

# Utilisation de granulats recyclés dans la construction: le projet de recherche SeRaMCo

**Julien HUBERT et Luc COURARD**  
**Université de Liège**

**CONTEXTE GLOBAL**

CADRE NORMATIF

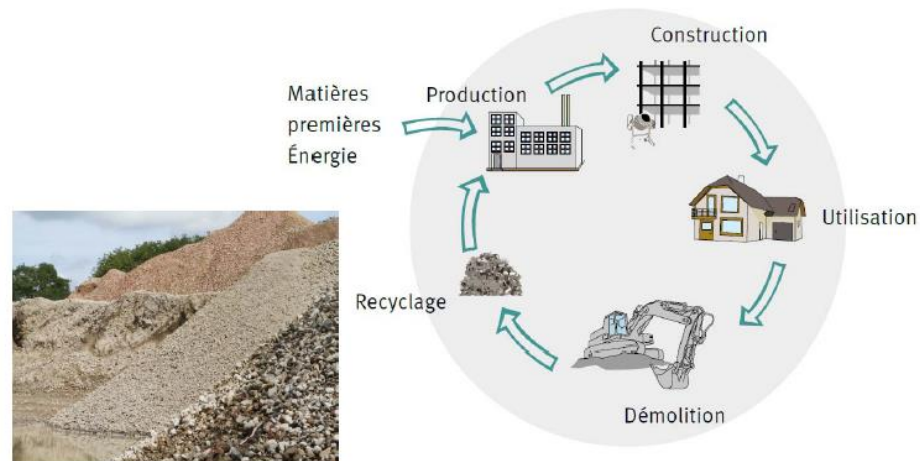
PRODUCTION DES GRANULATS RECYCLÉS

PROPRIÉTÉS DES GRANULATS RECYCLÉS

RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION

## Pourquoi remplacer les granulats naturels par des granulats recyclés dans le béton?

- ▶ Le secteur de la construction consomme énormément de ressources....
  - Ciment : 180 millions de tonnes sont consommées chaque année en Europe (4 milliards à l'échelle mondiale)
  - Granulats : 3 milliards de tonnes pour l'EU28 (UEPG, 2018)
  - Béton: 10 milliards de tonnes à l'échelle mondiale
- ▶ ... et produit de grandes quantités de déchets!
  - L'industrie de la construction est responsable de 30 à 40% des déchets produits dans le monde
  - 374 millions de tonnes de déchets de construction et de démolition pour l'EU28 en 2018
  - Le ciment est responsable de 5 à 8% des émissions globales de  $CO_2$



**Le but est donc de transformer ces déchets...**



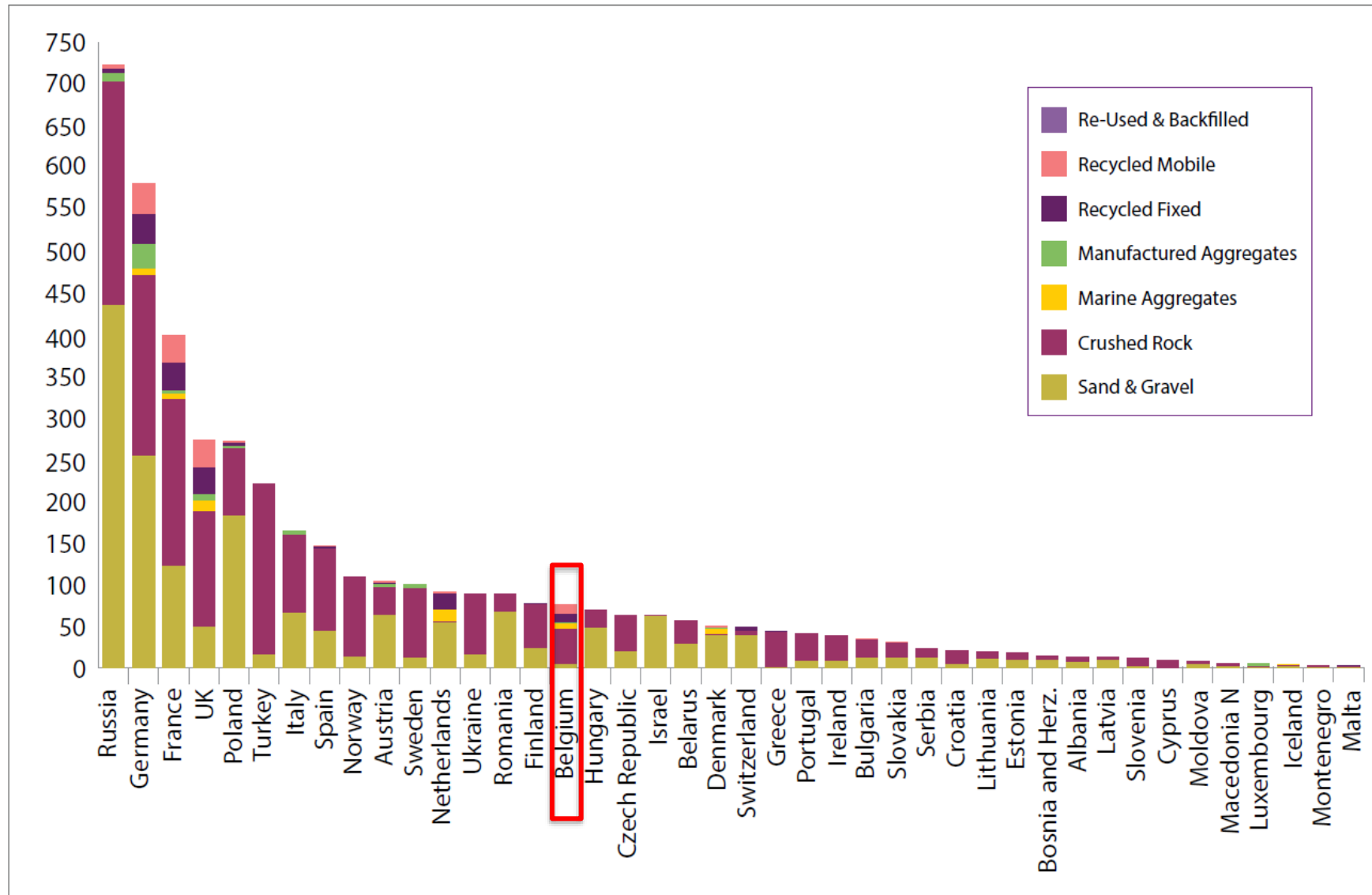
... en ressources secondaires



**Applications possibles :**

- ▶ *Matériau de remblai*
- ▶ *Granulats recyclés*
- ▶ *Liant*

PRODUCTION DE GRANULATS EN EUROPE

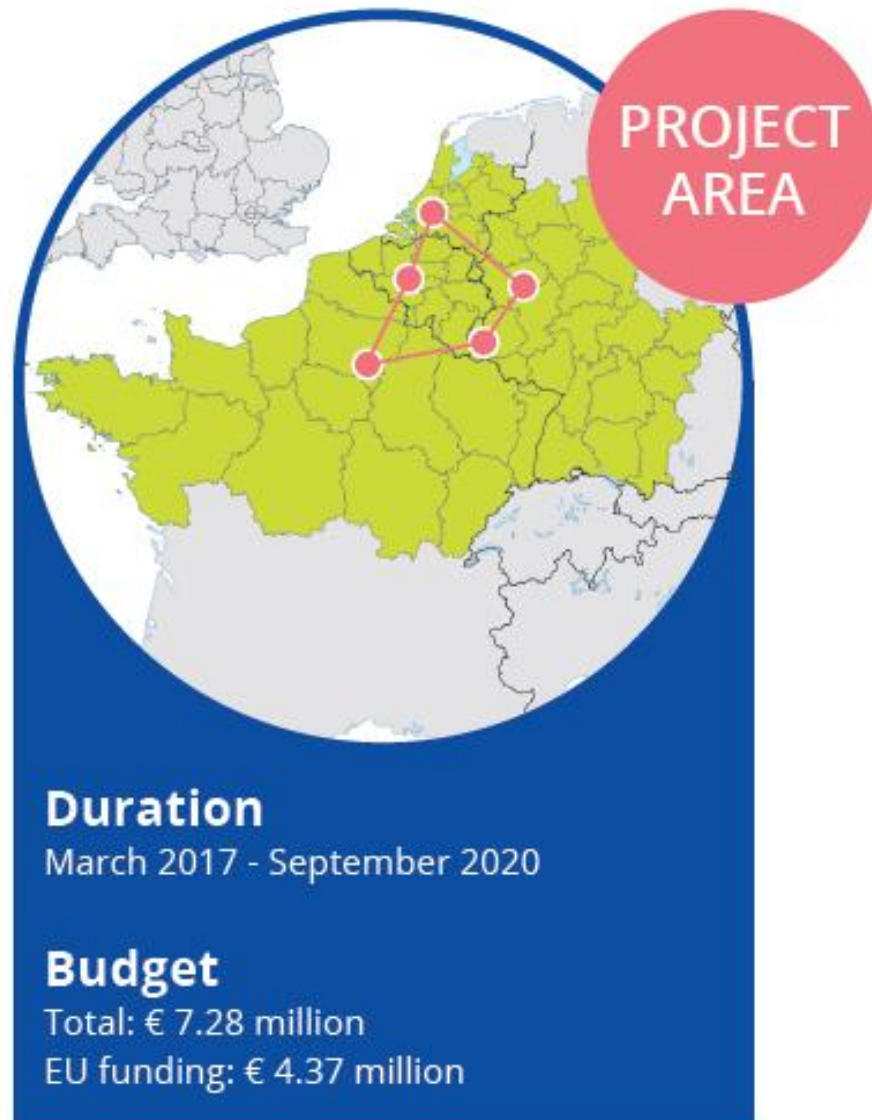


Production de granulats en Europe en 2019 par pays et par type en million de tonnes (UEPG, 2021)

**Objectif du projet SeRaMCo: produire des éléments en béton préfabriqué à base de granulats recyclés avec le plus haut taux de substitution possible**



**Secondary Raw  
Materials for  
Concrete  
precast products**



## Partenaires:

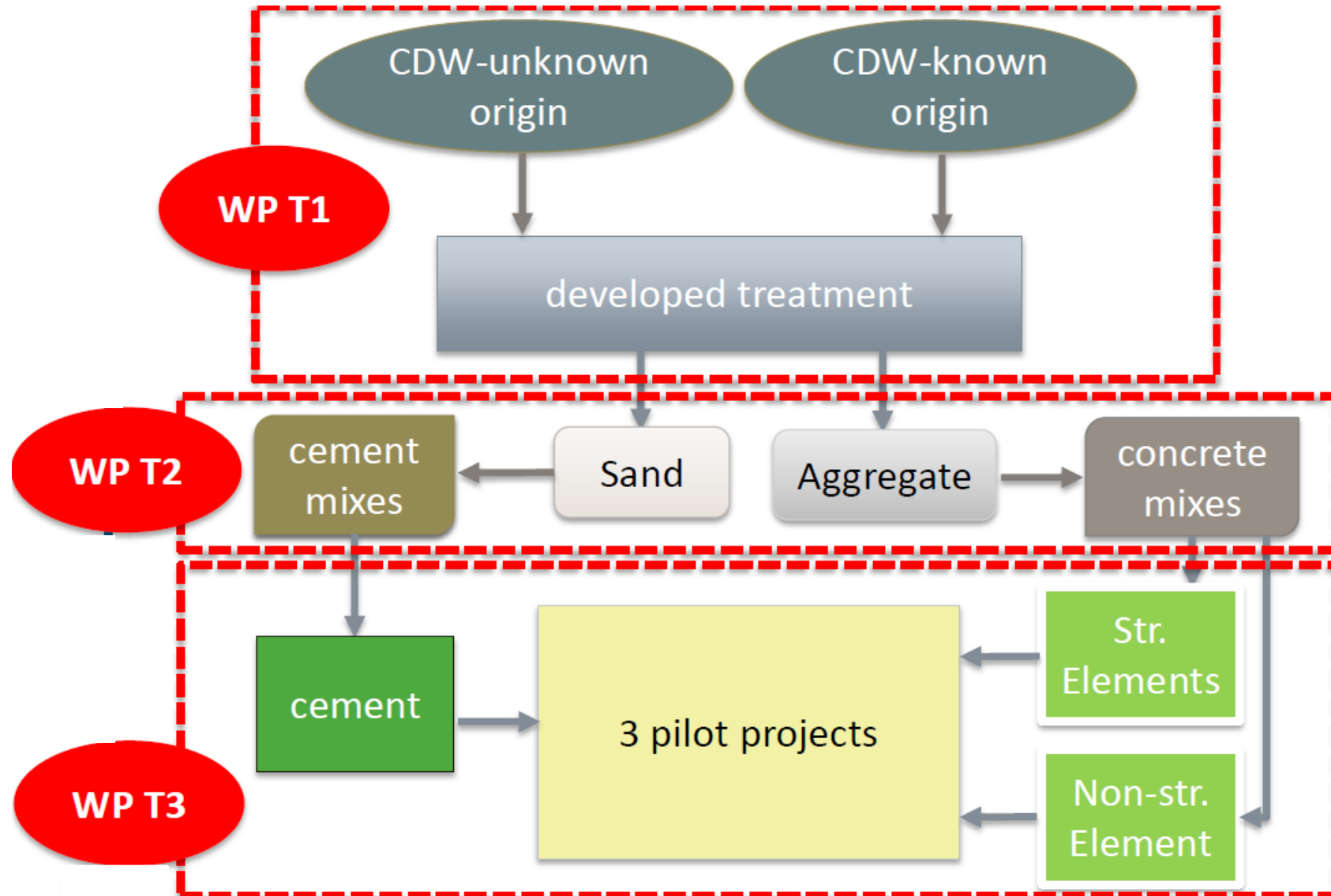
11 Partenaires

3 Sous-partenaires

3 Partenaires associés

Au total, 17 partenaires  
provenant de 5 pays  
européens (Allemagne,  
Belgique, France,  
Luxembourg et Pays-Bas)





CONTEXTE GLOBAL

**CADRE NORMATIF**

- ▶ **Normes européennes**
- ▶ **Contexte belge**

PROPRIÉTÉS DES GRANULATS RECYCLÉS

RECOMMANDATIONS ET CONCLUSION

### Normes NBN EN 206 et NBN B 15-001

- ▶ L'annexe E de la NBN EN 206 donne des recommandations pour l'utilisation de granulats recyclés.
- ▶ Deux types de granulats sont définis ( $d > 4\text{mm}$ ) :

Type A : granulats de béton



Type B : granulats mixtes



L'annexe NBN B 15-001 définit les critères que doivent respecter les granulats de béton de type A+ :

- ▶  $d \geq 4 \text{ mm}$  et  $D \geq 10 \text{ mm}$ ;
- ▶ Catégories de composant suivantes  
 $Rc_{90}$ ,  $Rcu_{95}$ ,  $Ra_{1-}$ ,  $XRg_{0.5-}$ ,  $FL_{2-}$

- ▶ Catégories suivantes

$FI_{20}$ ,  $f_{1.5}$ ,  $LA_{35}$ ,  $SS_{0.2}$ ,  $A_{40}$

- ▶ Masse volumique minimale de  $2200 \text{ kg/m}^3$ ;
- ▶ Absorption d'eau maximale de  $10\%$  avec une variation maximale de  $\pm 2\%$ .



Catégorie de la NBN 12620 :

Rc : béton

Ru : pierre naturelle

Ra : matériau bitumineux

XRg : verre

FL : matériau flottant

FI : coefficient d'aplatissement

F : teneur en fines

LA : coefficient Los Angeles

SS : sulfate soluble

A : modification du temps de prise

Utilisables dans des bétons de classe de résistance  $\leq C30/37$

L'annexe NBN B 15-001 définit les critères que doivent respecter les granulats mixte de type B+ :

- ▶  $d \geq 4 \text{ mm}$  et  $D \geq 10 \text{ mm}$ ;
- ▶ Respecte les catégories de composant suivantes  
 $Rc_{50}$ ,  $Rcu_{70}$ ,  $Ra_5$ ,  $Rb_{30-}$ ,  $XRg_{0.5-}$ ,  $FL_{2-}$
- ▶ Respecte les catégories suivantes  
 $FI_{50}$ ,  $LA_{50}$ ,  $SS_{0.2}$ ,  $A_{40}$
- ▶ Masse volumique minimale de  $1700 \text{ kg/m}^3$ ;
- ▶ Absorption d'eau maximale de  $15\%$  avec une variation maximale de  $\pm 2\%$ .



Catégorie de la NBN 12620 :

Rc : béton

Ru : pierre naturelle

Ra : matériau bitumineux

XRg : verre

FL : matériau flottant

FI : coefficient d'aplatissement

F : teneur en fine

LA : coefficient de Los Angeles

SS : sulfate soluble

A : modification du temps de prise

Utilisables dans des bétons de classe de résistance  $\leq C25/30$

## TAUX DE SUBSTITUTION AUTORISÉS

Type de granulats	Classes d'environnement selon la NBN B 15-001						
	E0	EI	EE1	EE2	EE3,EA1	ES1, ES2,ES3	EE4, ES4, EA2, EA3
Béton armé							
Type A+	-	<b>30%</b>	<b>30%</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>	0%	0%
Type B+	-	<b>20%</b>	0%	0%	0%	0%	0%
Béton non armé							
Type A+	<b>50%</b>	<b>50%</b>	<b>50%</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>	0%
Type B+	<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>	0%	0%	0%	0%

**Il est autorisé d'utiliser des granulats recyclés dans certains environnements extérieurs**

CONTEXTE GLOBAL

CADRE NORMATIF

**PRODUCTION DES GRANULATS RECYCLÉS**

- ▶ **Centrale de production et traitement par voie humide**

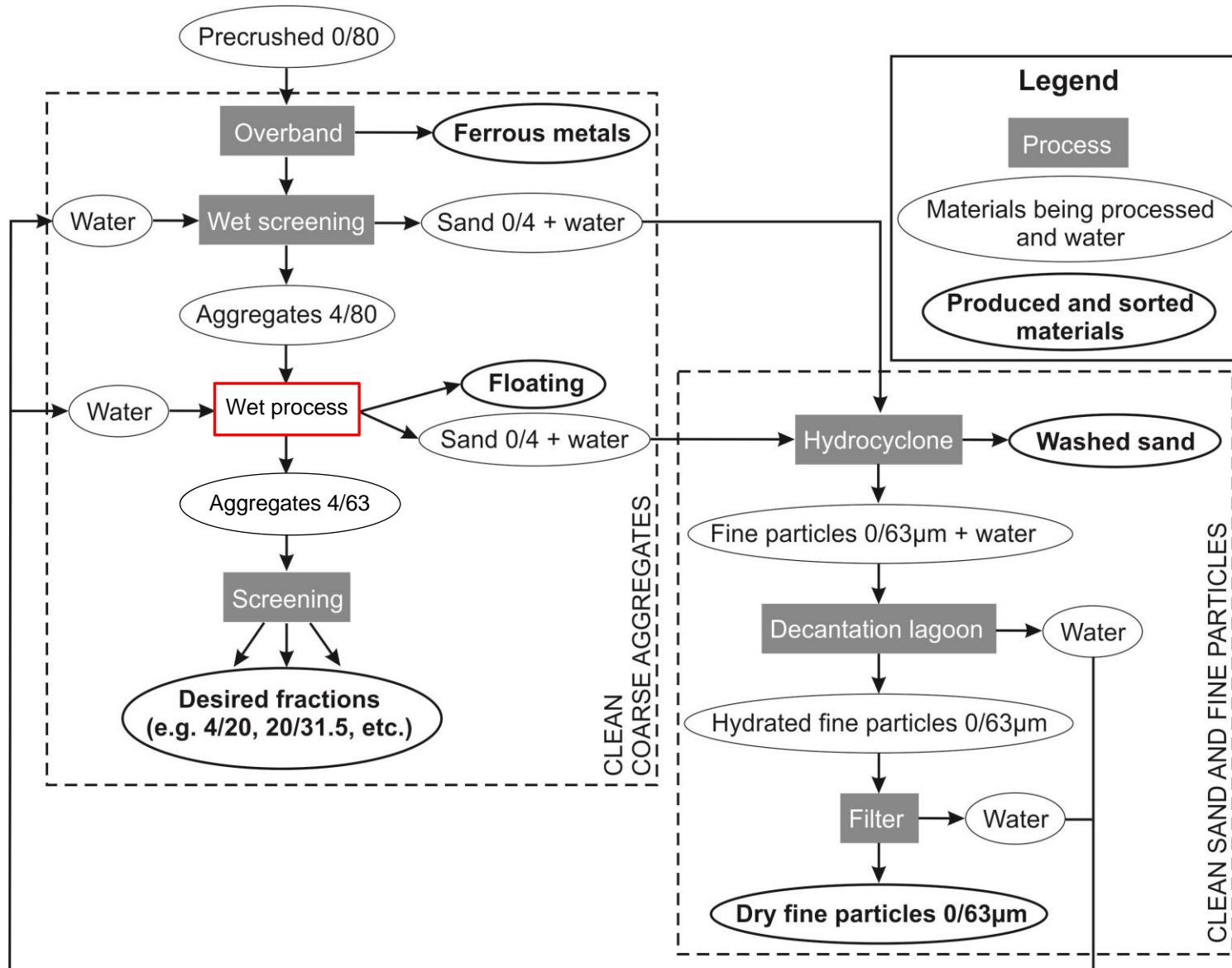
PROPRIÉTÉS DES GRANULATS RECYCLÉS

CONCLUSION

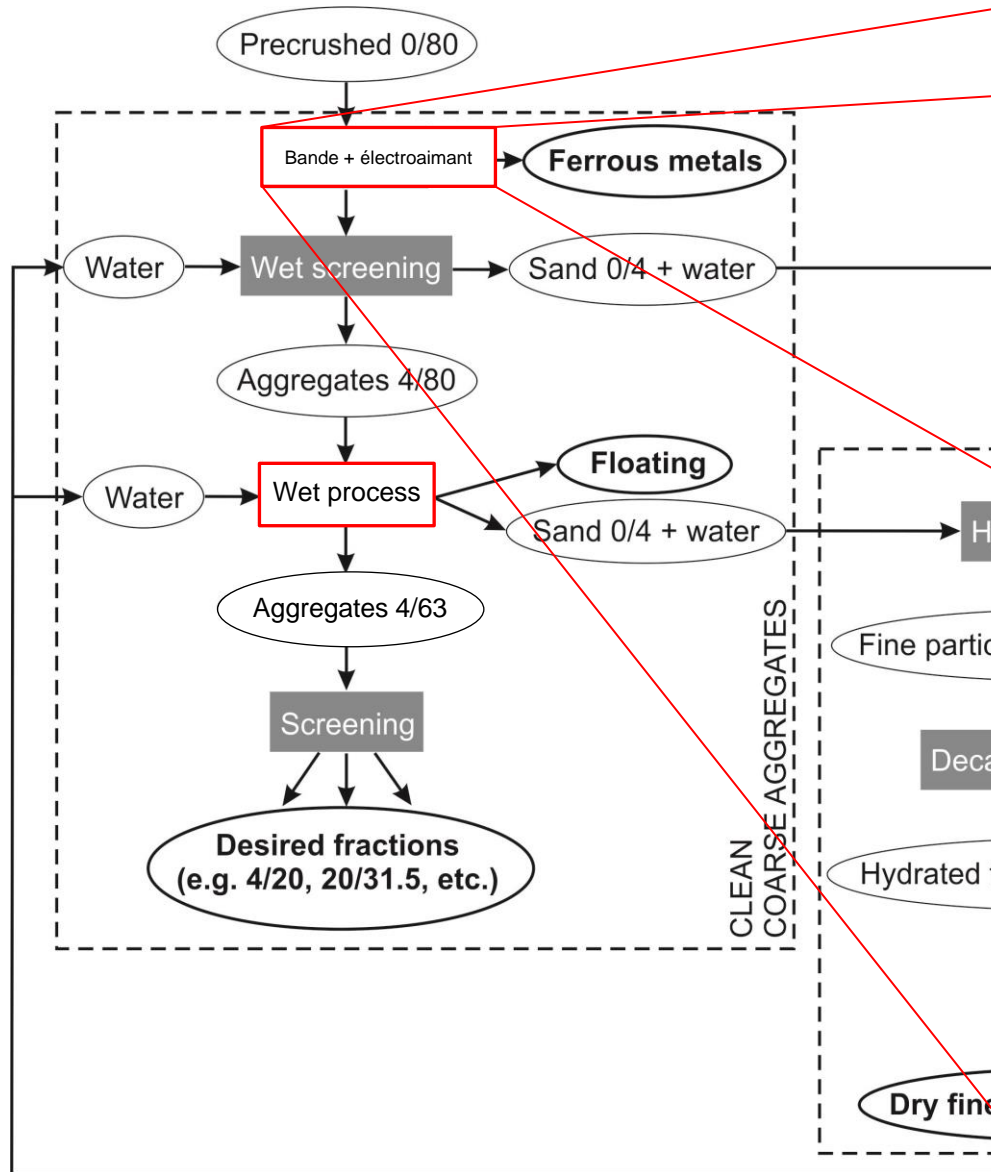
**“SeRaMCo recycling plant” à Saint-Ghislain (Tradecowall)**



PRODUCTION DES GRANULATS RECYCLÉS



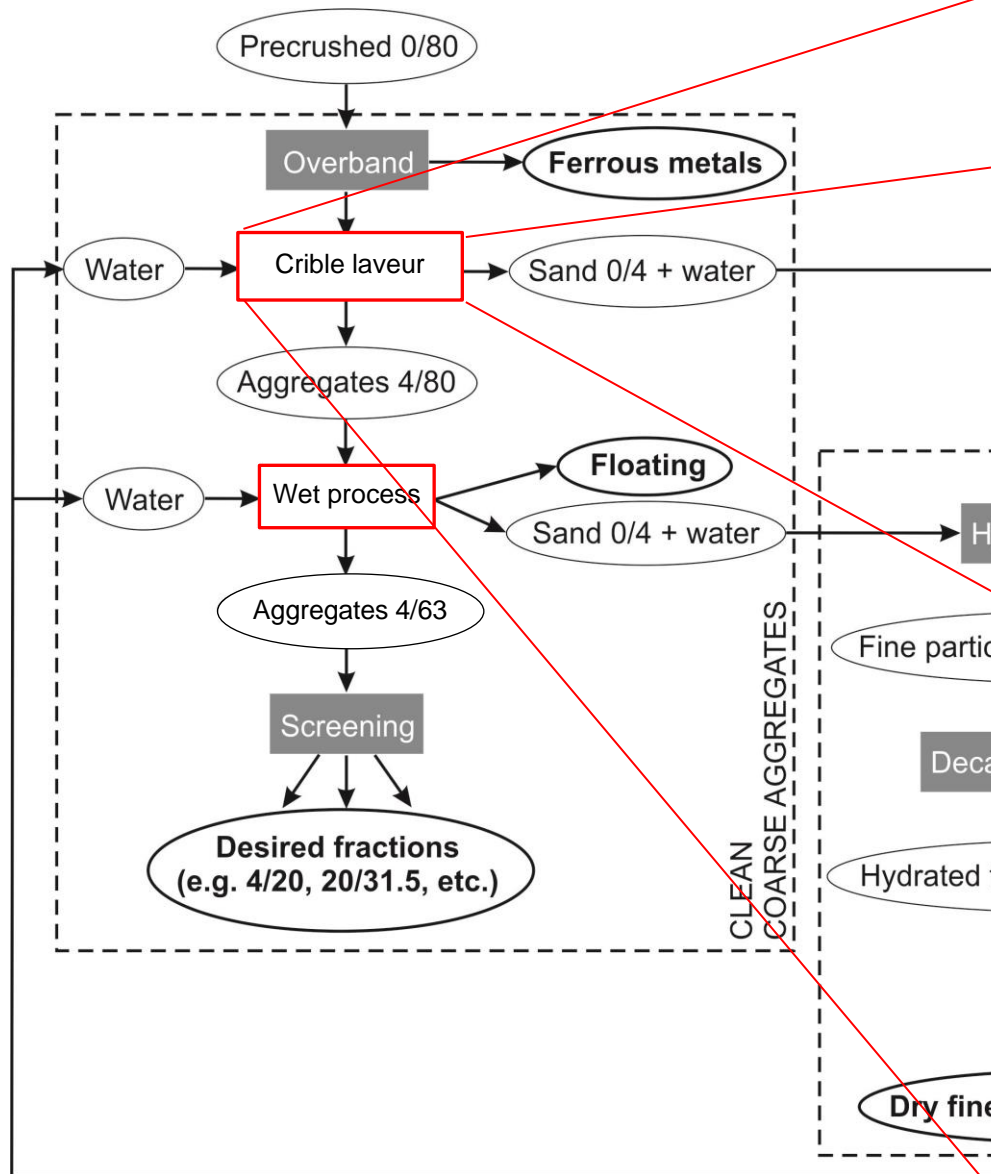
PRODUCTION DES GRANULATS RECYCLÉS



Bande passante et électro-aimant :




# PRODUCTION DES GRANULATS RECYCLÉS



Le lavage est composé de 3 étapes :

1. Crible laveur



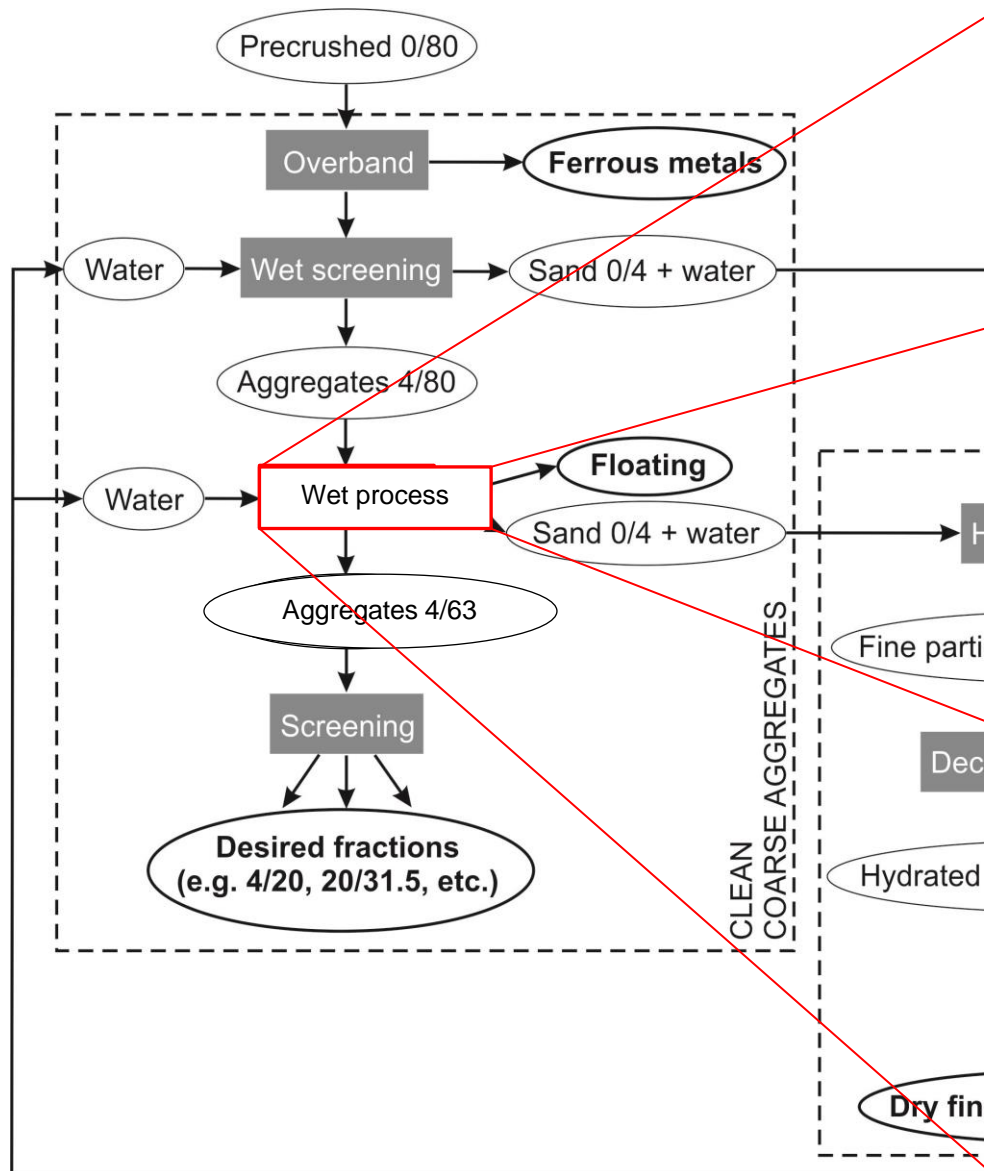
1<sup>er</sup> lavage

- 63+ mm → rejetée
- 0/63mm

2<sup>eme</sup> lavage

- 0/4 mm → hydrocyclones
- 4/63 mm → Sludge trap

PRODUCTION DES GRANULATS RECYCLÉS



Le lavage est composé de 3 étapes :

2. Débourbeur à palette

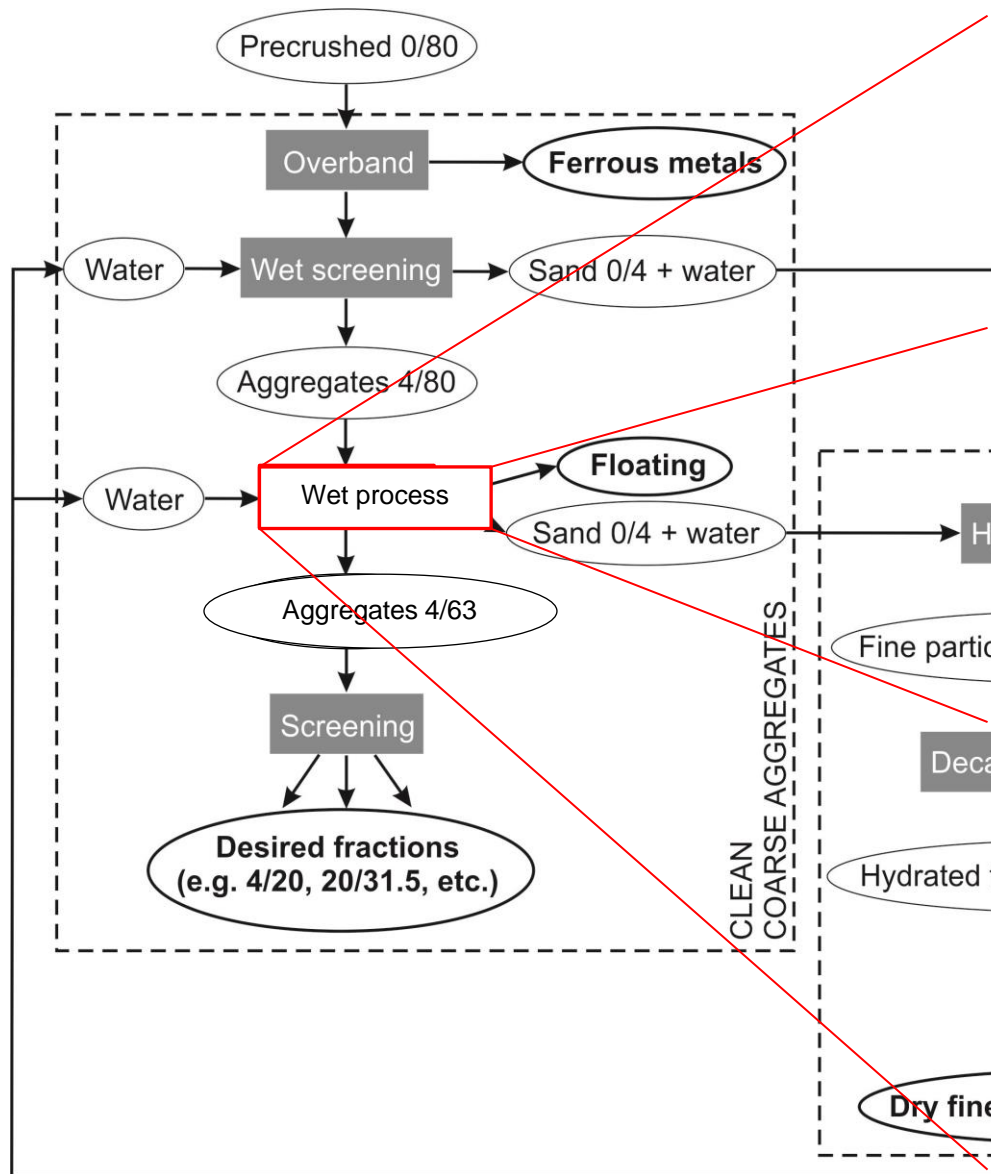


3<sup>ème</sup> lavage

Eau de lavage chargée en particules fines → hydrocyclone


4/63mm

PRODUCTION DES GRANULATS RECYCLÉS



Le lavage est composé de 3 étapes :

3. Crible rinceur Mogensen



4<sup>ème</sup> lavage

- 0/4mm → hydrocyclone
- 4/63mm

## PRODUCTION DES GRANULATS RECYCLÉS

Trois granulométries différentes en sortie: - 4/20 mm  
- 20/31,5 mm  
- 31,5/63 mm

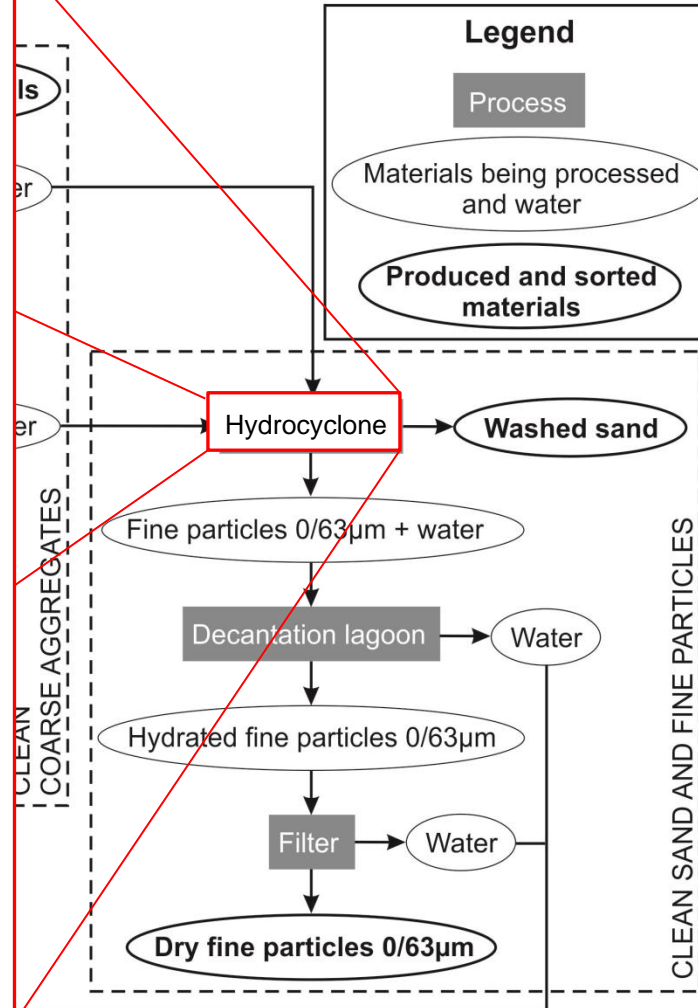
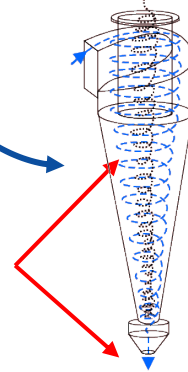


PRODUCTION DES GRANULATS RECYCLÉS

L'eau chargée en particules fines et en sables passe dans un hydrocyclone:



Aggregates 4/63



**A la sortie de l'hydrocyclone, les boues restantes sont décantées...**





## PRODUCTION DE GRANULATS RECYCLÉS

... puis envoyées vers un second bassin de décantation dont le fond est un drain sableux. L'eau claire ainsi récupérée est réutilisée en circuit fermé.



CONTEXTE GLOBAL

CADRE NORMATIF

PRODUCTION DES GRANULATS RECYCLÉS

**PROPRIÉTÉS DES GRANULATS RECYCLÉS**

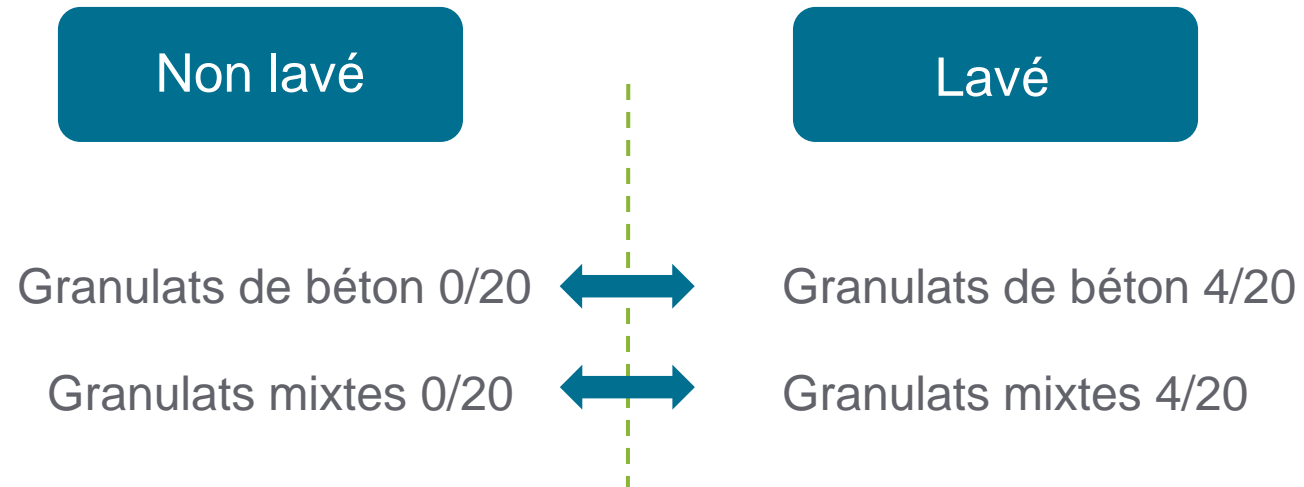
- ▶ **Influence du traitement par voie humide**
- ▶ Influence du mode de concassage

CONCLUSION

## 27 INFLUENCE DU LAVAGE SUR LA QUALITÉ DES GRANULATS

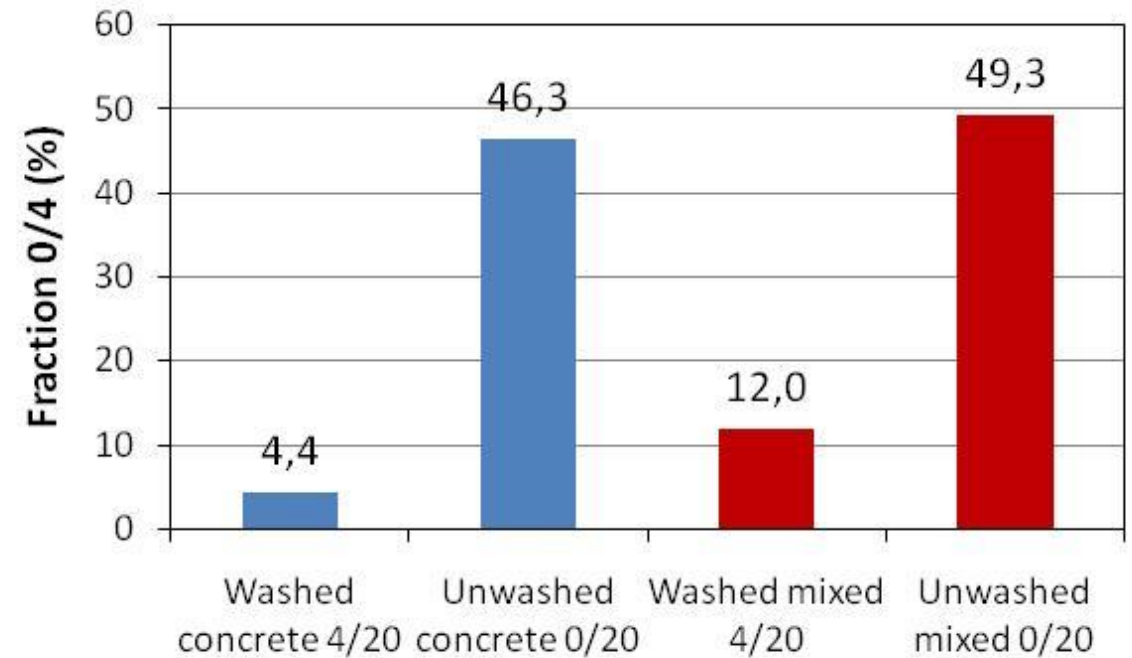
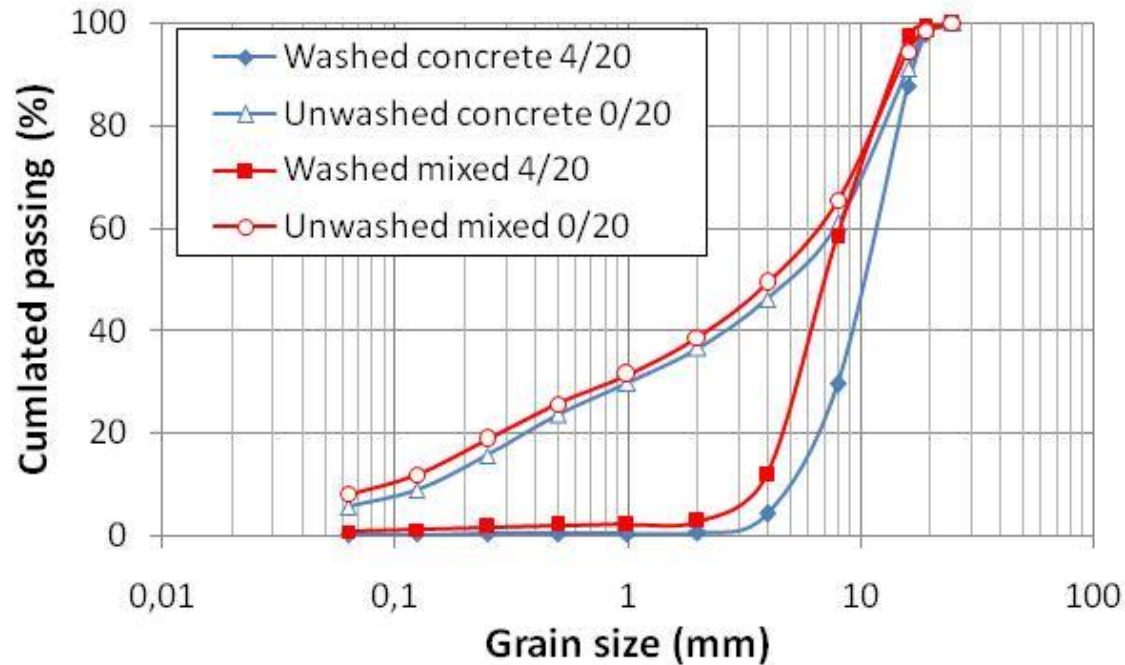
**Effets anticipés :**

- ▶ Courbe granulométrique plus restreinte
- ▶ Diminution de la teneur en particules fines
- ▶ Diminution de la quantité d'éléments indésirables (plâtre, argiles, etc.)
- ▶ Meilleure résistance à la fragmentation

**Méthodologie :**

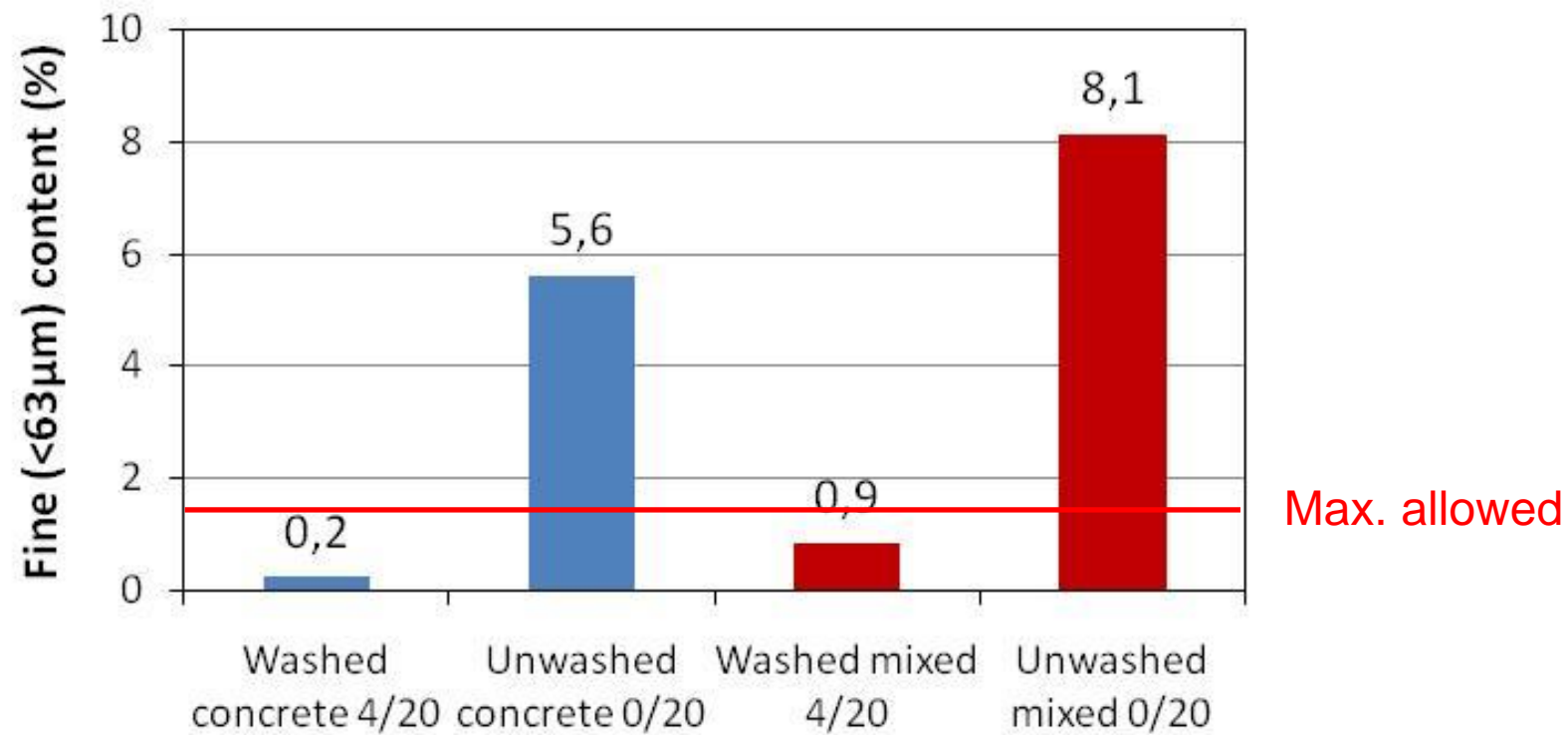
## COURBES GRANULOMÉTRIQUES

La fraction 0/4 représente presque 50% de la composition des granulats non lavés  
Le lavage diminue significativement la fraction « sableuse » des granulats



## TENEUR EN PARTICULES FINES

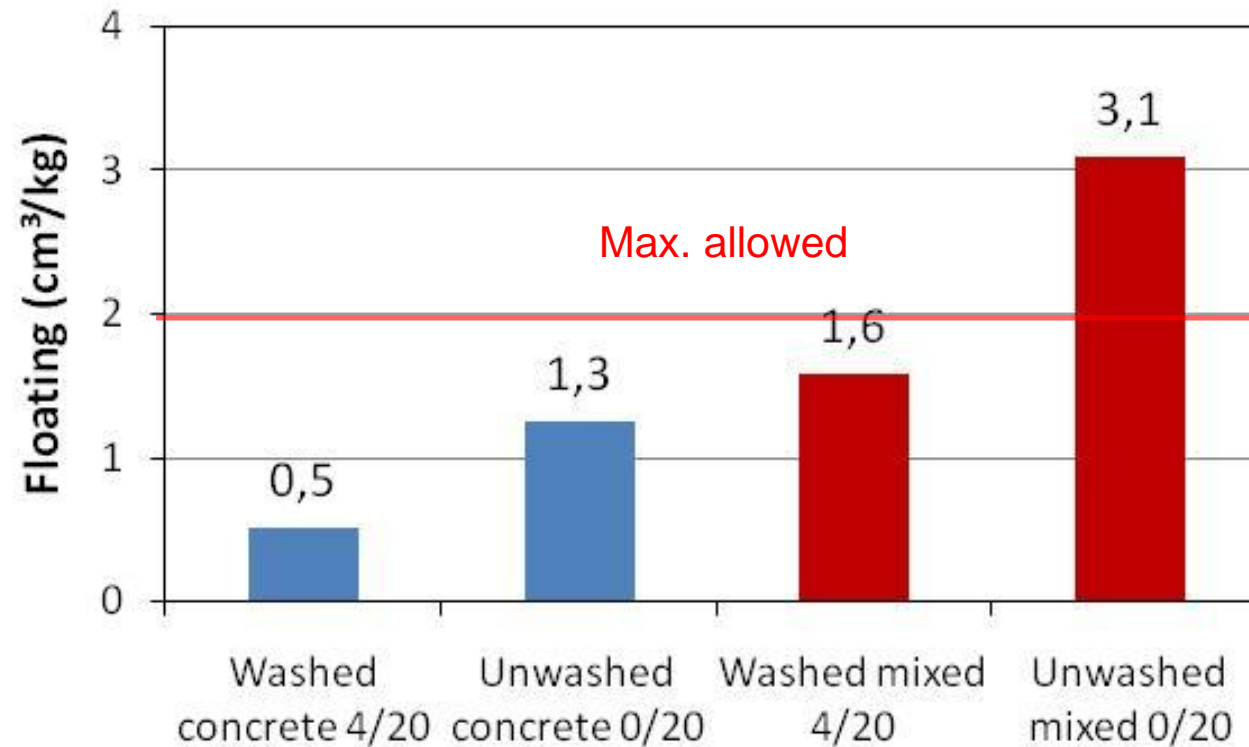
La teneur en particules fines ( $< 63 \mu\text{m}$ ) est significativement réduite par le lavage  
Les granulats lavés respectent les réglementations pour un usage dans le béton



## TENEUR EN ÉLÉMENTS FLOTTANT

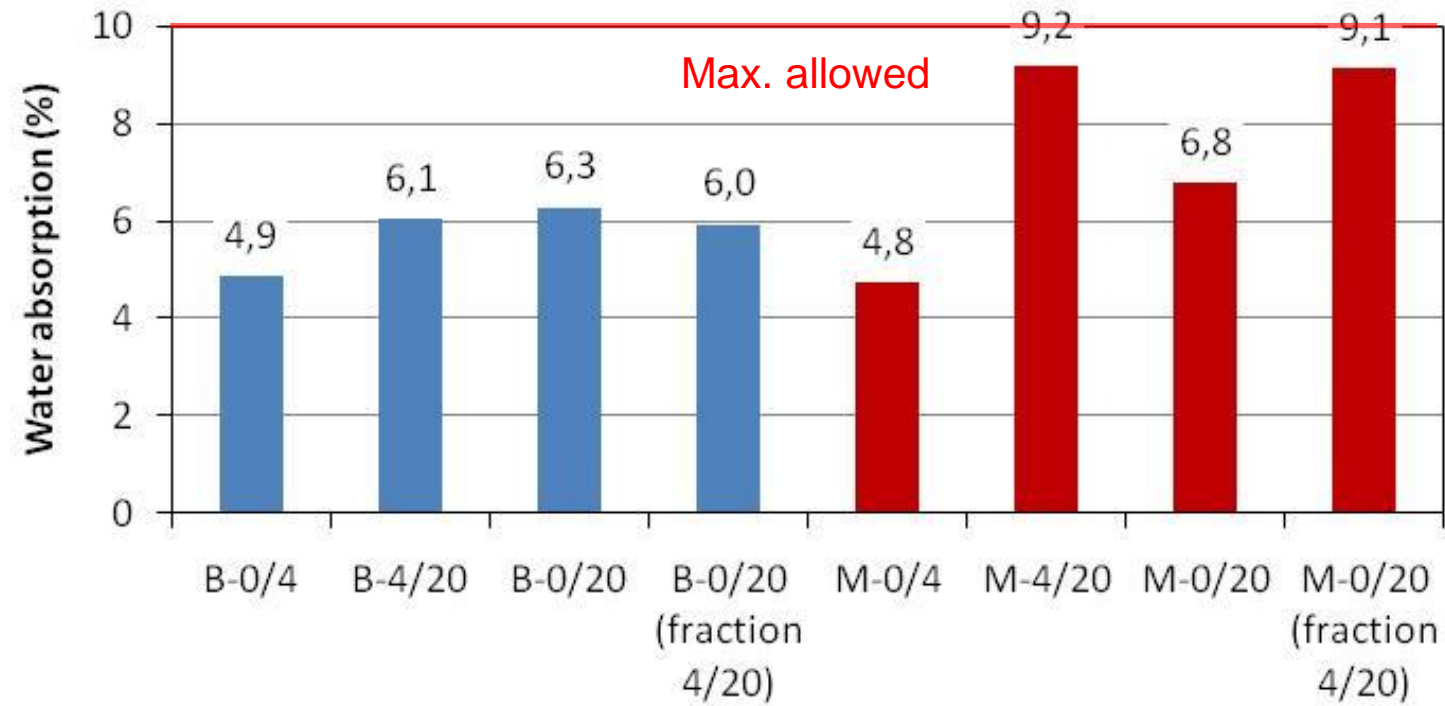
La teneur en éléments flottants (bois, plâtre, argile, etc.) est réduite de 50%

Le lavage est nécessaire pour que les granulats mixtes respectent les réglementations



L'absorption d'eau n'est pas ou peu influencée par le lavage

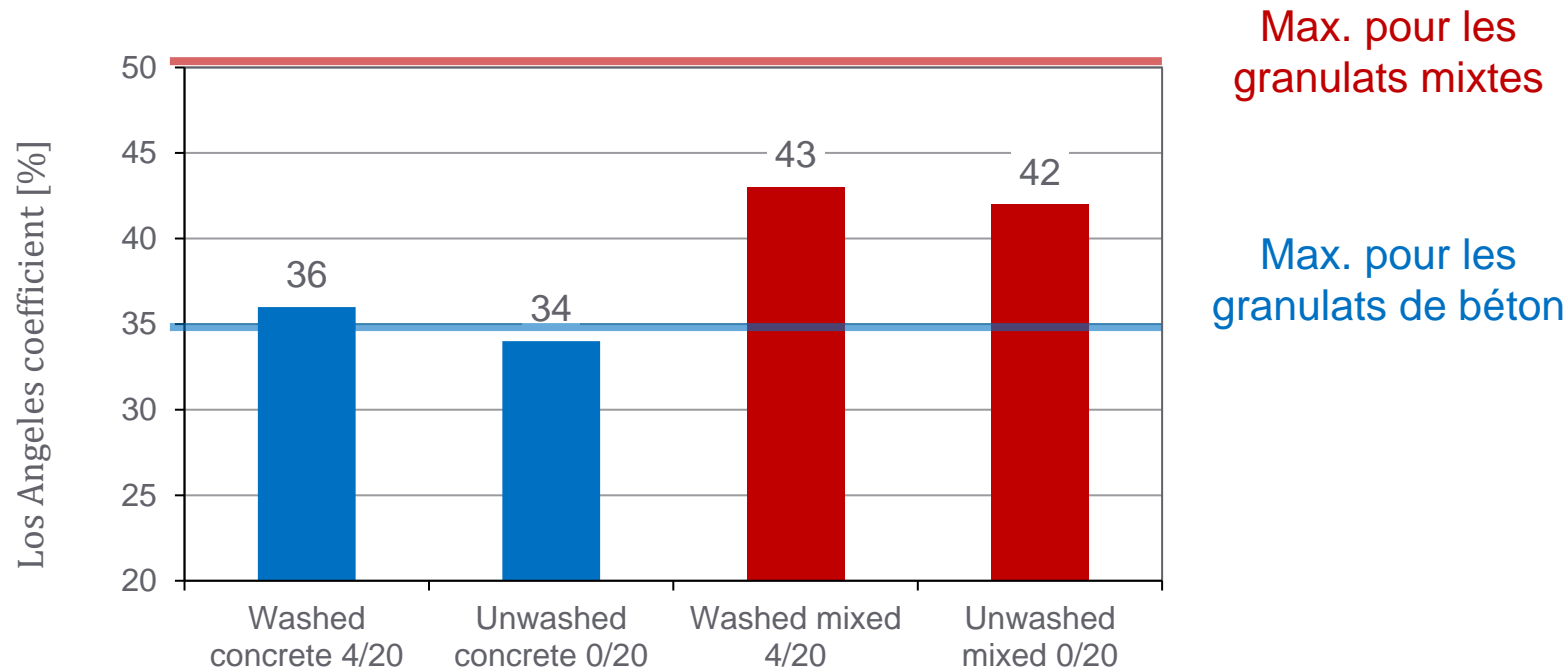
Les granulats recyclés lavés ou non rencontrent les réglementations



## RÉSISTANCE À LA FRAGMENTATION

**Le coefficient de Los Angeles (LA) définit la résistance à la fragmentation d'un granulat.**

- ▶ Il s'agit du pourcentage de la masse de la prise d'essai passant au tamis d'ouverture 1.6 mm après un essai. Un pourcentage élevé dénote une mauvaise résistance aux chocs et au frottement
- ▶ Les granulats de béton présentent une meilleure résistance à la fragmentation que les granulats mixtes
- ▶ Le lavage n'a pas ou peu d'effet sur le coefficient de Los Angeles





CONTEXTE GLOBAL

CADRE NORMATIF

PRODUCTION DES GRANULATS RECYCLÉS

**PROPRIÉTÉS DES GRANULATS RECYCLÉS**

- ▶ Influence du traitement par voie humide
- ▶ **Influence du mode de concassage**

CONCLUSION

**Méthodologie : production de granulats recyclés 0/25****Percussion**

6,5 kW (40% de la puissance max)

**Mâchoires**

Ouverture : 22 mm

## INFLUENCE DU MODE DE CONCASSAGE

**Granulats recyclés produits sur base de béton produit en laboratoire**

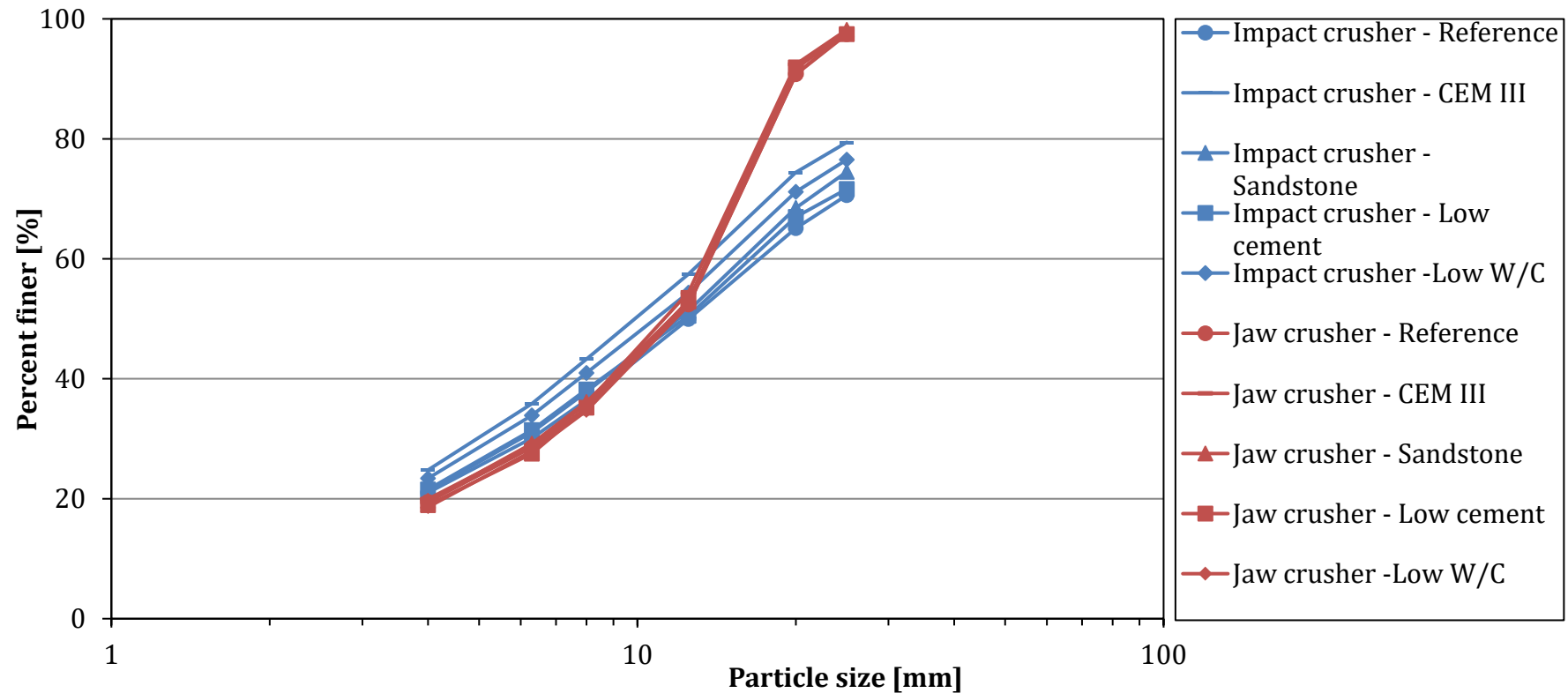
- 5 compositions différentes ont été envisagées :

	Reference	CEMIII	Sandstone	Low Cement	Low W/C
<b>Aggregates type</b>	Limestone	Limestone	<b>Sandstone</b>	Limestone	Limestone
<b>Cement type</b>	CEMI 52.5	<b>CEMIII 52.5</b>	CEMI 52.5	CEMI 52.5	CEMI 52.5
<b>Cement quantity (kg/m<sup>3</sup>)</b>	400	400	400	<b>320</b>	452
<b>Cement paste volume (dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)</b>	351	358	351	<b>282</b>	351
<b>W/C</b>	0.56	0.56	0.56	0.56	<b>0.46</b>

## COURBE GRANULOMÉTRIQUE

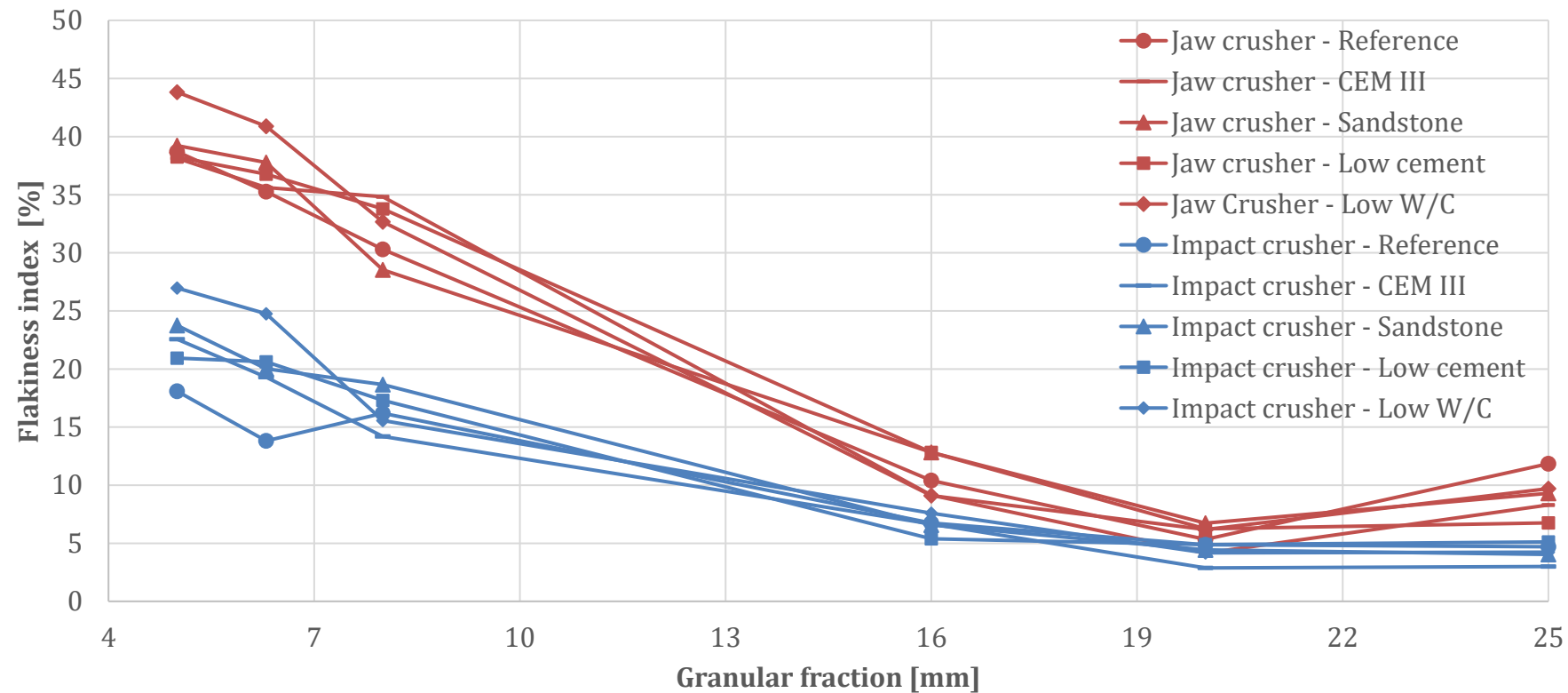
Le concasseur à mâchoire produit des granulats présentant une courbe granulométrique plus restreinte.

Peu ou pas d'influence de la composition du béton sur la courbe granulométrique

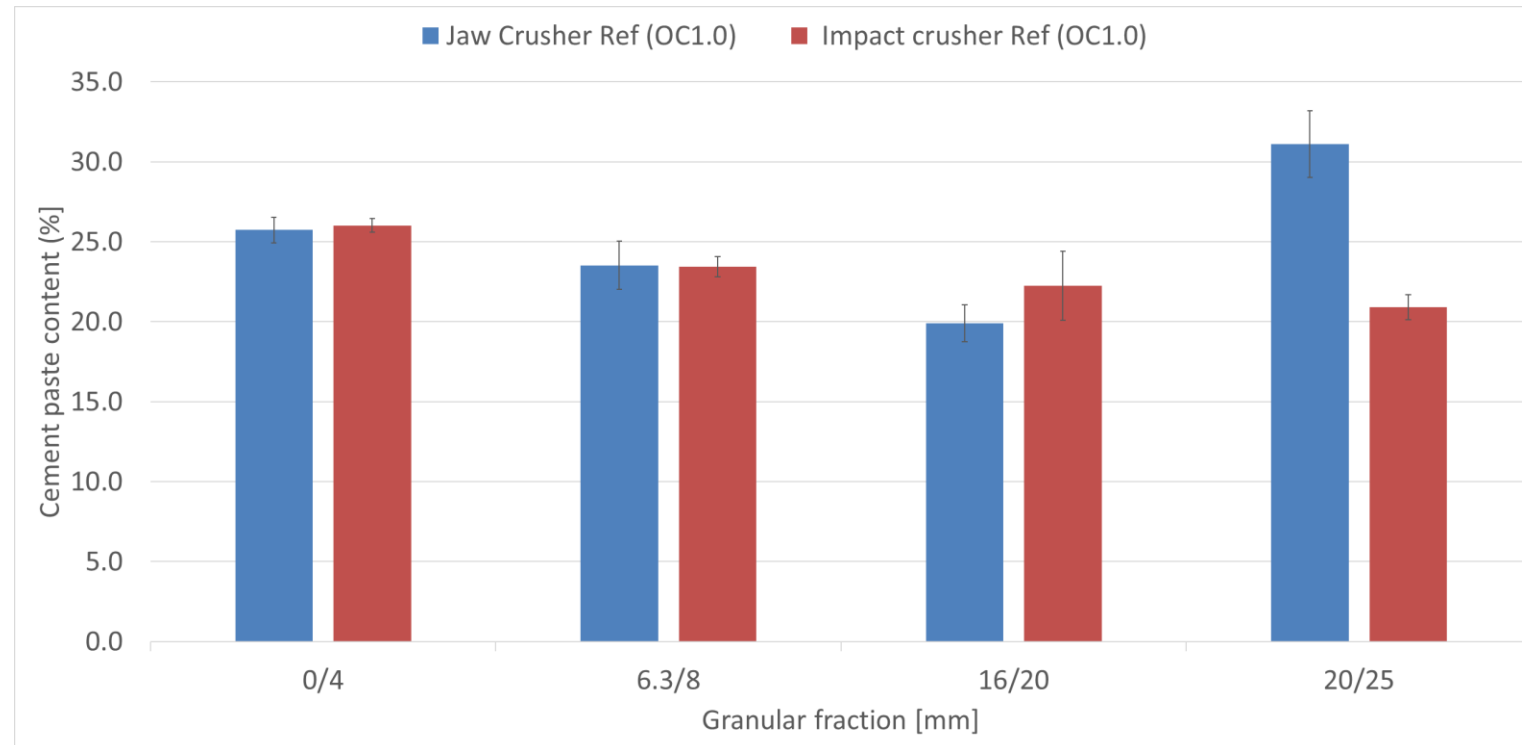


Le coefficient d'applatissage diminue lorsque la fraction granulaire augmente et le concasseur à percussion produit des granulats plus sphériques.

Présence d'un minimum au voisinage du  $D_{max}$  des granulats d'origine



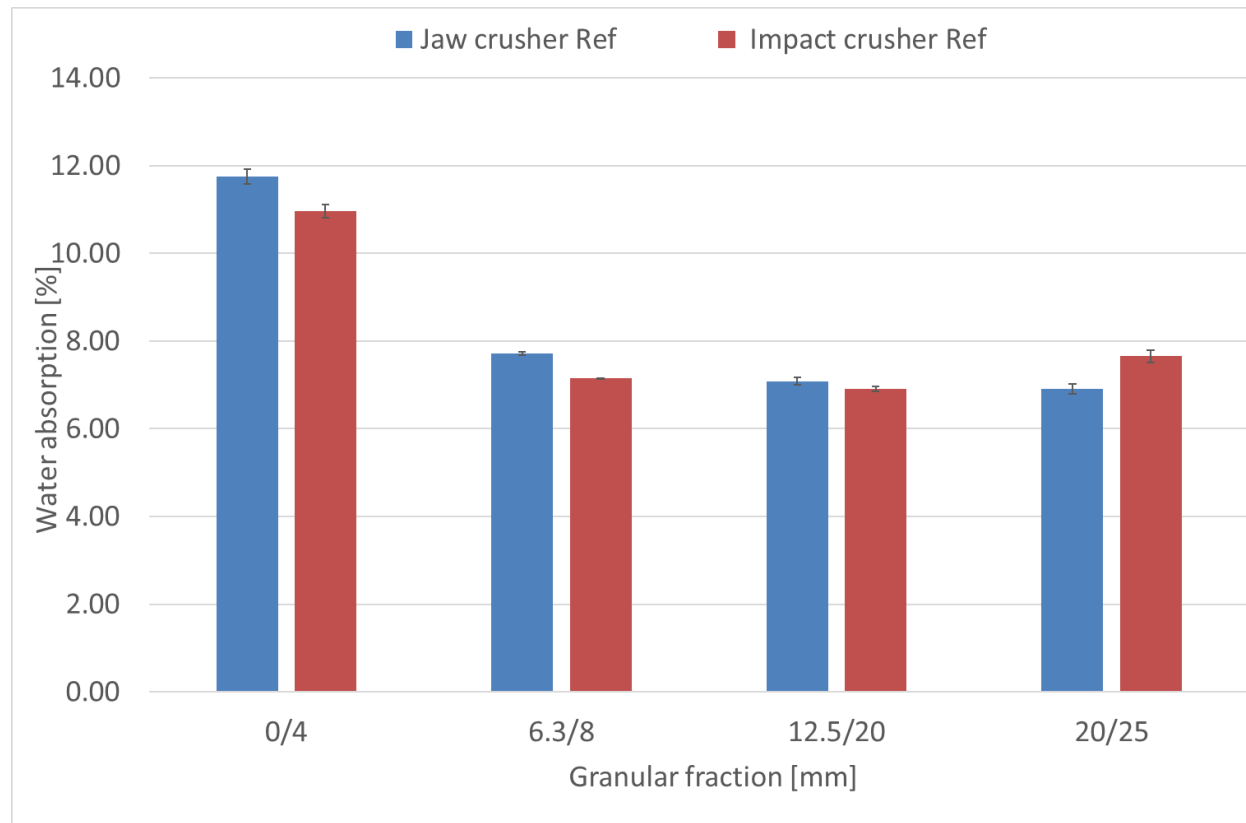
**Diminution de la teneur en pate de ciment lorsque la fraction granulaire augmente**  
**Pas d'influence de la méthode de concassage pour les compositions de béton étudiées**



Exception : fraction 20/25

**Diminution de l'absorption d'eau lorsque la fraction granulaire augmente : bonne corrélation avec la teneur en pate de ciment**

**Pas d'influence de la méthode de concassage pour les compositions de béton étudiées**



	Jaw crusher	Impact crusher
<b>(a)</b> Running power (kW)	1,8-2,0	6,5-6,6
<b>(b)</b> Mean net power (kW)	1,9-2,1	0,5-0,8
<b>(c)</b> Mean crushing duration (s)	200	252
<b>(d)</b> Crushed mass of material per hour (t/h)	2,0-2,3	1,6-1,7
<b>(e)</b> Net specific energy consumption (kWh/t) <b>(b/d)</b>	0,9-1,0	0,30-0,50
<b>(f)</b> Total specific energy consumption (kWh/t) <b><math>((a+b)/d)</math></b>	1,8-1,9	4,1-4,5
<b>(g)</b> Percentage of energy consumed for crushing <b><math>(=b/(a+b))</math></b>	~50	~10



CONTEXTE GLOBAL

CADRE NORMATIF

PRODUCTION DES GRANULATS RECYCLÉS

PROPRIÉTÉS DES GRANULATS RECYCLÉS

**CONCLUSION**

## CONCLUSION : TRAITEMENT PAR VOIE HUMIDE

### Par rapport aux effets anticipés:

- ▶ Courbe granulometrique plus restreinte
- ▶ Diminution de la teneur en particules fines
- ▶ Diminution de la quantité d'éléments indésirables (bois, argiles, plâtre, etc.)
- ▶ Augmentation de la résistance à l'abrasion

### A noter également :

- ▶ Pas d'influence sur l'absorption d'eau des granulats

### Validité par rapport aux réglementations

- ▶ NBN EN 206 et NBN B 15-001



	B-4/20	B-0/20	M-4/20	M-0/20
FL (cm³/kg)	0.51	1.25	1.58	<b>3.10</b>
Rc (%)	<b>81.43</b>	<b>86.78</b>	61.05	63.04
Ru (%)	10.60	5.47	11.80	9.80
Rb (%)	7.53	6.24	24.89	25.42
Ra (%)	0.01	0.18	0.00	0.00
XRg (%)	0.02	0.018	1.23	0.32
f (%)	0.2	<b>5.6</b>	0.9	<b>8.1</b>
LA	<b>36</b>	34	43	42

## CONCLUSION : TYPE DE CONCASSEUR

	Percussion	Mâchoires
<b>Morphologie</b>	(+)	
<b>Courbe granulométrique</b>	(-)	(+)
<b>Teneur en fine</b>	(-)	(+)
<b>Teneur en pate de ciment</b>	-	-
<b>Absorption d'eau</b>	-	-
<b>Consommation énergétique</b>	(-)	(+)
<b>Durée de concassage</b>	(-)	(+)

**Julien Hubert**

Dr. Ingénieur de recherche

Université de Liège

☎ + 32 4 366 92 24

✉ [julien.hubert@uliege.be](mailto:julien.hubert@uliege.be)



MERCI POUR VOTRE ATTENTION