

Thème 2 : matériaux et structures

Caractérisation des bétons et granulats recyclés : où en est-on dans les recherches ?

Sophie DECREUSE



Eric GARCIA DIAZ



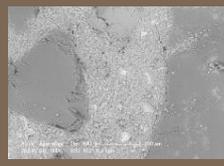
Colloque RECYBETON - S. Decreuse / E. Garcia-Diaz
16/06/2015

Impacts énergétiques,
environnementaux et
sanitaires



LE GT2 a pour objet d'apporter une meilleure connaissance des caractéristiques des granulats recyclés et des bétons recyclés afin de mieux maîtriser les paramètres déterminants :

- ▶ **GT2-A** : Caractérisation des granulats recyclés (*animateur* : S. DECREUSE - CEMEX)
- ▶ **GT2-B** : Caractéristiques des bétons à l'état frais et durcissant (*animateur* : E. GARCIA DIAZ – Ecole des Mines d'Alès)
- ▶ **GT2-C** : Caractéristiques des bétons durcis – caractéristiques mécanique (*animateur* : Elhem GHORBEL – L2MGC – Université de Cergy Pontoise)
- ▶ **GT2-D** : Caractéristiques des bétons durcis – durabilité, gel-dégel, feu (*animateur* : Patrick ROUGEAU – CERIB)



Etude de la validité des normes d'essai mécaniques pour les granulats recyclé

Laboratoire : GPEM-IFSTTAR

Auteurs : Erwan HAMARD - Bogdan CAZACLIU

► **Objet :**

- Analyser l'évolution des granulats de béton recyclé lors des essais de Los Angeles et Micro-Deval, (en fonction du nombre de rotations et de la taille des granulat).
- Evolution des granulats lors de leurs mélanges à sec et humide / comportement dans un malaxeur

► **Conclusions :**

- La création d'éléments fins est fonction du taux de mortier adhérent
- Le LA est corrélé à la production de fines lors d'un malaxage à sec
- Le MDS est corrélé à la production de fines lors d'un malaxage humide.



Etude de la validité des normes d'essai pour les granulats recyclés (caractéristiques physiques et chimiques)

Laboratoire : CTG Italcementi

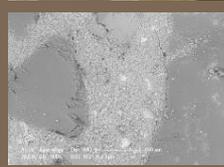
Auteurs : Abdelghafour AÏT ALAIWA & Robert LAVAUD

► Objet :

- Réaliser les essais selon les normes sur les granulats recyclés et naturels pour juger de la pertinence des méthodes d'essai appliquées aux granulats recyclés.

► Conclusions :

- Certains essais réalisés sur les granulats recyclés posent des problèmes en termes de niveaux de valeur ou de répétabilité des essais:
 - Modification du temps de prise (NF EN 1744-6)
 - Chlorures solubles dans l'acide (NF EN 1744-5)
 - Gel/dégel (NF EN 1367-1)
 - Absorption d'eau (NF EN 1097-6)



Etude de la validité des normes d'essai pour les granulats recyclé (Masse volumique et absorption d'eau)

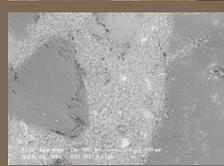
Laboratoires/auteurs : - SIGMA BETON / François JEZEQUEL

► Objet :

- tester sur des granulats recyclés la robustesse de la norme NF EN 1097-6 [1] pour la mesure de la masse volumique et du coefficient d'absorption d'eau ainsi que d'autres protocoles,

► Conclusions :

- Le protocole de la norme NF EN 1097-6 est bien adapté pour qualifier l'absorption des gravillons recyclés
- Le protocole est moins robuste pour les sables recyclés en termes de reproductibilité/répétabilité



Etude de la cinétique d'absorption dans l'eau des sables et gravillons recyclés

Laboratoires/auteurs : L2MGC / Anne-Lise BEAUCOUR

- ▶ **Objet** : mettre au point un essai pour qualifier la cinétique d'absorption des granulats recyclés
- ▶ **Conclusions** :
 - Gravillons :
 - l'absorption à 24 heures mesurée correspond à celle mesurée par la NF EN-1097-6,
 - de l'ordre de 70 à 80% de l'absorption à 24 heures est atteint après 5 minutes
 - l'absorption n'est pas stabilisée après 24 heures
 - Sables :
 - l'absorption à 24 heures mesurée majeure de 3 points en absolue celle mesurée par la NF EN-1097-6
 - de l'ordre de 80 à 90% de l'absorption à 24 heures est atteint après 5 minutes
 - l'absorption n'est pas stabilisée après 24 heures



Variabilité des granulats recyclés – variabilité géographique et temporelle

Laboratoire : SIGMA BETON

Auteurs : François JEZEQUEL

- Voir présentation spécifique



Influence des couples Ciments/Adjuvants sur les bétons à base de granulats recyclés

Laboratoires : L2MGC/ Zine el Abidine TAHAR , El-Hadj KADRI
/auteurs SIGMA BETON/Damien ROGAT, Florian CHALENCON

► Objet :

- tester sur des bétons et des mortiers de granulats recyclés, l'influence de la nature et du dosage des gravillons et du sable recyclés sur les propriétés rhéologiques et mécaniques pour des couples ciment/adjuvant identifiés.

► Conclusions :

- Jusqu'à 30% de substitution par des recyclés les propriétés rhéologiques (affaissement) sont maintenues au-delà elles diminuent,
- Les couples à base de superplastifiants sont ceux qui stabilisent le mieux les propriétés rhéologiques,
- Plus la substitution en sable recyclé augmente plus le seuil de cisaillement et la viscosité plastique du béton augmentent



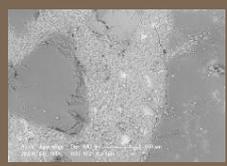
Evolution de la rhéologie du béton frais en fonction du pourcentage et de l'état de pré-saturation des granulats recyclés, et en fonction du malaxage

Laboratoire : LMDC Toulouse

► Auteurs : Vu Nam Nguyen, Franck Cassagnabère, Michel Mouret et Martin Cyr

- Voir présentation spécifique





Fissuration des parties d'ouvrage liée à la dessiccation

Laboratoire : ECN/BOUYGUES TP

► Auteurs : A. BENDIMERAD - E. ROZIERE - A. LOUKILI - P. GEGOUT - F. BARBERON

Objet

- Evaluer l'impact de l'introduction de granulats recyclés granulats recyclés sur le risque de fissuration liée à la dessiccation.
- Fournir des pistes de prévention

► Conclusions :

- Le taux de saturation initial des sables et graviers affecte de manière significative la résistance des mortiers et bétons mais pas l'amplitude du retrait.
- L'amplitude du retrait augmente avec la proportion de granulats recyclés.
- La sensibilité à la fissuration est :
 - maximale pour une proportion de 30 % de graviers recyclés - avec un taux desaturation initial donné (graviers saturés – surface sèche),
 - minimal pour un taux de saturation initial de 70 % – avec un taux de substitution donné (100 % de graviers recyclés),



Fissuration par retrait gêné des bétons à base de granulats recyclés

Laboratoire : LMT-Cachan/CNRS/Université Paris Saclay

Auteurs : F. BENBOUDJEMA, C. DE SA

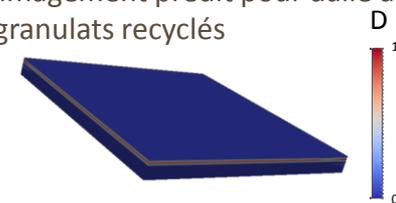
► Objet :

- **Prédire numériquement le comportement au séchage de dalles** (chantier expérimental de Chaponost, 6 formulations de béton de granulats recyclés testées (pour béton CEMII, $R_c=25\text{MPa}$))
- **Analyser la susceptibilité à la fissuration de ces bétons**

► Conclusions :

- **Pas de fissuration superficielle de séchage quelque soit la formulation** (fissuration au niveau des joints de dalle seulement, aussi observée expérimentalement)
- **Béton le plus sensible et susceptible de fissurer** (sous conditions de restrainte totale (encastrement)) : **100% recyclé**

Endommagement prédit pour dalle avec 100% granulats recyclés

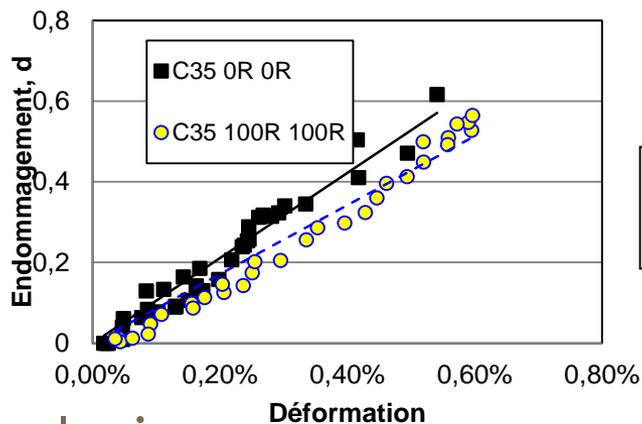


Fissuration observée expérimentalement au niveau des joints de dalle

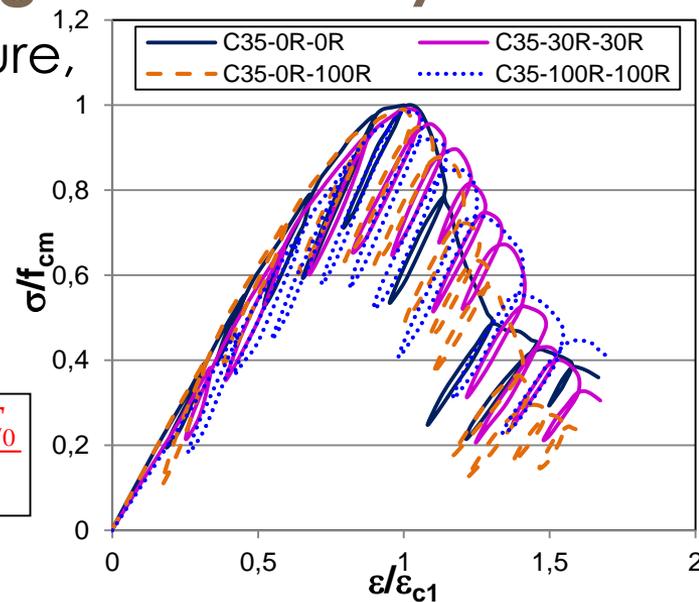
Comportement mécanique des bétons durcis – Endommagement .
 Laboratoire : L2MGC/ M.D NGUYEN, S. OMARY, G. WARDEH, E. GHORBEL

Objet : Etudier l'influence des granulats recyclés sur:

- les propriétés mécaniques et rupture,
- l'applicabilité des Euro-codes,
- l'endommagement: $d = \alpha \langle \varepsilon - \hat{\varepsilon} \rangle$



$$d = \frac{E - E_0}{E_0}$$



Conclusions :

- Une déformation, $\hat{\varepsilon}$, de début d'endommagement plus importante
- Une vitesse d'endommagement plus faible (α)



Adhérence béton recyclé / armatures HA

Laboratoire : L2MGC – Université de Cergy-Pontoise

Auteurs :

- George WARDEH
- Bruno FIORIO
- Elhem GHORBEL
- Hector GOMART

- Voir présentation spécifique

Autres recherches en cours :

- Comportement du béton recyclé durci en fatigue par flexion (utilisation routière (IFSTTAR))
- Comportement structurel des poteaux en béton armé (compression) (IJL)
- Comportement structurel des poutres en béton armé (flexion) (IMFS)



Alcali-réaction (applicabilité de la démarche RAG)

Laboratoires :

- /Auteurs
- IJL Nancy/ Jean-Michel Mechling & André Lecomte
 - Armines - Centre de Douai /David Bulteel
 - LMDC Toulouse /Martin Cyr

► **Objet :**

- Statuer sur l'applicabilité de la démarche RAG (FD P 18-464) pour les bétons réalisés à base de granulats recyclés
- Identifier dans les recommandations les points nécessitant d'être revus dans le cas des GBR

► **Premières conclusions :**

- NF P 18-594, Granulats — Méthodes d'essai de réactivité aux alcalins → mode opératoire nécessite d'être adapté



Impact sur la durabilité d'une teneur en sulfates solubles dans l'eau supérieure à 0,2 %

Laboratoires :

- GeM
- Institut Jean Lamour
- LERM

► **Objet :**

- Préciser les conditions requises pour la maîtrise des risques liés à la présence des sulfates dans les GBR

► **L'étude porte sur les problématiques liées à l'ettringite et à la thaumasite.**

► **La première phase est essentiellement centrée sur les conditions de formation de l'ettringite secondaire :**

- 4 GBR sont caractérisés : teneur en sulfates solubles (dans l'eau, dans l'acide), cartographie de ces phases.
- 2 GBR sont retenus pour fabriquer des GBR à teneur croissante en sulfates solubles (teneur initiale, 0,4, 0,8 et 1,2%), par addition de plâtre ou de colle à plâtre concassés de granulométrie 100µm-2000µm.

► **La seconde phase élargit le champ d'investigation en s'intéressant à l'influence de trois paramètres complémentaires :**

- la température (formation de thaumasite)
- la finesse des sulfates (cinétiques de solubilité)
- le taux de GBR (substitution partielle)





Propriétés de transfert (carbonatation, chlorures) des bétons de granulats recyclés

Laboratoires : - CERIB

Auteurs : - Jonathan MAI NHU

- Voir présentation spécifique

Autres recherches en cours :

- Propriétés physiques des bétons recyclés en fonction de la température (L2MGC)





- ▶ **GT2-A** : variabilité géographique et temporelle des caractéristiques des granulats recyclés (**SIGMA Béton – François JEZEQUEL**)
- ▶ **GT 2-B** : Evolution de la rhéologie du béton recyclé frais en fonction du malaxage, du pourcentage de gravillons recyclés et de l'état de pré-saturation (**LMDC**)
- ▶ **GT 2-C** : Adhérence béton recyclé/armatures HA (**L2MGC-Université de Cergy Pontoise**)
- ▶ **GT 2-D** : Propriétés de transfert (carbonatation, chlorures) des bétons de granulats recyclés (**CERIB - Jonathan Mai-Nhu**)