

# Les Matériaux alternatifs et les applications développées par le département Génie Civil & Environnemental des Mines de Douai

Pr. Denis DAMIDOT

AFOCO 5 Juin 2014

# Chiffres clés DGCE

## Effectifs

59 personnes :  
29 permanents et 30 contractuels (doctorants et post-doctorants)

## Plateforme expérimentale et numérique de caractérisation des matériaux

### Mécanique

- Presse 100 tonnes avec charge cyclique (fatigue)
- Cellule triaxiale de grande capacité (échantillon de la taille d'un moule CBR)

### Chimie & Minéralogie

- FluoX
- ICP
- Chromatographie ionique
- DRX
- ATD-MS

### Microstructure

- Porosimètre Hg
- M. Optique
- FEG-MEB avec EDS
- Traction sous MEB
- Indentation sous MEB

Cluster de calcul de 250 CPUs permettant du calcul parallèle avec des logiciels développés en interne (méthodes aux éléments discrets: code DemGCE) ou des logiciels utilisés en relation avec leurs développeurs (HYTEC, VCCTL...)

# Thématiques de recherche

## « Matériaux innovants pour la construction et la santé »

1 - la valorisation de matières minérales (sous-produits, sédiments, sols pollués) pour les matériaux de construction (notamment béton, assises routières) tout en minimisant l'impact environnemental

2 - la conception de matériaux de construction avancés: performants, ayant de nouvelles fonctionnalités, intelligents, à faible empreinte carbonique et ayant une durabilité maîtrisée

3 - le développement de matériaux minéraux et de procédés pour la santé: biomatériaux (biocéramiques, biociment...), impression 3D de prothèses, coating biocompatible.

# Thème 1

## 1 – Valorisation de matières minérales dans les matériaux de construction

R1.1 Sédiments marins et fluviaux

Assise routière, remblais, butte,  
rechargement plage...

R1.2 Laitier LD & MIOM

Ciment et céramique  
(brique)

R1.3 Béton recyclé

Béton

R1.5 Méthodologie de valorisation  
associée à l'estimation de l'impact  
environnemental

R1.4 Modélisation numérique par  
éléments discrets : code DemGCE

 Sous-thème transversal

Sous-thèmes

Domaines d'application





# Valorisation des sédiments: chaire industrielle « EcoSed » (économie circulaire des sédiments)

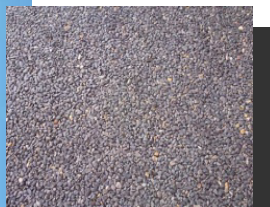
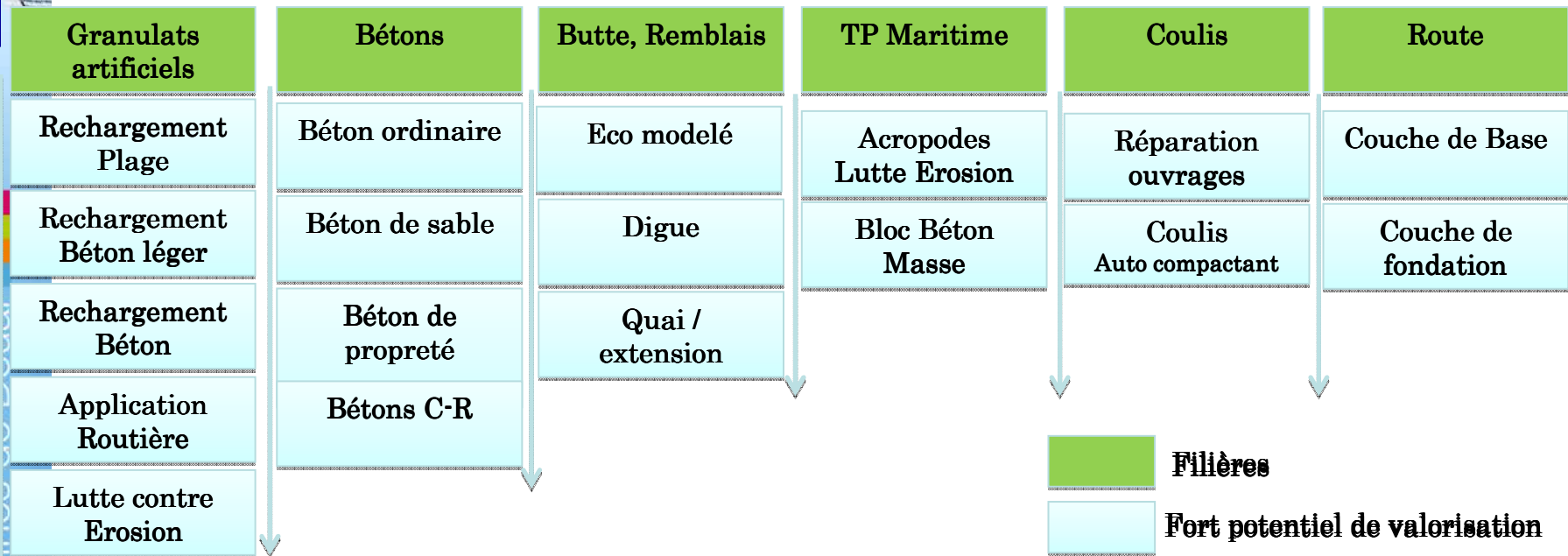
- 14 membres fondateurs :

- COLAS
- HOLCIM
- Carrières du Boulonnais
- ARF
- EDF
- NéoEco
- Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie
- Grand Port Autonome de Dunkerque
- Lille Métropole Communauté Urbaine
- Conseil Général du Nord
- Conseil Régional Nord - Pas de Calais
- Agence de l'Eau Artois Picardie
- Voies navigables de France
- Ecole des Mines de Douai

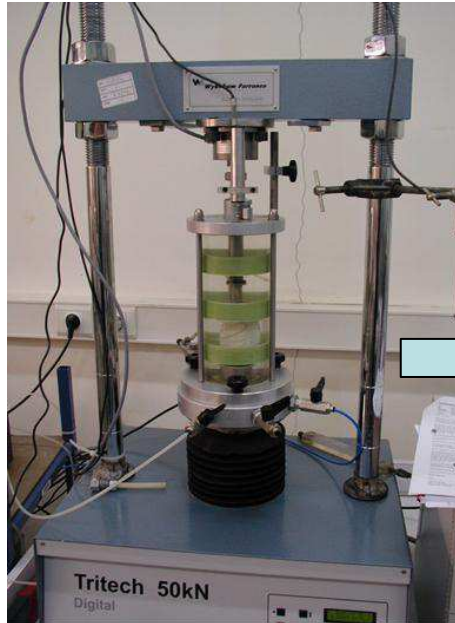
Budget:  
1.8 M€ pour 5 ans

# Voies de valorisation potentielles de sédiments dans les matériaux du GC

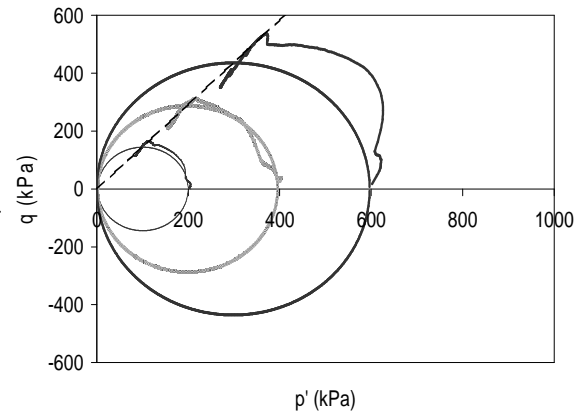
Le choix des valorisations est guidé par une caractérisation très fine des sédiments:



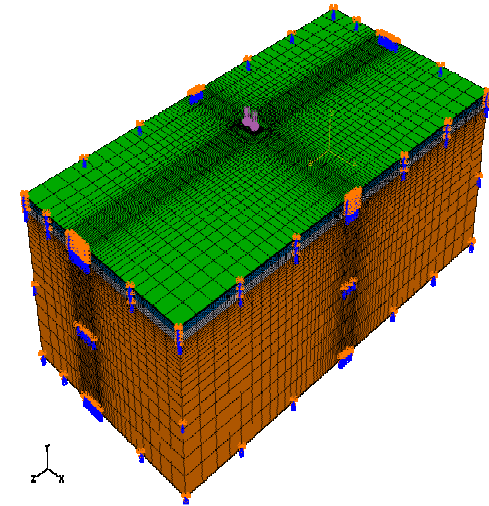
# Caractérisation géotechnique pour les assises routières



Essai triaxial



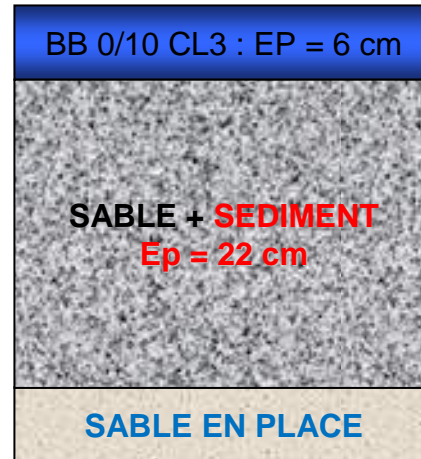
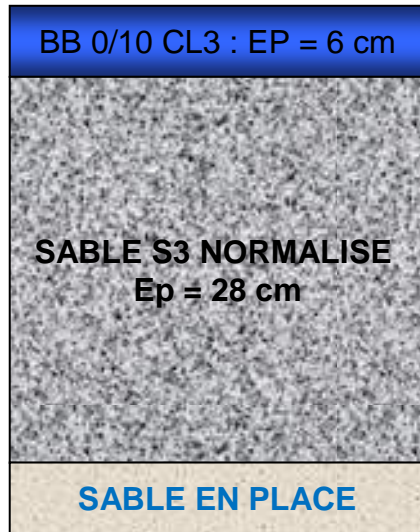
Comportement Mécanique



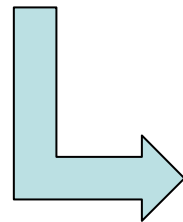
Dimensionnement

# De la formulation de laboratoire au suivi de pilote à l'échelle 1:

Trafic : 80 PL/J  
Durée de Vie : 10 ans  
Support PF2



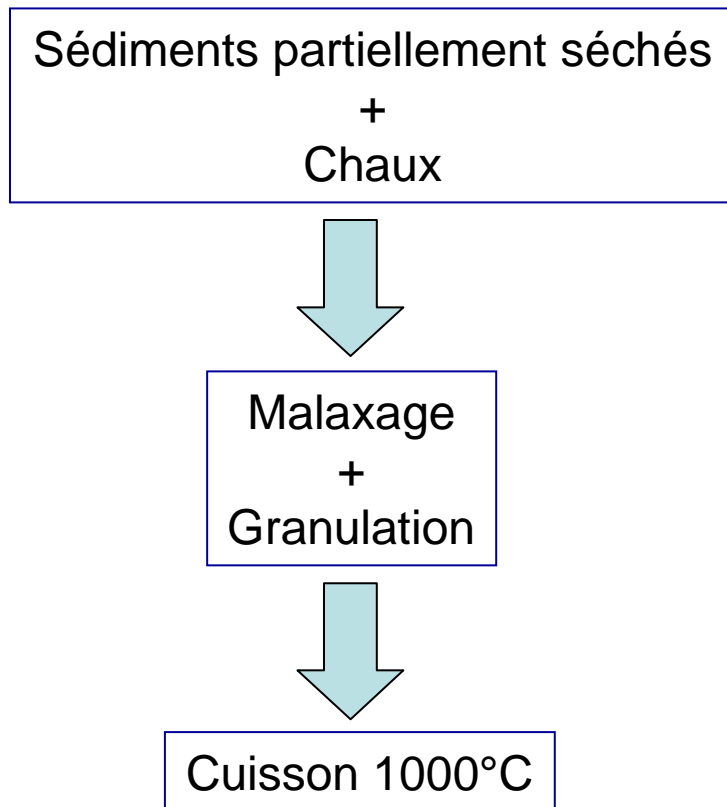
Formulation en laboratoire : gain potentiel de matière première avec des formulations à base de sédiments pour une même performance.



Suivi des performances  
et de l'impact  
environnemental sur  
plusieurs années



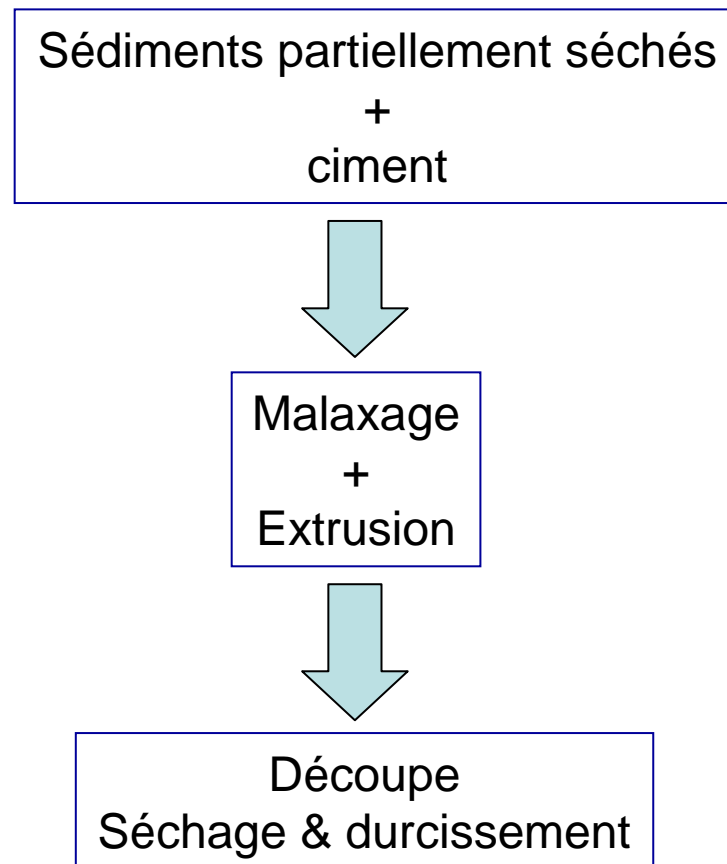
# Caractérisations minéralogiques et rhéologiques pour la fabrication de granulats pour le rechargement de plage



Formulation : 5% chaux,  
eau = 136%



# Caractérisations minéralogiques et rhéologiques pour la fabrication de granulats pour le rechargement de plage



# Granulats de béton recyclé

## Propriétés intrinsèques des GR

- 2 constituants: granulats naturels +
- pâte de ciment durcie et adhérente aux granulats
- Les propriétés intrinsèques dépendent de :
  - proportions de ces 2 phases
  - propriétés de ces 2 phases



## Teneur en pâte de ciment adhérente des GR

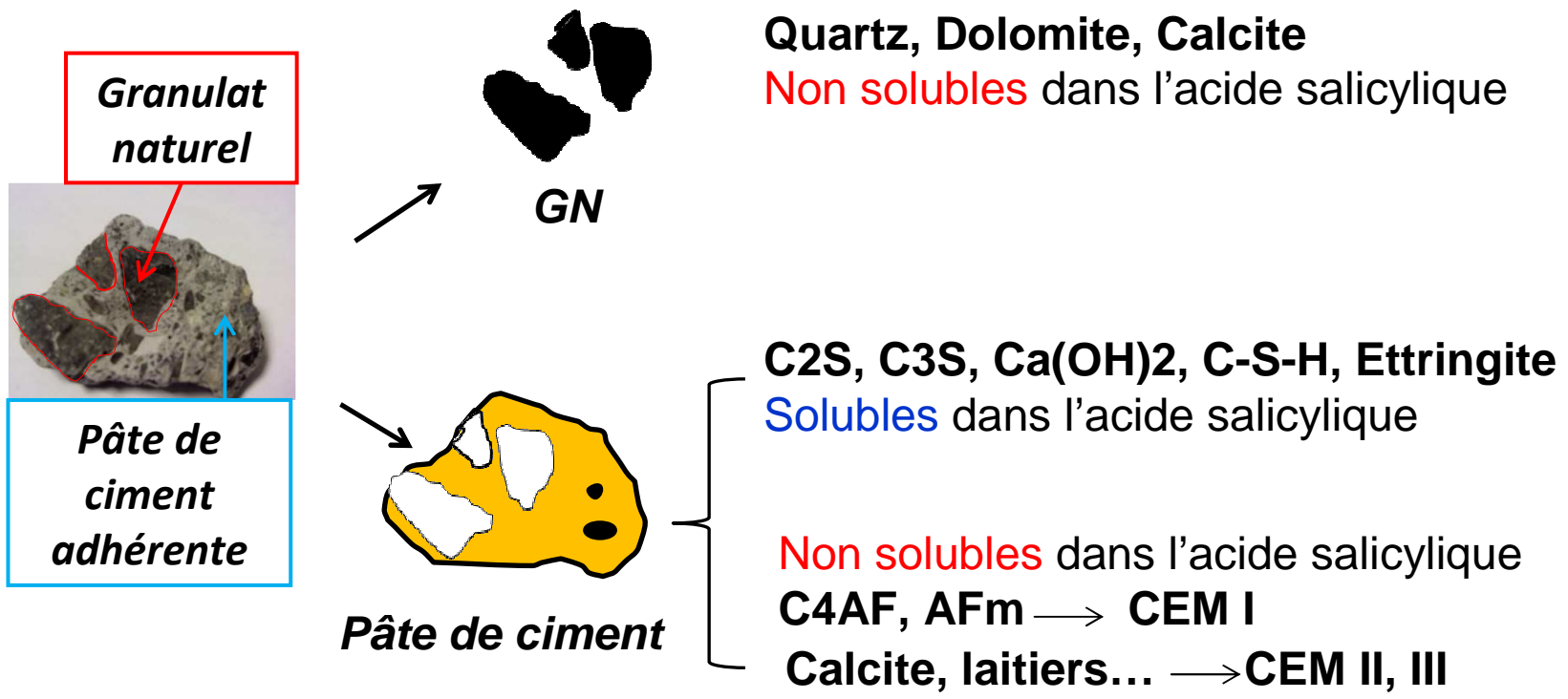
- Difficile à mesurer
- Influencée par: composition du béton; méthode de concassage; taille des particules; conditions de conservation...

## Propriétés des mortiers de granulats recyclés

Le sable recyclé est plus problématique que les gravillons (car teneur en pâte de ciment élevée)

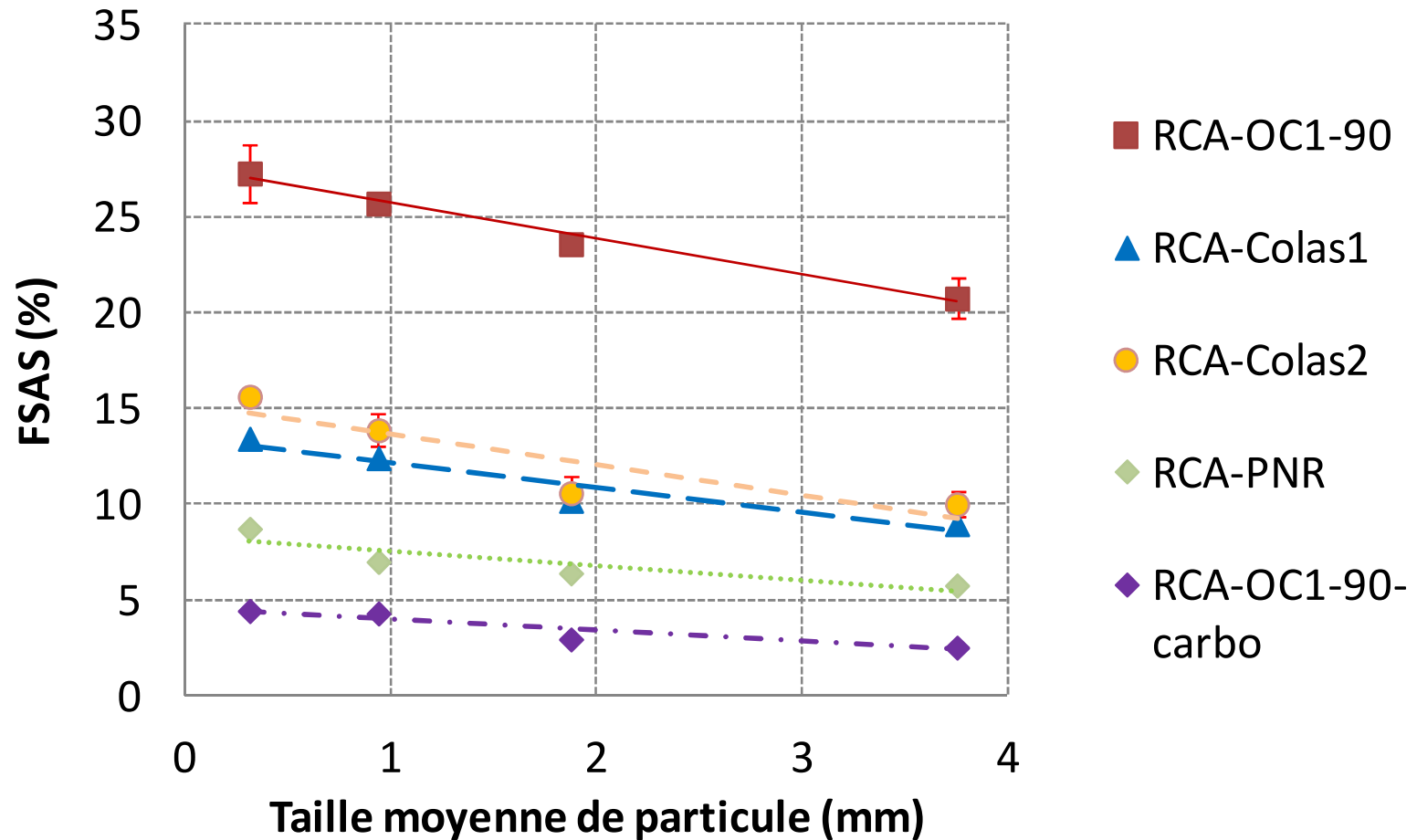
# Mise au point d'une méthode simple pour estimer la teneur en pâte de ciment

## Fraction soluble dans l'acide salicylique (FSAS):



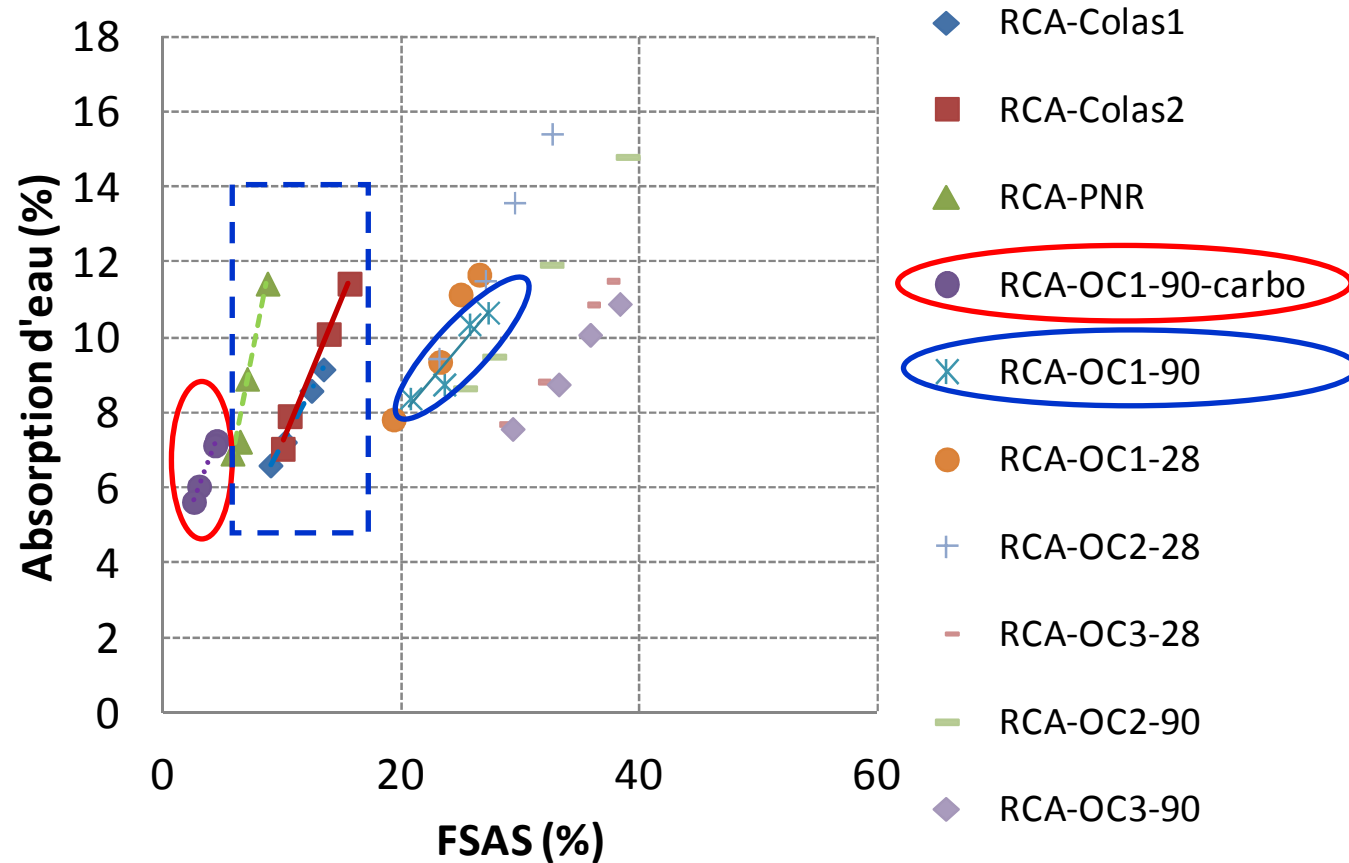
Généralement la fraction soluble permet d'estimer de 70 à 95% de la teneur en pâte de ciment ce qui permet de relier cette teneur avec les principales propriétés

# FSAS en fonction de la taille des granulats



- FSAS augmente quand la taille des granulats diminue
- La carbonatation réduit FSAS car la calcite n'est pas soluble dans l'acide salicylique

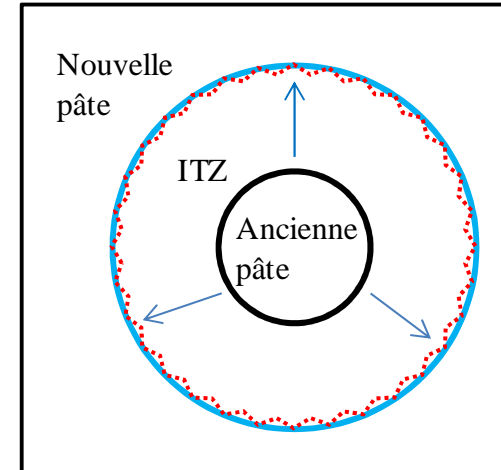
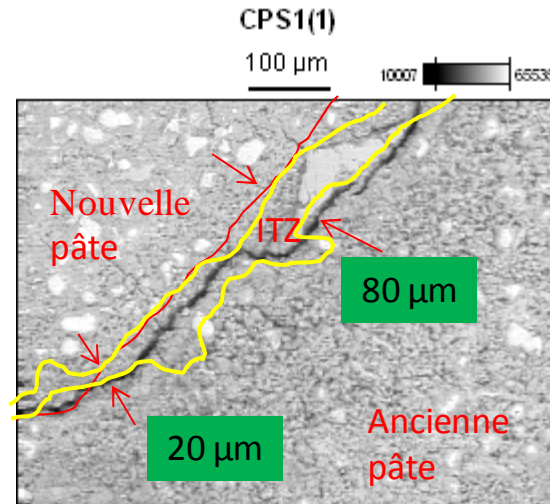
# Impact de FSAS sur l'absorption d'eau



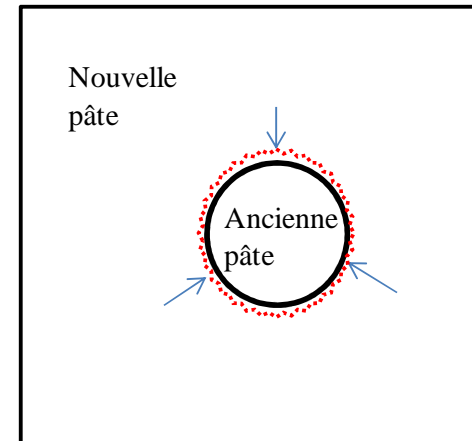
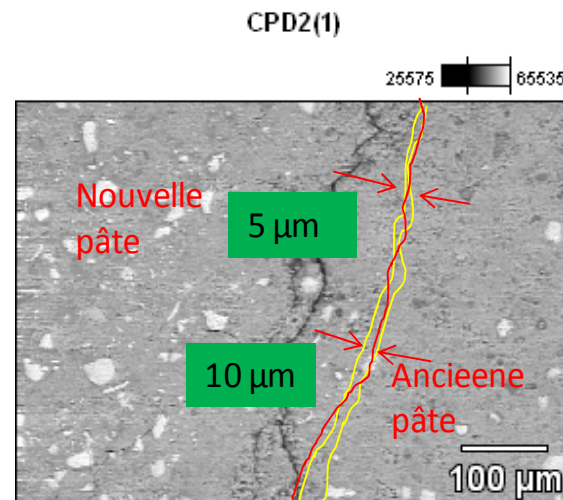
- L'absorption d'eau augmente quand FSAS augmente.
- L'absorption d'eau des GR industriels est comprise entre celles des GR fabriqués au laboratoire avant et après carbonatation.

# Impact de la saturation en eau sur les propriétés mécaniques

GR  
Saturé



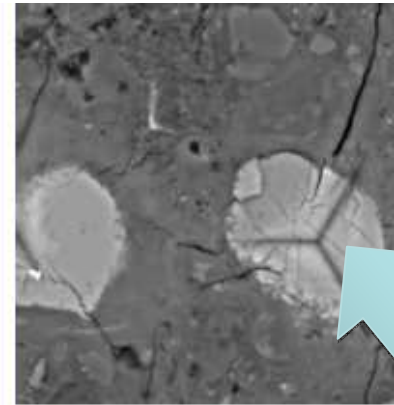
GR  
Sec



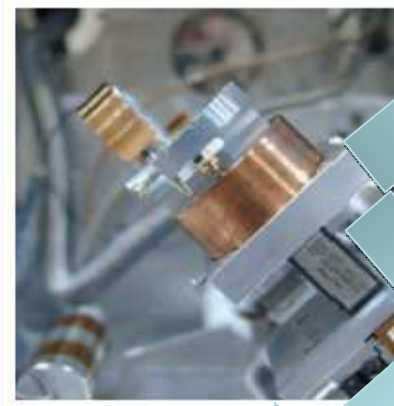
Résistance mécanique à la compression < avec des granulats recyclés saturés: interface (ITZ) plus épaisse et moins performante mécaniquement

# Mesure de la performance mécanique de l'interface pâte - GR par indentation sous MEB

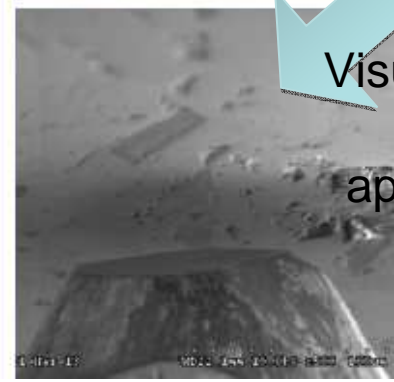
**Prototype unique au monde développé au DGCE**



Localisation précise de l'indentation



Mesure de la géométrie de la zone indentée



Visualisation de l'essai d'indentation : apparition fissures...