PRODUCTION DE POUZZOLANES ARTIFICIELLES A PARTIR DE MINERAUX D'ALUMINOSILICATES

Larbi Kacimi [1]*, Djohar Geryville [1], Martin Cyr [2], Pierre Clastres [2]

[1] Département de Chimie, Faculté des Sciences, USTO, B.P. 1505 El M'Nouar, Oran, Algérie
**kacimi20002000@yahoo.fr*
[2] Laboratoire LMDC, INSA-UPS, Toulouse, France

Thème : Matériaux pour une construction durable (ciment pouzzolanique)

Résumé
L'élaboration de ciments pouzzolaniques en substituant partiellement le clinker par des pouzzolanes artificielles est étudié dans cet article. Ces pouzzolanes sont produites par deux procédés: thermique et hydrothermal, à partir de matériaux naturels riches en aluminosilicates qui sont l'argile, la marne et le kaolin. Ces traitements permettent l'amélioration de l'activité chimique de la silice et l'alumine contenues dans ces matériaux. La pouzzolanicité de ces matériaux traités a été examinée par différents essais : tests chimiques (Frattini, chaux saturée), essai d'activité de résistance à la compression, diffraction des rayons X et analyse thermogravimétrique (ATG). Les résultats ont montré que ces matériaux présentent, après activation, une grande pouzzolanicité qui permet leur addition au clinker Portland avec un pourcentage important, ce qui réduit les émissions de CO_2.

Mots clés : Eco-ciments, ciments composés, pouzzolane, activation pouzzolanique, hydratation du ciment.

1. Introduction

L'industrie cimentaire consomme une grande énergie et par conséquence, produit une quantité importante de gaz carbonique à effet de serre. Ce gaz résulte de la combustion des hydrocarbures et de la décarbonatation du $CaCO_3$, contenu dans la matière première, lors de la cuisson du mélange cru pour fabriquer du clinker.
Une des solutions alternatives est de substituer partiellement le clinker dans le ciment Portland par des ajouts aluminosilicatés dans le but de préserver ou améliorer les performances du ciment. Ces additions minérales doivent présenter une certaine activité chimique dite «pouzzolanique». Elles sont composées principalement de silice et d'alumine réactives qui réagissent avec la portlandite, issu de l'hydratation du ciment, ce qui permet d'améliorer les performances physiques du liant.
Certains travaux ont abordé l'utilisation de fumée de silice, de laitiers de hauts fourneaux et de cendres volantes [1,2] ainsi que de métakaolin [3,4], en étudiant l'élaboration de ciments pouzzolaniques, leurs propriétés physiques, mécaniques et leur durabilité [5].
Notre travail consiste en premier lieu à élaborer de nouvelles pouzzolanes artificielles à partir de matériaux naturels Algériens (kaolin, marne et argile) en utilisant deux procédés de traitement : thermique et hydrothermal. Le deuxième objectif est d'évaluer l'activité pouzzolanique des ces matériaux avant et après traitement en utilisant différentes méthodes.

Ce travail a été réalisé en collaboration avec le Laboratoire Matériaux et Durabilité des Construction (LMDC), INSA- Toulouse- France, dans le cadre de l'accord programme CMEP-Tassili (09 MDU 773).

2. Expérimentation

Les compositions chimiques, déterminées par fluorescence X et minéralogique par DRX des matériaux utilisés (kaolin naturel (KN), marne (M) et argile (A)) sont données dans le Tableau 1 et Figure 1, successivement.

Tableau 1. Composition chimique des matériaux utilisés

Matière	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	Cl	P_2O_5	P.A.F
Kaolin	65,71	21,56	0,94	0,21	0,59	0,05	2,62	2,24	0	0,06	6,5
Marne	18,63	4,47	3,38	38,24	0,87	-	0,08	0,13	0,014	-	34,12
Argile	49,63	11,78	5,30	12,73	3,17	-	1,84	0,52	0,121	-	14,90
Ciment	19.94	5.17	2.32	65.18	1.82	0.62	0.13	3.20	0.03	0.81	1.54

Ces matériaux ont subi deux méthodes d'activation : par calcination à des températures variantes de 700 à 900°C et par traitement hydrothermal (par chauffage à 100°C et agitation continue pendant 5 heures d'une solution alcaline de KOH 1M renfermant l'ajout). Cette activation a été qualifiée par des essais chimiques (Frattini et chaux saturée), un test mécanique (indice d'activité de résistance IAR) et analyses par DRX.

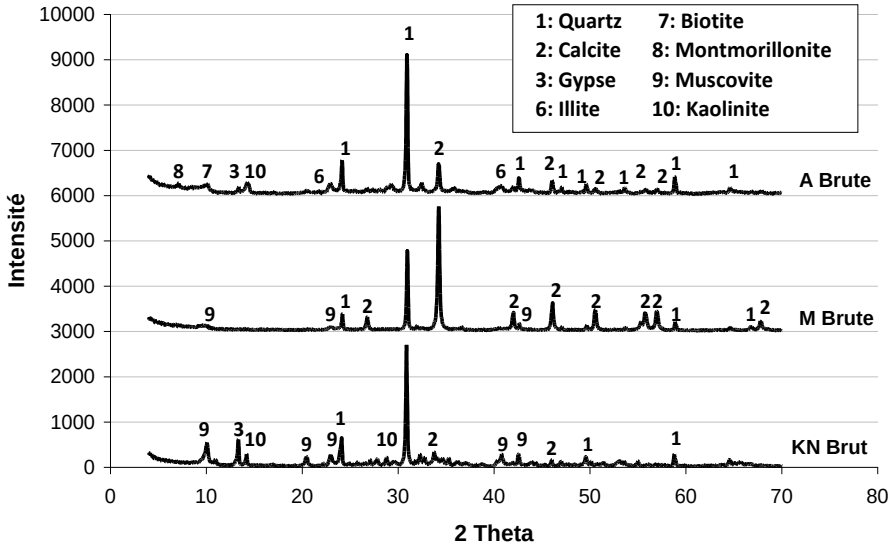

Figure 1. Diffractogramme RX des matériaux utilisés : kaolin (KN), marne (M) et argile (A).

3. Résultats et discussions

3.1. Réactivité pouzzolanique du kaolin

Selon le test de Frattini (Figure 2), le kaolin brut n'est pas réactif car les points représentatifs de pouzzolanicité se trouvent au-dessus de la courbe de solubilité de la portlandite. Après traitement, le kaolin devient pouzzolanique, les points représentatifs se trouvent au-dessous de la courbe. Néanmoins à 700°C, le matériau possède une pouzzolanicité nulle, car les points se trouvent sur la courbe, ce qui a été confirmé par l'essai de chaux saturée (Figure 3). Le kaolin calciné à 700°C, montre une importante consommation de la portlandite après 24 heures, suivi d'une chute au 3ème jour, avant qu'elle augmente au-delà de cette échéance pour atteindre des valeurs importantes, cette baisse de la consommation est probablement due à la décalcification des C-S-H ; influencée par la présence d'eau , le pH de la solution et le rapport C/S des C-S-H [6]. La calcination à 900°C joue un effet défavorable sur l'activité pouzzolanique du kaolin. Par contre, le traitement hydrothermal permet d'assurer une pouzzolanicité importante à court et à long terme. Ce qui a été confirmé dans d'autres études [7] où l'effet de la calcination est compris entre [600-800°C].

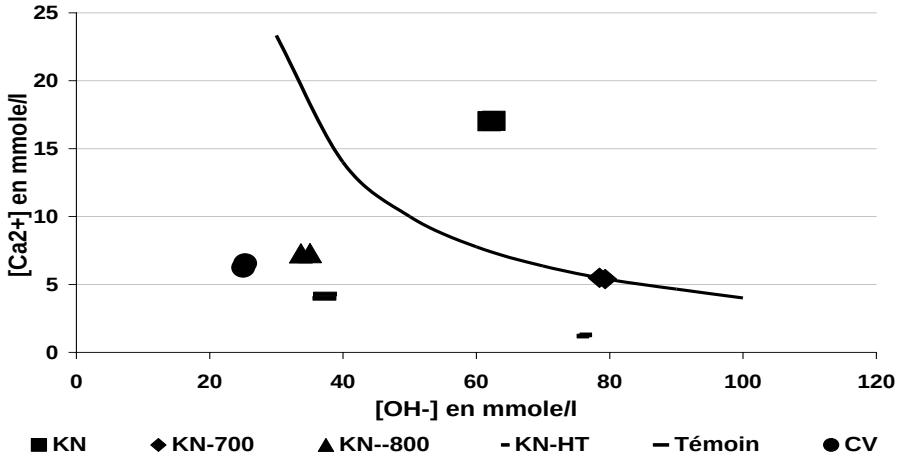

Figure 2. Résultats de l'essai de Frattini.

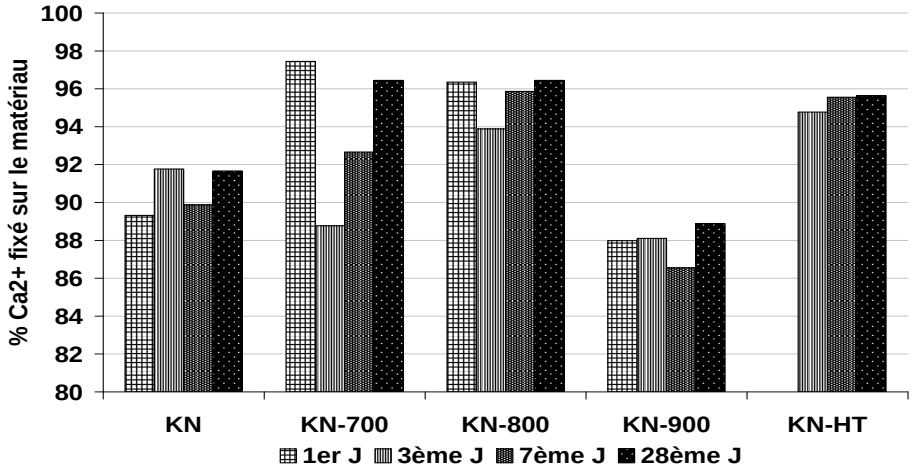

Figure 3. Résultats de chaux saturée

Les résultats de l'indice d'activité de résistance IAR (Figure 4), qui est le rapport entre la résistance mécanique à la compression du ciment témoin et du matériau qui doit être supérieur ou égale à 0,75 ; ont montré que le kaolin brut n'est pouzzolanique qu'à 7 jours ; après calcination à 800°C il devient pouzzolanique quelque soit l'échéance.

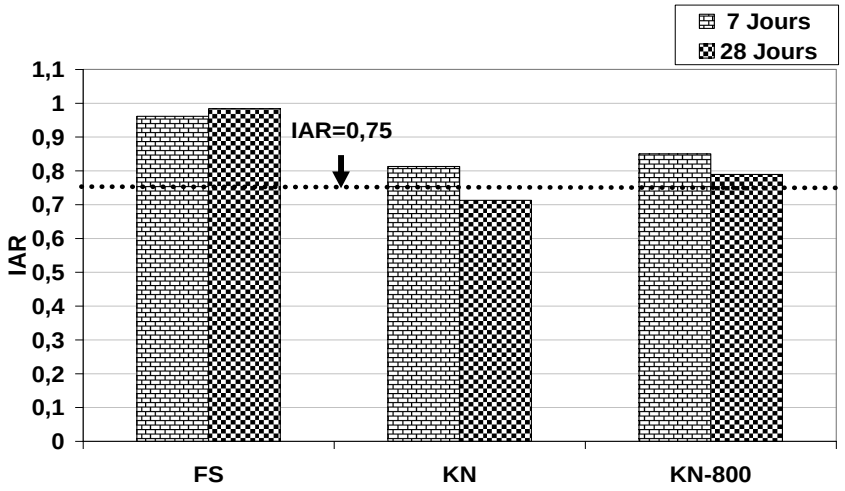

Figure 4. Indice d'activité de résistance du kaolin brut (KN) et calciné à 800°C (KN-800).

3.2. Traitement pouzzolanique de la marne

Selon l'essai de Frattini (Figure 5), la marne à l'état brut ou après traitement hydrothermal n'est pas réactive. Par contre, après calcination la marne devient réactive. L'essai de chaux saturée (Figure 6) est en conformité avec le test de Frattini qui montre que la pouzzolanicité, apparaît au jeune âge pour diminuer au-delà du 3ème jour dans le cas du l'hydrothermale.

La pouzzolanicité de la marne calcinée a été suivie par la DRX (Figure 7). Il est constaté une diminution des intensités des pics de silice, fortement présente dans cet ajout, accompagnée d'une diminution de la portlandite dans les pâtes des mélanges chaux-pouzzolane entre 7 et 28 jours d'hydratation. Ceci est dû à la réaction pouzzolanique entre la chaux et la silice.

L'effet de la calcination de la marne entraîne un gain de résistance, qui dépasse à 7 jours d'hydratation celle des ciments témoins (Figure 8). Néanmoins, le développement de cette résistance est très lent dans le temps, ce qui a été confirmé par Husson [4].

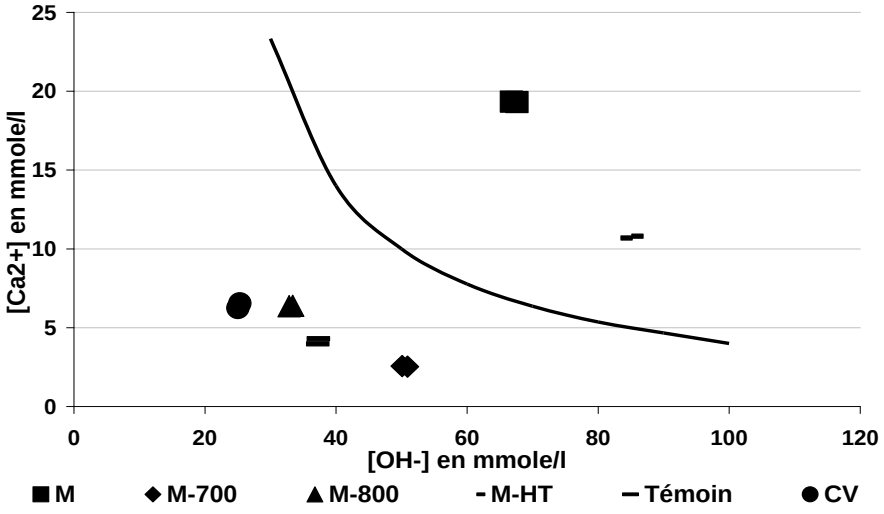

Figure 5. Résultats de l'essai de Frattini.

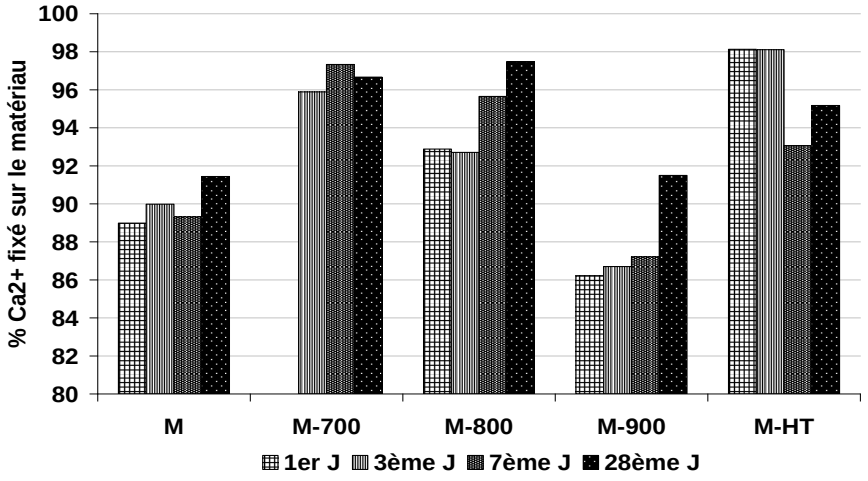

Figure 6. Résultats de chaux saturée.

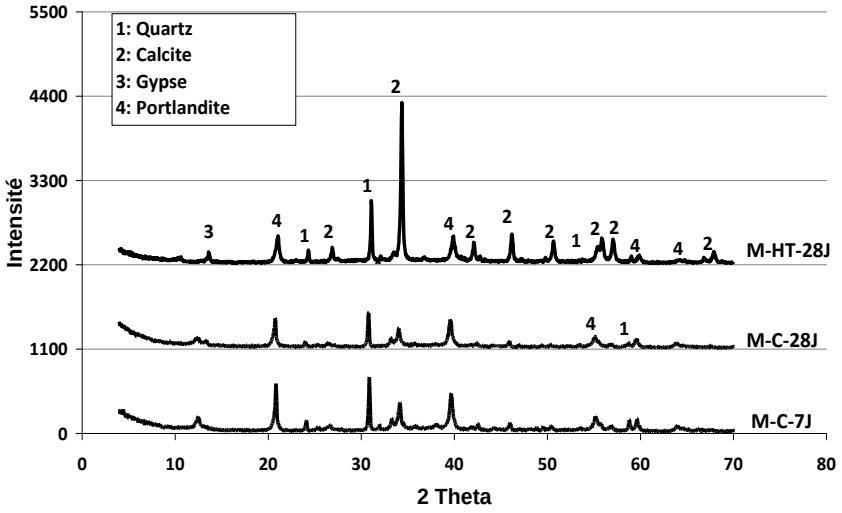

Figure 7. DRX de la marne calcinée à 800°C (M-800) et hydrothermale (M-HT).

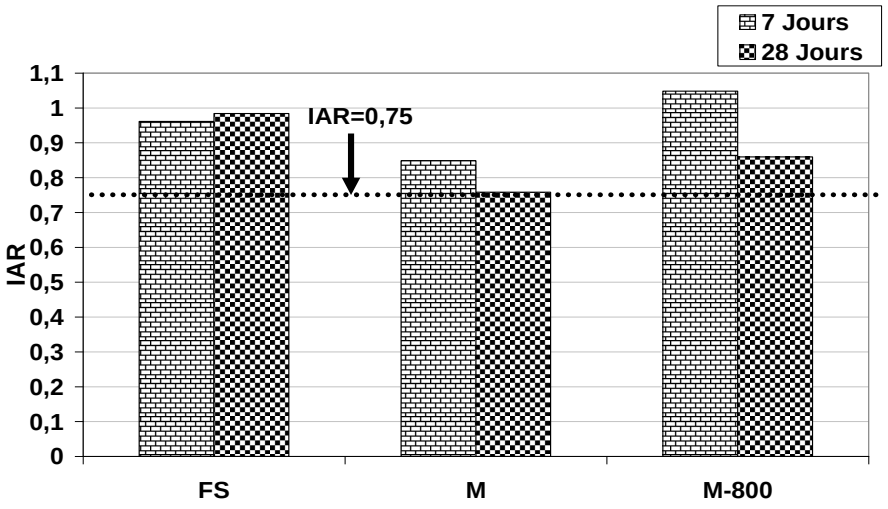

Figure 8. Indice d'activité de résistances de la marne brute (M) et calciné à 800°C (M-800).

3.3. Traitement pouzzolanique de l'argile

Selon le test de Frattini (Figure 9), l'argile brute ne présente aucune activité pouzzolanique. Les traitements hydrothermal et thermique à 700 et 800°C font de l'argile un matériau pouzzolanique. Ce résultat est en corrélation avec le test de la chaux saturée (Figure 10) qui montre une faible consommation de la chaux avec le temps pour l'argile brute. Cette consommation augmente pour l'argile calcinée à 700 et 800°C pour atteindre des valeurs importantes. La calcination à 900°C abaisse fortement la consommation de la chaux, ce qui est dû soit à la stabilité chimique de la silice, soit à la présence de CaO dans la composition initiale. Le traitement hydrothermal améliore encore mieux sa pouzzolanicité.

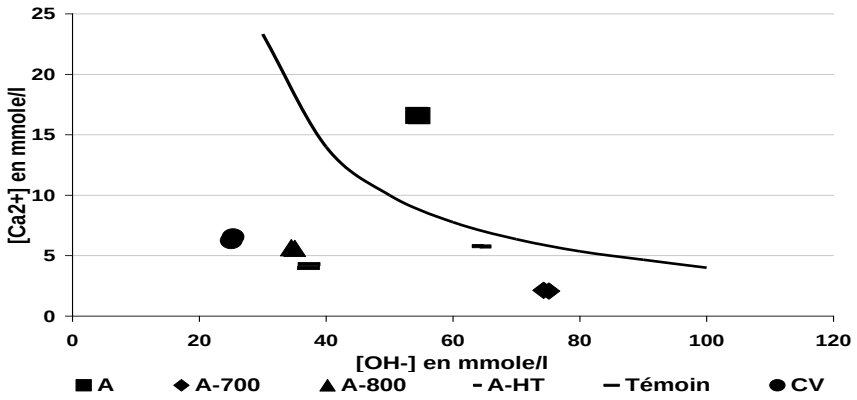

Figure 9. Résultats de l'essai de Frattini.

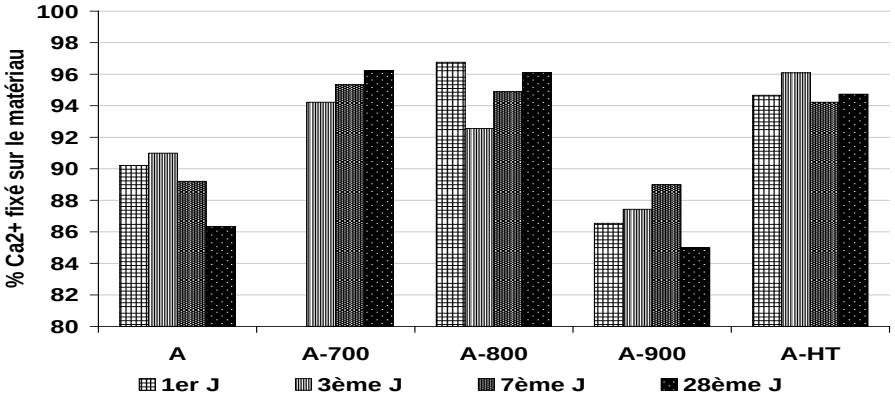

Figure 10. Résultats de chaux saturée

La pouzzolanicité de l'argile a été également suivie par la DRX. Une réduction des intensités des pics de la silice et de la portlandite a été distinguée entre le 7ème et le 28ème jour de durcissement. Cette diminution est due probablement à la réaction pouzzolanique entre ces minéraux (Figures 11).

Il est constaté que la calcination de l'argile permet d'améliorer la résistance à la compression du ciment qui la renferme (Figure 12), notamment à 7 jours, dont la valeur enregistrée est similaire à celle des ciments témoins.

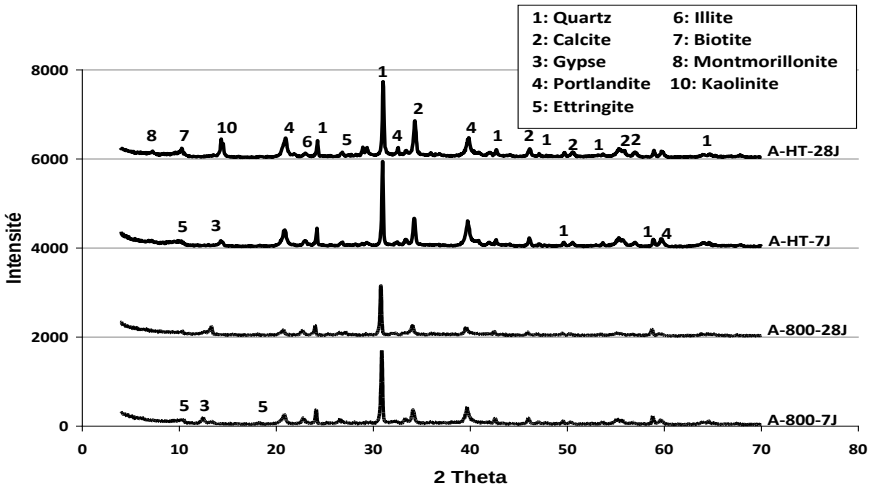

Figure 11. Evolution de la réaction pouzzolanique de l'argile calcinée à 800°C (A-800) et hydrothermale (A-HT) dans le temps.

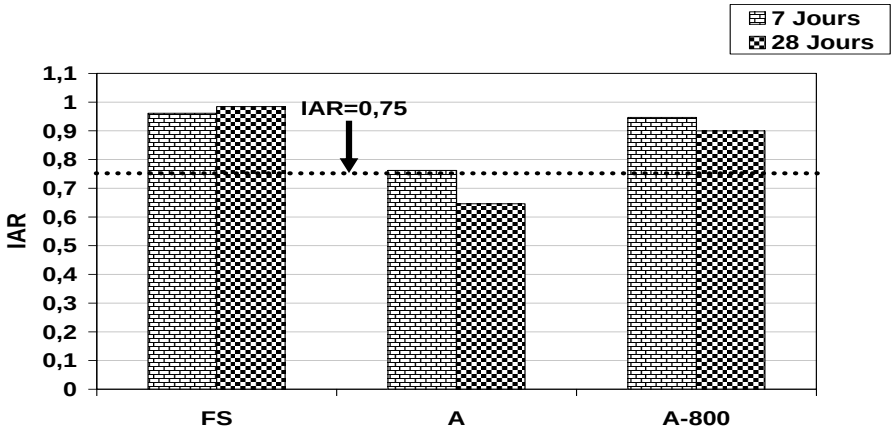

Figure 12. Indice d'activité de résistances de l'argile brute (A) et calciné à 800°C (A-C).

4. Conclusion

En comparant les résultats de l'étude de la pouzzolanicité des matériaux entre eux, selon le test de Frattini que le kaolin à 700°C possède une pouzzolanicité nulle, et le traitement hydrothermal à un effet négatif sur sa pouzzolanicité ce qui n'est pas le cas pour le kaolin et l'argile. Et selon l'essai de la chaux saturée, à l'état brut la marne et l'argile ne sont pas pouzzolanique par contre le kaolin l'est et selon l'essai mécanique (IAR), l'argile et le kaolin bruts sont considéré comme non pouzzolanique après 28 jours de durcissement en revanche, la marne est pouzzolanique à tout âge. La température optimale de calcination est autour de 800°C d'où les ajouts présentent une forte pouzzolanicité dont la consommation de la portlandite s'intensifie avec le temps de l'hydratation. Le traitement hydrothermal améliore encore mieux leur pouzzolanicité. Ces matériaux influent sur la cinétique d'hydratation du ciment selon leur nature chimique et le type de traitement.
L'utilisation de ces pouzzolanes artificielles, produites par ces procédés, dans le ciment en substituant une partie du clinker constitue une solution écologique et contribue à la préservation de l'environnement par la réduction des émissions de CO_2 résultant de la fabrication du clinker.

5. Bibliographie

[1] Ravikumar D., Peethamparan S., Neithalath N., «Structure and strength of NaOH activated concretes containing fly ash or GGBFS as the sole binder», Cement and Concrete Composites 32, 2010, pp. 399–410.
[2] Sepulcre-Aguilar A., Hernández-Olivares F., «Assessment of phase formation in lime-based mortars with added metakaolin, Portland cement and sepiolite, for grouting of historic masonry», Cement and Concrete Research, 40, 2010, pp. 66–76.
[3] Donatello S., Tyrer M., Cheeseman C.R., «Comparison of test methods to assess pozzolanic activity», Cement and Concrete Composites, 32, 2010, pp-121–127.
[4] Husson S., « Etude physico-chimique et mécanique des interactions ciment-fillers. Application aux mortiers », Thèse de Doctorat, Université Saint-Etienne, 1991.
[5] Semcha A., « Valorisation des sédiments de dragage : Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug », Université de Reims Champagne-Ardenne, 2006.
[6] Rahman M.M., Nagasaki S., Tanaka S., «A model for dissolution of CaO-SiO_2-H_2O gel at Ca/Si>1». Cement and Concrete Research, 29, 1999, pp. 1091-1097.
[7] Torres J., Mejía deGutiérrez, R., Puertas, F., «Effect of kaolin treatment temperature on mortar chloride permeability», Materiales de Construcción, 57, 2007, pp-35–43.