

# Influence d'Absorption d'Eau des GBR sur l'Eau Efficace des Bétons Recyclés

Eliane Khoury<sup>1,2</sup>, Bogdan Cazacliu<sup>1</sup>, Sébastien Remond<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IFSTTAR, MAST- GPEM- Granulats Procédés et Elaboration des Matériaux, Route de Bouaye-CS4, 44344 Bouguenais, France

<sup>2</sup> IMT Lille Douai, Univ. Lille, EA 4515 - LGCgE – Laboratoire de Génie Civil et géoEnvironnement, F-59000 Lille, France

[eliane\\_khoury@live.com](mailto:eliane_khoury@live.com), [bogdan.cazacliu@ifsttar.fr](mailto:bogdan.cazacliu@ifsttar.fr), [sebastien.remond@imt-lille-douai.fr](mailto:sebastien.remond@imt-lille-douai.fr)

## Résumé

Une mauvaise estimation de la capacité d'absorption d'eau des granulats de béton recyclés (GBR) engendre une eau efficace inadéquate pour le béton recyclé (BR), ce qui entraîne de mauvaises propriétés mécaniques ou une mauvaise ouvrabilité. Par conséquent, une meilleure connaissance de la capacité d'absorption d'eau des GBR in situ est nécessaire. Cet article se concentre sur l'influence sur la capacité d'absorption d'eau de i) l'humidité initiale des GBR, ii) la différence entre cette capacité d'absorption dans l'eau et dans la pâte de ciment ou le BR. A cet effet, des GBR (6.3 / 10) ont été pré-mouillés en utilisant différentes méthodes simulant des granulats pré-humidifiés à long terme (LT) et à court terme (CT) dans le site de stockage. Il est montré que cette histoire de pré-humidification conduit à différents niveaux d'absorption d'eau totale pour un même niveau d'humidité initial. La différence est comprise entre 0 et 1%, en fonction du niveau d'humidité initial.

En outre, pour étudier la différence entre la capacité d'absorption dans l'eau et dans la pâte de ciment, un protocole d'essai d'absorption d'eau dans la pâte de ciment a été adapté aux GBR industriels utilisés. Il est montré que la capacité d'absorption d'eau des GBR dans la pâte de ciment est inférieure à celle dans l'eau. Enfin, différents bétons recyclés ont été réalisés afin d'étudier l'influence de la teneur en eau initiale et de l'historique de pré-mouillage des GBR sur les propriétés du béton à l'état frais.

**Mots-clés :** Granulats de béton recyclés, état de saturation, absorption d'eau, pâte de ciment, béton recyclé.

## Abstract

Poor estimation of the water absorption capacity of recycled concrete aggregates (RCA) engenders inadequate effective water for the recycled concrete (RC), leading to poor mechanical properties or poor workability. Therefore, better knowledge of in-situ RCA water absorption capacity is necessary. This paper focuses on the influence on the water absorption capacity of i) the initial moisture of RCA, and ii) the difference between the absorption capacities in water, in cement paste, and in RC. For this purpose, (6.3/10) RCA were pre-wetted using different methods simulating long-term (LT) and short-term (ST) pre-moistened aggregates. It is shown that this pre-moistened history leads to different levels of total water absorption for a same initial moisture level. The difference lies between 0 and 1%, depending on the initial moisture level. In addition, to study the difference between the water absorption capacity in water and in the cement paste, a protocol of water absorption test in cement paste was adapted to the industrial RCA used. It is shown that the RCA water absorption capacity in cement paste is distinct from that in water. Finally, different recycled concrete have been manufactured in order to study the influence of initial water content and pre-wetting history of RCA on fresh recycled concrete properties (slump).

**Keywords:** Recycled concrete aggregates, pre-wetting history, water absorption, cement paste, recycled concrete.

## 1. Introduction

Une difficulté majeure dans l'utilisation des granulats de béton recyclés (GBR) dans de nouveaux bétons recyclés (BR) est liée à leur forte absorption d'eau et à l'hétérogénéité temporelle de cette caractéristique. Belin et al. [1], ont montré que pour les granulats recyclés de haute porosité, et après une immersion de 24 heures, le coefficient d'absorption d'eau noté  $WA_{24h}$  était inférieur à la capacité d'absorption d'eau des GBR après une immersion à long terme (plus que 24 heures). De plus, plusieurs auteurs [2] ont étudié l'influence de l'état de pré-mouillage des granulats recyclés sur le comportement rhéologique du béton recyclé, en faisant varier le taux d'humidité initial des GBR. La pré-saturation des GBR avant le malaxage de BR pourrait apparaître comme une solution technique potentielle. Mais c'est une tâche complexe qui n'est généralement pas appliquée dans l'industrie.

De plus, on suppose que la capacité d'absorption d'eau des GBR pendant le malaxage du BR est similaire à la capacité d'absorption d'eau après une immersion durant 24 heures dans l'eau [3]. On utilise souvent le coefficient d'absorption d'eau déterminé selon la norme NF EN 1097-6 dans le calcul de l'eau efficace des

bétons. Dans la littérature, la plupart des recherches ont été effectuées pour étudier l'absorption des GBR dans l'eau. A notre connaissance, il n'existe pas de méthode pour déterminer précisément la capacité d'absorption des GBR dans la pâte de ciment et dans le BR. Moreno Juez et al. ont toutefois estimé l'absorption des GBR dans le BR en utilisant une méthode par analyse d'image au cours du malaxage [5]. Le but de ce travail est d'étudier l'influence de la teneur en eau initiale des GBR sur leur capacité d'absorption d'eau et sur le comportement des bétons recyclés afin de mieux maîtriser l'eau efficace réelle du béton. La cinétique d'absorption d'eau des GBR (6.3/10) a été étudiée par la méthode normalisée Européenne NF EN 1097-6. Deux méthodes de pré-mouillage des GBR sont utilisées: le pré-mouillage à long terme (LT) simulé par des essais de saturation sous vide partiel et le pré-mouillage à court terme (CT) simulé par une simple aspersion de la surface des granulats. De plus, des essais d'absorption de GBR industriels dans une pâte de ciment ont été réalisés. Enfin, l'influence de l'histoire de pré-mouillage des GBR sur l'affaissement initial du béton frais recyclé a été étudiée.

## 2. Méthodes Expérimentales et Résultats

### 2.1. Matériaux

Des GBR 6.3/10, composés de 99% de béton recyclé et de 1% de matériaux inertes, ont été utilisés dans toute cette étude. Leurs propriétés physiques essentielles ont été déterminées selon la norme Européenne NF EN 1097-6: coefficient d'absorption d'eau  $WA_{24h} = 4.9 \pm 0.1\%$ , densité réelle sèche  $\rho_{rd} = 2.31 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$  et densité absolue  $\rho_a = 2.60 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ .

### 2.2. Méthodes de pré-mouillage

Des GBR secs et saturés surface sèche ont été obtenus à partir de granulats pré-mouillés dans quatre conditions différentes : 1) GBR immergés dans l'eau sous pression atmosphérique durant 24 heures, puis amenés à l'état saturés en surface sèche (SSS) selon NF EN 1097-6 (notés « air-SSS » dans toute la suite), 2) GBR sous-saturés obtenus en pulvérisant des quantités d'eau déterminées pour avoir des états initiaux différents avec des teneurs en eau initiales  $w_i = 2, 3$  et 4% (notés « air-USSS2% », « air-USSS3% » et « air-USSS4% »), 3) GBR immergés dans l'eau sous vide partiel avec une pression de 40 mbar durant 24 heures puis ramenés à leur état SSS (notés « void-SSS »), et 4) GBR immergés dans l'eau sous vide partiel selon la troisième méthode et laissés séchés à l'air libre pendant plusieurs intervalles de temps pour obtenir différentes teneurs en eau initiales  $w_i = 2, 3$  et 4% (notés « void-USSS2% », « void-USSS3% » et « void-USSS4% »). L'humidification des GBR sous pression atmosphérique simule les GBR après un mouillage à court-terme (CT) et l'immersion dans l'eau sous vide partiel simule l'état des GBR après une humidification à long-terme (LT). Ces deux états de mouillage LT et CT ont été étudiés en détails dans l'étude de Khoury et al. [2].

### 2.3. Capacité d'absorption dans l'eau

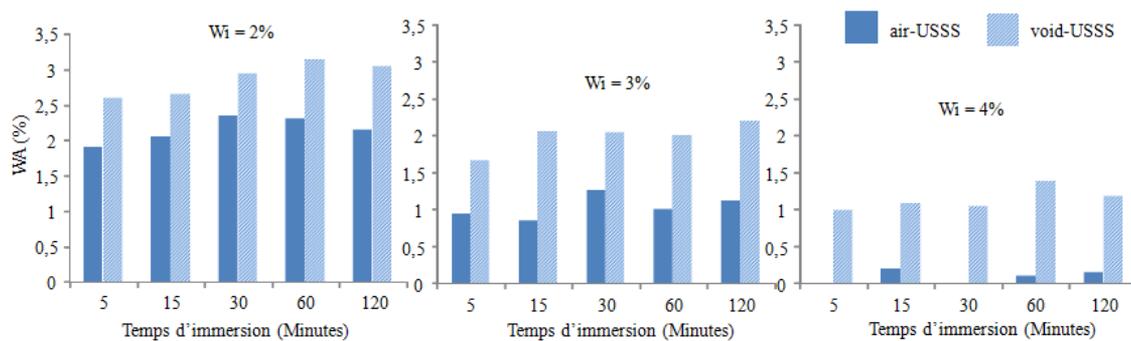
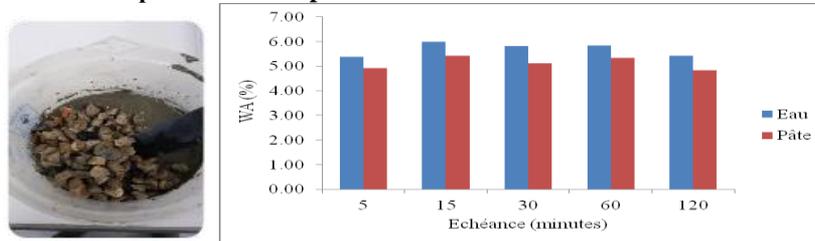


Figure 1: Capacité d'absorption d'eau sous la pression atmosphérique des GBR pré-humidifiés différemment (air-USSS et void-USSS). Les barres représentent l'eau supplémentaire qui a été absorbée après la seconde immersion.

Des essais d'absorption ont été réalisés sur les GBR pré-humidifiés pour étudier l'influence de la teneur en eau initiale ( $w_i$ ) ainsi que l'histoire de l'humidification (modes de pré-mouillage LT et CT) sur leur

capacité d'absorption dans l'eau sous pression atmosphérique durant plusieurs intervalles de temps (5, 15, 30, 60 et 120 minutes). La **Figure 1** montre la variation de la capacité d'absorption d'eau en fonction du temps d'immersion dans l'eau sous pression atmosphérique de GBR pour les différents états initiaux étudiés. Une différence peut être observée entre la capacité d'absorption des GBR pré-mouillés à CT et à LT. Pour les GBR partiellement saturés, la capacité d'absorption d'eau est plus élevée que lorsque les GBR ont été pré-mouillés à LT (void-USSS), la différence étant de l'ordre de 0.5 à 1% d'absorption. Par conséquent, les résultats indiquent que deux GBR à teneur en eau initiale identique ne sont pas équivalents en termes de capacité d'absorption d'eau. L'effet du pré-mouillage sur la capacité d'absorption d'eau varie avec le mode de pré-humidification.

#### 2.4. Capacité d'absorption dans une pâte de ciment



*Figure 2 : Absorption des GBR dans l'eau et dans une pâte de ciment*

La méthode de Bello [4] a été adaptée aux GBR industriels pour évaluer leur capacité d'absorption d'eau dans la pâte de ciment. Le principe de cette méthode est d'immerger les GBR dans une pâte de ciment de rapport  $E_{eff}/P$  bien déterminé pendant des intervalles de temps différents. Au terme d'une échéance donnée, le mélange pâte/granulats est homogénéisé et soigneusement passé au tamis de 4 mm pour séparer mécaniquement les grains enrobés de pâte. Les deux parties séparées sont pesées avant et après séchage à l'étuve pour calculer le coefficient d'absorption des GBR dans la pâte de ciment. Comme le montrent les premiers résultats, l'absorption dans la pâte est inférieure à celle dans l'eau (**Figure 2**).

#### 2.5. Comportement du béton recyclé à l'état frais

Différents bétons recyclés ont été préparés en utilisant les mêmes GBR (6.3/10) comme granulats grossiers, du sable silico-calcaire naturel 0/2.5 mm et du ciment CEMI 52,5.

Un total de 18 gâchées de béton recyclé a été réalisé incorporant les GBR. Le temps de malaxage a été fixé à 5 minutes. Trois séries de béton ont été préparées avec trois rapports eau efficace sur poudre (poudre = ciment+ filler) ( $E_{eff}/P$ ) de 0.3, 0.314 et 0.337. Pour chaque  $E_{eff}/P$ , six mélanges ont été réalisés avec des GBR utilisés dans différents états d'humidité initiale, tout en gardant la même quantité d'eau totale dans les gâchées. Les GBR étaient pré-mouillés à court terme et à long terme avec  $w_i = 2\%$ ,  $3\%$  et  $4\%$ . Immédiatement après le malaxage, l'affaissement du béton frais a été mesuré.

La **Figure 3** montre la variation de l'affaissement initial des BR en fonction de  $E_{eff}/P$  pour différentes teneurs en eau initiales, après différentes méthodes de pré-humidification des GBR. L'affaissement de tous les mélanges augmente avec  $E_{eff}/P$ . Pour une même teneur en eau initiale, le mode de saturation affecte significativement l'affaissement. L'affaissement initial des mélanges contenant des GBR pré-mouillés à CT est toujours plus élevé que celui des bétons contenant des GBR pré-mouillés à LT. Ces comportements sur béton frais confirment les résultats présentés pour la capacité d'absorption dans l'eau des GBR pré-humidifiés à LT et CT. Dans le béton recyclé, le GBR pré-humidifié à LT absorbe plus d'eau que les GBR pré-humidifié à CT, conduisant à un manque d'eau dans la pâte de ciment du béton frais recyclé et influençant l'affaissement. Pour confirmer ces résultats la méthode de suivi du malaxage du béton par analyse d'images, développée par J. Moreno Juez et al.[5] a été utilisée pour suivre le comportement du BR durant le malaxage. Les temps de fluidité des différents mélanges de BR ont été déterminés (**Figure 4**). Les résultats confirment que le béton recyclé contenant des GBR pré-humidifiés à LT est moins fluide que celui contenant des GBR pré-humidifiés à CT (**Figure 4**).

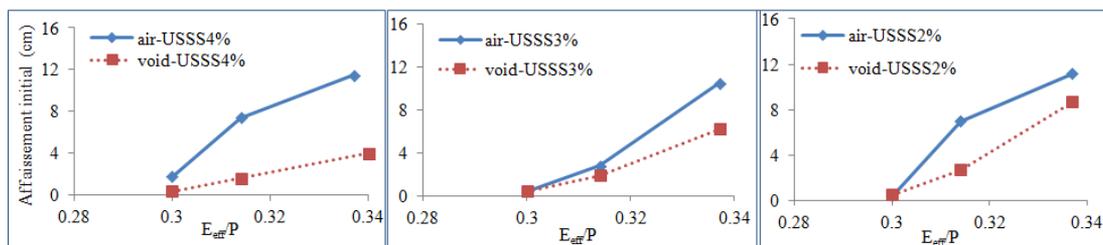


Figure 3 : Comparaison de l'affaissement initial des bétons recyclés contenant des GBR pré-humidifiés à LT (void-USSD) et des GBR pré-humidifiés à CT (air-USSD) avec des teneurs en eau initiale différentes

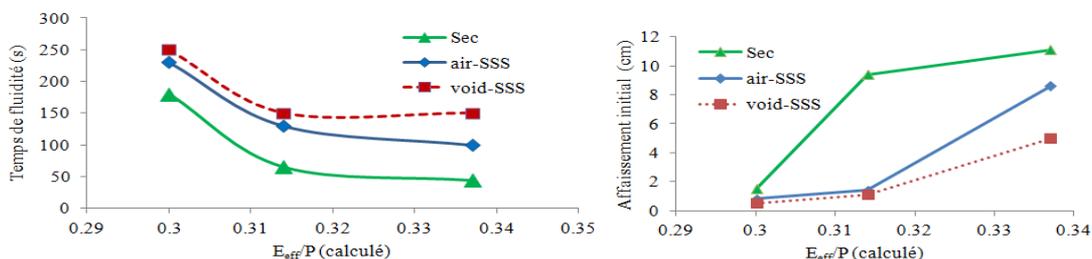


Figure 4 : Temps de fluidité déterminés durant le malaxage des bétons (à gauche) avec les résultats d'affaissement initial (à droite)

### 3. Discussion et Conclusion

Dans cet article, la capacité d'absorption d'eau des GBR (6.3/10) a été étudiée en fonction de leur teneur en eau initiale et de leur histoire de pré-mouillage. Il est montré que le pré-mouillage à long terme (LT) des GBR, simulé par une immersion sous vide partiel, permet une absorption d'eau plus élevée que le pré-mouillage à court terme (CT), simulé par une simple pulvérisation. Les résultats montrent également que deux granulats ayant la même teneur en eau initiale mais des histoires d'humidification différentes peuvent absorber des quantités d'eau différentes. Ceci peut être attribué au fait que les deux méthodes de pré-mouillage utilisées ne remplissent pas les mêmes pores présents dans les GBR (pores accessibles et pores moins accessibles). Les résultats des essais sur les bétons recyclés frais (affaissement initial et temps de fluidité) montrent qu'avec une eau totale constante dans les bétons le comportement du béton recyclé change avec l'état de pré-humidification initial (Figures 3 et 4). En conséquence, le coefficient d'absorption d'eau, déterminé après 24h d'immersion dans l'eau selon la norme NF EN 1097-6, ne permet pas de prédire précisément l'eau efficace réelle du béton recyclé. La capacité d'absorption des GBR dans le béton est surestimée quand la norme NF EN1097-6 est utilisée. Ceci peut engendrer des résultats inattendus aux états frais et durcis pour les bétons recyclés. Une étude plus détaillée est en cours pour bien maîtriser le calcul de l'eau efficace réelle dans le béton recyclé.

#### References

- [1] P. Belin, G. Habert, M. Thiery, and N. Roussel, "Cement paste content and water absorption of recycled concrete coarse aggregates," *Mater. Struct.*, vol. 47, no. 9, pp. 1451–1465, 2013.
- [2] E. Khoury, B. Cazacliu, and S. Remond, "Impact of the initial moisture level and pre-wetting history of recycled concrete aggregates on their water absorption," *Mater. Struct.*, vol. 50, no. 5, pp. 1–12, 2017.
- [3] J. Montero and S. Laserna, "Influence of effective mixing water in recycled concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 132, pp. 343–352, 2017.
- [4] L. Bello, "Mise au point d'une méthodologie pour formuler de nouveaux bétons auto-plaçants légers et durables," 2014.
- [5] J. Moreno Juez, R. Artoni, and B. Cazacliu, "Monitoring of concrete mixing evolution using image analysis," *Powder Technol.*, vol. 305, pp. 477–487, 2017.