



**SOLVALOR**  
L'INNOVATION AU SERVICE DE LA TERRE

# Essai béton de sédiment du port du Légué - Restitution Phase 1

SYNDICAT MIXTE  
DU GRAND LÉGUÉ



 CCI CÔTES D'ARMOR

Le 22/06/2022



# Sommaire

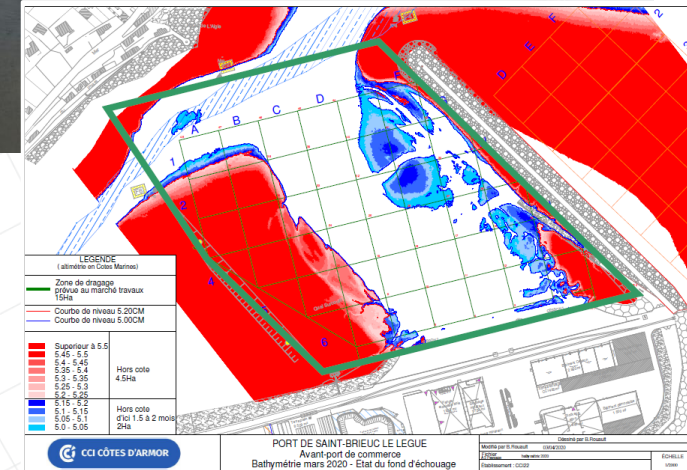
1. Contexte du projet et de l'étude
2. Présentation des résultats de la Phase 1
3. La suite de l'étude
4. Planning et projection à échelle industrielle



# 1. Contexte du projet

## ▪ Rappel des enjeux :

- Dragages récurrents de l'avant-port du Légué :  
~130 000 m<sup>3</sup>/an ;
- La filière principale actuelle de restitution des sédiments au milieu devient très sensible (**admissibilité sociétale**) ;
- Souhait **d'ouverture** du champ des usages possibles pour une partie de ces sédiments dans le cadre d'une **gestion à terre** ;
- Les porteurs de projet (CCI / Région B. / SMGL) ont lancé plusieurs pistes de valorisation à terre, dont un usage des sédiments en béton.



## ▪ Rappel des objectifs :

- Proposer un essai de formulation en **béton de sédiment**, adapté aux matériaux de l'avant-port ;
- Selon les résultats, déclencher sa mise en œuvre à un échelle 1/10<sup>ème</sup> puis 1/1.

# 1. Présentation des résultats de la Phase 1



## Rappel de la caractérisation des sédiments

→ Prélèvements des sédiments :

- Lot de sédiment « frais » et ressuyés
- Envoi en analyses et au laboratoire Artesa

→ Caractérisation physico-chimique :

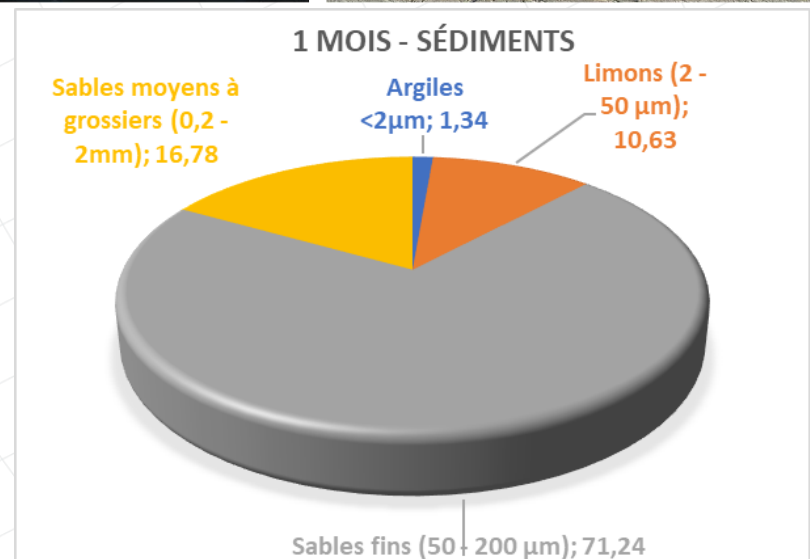
- Granulométrie : **90 % de sables fins à moyens**
- Chimie :
  - Sédiments **non dégradés** au regard des seuils Loi Eau N1/N2
  - Déchets Critères ISDI : **non inertes** du fait de dépassements (classiques) sur sédiments marins (chlorures, sulfates et fraction soluble)
  - Sédiments **silico-calcaire** selon les résultats par fluorescence et par diffraction Rayon X. Perte au feu indique de faibles teneurs en Mat. Organiques.



Sédiments frais



Sédiments 1 mois

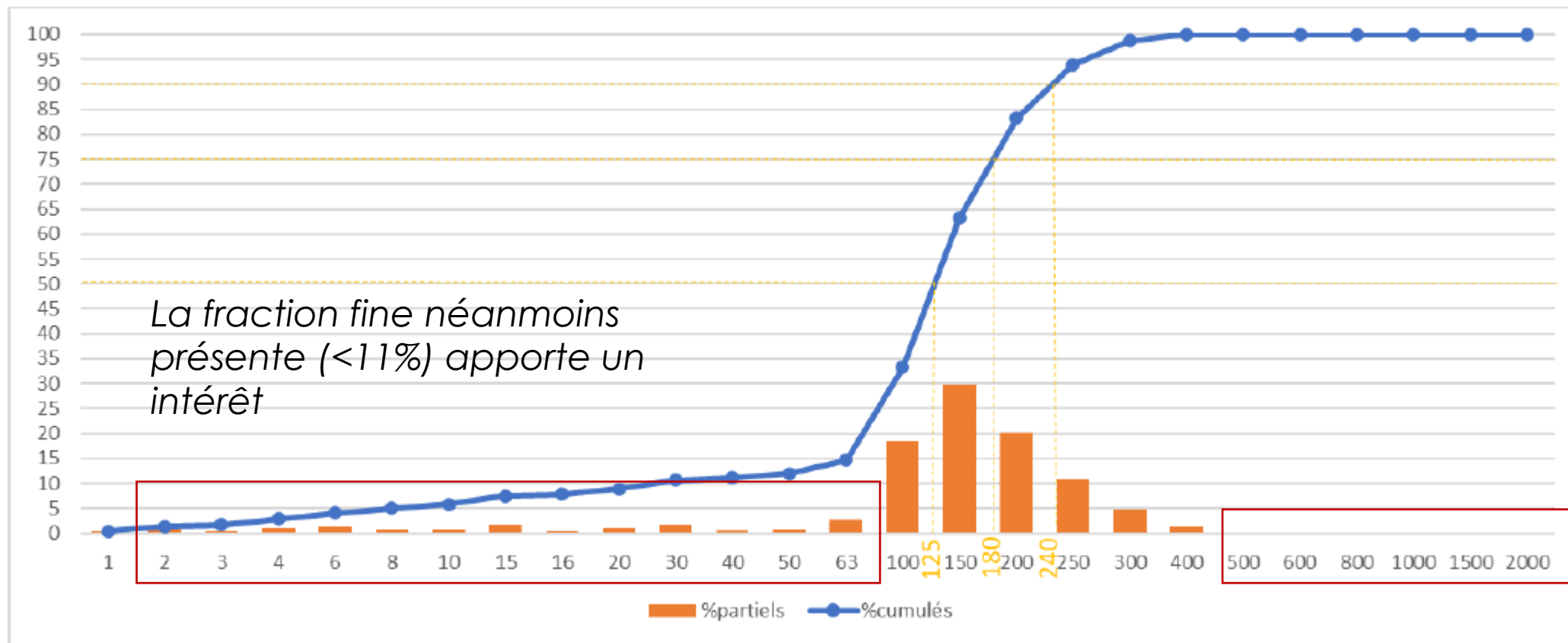


# 1. Présentation des résultats de la Phase 1



## Fuseau granulométrique :

> Sédiments sableux fins à moyens (D50 125 à 160  $\mu\text{m}$ ), ET fraction des sables grossiers absente (parfois risque de discontinuité granulométrique pour le squelette granulaire du béton).



# 1. Présentation des résultats de la Phase 1



Paramètres	Référentiels de qualité				Unité	LQ	Échantillons	
	N1	N2	ISDI	INERIS / CEREMA			Frais - sédiments	1 mois - sédiments
<b>Analyses en contenu total (sur brut)</b>								
Matière sèche					% P.B.	0,1	75,7	78,3
Refus pondéral à 2 mm					% P.B.	1	20,7	20,8
Perte au feu à 550°C					% MS	0,1	1,62	1,65
pH extrait à l'eau							9	9,1
Chlorures (Cl) solubles					mg/kg M.S.	20	5810	4950
Azote Kjeldahl					g/kg M.S.	0,5	<0,5	<0,5
Carbone Organique Total par Combustion			30 000		mg/kg M.S.	1000	1570	2060
<b>Métaux sur brut</b>								
Aluminium (Al)					mg/kg M.S.	5	1900	2520
Arsenic (As)	25	50		330	mg/kg M.S.	1	3,66	4,04
Cuivre (Cu)	45	90		4000	mg/kg M.S.	5	<5,00	<5,00
Nickel (Ni)	37	74		130	mg/kg M.S.	1	2,56	3,26
Plomb (Pb)	100	200		510	mg/kg M.S.	5	5	5,04
Zinc (Zn)	276	552		7 230	mg/kg M.S.	5	13,5	16,1
Mercure (Hg)	0,4	0,8		500	mg/kg M.S.	0,1	<0,10	<0,10
Cadmium (Cd)	1,2	2,4		530	mg/kg M.S.	0,1	<0,10	<0,10
Chrome (Cr)	90	180		250	mg/kg M.S.	0,1	9,17	10,9
Phosphore					mg/kg M.S.	1	242	306
Phosphore (P2O5)					mg/kg M.S.		554	701
<b>Hydrocarbures</b>								
Indice Hydrocarbures (C10-C40)			500		mg/kg M.S.	15	31	25,5
HCT (nC10 - nC16) (Calcul)					mg/kg M.S.		2,06	1,28
HCT (>nC16 - nC22) (Calcul)					mg/kg M.S.		2,91	3,46
HCT (>nC22 - nC30) (Calcul)					mg/kg M.S.		8,8	6,02
HCT (>nC30 - nC40) (Calcul)					mg/kg M.S.		17,3	14,8
<b>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques</b>								
Naphtalène	0,16	1,13		1000	mg/kg M.S.	0,002	<0,002	<0,002
Fluorène	0,02	0,28			mg/kg M.S.	0,002	0,0042	0,0034
Phénanthrène	0,24	0,87		50000	mg/kg M.S.	0,002	0,0066	0,0042
Pyrène	0,5	1,5			mg/kg M.S.	0,002	0,011	0,01
Benzo(a)-anthracène	0,26	0,93		1000	mg/kg M.S.	0,002	0,009	0,0097
Chrysène	0,38	1,59		1000	mg/kg M.S.	0,002	0,0081	0,0077
Indeno(1,2,3-cd) Pyrène	1,7	5,65		10000	mg/kg M.S.	0,002	0,01	0,0087
Dibenzo(a,h)anthracène	0,06	0,16		1000	mg/kg M.S.	0,002	<0,002	<0,002
Acénaphthylène	0,04	0,34		500	mg/kg M.S.	0,002	0,0041	0,0023
Acénaphthène	0,015	0,26			mg/kg M.S.	0,002	<0,002	<0,002
Anthracène	0,085	0,59			mg/kg M.S.	0,002	<0,002	<0,002
Fluoranthène	0,6	2,85		50000	mg/kg M.S.	0,002	0,017	0,014
Benzo(b)fluoranthène	0,4	0,9		1000	mg/kg M.S.	0,002	0,014	0,013
Benzo(k)fluoranthène	0,2	0,4			mg/kg M.S.	0,002	0,0081	0,0072
Benzo(a)pyrène	0,43	1,015		1000	mg/kg M.S.	0,002	0,011	0,011
Benzo(ghi)Pérytène	1,7	5,65			mg/kg M.S.	0,002	0,0093	0,0077
Somme des HAP			50	500	mg/kg M.S.		0,11	0,099
<b>BTEX</b>								
Benzène					mg/kg M.S.	0,1	<0,10	<0,10
Toluène					mg/kg M.S.	0,2	<0,20	<0,20
Ethylbenzène					mg/kg M.S.	0,2	<0,20	<0,20
o-Xylène					mg/kg M.S.	0,2	<0,20	<0,20
m+p-Xylène					mg/kg M.S.	0,2	<0,20	<0,20
Somme des BTEX			6		mg/kg M.S.		0,3	0,3

Paramètres	Référentiels de qualité				Unité	LQ	Échantillons	
	N1	N2	ISDI	INERIS / CEREMA			Frais - sédiments	1 mois - sédiments
<b>Polychlorobiphényles</b>								
PCB 28	0,005	0,01			mg/kg M.S.	0,001	<0,001	<0,001
PCB 52	0,005	0,01			mg/kg M.S.	0,001	<0,001	<0,001
PCB 101	0,01	0,02			mg/kg M.S.	0,001	<0,001	<0,001
PCB 118	0,01	0,02			mg/kg M.S.	0,001	<0,001	<0,001
PCB 138	0,02	0,04			mg/kg M.S.	0,001	<0,001	<0,001
PCB 153	0,02	0,04			mg/kg M.S.	0,001	<0,001	<0,001
PCB 180	0,01	0,05			mg/kg M.S.	0,001	<0,001	<0,001
SOMME PCBi (7)			1	50	mg/kg M.S.		0,004	0,004
<b>Organoétains</b>								
Dibutylétain (DBT)					µg Sn/kg M.S.	2	<2,0	<2,0
Tributylétain (TBT)	100	400		3 000 000	µg Sn/kg M.S.	2	2,8	7,9
Monobutylétain (MBT)					µg Sn/kg M.S.	2	<2,0	<2,0
<b>ANALYSES EN LIXIVIATION</b>								
Résidus secs à 105 °C (Fraction soluble)			4000		mg/kg M.S.	2000	8920	7410
Résidus secs à 105°C (calcul)					% MS	0,2	0,9	0,7
Carbone Organique par oxydation (COT)			500		mg/kg M.S.	50	<50	64
Chlorures (Cl)			800		mg/kg M.S.	10	3510	3360
Fluorures (calcul en mg/kg MS)			10		mg/kg M.S.	5	<5,00	<5,00
Sulfates			1 000		mg/kg M.S.	50	1320	1170
Indice phénol (calcul mg/kg)			1		mg/kg M.S.	0,5	<0,50	<0,51
<b>Métaux sur éluât</b>								
Antimoine (mg/kg MS)			0,1		mg/kg M.S.	0,002	0,006	0,003
Arsenic (mg/kg MS)			0,5		mg/kg M.S.	0,2	<0,20	<0,20
Baryum (mg/kg MS)			20,0		mg/kg M.S.	0,1	<0,10	0,14
Cadmium (mg/kg MS)			0,0		mg/kg M.S.	0,002	<0,002	<0,002
Chrome (mg/kg MS)			0,5		mg/kg M.S.	0,1	<0,10	<0,10
Cuivre (mg/kg MS)			2,0		mg/kg M.S.	0,2	<0,20	<0,20
Molybdène (mg/kg MS)			0,5		mg/kg M.S.	0,1	<0,10	<0,10
Nickel (mg/kg MS)			0,4		mg/kg M.S.	0,1	<0,10	<0,10
Plomb (mg/kg MS)			0,5		mg/kg M.S.	0,1	<0,10	<0,10
Selenium (mg/kg MS)			0,1		mg/kg M.S.	0,01	<0,01	<0,01
Zinc (mg/kg MS)			4,0		mg/kg M.S.	0,2	<0,20	<0,20
Mercure (mg/kg MS)			0,0		mg/kg M.S.	0,001	<0,001	<0,001

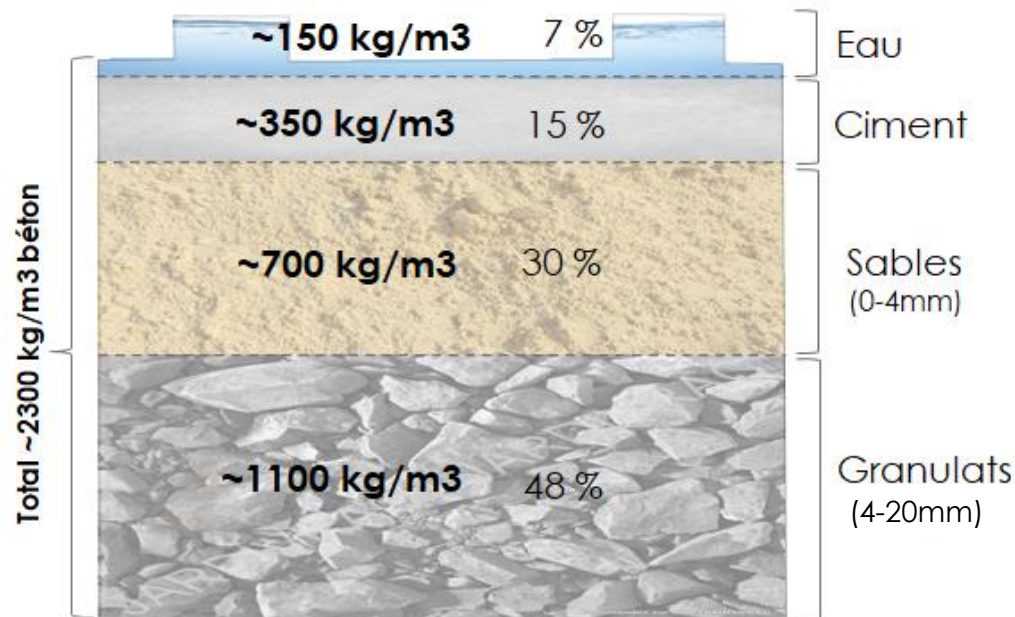
# 1. Présentation des résultats de la Phase 1



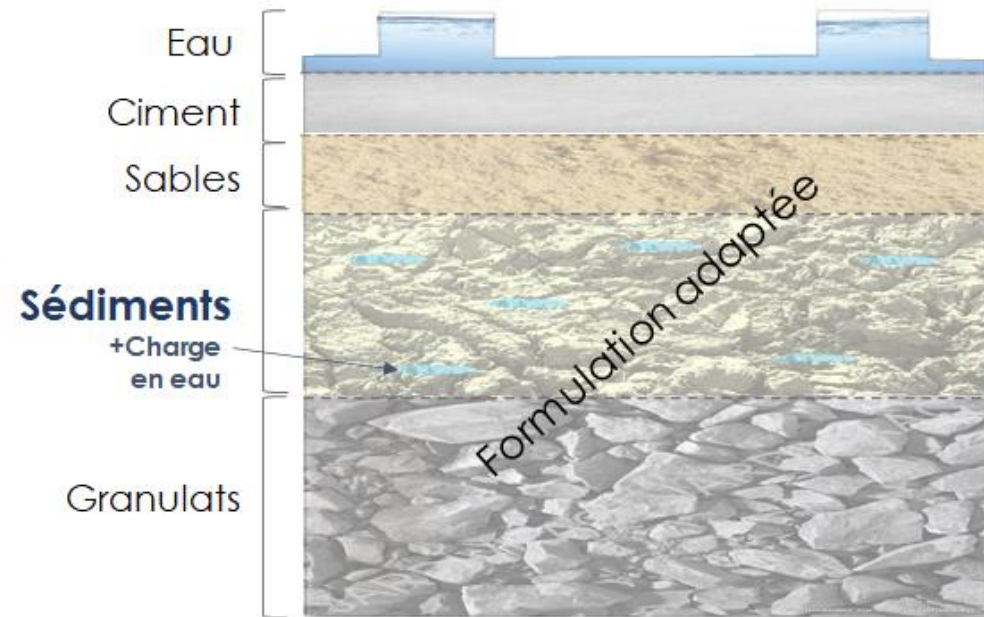
## Contenu de la P1 : Essais de formulation béton et analyses

*Principe général de la formulation :*

**Béton standard C20/25**



**Béton recyclé + sédiment**



# 1. Présentation des résultats de la Phase 1



→ Formulations testées :

- 2 formulations avec intégration de 375 et 750 kg/m<sup>3</sup> de sédiments du Légué

→ Caractérisation mécanique :

- Résistance mécanique : **Objectif de résistance mécanique C20/25** (NF EN 206/CN) à 90j pour un béton classique atteinte **au bout de 7j** : 375 kg/m<sup>3</sup> = 32,5 MPa et **750kg/m<sup>3</sup> = 23,2 MPa**
- Test rhéologique : **état collant S4 et S5** (fluide à très fluide) selon le taux d'intégration de sédiment du Légué (facilité de mise en œuvre).
- Siccité (avant mise en œuvre) : ~17 % : efficacité du ressuyage préalable **qui favorise cette mise en œuvre.**

Réf. Echantillons	Dosage en sédiment du Légué ( 210156SOL) – en kg/m <sup>3</sup>	Dosage en ciment En Kg/m <sup>3</sup>	Eau_Eff / Ciment	Résistance mécanique en compression – R <sub>c</sub> 7j en MPa	Résistance mécanique en compression – R <sub>c</sub> 28j en MPa	Résistance mécanique en compression – R <sub>c</sub> 90j en MPa
210162BET	311	325	0,58	32,5	<b>43,6</b>	65,4
210161BET	621	325	0,71	23,2	<b>33,1</b>	46,7





# 1. Présentation des résultats de la Phase 1



## → Caractérisation environnementale du béton

• Test de lixiviation : **Déchets non-inerte** du fait des concentrations en sulfates et fraction soluble résultantes, mais néanmoins admissible en catégorie « Classe 3+ » (seuils inertes avec adaptation).

• **Conforme vis-à-vis du Guide CEREMA** pour la famille béton, excepté pour le paramètre sulfates, mais conforme à la **norme béton EN 206/CN** (« granulats recyclés de béton ») : < 7000 mg Sulfates/kg MS).

• Empreinte carbone: **béton bas carbone** (+ de 3\* moins d'émission carbone qu'un béton classique)

### Essai de lixiviation sur béton

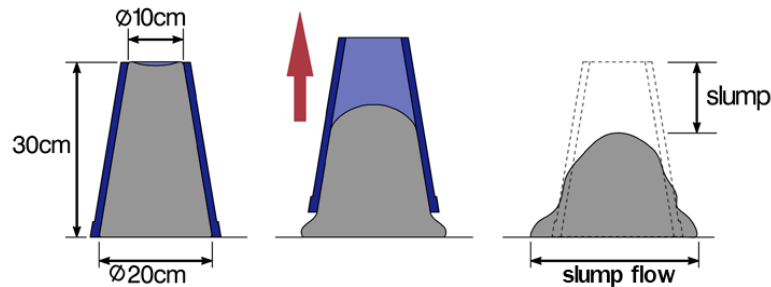
Paramètres	ISDI	ISDI +	210161BET Béton de Sédiments du Légué	Référentiel de conformité environnemental - Famille béton concassé pour utilisation routière - guide CEREMA (2017)	
	Date de prélèvement Date d'essais Temps de maturation du béton		26/11/2021 25/03/2022 90 j		
<b>Sur brut (mg/kg M.S.)</b>				⇒ « Type 3 »	
Matière sèche %			90,90%		
COT	30 000*	30 000	3 560		-
HCT C10-C40	500	500	158		500
HCT C10-C21			21		-
HAP (16)	50	50	2,02		-
PCB (7)	1	1	0,01		-
BTEX	6	6	<0,05	-	
<b>Sur éluât (mg/kg M.S.)</b>					
pH			11,4		
Fraction soluble	4 000**	12 000	6 120		
COT	500****	500	<51		
Chlorures	800**	2 400	385	500	
Fluorures	10	30	<5	13	
Sulfates	1 000***	3 000	2 300	<b>1300</b>	
Indice Phénol	1	3	<0,5		
Arsenic	0,5	2	<0,1	0,6	
Baryum	20	60	0,743	25	
Cadmium	0,04	0,12	<0,002	0,05	
Chrome total	0,5	2	<0,1	0,6	
Cuivre	2	6	<0,1	3	
Mercure	0,01	0,03	<0,001	0,01	
Molybdène	0,5	2	0,044	0,6	
Nickel	0,4	1	<0,1	1	
Plomb	0,5	2	<0,1	0,6	
Zinc	4	12	<0,1	5	
Antimoine	0,06	0,18	0,006		
Sélénium	0,1	0,3	<0,1		
<b>Résultats</b>	⇒ Déchets non inerte – admissible en ISDI+				

# 1. Présentation des résultats de la Phase 1



## Remarques :

- A l'état frais, l'**adjuvantation du béton** « super-plastifiant » a été ajustée avec l'essai d'affaissement au cône d'Abrams



- Permet de répondre à une **classe de rhéologie « S4 » fluide (maniabilité élevée)**.

- L'introduction de sédiment **déjà ressuyé** (1 mois) favorise l'atteinte d'une cible de **résistance mécanique** élevée (C20/25), **dès 7 jours**, permettant d'envisager un dosage de sédiment même un peu supérieur.

## Eprouvette bétons



Fig1: Éprouvette 210161BET à 7 jours.

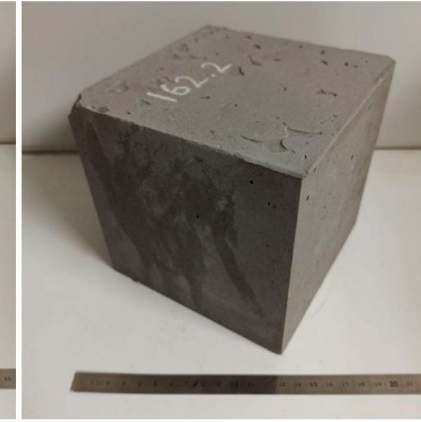


Fig2: Éprouvette 210162BET à 7 jours.



Fig3: Éprouvette 210161BET à 28 jours.



Fig4: Éprouvette 210162BET à 28 jours.

## Vidéo de fabrication blocs béton

<https://e1.pcloud.link/publink/show?code=XZTe1RZyEQVYV3bM174xL45QpDcU7oCYnTk>



## 2. La suite de l'étude



- **Finalisation Phase 1 : dernier essai de formulation « raffinée »** (lancé début juillet)  
(recherche du taux maximum d'incorporation du sable du Légué)
  
- *Phase 2 (Essai de fabrication à l'échelle 1/10<sup>ème</sup>) : phase annulée, au regard des résultats déjà probants sur la Phase 1 ⇒ passage direct à la Phase 3.*
  
- **Phase 3 : Essai de fabrication à l'échelle 1 (option levée)**
  - Nécessite transport de 10 T de sédiments ressuyés
  - Caractérisation physique et environnementale
  - Fabrication de :
    - **3 légos-blocs**
    - **2 bancs**
  - Livraison production.
  
- Phase 4 : Essai de lavage des sédiments (option)
- Phase 5 : Etude de faisabilité d'utilisation en support de culture (option)



## 2. La suite de l'étude



Quelques exemples de réalisation échelle 1/1.



Blocs Légo©

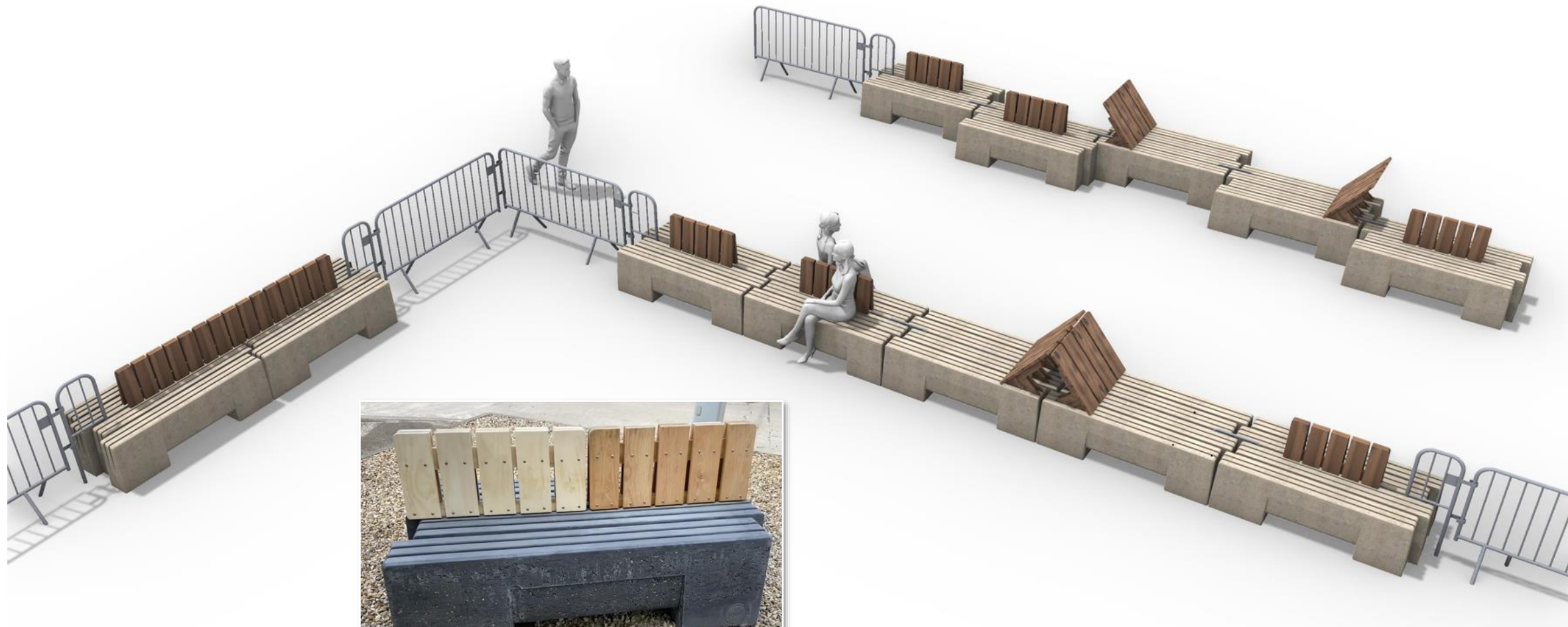
Tétrapodes



## 2. La suite de l'étude



### Quelques exemples de réalisation





- **Phase 1** : finalisation du taux optimal : rendu 1<sup>ère</sup> quinzaine Sept. 2022
- *Phase 2 : annulée*
- Prélèvement sable (~10T) et livraison à l'été (site Solvalor Sotteville-Les-Rouens)
- **Phase 3** :
- Fin de production échelle 1/1 → mi-October 2022
- Livrable d'interprétation tout début Novembre 2022.
  
- Projection industrielle au Légué :
  - Future plateforme ?
  - Quels besoins futurs ? (intégration des granulats - terres - sables de dragage dans le process)





Merci de votre attention

SYNDICAT MIXTE  
DU GRAND LÉGUÉ



Le 22/06/2022