Revue des Sciences et Sciences de l'ingénieur
Journal of sciences and engineering sciences

ISSN 2170-0737 EISSN: 2600-7029

https://www.asjp.cerist.dz/en/PresentationRevue/303

Durabilite des mortiers à base de sable alluvionnaire siliceux substitué par du sable calcaire de concassage vis-a-vis des agressions chimiques

***Bounoua Abdelkrim[1], Boukhelkhal Aboubakeur[2], Bederina Madani[1], Makhloufi Zoubir[1]**
[1] Structures Rehabilitation and Materials Laboratory, University of Laghouat, PO Box 37G, Laghouat 03000, Algeria.
[2] Civil Engineering Laboratory, University of Laghouat, PO Box 37G, Laghouat 03000, Algeria

Article history
Received: 2020-06-02
Accepted: 2020-07-27

Abstract

This experimental work aims to study the effect of partial replacement of siliceous river sand (SRS) by limestone crushed sand (LCS) on the durability of normal mortars exposed to chemical aggression($MgSO_4$) with high concentration (10%). The use of LCS which is available in large quantitiesinLaghouat region as a waste in stone carriers, as substitutes of SRS is a good solution to reduce theconsummation of this latter and therefore protect the environment. The selected percentages of substitution were 50 and 100%, and the samples wereexposed to $MgSO_4$ with accelerated immersion-drying cycles. The performed testswere weight loss, compressive strength, mineralogical analysis by DRXand visual control. The results show that the incorporation of limestone crushed sand improves the durability of mixtures mortar by decreasing themass and mechanical strengths loss.

Key-words: mortar, siliceous river sand, crushed limestone sand, substitution, durability, and immersion-drying accelerated cycles.

Résumé

Le présent travail expérimental consiste à étudier l'effet de la substitution du sable alluvionnaire siliceuse (SAS) par du sable calcaire de concassage (SCC) sur la durabilité des mortiers normalisésvis-à-vis l'agression chimique ($MgSO_4$) de forte concentration (10%). L'usage du SCC qui est disponible en large quantitédans la région de Laghouat sous forme des déchets de carrière de concassage, comme substituant auSASest une solution idéale pour réduire la consommationde cette dernière et par conséquent protéger l'environnement. Les pourcentages de substitution envisagés sont 50 et 100%, les échantillons testés sont soumis à l'action agressive de lasolution MgSO4 à travers des cycles immersion-séchage accélérés. Les essais réalisés sont la variation de masse, la résistance mécanique, analyse minéralogique par DRX et control visuel. Les résultats montrent que l'incorporation du SCCaméliore la durabilité des mortiers formulés puisque une diminution de la perte de masse et des résistances mécaniquesaété constatée.

Mots-clés : mortier, sable alluvionnaire siliceuse, sable calcaire de concassage, substitution, durabilité, cycle immersion-séchage.

* Corresponding author. Tel 0660894514
E-mail address: karimboun47@gmail.com

1. Introduction

La majorité des constructions dans différentes régions en Algérie sont réalisées avec desmortiers et bétons à base de sables alluvionnaire. A Laghouat, le sables alluvionnaire provenant d'Oued M'zi est consommé d'une manière anarchique et abusive ce qui constitue une agression contre l'environnement et met, ainsi, en péril tout l'écosystème [1]. L'utilisation des déchets de concassage des pierres massives est une solution intéressante. En effet, les carrières dans lesquels des pierres massives d'origine calcaire sont cassées pour en obtenir des granulats de différentes tailles (15/25, 8/15 et 3/8), génèrent annuellement des quantités énormesde déchets sous forme des particules inférieures à 3 mm (sable calcaire) dont leur incorporation dans les mortiers et les bétons peut résoudre certains des problèmes suscités. L'emploi de ce matériau local est acceptable du point de vue technique dans le domaine de construction [2].

Les ions sulfates sont présents de façon naturelle dans l'eau de mer, dans certains sols et eaux souterraines, et peuvent attaquer les ouvrages enterrés tels que les fondations posées sur un sol riche en gypse ou contenant de déchets radioactifs [3]. Les dégradations se traduisent dans le béton et le mortier par la décomposition des produits d'hydratation du ciment, en particulier la portlandite, puis la formation de produits expansifs tels que le gypse etl'ettringite, et en fin l'apparition des fissures dans la matrice cimentaire associée àune désintégration des particules solides [4].

Cette recherche tente à examiner la durabilité des mortiers vis-à-vis des agressions chimiques ($MgSO_4$)de forte concentration (10%). Elle consiste à étudier l'effet de substitution du sable alluvionnaire siliceuse par du sable calcaire de concassage dans l'objectif de déterminer le pourcentage de substitution optimal permettant d'améliorer les performancesdes mortiers face aux environnements chimiquement agressifs.

2. Programme Expérimental

2.1 Matériaux utilisés

Le ciment utilisé pour la préparation de différents mélanges est un ciment portland artificiel (CPA ou CEMI) de classe 42,5, il provient de la cimenterie de M'sila.La composition chimique et les propriétés physico-mécaniques du ciment sont présentées dans le tableau 1.Les sables envisagés sont :

- Le sable d'Oued M'Zi (Région de Laghouat) est un sable alluvionnaire siliceuse car il est constituémajoritairement du Quartz (SiO_2), il est caractérisé par des particules de forme roulée et de surface lisse.
- Le sable calcaire de concassage est un résidu de concassage des roches calcaires, ses particules présentent une forme anguleuse et une surface rugueuse qui sont dues essentiellement au concassage et la nature texturale de ses roches. Les propriétés physiques des deux sables sont données dans le tableau 2.

Tableau 1 : composition chimique et propriétés physiques du ciment

Composition chimique	Élément	(%)
	SiO_2	20,14
	CaO	63,47
	MgO	2,12
	Al_2O_3	3,71
	Fe_2O_3	4,74
	SO_3	2,67
	K_2O	0,47
	T_iO_2	0,21
	Na_2O	0,69
	P_2O_5	0,06
	Perte au feu	1,72
Propriétés physiques	Densité spécifique	3,1
	Finesse(cm^2/g)	3300

Tableau 2 : Propriétés physiques des sables envisagés

Propriétés physiques	SAS	SCC
Masse volumique absolue (kg/m^3)	2580	2700
Masse volumique apparente (kg/m^3)	1480	1530
Compacité (%)	57,3	56,7
Porosité (%)	42,7	43,3
Module de finesse	2,45	2,30
Equivalent de sable (visuel, %)	84	71,34
Equivalent de sable (au piston, %)	88	76,46
Coefficient d'absorption (%)	0,58	4,30

2.2 Formulation du mélange

Dans ce travail expérimental, nous allons étudier trois compositions C0, C1 et C2dont leurs constituants sont présentés dans le tableau 3.Pour un mortier normalisé, les paramètres de formulation tels que les rapports Eau/Ciment (E/C) et Sable/Ciment (S/C) sont pris respectivement égal à 0,5 et 3.Un adjuvant de plastifiant a été utilisé pour pallier leproblème de malaxagequi devient de plus en plus difficile avec l'addition du sable calcaire.

Tableau 3 : Différentes formulations étudiées

Compositions	C0	C2	C4
Sable calcaire (%)	0	50	100
Sable Calcaire (kg/m^3)	0	675	1350

Sable Alluvionnaire (kg/m^3)	1350	675	0
Ciment (kg /m^3)	450	450	450
Eau (l/m^3)	225	225	225
Plastifiant(%)	0,4	0,9	1,5
Plastifiant(kg/m^3)	1,8	4,05	6,75

2.3 Essais réalisés

Des éprouvettes de 40×40×160 mm de dimensions des trois compositions ont été soumises à une cure initiale dans l'eau saturée en chaux pendant 28 jours (humidité relative 90% et température 21°C). Les éprouvettes sont ensuite séchées à105°Cavant d'êtreimmergées dans la solution de $MgSO_4$ de concentration massique 10 %. Afin d'accélérer leur vieillissement, les échantillons de différentes compositions ont été exposés à trois cycles répétés et continus d'immersion-séchage de durée de 2 mois pour chaque cycle (8 cycles de 7 jours suivi 2 cycles de 30 jours puis un cycle de 60 jours), et les échantillons sont testés à l'âge de 180 jours.Le détail des cycles est montré par les schémas a, b, et c de la figure 1.Il faut noter que chaque cycle immersion-séchage est constitué d'une immersion totale de 6, 29 ou 59 jours suivi d'un séchage d'un seuljour dans l'étuve à 70°C. La durabilité vis-à-vis des milieux agressifs des mortiers à base de sable alluvionnaire substitué par du sable calcaire concassé est évaluée à travers les mesures suivantes : variation de masse, résistance à la compression, analyse minéralogique par DRX et control visuel.

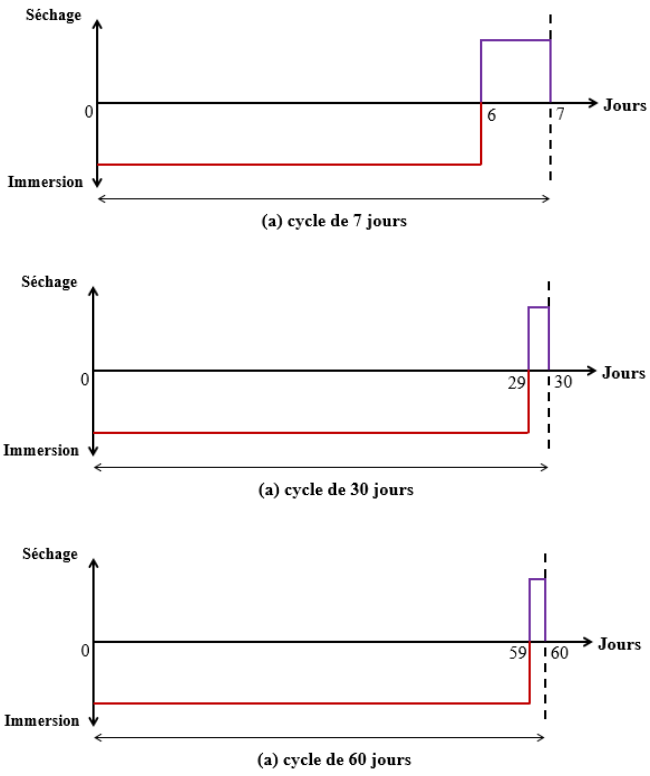


Figure. 1 : Cycles d'immersion-séchage envisagés.

3. Résultats et discussions

3.1 Variation de masse

Il s'agit de la mesure la plus simple à réaliser. Ce suivi permet de déterminer la perte ou le gain en masse dans la solution de $MgSO_4$. Cette variation relative de masse est exprimée par la relation suivante :

$$\frac{\Delta m}{m}(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \qquad (1)$$

Oùm_i est la masseinitialde l'éprouvette après le séchage, et m_f est la masse finale de l'éprouvette après 180 jours d'exposition aux agressions sulfatiques.

Si on essaye d'apprécier l'évolution de la variation en masse en fonction du taux de substitution (Fig.2), nous pouvons remarquer que dans les mortiers là où il y a plus de sable calcaire, il y a moins de perte en masse sous forme de gypse soluble dans l'eau et d'ettringite secondaire expansive [5]. Cette propriété est due à la compacité élevée des mortiers calcaires qui rend difficile la pénétration des ions de sulfates [6-7].On note que pour une substitution totale de sable (100% calcaire), la perte en masse des mortiers conservés dans la solution de $MgSO_4$ après 180 jourspasse de 2,1% à 0,62%, soit une diminution de 238%.

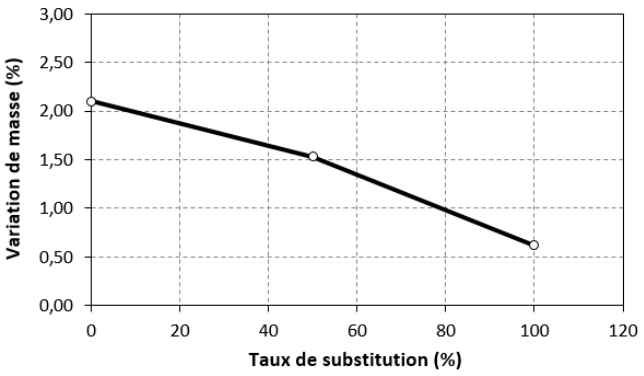


Figure. 2 : Variation de masse en fonction du taux de substitution du sable des mortiers conservés dans la solution de $MgSO_4$après 180 jours.

3.2 Résistance mécanique

La variation de la résistance mécanique (compression ou flexion) est donnée par la formule suivante :

$$\frac{\Delta R}{R}(\%) = \frac{R_i - R_f}{R_i} \times 100 \qquad (2)$$

Où R_i est la résistance initial de l'éprouvette curée dans l'eau saturée en chaux durant 28 jours, et R_f est la résistance finale de l'éprouvette après 180 jours d'exposition aux agressions sulfatiques.

Les courbes présentées dans la figure 3 illustre l'évolution de la résistance mécanique des mortiers conservés dans la solution de $MgSO_4$ en fonction du taux de substitution du sable. On remarque que la variation de la résistance mécanique des différents mortiers étudiés est plus faible dans les mortiers avec sable calcaire, cela est due à l'augmentation de la compacité, de ce fait la perméabilité du mortier diminue et c'est ainsi que les propriétés de transfert du matériau seront affaiblies [8-9], et les propriétés mécaniques seront par conséquent améliorées [6,10]. Le replacement totale du SAS par du SCC conduit à une diminution de la perte des résistances à la compression et à la flexion respectivement par environ 426% et 384%.

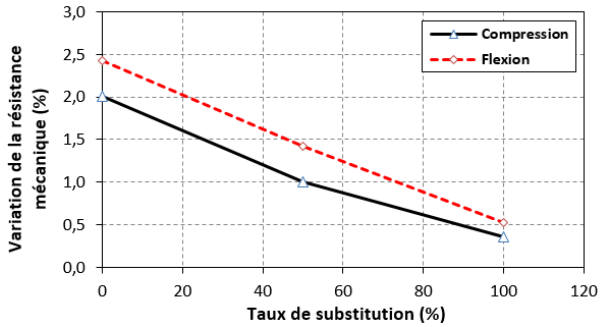


Figure. 3 : Variation de la résistance mécanique en fonction du taux de substitution du sable des mortiers conservés dans la solution de $MgSO_4$après 180 jours.

3.3 Control visuel

Les photos de la figure 4 (a, b et c) représentent l'aspect de la structure des différents mortiers conservés durant 180 jours dans la solution $MgSO_4$. En comparant les photos (a), (b) et (c), il a été observé une couche blanche de gypse à la surface de contact avec la solution, dont les épaisseurs sont plus faibles dans le cas des mortiers avec sable calcaire. Ceci montre qu'avec le sable calcaire, le mortier est moins influencé par l'attaque de sulfate de magnésium, ce qui confirme les résultats expérimentaux obtenus par la littérature [8,11].

(a) : C0

(b) : C1

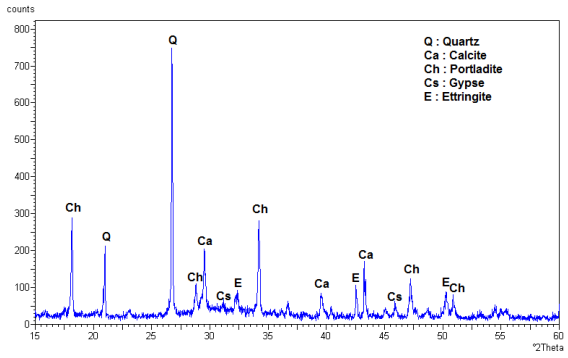
(b) : C2

Figure 4 : Aspect de la structure des mortiers conservés dans la solution de $MgSO_4$.

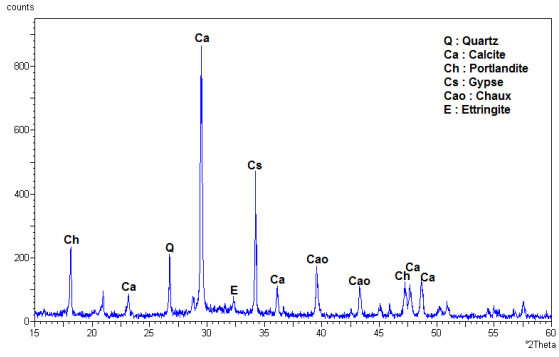
3.4 Analyse minéralogiques par diffraction aux rayons X

La figure 5 (a, b et c) présente le diffractogrammedes mortiers conservés dans la solution de $MgSO_4$. D'après les résultats obtenus, on remarque :

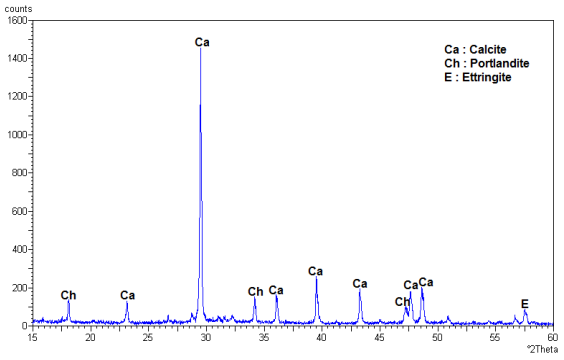
- Le gypse et l'ettringite secondaires sont les phases les plus importantes dans les différents échantillons étudiés, parce que ce sont des produits qui résultent de l'attaque externe des sulfates [5; 9].
- On trouve également de la portlandite qui est le produit principal de l'hydratation du ciment. La portlandite se trouve dans le ciment hydraté et non attaqué par les sulfates[12].
- Le quartz et la calcite se trouvent en des quantités différentes dans les trois mortiers selon les quantités des sables utilisés :le quartz dans le cas de sable siliceux et lacalcite dans le cas du sable calcaire[13].



(a) : C0



(b) : C1



(c) : C2

Figure. 5 : Analyse par DRX de différentes compositions de mortier conservés dans la solution de $MgSO_4$.

D'après la comparaison de la figure précédente (a, b et c), on peut avancer que :

- Pour les mortiers conservés dans la solution de $MgSO_4$, l'ettringite et le gypse peuvent être produits suite à l'attaque de la pâte de ciment par des sulfates. La portlandite a été lixiviée par les sulfates[14].
- Lorsqu'on compare selon le type du mortier, on constate une augmentation de laportlandite avec l'augmentation du sable calcaire dans le mortier. Les mortiers avec plus de sable calcaire sont donc moins influencés par la lixiviation de la portlandite par les sulfates[15].
- La calcite et le quartz sont présentes avec des quantités différentes, puisque pour la compositionC0, on trouve le quartz d'une manière claire dans le sable alluvionnaire, et pour la compositionC1le quartz et la calcite se trouvent dans les deux sables (50% alluvionnaire, 50% calcaire), et enfin la composition C2contiennent du sable calcaire, donc la calcite est présente d'une manière remarquable [16-17].

4. Conclusion :

Les résultats issus de cette investigation expérimentale permettent de tirer les conclusions suivantes :

- ♦ Le mortier à base de sable calcaire présente une variation de masse plus petite, donc une meilleure compacité. Pour une substitution totale de sable (100% calcaire), la perte en masse des mortiers conservés dans la solution de $MgSO_4$ diminue de 238% après 180 jours.
- ♦ Pour une substitution totale (100% sable calcaire) et après 180 jours, la perte de résistance mécanique diminue de 426% (en compression) et de 384% (en flexion).
- ♦ La substitution totale du sable alluvionnaire par du sable calcaire confère aux mortiers demeilleures performances vis-à-vis les attaques sulfatiquesde type $MgSO_4$.

Références

[1]. Bendjillali K, Chemrouk M, Damene Z. Etude de l'effet des paramètres de renforcement sur le comportement mécanique des mortiers à sable calcaire.SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries, ENSET Oran, Algeria, 12-14 October 2009, 191-197.

[2]. Makhloufi Z, Bederina M, Bouhicha M. Caractérisation et comportement mécanique du béton calcaire superplastifié et non superplastifié du turonien de l'atlas saharien (Etude Comparative), SBEIDCO – 1stInternational Conference on SustainableBuiltEnvironment Infrastructures in Developing Countries, ENSET Oran, Algeria, 12-14, October 2009, 327-334.

[3]. Ollivier J.P, Baron J. La durabilité des bétons. Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, France, 1992.

[4]. Hekal E.E, Khishar E, Mostafa H. Magnesium sulfate attack on hardened blended cements pastes under different circumstances.Cement and Concrete Research 2002; 32(9):1421-1427.

[5]. Rozière E, Loukili A, El Hachem R. Indicateurs de performance de bétons exposés à la lixiviation et aux attaques sulfatiques externes. XXVIe Rencontres Universitaires de Génie Civil, Nancy, France, 4-6 juin 2008, 1-8.

[6]. Neville A. Propriétés des bétons. Paris : Editions Eyrolles ;2000.

[7]. Damene Z. Comportement physico-mécanique et résistance aux sulfates de mortiers à base de ciments algériens. Mémoire de magistère, Université de Laghouat, Algérie, 2005.

[8]. Makhloufi Z, Kadri E.H, Bouhicha M, Benaissa A. Resistance of limestonemortarswithquaternary binders to sulfuricacid solution. Construction and Building Materials2012;26:497-504.

[9]. Benosman A.S, Mouli M, Taïbi H, Belbachir M, Senhadji Y, Bahlouli I, Houivet D. Étude des matériaux composites mortier-polymère en milieux sulfatiques (Na_2SO_4, $MgSO_4$).SBEIDCO – 1stInternational Conference on Sustainable Built Environement Infrastructures in Developing Countries, ENSET Oran, Algeria,12-14 October 2009, 375-382.

[10]. IrassarE.F. Sulfate attack on cementitious materials containing limestone filler. Cement and Concrete Research 2009;39:241–254.

[11]. Ghrici M, Kenai S, Said-Mansour M. Mechanical properties and durability of mortar and concrete

containing natural pozzolana and limestone blended cements. Cement and Concrete Composites 2007; 29:542–549.

[12]. BhattyJ.I, Taylor P.K. Sulfate Resistance of Concrete Using Blended Cements or Supplementary Cementitious Materials. Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 2006, p. 21.

[13]. Vuk T, Gabrovsek R, Kaucic V. The influence of mineral admixtures on sulfate resistance of limestone cement pastes aged in cold MgSO4 solution. Cement and Concrete Research 2002;32:943–948.

[14]. Bakharev T, Sanjayan J.G, Cheng Y.B. Sulfate attack on alkali-activated slag concrete. Cement and Concrete Research 2002;32:211–216 .

[15]. Higgins D.D. Increased sulfate resistance of ggbs concrete in the presence of carbonate. Cement and Concrete Composites 2003; 25:913–919.

[16]. Lee S.T, Moon H.Y, Swamy R.N. Sulfate attack and role of silica fume in resisting strength loss. Cement and Concrete Composites 2005;27:65–76.

[17]. Chiker T,Aggoun S, Houari H, Siddique R. Sodium sulfate and alternative combined sulfate/chloride action on ordinary and self-consolidating PLC-based concretes. Construction and Building Materials 2016; 106:342–348.