HAL open science

Durabilité des mortiers de ciment à base du sable recyclé

Layachi Berredjem, Nourredine Arabi, Laurent Molez, Jean-Yves Brossault, Nguyen Van-Minh

To cite this version:

Layachi Berredjem, Nourredine Arabi, Laurent Molez, Jean-Yves Brossault, Nguyen Van-Minh. Durabilité des mortiers de ciment à base du sable recyclé. Academic Journal of Civil Engineering, 2017, 35 (1), 10.26168/ajce.35.1.4 . hal-03627274

HAL Id: hal-03627274

https://hal.science/hal-03627274v1

Submitted on 1 Apr 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Durabilité des mortiers de ciment à base du sable recyclé.

Berredjem Layachi[1*], Arabi Nourredine[2], Molez Laurent[3], Jean-Yves Brossault[4] et Nguyen Van-Minh[5]

[1] *Université Badji Mokhtar Annaba - Algérie, Département de Génie Civil, Laboratoire Matériaux Géomatériaux et Environnement,* berredjem2423@gmail.com;

[2] *Université Badji Mokhtar – Annaba, Département de Génie Civil, Lab. MGE* nourredine.arabi@univ-annaba.dz;

[3] *INSA de Rennes, Département de Génie Civil, Laboratoire GCGM,* laurent.molez@insa-rennes.fr;

[4] *INSA de Rennes, Département de Génie Civil, Laboratoire GCGM,* jean-yves.brossault@insa-rennes.fr;

[5] *Université Paris-Est Marne-la-Vallée, Laboratoire MSME,* vnguye26@etud.u-pem.fr.

RÉSUMÉ. *L'objectif de ce travail expérimental est l'étude de la durabilité des différentes compositions de mortiers de ciment avec et sans adjuvants, en substituant le sable naturel par le sable recyclé avec différents pourcentages volumiques de : 0, 15, 30, 50, 75 et 100 %. Les mélanges de mortiers ont été confectionné à base du ciment CEM I 52,5 et S/C=3,0. La plasticité de ces mortiers est maintenue constante en faisant un pré-mouillage du sable recyclé avec une quantité d'eau optimum de 9% du poids du sable.*

Les résultats obtenus montrent que l'incorporation du sable recyclé à un taux inférieur à 50% améliore la résistance en compression dans le temps. Avec un pourcentage de 30% de sable recyclé, la compacité du mortier est améliorée par l'effet filler. Les mortiers recyclés ont montré une résistance remarquable vis-à-vis aux agressions de l'acide sulfurique, particulièrement celui composé de 100% recyclé et non adjuvanté.

ABSTRACT. *The objective of this experimental work is to study the durability of the various compositions of cement mortars with and without additives by substituting natural sand for recycled sand with different volume percentages of: 0, 15, 30, 50, 75 And 100%. The mortar mixtures were made from cement CEM I 52.5 and S/C = 3.0. The plasticity of these mortars is kept constant by pre-wetting the recycled sand with an optimum water quantity of 9% by weight of the sand.*

The results obtained show that the incorporation of recycled sand at a rate of less than 50% improves the compressive strength over time. With 30% recycled sand, the compactness of the mortar is improved by the filler effect. Recycled mortars have shown remarkable resistance to sulfuric acid aggressions, particularly that of 100% recycled and non-adjuvanted.

MOTS-CLÉS : *mortier de ciment, sable recyclé, lixiviation, résistances mécaniques.*

KEY WORDS: *Cement mortar, recycled sand, leaching, mechanical strength.*

1. Introduction

Aujourd'hui, le recyclage de déchets de construction et de déconstruction (CDW) dans le circuit de la construction constitue les nouvelles opportunités d'approvisionnement en ressources granulaires comme une alternative aux granulats naturels. En Europe, les activités de la construction génèrent 531 millions de tonnes de CDW par an, dont 85% sont des déchets de béton et de maçonnerie. Cependant, le taux de recyclage de ces déchets est seulement 46% en moyenne et dans certains pays, comme la Hollande et l'Allemagne, il a dépassé les 85% [PAC 17]. En France, le projet national RECYBETON et le projet ANR ECOREB s'intéressent à lever les verrous technologiques concernant ce type de granulat afin de mieux maitriser leur utilisation et de les introduire encore davantage dans le contexte normatif [VU 16].

Les granulats recyclés (RA) du CDW en général et du béton (RCA) en particulier, sont déjà utilisés dans les différentes applications de travaux de génie civil et leur faisabilité en travaux routiers a été prouvée par des projets expérimentaux [PAC 17, PED 14]. Au cours des dernières années, plusieurs recherches sont orientées beaucoup plus sur l'utilisation du gravier recyclé dans le béton mais peu d'études existent sur l'utilisation de la fraction fine (<5mm) [COR 09, ZHA 15]. Cependant, lors du concassage des déchets de démolition une quantité importante de sable recyclé (SR) est inévitable, qui dépasse les 50% de la quantité totale de granulats recyclés produite [DAP 11]. Certains chercheurs [BRA 12] considèrent que cette fraction est nocive à la durabilité, suite à sa forte demande en eau. Par contre d'autres études ont trouvé que l'incorporation du SR en remplacement des sables naturels (SN), à pourcentage jusqu'à 30% dans les mortiers, n'influe que légèrement les comportements rhéologiques [BRA 12, SAM 15]. En effet, l'utilisation de granulats recyclés de tous genres contribue fortement à la valorisation des CDW.

L'objectif de ce travail est l'étude de la durabilité des différentes compositions de mortiers de ciment avec et sans adjuvants confectionnés en maintenant une même plasticité. Les essais sont portés sur douze mélanges de mortiers à base du ciment CEM I 52,5 et un S/C=3,0 tout en substituant le SN par SR dans des pourcentages volumiques de : 0, 15, 30, 50, 75 et 100 %.

2. Procédures expérimentales

2.1. 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 et sable recyclé) et un superplastifiant/haut réducteur d'eau (Sika Viscocrete TEMPO 11) avec une plage de dosage de 0,3 à 3,0% du poids du liant.

La formulation des mortiers de ciment est réalisée sur la base de : C=506 kg/m^3, 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. Les mortiers non adjuvantés ont subi un pré-mouillage et un malaxage pendant 10 min avec une quantité d'eau optimum de 9 % du poids du SR, contrairement aux mortiers adjuvantés les sables sont utilisés à l'état sec.

2.2. Caractéristiques chimiques des matériaux :

Tableau 1. Compositions chimiques du ciment et des sables utilisés (réalisées par spectrométrie de fluorescence X)

Matériaux	Poids des oxydes (%)								
	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	SO_3	TiO_2	MgO	Total
CEM I 52,5	70,3	21,2	3,9	0,6	0,3	3,3	0,0	-	99,7
Sable naturel	0,1	93,3	4,3	0,1	2,1	0,0	0,1	-	99,8
Sable recyclé	15,4	66,7	6,2	0,6	1,2	1,1	0,3	-	91,5

Tableau 2. Dissolution des différentes fractions du SR dans l'acide chlorhydrique (0,1N)

Fraction granulaire	< 63µm	63µm - 250µm	250µm - 1mm	1mm - 3,15mm
Perte de poids (%)	9,4	14,4	9,3	5,7

Le tableau 1 montre que les deux sables utilisés sont siliceux. Les pourcentages des oxydes de calcium, de fer et de d'aluminium dans le NS sont inférieurs à ceux dans le RS, et la composition chimique du RS est semblable à celle du ciment, ceci explique la présence des hydrates de ciments dans le RS. La quantité de la portlandite $Ca(OH)_2$ est importante dans la fraction de 63-250 µm du SR (tableau 2), suite au grand pourcentage de la perte du poids de 14,4% due à la dissolution par l'acide chlorhydrique.

3. Propriétés relatives à la durabilité

3.1. Densité apparente, Porosité accessible à l'eau et Absorption d'eau par capillarité :

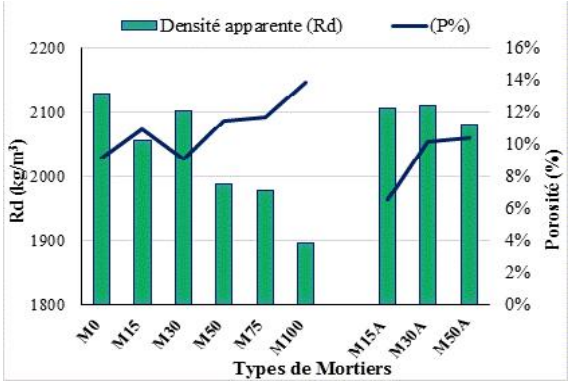

Fig. 1. *Densité apparente, porosité accessible à l'eau des différents mortiers*

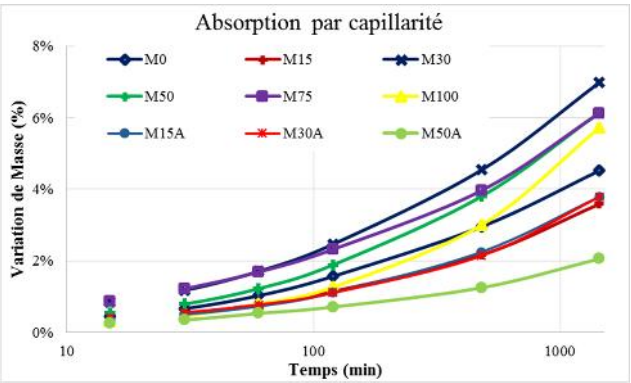

Fig. 2. *Evolution de l'absorption d'eau par capillarité des mortiers en fonction du temps*

Les densités apparentes des mortiers diminuent avec l'augmentation du taux de substitution du SN par le SR et en moins avec les mortiers adjuvantés. Cependant avec un taux de 30% de SR une meilleure compacité est observée avec une porosité de 9%. L'absorption d'eau par capillarité est similaire pour tous les mortiers, cependant leur cinétique est importante pour les mortiers non adjuvantés. Elle est de l'ordre de 6% pour M100 contre 2% pour M50A.

3.2. Lixiviation aux acides sulfuriques (0,5M/L)

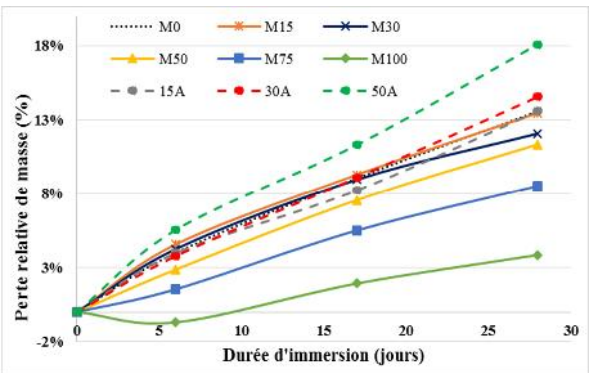

Fig. 4. *Evolution de la perte de masse en fonction du temps d'immersion.*

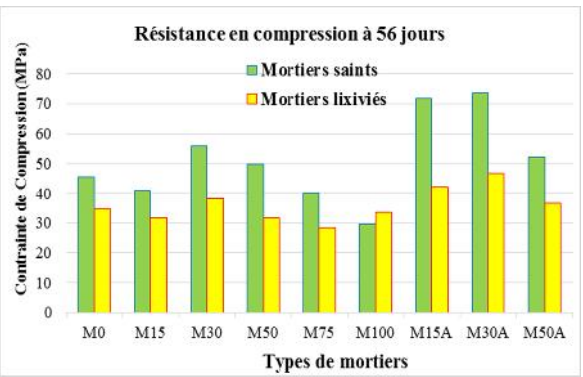

Fig. 3. *Comparaison des résistances en compression des mortiers saints et lixiviés.*

A 56 jours de maturation, les résistances en compression des mortiers recyclés non adjuvantés et pour des taux inférieurs à 50% du SR sont meilleures que celles du mortier naturel de référence et le meilleur gain de résistance (23%) est enregistrée dans M30. Comme précédemment, une importante augmentation était attendue en raison de l'incorporation du superplastifiant avec un rapport E/C constant, l'amélioration de la résistance du M30A est de 32% par rapport au M30 et 62% par rapport à M0

Après 28 jours d'immersion des éprouvettes dans l'acide sulfurique, les pertes de résistances en compression des mortiers non adjuvantés enregistrent des augmentations jusqu'à le taux de 50% de SR avec un pourcentage de 36%, alors le mortier recyclé à 100% montre un gain de résistance de 13%. Cependant, les pertes de .résistances sont plus importantes pour les mortiers adjuvantés, 41% pour M15A, elles diminuent avec l'augmentation du SP.

Mortier temoin (M0)

Mortier recyclé à 100%

Fig. 5. *Photos des mortiers*

Les pertes de masse les plus importantes ont été observées dans les mortiers adjuvantés dont leur compacité est élevée. Inversement aux mortiers non adjuvantés, caractérisés par des grandes porosités. Le mortier recyclé à 100% a subi une augmentation de masse dès le début d'attaque, et une perte relative de masse faible à 28 jours de 4% (voir fig. 5), par comparaison à M0 (14%) et M50A (18%). Cela peut s'expliquer par la formation de l'éttringite suite à la réaction chimique du gypse avec les C_3A, ce dernier est le résultat de la réaction de l'acide sulfurique avec le portlandite [SAV 15], et la porosité des mortiers a facilité la pénétration de l'acide et le contact avec les hydrates.

4. Conclusion

Il ressort de cette étude plusieurs constatations très encourageantes, pour l'application du sable recyclé dans le domaine de la construction :

- Le pré-mouillage du sable recyclé est indispensable [MEF 13], notamment pour quantifier l'eau de gâchage et maitriser l'ouvrabilité des mortiers. La quantité d'eau de pré-mouillage déterminée est de l'ordre de 9% et l'humidification du SR doit se faire au moins 10 min avant le gâchage.
- La meilleure compacité est constatée pour le mortier M30 avec une porosité minimale de 9%, cela est due probablement à l'effet filler.
- L'absorption d'eau par capillarité est liée directement avec la porosité des mortiers, ainsi leur cinétique est importante pour ceux sans superplastifiant.
- Les résistances en compression des mortiers recyclés sont importante que celles du mortier naturel de référence jusqu' un optimum de 50% du SR, et l'incorporation du superplastifiant a amélioré considérablement leur résistance, qui atteint les 62% par rapport à celle du M0.
- La résistance des mortiers recyclés à la lixiviation aux acides est bien remarquable, particulièrement avec le taux de 100% du SR, suite à la formation de l'éttringite qui provoque la chute de résistance mécanique et la carbonate de calcium qui joue le rôle d'une barrière de protection.
- Le taux de remplacement du sable naturel par le sable recyclé peut atteindre les 50%, qui est supérieur à 30% trouvé dans la littérature, sans que toutefois les comportements mécaniques soient amoindris.

5. Bibliographie

[PAC 17] PACHECO J., de BRITO J., FERREIRA J., SOARES D., «Dynamic characterization of full-scale structures made with recycled coarse aggregates», *Journal of Cleaner Production*, vol. 142, n° 4, 2017, p. 4195-4205.

[VU 16] VU NAM N., Valorisation de fines et granulats issus de bétons recyclés comme matériaux cimentaires, Thèse de doctorat en génie civil, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, 2016.

[PED 14] PEDRO D., de BRITO J., EVANGELISTA L., «Influence of the use of recycled concrete aggregates from different sources on structural concrete», *Construction and Building Materials*, vol. 71, 2014, p. 141-151.

[COR 09] CORINALDESI V., «Mechanical behavior of masonry assemblages manufactured with recycled-aggregate mortars», *Cement & Concrete Composites*, vol. 31, n° 7, 2009, p. 505-510.

[ZHA 15] ZHAO Z., REMOND S., DAMIDOT D., XU W., «Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars», *Construction and Building Materials*, vol. 81 , 2015, p. 179-186.

[DAP 11] DAPENA E., ALAEJOS P., LOBET A., PÉREZ D., «Effect of recycled sand content on characteristics of mortars and concretes», *J. Mater. Civil Eng*., vol. 23, 2011, p. 414-22.

[BRA 12] BRAGA M., de BRITO J., VEIGA R., «Incorporation of fine concrete aggregates in mortars», *construction and building Materials*, vol. 36, 2012, p. 960–968.

[SAM 15] SAMIEI R.R., DANIOTTI B., PELOSATO R., DOTELLI G., «Properties of cement–lime mortars vs. cement mortars containing recycled concrete aggregates», *Construction and Building Materials*, vol. 84, 2015, p. 84-94.

[SAV 15] SAVADOGO N. et AL., «Durabilité d'un ciment composé à base des cendres de mâchefer de Tefereyre au Niger : Absorption capillaire, porosité accessible à l'eau et attaque acide», *33èmes Rencontres de l'AUGC, ISABTP/UPPA*, Bayonne, 27 au 29 mai 2015.

[MEF 13] MEFTEH H. et AL., «Influence of moisture conditioning of recycled aggregates on the properties of fresh and hardened concrete», *Journal of Cleaner Production*, vol. 54, 2013, p. 282-288.