



## Formulation d'un mortier à base de perlite avec étude thermique et acoustique

*Ayed Kada<sup>(1)</sup>, Midoune Narimene<sup>(1)</sup>, Mechebek Souad<sup>(2)</sup>*

<sup>1</sup> Département Génie Civil, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran – MAURICE AUDIN, 31000 - EL M'Naouer,  
Oran, Algeria

<sup>2</sup> Département Génie Civil, Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf d'Oran – 31000 - EL  
M'Naouer, Oran, Algeria

**Email :** [kada.ayed@enp-oran.dz](mailto:kada.ayed@enp-oran.dz) , [midoune.narimene@gmail.com](mailto:midoune.narimene@gmail.com)

**Auteur correspondant :** AYED Kada, Maitre de conférences Classe A , ENP MA Oran

**Mail :** [kada.ayed@enp-oran.dayeddzkada@gmail.com](mailto:kada.ayed@enp-oran.dayeddzkada@gmail.com).

## **RESUME :**

Face à toutes les contraintes que le domaine du bâtiment peut affronter, on peut dire que le confort thermique et acoustique en font partie et deviennent même une nécessité. Les enjeux environnementaux et du développement durable dans le domaine du bâtiment sont désormais de plus en plus pris en compte, ce qui mène à la recherche de matériaux isolants qui répondent à ce besoin. Dans ce qui suit, une étude sur l'influence de l'ajout de la perlite expansée dans la formulation des mortiers ainsi que ses caractéristiques thermiques et acoustiques, avec une substitution du sable. Sur ce, on a effectué des formulations à différents pourcentages de perlite expansée, ensuite, on a opté dans un premier temps pour des essais mécaniques à l'état frais, tel que la consistance, et à l'état durci, tel que la résistance à la compression, ainsi que la résistance à la flexion. Dans un deuxième temps, on a fait une étude sur le comportement thermique et le comportement acoustique de ce matériau. Et les résultats sont interprétés dans chaque cas.

**Mots clés :** *Bâtiment / durabilité / béton / perlite expansée / mortier / matériaux / caractéristiques mécaniques / thermique / acoustique.*

## **ABSTRACT:**

With all the constraints that the building field can face, we can say that thermal and acoustic comfort is part of it and even becomes a necessity. Environmental and sustainable development issues in the building sector are now increasingly being taken into account, leading to the search for insulating materials that meet this need. In what follows, a study on the influence of the addition of expanded perlite in the formulation of mortars as well as its thermal and acoustic characteristics, with a sand substitution. On this basis, formulations were carried out at different percentages of expanded perlite, and then the first step was to carry out mechanical tests in the fresh state, such as consistency, and in the hardened state, such as compressive strength, and bending resistance. Secondly, a study was carried out on the thermal and acoustic behavior of this material. And the results are interpreted in each case.

**Key words:** *Building / sustainability / concrete / expanded perlite / mortar / materials / mechanical characteristic / thermal / acoustic.*

## **NOMENCLATURE :**

$M_i$	L'échantillon numéro i, de 0 à 5.
$E$	Etalement [%]
$D_f$	Diamètre final [cm]
$D_i$	Diamètre initial [cm]
$C_a$	Coefficient d'absorption capillaire [Kg/m <sup>2</sup> ]
$R_c$	Résistance à la compression [MPa]
$R_f$	Résistance à la traction [MPa]
$D_i$	Dallettes numéro i, de 0 à 5.
$\lambda$	Coefficient de conductivité thermique [W/m.K]
$C_p$	Capacité thermique massique [J/m <sup>3</sup> ]
$A$	Diffusibilité thermique [m <sup>2</sup> /s]
$R_t$	Résistance thermique [m <sup>2</sup> .K/W]
$L_{p1}$	Le niveau de pression acoustique à l'émission [Db]
$L_{p2}$	Le niveau de pression acoustique à la réception [Db]
$R$	Résistance [ $\Omega$ ]
$\tau$	Coefficient de transmission de la paroi [m <sup>2</sup> ]

## 1. INTRODUCTION

La perlite est un verre volcanique amorphe de nature acide, de la famille des rhyolites perlitiques, qui a une teneur en eau relativement élevée (2 à 6% d'eau combinée chimiquement) [1], habituellement formée par l'hydratation d'obsidienne. Elle a la propriété inhabituelle de s'expansée lors qu'elle est chauffée entre 850°C et 1100°C. Cette expansion se traduit par une augmentation de volume 7 à 20 fois le volume initial [2-5].

L'expansion de la perlite se fait par plusieurs procédés, le procédé le plus utilisé est l'expansion thermique, selon [6] à une température d'environ de 900°C il y a expansion de la perlite [6]. Comme il existe d'autres procédés modernes pour fabriquer la perlite expansée, comme le procédé organofonctionnalisation de la perlite par absorption d'orthophenanth online [7].

S'inscrivant dans la recherche du confort thermique et acoustique dans le bâtiment, l'étude de cet ajout reste indispensable vu que l'intégration de ce dernier dans la formulation du mortier, fait en sorte de diminuer les déperditions thermiques qui proviennent notamment de diverses parties opaques (mur, toit et plancher) et d'améliorer l'isolation

phonique [7]. Il est donc, intéressant d'envisager l'utilisation de la perlite, dont les caractéristiques répondent à ce besoin d'isolation grâce à sa structure poreuse qui est particulière par rapport à celle des autres matériaux de construction [8].

Les objectifs principaux de ce travail sont de formuler des mortiers avec des taux de substitutions de sable par rapport à la perlite expansée de 0 à 100% par palier de 20%. Puis étudier leurs propriétés mécaniques comme la résistance à la compression et à la traction dans un premier temps et puis de tester leurs propriétés isolantes vis à vis des propriétés acoustiques et thermiques dans un deuxième temps.

## 2. MATERIAUX ET ESSAIS

Le ciment utilisé dans la formulation du béton est de type (CEM I 52.5 R) de la cimenterie d'Og gaz (Nord-ouest de l'Algérie), fabriqué et certifié selon la norme NF EN 197-1[9]. Ce ciment a une surface spécifique Blaine de 368 m<sup>2</sup>/kg, une masse volumique absolue égale à 3150 Kg/m<sup>3</sup> et une résistance à la compression caractéristique de 55 MPa à 28 jours. Les compositions chimiques et minéralogiques du ciment sont présentées par Tableau 1.

CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl	Résidu insoluble	Perte au feu	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
63,0	18,9	5,8	4,2	1,1	0,44	0,60	3,5	0,06	0,3	1,2	64	15	8	12.6

**Tableau 1.** Composition chimique et minéralogique du ciment.

Le sable utilisé est un sable normalisé selon les normes (CEN EN, 196-1), conformément à la norme NF 196-1[10].

La perlite utilisée est une perlite expansée fournie par l'entreprise LAMDA de la wilaya de BOUIRA. Avant de procéder à son expansion, la perlite passe par le broyage puis le chauffage à une température entre 800/1200°C dans un four spécial. A cette température, l'eau occluse se transforme en vapeur et fait office d'agent d'expansion, jusqu'à la constitution d'un grain léger, composé de microcellules closes et vides, multipliant son volume jusqu'à 20 fois. Grâce

à ces microcellules closes et vides, la perlite élimine tout échange thermique par conduction et rayonnement. De plus, les grains de perlite immobilisent l'air présent, évitant la transmission thermique par convection. Après expansion, elle conserve encore toutes les propriétés initiales du minerai. Si nous prenons en compte le rapport coût-volume-capacité d'isolation, la perlite expansée est le matériau isolant le plus économique actuellement. Sa masse volumique est de l'ordre de 95 kg/m<sup>3</sup> pour une fraction granulaire de 2 - 4 mm. Sa composition chimique est indiquée dans le tableau suivant.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MgO
74±2.5	12.8±0.8	0.8	0.05	0.2	3.3±0.5	4.3±0.5	0.1	0.2

**Tableau 2.** Composition chimique de la perlite utilisée.

Six formulations ont été préparées en augmentant le pourcentage de la perlite expansée dans le mortier par substitution de sable c'est-à-dire, six proportions différentes d'agrégats de perlite par substitution de sable (0%, 20%, 40%, 60%, 80% et 100% de volume du sable). Les essais sont effectués sur des éprouvettes prismatiques (4×4×16) cm<sup>3</sup> de

mortier, à raison de trois éprouvettes par essai et compactés mécaniquement à l'aide d'une table à choc. Les moules ont été couverts de film plastique et stockés dans une salle de conservation. Après 24 heures, les échantillons ont été démoulés et conservés jusqu'à la période de l'essai dans l'eau à une température de 20 ± 1°C.

N°	Ciment	Perlite Expansée		Sable	E/C	Eau
	[g]	(%)	[g]	[g]		[g]
M <sub>0</sub>	450	0	0	1350	0,5	225
M <sub>1</sub>	450	20	270	1081	0,5	225
M <sub>2</sub>	450	40	541	811	0,5	225
M <sub>3</sub>	450	60	811	541	0,5	225
M <sub>4</sub>	450	80	081	270	0,5	225
M <sub>5</sub>	450	100	350	0	0,5	225

*Tableau 3. Composition des différents mortiers testés*



*Figure 1. Etat des échantillons après l'essai de compression*

L'étude des effets de la perlite expansée dans les mortiers a été faite par des essais mécaniques, thermiques et acoustiques. Notre étude a été menée sur deux plans. Le premier à l'état frais, qui concerne la consistance, et le deuxième à l'état durci, qui concerne la masse volumique, la résistance à la compression, la résistance à la traction par flexion, ainsi que

l'absorption capillaire. Tandis, qu'une étude thermique a été faite sur des dalettes de dimensions (12×4×16) cm<sup>3</sup> dans le but de mesurer la conductivité thermique des mortiers selon les différents pourcentages de perlite expansée, ainsi qu'une étude acoustique afin de déterminer l'affaiblissement acoustique des mortiers.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

#### 3.1. Caractéristiques mécaniques



**Figure 2.** Essai de la consistance.

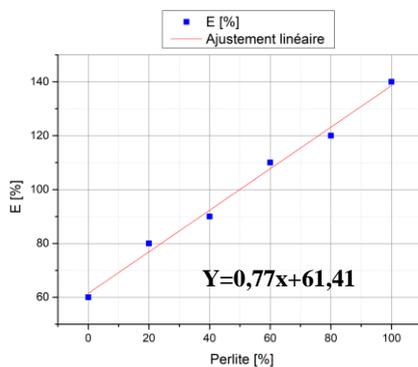
D'après la figure 3.a, on remarque qu'en augmentant le pourcentage de la perlite dans le mortier, l'étalement augmente, en passant de 60% dans le cas du mortier témoin à 140% pour un mortier de 100% perlite où on remplacé tout le sable par la perlite. Lors du

malaxage, on a remarqué que la perlite broyée, la perlite a une granulométrie très fine et améliore la maniabilité du mortier.

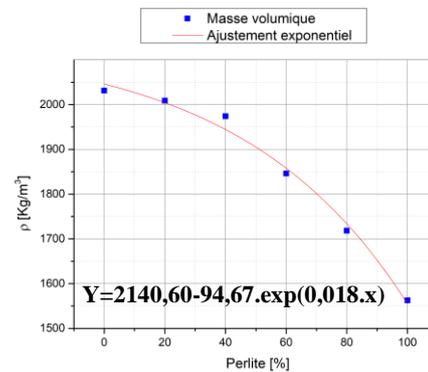
La figure 3.b nous montre qu'en augmentant le volume de la perlite expansée de 20 à 100% dans les échantillons de mortiers, la masse volumique diminue d'une façon exponentielle, variant de 2031 à 1562 g/m<sup>3</sup>, ce qui signifie qu'on a une diminution du poids de 23%, presque le quart de la masse.

Ce qui nous mène à dire, que la perlite expansée joue un rôle très remarquable en ce qui concerne la légèreté des mortiers. Ce type

de matériau peut être proposé pour le produire comme des briques de séparation, ou des revêtements, des chapes ou dallages de plateformes légères qui peuvent avoir des incidences directes sur la diminution du poids de la construction. Asik [20] a utilisé la perlite comme agrégat et comme substitution au ciment Portland. Il a observé une diminution de la masse volumique à l'état frais et durci avec l'augmentation de substitution de la perlite. De même Chihaoui [18] la durée de cure.



a) –La consistance



b) –La masse volumique

**Figure 3.** Evolution de la consistance et de la masse volumique en fonction des pourcentages de la perlite expansée.

La figure 4.a. nous montre la résistance mécanique en fonction du taux de substitution de la perlite expansé. La résistance à la compression diminue en augmentant le pourcentage de la perlite dans l'échantillon, au-delà de 40%, on voit une diminution remarquable passant de 45,05 à 35,34MPa

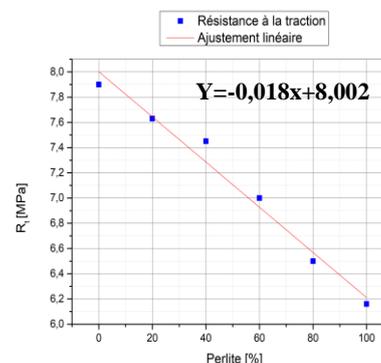
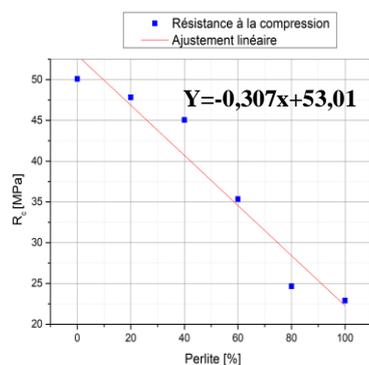
d'une manière linéaire mais qui reste acceptable pour un matériau de construction. Ce qui est à noter, que l'augmentation du taux de la perlite de 40% , implique une diminution de 40% de sable et on perd environ 22% de résistance mécanique, donc on gagne énormément dans le sable.

Les caractéristiques mécaniques des bétons de granulats légers dépendent fortement des propriétés et proportions de granulats présents dans la formulation. Contant indique qu'en particulier, de par leur forte porosité, les granulats légers sont beaucoup moins rigides que la matrice cimentaire et leur influence sur la résistance du béton est complexe.

Tandis que dans la figure 4.b. On constate diminution linéaire avec une légère pente de la résistance à la traction en augment le pourcentage de la perlite expansée.

Selon les résultats de l'essai montrés dans la figure 5, nous pouvons dire que l'absorption capillaire augmente avec le temps d'une manière très lente pour chaque mortier. Elle commence avec une cinétique très faible. Par contre pour les autres mortiers où le taux de perlite augmente, nous remarquons que cette cinétique devienne importante et cela peut être expliqué par le fait que les granulats de perlite

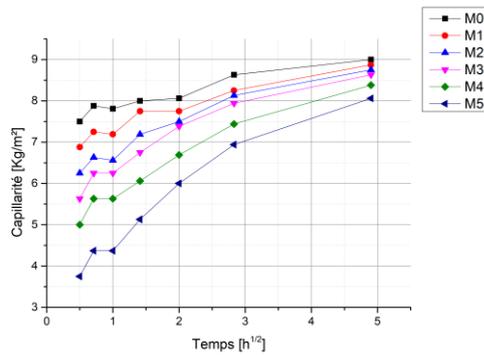
présentent un réseau de macro porosité important qui influe sur la vitesse d'absorption. D'une part, le taux d'absorption de tous les mortiers contenant la perlite restent inférieurs au mortier témoin. Selon Bader et al. ont utilisé la résonance magnétique nucléaire (RMN) pour évaluer la répartition de la porosité du ciment après l'ajout de la perlite expansée. Les résultats ont montré que la concentration optimale des particules de perlite était de 3%. Les mesures RMN ont montré que l'écart de la porosité du ciment entre les différentes sections (haut, milieu et bas) peut être efficacement contrôlé en ajoutant des particules de perlite. De plus, l'ajout de PP au ciment de classe G a montré une amélioration extrême de ses propriétés rhéologiques. D'autres propriétés, notamment la résistance à la traction, la résistance à la compression, le module de Young ont également été contrôlés en utilisant du ciment contenant la perlite [21].



a)- La résistance à la compression

b)- La résistance à la traction par flexion.

**Figure 4.** Evolution de la résistance à la compression et de la résistance à la traction en fonction des pourcentages de la perlite expansée.



**Figure 5.** Evolution de l'absorption capillaire en fonction des pourcentages de la perlite expansée.

### 3.2. Caractéristiques thermiques

A la base de des résultats du test thermique qui sont présentés par les figure 7. Nous remarquons qu'il y a une diminution du coefficient de conductivité thermique comme montré dans la figure 7.a d'une façon presque linéaire, ce qui mène à l'augmentation de la

résistance thermique en augmentant le pourcentage de la perlite dans le mortier avec un taux de 77% selon la figure 7.b d'une manière exponentielle, cela est dû aux caractéristiques de la perlite expansée en termes d'isolation, ce qui peut la mettre en valeur pour éviter les déperditions thermiques, et construire des bâtiments qui sont chauffés avec une d'énergie minimale ce qui contribue à un écosystème saint. [2] et [ 21] montre que le matériau perlite expansée était efficace pour stabiliser la distribution de densité et réduire considérablement la conductivité thermique de 40% par rapport au échantillon témoin.

Echantillons	$\lambda$ [W/m.K]	$C_p$ [J/m <sup>3</sup> ].10 <sup>6</sup>	$a$ [m <sup>2</sup> /s].10 <sup>-6</sup>	$R_t$ [m <sup>2</sup> .K/W]
<b>D<sub>0</sub></b>	3.10	1.96	1.86	0.010
<b>D<sub>1</sub></b>	2.97	1.88	1.95	0.012
<b>D<sub>2</sub></b>	2.60	1.59	1.87	0.014
<b>D<sub>3</sub></b>	1.45	1.53	0.95	0.028
<b>D<sub>4</sub></b>	1.15	1.57	0.73	0.035
<b>D<sub>5</sub></b>	0.71	1.58	0.45	0.057

**Tableau 4.** Résultats de l'étude thermique pour les différents mortiers.

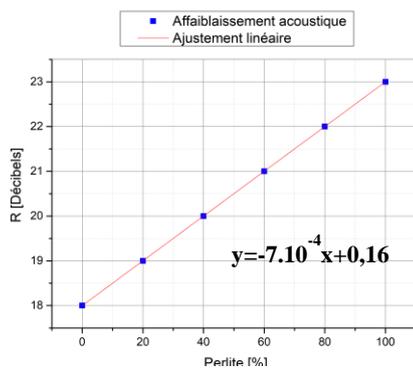
### 3.3. Caractéristiques acoustiques

En interprétant les résultats de l'essai effectué selon la norme NF EN ISO 717-1:2013, on trouve que le coefficient de transmission acoustique diminue en

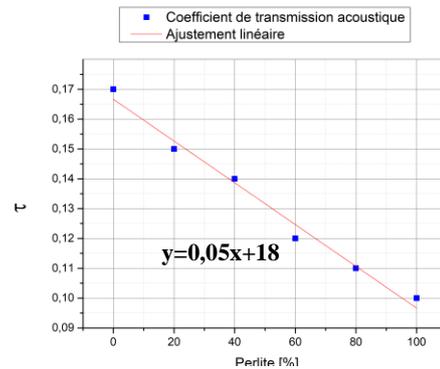
augmentant le pourcentage de la perlite expansée dans le mortier d'une façon linéaire, tandis que l'affaiblissement acoustique augmente linéairement.

Echantillon	Lp <sub>1</sub> (décibels)	Lp <sub>2</sub> (décibels)	R (décibels)	τ (m <sup>2</sup> )
D <sub>0</sub>	75	57	18	0.17
D <sub>1</sub>	75	56	19	0.15
D <sub>2</sub>	75	55	20	0.14
D <sub>3</sub>	75	54	21	0.12
D <sub>4</sub>	75	53	22	0.11
D <sub>5</sub>	75	52	23	0.10

Tableau 5. Résultats de la transmission et l'affaiblissement acoustiques pour les différents mortiers.



a)- L'affaiblissement acoustique



b)- Le coefficient de transmission acoustique

Figure 7. Evolution des caractéristiques acoustiques en fonction du pourcentage de la perlite expansée.

### 3.4. Variation des caractéristiques thermiques et acoustiques en fonction du pourcentage de la perlite

Selon la figure 8, en ajoutant la perlite, on remarque l'amélioration des performances

thermiques et acoustiques d'une manière proportionnelle. De ce fait, les meilleures performances sont à un dosage de 100% perlite sans tenir compte des caractéristiques mécaniques.

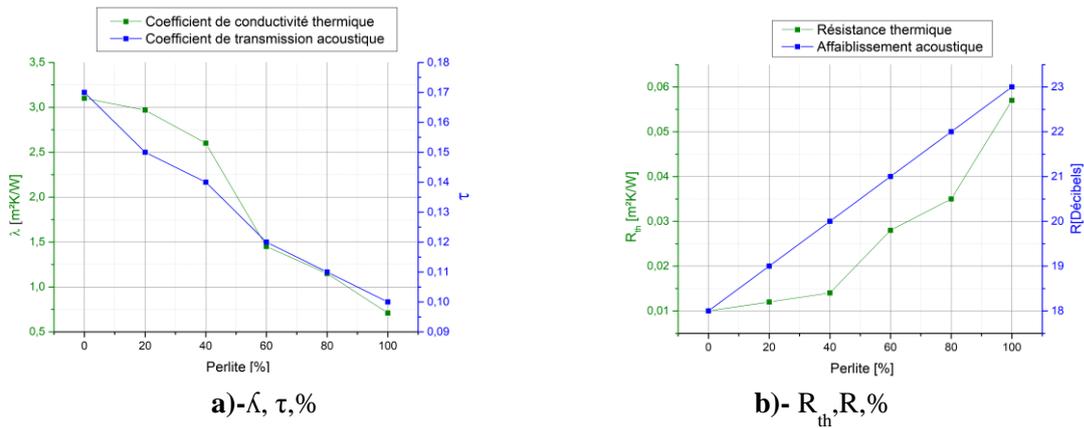


Figure 8. Variation des caractéristiques thermiques et acoustiques en fonction du pourcentage de la perlite expansée.

### 3.5. Variation des caractéristiques thermiques et acoustiques en fonction de la résistance à la compression

Selon ce que montre la figure 9, on remarque que lorsque la résistance à la compression augmente, le matériau devient plus conducteur, ce qui fait, qu'il transmet plus de charges

thermiques et acoustiques.

L'évolution est inversement proportionnelle, c'est-à-dire, en ayant une grande résistance à la compression, les performances thermiques et acoustiques diminuent. Ceci s'explique du fait que le matériau devient plus compact, moins léger et moins poreux.

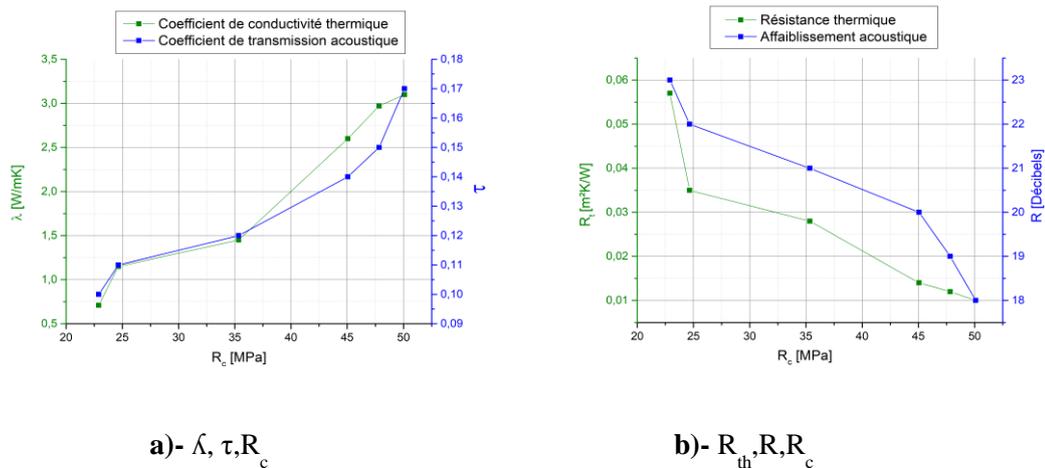


Figure 9. Variation des caractéristiques thermiques et acoustiques en fonction de la résistance à la compression.

#### 4. CONCLUSION

Notre travail avait pour objectif l'étude de l'influence de l'ajout de la perlite expansée dans les mortiers, en substitution de sable avec des pourcentages différents :

**[0%, 20%,40%,60%,80% et 100%]**

du volume du sable, ceci, nous a mené à présenter les caractéristiques de la perlite en premier temps, ensuite, on a fait des essais mécaniques à l'état frais (Maniabilité) et à l'état durci (Masse volumique, résistance à la compression et à la traction, absorption capillaire), et une étude thermique et acoustique pour comprendre le rôle de la perlite expansée en tant que matériau isolant avec de bonnes performances mécaniques.

L'analyse des résultats nous a permis de faire sortir les points suivants :

- L'ajout de la perlite expansée par substitution de sable permet de diminuer la masse volumique du mortier, ce qui est un avantage pour la légèreté.
- La consistance de la pâte obtenue augmente par l'ajout de la perlite expansée.

- L'ajout de la perlite expansée influence la résistance à la compression, d'une façon proportionnelle.
- La perlite expansée n'affecte pas vraiment traction, on voit seulement une petite diminution.
- La perlite est un matériau imperméable, ce qui mène à la diminution de la capillarité.
- On remarque la diminution du coefficient de conductivité thermique ce qui explique que la perlite expansée est un bon isolant thermique, car elle diminue les déperditions et elle augmente la résistance thermique.
- Selon l'étude acoustique, on peut dire que la perlite expansée est un isolant phonique aussi.

Pour conclure, on dit que la valorisation de ce produit local est indispensable, car il nous permet d'avoir des avantages sur divers plans, et ceci s'introduit dans le confort du bâtiment qui est devenu désormais nécessaire de nos jours.

Il est donc très intéressant de travailler sur une formulation avec ajout de perlite expansée et substitution de sable en cherchant le dosage optimal pour l'obtention de meilleures performances.

## 5. REFERENCES

### BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1] Kapeluszna Ewa, Kotwica Lukasz, Pichór Waldemar, Nocun Wczelik Wieslawa, Cement-based composites with waste expanded perlite Structure, mechanical properties and durability in chloride and sulphate environments. *Sustainable Materials and Technologies*, 24, e00160.  
doi: <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2020.e00160>
- [2] Lin, Y., Li, X., & Huang, Q. (2021). Preparation and characterization of expanded perlite/wood-magnesium composites as building insulation materials. *Energy and Buildings*, 231, 110637.
- [3] Denton, J. S., Tuffen, H., & Gilbert, J. S (2012). Variations in hydration within perlite-rhyolitic lavas—evidence from Torfajökull, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 223, 64-73.
- [4] Gürtürk, M., Oztop, H. F., & Hepbaslı, A. (2013). Energy and exergy assessments of a perlite expansion furnace in a plaster plant. *Energy conversion and management*, 75, 488-497.
- [5] Rashad, A. M. (2016). A comprehensive overview about recycling rubber as fine aggregate replacement in traditional cementitious materials. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 46-82.
- [6] J.P. Rocci, Mémento roches et minéraux industriels « La perlite ». Rap. BRGM, Janvier 1987.
- [7] Kapeluszna, E., Kotwica, L., Pichór, W., & Nocun-Wczelik, W. (2020). Cement-based composites with waste expanded perlite-Structure, mechanical properties and durability in chloride and sulphate environments. *Sustainable Materials and Technologies*, 24, e00160.
- [8] Zagorodnyuk, L., Sumskey, D., Lesovik, V., & Fediuk, R. (2020). Modified heat-insulating binder using jet-grinded waste of expanded perlite sand. *Construction and Building Materials*, 260, 120440.
- [9] NF EN 197-1 Avril 2012. Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants Directive(s) européenne(s).
- [10] Sable CEN EN 196-1 - Standard Sand - Standard Sand, [www.standard-sand.com](http://www.standard-sand.com), sables-cen-en-196-1  
Methods d'essais des ciments. Sable pour mesure des résistances mécaniques. Sable normalisé CEN certifié conforme EN 196-1.
- [11] ASTM C 230, Standard Specifications for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement, the American Society of Testing and Materials, vol. 04.012008.
- [12] NF EN (2006a). NF EN 196-1: Méthodes d'essais des ciments – Partie 1: détermination des résistances mécaniques (April). Comité Européen de Normalisation (CEN), AFNOR, Paris FRANCE.
- [13] ASTM: C 597, Standard test method for pulse velocity through concrete. *ASTM International, West Conshohocken, PA* 2009.
- [14] Gupta T, Chaudhary S, Sharma RK: Mechanical and durability properties of waste rubber fiber concrete with and without silica fume. *Journal of Cleaner Production* 2016, 112:702-711.
- [15] ASTM: D5930-01, Standard Test Method for Thermal Conductivity of Plastics by Means of a Transient Line-Source Technique. In: *Annual book of*

*ASTM standards, West Conshohocken,*

*Philadelphia, . 2001.*

[16] Erdem, T. K., Meral, C., Tokyay, M. U. S. T. A. F. A., & Erdogan, T. Y. (2007). Effect of ground perlite incorporation on the performance of blended cements. In Proc. Int. Conf Sustain. Constr. Mater. Technol., Taylor and Francis, London, ISBN (Vol. 13, pp. 978-0).

[17] Guenanou, F., Khelafi, H., & Aattache, A. (2019). Behavior of perlite-based mortars on physicochemical characteristics, mechanical and carbonation: Case of perlite of Hammam Boughrara. *Journal of Building Engineering*, 24, 100734.

[18] Chihaoui, R., Khelafi, H., Senhadji, Y., & Mouli, M. (2016). Potential use of natural perlite powder as a pozzolanic mineral admixture in Portland cement. *Journal of adhesion*

*science and Technology*, 30(17), 1930-1944.

[19] Karein, S. M. M., Vosoughi, P., Isapour, S., & Karakouzian, M. (2018). Pretreatment of natural perlite powder by further milling to use as a supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials*, 186, 782-789. [20] Aşık, M. (2006).

Structural lightweight concrete with natural perlite aggregate and perlite powder (Master's thesis).

[21] Bageri, B., Ahmed, A., Al Jaber, J., Elkatatny, S., & Patil, S. (2021).

Effect of Perlite Particles on the Properties of Oil-Well Class G Cement. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 108344.

[22] NF EN ISO 717-1:2013

Acoustique – Evaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction – Partie 1 Isolement aux bruits aériens