

Study of the pozzolanic activity of an andesitic rock in Algeria

Etude de l'activité pouzzolanique d'une roche andésitique en Algérie

M. Hamidi¹, L. Kacimi², M. Cyr³ et P. Clastres³

¹Centre universitaire de Khemis Miliana, Ain Defla, Algérie

²Université USTO, Oran, Algérie

³Université de Toulouse, LMDC-INSA-UPS, France

Abstract. This work is a part of the agreement programs Tassili N° 09 MDU 773 between Laboratory of Physico-chemistry Materials, USTO-Oran and Laboratory of Materials and Durability of Constructions (LMDC), INSA-UPS-Toulouse, France. The present study is an attempt to the research of new supply sources in admixtures and raw materials and the evaluation of local natural materials used in the manufacture of cement. It deals with the pozzolanic activity of the volcanic rocks and aims to compare the physical and mechanical characteristics of a mortar control made with cement CEMI 52,5R provided by Lafarge firm and of a mortar made with the same cement incorporated by different replacement rate of andesitic rock in a range of 0 - 40%. Volcanic rocks belonging to andesitic family and provided from Tipaza region (Western North of Algiers) were used in this study. The results found have shown that the cement made with andesitic rock may replace some Portland cements for a possible use in the field of construction.

Résumé. Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'accord programme Tassili N° 09 MDU 773 entre le Laboratoire de Physicochimie des Matériaux, USTO-Oran et le Laboratoire des Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC), INSA-UPS-Toulouse, France. La présente étude est une contribution aux travaux de la recherche de nouvelles sources d'approvisionnement en ajouts et en matières premières et la valorisation des matériaux naturels locaux utilisés dans la fabrication du ciment. Cette étude porte sur l'activité pouzzolanique des roches volcaniques, elle a pour but de comparer les caractéristiques physiques et mécaniques d'un mortier témoin à ciment de type CEMI 52,5R fourni par la firme Lafarge et d'un mortier à ciment du même type avec ajout dont les taux de substitution de la roche Andésitique est de 0- 40%. Dans notre travail, nous avons utilisé des roches volcaniques appartenant à la famille des Andésites, provenant de la région de Tipaza, Nord Ouest Algérois. L'étude des caractéristiques mécaniques et de l'indice de

pouzzolanité ont montré que les ciments fabriqués sont capables de remplacer certains ciments Portland pour une éventuelle utilisation dans le domaine de construction.

1 Introduction

Les andésites sont des dépôts volcaniques riches en silice (53-63%) et de composition chimique et minéralogique variable [1, 2]. Les propriétés physiques et mécaniques de l'andésite sont généralement satisfaisantes aux exigences acceptables pour leur utilisation dans divers domaines [3, 4, 5]. A des températures relativement faibles l'andésite se transforme en état visqueux, puis à l'état liquide. En outre, son refroidissement rapide ne génère pas de fissures. Ces propriétés ont lui adhérent la possibilité d'être utilisée comme matière première pour la fabrication du verre [11, 13, 14]. La réactivité alcali-silice des andésites a été décrite par de nombreux auteurs, il a été souligné qu'elle est complexe en raison de ses diverses compositions minéralogiques et chimiques liées à la réaction alcali-silice, au comportement de dissolution et à la composition de la solution interstitielle [3, 6]. Certains auteurs ont attribué la réactivité des andésites à leur verre volcanique et à leurs minéraux de silice réactive, tels que la tridymite et la cristobalite [1, 4]. Bien qu'il existe de nombreuses études sur les andésites et leur disponibilité, leur potentiel en tant que pouzzolane naturelle n'est pas bien établi [3, 7, 12, 14, 15]. Les travaux antérieurs sur les roches andésitiques de la région nord ouest Algérois, ont montré qu'il s'agit d'andésites appartenant à la série calco-alcaline, à texture microclitique fortement porphyrique.

La présente étude est une contribution à la valorisation de matériaux naturels locaux dans la fabrication du ciment composé. Elle a pour but d'étudier la possibilité d'utiliser l'andésite en tant qu'ajout cimentaire et ce en comparant les caractéristiques physiques et mécaniques d'un mortier à ciment de type CEMI 52,5R et d'un mortier dont le constituant de base est le clinker, avec des taux de substitution de roche andésitique de 0-40%. Une roche d'andésite, provenant de la région de la wilaya de Tipaza-Algérie a été utilisée.

2 Expérimentation

2.1 Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans la formulation des mortiers et des pâtes pour tous les modèles expérimentaux sont : le ciment, le clinker, le gypse, l'andésite, le sable et l'eau. Le ciment utilisé est du type CEM I 52,5 R selon la norme européenne [EN 197-1]. Ce ciment a été sélectionné pour sa faible teneur en alcalins. Il est riche en C_3S et pauvre en aluminates. Sa masse volumique et sa surface spécifique sont respectivement $3,16 \text{ g/cm}^3$ et $4400 \text{ cm}^2/\text{kg}$. Le clinker, de surface spécifique $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$, et le gypse sont provenus de la cimenterie de Chlef (ECDE) Algérie. Le sable est choisi selon la norme EN 196-1, commercialisé en sacs plastiques de $1350 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$. L'eau de gâchage est une eau potable de robinet. La roche volcanique andésitique de provenance la région de Tipaza, appartenant à la partie centrale du Nord Algérien, de réserve géologique d'environ 54 milliards m^3 [7, 8, 9]. Elle est composée principalement de Feldspath, Cristobalite, Quartz, Montmorillonite, Calcite et Dolomite (Figure 1), sa masse volumique apparente est de $2,30 \text{ g/cm}^3$. Les compositions chimiques et minéralogiques des différents constituants utilisés sont données aux Tableaux 1 et 2.

INVACO2

Tableau 1. Compositions Chimiques et minéralogiques des matériaux utilisés.

Matériaux	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	PF
CEMI52.5R	22,84	2,70	1,84	67,41	0,81	0,23	0,14	-	-	2,23	1,72
Clinker	21,50	5,18	3,76	66,36	0,95	0,66	0,11	-	-	0,78	0,48
Andésite	57,25	14,97	5,96	8,95	1,97	1,24	1,76	0,62	0,40	2,67	3,27

Tableau 2 : Composition minéralogique des ciments utilisés.

Phases	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Gypse
CEM I 52,5R	73,6	10,4	4,0	5,6	~ 3
Clinker	61,02	15,63	7,37	11,43	~ 5

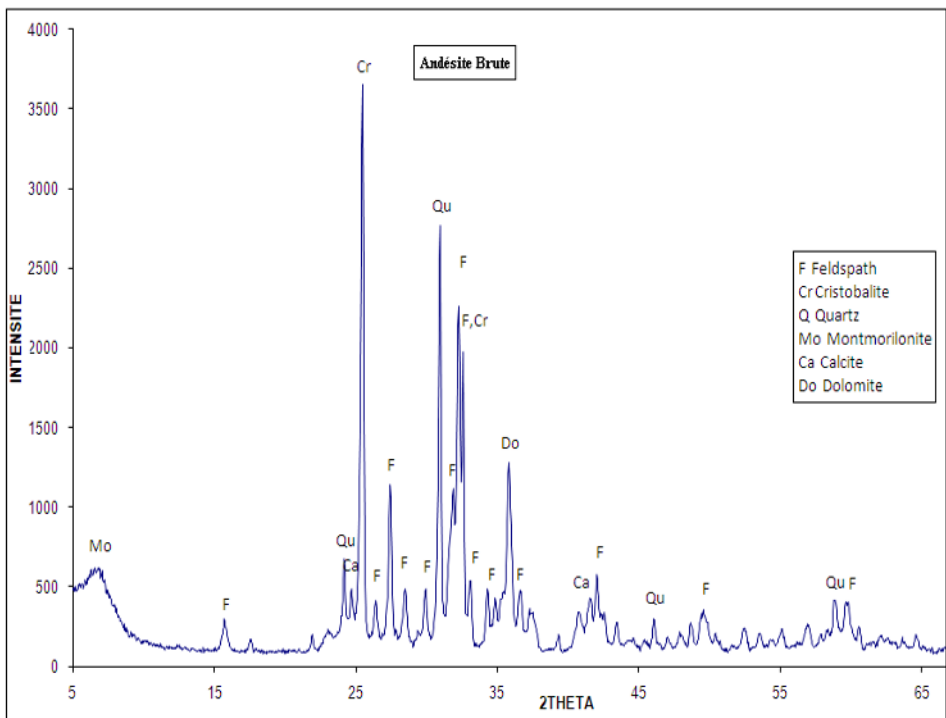


Fig. 1. Diffractogramme RX de l'andésite brute

2.2 Technique d'analyse et méthodes d'essais

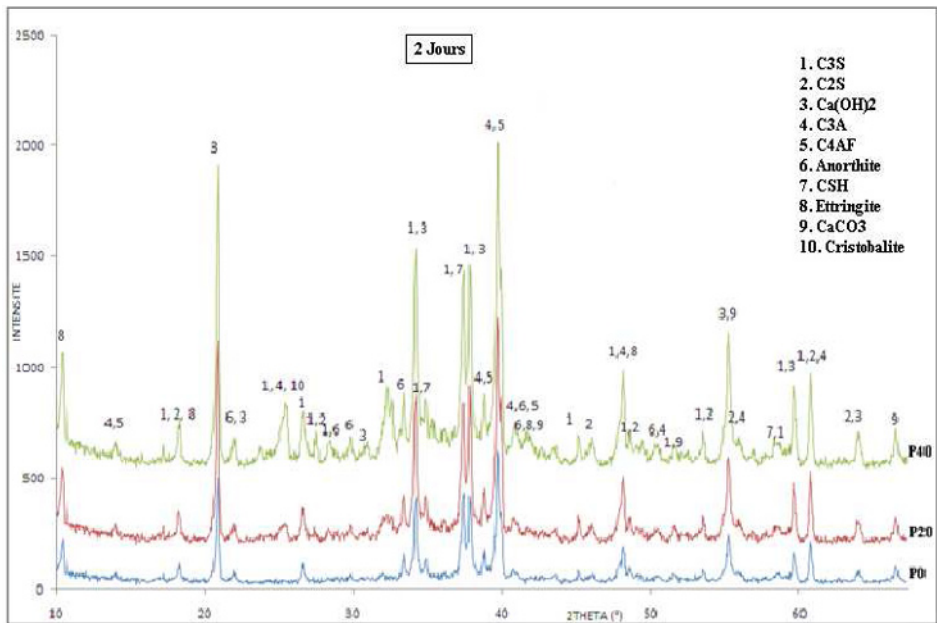
Les analyses aux rayons X ont été menées sur le ciment et l'andésite sous forme de poudres anhydres et des pâtes hydratées. Trois tubes de pâte de 80 g chacune ont été confectionnés pour chaque type de ciment dont les taux de substitution sont de 20 et 40%. Les échantillons préparés pour DRX, sont immergés en forme couchée conservée dans une salle climatisée de température $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Le jour du test, l'échantillon est séché à l'étuve à une température de 50°C pendant 2 heures, puis broyé et tamisé à une finesse de $80\mu\text{m}$ avant de le passer au DRX pendant 1 heure.

Pour la caractérisation mécanique, l'étude expérimentale a été menée sur des éprouvettes de mortiers de $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$, conformément à la norme EN 196-1. Les mortiers sont élaborés suivant les rapports massiques ($S/C = 3$ et $E/C = 0,5$ avec C : Ciment, S : Sable et E : Eau).

3 Résultats et discussions

3.1 Etude de l'activité pouzzolanique par DRX

L'identification de la pâte des ciments élaborés, a été effectuée sur un diffractomètre RX. Les résultats des principaux pics cristallins obtenus sont donnés sur les diffractogrammes présentés sur la Figure 2.



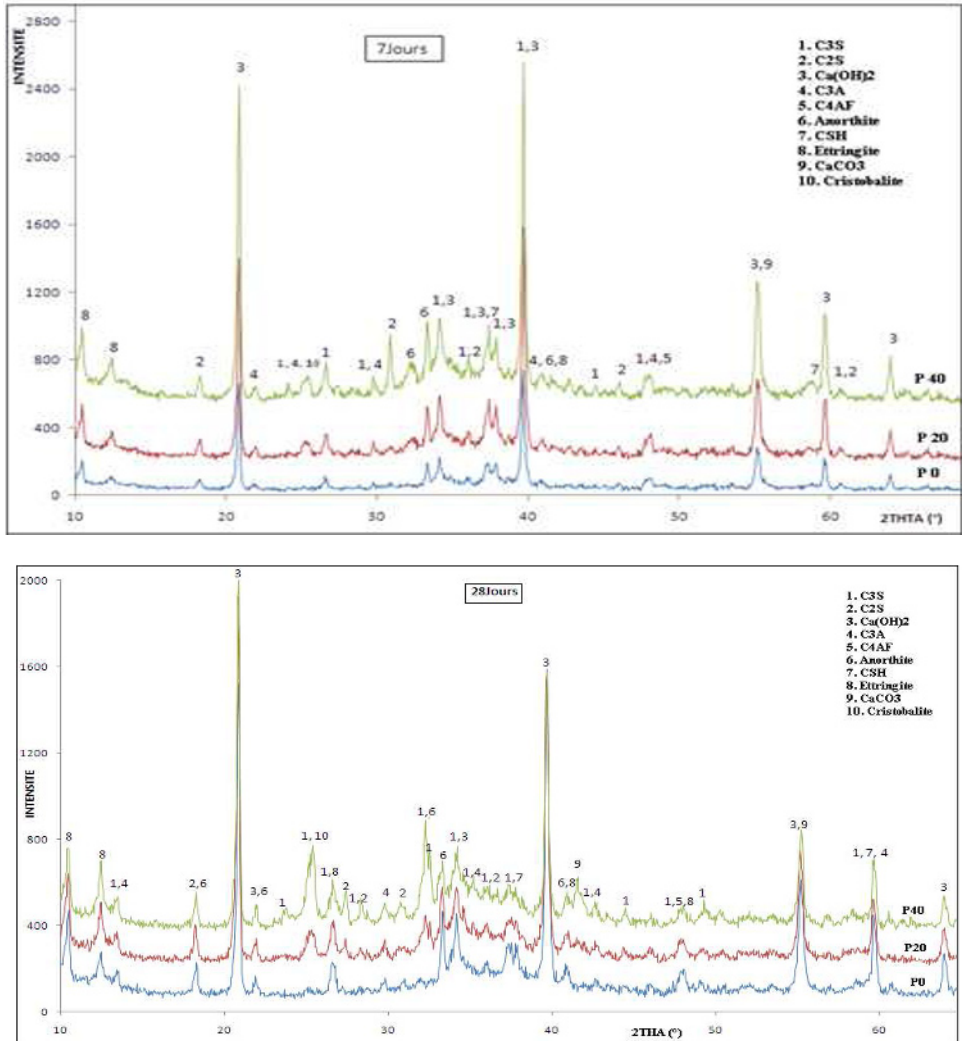


Fig. 2. Diffraction des rayons X de ciment avec 0%, 20% et 40% d'andésite, hydratée à différents âges

Les diffractogrammes RX des pâtes de ciment avec 0, 20 et 40% d'andésite, après 2, 7 et 28 jours de durcissement montrent, en plus des minéraux anhydres du ciment (C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF), la calcite et le quartz, la présence de la portlandite $Ca(OH)_2$, l'ettringite et le silicate de calcium hydraté (C-S-H) (bosse à $2\theta/20^\circ-50^\circ$). Il est constaté que la formation des C-S-H augmente avec le taux de substitution d'andésite et avec l'âge de durcissement. A cet effet l'andésite testé pourrait être classée comme pouzzolanique.

3.2 Etude de l'activité pouzzolanique par l'évolution des résistances mécaniques

3.2.1 Evolution des résistances mécaniques

Les résultats des essais mécaniques obtenus pour les différentes éprouvettes des mortiers après 2, 7, 28 et 90 jours de durcissement sont présentés dans les Figures 3 et 4.

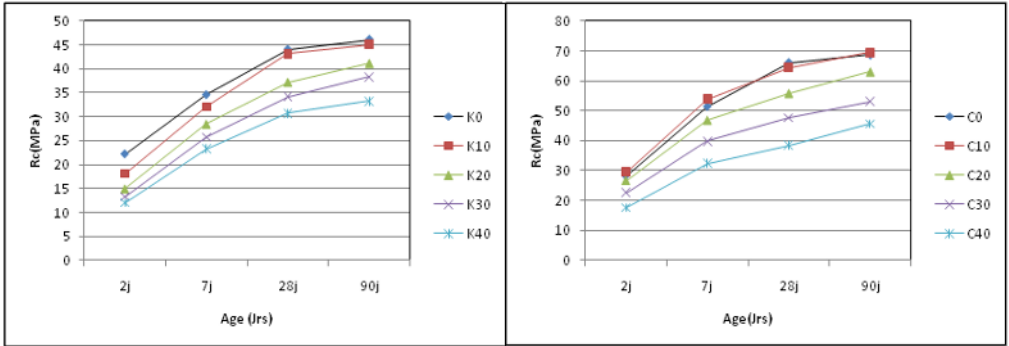


Fig. 3. Développement des résistances à la compression des différents mortiers en fonction de l'âge

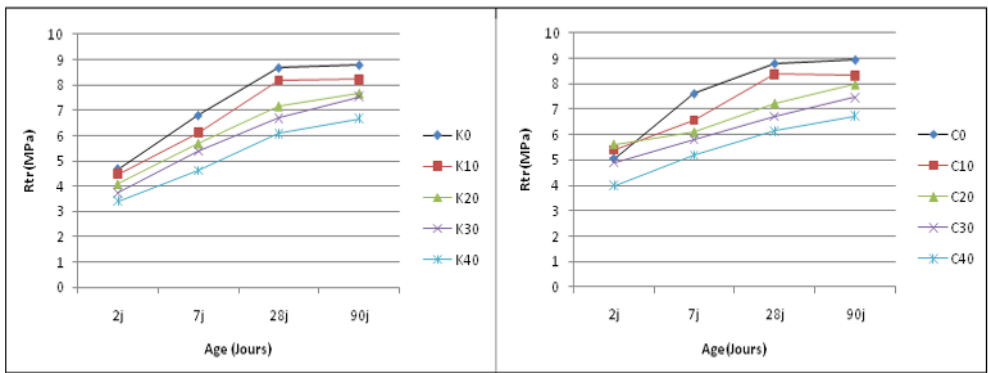


Fig. 4. Développement des résistances à la flexion (MPa) différents mortiers en fonction de l'âge

Ces résultats montrent que l'addition progressive de l'andésite dans le ciment jusqu'à 30%, a entraîné une légère diminution des résistances mécaniques par rapport à celle du témoin. Ceci est dû à l'effet de dilution. Ces résistances sont comparables avec celle du mortier témoin. Les mortiers élaborés avec 40% d'andésite développent des résistances faibles par rapport à celle du mortier témoin au jeune âge et à long terme. Les résistances à la compression de ces ciments sont faible aux jeunes âges (2 et 7 jours) par contre elles deviennent importantes à long termes (28 et 90 jours). Ceci peut être attribué à l'activité pouzzolanique qui est lente au jeune âge et se développe à long terme. Ces résultats sont vérifiés par [10].

3.2.2 Evaluation de l'activité pouzzolanique

Pour le même âge, l'estimation de l'activité pouzzolanique a été faite à la fois par :

- Le rapport entre les résistances à la compression du mortier contenant P% d'andésite et celle du mortier sans andésite en substitution par la formule suivante :

$$I (\%) = R_p / R_0 * 100 \quad (1)$$

- L'utilisation de la courbe de dilution par la loi de Bolomey :

$$R_{cal} = K_{bl} [C / (W + V) - 0,50] \quad (2)$$

où R_{cal} est la résistance à la compression calculée du mortier ; C, W et V sont respectivement les masses du ciment (sans tenir compte de l'andésite), d'eau et des vides ($V \approx 0,10W$), et K_{bi} [i indique respectivement le ciment CEMI52,5R (C) ou le clinker (K)] est le coefficient de Bolomey. Ce coefficient a été calculé pour chaque échéance en utilisant la résistance à la compression du mortier témoin sans andésite. La contribution de l'addition de l'andésite brute au développement de la résistance à la compression des mortiers a été évaluée par la formule :

$$\Delta R = R_{exp} - R_{cal} \tag{3}$$

où R_{exp} est la résistance à la compression expérimentale à différents taux de substitution pour le même âge que R_{cal} . Les résultats sont illustrés dans les Figures 5 et 6.

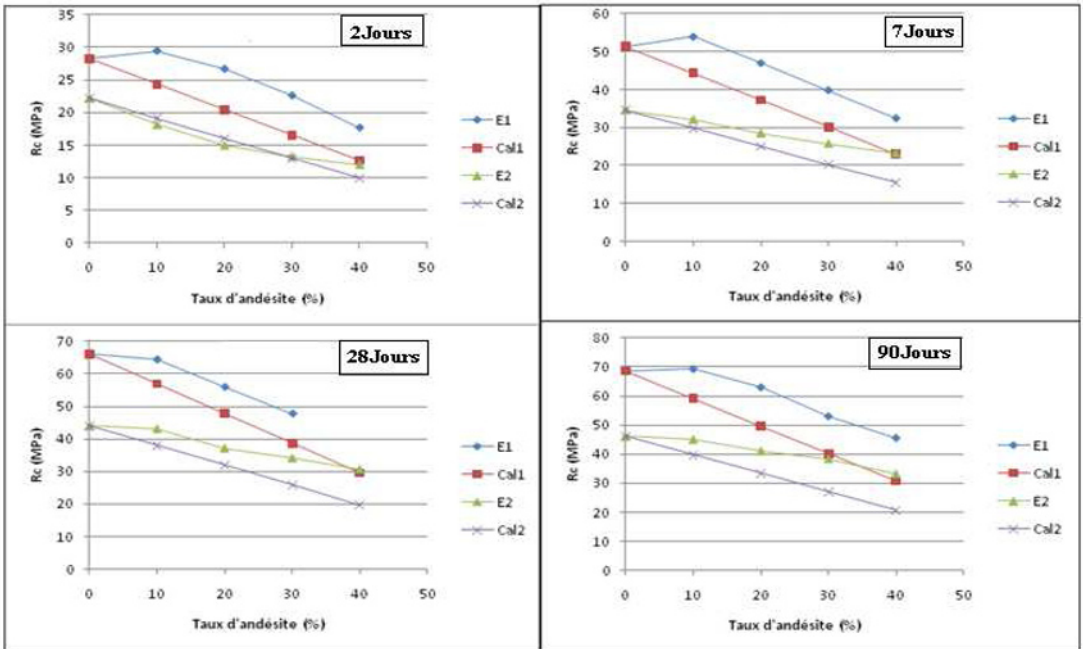
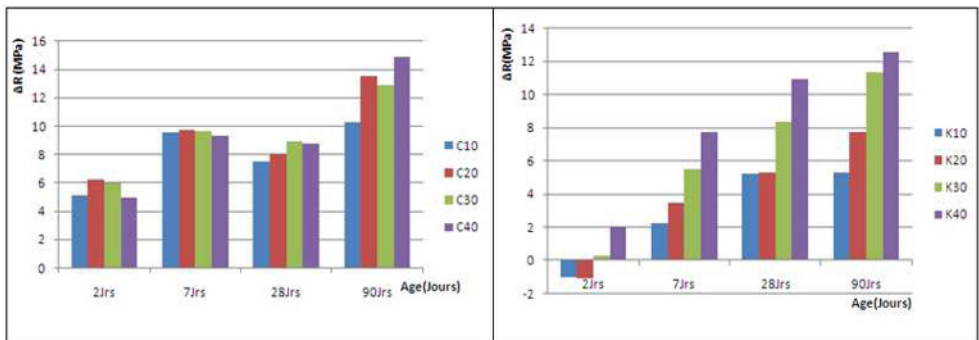


Fig. 5. Comparaison des résistances à la compression des mortiers avec la courbe de dilution calculée par la formule de Bolomey, en fonction du taux de remplacement du ciment par l'andésite



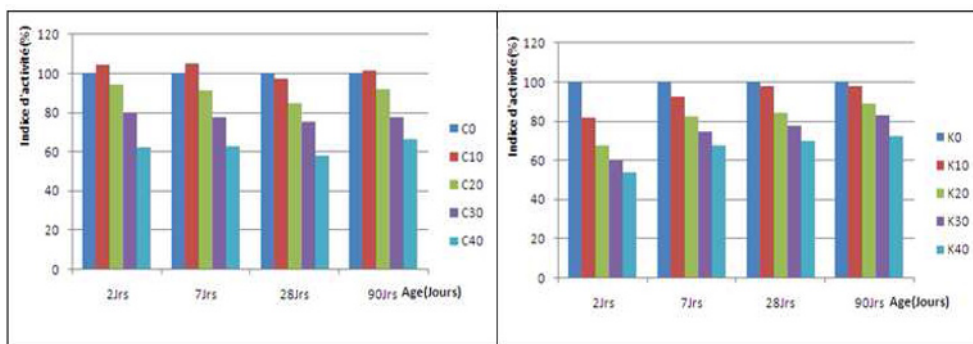


Fig. 6. Contribution de l'addition minérale Andésitique brute au développement de résistance

Les Figures 5 et 6 présentent la comparaison des résistances à la compression des mortiers contenant de l'andésite jusqu'à 40% avec celles calculées par la loi de Bolomey et l'indice d'activité. D'après ces graphes, il a été constaté que les mortiers ont donné des résistances inférieures à celles calculées notamment pour (K10 et K20) au jeune âge (2 jours). A partir de l'âge (7 jours) les résistances mesurées deviennent supérieures à celles calculées, et l'écart entre la courbe mesurée et celle de Bolomey augmente. Les déviations enregistrées pour les mortiers de remplacement du ciment par 20 et 40% d'andésite (K20 et K40), sont respectivement (-1; 12; 3,44; 5,30 et 7,72) et (2,04; 7,76; 8,33 et 11,31). A lumière de ces résultats, il est constaté que la différence entre les valeurs mesurées et calculées, augmente en fonction de l'âge et du taux de remplacement. A 28 jours, les éprouvettes contenant un remplacement partiel du ciment jusqu'à 30% d'andésite ont donné des indices d'activité supérieures à 75%. Ceci signifie qu'il y a une activité pouzzolanique non négligeable, selon la norme ASTM C 618 qui prévoit un minimum d'indice d'activité pouzzolanique de 75% à 28 jours avec le ciment Portland artificiel [38]. Cela est dû probablement à l'action pouzzolanique de l'andésite qui se développe à moyen et à long terme en augmentant la résistance par la naissance de gel secondaire C-S-H et ce par la consommation de la portlandite libérée par l'hydratation du ciment [10].

4 Conclusions

La présente étude nous a permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

1. Les principaux constituants de l'andésite utilisée sont : Feldspath, Cristobalite, Quartz, Montmorillonite, Calcite et Dolomite et la somme de ces oxydes majeurs est de 78,18%. Selon la norme ASTM C 618 cette andésite peut être considérée comme matériaux pouzzolaniques.
2. L'augmentation du taux de substitution d'andésite en fonction de l'âge a généré une bosse comprise entre 20° et 50°, une augmentation de l'intensité des pics attribués à l'ettringite et à la portlandite. A cet effet cette andésite est considérée comme pouzzolanique.
3. L'incorporation progressive de la roche andésitique entraîne une légère diminution de résistances mécaniques. Toutefois, à l'âge de 28 et 90 jours, les mortiers contenant jusqu'à 30% d'andésite peuvent se comparer avec le produit témoin
4. A 28 jours, les éprouvettes contenant un remplacement partiel du ciment jusqu'à 30% d'andésite ont donné des indices d'activité supérieures à 75%. Cela est dû probablement à l'action pouzzolanique de l'andésite qui se développe à moyen et à long terme en augmentant la résistance mécanique.
5. Finalement, on peut dire que, la roche andésitique provenant de la région de Tipaza, Algérie avec une estimation de réserve d'environ $54 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ est un potentiel idéal pour l'industrie du ciment.

Références

1. D. Bondar C. J. Lynsdale, N. B. Milestone, N. Hassani, and A. A. Ramezani pour, Geopolymer Cement from Alkali-Activated Natural Pozzolans : Effect of Addition of Minerals, 2nd International Conference On Sustainable Construction Materials and Technologies, Ancona ISBN 978-1-4507-1488-4. (2010).
2. Y. Tatsumi, and T. Akahashi, Operation of subduction factory and production of andesite, (JAMSTEC), 101(1), 145-153. (2006).
3. P.M. Black, , Andesites as resources for roading and concrete industries, North Island of New Zealand, Department of Geology, University of Auckland, PB 92019, Auckland 1020. 328-332.
4. I. Takanori, Y. Kawabata, H. Hamada and Y. Sagawa, Alkali-Silica Reactivity of Andesite in NaCl Saturated Solution Graduate school of Engineering, Kyushu University, Japan 1-8.
5. U. Chinje melo, and N. Billong, Activité pouzzolanique des déchets de briques et tuiles cuites. Laboratoire des Matériaux et du Contrôle de Qualité, (AJST), 92-100, **5(1)**, (2004).
6. F. Bartley, G. Bignall, and C. Harvey, Clay Mineralogy of Modified Marginal Aggregates, Land Transport New Zealand Research Report No318, 108. (2007).
7. F. Ait Hamou, Etude pétrologie et géochimique du volcanisme d'âge miocène de la région de Hadjout (Ouest-Algérois). Thèse Magister, USTHB, Algérie. (1987).
8. D. Belhai, Evolution tectonique de la zone ouest-Algéroise, Approche Stratigraphique et structurale Thèse Docteur ès Sciences, USTHB, Algérie (1996).
9. H., Benali, Les minéralisations associées aux roches magmatiques tertiaires du nord de l'Algérie, Thèse de Doctorat d'Etat, U.S.T.H.B, Algérie. (2003).
10. M. Ghrici, M. Said-Mansour et S. Kenai, Effets de la combinaison de la pouzzolane et du calcaire sur les propriétés des mortiers et des bétons, CIRCDD., Alger 3-4 Mai (2005).
11. Y. Kawabata, Petrological study on evaluating of alkali-silica reactivity and expansion analysis of andesite, Doboku Gakkai Ronbunshuu E (63), 689-703. (2007).
12. G. G. Gvazava et al., for economy of resources use of Bakury Andesite in the production of dark-green bottles, Glass Works Borjomi, UDC 666. 171:666. i23: 553. 5.532, 991.
13. M. Saidi, Development and Structural Study of Cements Containing Additions of Industrial Waste. European Journal of Scientific Research 297-306, **40(2)** (2010).
14. Martínez and al., Pozzolanic reactivity of zeolitic rocks from two different Cuban deposits: Characterization of reaction products, Applied Clay Science, 40–52, **32** (2006).
15. A. DAA et H.M. El-Kaliouby, Utilisation d'andésite dans la transformation des organismes électro-céramiques, Les progrès de la céramique appliquée, 106, No. **3**, pp. 113-119, (2007).