

Réaction hydrothermale vase-ciment

Kamal Ouhba¹ et Lakhdar Benamara²

Département d'hydraulique - Université des sciences et de la technologie d'Oran - BP 1050 El Mnaouer - Oran - Algérie

(1) email : ouhba@univ-usto.dz

(2) email : benamara@univ-usto.dz

Résumé

Les quantités de vases accumulées dans les barrages en Algérie sont estimées à des milliers de tonnes chaque année, ce qui pose un problème pour le stockage d'eau et une menace pour l'environnement (rejets lors des vidanges ou des dragages). Ce phénomène, qui prend de l'ampleur d'année en année, nous a incité à réfléchir à l'utilisation de ces sédiments dans le domaine du génie civil ou d'autres applications.

Nous avons choisi les sédiments de l'oued El-Macta qui proviennent des vidanges de fond du barrage de Fergoug, qui se trouve à l'ouest de l'Algérie, envasé à 90 % et dont on prévoit le dragage pour récupérer la capacité initiale utile qui est de 18 millions de mètres cube. Les quantités importantes de vases rejetées présentent un problème d'environnement qui pourrait être résolu par leur utilisation comme matières premières.

Ces sédiments sont des sols fins de plasticité moyenne avec un pourcentage de sable fin estimé à 47 %. Les analyses minéralogiques par diffraction des rayons X sur la vase crue montrent l'existence de minéraux tel que le quartz, les carbonates et la kaolinite. Cette étude nous a conduit à étudier le comportement de ces sédiments à l'état naturel, en les mélangeant avec du ciment portland dans différentes proportions et dans un milieu hydrothermal à une température de 135 °C (pression de 0.33 MPa) dans le but de les utiliser dans la fabrication de produits pour le génie civil. L'analyse par diffraction des rayons X (Rx) et l'analyse thermique différentielle (ATD) montrent que les réactions chimiques entre les principaux minéraux de la vase étudiée et le ciment conduisent à la formation de produits tel que le gel de CSH et la tobermorite.

Mots clés : barrage, sédiments, ciment, traitement, auto-clave, réactions.

1. Introduction

Le phénomène de l'envasement des retenues de barrages est le résultat des dépôts des particules entraînées par les eaux qui proviennent de l'érosion dans les bassins versants. Le dépôt des matières solides dans les retenues peut engendrer une perte de capacité et rend la tâche difficile pour la gestion. On constate que ces dernières années, les pluies torrentielles à l'ouest de l'Algérie sont fréquentes et sont à l'origine du transport massif des particules vers les barrages, et ceci par manque de végétation

et de plantations dans les bassins versants. Par conséquent, la quantité des vases dans les retenues existantes dans cette zone augmente de plus en plus d'année en année, ce qui conduit à la diminution de leurs capacités initiales prévues lors de leur construction. Ce phénomène entraîne une perte de potentiel allant jusqu'à annuler dans certains cas les fonctions du barrage et peut présenter même des menaces pour les prises d'eau alimentant les pompes. Il est donc nécessaire d'éliminer ces sédiments [1].

La diminution des potentialités hydrauliques de l'Algérie par suite de l'envasement des retenues est estimée annuellement à près de 20 millions de m³. L'opération de dévasement dans cette situation est la seule solution envisagée pour récupérer la capacité initiale des retenues, mais cela demande beaucoup de moyens matériels et financiers. Pour faire face à cette situation, on doit envisager une solution d'utilisation des vases récupérées lors des dévasements de barrages comme matières premières. Des études antérieures ont d'ailleurs montré que le traitement des sols argileux par la chaux ou le ciment a donné de bons résultats dans la fabrication de matériaux de génie civil [2, 3].

L'objectif de notre étude est de mettre en œuvre des solutions techniques pour traiter et exploiter ces sédiments d'envasement pour la fabrication de produits finis destinés à la construction ou à d'autres utilisations. Le comportement et la composition des sols argileux nous ont amené à proposer un système de traitement par un liant hydraulique tel que le ciment en milieu humide à une température de 130° C pour améliorer les caractéristiques physiques et mécaniques des produits, avec le souci de rentabiliser les vases récupérées et d'amortir le coût du dévasement en résolvant les problèmes d'environnement liés au stockage [4, 5].

Les travaux de recherches envisagés portent sur un cas réel de barrage envasé, celui de Fergoug, situé dans la wilaya de Mascara. La vase vidangée de ce barrage est transportée jusqu'à la Macta située dans la wilaya de Mostaganem, point de notre prélèvement.

2. Identification des matériaux utilisés

Caractéristiques physiques

L'analyse granulométrique a donné les résultats suivants (Figure 1 et Tableau 1). La densité des grains solides est évaluée à $G_s = 2.60$, la limite de liquidité $LL = 42.7$ % et

Retenue	Sable fin [%]	Limon [%]	Argile [%]	Nature du sol
Oued el Macta	47	32	21	Sable argileux

l'indice de plasticité $I_p = 19.20 \%$.

Tableau 1 - Taux des éléments constituant la vase

Analyses chimiques

L'analyse chimique a été effectuée sur le produit réduit en poudre inférieure à 100 micromètres au Laboratoire des travaux publics d'Oran. Les résultats obtenus montrent que le produit contient un pourcentage élevé en SiO_2

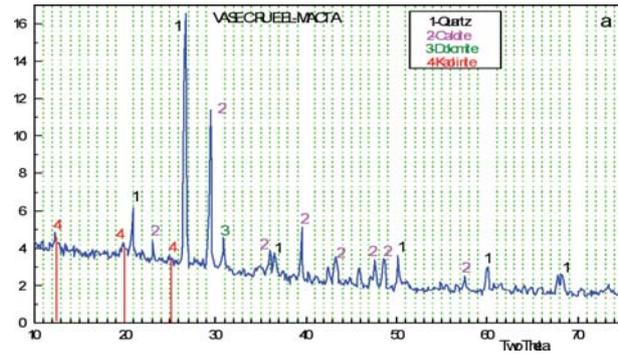


Figure 2 - Diffraction aux rayons X de la vase naturelle

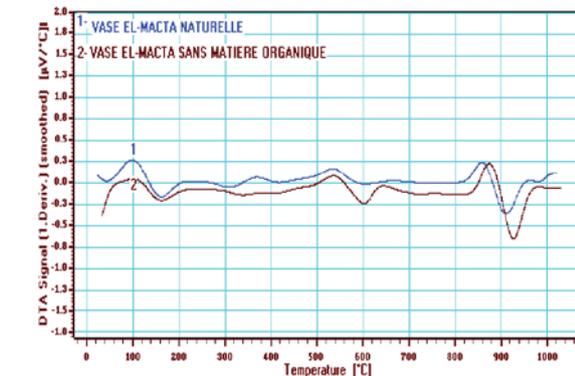


Figure 3 - Courbes ATD de la vase naturelle

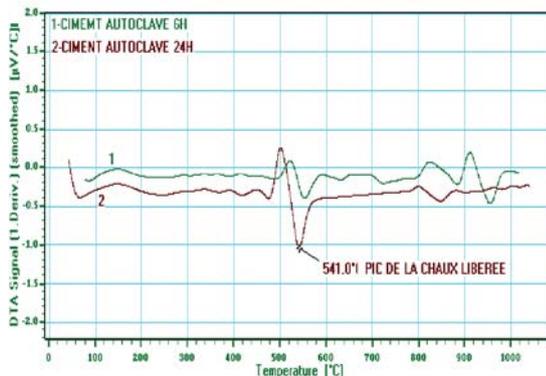


Figure 4 - Courbes ATD du ciment Portland

Silice (SiO_2) [%]	Chaux (CaO) [%]	L'Alumine (Al_2O_3) [%]	Carbonates [%]	Perte au feu [%]
62.6	15.0	4.7	27.3	16.0

(Tableau 2).

Tableau 2 - Analyse chimique de la vase naturelle

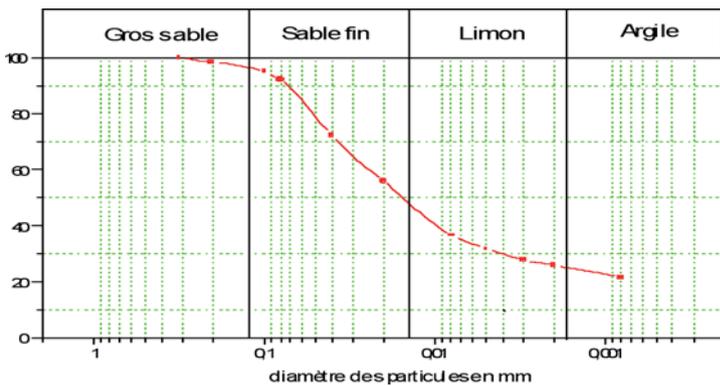


Figure 1 - Courbe granulométrique de la vase d'El Macta

Analyse minéralogique

L'analyse par diffraction des rayons X ainsi que l'analyse thermique différentielle de la vase étudiée ont mis en évidence des raies caractérisant le quartz (SiO_2) avec des pics importants, suivi des carbonates calcite $CaCO_3$ et dolomite $MgCa(CO_3)_2$ ainsi qu'une quantité d'alumine représentée sous forme de kaolinite ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) (Figure 2).

L'examen des courbes ATD de la vase crue et du ciment nous montre la confirmation de l'identification des espèces argileuses par diffractométrie des rayons X, grâce à la position des pics endothermiques et exothermiques. L'analyse comparée des courbes réalisée sur l'échantillon brut et traité à l'eau oxygénée permet de voir la meilleure apparition des pics endothermiques correspondant à la kaolinite à 600 °C et les carbonates à 935 °C. Dans ce cas, la forte teneur en matière organique donne un pic qui masque le pic endothermique des argiles (Figure 3). Pour

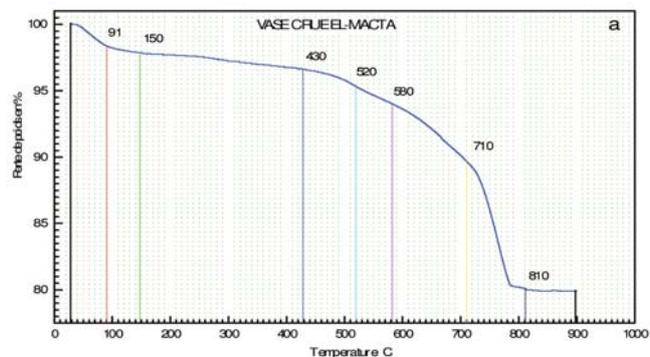


Figure 5 - Courbe de l'analyse thermogravimétrique [ATG] de la vase

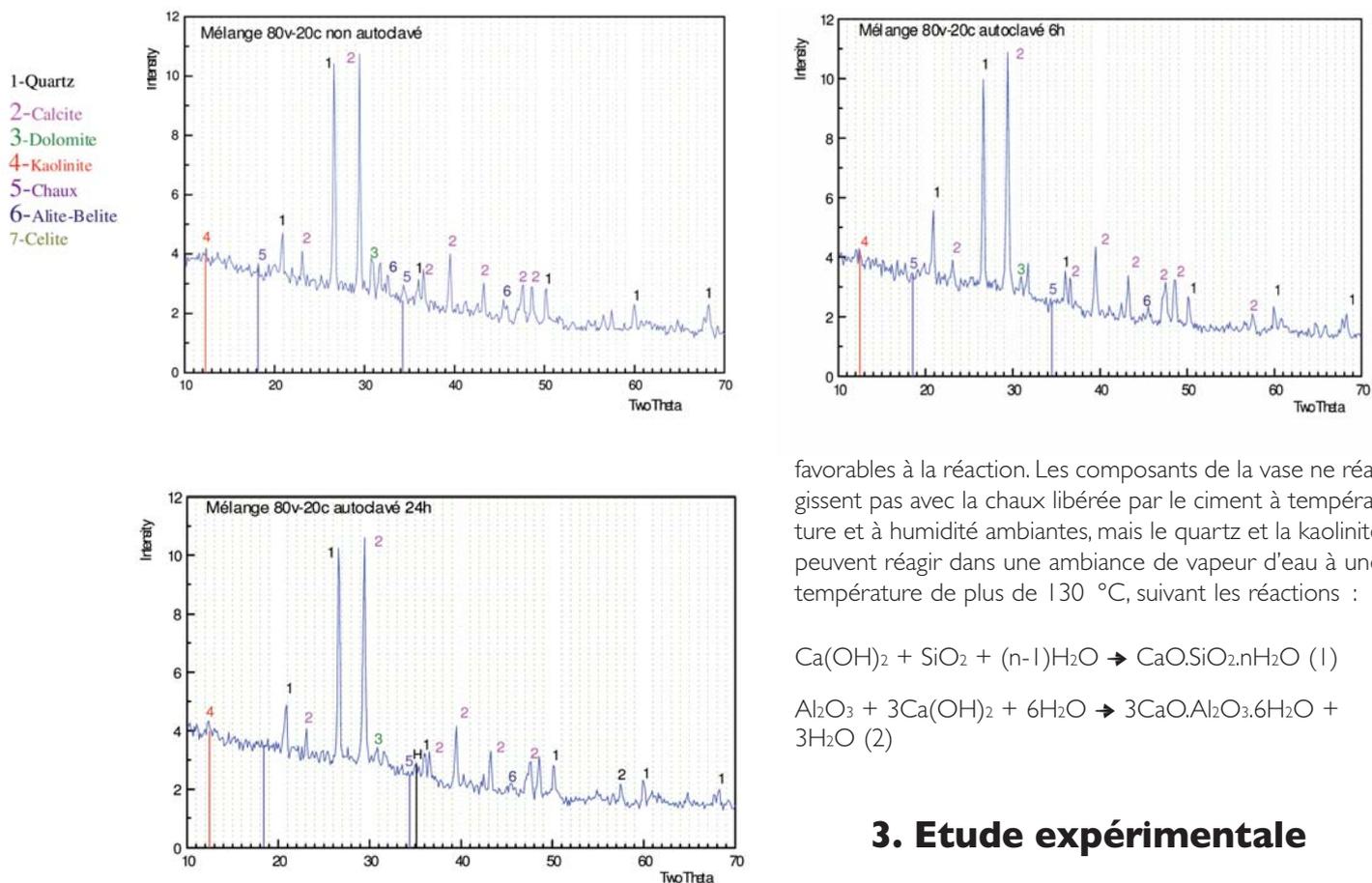


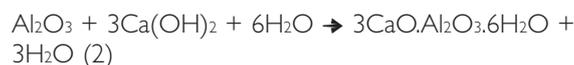
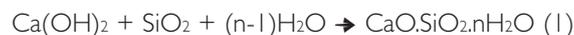
Figure 6 - Diffraction aux rayons X du mélange 80v-2 c

le ciment hydraté, le pic correspondant à la chaux augmente avec l'augmentation de la durée d'autoclavage. Ceci explique que pour une durée d'autoclavage importante, le ciment hydraté libère plus de chaux et sa réaction avec les composés de la vase serait plus importante (Figure 4). D'après la courbe de l'analyse thermogravimétrique (ATG) effectuée sur la vase naturelle (Figure 5), on note une perte de poids quasi linéaire jusqu'à 90 °C, correspondant au départ de l'eau absorbée, un amortissement de 91 °C jusqu'à 150 °C avec une faible variation entre 150 °C et 450 °C, ainsi qu'une perte considérable entre 450 °C et 510 °C et importante jusqu'à 610 °C, correspondant à l'existence de la kaolinite et du quartz masqué, et plus importante entre 610 °C et 720 °C, avec une chute quasi linéaire entre 720 °C et 780 °C, correspondant à l'existence des carbonates [5].

En conclusion, les analyses physiques, chimiques et minéralogiques de la vase étudiée nous montrent l'existence de composants tels que le quartz, les carbonates et les argiles de type kaolinite, ce qui rend possible des réactions hydrothermales avec un ciment. Nous avons donc étudié différents mélanges vase-ciment en autoclave afin de caractériser les réactions chimiques produites entre la vase et le ciment.

L'utilisation de l'autoclave permet de créer les conditions

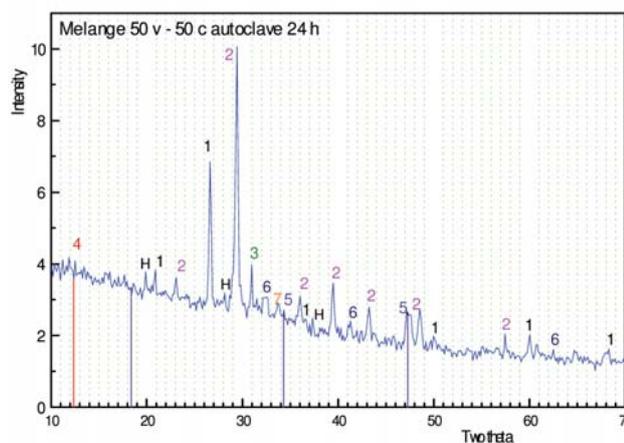
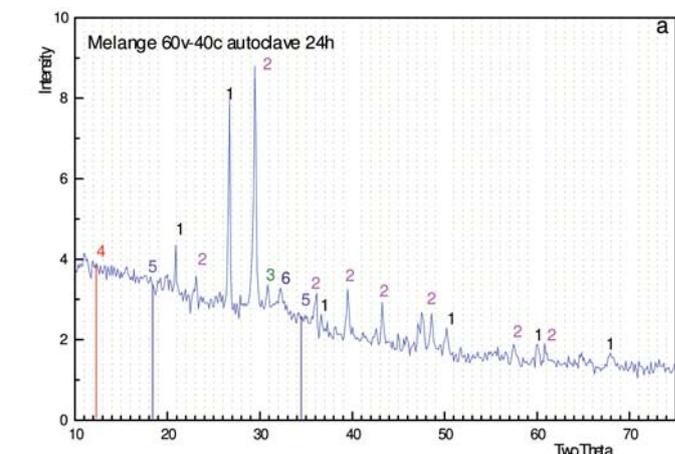
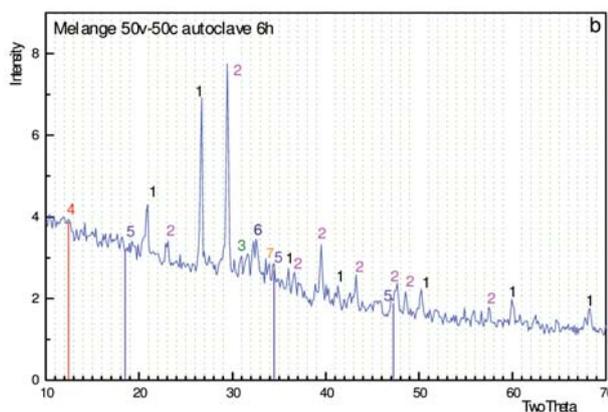
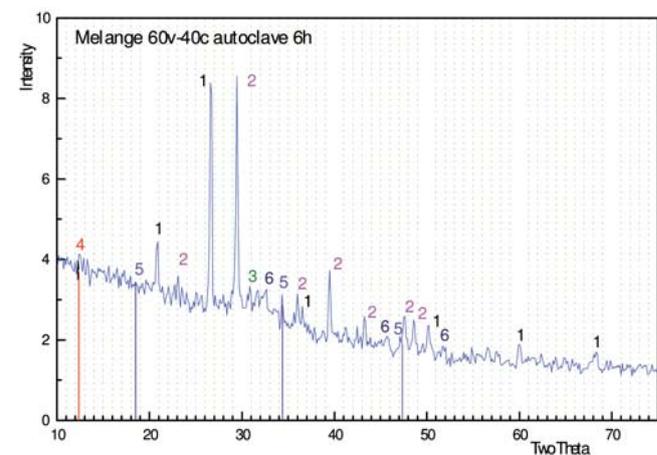
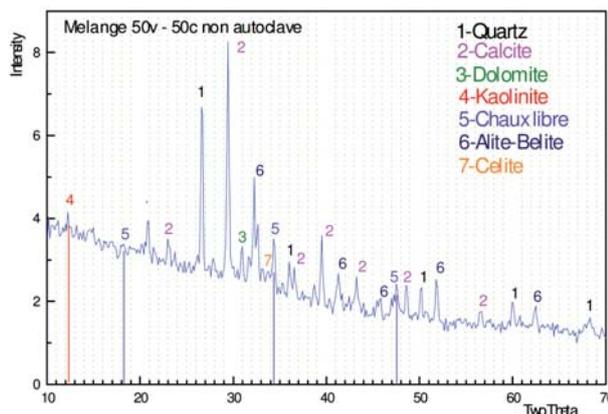
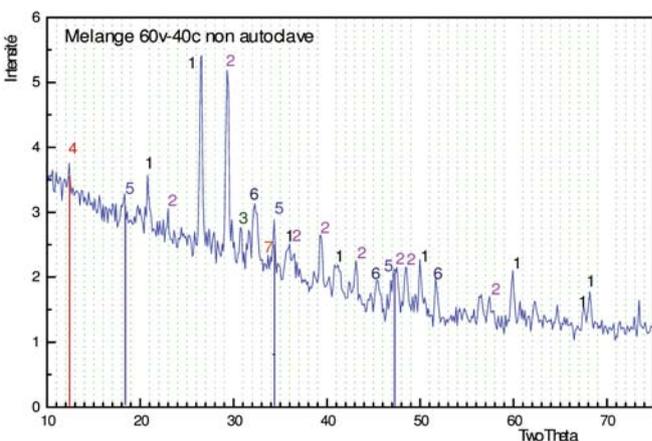
favorables à la réaction. Les composants de la vase ne réagissent pas avec la chaux libérée par le ciment à température et à humidité ambiantes, mais le quartz et la kaolinite peuvent réagir dans une ambiance de vapeur d'eau à une température de plus de 130 °C, suivant les réactions :



3. Etude expérimentale

Trois mélanges à différentes proportions ciment-vase ont été analysés dont les proportions en ciment sont de 20 %, 40 % et 50 %. Après optimisation de la quantité d'eau de gâchage pour chacun des trois mélanges étudiés, nous avons traité chaque mélange en autoclave à une température de 135 °C (pression de 0.33 Mpa) pour une durée de 6 heures et 24 heures.

Les analyses par diffraction des rayons X des différents mélanges montrent que le mélange à 20 % de ciment non autoclavé donne l'apparition de pics correspondants à l'existence du quartz, de la calcite, de la dolomite ainsi que des pics de la kaolinite et de la chaux libérée dont les intensités ne sont pas très importantes (Figure 6). Même constatation pour les autres mélanges non autoclavés (Figure 7). Après 6 heures d'autoclavage, on remarque la disparition des pics de la chaux et une légère diminution du pic de la kaolinite et du quartz, ce qui veut dire que la chaux est rentrée en réaction avec les deux éléments pour donner des gels de type CSH non visibles aux rayons X. Alors que pour une durée d'autoclavage de 24 heures, les pics de chaux ont disparu totalement, il y a aussi diminution des pics de la kaolinite et du quartz. Le maintien du pic de la kaolinite prouve que la quantité de chaux libérée n'était pas suffisante pour que la réaction soit complète (Figure 6). Le mélange 60/40 traité en autoclave durant 24 heures montre la disparition des pics correspondant à la chaux et à la kaolinite (Figure 7). Un traitement de 24 heures en autoclave du mélange 50/50 donne la disparition complète du pic de la kaolinite et une disparition quasi-totale


Figure 7 - Diffraction aux rayons X du mélange 60v – 40c
Figure 8 - Diffraction aux rayons X du mélange 50v – 50c

pour la chaux. L'augmentation du pic principal des carbonates est dû probablement à une carbonatation de la chaux en excès en présence du CO_2 (Figure 8). Les analyses thermogravimétriques (ATG) des mélanges vase-ciment montrent, pour les mélanges non autoclavés, une perte de masse qui n'est pas importante entre les températures 30 et 400 °C correspondant à la perte du H_2O . Au-delà de cette température, la courbe subit une variation très importante jusqu'à 800 °C, ce qui explique la présence de la kaolinite et de la chaux libérée par le ciment. Pour une durée d'autoclavage de 6 heures, on

remarque une perte de masse importante entre 30 et 500 °C, ce qui montre une réaction entre la vase et la chaux libérée par le ciment. Cette perte de masse est plus importante pour un traitement de 24 heures (Figures 9 et 10) [5].

4. Conclusion

Les résultats obtenus par différentes analyses minéralogiques réalisées sur des mélanges non autoclavés et autoclavés de vase et de ciment montrent que la vase est un produit

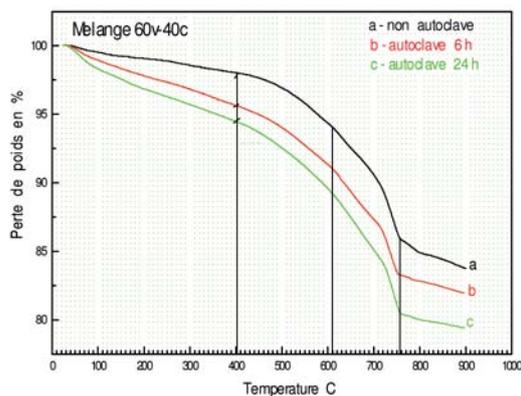


Figure 9 - Courbes de l'ATG

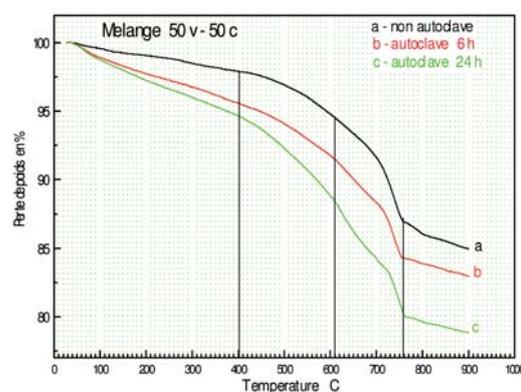


Figure 10 - Courbes de l'ATG pour le mélange 60 v / 40 c pour le mélange 50 v / 50 c

inerte dans les conditions normales de pression et de température. Elle devient active par l'adjonction d'un activateur tel que le ciment dans un milieu hydrothermal, à une température de 135 °C et une pression de 0.33 Mpa. Les silicates de calcium hydratés CSH, type tobermorite, ainsi que les gels d'aluminates de calcium hydratés C_3AH_6 sont les produits formés lors de ce traitement et qui sont responsables des transformations des résistances mécaniques des matériaux obtenus.

Dans les pays tels que l'Algérie qui ont un taux d'érosion important, l'envasement des barrages est un problème délicat pour l'exploitation de ces ouvrages. Pour pouvoir préserver la capacité de ces retenues, la vidange des sédiments emmagasinés avant leur consolidation est nécessaire. Au lieu d'être rejetés dans le milieu naturel, les vases extraites peuvent être utilisées comme matières premières dans la fabrication de matériaux de construction.

Références

- [1] DEMMAKA : Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie, thèse de doctorat, Université de Pierre-et-Marie-Curie, Paris, 1982.
- [2] L. BENAMARA, K. OUHBA. : Utilisation des vases dans la fabrication des briques. Tome 3, Colloque international sur l'urbanisation des régions arides et les problèmes associés, Université des pays arabes, Riyad, Arabie Saoudite, 2-4 novembre 2002, pp. 801-807.
- [3] J. PERA, J.-J. AMBROISE, M. CHABANT, L. BENAMARA : Microstructure Of Autoclaved Laterite-Portland Cement Phases, Proceedings of the Fourteenth Annual International Conference On Cement Microscopy, Costa Mesa, California USA, April 6-9, 1992, pp. 227-238.
- [4] L. BENAMARA : Conception d'éléments de toiture pour les pays en voie de développement, thèse de doctorat, INSA de Lyon, France, 1990.
- [5] K. OUHBA : Etude des propriétés des sédiments d'envasement et leur valorisation (cas de Fergoug et El-Macta), thèse de magister, USTO, Oran, Algérie, 2001.

DÉCHETS SCIENCES & TECHNIQUES, REVUE FRANCOPHONE D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE

SAP - 9, rue de l'Arbre Sec - 69281 LYON CEDEX 01 - Mèl : olivier.guichardaz@pro-environnement.com

Service abonnement : SAP/DPE - Service abonnement - 9, rue de l'Arbre Sec - 69281 LYON CEDEX 01 - Tél. : 04 72 98 26 69 - Fax : 04 72 98 26 80

N° de commission paritaire : 0307 T 88295 - N° ISSN : 0753-3454. - Photocomposition SAP

Principaux associés : DPE