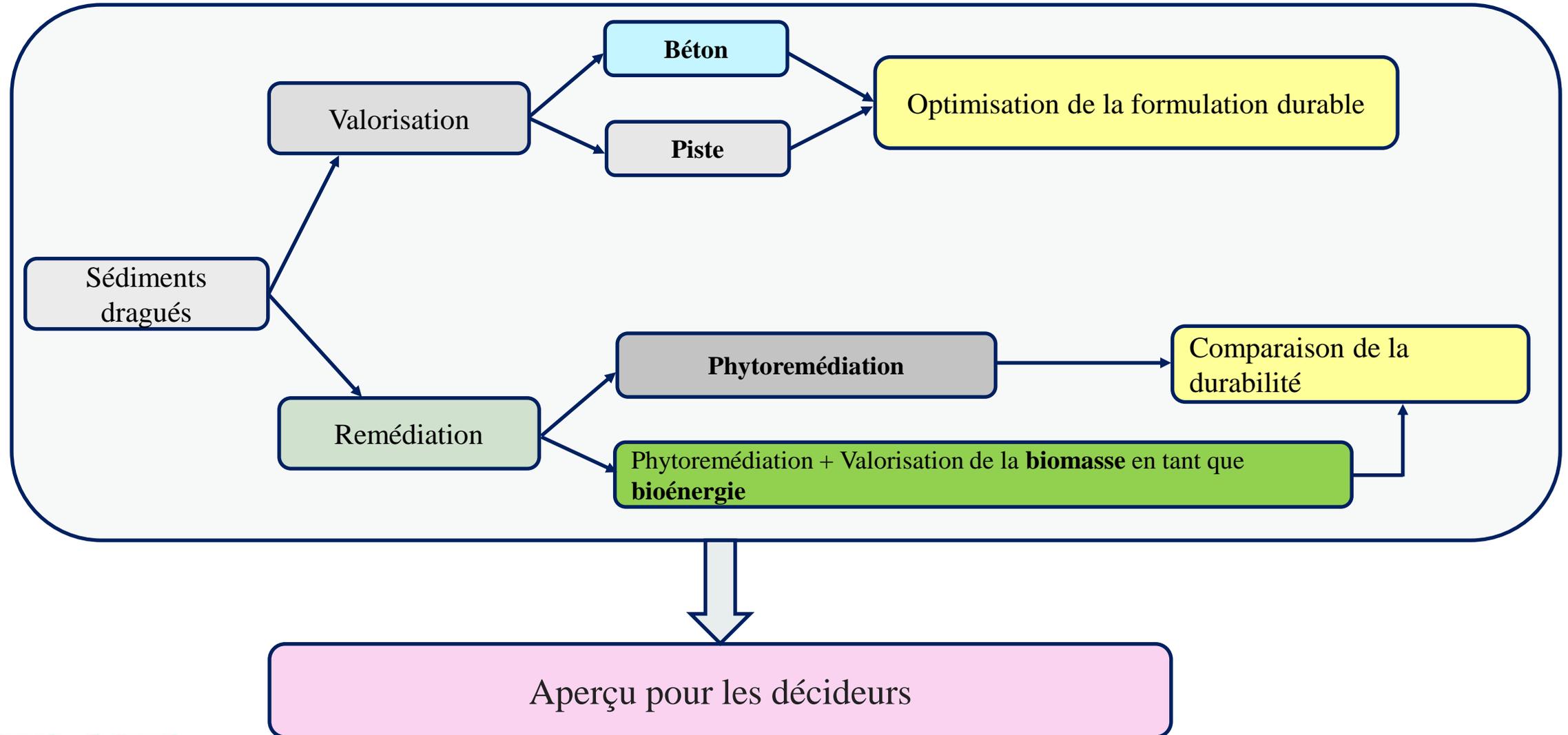
=> Matériaux pour ouvrages en béton armé, en béton fibré, classes de béton X



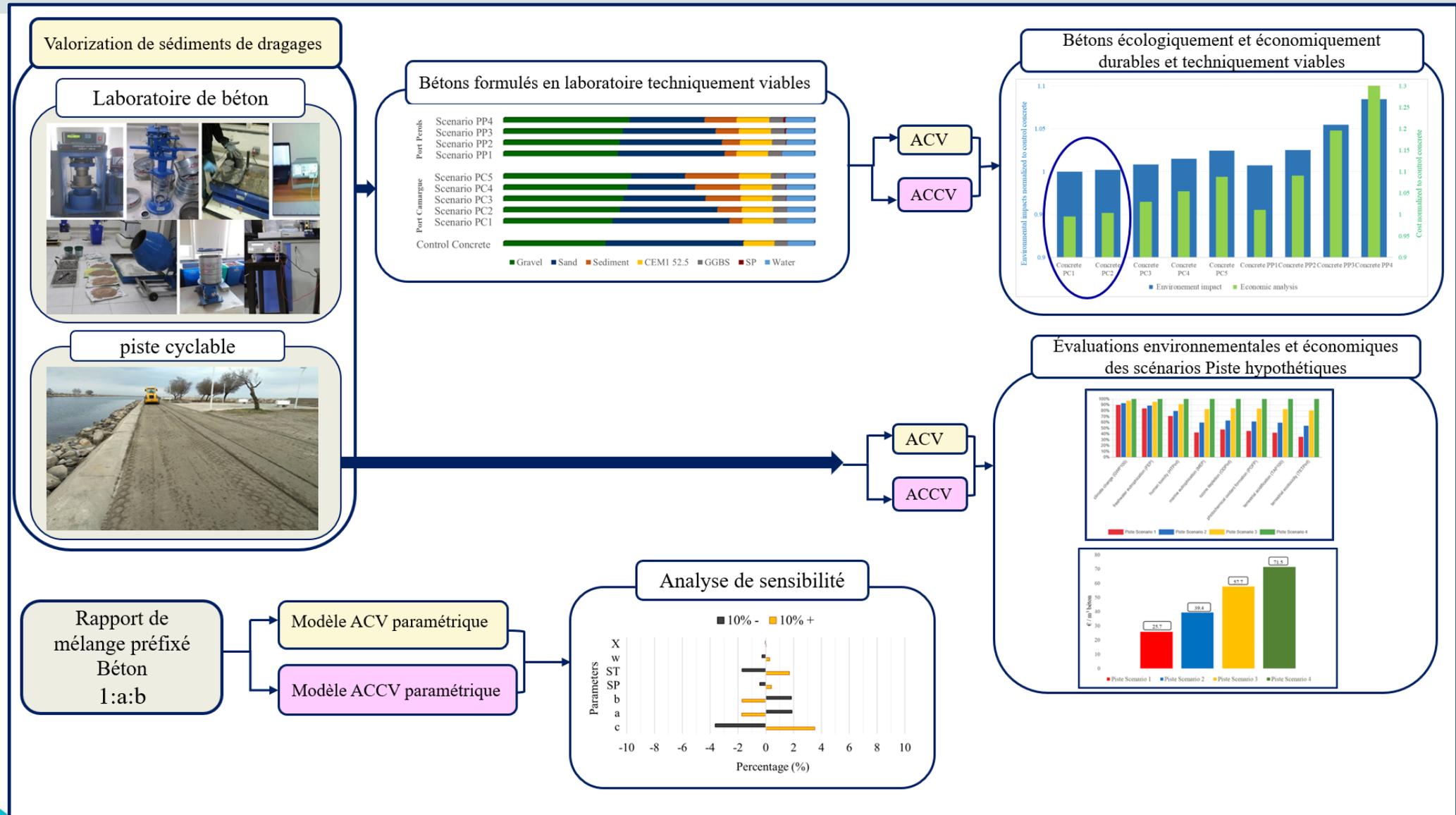
**Ouvrages à la mer, Ancrage éco-conçu 34 t**  
**Port de Sète**  
**béton non armé et armé (classe XS2)**  
**Bétons bas carbonés**



# Évaluation de la **Durabilité** des scénarios de valorisation des sédiments de dragage par l'analyse intégrée du cycle de vie (ACV) et l'évaluation des coûts du cycle de vie (ACCV)



# Évaluation de la **Durabilité** des scénarios de valorisation des sédiments de dragage par l'analyse intégrée du cycle de vie (ACV) et l'évaluation des coûts du cycle de vie (ACCV)

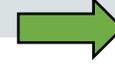


# Sédiments sources

Qualification des sédiments



Essai en laboratoire



Formulation de béton à base des sédiments

## Port-Camargue



Dominante maritime

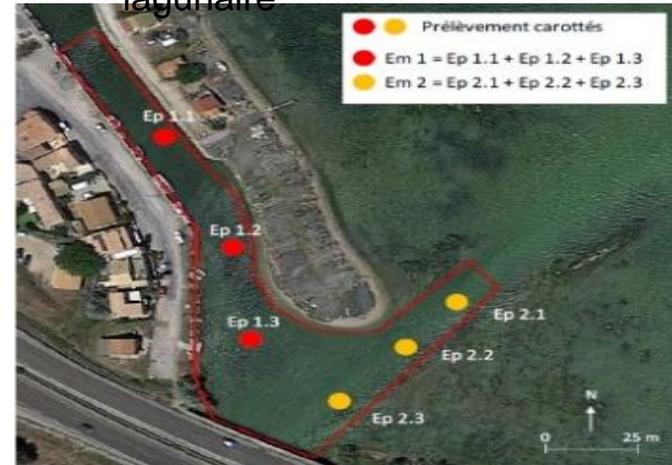


Hydrocyclonés, ressués

## Port-Pérois



Dominante lagunaire



Ressués

# Qualification des sédiments

## Distribution granulométrique

### Port-Camargue

### PérOLS

Densité (g/cm<sup>3</sup>) 2,66 ± 0,01

2,47 ± 0,01

Surface spécifique (m<sup>2</sup>/g)  
3,14 ± 0,82

10,97 ± 3,14

Teneur en eau (%)

$$W = \frac{\text{Masse humide} - \text{Masse sèche}}{\text{Masse humide}} \times 100$$

17,7 ± 5,6

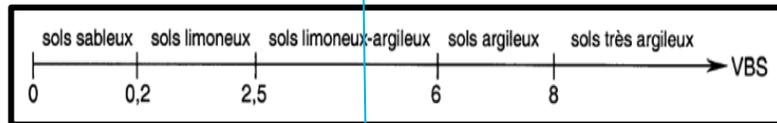
59,2 ± 1,5

Teneur en argile (%)

$$VBS = \frac{\text{Masse sèche de sédiments}}{\text{Masse de bleu de méthylène introduite}} \times 100$$

0,81 ± 0,45

5,35 ± 0,15



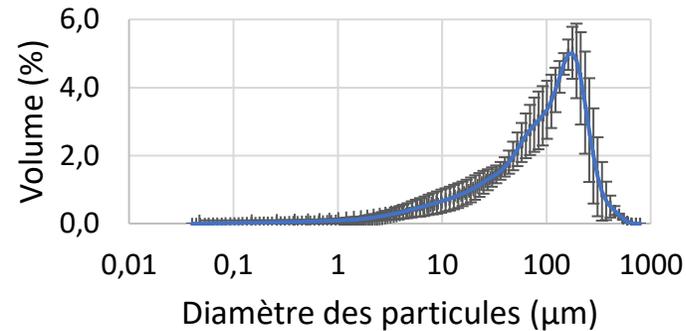
Limoneux

Limoneux-argileux

Matière organique COT	2,69 %
-----------------------	--------

Matière organique COT	7,08 %
-----------------------	--------

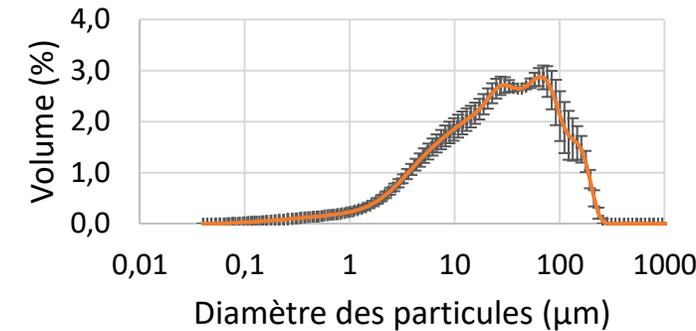
### Port Camargue



Moyenne	117,49	± 25 µm
Médiane	94,35	± 27 µm
d10	14,32	± 9 µm
d90	227,41	± 47 µm

Grains > 50-60 % de silice

### Port PérOLS



Moyenne	44,27	± 5 µm
Médiane	24,83	± 3 µm
d10	3,26	± µm
d90	106,76	± 7 µm

Grains = 30 % de silice, le reste argiles...

# Formulation des bétons

**Norme NF EN 206-1**

XS2, C30/37 / Ciment 330 Kg/m<sup>3</sup> / Eeff/liant 0,55

**Méthode**

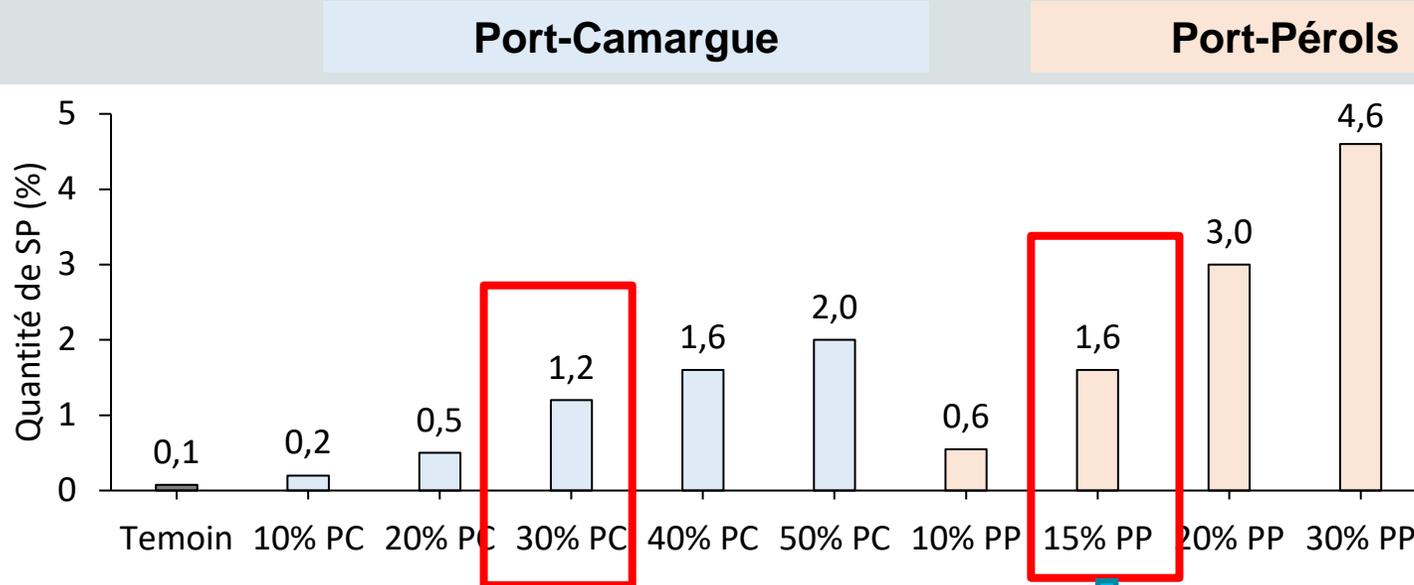
Distribution granulométrique Méthode de Dreux-Gorisse révisée

**Matériaux**

Sédiments PC et PP / Sable 0/4 lavé / Gravier 4,6/14 calcaire concassé  
Ciment CEM1 52,5N PM + Laitier haut fourneau  
Superplastifiant, affaissement S4 190 mm ± 25 mm

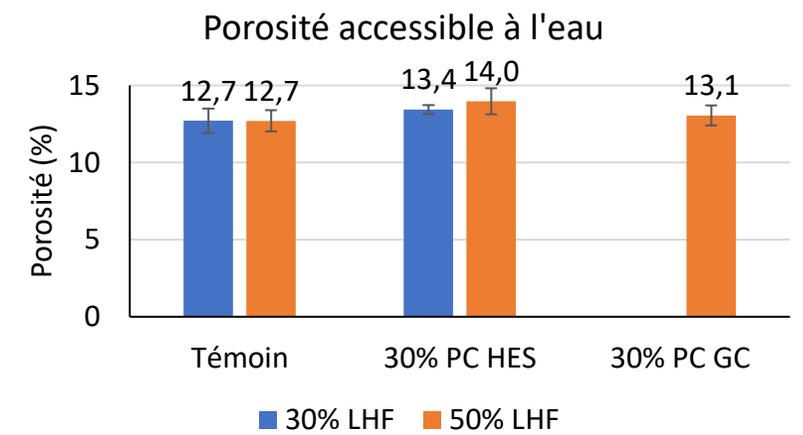
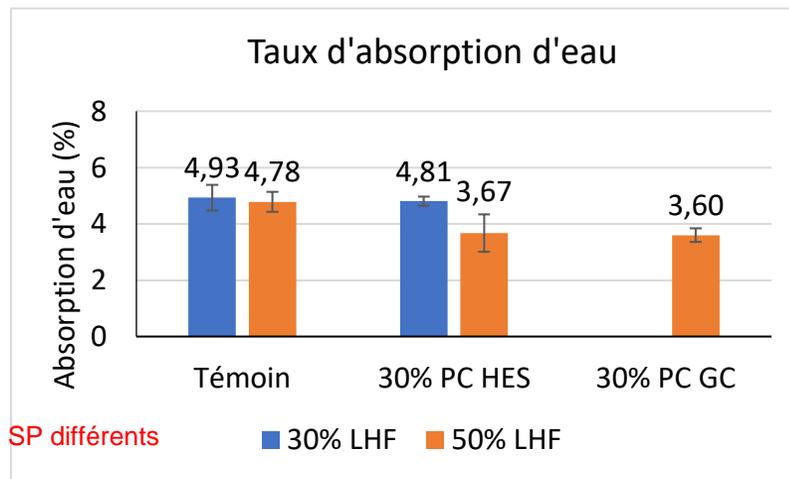
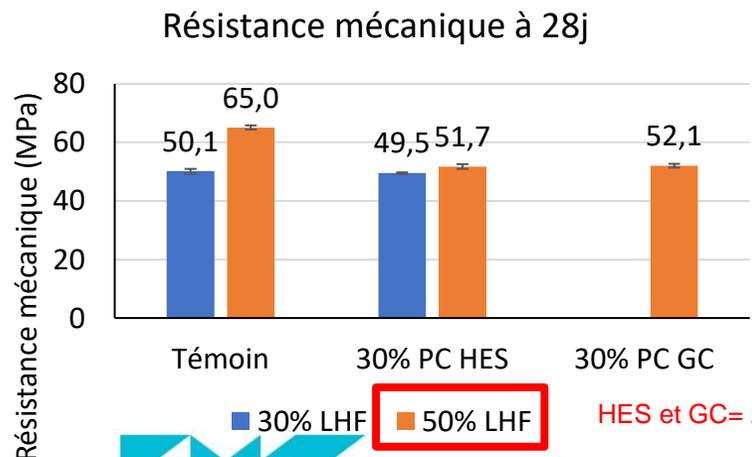
	Témoin	Port-Camargue	Port-Pérois
Liant	330 Kg/m <sup>3</sup>	330 Kg/m <sup>3</sup>	330 Kg/m <sup>3</sup>
Eeff/liant	0,55	0,55	0,55
Sédiments	0%	10, 20, 30, 40, 50 %	10, 15, 20, 30 %
V pâte	307 Kg/m <sup>3</sup>	321-373 Kg/m <sup>3</sup>	350-422 Kg/m <sup>3</sup>
G/S	0,72	0,81-1,04	0,86-0,96

# Effet des sédiments sur la quantité de SP utilisée



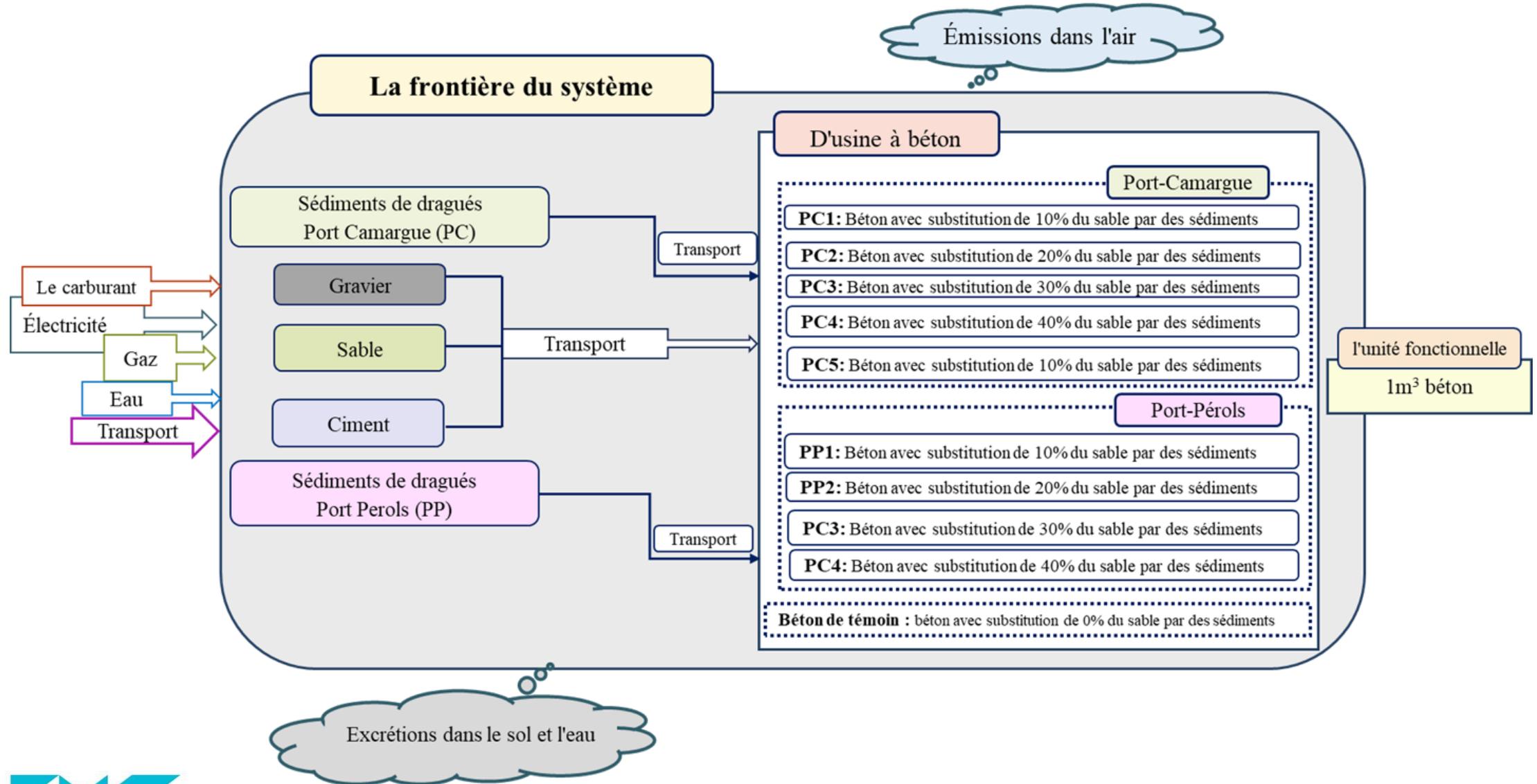
Formulation pour un béton de chaussée C20/25 Classe S2 => Qté Superplastifiant

## Optimisation de la formulation pour un béton de structure

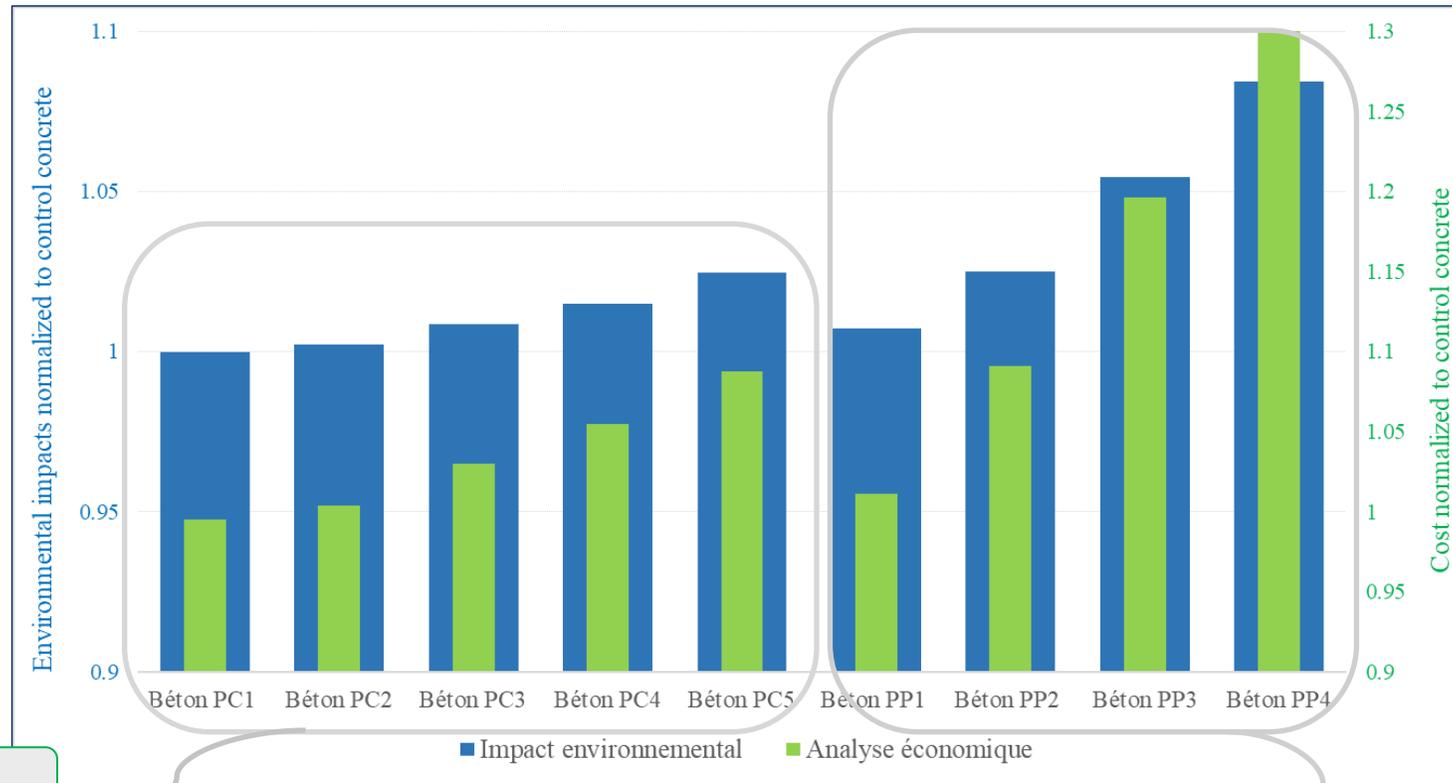


HES et GC= 2 SP différents

# Évaluation environnementale ACV et ACCV de la valorisation de sédiments de dragage par substitution dans le béton



# Les impacts environnementaux et les coûts des scénarios de béton expérimental normalisés par rapport à ceux du béton témoin correspondant



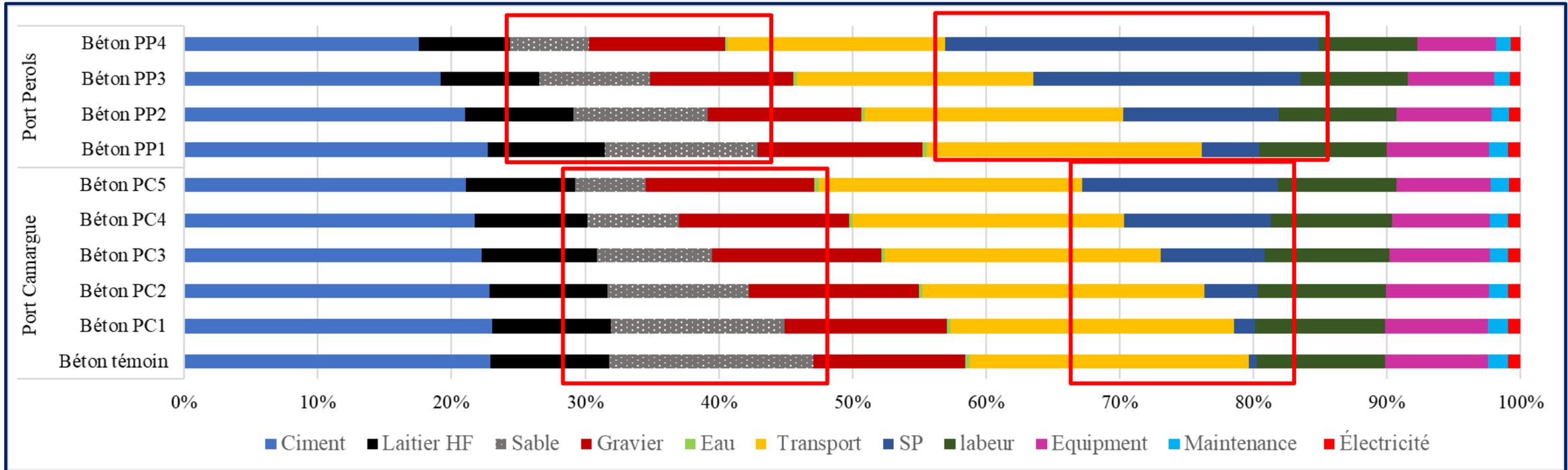
**Port Camargue (PC)**

**Port Pérols (PP)**

L'évaluation de la résistance à la compression a démontré qu'un taux maximal de substitution du sable dans le béton jusqu'à 30 % par des sédiments **fins** pouvait maintenir la classe de résistance du béton. L'impact environnemental est essentiellement donné par la qté de liant et de SP

Les évaluations environnementales, économiques et expérimentales ont démontré que la substitution du sable par des sédiments à **fins** dégrade la classe de résistance des béton, (< 20 %) même à faible taux d'incorporation et augmente les coûts environnementaux et économiques (pour un béton de structure)

# Comparaison entre la contribution des coûts des matériaux et des procédés de scénarios de béton



L'augmentation du coût du superplastifiant et la diminution du coût du sable entre les scénarios PP et PC est évidente. La tendance du coût du superplastifiant de PP1 à PP5 et de PC1 à PC4 va dans le même sens que l'augmentation du coût du béton entre les scénarios correspondants

Le taux maximal de substitution durable du sable par les sédiments dans le béton peut être **optimisé grâce à un compromis entre Résistance mécanique / Ouvrabilité attendues du béton et Impacts économiques et environnementaux** du **superplastifiant** et le **transport** des sédiments

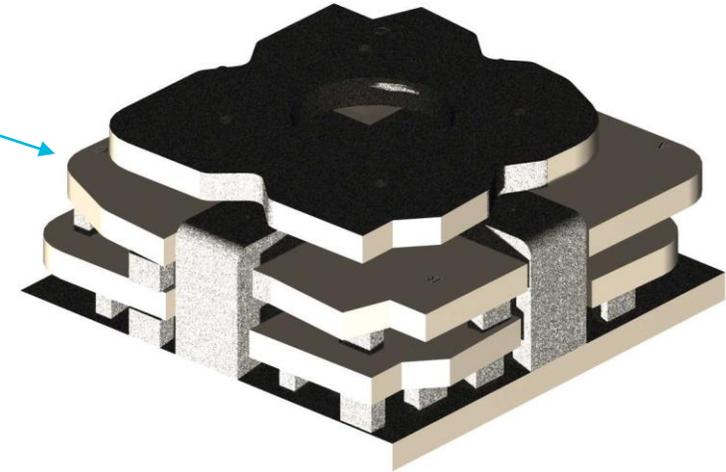
# Ouvrages expérimentaux

Béton de structure (en cours) : Corps morts écoconçus dans le port de Sète – 2 CM d'une dizaine de tonnes chacun

Objectif immersion été 2023

Fabrication : premier semestre 2023

Sédiments de PC



Béton de chaussée (en cours) : Béton de calage de bordures,

Chantier test printemps - été 2023

Mise au point : premier semestre 2023

Sédiments de Pérols



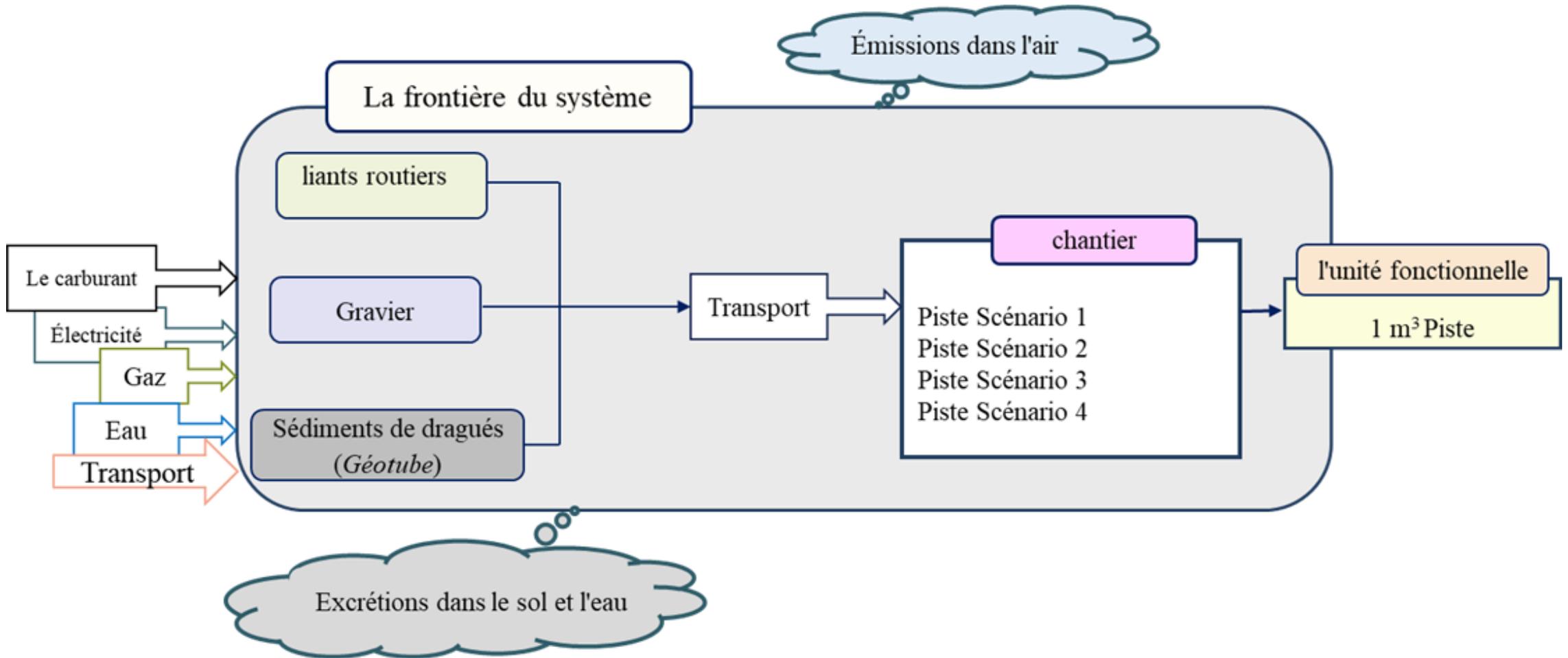
Piste de Port Camargue : Traitement de sols en place GNT 75 % + 25 % sédiments + 5 % de Rollac

Chantier terminé

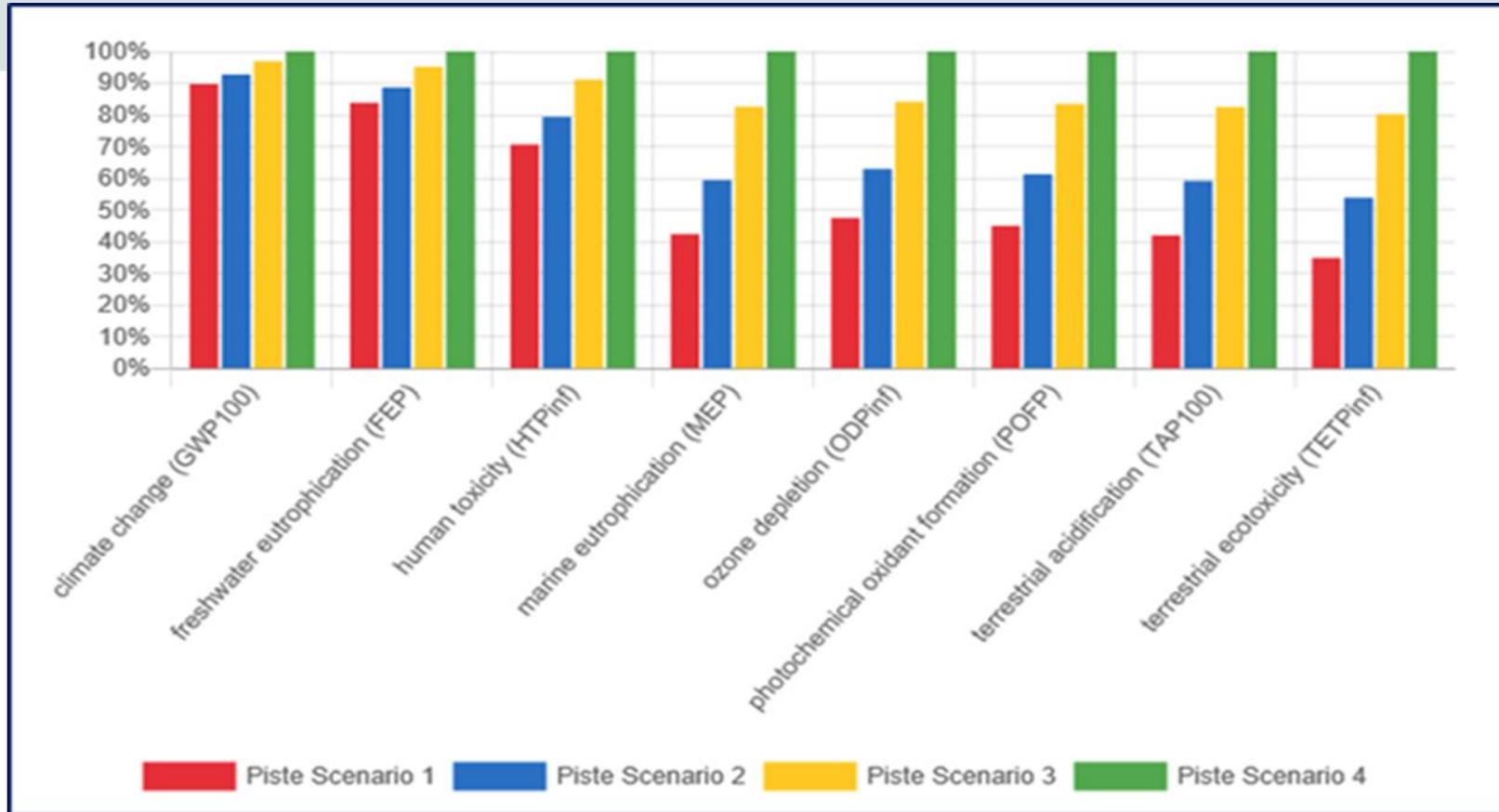
Sédiments de PC



# Évaluation environnemental et économique de la valorisation des sédiments de dragage en **Piste**



# Les impacts environnementaux des scénarios de pistes

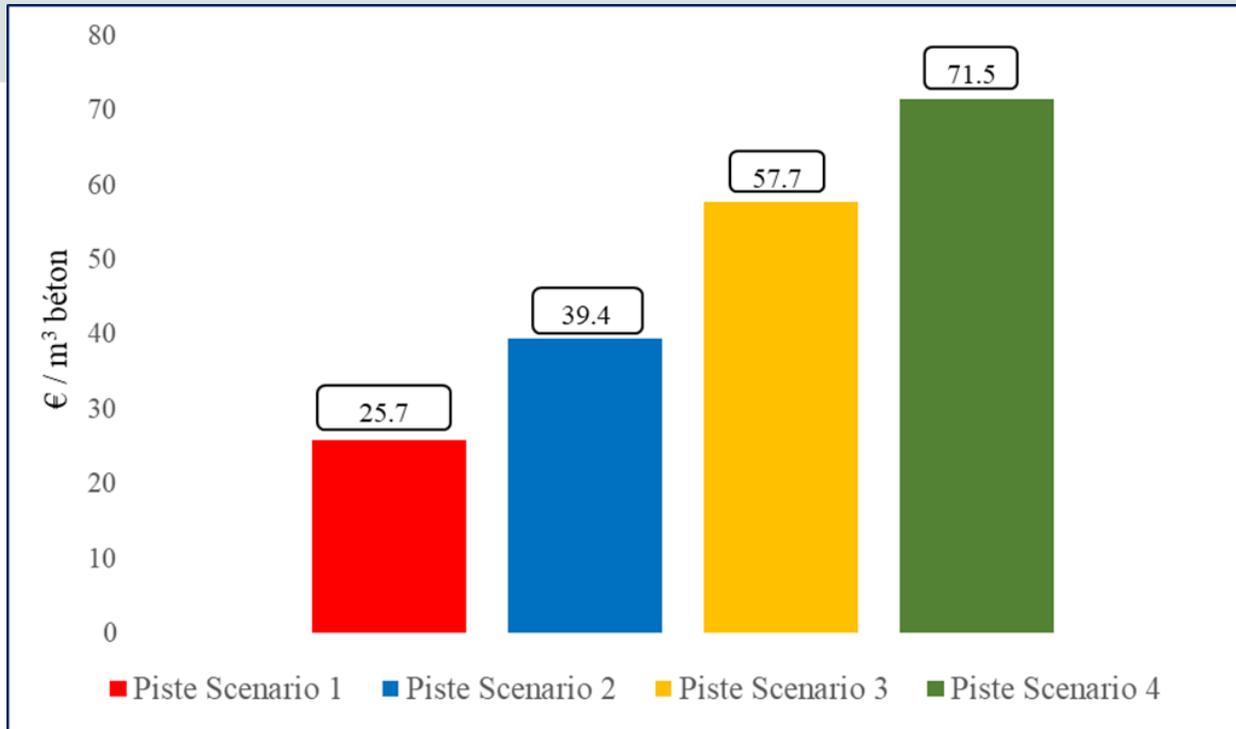


**Le premier scénario** de piste montre l'impact **minimal** dans toutes les catégories d'impact => intérêt de la valorisation sur site

**Le quatrième scénario** de piste montre les impacts **maximaux** dans toutes les catégories d'impact => effet du transport et sur les ressources

- ❖ **Scénario de piste 1** : GNT en place, sédiments dragués et transportés à 1000 m pour stockage, puis ramenés sur le site pour être traité : 30 % de sédiments de Port Camargue et de 70 % de graves. 5 % de liants routiers qui vient de SETE sont mis en oeuvre.
- ❖ **Scénario de piste 2** : GNT en place, sédiments mis en décharge / + 30 % de GNT de LRM + 5 % de liants routiers qui vient de SETE.
- ❖ **Scénario de piste 3** : GNT d'apport + 70 % de graves de LRM et 30 % de sédiments.
- ❖ **Scénario de piste 4** : GNT d'apport => 100 % de graves de LRM.

# Évaluations des coûts des scénarios de piste



Le premier scénario de piste est caractérisé par le coût **minimum**

Le quatrième scénario de piste par le coût **maximum**

## Conclusion des scénarios de Piste

Le **transport** joue un rôle important dans les impacts économiques et environnementaux des scénarios de piste.

Plus l'utilisation des ressources locales est élevée, moins on s'attend à des impacts en termes d'économie et d'environnement.



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)



### Environmental, economic and experimental assessment of the valorization of dredged sediment through sand substitution in concrete



Tara Soleimani <sup>a,\*</sup>, Mahmoud Hayek <sup>b</sup>, Guillaume Junqua <sup>a</sup>, Marie Salgues <sup>b</sup>, Jean-Claude Souche <sup>b</sup>

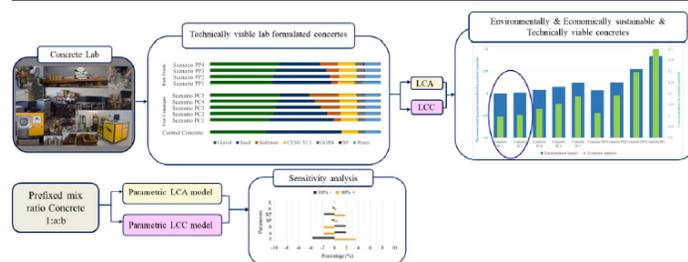
<sup>a</sup> HSM, Univ Montpellier, IMT Mines Alès, CNRS, IRD, Alès, France

<sup>b</sup> LMGC, Univ Montpellier, IMT Mines Alès, CNRS, Alès, France

#### HIGHLIGHTS

- LCA and LCC were integrated into the lab-based valorization scenarios for sediment.
- The threshold of the sustainable rate of sediment incorporation was obtained by LCA & LCC.
- The rate of sand substitution by dredged sediment higher than 20 % was not sustainable.
- Superplasticiser and transport limited the sustainable rate of sediment in concrete.

#### GRAPHICAL ABSTRACT



## Valorization of uncontaminated dredged marine sediment through sand substitution in marine grade concrete

ARTICLE ACCEPTEE

M Hayek, Tara Soleimani, M Salgues, JC Souche, E Garcia Diaz

# A poursuivre .... d'ici l'été...ou l'automne...

Valorisation dans des BAP, optimisation (béton préfa)

Valorisation dans des bétons routiers (moins exigeants que bétons de structure)

Travail sur la phytoremédiation (ACV)

ACV de la valorisation en place (piste), on affine ...

Développement calculateur ACV

Bioréceptivité des bétons de sédiments en milieu maritime

Ouvrage expérimental en béton armé à immerger dans le port de Sète

Finaliser les essais et analyses sur bétons (lixiviations, essais de durabilité, etc...)

Fin du projet pour IMT Mines Alès => fin 2023

# EBAUCHE DE METHODOLOGIE

**ESPACE FONCIER DISPONIBLE POUR RESSUAGE DES MATERIAUX : INDISPENSABLE**

**DRAGAGE et RESSUAGE :**  
qualification GTR des matériaux ;  
qualification environnementale ;  
qualification pour matériaux béton

**Chantier locaux du BTP :**  
besoins en termes de chantiers urbains,  
de chantiers de voiries,  
de besoins en béton pour ouvrages maritimes...

Essais de laboratoires :  
caractérisation, formulations  
Planches d'essais,  
Ouvrages expérimentaux

Valorisation locale des sédiments de dragages, pas de transport,  
solution rustique  
Solution optimale et termes de coûts et d'impacts environnementaux

Essais de laboratoires :  
caractérisation, formulations  
Planches d'essais,  
Ouvrages expérimentaux

Infrastructures locales; transport; pistes de valorisation plus ambitieuses  
(carrières, centrales à béton, préfabriquant béton...)

Valorisation en produits finis, en produit de niche à valeur ajoutée  
Solution à affiner en termes de coûts et d'impacts environnementaux