

# Effets des conditions environnementales et cycles séchage-imbibition sur les propriétés physiques et mécaniques des mortiers de ciment recyclés.

**Berredjem Layachi<sup>1</sup>, Molez Laurent<sup>2</sup>, Ali Boucetta Tahar<sup>3</sup> et Arabi Nourredine<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> U. B. M. – Annaba - Algérie, LMGE, [berredjem2423@gmail.com](mailto:berredjem2423@gmail.com), [layachi.berredjem@univ-annaba.dz](mailto:layachi.berredjem@univ-annaba.dz) ;

<sup>2</sup> INSA de Rennes, Département de Génie Civil, Laboratoire GCGM, [Laurent.Molez@insa-rennes.fr](mailto:Laurent.Molez@insa-rennes.fr);

<sup>3</sup> U. B. M. – Annaba - Algérie, LMGE, Département de Génie Civil, [tahar.aliboucetta@univ-annaba.dz](mailto:tahar.aliboucetta@univ-annaba.dz) ;

<sup>4</sup> U. B. M. – Annaba - Algérie, LMGE, Département de Génie Civil, [nourredine.arabi@univ-annaba.dz](mailto:nourredine.arabi@univ-annaba.dz);

**RESUME :** Cette étude expérimentale a pour but d'évaluer l'influence de l'incorporation du sable recyclé sur les variations dimensionnelles des mortiers de maçonnerie dues au retrait, et aux effets des cycles séchage-imbibition. Ces propriétés physiques ont été déterminées sur différentes compositions de mortiers de ciment avec et sans adjuvants, confectionné à base du ciment CEM I 52,5 et un rapport sable/ciment (S/C) =3,0, en substituant le sable naturel par le sable recyclé avec différents pourcentages volumiques de : 0, 15, 30, 40, 50, 75 et 100 %.

Pour chaque mortier, 18 éprouvettes, de forme prismatique (4x4x16 cm<sup>3</sup>), ont été confectionnées afin d'évaluer le retrait endogène ainsi que le retrait libre dans trois milieux différents : en salle sèche, salle humide et en salle du laboratoire. En conséquence, la variation de masses et la résistance en compression ont été évaluées sur six éprouvettes qui ont subi 12 cycles séchage-imbibition.

Les résultats montrent en général que les retraits sont plus importants dans la salle sèche et qui sont en relation directe avec l'augmentation du taux de substitution du sable naturel par celui recyclé, et moins prononcés avec l'incorporation du superplastifiant. Cependant, sous l'effet de l'humidité (en salle humide) et des cycles séchage-imbibition, les éprouvettes ont subi des gonflements, particulièrement pour le mortier recyclé à 100%.

**Mots-clefs :** mortier recyclé, retrait, séchage-imbibition, résistance en compression.

## I. Introduction

L'augmentation constante de la population mondiale avec le développement d'une urbanisation accrue qui génère des quantités importantes de déchets de chantiers, dont 90 % sont des déchets de construction et de démolition (C&DW). Le recyclage de ces derniers est désormais en marche et qui a connu une grande évolution dans les pays développés. Il a dépassé le stade d'expérimentation à travers le monde et l'utilisation des granulats recyclés (RA), particulièrement du gravillon recyclé

(GR), est déjà utilisée dans les différentes applications de travaux de génie civil. Cependant, le sable recyclé (SR) est considéré, par certains chercheurs [Zhao et al., 2015], comme nocive à la durabilité. Portant lors du concassage des C&DW une quantité importante de sable recyclé (SR) est inévitable, qui dépasse les 50% de la quantité totale de granulats recyclés produite [Dapena et al., 2011].

Ce travail expérimental, faisant partie de l'étude de la durabilité des mortiers recyclés, vise à étudier l'influence de l'incorporation du sable recyclé sur les variations dimensionnelles des mortiers de ciment dues au retrait, et aux effets des cycles séchage-imbibition.

## II. Procédures expérimentales

### A. Matériaux utilisés et formulation des mortiers

Les matériaux utilisés dans cette étude sont : un CEM I 52,5, deux types de sables de fraction 0/3,15 mm, un sable naturel alluvionnaire (SN) et sable recyclé (SR) et un superplastifiant/haut réducteur d'eau. Le SR est obtenu à la suite d'écrasement des éprouvettes de béton ordinaire et concasser dans un concasseur à mâchoire de laboratoire.

La formulation des mortiers de ciment est réalisée sur la base de : Ciment = 506 kg/m<sup>3</sup>, Eau/Ciment = 0,5 et Sable/Ciment = 3,0. La substitution volumique du SN par le SR est réalisée avec différents pourcentages de : 0, 15, 30, 40, 50, 75 et 100 %. Tous les mortiers sont confectionnés pour avoir la même plasticité du mortier de référence (M0) à base de sable naturel sec. Seuls les mortiers sans superplastifiant ont subi un pré-mouillage avec une quantité d'eau de 9 % du poids du SR.

Les mesures des variations dimensionnelles des différents mortiers de maçonnerie dues au retrait ont été déterminées sur des éprouvettes de forme prismatiques (4x4x16 cm<sup>3</sup>). Lors du moulage, des inserts en laiton ont été noyés dans le matériau aux deux extrémités du moule, et ont été positionnées axialement dans le sens longitudinal du prisme.

Les éprouvettes, trois éprouvettes pour chaque retrait, sont interposées dans trois environnements différents, une salle climatisée est maintenue à (T°= 20 ± 2°C et HR= 55%) pour le retrait total et endogène, une salle humide avec (T°= 20 ± 2°C et HR= 85%) et la salle de labo (climat variable). Les mesures des retraits et perte de masses ont été effectuées régulièrement afin de corrélérer la variation de masse au retrait total.

L'essai séchage-imbibition a été réalisé sur des éprouvettes cylindriques 50x100 mm, trois éprouvettes de chaque mortier, Après 28 jours de cure, les éprouvettes ont subis 12 cycles thermiques : Echauffement dans une étuve à 80°C et refroidissement dans la salle humide à 20°C, pendant 12 heures de chaque. La mesure de perte de masse a été réalisée après chaque cycle (échauffement et refroidissement). Au terme du 12<sup>ème</sup> cycle on a procédé à une caractérisation générale destructive.

### B. Caractéristiques physiques des sables utilisés :

**TABLEAU 1. Principales caractéristiques physiques des sables utilisés**

Caractéristiques physiques	$M_v^{réelle}$ (kg/m <sup>3</sup> )	MF	T. en fillers (<125 µm) (%)	Abs (%)
SN (0/3,15)	2649	2,38	1,4	2,19
SR (0/3,15)	2538	2,71	10,7	12,75

D'après le tableau 1, on remarque que le SR est un sable normal alors que le SN est un sable un peu fin. L'absorption d'eau du SR est très importante, cela peut être expliqué par la nature des gravats source dont est issu le SR, la porosité importante du vieux mortier constituant le SR et la proportion importante de fillers présentant une surface spécifique très élevée.

### III. Résultats

#### A. Retrait libre total et endogène

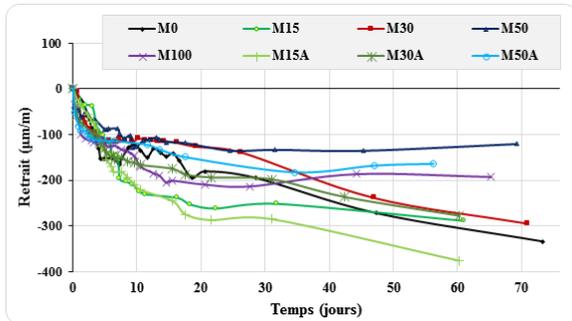


FIGURE 1. Evolution du retrait libre des différents mortiers confectionnés

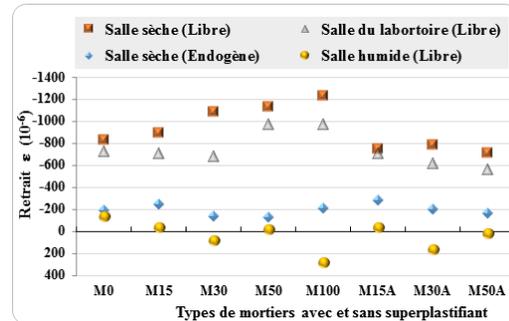


FIGURE 2. Comparaison des retraits des différents mortiers dans quatre milieux (après 28 jours d'exposition)

La figure 1 montre clairement, que l'incorporation du sable recyclé a un impact considérable sur le retrait libre des mortiers recyclés, particulièrement ceux sans superplastifiant (M15 → M100), et il est lié directement au pourcentage du SR dans le mortier. L'humidité et la température sont des facteurs clés du développement du rétrécissement conduisant à un retrait de séchage plus élevé lorsque l'humidité diminue, ou à un retrait plus important avec l'augmentation de la température. Après 28 jours de conservation, dans les quatre milieux différents (Figure 2), les valeurs moyennes du retrait total des mortiers recyclés à la salle sèche, à base de 15%, 30%, 50% et 100% de RS, sont supérieures à celles enregistrées pour le mortier conventionnel de 10%, 30%, 45% et 50%, respectivement. Toutefois, les retraits des mortiers avec du superplastifiant (M15A → M50A) sont presque similaires quel que soit l'environnement d'exposition.

#### B. Effets des cycles séchage-imbibition

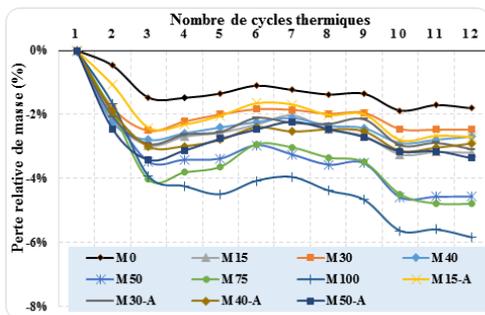


FIGURE 3. Evolution de la perte de masses des mortiers en fonction du nombre de cycles séchage-mouillage

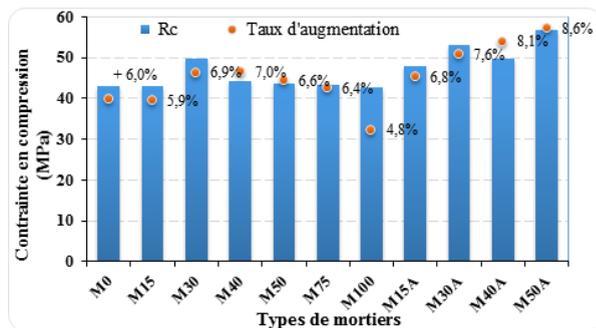


FIGURE 4. Evaluation des résistances en compression des mortiers recyclés sous l'effet des cycles thermiques

On constate, d'après la figure 3, que pour tous les mortiers étudiés et quel que soit le taux de substitution, les mortiers présentent un retrait significatif au terme des 3 premiers cycles de séchage. Ces retraits attendus sont dus à l'évaporation croissante de l'eau contenue dans les éprouvettes. On constate également qu'entre le 4<sup>ème</sup> et 8<sup>ème</sup> cycle, les retraits font place à un gonflement systématique observable sur tous les échantillons. Au cours des cycles de séchage, la recristallisation des grains de C-S-H, et la formation de nouveaux hydrates s'opposent au retrait initialement constaté.

Les cycles séchage-imbibition ont entraîné une augmentation des résistances mécaniques en compression pour tous les mortiers élaborés, figure 4. Ce résultat est très probablement dû à deux processus qui se produisent au cours de ces cycles thermiques : la formation de nouveaux hydrates et la contraction de la matrice en raison de la succion capillaire, d'une part ; [Benboudjema F., 2002]. Ainsi l'augmentation de la densité et l'amélioration des propriétés mécaniques, suite à la formation de carbonate de calcium et du gel de silice (SiO<sub>2</sub>), d'autre part ; [Zhang J. et al., 2015].

#### IV. Conclusion

Il ressort de cette étude quelques constatations, pour la valorisation du sable recyclé dans le domaine de la construction :

- Le retrait libre total des mortiers de ciment recyclés est lié directement avec les milieux environnementaux à savoir de l'humidité et la température, d'une part et au pourcentage du SR, d'autre part.
- L'incorporation du superplastifiant a un impact favorable sur le retrait des mortiers recyclés quel que soit l'environnement d'exposition.
- Les mortiers recyclés présentent le même comportement que celui du mortier de référence vis-à-vis aux cycles thermiques mais pas avec les mêmes cinétiques.
- En termes d'effet des cycles thermiques, la résistance en compression des mortiers recyclés est remarquablement améliorée au cours des cycles séchage-mouillage, particulièrement celles des mortiers formulés avec du superplastifiant.

#### V. Bibliographie

Benboudjema, F, (2002). Modélisation des déformations différées du béton sous sollicitations biaxiales. Application aux enceintes de confinement de bâtiments réacteurs des centrales nucléaires. *Thèse de doctorat*, U. de Marne la Vallée, France, 2002. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00006945>.

Zhao Z., Remond S., Damidot D., Xu W., (2015), Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars, *Constr. Build. Mater.*, 81, 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.037>.

Dapena E., Alaejos P., Lobet A., Pérez D., (2011), Effect of recycled sand content on characteristics of mortars and concretes, *J. Mater. Civil Eng.*, 23: 414-22. [doi:10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000183](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000183).

Vu Nam N., (2016), Valorisation de fines et granulats issus de bétons recyclés comme matériaux cimentaires, *Thèse de doctorat en génie civil : Université Toulouse 3 Paul Sabatier, France*.

Zhang J., Caijun S., Yake Li, Xiaoying P., Chi-Sun P. et Zhaobin Xie., (2015), Influence of carbonated recycled concrete aggregate on properties of cement mortar, *Constr. Build. Mater.*, 98, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.087>.