



JNB'2017
Journées nationales du béton de Tunisie

RECONSTITUTION D'UN MORTIER RÉFRACTAIRE À PARTIR DE DÉCHETS DE BRIQUES SILICO-ALUMINEUX DE CIMENTERIE

RECONSTRUCTION OF A REFRACTORY MORTAR FROM SILICA-ALUMINOUS BRICK WASTE IN CEMENT INDUSTRY

Ameni BRAEIK^{(1)*}, Abdelhamid R'MILI^(2,3), Mohamed Naceur JELJELI^(1,3)

⁽¹⁾ Université de Tunis, École Polytechnique de Tunis, LASMAP,
LR-03-ES06, BP 743-2078, La Marsa, Tunisie.

⁽²⁾ Université de Tunis El Manar, École Nationale d'Ingénieurs de Tunis,
LR-03-ES05 Génie Civil, 1002, Tunis, Tunisie.

⁽³⁾ Université de Tunis, École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Tunis,
5 Rue Taha Hussein, 1008, Tunis, Tunisie.

* amenibraeik@yahoo.com

1. INTRODUCTION

Les matériaux réfractaires sont les matériaux qui résistent à la chaleur et conservent leurs caractéristiques physico-chimiques à des températures élevées (1500°C) [1]. Le réfractaire constitue un élément majeur dans le processus de fabrication de ciment approchant le tiers (4 %) de la consommation mondiale [2]. Il est incorporé sous forme de brique, béton ou mortier pour le revêtement des cyclones et les différentes zones du four de cuisson...

Dans ce contexte, la cimenterie d'Oum Kelil (CIOK) consomme une quantité annuelle de réfractaires façonnées et non façonnées estimée à 400 tonnes. Ce produit importé affecte le côté économique et son déchet en matériau réfractaire usagé pose un problème environnemental.

Ce travail propose une solution de valorisation des déchets de briques réfractaires [3], la solution proposée consiste à l'incorporation de ce déchet pour la reconstitution d'un nouveau matériau réfractaire.

Ce travail expérimental consiste à :

- caractériser minéralogiquement les déchets de briques et proposer les corrections nécessaires ;
- substituer la poudre de déchet de briques silico-alumineux au ciment portland pour la fabrication de plusieurs formules de mortier ;
- remplacer le sable siliceux par du sable de brique concassé dans les formules retenues ;



- les mortiers correspondants subissent des essais physiques (porosité, retrait, gonflement) et mécaniques (résistance à la compression et flexion) à hautes températures (20, 100 jusqu'à 1000°C).

Tableau 1 : Caractérisations chimiques des briques réfractaires de la CIOK

Briques	Compositions Chimiques				
	Mg	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
Magnésie	89,5	8	0,8	1,2	<0,5
Magnésie spinelle	54,5	32	1,5	6,7	5,3
Silico-alumineux	-	51,8	1,2	4,2	40

2. MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES DE L'ÉTUDE

Dans la CIOK, deux produits réfractaires sont utilisés : les façonnés telle que les briques et les non façonnés sous forme de mortier ou de coulis. On distingue trois types de briques de revêtement intérieur de compositions chimiques spécifiques différentes : brique magnésie, brique magnésie-spinelle et brique silico-alumineuse (Tableau 1).

En ce qui suit, on va s'intéresser aux déchets de la troisième variété de briques Silico-Alumineux (SA), vue que cette variante est la plus utilisée dans la cimenterie.

Les mortiers étudiés sont constitués de ciment, sable, eau et poudre de déchets de briques comme ajout de ciment.

- Ciment (Cm) : un ciment type CEM I 42.5 (NT47.01), fabriqué à la CIOK. Il a une densité égale à 3.10 g/cm³ et une spécifique Blaine de 354.22 m²/kg.
- Sables : Trois sables ont fait l'objet de cette étude, un sable normalisé (SN : AFNOR), un sable roulé siliceux Naturel(SR)

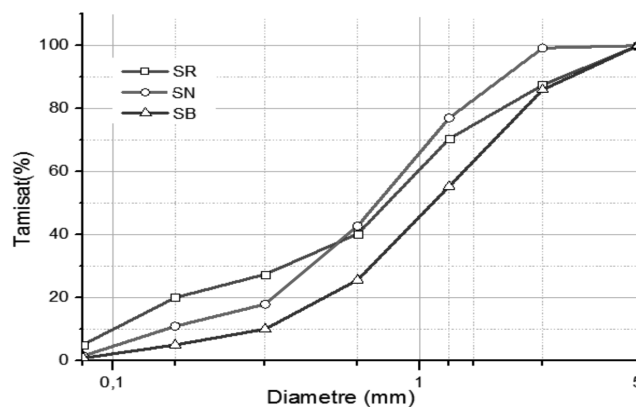


Figure 1 : Courbes granulométriques des sables

et un sable de déchet de brique concassée(SB) dont le taux d'absorption respectif est de 0.09, 0.12 et 2.1 (Figure 1).

- Poudre de déchet de brique réfractaire (PDBR) : Les déchets de briques réfractaires silico-alumineux subit un concassage secondaire et un broyage dans un broyeur à boulets où l'opération est contrôlée par la mesure de la finesse (Figure 2) et la surface spécifique Blaine SSB de telle sorte qu'elle avoisine celle du ciment (≈ 3000 cm²/g) (Figure 3).

Les caractéristiques chimiques de ces matériaux utilisés sont données dans le Tableau 2.

3. FORMULATION DES MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES ÉTUDIÉS

Deux formulations de mortiers ont été établies dans cette étude. Une première est basée sur la substitution du ciment (Cm) avec la poudre de déchets de briques réfractaires silico-alumineux (SA). Les taux de substitution ont été choisis sur la base des critères de la norme ISO 1984 [1] (Tableau 3) et une deuxième a été réalisée en remplaçant le sable normalisé SN par un sable siliceux roulé SR et un sable concassé SB. Dans ce mélange le liant a été composé de ciment et de poudre PDBR silico-alumineuse à raison de 20% à 60% (Tableau 4).

Tableau 2 : Caractéristiques chimiques des matériaux

	Ciment Cm	Sable SN	Sable SR	Sable SB	PDBR (SA)
CaO	62.63	1.03	0.93	4.83	4.62
SiO₂	22.13	95.98	96.16	49.41	48.19
Al₂O₃	5.99	1.2	0.69	40	39.46
MgO	1.38	0.25	0.29	1.47	1.07
Fe₂O₃	3.13	0.78	0.76	2.73	2.72
SO₃	1.98	0.27	0.52	0.3	2.36
PF	1.55	0.47	0.58	1.25	1.57
K₂O	0.48	-	-	-	4.62

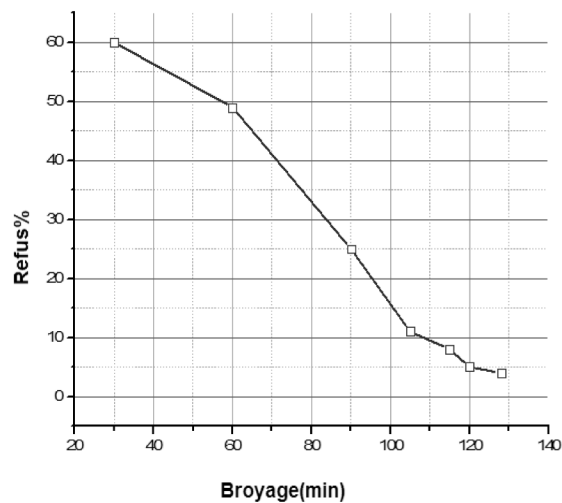


Figure 2 : Finesse de PDBR-SA

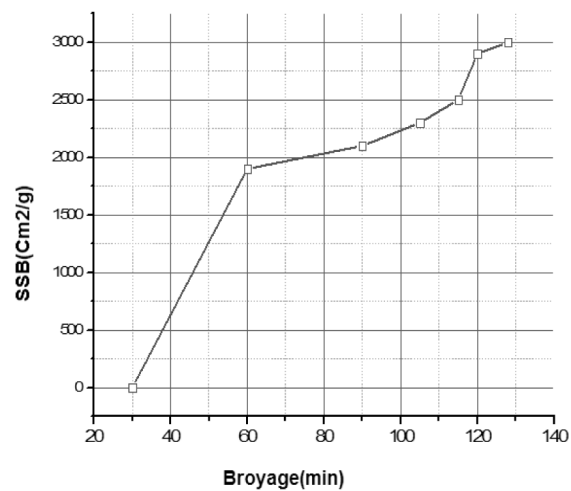


Figure 3 : Finesse SSB de PDBR-SA

Tableau 3 : Compositions des mortiers à base poudre de déchet de brique réfractaire (PDBR)

Mortier	Code	Sable (g)			Eau (g)	Cm(g)	PDBR	
		SN(g)	SR(g)	SB(g)			(g)	%
Mortier Normal de Référence (MR)	MR	1350	0	0	225	450	0	0
Mortier à base de poudre SA (PDBR)	SA 10	1350	0	0	225	405	45	10
	SA 15	1350	0	0	225	382,5	67,5	15
	SA 20	1350	0	0	225	360	90	20
	SA 30	1350	0	0	225	315	135	30

Tableau 4 : Compositions des mortiers à base sable de déchets de brique et de PDBR

Mortier	Code	Sable (g)			Eau (g)	Cm (g)	PDBR	
		SN(g)	SR(g)	SB(g)			(g)	%
Mortier Normal de Référence (MR)	MR	1350	0	0	225	450	0	0
Mortier à base de sable de briques réfractaires silico-alumineux et de PDBR	SB/SR	0	675 (50 %)	675 (50 %)	225	450	0	0
	SB0	0	0	1350	225	450	0	0
	SB20	0	0	1350	225	360	90	320
	SB40	0	0	1350	225	270	180	40
	SB60	0	0	1350	225	180	270	60



4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1. Demande en eau

4.1.1. Essai de consistance

On réalise l'essai de consistance sur sept formules constituées de poudre silico-alumineuse substitués au ciment à raison de 5, 10, 20%, 30, 40 et 60 [3].

Comparées au mortier normalisé « MR » où la quantité d'eau nécessaire avoisine les 25% [4], les formules à base de poudre de brique demandent un dosage en eau similaire de l'ordre de 24.4 % à 24.6%. Ceci montre que la substitution du ciment par la poudre de brique ne demande pas un excès d'eau grâce à la présence de l'alumine et la silice qui améliore la maniabilité [5] (Figure 4).

4.1.2. Essai de prise

L'ajout de poudre dans le ciment a affecté d'une façon significative, le temps de début et de fin de prise (Figure 5). Les mortiers à base de 5%, 10% et 20% de poudre se comportent comme un mortier normal. Par contre, au-delà de 30% de poudre le début et la fin de prise sont élevés par rapport MR.

Ce retard dû au teneur de SO₃ qui est important dans la poudre que celle de ciment.

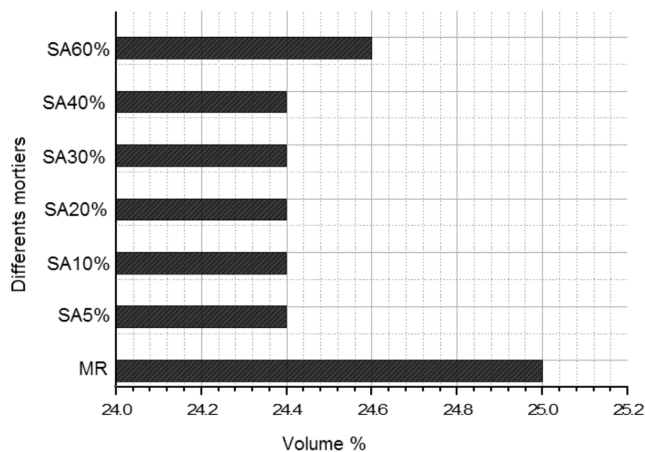


Figure 4 : Besoin en eau des mortiers

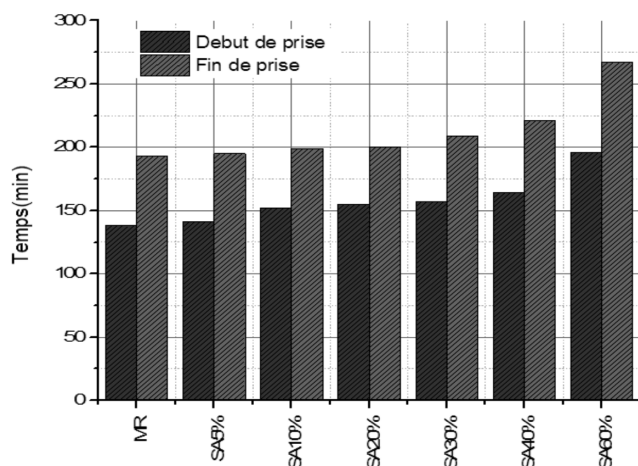


Figure 5 : Début et fin de prise des mortiers

4.2. Caractéristiques physiques

4.2.1. Porosité

La figure 6 montre que la porosité des mortiers est identique pour les différents taux de poudre de brique (SA). Par contre, celle à base de sable de brique concassée et de poudre chute avec le taux de poudre atteignant 26 et 28 % respectivement pour les taux de 40 et 60 % d'ajout par rapport au mortier témoin MR [4]. Ce phénomène de diminution de porosité est lié à un meilleur arrangement granulaire causé par deux types de sable différents d'où une compacité élevée [5].

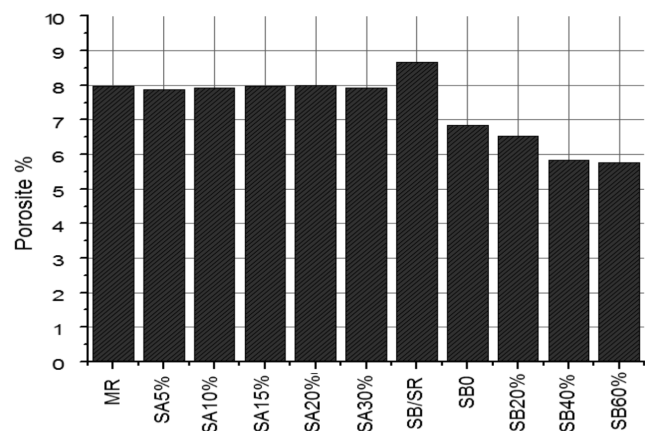


Figure 6 : Porosité des différents mortiers

4.2.2. Retrait et gonflement

Le retrait des mortiers à base de (PDBR-SA) avec ajout de 10 et 15 % augmente par rapport à MR (figures 7a et b). Le gonflement diminue avec les différents taux de substitution sauf pour SB/SR (figures 8a et b).

En fait à la présence d'une humidité supérieur à son humidité d'équilibre ; le composant CaO se déshydrate ce qui cause une perte de masse d'où l'apparition du phénomène de retrait [6]. Ce composant, en contact avec l'eau, augmente de volume d'où le phénomène de gonflement.

4.3. Caractéristiques physiques

4.3.1. Résistance à la compression

La figure (9a-b) montre que la résistance à la compression des mortiers diminue avec le taux d'ajout de poudre SA. Quant aux mortiers dont le sable est en brique concassée la diminution de la résistance à la compression croit avec le taux de sable substitué par rapport au mortier témoin [3].

4.3.2. Résistance à la traction par flexion

Les résultats obtenus montrent une grande similitude avec les résultats obtenus par les essais décompression. La substitution de la poudre de briques dans les mortiers de sable naturel diminue la résistance mais les valeurs sont acceptables (Figure 10a-b).

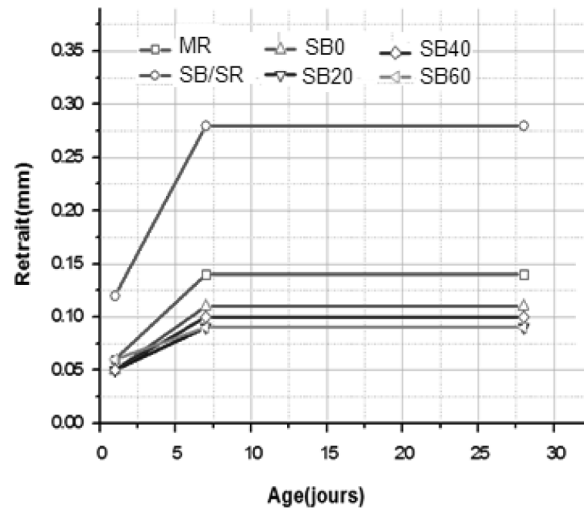
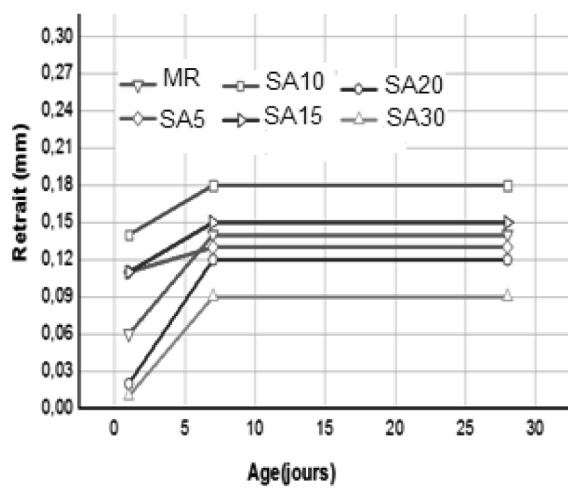


Figure 7. a : Retrait des mortiers à base de PDBR-SA ;
b : Retrait de mortiers à base de sable à briques Réfractaires Silico-alumineux concassées (SB)

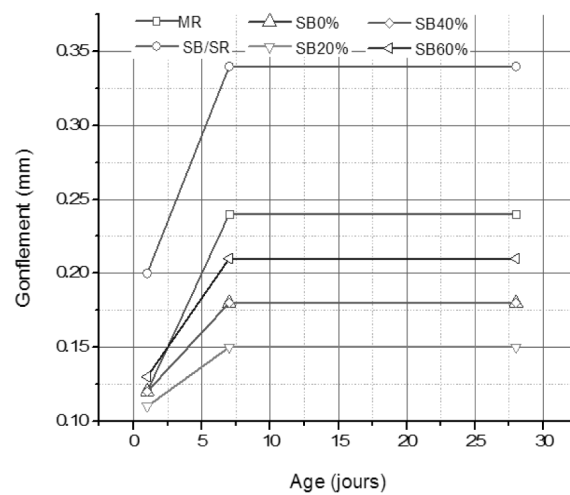
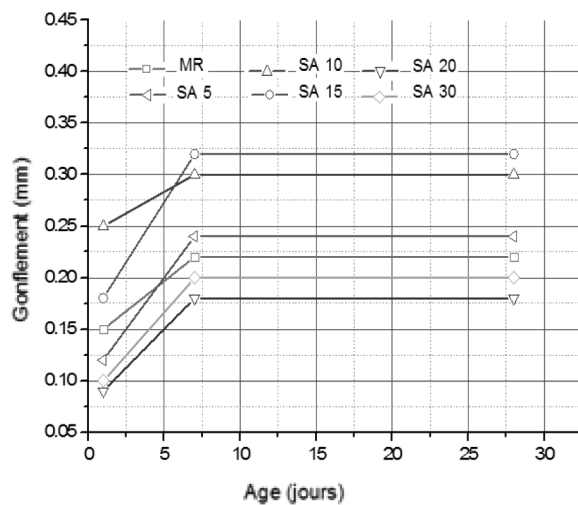


Figure 8. a : Gonflement des mortiers à base de PDBR-SA ;
b : Gonflement de mortiers à base de sable de briques Réfractaires Silico-alumineux concassées (SB)

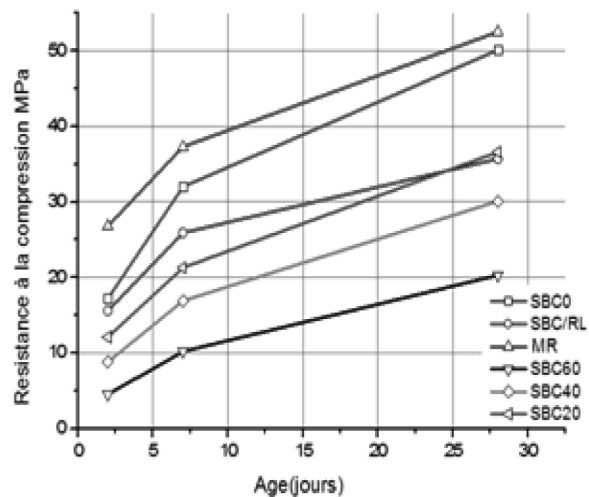
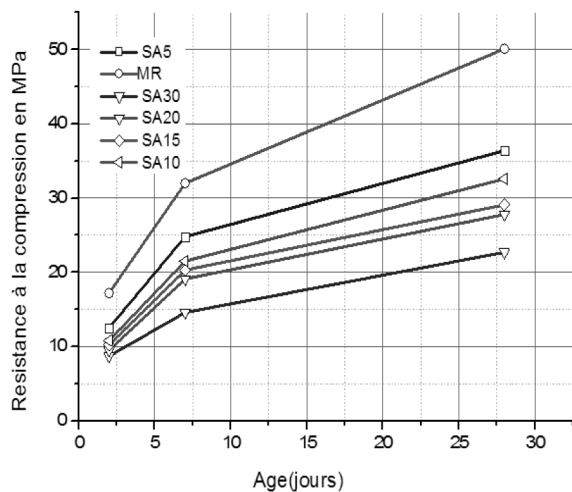


Figure 9. a : Résistance à la compression des mortiers à base de PDBR-SA ;
b : Résistance à la compression des mortiers base de sable de briques Réfractaires Silico-alumineux concassées (SB)



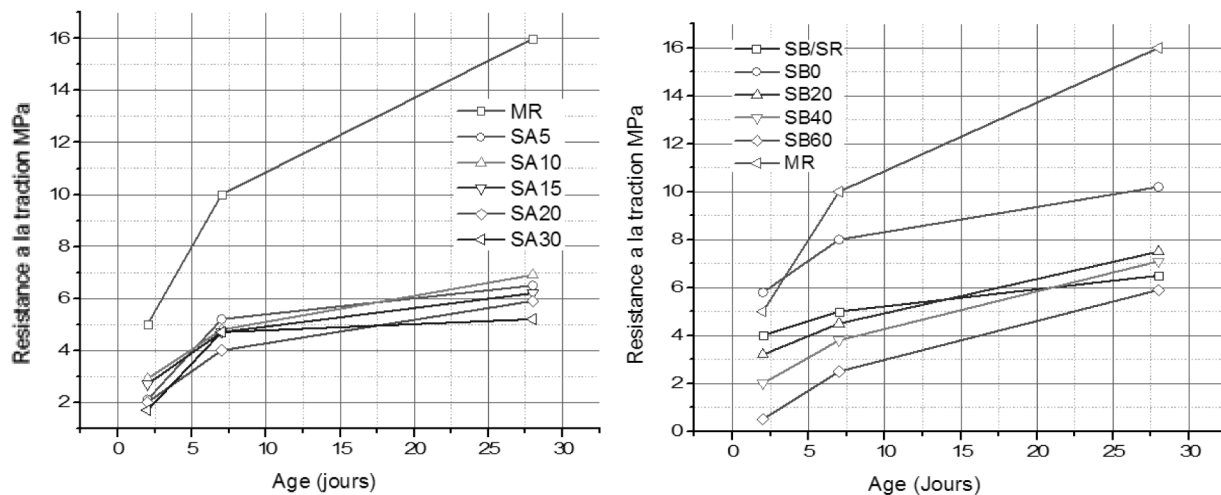


Figure 10. a : Résistance à la traction des mortiers à base de PDBR-SA ; b : Résistance à la traction des mortiers base de sable de briques Réfractaires Silico-alumineux concassées (SB)

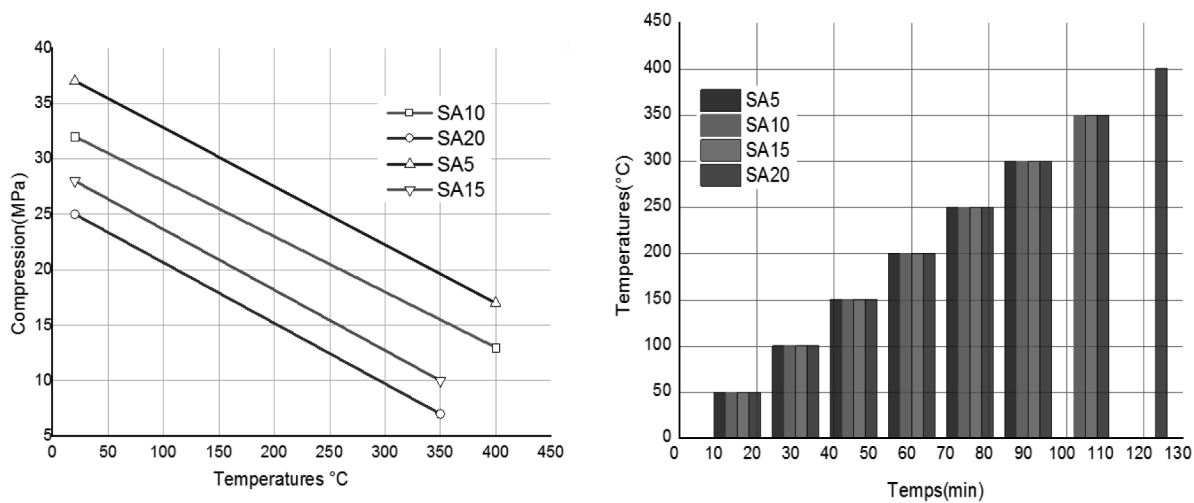


Figure 11. a : Résistance à la chaleur des mortiers base de PDBR-SA ; b : Résistance à la compression des mortiers après cuisson des mortiers à base de PDBR-SA

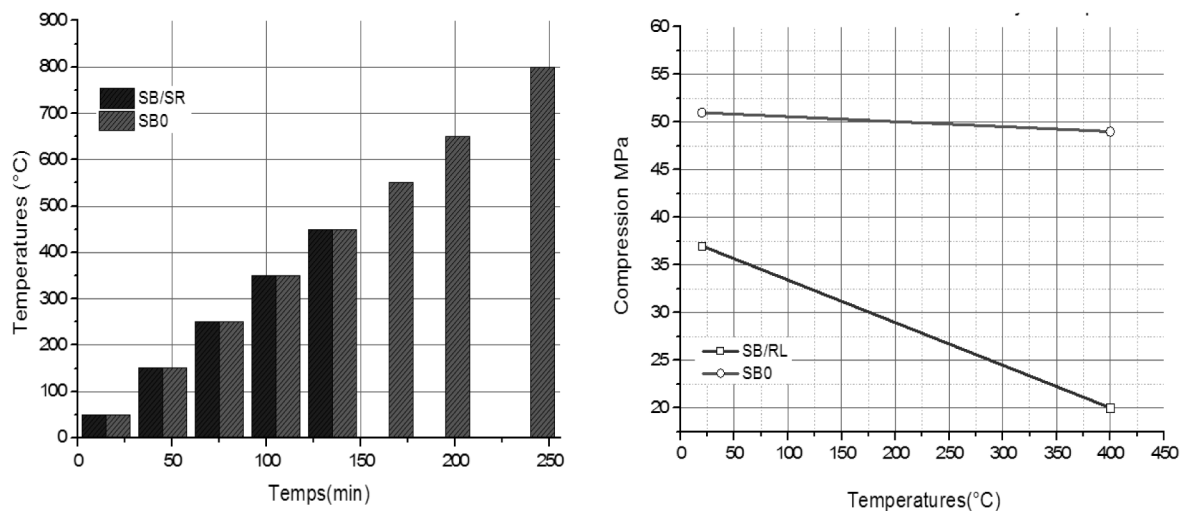
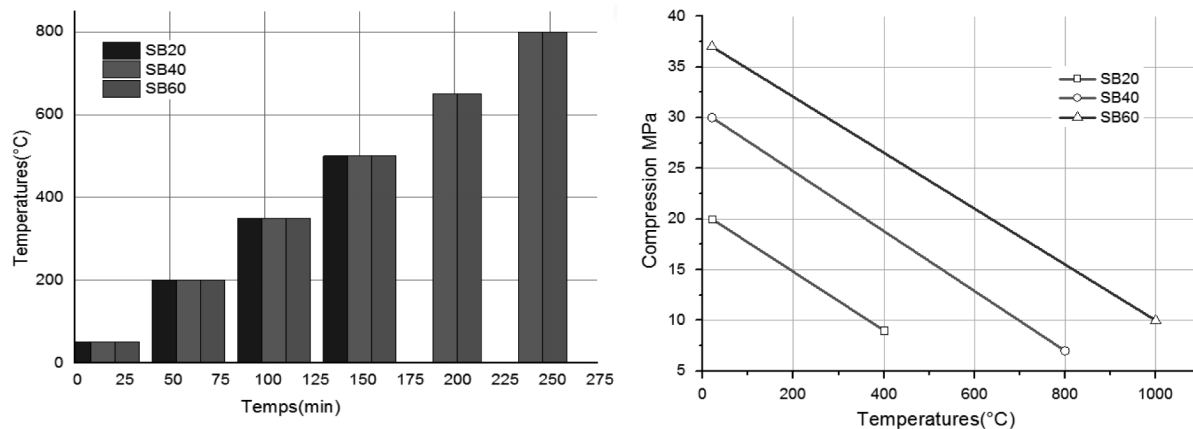


Figure 12. a : Résistance à la chaleur des mortiers base sable de brique concassé et de ciment sans ajout de PDBR ; b : Résistance à la compression des mortiers après cuisson des mortiers à sable de brique concassé et de ciment sans ajout de PDBR





**Figure 13. a : Résistance à la chaleur des mortiers SB et ciment avec ajout PDBR ;
b : Résistance à la compression des mortiers après cuisson de mortier SB et ciment avec ajout PDBR**

4.4. Caractéristiques sous haute température

4.4.1. Mortier à base de poudre SA

L'ajout de l'alumine au ciment améliore la résistance thermique [8] des mortiers qui augmente jusqu'à 400°C. Par contre l'ajout de cette poudre provoque une diminution du liant et par suite une diminution de la résistance à la compression après l'attaque thermique (Figure 11a-b) [9].

4.4.2. Mortier à base de sable de brique concassé et de ciment sans ajout de PDBR

La figure (12a-b) montre que les mortiers à base de sable de brique concassé et de ciment résistent mieux que lorsque ce sable est substitué à un sable roulé naturel. Ces mortiers résistent mieux à la chaleur et la diminution de la résistance à la compression est progressive et restent presque constante de l'ordre de 50 MPa.

4.4.3. Mortiers à base de sable de briques réfractaires concassées et ciment avec ajout PDBR

La figure 13 (a-b) montre que la résistance à la compression des mortiers à base sable et de poudre de brique silico-alumineuse diminue en fonction de la température d'exposition, mais elle reste à supérieure à 6 MPa après une exposition à 1000°C pendant 300 min.

5. CONCLUSION

Cette étude expérimentale montre que la reconstitution d'un matériau réfractaire à base de déchet de brique réfractaire est possible. Elle montre que :

- Le retrait des mortiers à base de poudre de déchet de brique silico-alumineuse (PDBR-SA) avec ajout de 10 et 15 % augmente par rapport à celui Mortier de Référence(MR). Le gonflement diminue avec les différents taux de substitution sauf pour les mortiers à base de sable de brique concassé et de ciment sans ajout de PDBR (SB/SR).
- Les résistances à la compression restent supérieures à 20, 30 et 37MPa respectivement pour 60, 40 et 20 % de sable

de brique concassé pour des tenues à haute température de 400, 800 et 1000 °C.

- Pour les mortiers avec ajout en poudre de brique, la compression est inversement proportionnelle avec la teneur d'ajout (SA), alors que pour les mortiers avec ajout en brique concassé, la compression augmente légèrement par rapport au mortier témoin (mortier SB et SB/SR).

Ces renseignements tirés des différents résultats obtenus font apparaître l'opportunité de reformuler un matériau réfractaire à partir de déchets de briques réfractaires.

Suite à ce travail encourageant de caractérisation des mortiers à base de déchets de briques de cimenterie, une continuation de cette étude consistera à réaliser les travaux suivants :

- Optimiser à l'aide d'un plan d'expérience les différents scénarios de reformulation à différentes températures et avec différents taux de substitutions afin de ressortir les formules appropriées pour confectionner un matériau réfractaire capable d'être réutilisé dans les différentes zones de cuisson de ciment.
- Analyser le comportement thermomécanique des mortiers et bétons réfractaires retenus et établir une loi de comportement de ces matériaux pour prédire leurs caractéristiques (résistances, déformation, fissuration) vis-à-vis de la chaleur.
- Calculer et évaluer en utilisant « la méthode de l'analyse de cycle de vie », les impacts sur l'environnement de cette valorisation de ces déchets sur l'entier de cycle de vie. Cette méthode est utilisée dans le domaine de l'industrie en Tunisie mais jusqu'à nos jours elle ne prend pas sa place dans le domaine de génie civil. Pour ce faire, on a cherché à élaborer une base de données qui collecte toutes les informations d'inventaire sur ces matériaux. L'ensemble de ces flux sera ensuite inventorié et pondéré pour calculer les impacts.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Norme ISO 1927 : les matériaux réfractaires non façonnés préparés (denses et isolants) – classification. Décembre 1984.
- [2] B. Amrane : Modélisation du comportement thermomécanique des céramiques par la mécanique de l'endommagement: cas des réfractaires silico-alumineux façonnés, thèse ENP Alger 2012.





- [3] M. Drine et H. Bouzouita, Valorisation des déchets de brique, PFE encadré par A. R'mili et W. khalfaoui (CIOK), ENSIT Tunis 2015.
- [4] NF EN 1015, Méthodes d'essai des mortiers pour maçonneries - Partie 3 : détermination de la consistance du mortier frais. 3 Octobre 1999.
- [5] Badreddine-Bessa, A., Etude de la contribution des additions minérales aux propriétés physiques, mécaniques et de durabilité des mortiers, thèse, Université de Cergy-Pontoise 2004.
- [6] A. Bresson, Influence de la minéralogie sur le comportement des mortiers de ciment au jeune Aje, mémoire M. Sc., université Laval, 2006.
- [7] F. De Larrard, M. Buil : Granularité et compacité dans les matériaux de génie civil, matériels Structures 1987, 20, 17-126.
- [8] M.N. Oudjit, M. Ould Ahmed, A. Bellal & K. Arroudj Comportement Rhéologiques et mécaniques des mortiers à base d'ajouts cimentaires. 8^e séminaire technique de Lafarge 13-14 Décembre 2011 - Mercure, Alger.