Physico-mechanical characterization of composite cementitious mortars modified by resin containing antifoam

Hichem BERKAK¹, Zoubir MAKHLOUFI¹, Madani BEDERINA¹, Abdellah DEMDOUM² and Yacine HADJ AISSA²

¹ Amar THELIDJI University, Structures rehabilitation and materials laboratory, Laghouat, Algeria

² Amar THELIDJI University, Research in civil engineering laboratory, Laghouat, Algeria

Abstract. Nowadays, polymer-modified mortars (PMM) are generally used in the field of building as finishing materials. In general, The properties of the fresh and hardened PMC are affected by several factors that tend to interact each other: the nature of materials used as latex, cement and aggregates; the mix proportions (W/C, polymer/cement ratio, etc.); air content; type and amount of surfactants and anti-foaming; and curing methods. This present experimental work aims to study the influence of the rate of partial substitution of cement by resin containing anti-foaming on the properties of composite mortars in the fresh and hardened state particularly workability, tensile and compressive strengths at different times (3, 7 and 28 days) and module of static elasticity at 28 days. For that purpose, seven mortar combinations were developed from the various substitution percentages (0 to 15% by step of 2.5%). The treatment of the obtained results reveals that this partial replacement of the cement by resin improves, clearly, the workability of mortars and decreases the report W/C at the same time. Besides, the incorporation of resin affects significantly the mechanical strengths, and consequently, the addition by substitution of the polymer-latex improves, slightly, the mechanical behavior in tensile where the rates of increase range from 2.20% to 8.54% for replacement percentages of 2.5% and 15%, respectively. Furthermore, the compressive strengths of cement - resin composite mortars are lower compared to the reference mortar made with the cement Portland (CEM I). The notable decrease in compressive strength of polymer-modified mortars can be justified by the reduction of cementitious part, in hybrid materials, which is an indispensable and responsible part of improving compressive strength.

1 Introduction

La chimie du bâtiment est maintenant basée sur les polymères. L'ingénierie des matériaux polymères est devenue une partie de la construction moderne, car elle permet de fabriquer des matériaux ayant les propriétés désirées et un coût raisonnable [1]. Mais, les mortiers et bétons modifiés par polymères sont utilisés préliminairement comme matériaux de finition ou de réparation [2].

Les différentes combinaisons des dizaines de types des monomères avec des modificateurs produisent beaucoup de variétés de bétons à base de polymères. Parfois, ces bétons ont été utilisés massivement comme matériaux de construction dans certaines applications [3].

La modification des matériaux traditionnels par des polymères devrait augmenter la résistance à la traction ou à la flexion et la ténacité des matériaux, sans induire une diminution importante de la résistance à la compression. En outre, le matériau ciment modifié par polymère présente une bonne liaison et une meilleure adhérence aux agrégats ou ouvrages détériorés déjà existants, il est

donc utile pour la réparation des constructions [4, 5] et améliore l'imperméabilité qui conduit à une plus faible diffusivité des chlorures [6-8], une meilleure résistance au gel [9], une réduction du taux de retrait [10], et finalement améliore la durabilité [11-14].

Les mortiers de ciment modifiés par des polymères sont largement utilisés dans diverses applications comme les infrastructures de transport, les ponts, les murs extérieurs isolants en raison de leur excellente résistance, leur protection de l'environnement et leur meilleure maniabilité [15].

En 1923, le mortier de ciment modifié au latex naturel n'a pas obtenu une place dans l'application pratique à cause de ses compatibilités insatisfaisantes. A l'heure actuelle, une large gamme des polymères synthétiques sont utilisés comme des additifs aux mortiers et bétons cimentaires. Ces additifs peuvent être sous forme liquide ou sous forme de poudre. Lorsqu'ils sont sous forme liquide, on parle de résines comme le Styène-Butadiène (SBR), le Chlorure de Polyvinyle (PVDC), l'Acrylonitrile-Butadiène (NBR), le Polychloropène (CR), l'Ester Polyacrylique (PAE), l'Acétate de Polyvinyle

(PVAC), le poly (Styrène/Acrylate de n-butyle) (SA) ou encore le poly (Ethylène/Acétate de Vinyle) (EVA). En particulier, les mortiers de ciment modifiés de latex SBR ont présenté une excellente dureté et une réduction d'eau, où ils ont déjà été largement utilisés comme des adhésifs, des matériaux de finition et des matériaux de réparation pour les structures en béton armé [16, 17].

Cet article s'inscrit dans le cadre d'un important programme de recherche au sein du laboratoire SREML portant sur les mortiers calcaires en remplacement partiel du ciment par des additions minérales, en privilégiant l'utilisation simultanée de poly-additions et de polymères. En effet, le but voulu par cette étude est d'élaborer un mortier de sable calcaire additionné de résine afin d'améliorer ses propriétés mécaniques surtout la résistance à la traction. Un autre objectif est de trouver la composition optimale d'un mortier calcaire modifié de résine destiné à la finition, la réparation, la reprise de bétonnage, etc. Cette composition constitue les meilleurs compromis entre les propriétés étudiées, à savoir la maniabilité, les résistances mécaniques à la traction et en compression.

2 Détails expérimentaux

2.1 Matériaux utilisés

2.1.1 Ciment

Le ciment Portland CEM I 42,5 HRS provenant de la cimenterie de LE KARROUBA (Tunisie) a été utilisé. La composition chimique et les caractéristiques du ciment employé sont présentées dans les tableaux 1 et 2 respectivement.

Tableau 1. Composition chimique du ciment

Elément	%
SiO ₂	18.83
CaO	61.54
MgO	1.27
Al ₂ O ₃	4.20
Fe ₂ O ₃	5.31
SO ₃	1.96
K ₂ O	0.49
TiO ₂	0.20
Na ₂ O	0.21

P ₂ O ₅	0.29
Perte au feu	5.70

Les constituants minéralogiques de ce ciment, selon la formule de Bogue, sont : le C3S à 66.01%, le C2S à 4.53%, le C3A à 2.16% et le C4AF à 16.14%.

Tableau 2. Caractéristiques du ciment employé

Caractéristique	Norme	Valeur trouvée
Masse volumique absolue (g/cm ³)	NF EN 196-6	3,10
Surface spécifique Blaine (cm ² /g)		3200
Consistance (%)	NF EN 196-3	28
Stabilité (mm)		1

2.1.2 Résine (P)

Au cours de cette expérimentation, la résine utilisée est une résine synthétique nommée TEKWELD provenant de l'entreprise de TECKNACHEM. Cette résine se présente sous la forme d'une solution aqueuse (latex) à haute densité, stable en milieu alcalin, spécialement conçue pour être additionnée à l'eau de gâchage des mortiers, coulis de ciment ou de l'enduit. Les principales propriétés de la résine utilisée sont regroupées dans le tableau 3.

Tableau 3. Principales propriétés de résine TEKWELD

Caractéristiques	Résine TEKWELD
Etat physique	Liquide
Couleur	Blanc
Densité (g/cm ³ , à 20°C)	1,040± 0,02
PH (à 20°C)	4± 1
Extrait sec	26 %± 2 %

2.1.3 Sable

Dans le cadre de valorisation des matériaux locaux de la région de l'atlas saharien algérien, le sable calcaire concassé de fraction 0/5mm provenant d'une carrière située au nord de la ville de Laghouat a été utilisé. Les caractéristiques physiques et la courbe granulométrique du sable sont présentées dans le tableau 3 et la figure 1 respectivement. D'après la figure 1, on a remarqué que le sable calcaire est un sable moyennement grossier, à granulométrie continue et étalée et sa courbe

granulométrique se situe à l'intérieur du fuseau normalisé.

Tableau 4. Propriétés du sable calcaire

Caractéristique	Norme	Valeur trouvée
Masse volumique absolue (g/cm ³)	NF EN 1097-6	2.59
Masse volumique apparente (g/cm ³)		1.49
Equivalent de sable : SE (%)	NF EN 933-8	66
% des éléments <0.08 mm	NF EN 933-1	7.5
Module de finesse : Mf	NF EN 12620	3.21
Coefficient d'absorption : WA ₂₄ (%)	NF EN 1097-6	1.90

Fig. 1. Courbe granulométrique du sable calcaire

2.1.4 Superplastifiant (Sp)

L'adjuvant utilisé est un superplastifiant fabriqué par la société TECKNACHEM et commercialisé sous le nom de SUPERIOR 9 WG. Il est à base de poly-carboxylates de nouvelle génération qui permettent de réaliser des bétons très fluides avec des rapports E/C très réduits. Il est compatible avec tous les types de ciment. Sa plage normale d'utilisation varie selon la fiche technique entre 0.6% à 2% (en extrait sec) du poids de ciment. Il est sous forme liquide de couleur brune de 33% ($\pm 2\%$) d'extrait sec. Sa densité est de 1.10 (± 0.03), et son PH (à 20°C) est de 5.5 (± 1) avec une teneur en chlore inférieure à 0.1%.

2.1.5 Eau de gâchage

Il s'agit de l'eau du robinet de l'université de Laghouat exempté d'impuretés.

2.2 Formulation des mortiers composites

Le mode de préparation des échantillons a été effectué selon la norme EN 196-1. Le tableau 3 récapitule la composition des mélanges d'un volume d'un moule de trois éprouvettes de (4x4x16) cm³. Les essais ont été réalisés sur le mortier de référence et les mortiers contenant différents pourcentages de résine SBR en addition par rapport au dosage en masse du ciment (2.5% à 15 % par pas de 2.5%). Après démoulage, les éprouvettes sont conservées dans l'eau durant 6 jours. Ensuite, elles sont placées à l'air libre au laboratoire à une température de 20 $\pm$ 2°C jusqu'à échéances de 3, 7, 28 jours [18, 19]. Les dosages des différents constituants des mortiers élaborés sont donnés dans le tableau 5.

Tableau 5. Dosages des différents constituants des mortiers élaborés

Désignation des mélanges	C (g)	P (%)	Résine (g)	Sable (g)	Sp (%) *	E/C
M réf.	450	0	0	1350	0.8	0.45
MAR-2.5%	450	2.5	11.25		0.8	
MAR-5%	450	5	22.5		0.7	
MAR-7.5%	450	7.5	33.75		0.7	
MAR-10%	450	10	45		0.6	
MAR-12.5%	450	12.5	56.25		0.6	
MAR-15%	450	15	67.5		0.5	

M réf. : Mortier de référence sans addition de résine; MAR-X% : Mortier modifié par X% de résine par rapport de masse du ciment.

*en extrait sec et par rapport du poids de ciment.

3 Résultats et discussion

3.1 Effet de résine sur la maniabilité des mortiers élaborés

La substitution massive simultanée du ciment par la résine engendre une variation de la maniabilité du mélange frais caractérisée par l'écoulement des mortiers à l'état frais. Les essais réalisés, permettant de mesurer le temps d'écoulement au maniabilimètre LCL de mortier type «B».

Les résultats de l'évolution de la maniabilité à l'état frais des mortiers étudiés en fonction de taux de substitution partielle de matrice cimentaire par une matrice polymérique sont représentés sur la figure 2.

Fig. 2. Variation du temps d'écoulement en fonction du rapport P/C (%)

Les résultats présentés sur toutes les figures montrent une faible variation du temps d'écoulement pour l'ensemble des compositions quelles que soient la teneur de résine. Le constat général qui se dégage est une légère amélioration de la fluidité des mortiers par l'addition de résine malgré que le % du superplastifiant diminue de 0.8% à 0.5% du poids de ciment. Cette constatation est également conforme aux résultats antérieurs [20-22].

Les mortiers contenant un taux élevé en résine montrent une consistance diminuée. Pour une maniabilité fixe, l'incorporation de la résine dans ces mortiers calcaires fait donc décroître la demande en eau.

Nous constatons également que les comportements de tous les mélanges sont proches les uns des autres où le temps d'écoulement de ces mélanges varie de 10.17 à 8.22s.

Enfin, l'ajout du polymère améliore la maniabilité du mélange où le mortier nécessite alors moins d'eau pour une même consistance. De plus, le polymère lui-même réduit la ségrégation [20].

3.2 Effet de résine sur la résistance à la traction

Les figures 3 et 4 montrent l'évolution de la résistance à la traction par flexion des mortiers élaborés, en variant le rapport P/C à 3, 7 jours ensemble et à 28 jours respectivement.

Fig. 3. Effet du rapport P/C (%) sur la résistance à la traction des mortiers calcaires à 3 et 7 jours

Fig. 4. Effet du rapport P/C (%) sur la résistance à la traction des mortiers calcaires à 28 jours

On constate d'après ces résultats obtenus que, quel que soit le rapport P/C, la résistance à la traction évolue positivement avec le temps. Notons aussi, que la résistance du mortier témoin composé de 100% de ciment Portland ordinaire est constamment la plus élevée que celle des mortiers modifiés de résine à 3 jours. Mais, à 7 jours, le mortier contenant 2.5% de résine semble le plus approprié pour les mortiers modifiés de résine et pour ce rapport, la valeur de résistance à la traction est égale à 5.60 MPa présentant une amélioration de l'ordre de 20% en comparaison avec mortier témoin. Au-delà de 2.5%, la résistance à la traction diminue lorsque le rapport P/C croît à 3 et 7 jours. Ceci est en concordance avec d'autres résultats qui ont montré que la résistance à la traction ou à la flexion augmente avec l'augmentation du taux de polymère latex incorporé aux mortiers jusqu'à une quantité seuil qui est égale à 2.5% de résine dans cette étude [27,28].

À 28 jours, ces résistances à la traction continuent d'évoluer positivement avec le temps. Ainsi que, les incorporations de 2.5% à 5% du latex améliorent légèrement la résistance à la traction en comparant au mortier de référence. En outre, On a également constaté que le mortier additionné de 15% de résine présente le meilleur comportement à la traction et sa résistance est de 6.9 MPa.

En général, ces augmentations peuvent être expliquées par l'amélioration globale de la liaison entre les grains de ciment par le latex, à la formation du film de polymère qui est en partie responsable de l'amélioration mécanique des mortiers modifiés et au pontage des microfissures par le polymère [29-37]. Zhong a observé une augmentation de la résistance en compression et une continuité des valeurs de résistances en flexion, il l'associe donc à la bonne résistance en traction des films de polymère [38]. Toutefois, Demiingthon et Justnes ont montré que la présence du film n'est pas nécessaire à l'amélioration des propriétés mécaniques si le latex utilisé est apte à former des complexes avec les minéraux du ciment où la nature et la stabilité de certains hydrates sont modifiées, par exemple l'ettringite formée est plus stable [39].

3.3 Effet de résine sur la résistance à la compression

Les figures 5 et 6 présentent l'influence du rapport P/C (%) sur la résistance à la compression des mortiers élaborés à 3, 7 jours ensemble et à 28 jours respectivement.

Fig. 5. Effet du rapport P/C (%) sur la résistance à la compression des mortiers calcaires à 3 et 7 jours

Fig. 6. Effet du rapport P/C (%) sur la résistance à la compression des mortiers calcaires à 28 jours

Il est nettement clair selon les figures 5 et 6 que le mortier contenant 2.5% de résine possède une meilleure résistance à la compression que celle de tous les mortiers élaborés à 7 jours. Mais à 28 jours, la résistance en compression du mortier de contrôle est plus élevée que celle des autres mortiers. Ceci confirme les résultats de plusieurs autres chercheurs qui ont travaillé depuis plusieurs années dans ce domaine et qui ont montré que l'addition de polymère a un effet néfaste sur la résistance à la compression des mortiers, où cette résistance reste identique à celle du mortier non adjuvanté [9, 10].

En outre, il a été noté que la résistance à la compression diminue rapidement quand le rapport P/C augmente quel que soit l'âge des éprouvettes des mortiers testés (3, 7 et 28 jours) ; cela est dû à la réduction de la partie cimentaire, dans les matériaux hybrides, ce qui est une partie indispensable et responsable de l'amélioration de la résistance à la compression.

4 Conclusion

L'ensemble des essais effectués dans cette étude a permis de tirer les conclusions suivantes:

*Les résistances à la traction du mortier témoin composé de 15% de polymère latex sont constamment les plus élevées que celles des mortiers élaborés à 28 jours.

*L'addition de polymère a un effet néfaste sur la résistance à la compression des mortiers ou cette résistance reste identique à celle du mortier non adjuvanté.

5 Recommandations et perspectives

Bien que ce travail a permis de donner une idée sur l'influence de résine sur le comportement physico-mécanique des mortiers calcaires contenant un superplastifiant surtout les résistances à la traction et en compression, il devrait être approfondi et enrichi en procédant à:

*Des examens microstructuraux par microscopie électronique à balayage, car ce moyen constitue un outil de choix permettant non seulement de quantifier le degré d'hydratation mais aussi de préciser la structuration des phases ;

*L'identification des phases cristallines, au cours de l'hydratation, par diffractométrie des rayons X ;

*L'étude du degré d'hydratation et son évolution à court et à long terme ;

*La mesure d'autres réponses de mélanges élaborés surtout la nature des matériaux utilisés comme le latex, les types des granulats; le rapport E/C et les méthodes de conservation ;

*La transposition au matériau béton.

References

1. Ch. D. Vacchiano, L. Incarnato, P. Scarfato, D. Acierio, *Conservation of tuff stone with polymeric resins*, Constr. Build. Mater. 22, 855–865(2008).
2. Ohama Y. *Handbook of polymer-modified concrete and mortars*. Park Ridge, NJ. Noyes Publications; (1995).
3. Yao H, Liang N, Sun L, Meng J. *The design of the polymer cement concrete pavement and the analysis of test road*. J Chongqing Jiaotong Univ; 24:83–7; (2005).
4. Islam, MA., Rahman, MM., Ahmed, M., 2011. *Polymer-modified concrete: world experience and potential to Bangladesh*, Point of View, Indian Concrete Journal, pp. 55-63.
5. Barbuta, M., Harja, M., *Experimental study on the characteristics of polymer concrete with epoxy resin*, Bul. Inst. Polit. Iasi, t. LIV (LVIII), f. 1, pp. 53-39 ; (2008).
6. Zhong SY, Chen ZY. *Properties of latex blends and its modified cement mortars*. Cem. Concr. Res.; 32(10):1515–24; (2002).
7. Zhong SY, Shi ML, Chen ZY. *The AC response of polymer coated mortar specimens*. Cem. Concr. Res. 2; 32(6):983 -7; (2002).

8. Yang Z, Shi X, Creighton A, Peterson M. *Effect of styrene-butadiene rubber latex on the chloride permeability and microstructure of Portland cement mortar*. Constr. Build. Mater.; 23(6):2283–90; (2008).
9. Mirza J, Mirza MS, Lapointe R. *Laboratory and field performance of polymer modified cement-based repair mortars in cold climates*. Constr Build Mater; 16(6):365–74; (2002).
10. Wang R, Wang PM. *Function of styrene-acrylic ester copolymer latex in cement mortar*. Mater Struct.;43(4):443–51 ; (2010).
11. Al-Zahrani MM, Maslehuddin M, Al-Dulaijan SU, Ibrahim M. *Mechanical properties and durability characteristics of polymer and cement-based repair materials*. Cem Concr Compos; 25(4–5):527–37; (2003).
12. Ohama Y. *Polymer-based materials for repair and improved durability: Japanese experience*. Constr Build Mater; 10(1):77–82; (1996).
13. Ohama Y. *Principle of latex modification and some typical properties of latex modified mortars and concretes*. ACI Mater J;84(6):511–8; (1987).
14. Sakai E, Sugita J. *Composite mechanism of polymer modified cement*. Cem Concr Res; 25(1):127–35; (1995).
15. L.K. Aggarwal, P.C. Thapliyal, S.R. Karade, *Properties of polymer-modified mortars using epoxy and acrylic emulsions*, Constr. Build. Mater. 21 (2) 379–383; (2007).
16. R. Wang, X.G. Li, P.M. Wang, *Influence of polymer on cement hydration in SBR- modified cement pastes*, Cem. Concr. Res. 36 (9) 1744–1751; (2006).
17. J. Mirza, M.S. Mirza, R. Lapointe, *Laboratory and field performance of polymer- modified cement-based repair mortars in cold climates*, Constr. Build. Mater. 16 (6) 365–374; (2002).
18. Min Wang, Rumin Wanga, , Hao Yao, Shameel Farhan, Shuirong Zheng, Zhujun Wanga, Congcong Du a, Hao Jiang, *Research on the mechanism of polymer latex modified cement*. Construction and Building Materials 111; 710–718 (2016)
19. BERKAK H, MAKHLOUFI Zoubir, BEDERINA Madani, HADJOUDJA Mourad, *Effet de cure sur le comportement physico-mécanique des mortiers calcaires modifiés de résine*. Séminaire International sur les Matériaux Locaux et la Construction Durable (SIMaLoCoD) Adrar, le 04 et 05 décembre (2016).
20. Z. Su. *Microstructure of polymer cement concrete*. Ph D thesis. Delft University Press, the Netherlands, 189 pp; (1995).
21. L.M. Saija. *Water proofing of Portland cement mortars with a specially designed polyacrylic latex*. Cement and Concrete Research, vol. 25 (3), pages 503-509, (1995).
22. G. Barluenga, F. Hernandez-Olivares. *SBR latex modified mortar rheology and mechanical behaviour*. Cement and Concrete Research, vol. 34, pages 527-535, (2004).
23. Pascal S. *Comportement mécanique de composites mortier-polymère*. Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Paris, Paris, 348 p, (2002).
24. Barluenga G., Hernandez-Olivares F. *SBR latex modified mortar rheology and mechanical behavior*. Cement and Concrete Research, vol. 34, p. 527-535, (2004).
25. Y. Ohama. *Polymer based admixtures*. Cement and Concrete Composites, vol. 20, pages 189-212, (1998).
26. F.A. Shaker, A.S. El Dieb, M.M. Reda. *Durability of styrene-butadiene latex modified concrete*. Cement and Concrete Research, vol. 27 (5), pages 711-720.
27. L. Bureau, A. Alliche, P. Pilvin, S. Pascal. *Mechanical characterization of styrene-butadiene modified mortar*. Materials, Science and Engineering A, vol. 308, 2001, pages 233-240, (1997).
28. S. Pascal. *Comportement mécanique de composites mortier-polymère*. Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures, Ecole Centrale Paris, 206 pages, (2002).
29. S. Pascal, A. Alliche, P. Pilvin. *Mechanical behaviour of polymer modified mortars*. Materials Science & Engineering A, vol. 380, pages 1-8, (2004).
30. A. Jenni, L. Holzer, R. Zurbriggen, M. Herwegh. *Influence on microstructure and adhesive strength of cementitious tile adhesive mortars*. Cement and Concrete Research, vol.35, pages 35-50, (2005).
31. W. Jingang, Z. Shuxiang, Y. Haiquin, K. Xiangzheng, W. Xikui, G. Zhongmao. *Study of cement mortars modified by emulsifier-free latexes*. Cement & Concrete Composite, vol. 27, pages 920-925, (2005).
32. S. Zhong, Z. Chen. *Properties of latex blends and its modified cement mortars*. Cement and Concrete Research, vol. 32, pages 1515-1524, (2002).
33. S.P. Dennington, J.W. Thompson. *Proceedings of the 10th International Congress on the Chemistry of Cement*, (1997).