



ETUDE DE COMPORTEMENT PHYSIQUE ET MECANIQUE DES MORTIERS A BASE DE DECHET DE BRIQUE

S. Benamar^{1*}, Z.A. Kameche², Y. Houmadi² et S.M. Aissa Mamoune²

¹ Laboratoire des Structures Intelligentes (SSL) – Filière : Génie Civil - Spécialité : Sol et Structures. Université d'AIN-TEMOUCHENT - BELHADJ BOUCHAIB – Algérie.

² Laboratoire des Structures Intelligentes (SSL) – Filière : Génie Civil - Spécialité : Sol et Structures. Université d'AIN-TEMOUCHENT - BELHADJ BOUCHAIB – Algérie.

RESUME

Ce travail de recherche vise à apporter une contribution à la valorisation des déchets de brique en tant qu'addition minérale dans la composition des mortiers ordinaires.

Il s'agit d'étudier l'influence de la poudre de brique sur les caractéristiques physico-mécaniques et sur la durabilité du mortier à court et long terme. Dans ce but, un intérêt majeur a été donné à l'influence de différents dosages de déchets de brique sous forme de poudre (ajouté au ciment par substitution (10, 20 et 30 %) avec deux rapports E/L (0.45 et 0.5) sur la maniabilité, la résistance à la compression, le coefficient d'absorption capillaire et la résistance aux attaques sulfuriques des mortiers. Pour les différents dosages en poudre de brique, des relations mathématiques ont pu être données dans ce travail de recherche entre la résistance à la compression du matériau et son coefficient de sorptivité.

Mots-clés: mortier ; poudre de brique ; absorption capillaire, résistance à la compression ; attaque sulfurique.

Contact - Email : benamarsouhila@outlook.fr

kam_zino2000@yahoo.fr

houmadiyoucef@yahoo.fr

aissa_mamoune@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

De nos jours, l'industrie des matériaux de construction est souvent accompagnée par des produits secondaires ou des déchets qui ont une incidence sur l'environnement.

Actuellement dans le monde, et notamment avec la rareté de l'espace de décharge, la gestion des déchets solides est devenue une des principales préoccupations environnementales.

L'utilisation des déchets est devenue donc une alternative intéressante à l'élimination ; la recherche est menée actuellement sur l'utilisation des déchets de démolition des structures (qui peuvent être souvent un mélange entre des matériaux cimentaires et de brique) dans la fabrication de nouveaux matériaux cimentaires tels que des mortiers et des bétons. Alors, la valorisation de ce type de déchets présente un autre intérêt d'ordre écologique et économique.

En effet, le réemploi des matériaux de démolition en tant qu'addition minérale dans la composition des matériaux cimentaires par la substitution partielle de ciment, apparait comme une des solutions les plus efficaces permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre (CO₂) de l'industrie cimentaire qui représente la source principale des impacts nocives sur l'environnement [1].

On outre, l'emploi de certaines additions minérales dans la composition d'un matériau cimentaire (béton, mortier ou pâte) contribue certainement à des modifications des propriétés physiques chimiques et mécaniques du matériau, telles que le temps de prise de la pâte, la cinétique d'hydratation, la microstructure, la maniabilité, la résistance mécanique,...etc., qui affectent directement sur le comportement du matériau, soit à son état frais ou durci.

C'est pourquoi, cette étude a été engagée dans un but écologique, économique et technique en valorisant les déchets de brique, sous forme de poudre, pour la fabrication du mortier ordinaire, en les ajoutant à ce dernier par substitution d'une quantité du ciment.

Des caractérisations physiques et mécaniques des mortiers étudiés et à différents âges ont été donc effectuées, en donnant l'intérêt majeur à l'influence de la poudre de brique sur la résistance mécanique et le coefficient d'absorptions capillaire du matériau, ainsi que sur sa résistance aux attaques sulfurique.

2. MATERIAUX ET PROCEDURES EXPERIMENTALES

2.1. Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est un ciment CEM I 42,5 R (sans ajout pouzzolanique) de la société « Lafarge » de SIG (CIBA). La composition chimique et minéralogique de ce ciment, ainsi ses caractéristiques physiques sont présentées dans les tableaux 1 et 2 respectivement.

Tableau 1. Composition chimique et minéralogique du ciment.

Composition chimique (%)									
Composants	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CL
Quantité (%)	63,34	21,16	3,96	5,69	2,42	0,49	0,16	2,13	0,025
Composition minéralogique (%) : 61.52 % en C ₃ S ; 15.51 % en C ₂ S ; 0.87 % en C ₃ A et de 17.29 % en C ₄ AF									

Tableau 2. Caractéristiques physiques du ciment.

Ciment anhydre	Masse volumique absolue (g/cm ³)	3,06
	Masse volumique apparente (g/cm ³)	1,05
	Surface spécifique (m ² /kg)	364,7
Pâte du ciment	Consistance (%)	29
	Début de prise	2 h 20 min
	Fin de prise	3 h 40 min

2.2. Sable

Le sable utilisé dans cette étude, est un sable combiné avec deux sables différents (avec 40 % d'un sable de nature siliceuse et avec 60 % d'un sable de nature calcaire). Les caractéristiques physiques du sable utilisé sont résumées dans le tableau 3. Ce choix a été adopté, pour trouver le bon module de finesse convenable et adéquat pour un bon sable, avec une courbe granulométrique qui s'insère parfaitement dans le fuseau idéal pour un bon mortier de construction. La courbe d'analyse granulométrique de sable selon la norme [NFP 18-540], est illustrée sur la figure 1.

Tableau 3. Caractéristiques physiques du sable.

Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.41
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.67
Equivalent de sable visuel (%)	71.00
Equivalent de sable à piston (%)	65.10
Module de finesse	2.60
Valeur du bleu méthylène (VB)	0.60
Teneur en fines (%)	8.40

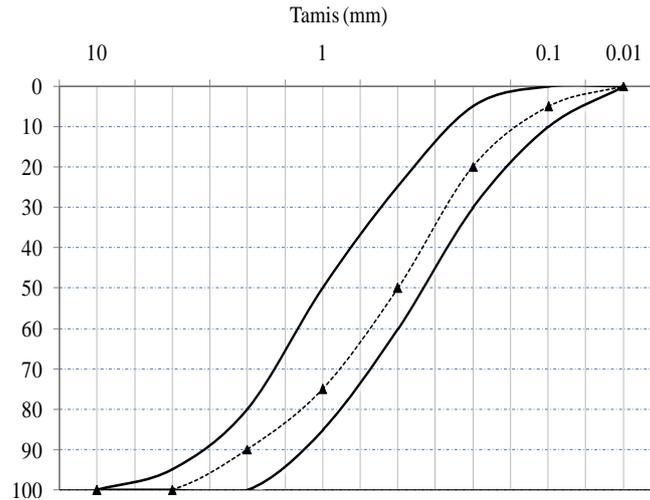


Fig. 1. Courbe granulométrique de sable.

2.3. Déchets de brique

Les déchets de brique proviennent de la briqueterie d'El-MALAH (wilaya d'Ain Temouchent). Ces déchets ont été concassés et broyés pour obtenir le passant au tamis de 80 μm (voir Fig. 2), car la finesse joue un rôle important dans la réactivité des ajouts.

La courbe granulométrique de la poudre de brique est illustrée dans la figure 3.

La composition chimique et les caractéristiques physiques de la poudre de brique sont présentées dans le tableau 4.



Fig.2. Etapes de la préparation de la poudre de brique.

À partir des résultats d'analyse chimique (voir le Tab. 4), la somme des composants [$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$] pour la poudre de brique est de 79.94 %, ce qui répond aux exigences de la norme ASTM C618, la poudre de brique peut donc être utilisée comme un ajout pouzzolanique dans les matériaux cimentaires.

Tableau 4. Propriétés de la poudre de brique.

Composition chimique (%)										
Composants	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	K_2O	Na_2O	SO_3	P.F
Quantité(%)	61.91	14.80	3.23	14.88	2.43	-	2.15	0.19	0.65	1.40

Caractéristiques physiques	
Densité (g/cm ³)	2.65
Surface spécifique Blaine (cm ² /g)	7140

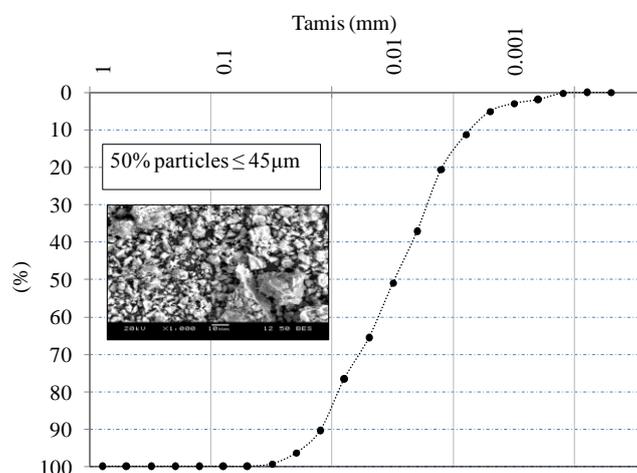


Fig.3. Courbe granulométrique de la poudre de brique.

2.4. Procédure expérimentale

Dans ce travail, les mortiers ont été confectionnés selon la norme NF EN 196-1, avec deux rapports eau sur liant (E/L égal à 0.45 et 0.5), et un rapport ciment sur sable C/S égal à 1/3, constant pour toutes les formulations. Les différentes compositions du mortier sont présentées dans le tableau 5.

L'étude consiste d'abord à la détermination de la maniabilité, la résistance à la compression qui permet de trouver le taux optimal de la poudre de brique à incorporer avec le ciment, ensuite le coefficient de sorptivité et la résistance aux attaques sulfurique (H₂SO₄) des différents mortiers. Toutes les propriétés étudiées ainsi les méthodes expérimentales utilisées dans ce travail sont résumées dans le tableau 6.

Les valeurs de chaque essai sont égales à la moyenne des mesures sur trois éprouvettes.

Tableau 5. Différentes compositions des mortiers.

Matériaux	Mortier 0 % PB	Mortier 10 % PB	Mortier 20 % PB	Mortier 30 % PB
Ciment (g)	450	405	360	315
Sable (g)	1350	1350	1350	1350
Poudre de brique (PB) (g)	0	45	90	135
Eau (E/L = 0.5) (g)	225	225	225	225
Eau (E/L = 0.45) (g)	202.5	202.5	202.5	202.5

Tableau 6. Propriétés étudiées et les méthodes expérimentales utilisées.

Propriétés	Age du mortier testé (jours)	Norme suivie	Taille de l'éprouvette testée
Maniabilité	/	NF P 18-452	/
Résistance à la compression	7, 28, 90, 120	NF EN 196-1	(40 × 40 × 160) mm ³
Absorption capillaire	90	NF P10-502	(40 × 40 × 160) mm ³
Résistance aux attaques sulfurique	90	ASTM C 267	(40 × 40 × 160) mm ³

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Maniabilité des mortiers

Les résultats de la figure 4 montrent clairement que le temps d'écoulement des différents mortiers à base de la poudre de brique, est plus long que celui obtenu pour le mortier de référence (0% PB).

La viscosité a été plus élevée dans les mortiers à base de la poudre de brique et par conséquent la fluidité a diminuée, en effet l'incorporation de grande quantité de poudre de brique diminue significativement la maniabilité du mortier et d'autant plus, quand le rapport E/L est plus faible. Cela indique que plus le volume de la poudre de brique est important plus la maniabilité est réduite. Il est intéressant de noter aussi que la poudre de brique utilisée a une grande finesse et donc une surface spécifique plus élevée par rapport à celle obtenue dans le cas du ciment, ce qui donne à la texture un comportement très ferme [2] et qui nécessite un excès d'eau [3].

Plusieurs chercheurs sont arrivés à des conclusions similaires [4, 5, 6], il convient donc de noter qu'avec l'augmentation du dosage de la poudre de brique, la maniabilité des composites cimentaires diminue, ce qui correspond à une demande en eau croissante, dû à la grande finesse de la poudre de brique ainsi à sa microstructure irrégulière qui réduit la fluidité du mélange [5].

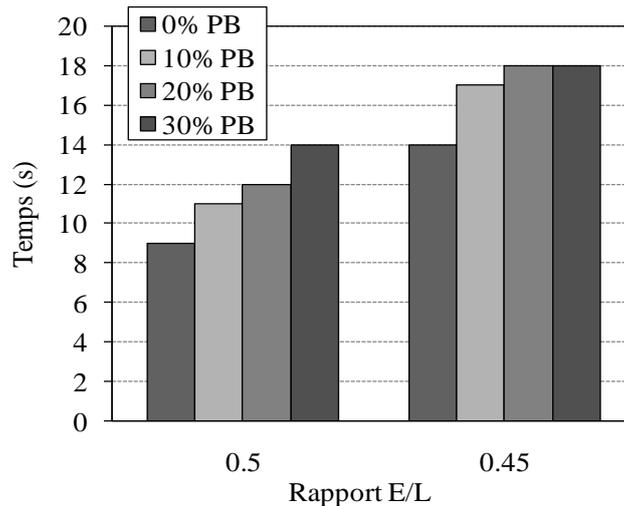


Fig.4. Évolution de la maniabilité des différents mortiers.

3.2. Résistance à la compression

L'influence des différents dosages de la poudre de brique sur la résistance à la compression du mortier à des différents âges (7, 28, 90 et 180 jours), sont représentés dans les figures 5 et 6 respectivement. D'après les résultats obtenus, on constate que les résistances de tous les mortiers augmentent régulièrement avec l'âge du mortier.

Les résultats obtenus montrent qu'un dosage de 20 % de la poudre de brique (20% PB) permet d'avoir les meilleures résistances à la compression pour les mortiers avec un rapport E/L égal à 0.5. À l'âge de 120 jours, l'amélioration de la résistance de ces mortiers à base de la poudre de brique est d'environ 8 % par rapport à celle du mortier témoin (0% PB). Par contre, dans le cas des mortiers à base de la poudre de brique avec un rapport égal à 0.45, les meilleures résistances à la compression sont obtenues quand le dosage en poudre de brique est de 10 % (10% PB).

La poudre de brique joue donc un rôle important dans l'accroissement de la résistance du mortier, notamment à long terme, en raison à la fois du processus d'hydratation du ciment, et de la cinétique de la réaction pouzzolanique de la poudre de brique [7] [8]. Le développement des nouveaux produits supplémentaire (dissolution/précipitation) telle que le gel des silicates de calcium hydratés (C-S-H) et le gel des aluminates de calcium hydratés (C-A-H) [9], conduisent à une matrice cimentaire plus dense et favorisent le développement de la résistance mécanique. En outre, les particules fines de la poudre de brique peuvent renforcer la microstructure et remplir les pores et les vides disponibles entre les particules du mortier [4] [5]. Pour ces raisons, l'incorporation de la brique comme un ajout pouzzolanique peut améliorer la résistance mécanique des matériaux cimentaire.

L'évolution de la résistance à la compression, pour tous les mortiers avec un rapport E/L égal à 0.5, est plus significative par rapport à celle obtenue dans le cas des mortiers avec un rapport E/L égal à 0.45. Ceci peut être expliqué par la quantité de liant qui est mieux hydraté quand

la quantité d'eau est plus importante (E/L élevée) Alors, une quantité du liant peut restée toujours anhydre dans le cas du mortier avec E/L égal à 0.45. Par ailleurs, les résultats montrent aussi qu'un surdosage en poudre de brique (30% PB) conduit à une diminution dans la résistance mécanique du mortier par le fait que les liaisons chimiques du gel C-S-H peuvent être minimisées avec une quantité moindre en ciment et par conséquent une résistance mécanique plus faible est enregistrée à long terme [5].

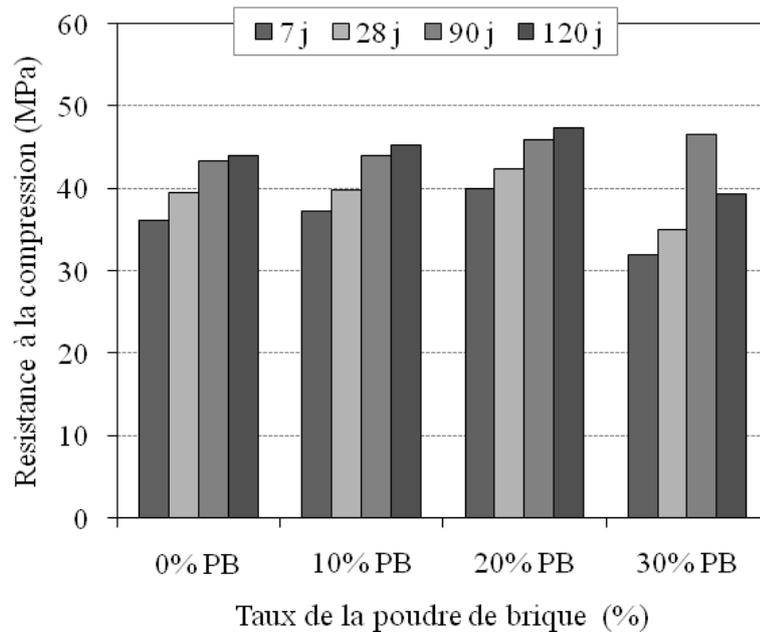


Fig.5. Évolution de la résistance à la compression des différents mortiers avec un rapport E/L égal à 0.5.

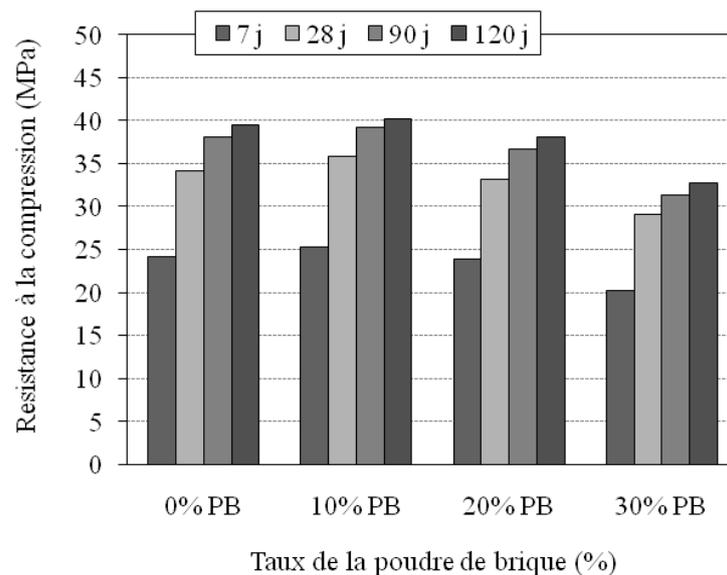


Fig.6. Évolution de la résistance à la compression des différents mortiers avec un rapport E/L égal à 0.45.

3.3. L'absorption capillaire

Les figures 7 et 8 montrent les résultats de l'absorption capillaire pour les différents mortiers, les premières observations montrent que la quantité d'eau absorbée par les échantillons du mortier, augmente en fonction du temps. Par ailleurs, les résultats obtenus montrent que la sorptivité diminue d'autant plus que le mortier est riche en poudre de brique pour les mortiers avec un rapport E/L égal à 0.5 (voir la fig.7), par contre les mortiers avec un dosage de 30 % en poudre de brique absorbent plus d'eau par rapport au mortier témoin (0% PB).

Cette diminution de la sorptivité est probablement due à la réduction de la porosité, par le fait de la réaction pouzzolanique qui rend le réseau capillaire plus complexe et par conséquent, la pénétration d'eau devient plus lente et difficile [10] [11].

Dans le cas des mortiers avec un rapport E/L égal à 0.45 (voir la fig. 8), les résultats montrent que les mortiers contenant de la poudre de brique absorbent plus que le mortier témoin durant tout le temps de l'essai, en raison d'une hydratation incomplète. Ce qui conduit à une augmentation relative de la porosité et par conséquent à un coefficient d'absorption capillaire plus élevé.

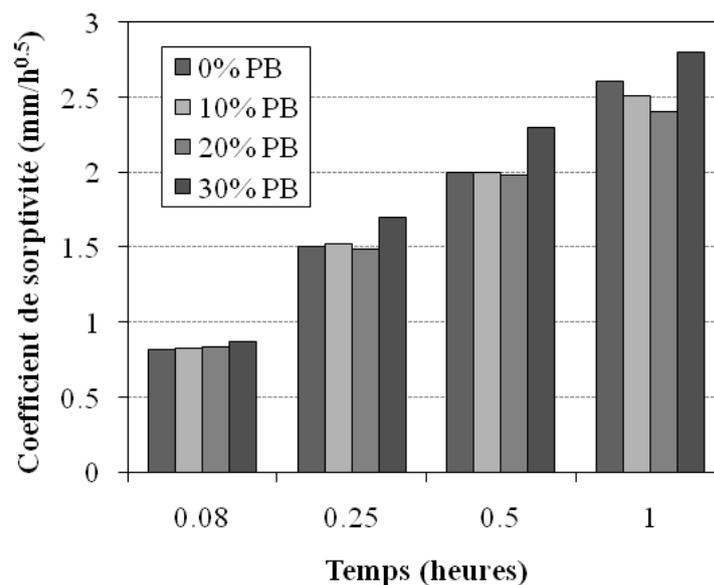


Fig.7. Evolution du coefficient d'absorption capillaire des différents mortiers avec un rapport E/L égal à 0.5.

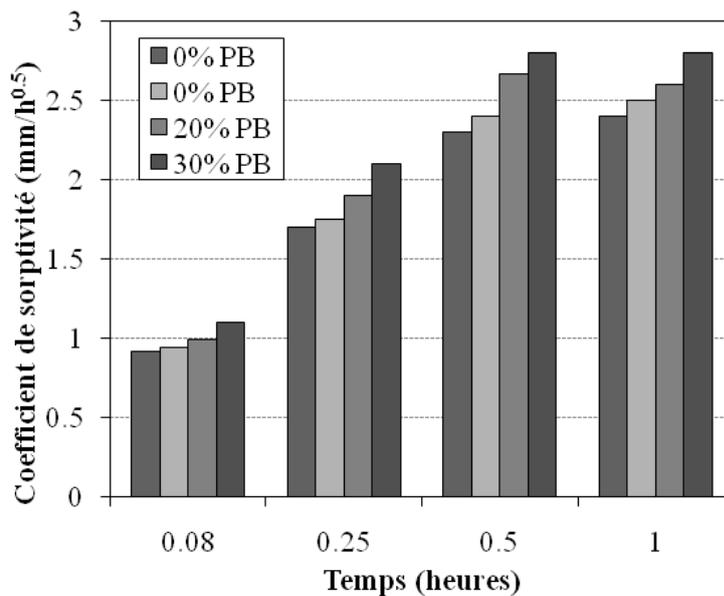


Fig.8. Evolution du coefficient d'absorption capillaire des différents mortiers avec un rapport E/L égal à 0.45.

3.4. Résistance aux attaques acides

La résistance aux attaques acides a été réalisée sur des échantillons de mortier à l'âge de 90 jours, par une immersion dans une solution de 5 % d'acide sulfurique (H_2SO_4) pendant une durée de 60 jours. D'après la figure 10, on remarque que les mortiers contenant de la poudre de brique ont présentées des pertes de masse plus forte que celles de mortier témoin. L'effet positif de la poudre de brique est bien clair dans les mortiers avec un dosage de 20 % de la poudre de brique dans le cas des mortiers avec un rapport E/L égal à 0.5 (voir la fig.9), qui pourrait être attribuée à la création d'hydrates d'aluminate de calcium [12], dont on pense être plus stable chimiquement dans les environnements très acides que les hydrates de silicate de calcium [13].

En outre, Les pertes de masse mesurées pour les mortiers avec un rapport E/L égal à 0.45 sont supérieures par rapport a celles obtenues dans le cas du rapport E/L égal à 0.5. Ceci peut être expliqué par la quantité de liant qui est mieux hydraté quand la quantité de l'eau est plus importante dans le mortier.



Fig.9. Echantillons de différents mortiers avec un rapport E/L égal à 0.5, après 10 jours d'immersion dans la solution d'acide sulfurique (H_2SO_4).

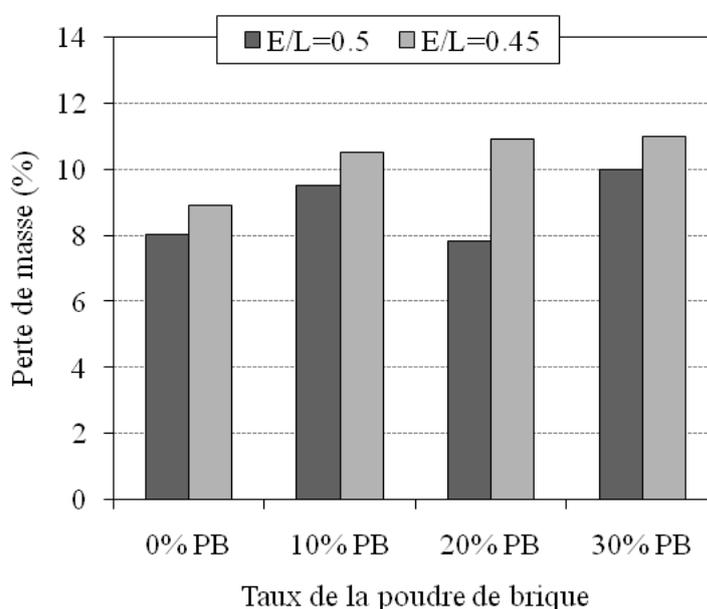


Fig.10. Perte de masse pour les différents mortiers immergés dans 5% (H_2SO_4).

3.5. Relation entre le coefficient de sorptivité et la résistance à la compression des différents mortiers à base de la poudre de brique

La sorptivité du mortier peut être réduite au cours du temps (à long terme), à cause du développement de la réaction pouzzolanique avec le temps, ce qui est en accord aussi avec l'augmentation de la résistance à la compression. Pour évaluer cette concordance, les résultats présentant la cinétique d'absorption capillaire (le coefficient de sorptivité pendant 1 heure) des différents mortiers à l'âge de 90 jours sont donnés en fonction de leur résistance mécanique sur les figures 11 et 12 respectivement. Une bonne corrélation a été observée entre l'évolution de la résistance à la compression et l'absorption capillaire des mortiers étudiés, les coefficients de régression déterminés sont de l'ordre de 0,91 pour les mortiers avec un rapport E/L égal à 0.5 et 0.90 pour les mortiers avec un rapport E/L égal à 0.45.

Ces constatations viennent de confirmer les résultats de Kazim *et al.* [14] et Rabhi *et al.* [1] ont déjà mentionné une concordance entre le développement de la résistance mécanique et la diminution de l'absorption capillaire. Selon ces auteurs, un mûrissement plus long favorise la formation d'une plus grande quantité d'hydrates qui viennent de combler et de fractionner davantage la porosité capillaire du matériau.

À partir des équations mathématiques données dans les figures 11 et 12, il est possible de déduire une bonne estimation de coefficient d'absorption capillaire, en déterminant seulement la résistance à la compression des mortiers étudiés à base de la poudre de brique, puisque ces deux paramètres sont étroitement liés.

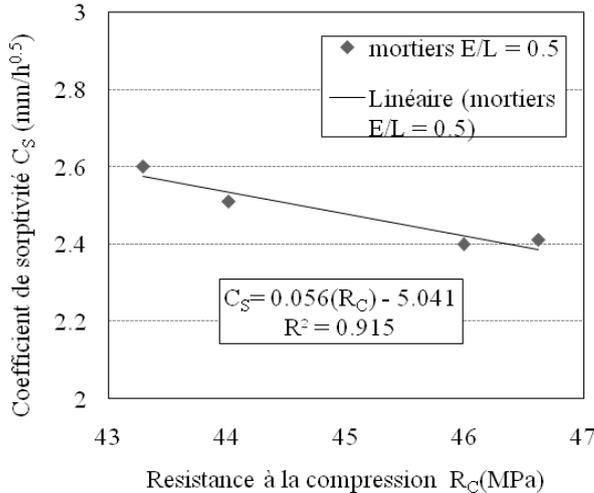


Fig.11. Variation de coefficient de sorptivité en fonction de la résistance à la compression des différents mortiers avec un rapport E/L égal à 0.5.

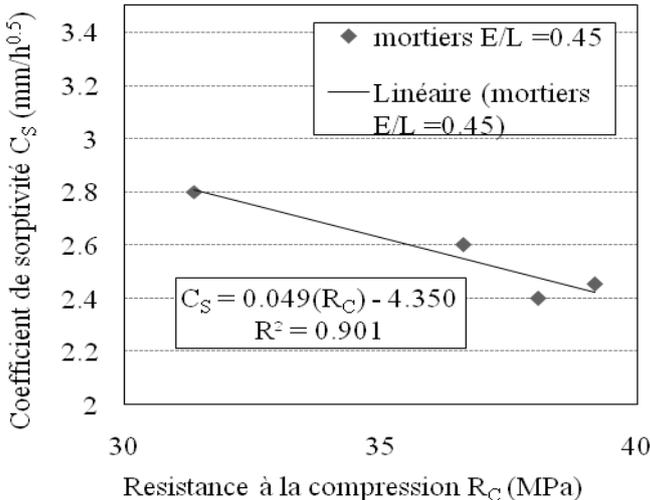


Fig.12. Variation de coefficient de sorptivité en fonction de la résistance à la compression des différents mortiers avec un rapport E/L égal à 0.45.

4. CONCLUSION

Le travail réalisé dans cette étude expérimentale vise à contribuer à mieux connaître l'influence de dosage en poudre de brique sur le comportement physique et mécanique de différents mortiers ordinaires.

Les résultats trouvés permettent de mettre en évidence que les mortiers à base de la poudre de brique présentent des performances mécaniques et physiques systématiquement inférieures à celles des mortiers ordinaires à l'exception des mortiers avec des dosages de 10 et 20 % en poudre de brique.

Le coefficient d'absorption capillaire des mortiers à base de la brique peut être estimé correctement à l'aide d'une équation mathématique linéaire, à partir des résultats de la résistance à la compression du matériau puisque ces deux paramètres sont étroitement liés.

Les déchets de brique, produits pouzzolaniques contribuent à l'amélioration des propriétés mécaniques du mortier, constituent donc une solution d'avenir pour développer les matériaux cimentaire.

REFERENCES

- [1] Collins F. Inclusion of Carbonation during the Life Cycle of Built and Recycled Concrete: Influence on their CarbonFootprint, *International Journal of Life Cycle Assessment.*, 2010, 15 (6), 549.
- [2] Safi B., Ghernouti Y., Rabehi B., Aboutaleb D. Effect of the Heat Curing on Strength Development of Self compacting Mortars Containing Calcined Silt of Dams and Ground Brick Waste. *Materials Research.*, 2013, Vol. 16(5), P. 1058-1064.
- [3] Irki I, Debieb F, Ouzadid S, Dilmi H.L, Settari C, Boukhelkhel D.j. Effect of Blaine fineness of recycling brick powder replacing cementitious materials in self compacting mortar, *J. Adhes. Sci. Technol*, 2018, 32 (9), 963–975.
- [4] Olofinnade O.M, Ede A.N, Ndambuki J.M, Bamigboye G.O. Structural properties of concrete containing ground waste clay brick powder as partial substitute for cement. *Mater. Sci. Forum.*, 2016, 866 63-67.
- [5] Ma Z.M, Tang Q, Wu H.X., Xu J.G., Liang C.F. Mechanical properties and water absorption of cement composites with various fineness and contents of waste brick powder from C&D waste, *Cem. Concr. Compos.*, 2020, 114, 103758.
- [6] Mohammed S.N, Ali Abdulhussein S, Zain Al-Abideen R.A, Mohammed S.I. Properties of eco-friendly cement mortar contained recycled materials from different sources. *Journal of Building Engineering.*, 2020, 31, 101444.

- [7] Mansour S, Kadri M, Kenai EH, Ghrici S, Bennaceur M. Influence of calcined kaolin on mortar properties. *Construction and building materials.*, 2011, 25 (5), 2275-82.
- [8] Wild S, Khatib JM, Jones A. Relative strength, pozzolanic activity and cement hydration in superplasticizer metakaolin concrete. *Cem Concr Res* 1996, 26:1537–44.
- [9] Zhenhua D, Shaodan H, Jianzhuang X, Bo L. Study on the essential properties of recycled powders from construction and demolition waste. *Journal of Cleaner Production.*, 2020, 253 119865.
- [10]] Schackow, A., Stringari, D., Senff, L., Correia, S. L., & Segadães, A. M. Influence of fired clay brick waste additions on the durability of mortars. *Cement and concrete composites*, 2015, 62, 82-89.
- [11] Donatello, S., Tyrer, M., & Cheeseman, C. R. Comparison of test methods to assess pozzolanic activity. *Cement and Concrete Composites*, 2010, 32(2), 121-127.
- [12] Ghrici M., Kenai S., Said-Mansour M., «Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements», *Cement & Concrete Composites* , 2007, 29, 542–549.
- [13] Hewayde E, Nehdi ML, Allouche E, Nakhla G. Using concrete admixture for sulfuric acid resistance. *ICE Proc Constr Mater*, 2007;160(1):25–35.
- [14] Kazim M.I.A, Rozière E., Grondin F., Loukili A. Effect of mineral additives on some of durability parameters of concrete, *International Conference on Advances in Cement Based Materials and applications to civil infrastructure*, (ACBM-ACI), December 12-14, Lahore, Pakistan. *Proposé*, 2007 .
- [15] Mohamed R, Bouzidi M, Salim G. Correlation between initial absorption of the cover concrete, the compressive strength and carbonation depth, *Construction and Building Materials*, 2013, 45, 123–129.