



IMT Lille Douai
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille



Interreg

France-Wallonie-Vlaanderen



UNION EUROPÉENNE
EUROPESE UNIE

COLLOQUE DU PROJET **VALSE**

27 Novembre 2018

Evaluation du potentiel de valorisation de sédiments fluviaux Wallons en béton pour piste cyclable

M. Chabannes^{1,2}, J.-R. Minane^{1,2}, F. Becquart^{1,2}, C. Alary^{1,2}, M. Henry³, L. Haouche⁴

¹IMT Lille Douai, LGCgE-GCE, F-59508 Douai, France

²Université de Lille, F-59000 Lille, France

³Centre Terre et Pierre, B-7500 Tournai, Belgique

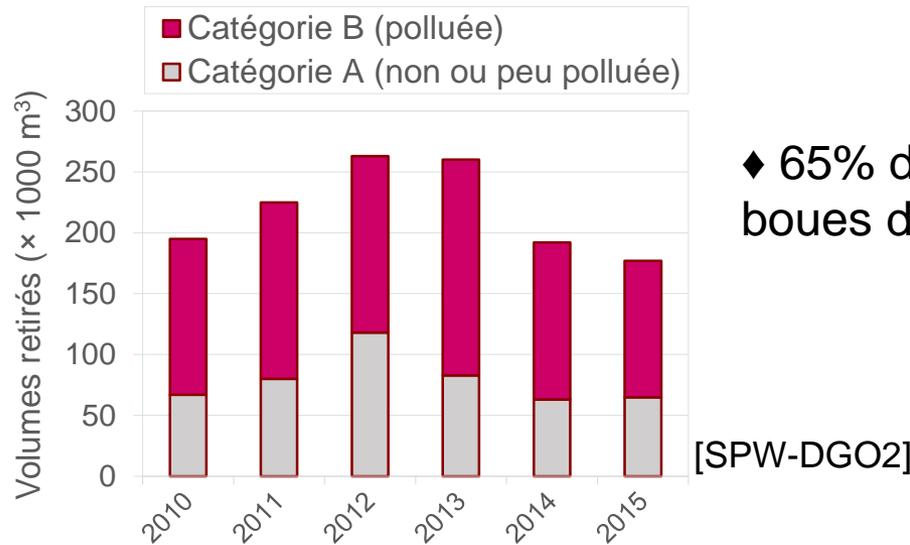
⁴ISSeP, B-7340 Colfontaine, Belgique

- ◆ Voies navigables fortement interconnectées entre la Wallonie, la Flandre et le Nord de la France
- ◆ Accumulation importante de sédiments au fond des cours d'eau

En Wallonie :

- ◆ Passif ~ 6 millions de m³

Volumes de sédiments retirés des voies d'eau navigables en Wallonie :



- ◆ 65% des sédiments sont classés en boues de type B (polluées)

[SPW-DGO2]

◆ Curage indispensable (navigabilité, qualité de l'eau, risque d'inondation)

→ Nécessite des modes de gestion qui tiennent compte de la présence de polluants dans les matières extraites

→ Envisager des solutions de valorisation des sédiments fluviaux transfrontaliers
Alternative au dépôt à terre : valorisation dans les matériaux pour le génie civil

Objectif :

Evaluer le potentiel de valorisation du sédiment comme substitut au sable dans un béton de ciment pour une piste cyclable

◆ Typologie physico-chimique des sédiments en Wallonie et Hauts-de-France :

- Sédiments particulièrement fins
- Teneur en argile & limons élevée
- Forte concentration de polluants organiques (MO, HAP, etc.) et inorganiques (métaux lourds) en raison d'un passé urbano-industriel similaire

◆ Sédiment Wallon : Canal de Bruxelles-Charleroi (dragué fin 2016)

- Criblage 5 mm
- Déshydratation passive du sédiment (lagune de SEDISOL)
- Séchage et émottage par le CTP



PLAN

1. Caractérisation physico-chimique du sédiment Wallon
2. Formulation des bétons incorporant différentes fractions massiques du sédiment en substitution du sable
3. Suivi des performances mécaniques
4. Analyse environnementale

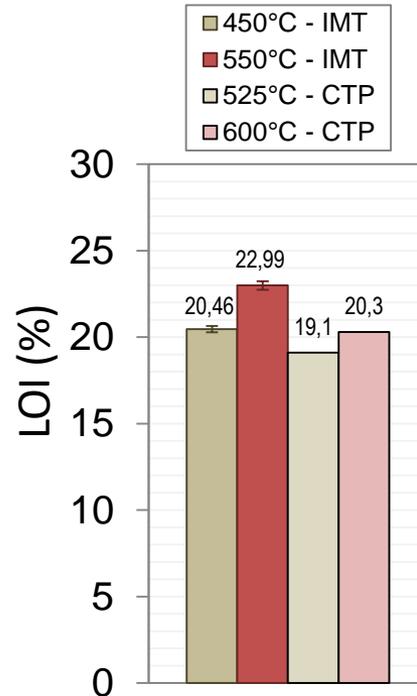
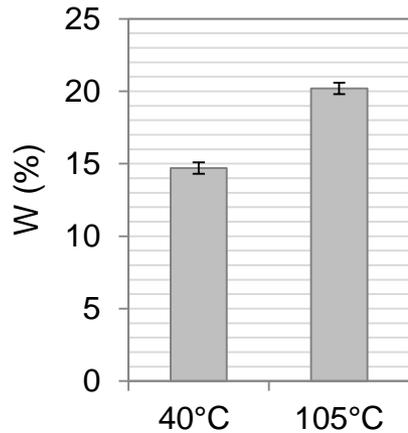


1. Caractérisation physico-chimique

6

① Teneur en eau W(%) :

② Perte au feu LOI(%) :



MO ~ 20%

%COT = $11,1 \pm 0,4\%$

MO/COT ~ 1,7
(Rowell, D. L. 1994)

Sédiment marin GPMD 2014

LOI_{450°C} = 5,8%

(Donnée Chaire EcoSeD Action 5)

Rowell, D.L. 1994. Soil Science: Methods and Applications

1. Caractérisation physico-chimique

7

③ Masse volumique absolue (pycnométrie Hélium) en g.cm^{-3} :

Séché à 40°C	2,31
Calciné à 450-550°C	2,79



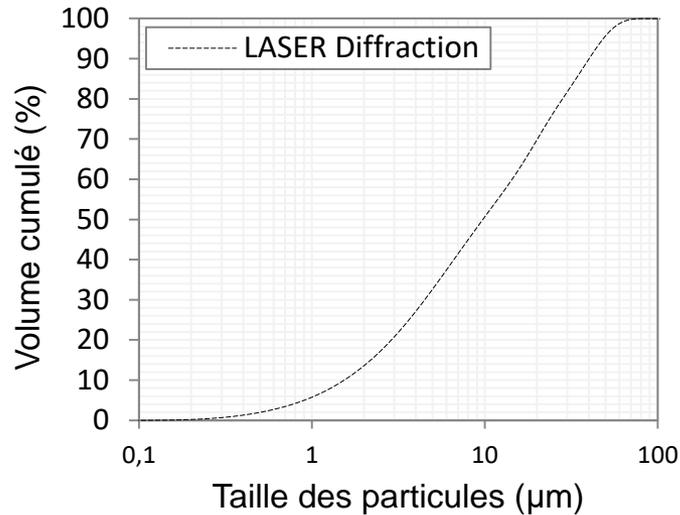
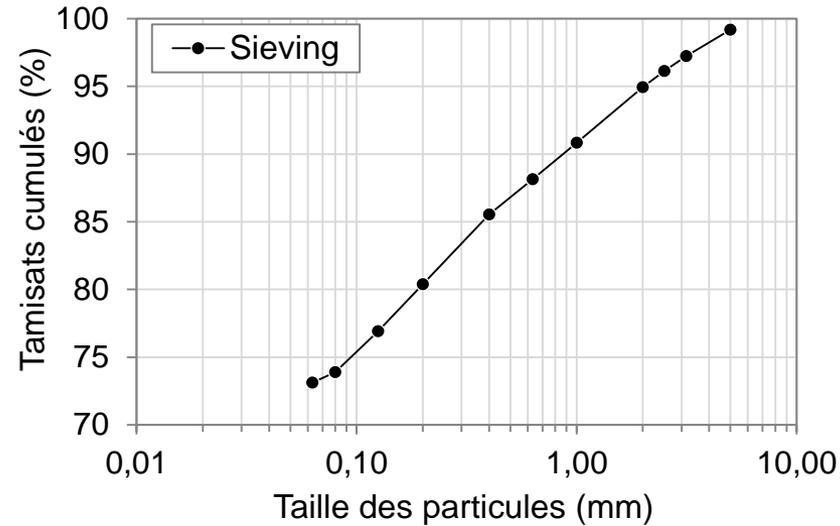
④ Acides humiques et fulviques :

	AH (gC/kg)	AF (gC/kg)
Sédiment fluvial Wallon	$3,94 \pm 1,4$	$2,67 \pm 0,3$
GPMD 2016	$<0,01$	$1,80 \pm 0,2$
GPMD 2017	$<0,01$	$1,71 \pm 0,3$

(Données
Chaire EcoSeD Action 5)

(LDM, Laboratoire Développement Méditerranée)

⑤ Granulométrie :



- Taux de fines (<63µm) = 73%
- Fraction grenue très faible
- Résidus végétaux entre 0,2 et 0,4 mm

1. Caractérisation physico-chimique

⑥ Polluants inorganiques sur la fraction solide :

en mg/kg de matière sèche :

	As	Cd	Cr _{tot}	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	F ⁻	CN ⁻
Total	28,4	55,7	176,8	190,6	0,82	73	531,5	3023	439,2	60,1
<25µm	61,8	150,8	295,7	305,2	1,55	165	938,3	5615,1	473,9	130
VA*	50	6	200	150	1,5	75	250	1200	250	5
TS*	100	30	460	420	15	300	1500	2400	500	25

[Données CTP]

*Contexte législatif Wallon : AGW95

Arrêté du gouvernement wallon relatif à la gestion des matières enlevées du lit et des berges des cours et plans d'eau du fait de travaux de dragage ou de curage

VA = Valeur admissible → Boue A (pas/peu polluée) si <VA

TS = Teneur de sécurité → Boue B (polluée) si >TS

Test d'éluion à réaliser si un élément dépasse la VA mais reste inférieur à la TS

→ Sédiment fortement pollué en Zn, Cd et cyanures → Boue B (AGW)

1. Caractérisation physico-chimique

10

⑦ Sur éluat (test de lixiviation) :

en mg/kg de matière sèche :

	As	Cd	Cr _{tot}	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	<0,5	0,95	<0,1	<1	<0,001	1,17	<0,5	42,06
ISDI ¹	0,5	0,04	0,5	2	0,01	0,4	0,5	4
TL ²	0,5	0,1	0,5	2	0,02	0,5	0,5	2

[Données CTP]

¹Valeur admissible ISDI

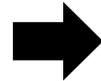
²Teneur limite d'éluat (concentration maximale admissible AGW)

→ Sédiment non inerte (référentiel français)

→ Zn très lixiviable

◆ MO (substances humiques)

◆ Métaux lourds



Retard voire inhibition de la prise cimentaire

◆ Matériaux :

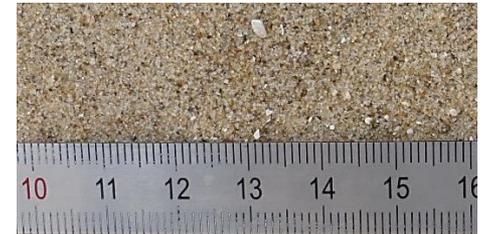
Granulats locaux (Belgique) :

- Sable roulé 0—2 mm
NHM - Wielsbeke (Flandre)
- Gravillons Concassés Calcaires 2—6 mm et 6—14 mm
Calcaires de la sambre - Landelies (Wallonie)

Ciment CEM III/A 42,5 N (EQIOM)

- 54% de clinker
- 43% de laitier granulé de haut-fourneau

Dosage en ciment visé pour le béton = **330 kg.m⁻³**



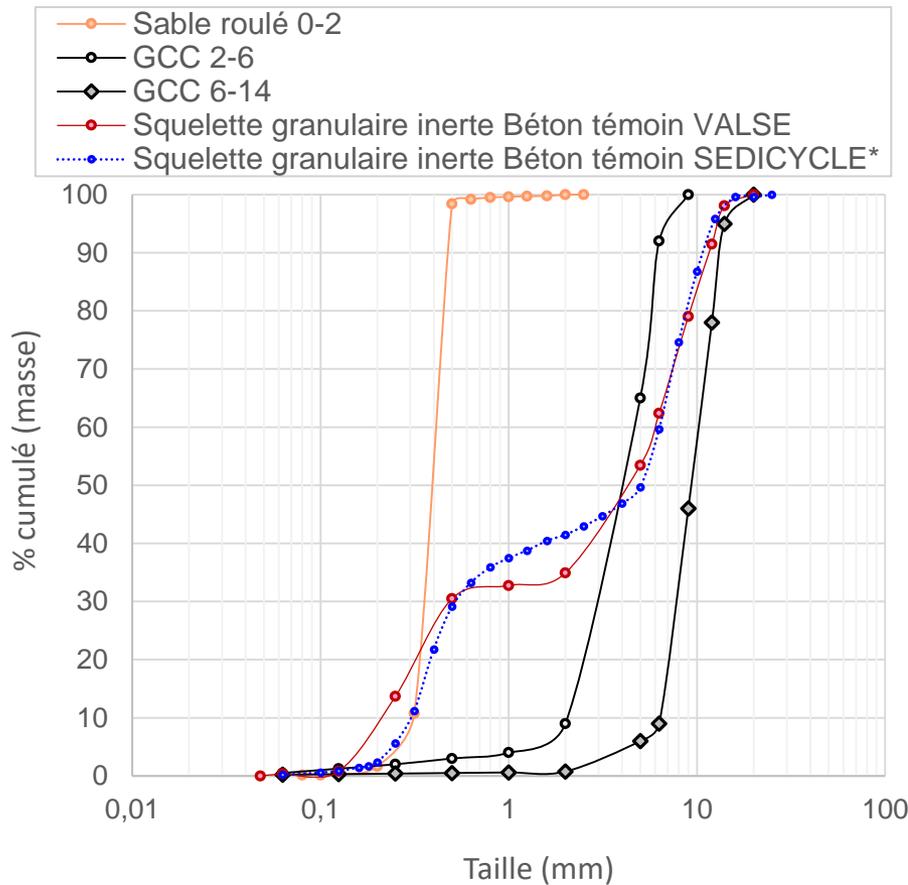
5 cm



5 cm



◆ Définition de la formulation du béton témoin :

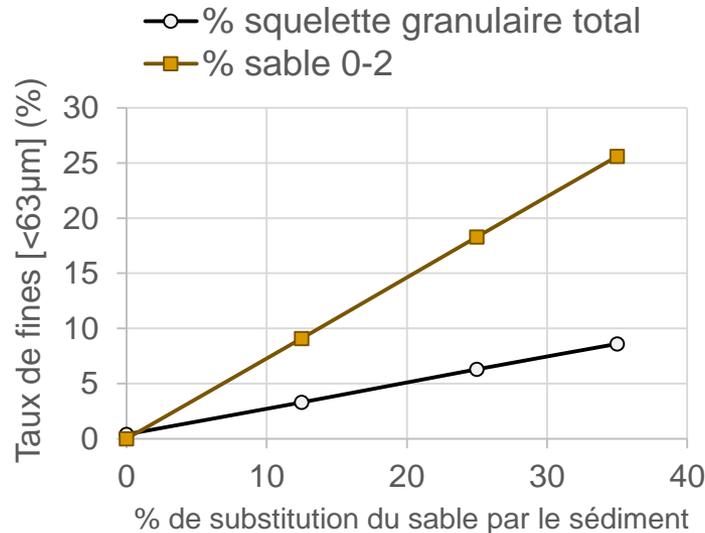


*Démarche SEDIMATERIAUX

Dosage pondéral des granulats :

Constituants	kg.m ⁻³
Sable roulé 0—2	619
GCC 2—6	552
GCC 6—14	743

◆ Substitution massique du sable par le sédiment :



- Taux de fines %SGT <10% pour une substitution à 35% du sable par le sédiment
→ 3 substitutions : **12,5/25/35%**

- Emploi d'un SHRE (de type polycarboxylate) à hauteur de 1,5% du poids du ciment soit 0,3% en extrait sec
→ limiter l'excès d'eau de gâchage en maintenant l'ouvrabilité (consistance S3)

2. Formulation des bétons

14

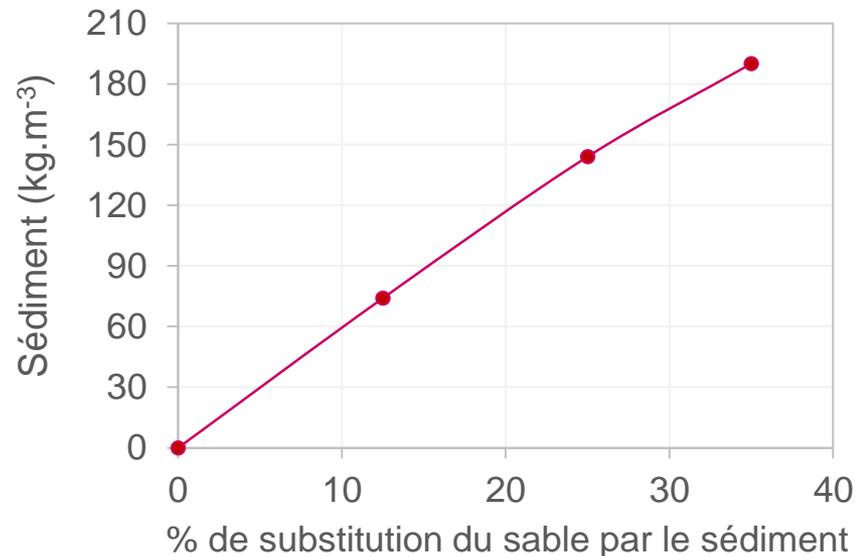
Témoin :

Dosages réels	kg.m ⁻³
Ciment CEM III/A 42,5 N	322
Eau totale	205
Sable roulé 0—2	604
GCC 2—6	539
GCC 6—14	725

Densité des constituants (g.cm⁻³) :

Ciment CEM III/A 42.5 N	2,98
Sable roulé 0—2	2,67
Gravillon calcaire 2—6	2,72
Gravillon calcaire 6—14	2,72
Sédiment Wallon	2,31
SHRE	1,05

Dosage en sédiment :



◆ Ordre d'introduction des constituants :

1. Sédiment
2. 2/3 de l'eau de gâchage
3. Granulats (sable puis gravillons) afin de cisailer les agglomérats de sédiment
4. Eau restante puis ciment
6. SHRE
7. Eau supplémentaire pour ajuster la consistance

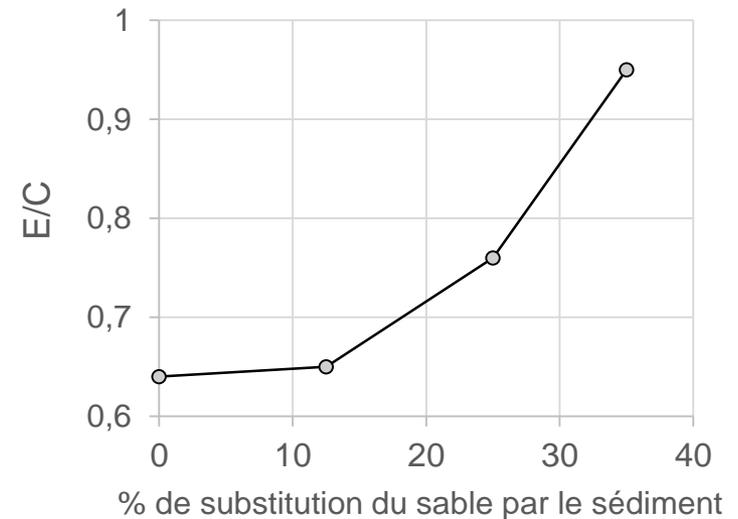
◆ Rhéologie :

Objectif → travailler à ouvrabilité constante

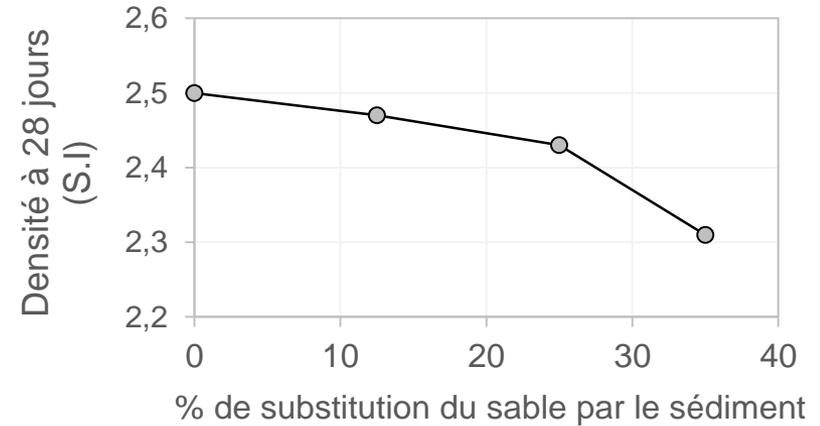
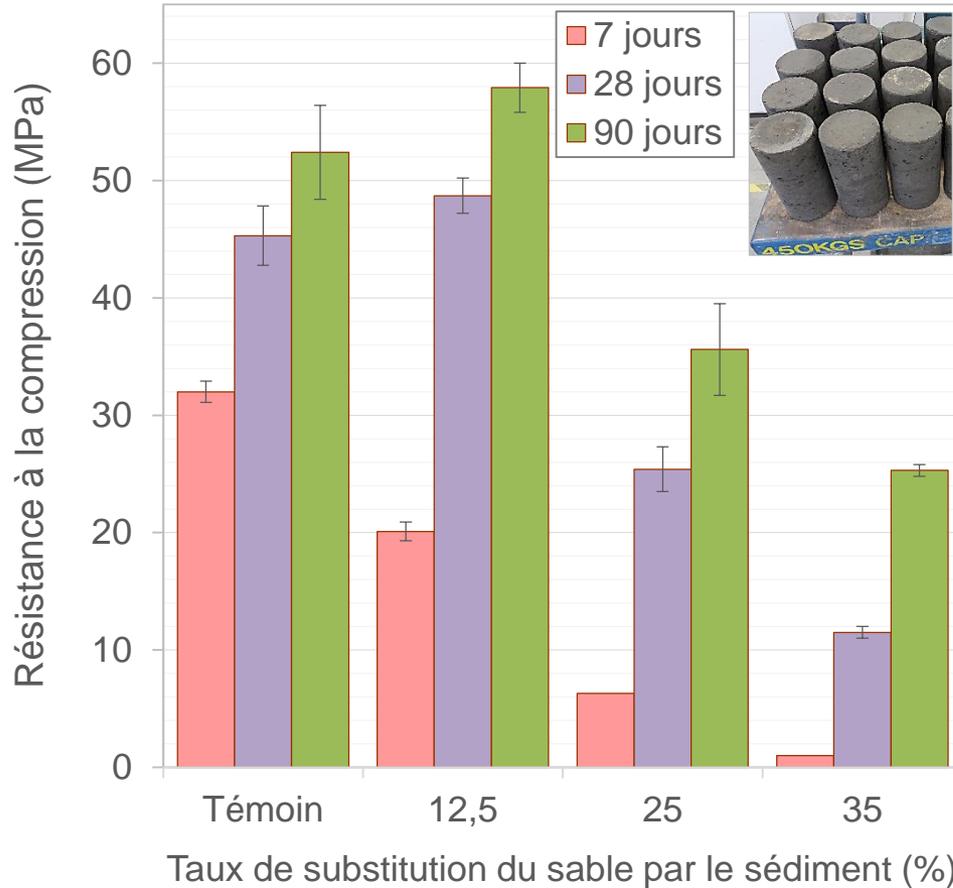
Affaissement au cône d'Abrams : 7–9 cm (S2)

Plasticimètre manuel : 9–11

➤ Dosage réel en ciment : 288 — 322 kg.m⁻³



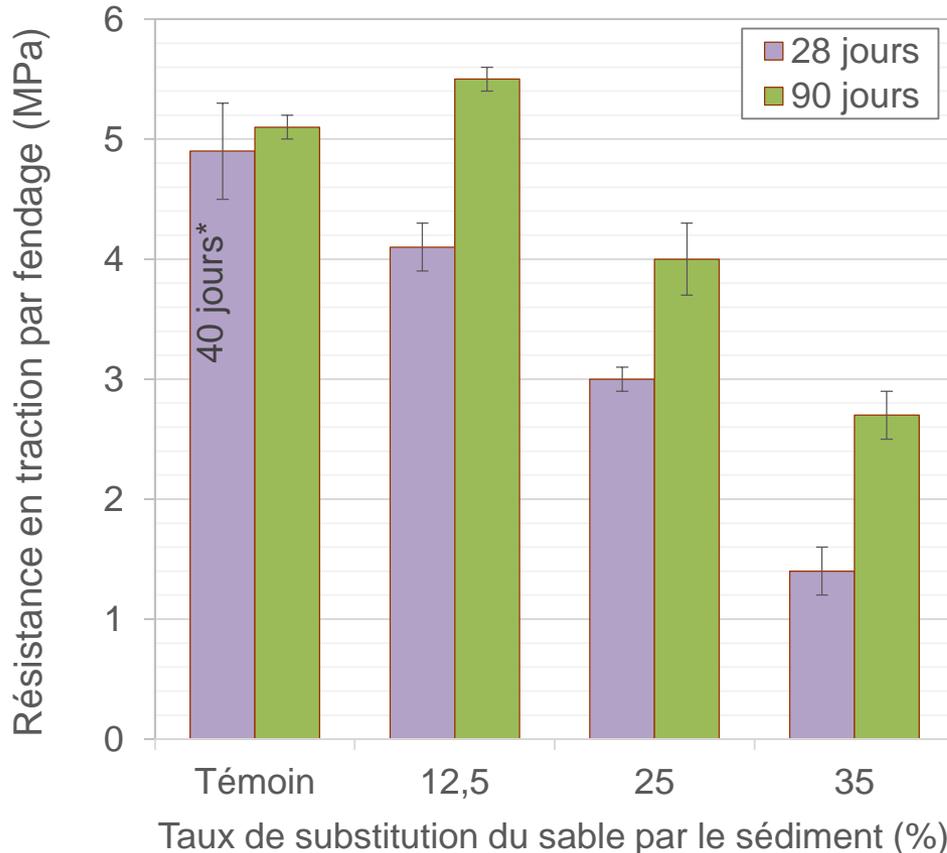
◆ Résistance en compression :



- 12,5%
 - ◆ Très faible proportion de sédiments
 - ◆ E/C quasi égal au témoin
 - ◆ Ajout du SHRE
- Retard de prise très important pour les formulations à 25% et 35%

3. Performances mécaniques

◆ Résistance en traction par fendage :



Chaussées en béton de ciment
NF P 98-170 :

→ BC3 pour pistes cyclables :

◆ Compression C 25/30

◆ Fendage S 2,0

*Essai Témoin réalisé à 40 jours
 $R_{C40} = 51 \text{ MPa}$ ($R_{C28} = 45 \text{ MPa}$)

◆ Essais de lixiviation sur monolithes broyés :

- Monolithes découpés au cœur des éprouvettes cylindriques et séchés à 60°C
- Broyage à l'aide d'un concasseur à mâchoires
- Récupération des éléments < 4 mm (tamisage) conformément à la NF EN 12457

en mg/kg :

[Données ISSeP]

	As	Cd	Cr _{tot}	Hg	Pb	Zn
Mesuré*	<0,05	<0,025	<0,05	<0,0001	<0,05	<0,05
VL**	1,5	0,12	1,5	0,03	1,5	12

*ISO 11885

**VL : valeur limite

Guide d'acceptabilité des matériaux alternatifs en technique routière (2011)
NF EN 12457 – L/S = 10 L/kg

	T	B12,5	B25	B35	VL**
Cu	<0,05	0,1125	0,2798	0,3723	6
Ni	<0,05	0,2019	0,333	0,3485	1,2

◆ Anions (F⁻, Cl⁻ et SO₄²⁻) < valeurs limites

◆ HAP et hydrocarbures totaux < valeurs limites

➤ Acceptabilité environnementale validée

➤ Très faible quantité de Zn relarguée : Zn(OH)₂ ↔ C₃S

[Fernandez Olmo et al.]

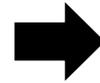
Fernandez Olmo et al., 2001. Cement and Concrete Research 31-8 (1213-1219)

Taux de fines (<63 μ m) = 73%

MO ~ 20%

Acide humique en présence notable

Contaminants inorganiques : **Zn**



- Formulation du béton (état frais)

- Retard de prise

⇒ R_{C7} & R_{F7} très faibles pour 25% et 35%

⇒ Gain de résistance à 28 jours

◆ Evaluation environnementale sur monolithes broyés :

→ métaux lourds et organiques présents en dessous des valeurs limites préconisées dans le guide d'acceptabilité des matériaux alternatifs en technique routière pour l'ensemble des formulations

→ Réactions complexes du Zn avec les phases cimentaires (C_3S)

◆ Perspective : évaluer l'effet sur la prise de l'ajout du sédiment calciné en substitution partielle du ciment (lien avec VITO)