



Caractérisation des ajouts pouzzolaniques dans le mortier pour l'efficacité énergétique des bâtiments (Characterization of pozzolanic additions in the mortar for building energy efficiency)

M. Hamadache^{1*}, M. Mouli¹, N. Bouhamou², A.S. Benosman^{1,3}, O. Chaib¹, F. Dif¹

¹Laboratoire Matériaux, département de Génie Civil, Ecole National Polytechnique, Oran.

²Laboratoire de construction, transport et protection de l'environnement, Université de Mostaganem

³Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, Laboratoire de chimie des polymères, Université d'Oran 1, Ahmed Benbella, Oran, Algérie

Reçu le 20 Octobre 2015; Révisé le 23 Janvier 2016 et accepté le 7 Février 2016

*Corresponding Author. E-mail: hamadache.miloud@yahoo.fr; Tel: (+213554216068)

Abstract

The main objective of this study is to provide more data on the use of natural pozzolan and perlite located in the western region of Algeria as a substitute for making cement mortars with different percentages of pozzolan and perlite. Generally their use is reducing consumption of clinker, contributing to simply and economically solve environmental problems, reduce CO₂ emissions during cement production operations, control the environmental impact of products over their entire life cycle. The study is to investigate the effectiveness of additions of natural pozzolan and perlite on the thermal properties of mortars. Measurement instruments have been installed in order to quantify the overall interior environment and in particular the thermal environment. Knowing that thermal environment is characterized by physical parameters such as: air temperature, the wall temperature and the air humidity. It assesses the level of energy consumption and the thermal behavior of the envelope of the structure to verify the conformity of housing for thermal comfort requirements. In most cases, the insulation is obtained by the use of specific materials, which besides a good resistance to heat transmission, should have other qualities that are based on implementation requirements such as:

- The lightness and non-hygroscopic to maintain over time its insulating qualities,
- A good heat resistance,
- Good resistance to employment temperatures,
- An absence of harmful effects on materials in contact with the insulation.

Measurements of thermal conductivity and thermal resistance of mortars were followed in the open air and in water to various levels of natural pozzolan (PZ: 10%, 20%, 30%), perlite (P: 10%, 20%, 30%) and the mixture (5%P+ 5%PZ, 10%P +10%PZ, 15%P+15%PZ) for different time. The control mortar without pozzolan will serve as reference. The results are used to demonstrate the beneficial effect of pozzolan and perlite as thermal insulation in the subscribers with other insulation materials.

Keywords: Natural Pozzolan, Perlite, Mortar, Thermal conductivity, Thermal Resistance, Thermal Comfort.

Résumé

L'objectif principal de cette étude est de fournir d'avantage de données sur l'utilisation de la pouzzolane naturelle et de la perlite situées dans la région de l'ouest de l'Algérie comme substituant au ciment pour confectionner des mortiers avec différents pourcentages de pouzzolane et perlite. D'une manière générale leur utilisation fait réduire la consommation du clinker en contribuant de manière simple et économique à résoudre les problèmes liés à l'environnement, réduire l'émission du CO₂ durant les opérations de production de ciment, maîtriser l'impact environnemental des produits sur leur cycle de vie complet. L'étude consiste à étudier l'efficacité des ajouts de la pouzzolane naturelle et de la perlite sur les propriétés thermiques des mortiers. Des instruments de mesures ont été installés afin de quantifier l'environnement intérieur global et en

particulier l'ambiance thermique. Sachant que l'ambiance thermique est caractérisée par des grandeurs physiques tels que: La température de l'air, la température des parois et l'humidité de l'air. Celle-ci permet de l'évaluer le niveau de la consommation énergétique et le comportement thermique de l'enveloppe de l'ouvrage, afin de vérifier la conformité du logement aux exigences du confort thermique. Dans la plupart des cas, l'isolation est obtenue par l'emploi des matériaux spécifiques, qui, outre une bonne résistance à la transmission de la chaleur, doivent présenter d'autres qualités qui sont fonction des impératifs de mise en œuvre comme :

- La légèreté et le non hygroscopicité afin de conserver dans le temps ses qualités isolantes,
- Une bonne résistance thermique,
- Une bonne tenue aux températures d'emploi,
- Une absence d'effets nuisibles sur les matériaux en contact avec l'isolant.

Les mesures de la conductivité thermique et la résistance thermique des mortiers ont été suivies à l'air libre et dans l'eau pour différents teneurs en pouzzolane naturelle (PZ : 10%, 20%, 30%), en perlite (P : 10%, 20%, 30%) et le mélange (5%P +5%PZ, 10%P+10%PZ, 15%P+15%PZ) pour différentes échéances. Le mortier témoin sans pouzzolane servira de référence. Les résultats trouvés permettent de mettre en évidence l'effet bénéfique de la pouzzolane naturelle et la perlite comme isolant thermique en les comparant avec d'autres matériaux isolants.

Mots clés : Pouzzolane naturelle, Perlite, Mortier, Conductivité Thermique, Résistance Thermique, Confort Thermique.

1. Introduction

La performance de l'efficacité énergétique des bâtiments doit porter globalement: à la fois sur le bâti (matériaux de constructions), mais également sur les équipements et les systèmes qui les composent. Pour que la démarche soit complète, elle devra aussi intégrer le recours aux énergies renouvelables.

Le potentiel de réduction de consommation d'énergie induit par les nouveaux équipements de notre profession restés encore largement méconnus et sous-estimés. Les solutions techniques existent déjà et sont complémentaires aux démarches sur l'enveloppe du bâtiment [1,2]. La régulation est gérée par des automates qui sont plus au moins complexes selon les exigences du cahier de charge initial et selon le type de bâtiment habitat individuel, collectif ou tertiaire. Ces automates permettent de traiter les informations de mesure (température, humidité...) et d'état (marche/arrêt...) des équipements de chauffage, de climatisation et d'éclairage pour les régler, les optimiser, les sécuriser et compter l'énergie consommée.

2. Matériaux utilisés et méthodes d'essais

2.1. Le ciment

Le ciment utilisé dans tous les essais est un ciment CPA-CEM I 42,5 provenant de la cimenterie de la Farge, selon la Norme algérienne NA442 [3].

Les compositions chimiques du ciment et minéralogiques du clinker sont données dans les tableaux 1 et 2.

Tableau 1. Composition chimique élémentaire du ciment CPA-CEM I 42,5

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaO libre
64,8	21	4	7	2,71	0,41	0,13	0,9	1,20

Tableau 2. Composition minéralogique du clinker

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
51,30	25,70	2,80	14,30

2.2. La pouzzolane naturelle

La pouzzolane naturelle utilisée est d'origine volcanique extraite du gisement de Bouhamidi situé au sud de Béni-Saf. Le gisement est représenté par une montagne de forme conique appelée El-Kalcoul situé à la côte absolue de 236 m. Cette pouzzolane est essentiellement formée de scories et de pierres ponce bien stratifiées, de couleur variant du rouge au noir [4].

La pouzzolane naturelle utilisée dans tous les essais est sous forme d'une poudre, résultante de concassage des scories pouzzolaniques, étuvées pendant 24 heures à une température de 50°C afin d'éliminer leur humidité, ensuite broyées jusqu'à ce que la poudre résultante puisse passer à travers un tamis de mailles 80 µm.

La composition chimique de la pouzzolane naturelle après le broyage est montrée dans le tableau 3.

Tableau 3. Composition chimique élémentaire de la pouzzolane naturelle de Beni-Saf

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	Cl	CaCO ₃
12,36	42,95	16,32	9,49	0,01	1,39	3,00	4,20	0,00	10,75

2.3. Perlite

La perlite est une roche volcanique siliceuse [5]. La roche est d'abord concassée et calibrée par granulométrie. En apparence, extraite du gisement de Hammem Boughrara situé à Tlemcen, Algérie. L'expansion industrielle de la perlite est réalisée par EFISOL dans des fours spéciaux, fixes ou rotatifs [6]. Sous l'effet de la chaleur, les grains de perlite s'expandent : une multitude de cellules fermées se constituent à l'intérieur des grains. La perlite est utilisée sous forme d'une poudre tamisée à 80 µm dans tous les essais [7].

La composition chimique de la perlite broyée et le spectre DRX sont montrés dans le tableau 4 et la figure 1, respectivement.

Tableau 4. Composition chimique élémentaire de la perlite de Hammam Boughrara

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	Cl	CaCO ₃
3,16	76,40	13,43	2,92	0,01	4,33	0,82	0,37	0,008	8,75

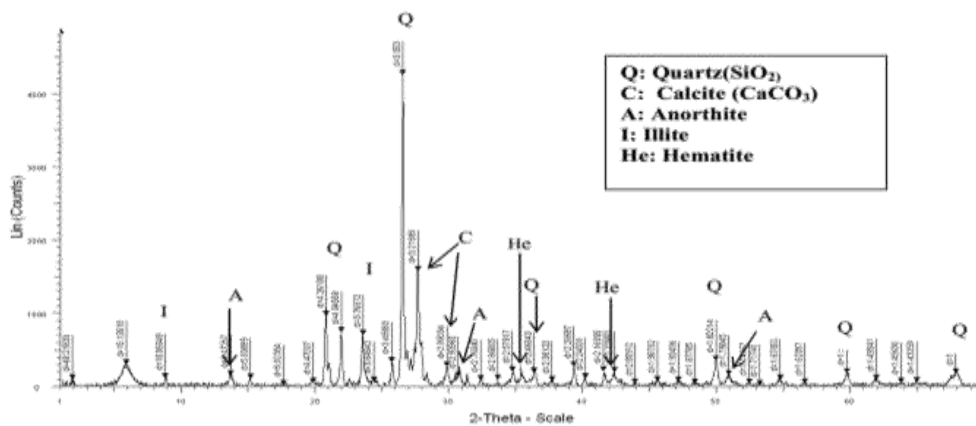


Figure 1. Spectre RDX de la perlite de Hammam Boughrara

2.4 Le sable

C'est le sable de mer de Terga corrigé avec 40 % Sable de Mer, 60 % Sable de Carrière. Le sable est initialement préparé pour être classé suivant les normes françaises NF P 15-403 [8], sa courbe granulométrique satisfait au fuseau de référence indiqué dans la figure 1. Ce sable est un squelette granulaire qui a le plus d'impact sur les qualités du béton et du mortier. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs dégagées et le prix de revient des bétons. Il doit être propre, ne pas contenir d'éléments nocifs.

Tableau 5. Caractéristiques physiques du sable

Masse Volumique absolue (g/cm ³)	2,64
Masse Volumique apparente (g/cm ³)	1,44
Equivalent de sable (%)	98,4
Module de finesse	1,80
Coefficient de courbure	1,20
Coefficient d'uniformité	2,40
Nature du sable	Quartzeux

2.5 L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la préparation des mortiers est l'eau potable du robinet, sa composition chimique est illustrée [10] dans le tableau 5.

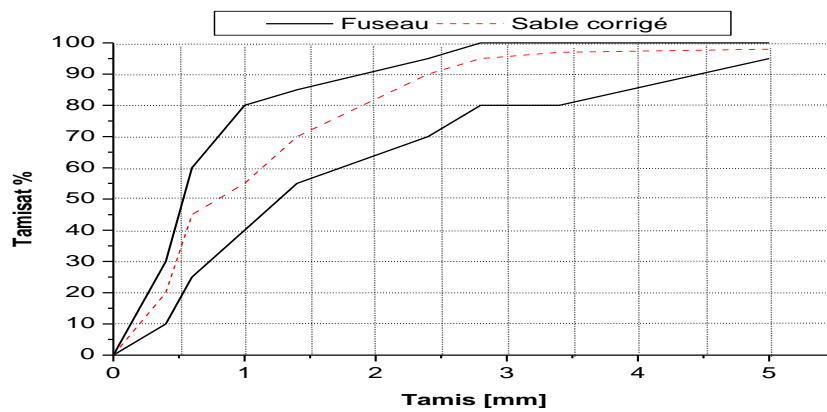


Figure 2 : Courbe granulaire des sables corrigés [9]

Tableau 5 : Analyse chimique de l'eau de gâchage.

Composé	Symbole	Teneur (mg /l)
Chlorures	Cl	127
Sulfates	SO ₄	190,23
Magnésium	Mg	54
Calcium	Ca	86
Dioxyde de carbone	CO ₂	2,43
Bicarbonates	CO ₃ H	138
Matières organiques		0,12
pH=7,50		

2.6 Méthodes d'essais

La préparation du mortier a été effectuée selon les étapes suivantes Norme ASTM C 305-99 [11] : Le sable et le ciment à tester sont gâchés avec l'eau dans les proportions : 450 ± 2 g de ciment, 1350 ± 5 g d'un sable et un pourcentage d'eau. Les rapports E/C d'un tel mortier sont de l'ordre de 0,50. Les mortiers sont destinés pour la confection des éprouvettes de dimensions de $50 \times 50 \times 50$ mm³.

Afin d'évaluer les propriétés thermiques [12] des mortiers et mettre en relief l'influence de la substitution du ciment par la pouzzolane naturelle de Béni-Saf et la perlite de Hammam Bouhrara. On a mesuré la conductivité thermique des mortiers à l'aide d'un appareil type "Isomet 2104" (figure 3). C'est un instrument de mesure portable pour la mesure directe du coefficient de conductivité thermique, capacité volumétrique spécifique et la température en utilisant l'échange de seringues et sondes de surface, selon la norme ISO8302 [13].



Figure 3 : Conductivimètre [7].

3. Résultats et Discussion

3.1 Mesure de la conductivité thermique à l'air libre

La figure 4 illustre la variation de la conductivité thermique des mortiers pouzzolaniques et du mortier témoin en fonction du temps à l'air libre.

M0 : Mortier sans ajout pouzzolanique
 MPZ10 : Mortier avec 10% de pouzzolane
 MPZ20 : Mortier avec 20% de pouzzolane
 MPZ30 : Mortier avec 30% de pouzzolane.
 M 5P+5PZ : Mortier avec melange de 5% perlite et 5% pouzzolane
 M 10P+10PZ : Mortier avec melange de 10% perlite et 10% pouzzolane
 M 15P+15PZ : Mortier avec melange de 15% perlite et 15% pouzzolane
 MP10 : Mortier avec 10% de perlite
 MP20 : Mortier avec 20% de perlite
 MP30 : Mortier avec 30% de perlite

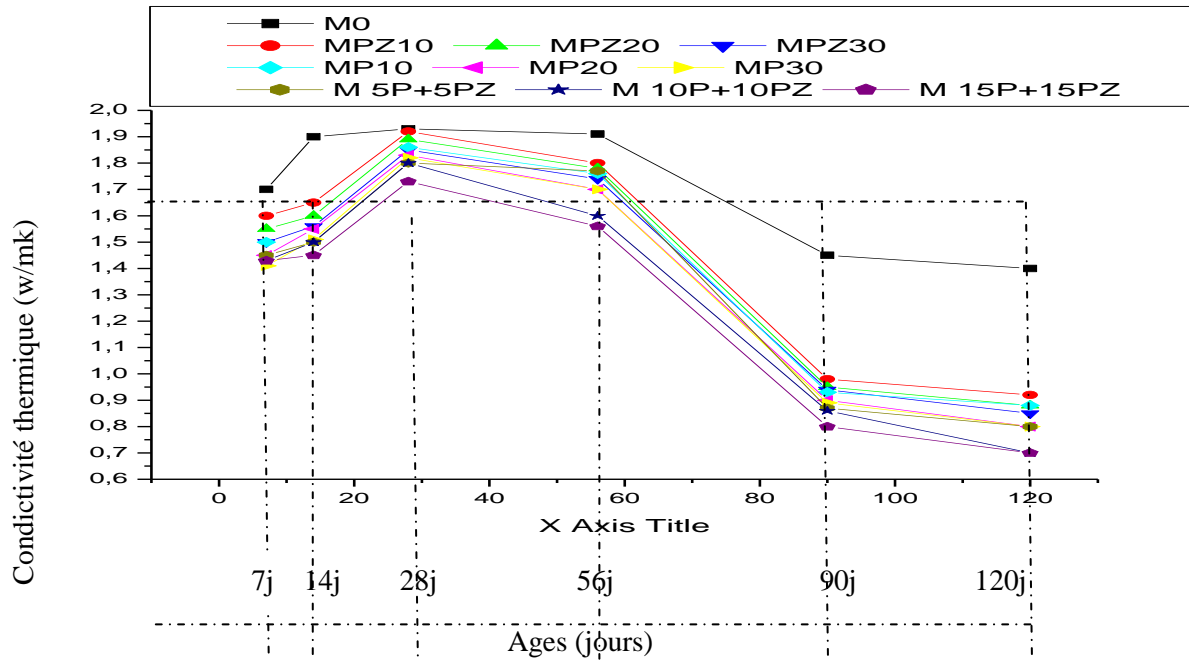


Figure 4. Variation de la conductivité thermique en fonction du temps à l'air libre

Nous remarquons que l'intervalle compris entre 7 jours et 28 jours montre l'évolution de la conductivité thermique en fonction du taux d'ajouts, au-delà de 28 jours la conductivité thermique diminue pour le même taux d'ajouts ce qui explique la bonne isolation thermique à long terme [14, 15].

3.2 Mesure de la conductivité thermique conservée dans l'eau

La figure 5 montre la variation de la conductivité thermique des différents mortiers en fonction du temps conservés dans l'eau. Nous constatons que l'intervalle compris entre 7 jours et 28 jours montre l'évolution de la conductivité thermique en fonction du taux d'ajouts, au-delà de 28 jours la conductivité thermique diminue pour le même taux d'ajouts ce qui explique la bonne isolation thermique à long terme. En comparant les figures 4 et 5, nous enregistrons une bonne amélioration de l'isolation thermique qui est due essentiellement à la faible conductivité thermique des échantillons exposés à l'air par rapport à ceux conservés dans l'eau.

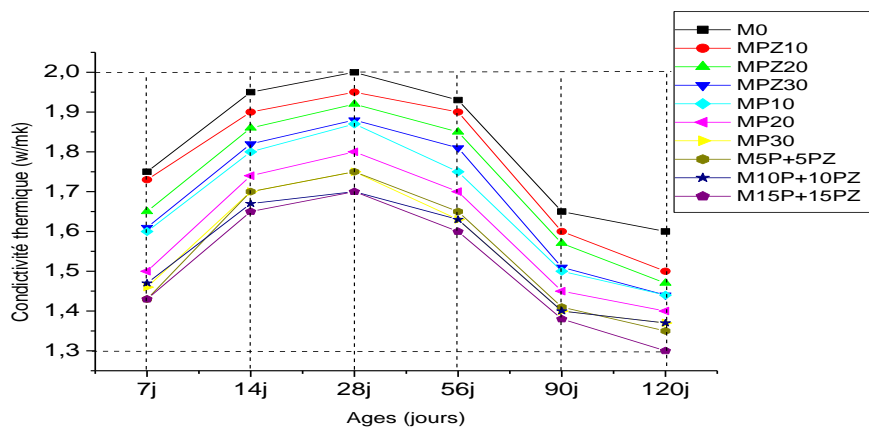


Figure 5. Variation de la conductivité thermique en fonction du temps conservés dans l'eau

Conclusion

L'intérêt majeur qui a été à l'origine de cette étude est la possibilité de substituer partiellement un matériau industriel, le ciment, par un matériau naturel qui est la pouzzolane et la perlite. L'un et l'autre n'ont pas le même prix de revient. En effet la pouzzolane naturelle et la perlite étant des produits naturels et ne passant donc pas par des processus industriels d'énergie coûteuse. Elles sont beaucoup moins chères que le ciment, qui lui, passe par des processus très coûteux.

Mais, les mortiers obtenus par substitution du ciment par les matériaux tels que la pouzzolane et la perlite ne peuvent être retenus que s'ils présentent des performances physico-chimiques et thermiques nettement meilleures que celles obtenues avec le ciment seul.

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent une meilleure valeur de la conductivité thermique à l'âge de 120 jours pour des mortiers pouzzolaniques exposés à l'air libre en les comparant à des mortiers pouzzolaniques conservés dans l'eau pour le même âge. De cela, on déduit une meilleure isolation thermique.

La principale conclusion à laquelle on a abouti, c'est que le matériau substitué de mélange de pouzzolane et perlite au ciment Portland confère au mortier une meilleure conductivité thermique. Les mortiers pouzzolaniques peuvent être recommandés comme matériaux isolants thermique par ce que la conductivité thermique des échantillons est faible en fonction du temps et lorsque la teneur en pouzzolane augmente. D'où, l'efficacité énergétique de ces matériaux.

Remerciements - Nous tenons à remercier toute l'équipe et le comité d'organisation scientifique du congrès international sur la gestion des déchets et le développement durable, 7-9 Octobre 2015 à Tanger, Maroc.

Références

1. Mindeguia, J-C., *Contribution Expérimentale à la Compréhension des Risques d'instabilité Thermiques des Bétons*, Thèse de doctorat d'état en Génie Civil, (2009), p 44-5.
2. Bazant, Z. P., Cusatis, G., Cedolin, L., *J. Eng. Mech.*, 130(6) (2004) 691.
3. Norme NA442., Equiv EN 197-1., *Ciment- composition, spécification et critères de conformité des ciments courants*, P15-101-1, comité 37 N°20, (2001).
4. Mouli, M., *Etude des Propriétés Physiques et Mécaniques de La Pouzzolane en Vue de la Fabrication des Bétons Légers et des Bétons à Haute Performance*, Thèse de doctorat d'état en Génie Civil USTO, (2006).
5. Sengul O., *Energy Build.*, 43 (2011) 671.
6. Lanzon M., *Constr. Build. Mater.*, 22(8) (2008)1798.
7. Erdem T.K., Meral Ç., Tokyay M., Erdoğan T.Y., *L'utilisation de la perlite comme une addition pouzzolanique dans la production de ciments*, Moyen Science Direct Scopus Applications, 29(1) (2007) 13.
8. Norme NF 15 403., *Préparation des éprouvettes, réalisations, malaxages*, (2011).
9. Hamadache, M., Mouli, M., Bouhamou, N., Dif, F., Benosman, A.S., In: Proceedings (PROC_89) of RILEM International workshop on performance-based specification and control of concrete durability, edited by, D. Bjegović et al., Zagreb-Croatia, 11-13 June (2014) p133-140.
10. Ghrici M., *Etude des Propriétés Physico Mécaniques et de la Durabilité des Ciments à Base de Pouzzolane Naturelle*, Thèse de doctorat d'état en Génie Civil, USTMB Oran, Algérie, (2006).
11. ASTM C 305-99., *Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency*, (1999).
12. Norme EN ISO 6946 SIA 180.071-96., *Composants et parois de bâtiments-Résistance thermique et coefficient de transmission thermique-Méthode de calcul*, Catalogue d'éléments de construction avec calcul de la valeur de coefficient de transmission thermique U, (1996).
13. ISO8302-91., *Isolation thermique, détermination de la résistance thermique et des propriétés connexes en régime stationnaire, méthode de la plaque chaude gardée*, Model ISOMET 2104, Heat Transfer Analyzer, (1991).
14. Prénorme SIA 279-00., *Isolants thermiques*, Catalogue d'éléments de construction avec calcul de la valeur de coefficient de transmission thermique U, (2000).
15. Norme SIA 180-99., *Isolation thermique et protection contre l'humidité dans les bâtiments*, Catalogue d'éléments de construction avec calcul de la valeur de coefficient de transmission thermique U, (1999).

(2016) ; <http://www.jmaterenvironsci.com>