



Caractérisation de la vase de dragage du barrage de l'Oued Fodda et valorisation en tant que matériau de construction (Characterization of dredging mud dam Oued Fodda and valorization as a building material)

M. Benasla^{1*}, L. Benamara², M. Hadjel¹

¹Université des sciences et de technologie d'Oran, Algérie, faculté de chimie, département de chimie organique industrielle.

²Université des sciences et de technologie d'Oran, Algérie, Faculté d'Architecture et de Génie civil, département d'hydraulique

Received 17 May 2014; Revised 28 December 2014; Accepted 1 January 2015.

* Corresponding author: e-mail: mohammedbenasla@yahoo.fr

Abstract

The dam of Oued Fodda is subject to high sedimentation due to the large volumes of sediment load transported by rivers each year especially during heavy floods. Thus, a volume of 103.10^6 m^3 of mud is deposited and reducing its capacity to less than 45% [1]. To prolong the "life" of this dam, the dredging of the reservoir has become an indispensable solution despite the huge amounts of vessels extracted by the bottom gates of the dam and finds no application and storage poses a problem now threatening the environment. In this article, we will conduct a study based on physical, chemical and mineralogical analysis of mud taken from the dam of Oued Fodda. The analysis results obtained satisfy the standards of good clay used for the manufacture of ceramics.

Keywords: Dam; Sedimentation; Mud; Dredging; Valorization

Résumé

La retenue du barrage de l'Oued Fodda est soumise à une forte Sédimentation en raison des volumes considérables d'apports solides transportés chaque année par les rivières surtout lors des fortes crues. C'est ainsi, qu'un volume de 103.10^6 m^3 de vase s'est déposé réduisant ainsi sa capacité à moins de 45 % [1]. Afin de prolonger la «durée de vie» de cet ouvrage, le dragage de la retenue est devenu une solution indispensable malgré les énormes quantités de vases extraites par les vannes de fond du barrage et qui ne trouvent aucune application et leur stockage pose actuellement un problème qui menace l'environnement. Dans cet article, nous allons faire une étude basée sur des analyses physiques, chimiques et minéralogiques de la vase prélevée dans la retenue du barrage de l'Oued Fodda. Les résultats des analyses obtenus vérifient bien les normes d'une argile utilisée pour la fabrication de céramique.

Mots Clés : barrage, sédimentation, vase, dragage, valorisation

1. Introduction

Ces dernières années, l'envasement des barrages en Algérie devient de plus en plus inquiétant et fréquent [2]. Plus de 32.10^6 m^3 de vase se déposent chaque année au fond des retenues. Le barrage de l'Oued Fodda n'a pas échappé à ce problème, puisqu'il est envasé actuellement à plus de 45% de sa capacité initiale (ANBT, 2003) [3]. C'est pourquoi il est d'une extrême urgence de procéder aux travaux de dragage afin de sauver cet ouvrage. Le dragage lui-même pose deux problèmes : économique dont le cout de l'opération est très élevé. L'autre problème c'est bien l'impact des sédiments évacués par la drague sur la faune et la flore d'un coté et sur la géométrie du cours d'eau en aval d'un autre coté. Mais devant la grande quantité de vase rejetée en aval du barrage de sérieux problèmes d'environnement sont apparus [4]. Il serait alors plus judicieux de mener une réflexion pour une utilisation rationnelle de la vase qui peut être valorisée dans le domaine des matériaux de construction en particulier la céramique [5]. Dans cette étude, nous avons mené une série d'analyses physiques,

chimiques et minéralogiques sur un échantillon de vase prélevé dans la retenue du barrage de l'Oued Fodda pour la valoriser.

2. Situation géographique du barrage de l'oued fodda

Le barrage de l'Oued Fodda sur l'oued du même nom, est situé à 20 Km environ de la ville de Oued Fodda. L'ouvrage, d'une capacité de 228.10^6 m^3 est situé à 180 km au nord ouest d'Alger (fig.1). Cet ouvrage est destiné à l'irrigation du périmètre du Moyen Cheliff.

Durant la période 1968-2003, le barrage de Oued Fodda a fait des lâchés, pour l'irrigation du périmètre du Moyen Cheliff, avec un volume moyen de l'ordre de $21 \text{ Hm}^3/\text{an}$ et un volume moyen réellement distribué de $12 \text{ Hm}^3/\text{an}$ environ pour la même période, soit une superficie moyenne irriguée de 2050 Ha . Par ailleurs, ce barrage devra contribuer, avec le seuil d'Oum Drou, à l'irrigation de 9600 ha qui constituent la tranche II des travaux de réhabilitation et d'extension du périmètre du Moyen Cheliff [3].



Figure 1 : Situation géographique du barrage de l'Oued Fodda

3. Matériel et méthodes

Les essais ont été réalisés sur un échantillon de vase prélevé à 3 m en amont de la digue du barrage de l'Oued Fodda (fig.2). Le prélèvement a été fait par la technique suivante : Méthode de la benne preneuse.



Figure 2 : Localisation d'échantillon prélevé

Une drague à benne preneuse est en fait une grue montée sur un ponton, lui-même stabilisé par des béquilles. Au bout du câble de levage est fixée une benne preneuse formée de deux grappins à mâchoires, ressemblant à la gueule d'un dinosaure. La benne prend les sédiments en s'enfonçant grâce à son poids et à l'action des mâchoires [6].

Elle permet de ramener une quantité suffisante de sédiments (quelques centaines de grammes) pour effectuer des analyses granulométriques en laboratoire. La surface ainsi échantillonnée est d'environ 4 dm².

Au contact du fond, le contrepoids tombe sur le système de déclenchement et entraîne la rotation de la mâchoire et la fermeture de la benne. Le sédiment ainsi piégé est peu perturbé et non lessivé. Il donne lieu à une première interprétation visuelle.

Durant nos essais, les analyses granulométriques ont été réalisées par la sédimentométrie pour la vase naturelle (état floculé) et même pour la vase à l'état élémentaire après défloculation par l'hexamétaphosphate de Sodium. Les analyses minéralogiques ont été effectuées par diffraction aux rayons (X). Par contre, les analyses chimiques ont été faites par fluorescence et par infrarouge.

3.1. Préparation de la vase

La vase prélevée est convenablement préparée. Le processus de préparation de la vase (fig.3) est comme suit [7] :

- a- Séchage : La vase est tout d'abord séchée à l'étuve à 105°C ;
- b- Concassage : La vase étuvée est concassée pour faciliter son broyage ;
- c- Broyage : La vase concassée est broyée à l'aide d'un broyage électrique ;
- d- Tamisage : La vase broyée est tamisée par voie sèche au tamis de 80 µm.



Figure 3 : Le processus de préparation de la vase draguée

4. Résultats et discussion

4.1. Analyses physiques et géotechniques

Pour la vase préparée, nous avons déterminé les propriétés physiques et géotechniques (tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques physiques et géotechniques de la vase de l'Oued Fodda

Echantillon	ρ_s g/cm ³	d ₅₀		W _L %	W _P %	I _P %	VBS
		Defloculé	Naturel				
Vase de l'Oued Fodda	2.5	40	68	47.54	22.80	24.74	5.66

d₅₀: diamètre moyen des grains

ρ_s : masse spécifique des grains solides (g/cm³)

VBS : valeur de bleu de méthylène

W_L: limite de liquidité

W_P: limite de plasticité

I_P: Indice de plasticité

Compte tenu de ces résultats, les limites d'Atterberg réalisées sur notre échantillon ont confirmé selon la classification des sols fins (abaque de plasticité de Casagrande), que la vase étudiée est une argile minérale de moyenne plasticité [8].

La figure 4 illustre la classification de la vase du barrage de l'Oued Fodda selon Casagrande [9].

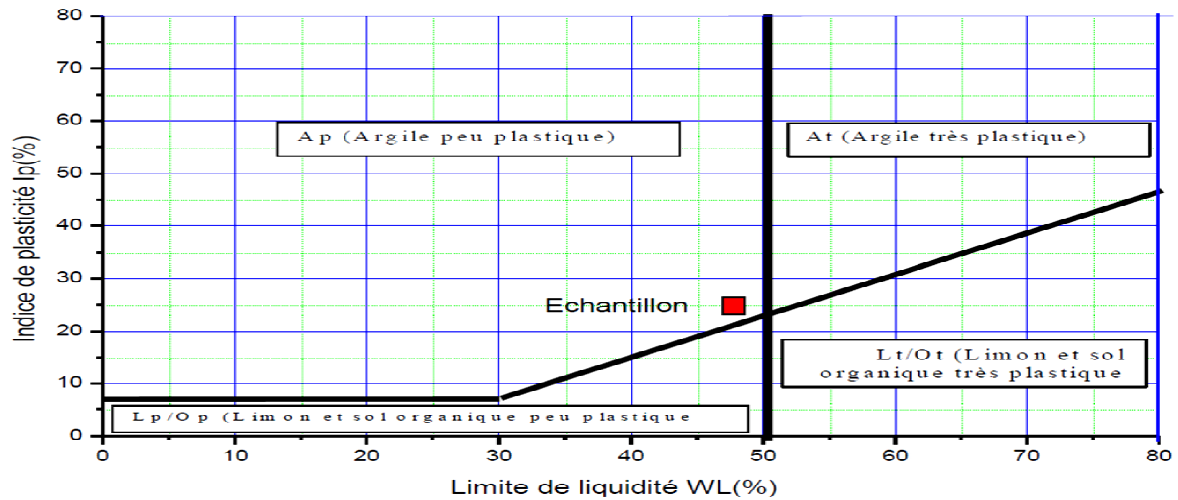


Figure 4 : Classification de la vase de l'Oued Fodda selon Casagrande

Une analyse granulométrique est effectuée sur l'échantillon [10]; par tamisage sous l'eau pour les particules qui ont un diamètre > 100 µm et par sédimentométrie pour la fraction qui reste (fig.5).

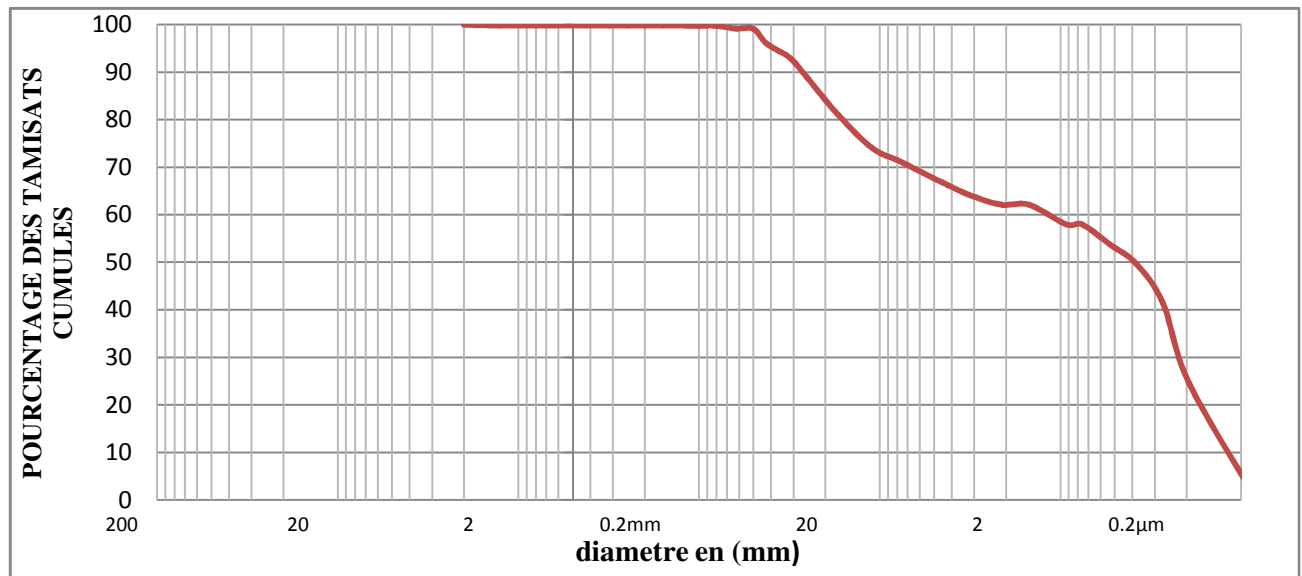


Figure 5 : La courbe granulométrique finale de la vase de l'Oued Fodda

Le tableau 2 suivant résume les résultats de l'analyse granulométrique.

Tableau 2 : Résultats de l'analyse granulométrique de la vase de l'Oued Fodda

Granulats	Sable	Limon	Argile
Echantillon	25	13	62

Suite à cette analyse, un taux de 62% de la composition de la vase du barrage de l'Oued Fodda est une argile, 13% limon et 25% sable. Donc selon la classification des sols fins de Casagrande notre vase est une argile plastique. Cette analyse confirme le résultat précédent concernant la dénomination de notre vase. Les analyses physiques sont complétées par d'autres rhéologiques.

4.2. Analyses rhéologiques

La viscosité de la vase à l'état fluide est en fonction de la concentration volumique CV : le pourcentage de la fraction solide par rapport à l'eau. Le viscosimètre Engler nous permet de tracer la courbe suivante :

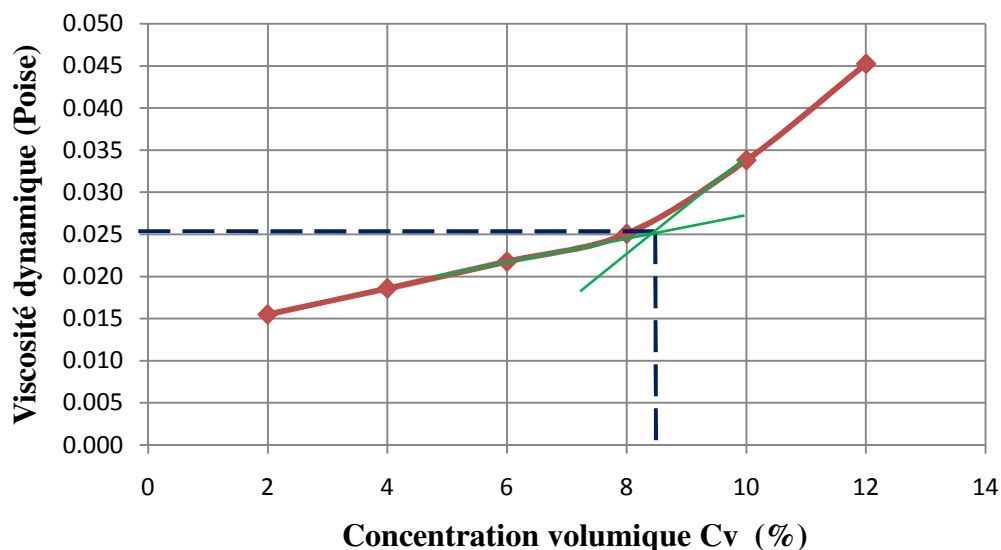


Figure 6 : La viscosité de la vase de l'Oued Fodda à l'état fluide en fonction de la concentration volumique

Les résultats sont donnés dans la figure 6. La viscosité augmente linéairement jusqu'à la concentration 8%. La viscosité continue à augmenter avec une fréquence supérieure à la première partie. L'intersection des deux lignes est correspondant à la concentration limite à partir de laquelle la vase varie d'un fluide newtonien à un fluide non newtonien.

4.3. Analyses chimiques

Les données de la composition chimique par fluorescence de la vase du barrage de l'Oued Fodda sous forme d'oxydes est présentée dans la figure 7. On constate que l'oxyde SiO₂ est prédominant dans les sédiments fluviaux urbains, suivie d'Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, MgO, K₂O et Na₂O. [11]

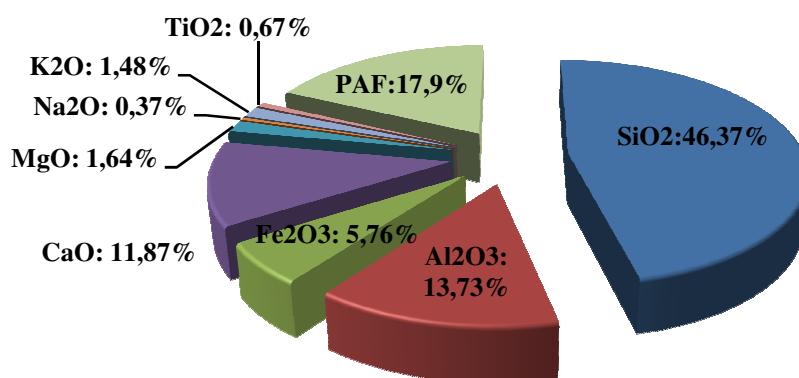


Figure 7: Résultats des analyses chimiques de la vase du barrage de l'Oued Fodda

Il est intéressant de constater que [12] :

- La teneur en silice SiO₂ est bien conforme aux normes et est suffisante pour jouer le rôle de dégraissant sans avoir besoin d'ajouts des éléments inertes tel que le sable.
- L'alumine Al₂O₃, liée à la plasticité, permet l'utilisation de cette vase pour la fabrication de céramique puisqu'elle se situe à la limite inférieure autorisée.

- La teneur en Fe_2O_3 est très acceptable et permet de considérer cette vase comme une argile à teneur moyenne en oxyde colorant.
 - La teneur en chaux CaO ne dépasse pas la limite supérieure tolérée.
- Enfin, nous pouvons dire que cette matière première analysée peut être utilisée pour la fabrication de céramique.

4.4. Analyses minéralogiques de la vase de l'Oued Fodda

Une analyse minéralogique qualitative par le diffractomètre aux rayons X et par microscopie à balayage pour déterminer les différents minéraux qui compose la vase du barrage de l'Oued Fodda. Les résultats de cette analyse sont représentés dans la figure 8,9 et le tableau 3.

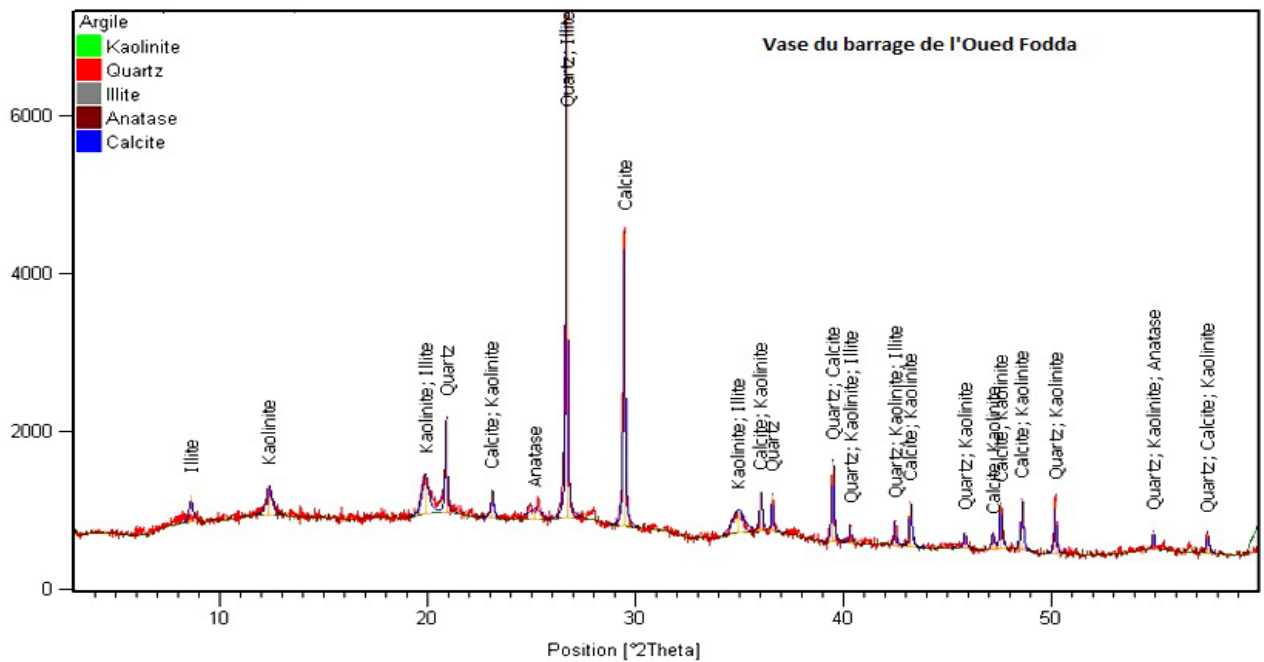


Figure 8: Analyse minéralogique qualitativ par diffraction des rayons X.

Tableau 3 : Résultats des analyses minéralogiques de la vase de l'Oued Fodda

Minéraux	Vase de l'Oued Fodda (%)
Chlorite	5.5
Illite	15
Kaolinite	25
Dolomite	1.5
Calcite	24
Quartz	27
Feldspaths	2

Notre échantillon est donc composé principalement de Quartz, kaolinite, Calcite, Illite, Feldspaths et de Dolomite.

La microscopie électronique à balayage de la vase de l'Oued Fodda (figure 9) permet de présenter l'organisation générale des minéraux argileux. Cet échantillon se présente sous forme d'agrégat, c'est-à-dire en petits lots des particules juxtaposées. Les minéraux ont les caractéristiques suivantes :

- Quartz : se présente sous forme de grands cristaux ;
- Kaolinite : se présente sous formes des plaquettes hexagonales qui peuvent avoir parfois certaines déformation telle que des élongations ou parfois altérations ;
- Illite : se présente sous forme de fines particules équidimensionnelles.

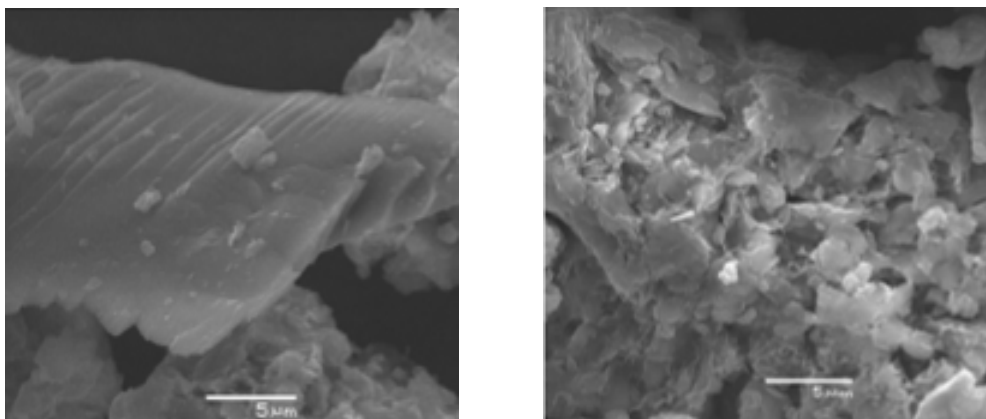


Figure 9: MEB de la vase de l'Oued Fodda

5. Valorisation de la vase pour la fabrication des carreaux de sol en céramique

Dans le but de faire une comparaison des carreaux de sol en céramique issues de la vase du barrage de l'Oued Fodda et l'argile de Ain Franine utilisée dans l'usine CERAL (Céramique Algérienne) de fabrication des carreaux de sol en céramique qui se trouve dans la région d'Oran, les deux produits ont été soumis à des essais physiques-céramiques.

Le tableau 4 ci-dessous présente une comparaison entre la composition chimique de la vase du barrage de l'Oued Fodda issue des résultats d'analyse chimique par fluorescence et la composition chimique de l'argile de Ain Franine utilisé dans la fabrication des carreaux de sol en céramique par CERAL.

Tableau 4 : Comparaison entre la composition chimique de la vase du barrage de l'Oued Fodda et l'argile de Ain Franine

Caractéristiques	Symbole	Vase de l'Oued Fodda (%)	Argile de Ain Franine (%)
La silice	SiO ₂	46.37	53.03
L'alumine	Al ₂ O ₃	13.73	14.70
L'oxyde de fer	Fe ₂ O ₃	5.76	5.80
La chaux	CaO	11.87	4.65
La magnésite	MgO	1.64	2.75
L'oxyde de sodium	Na ₂ O	0.37	0.95
Potassium	K ₂ O	1.48	1.84
L'oxyde de Titane	TiO ₂	0.67	0.74
Perte au feu	PAF	17.90	11.65

5.1. Préparation du mélange en matière première

Le choix de la composition du mélange en matière première est confirmé par des tests physico-céramiques. Ce mélange est utilisé pour la fabrication des carreaux de sol en céramique doit répondre à certaines exigences et normes. Il s'agit de passer une quantité de ce mélange par les différentes étapes de fabrication et vérifier les paramètres de contrôle de qualité du produit final à savoir le retrait, l'absorption, la perte au feu et la résistance à la flexion.

5.1.1. Calcul du taux de la vase à utiliser dans la formulation

La société CERAL Hassi Ben Okba (Oran, Algérie) utilise comme matière première un mélange de 12% argile, 17% de Grès, 71% de Schiste. La composition chimique de chaque élément est donnée dans le tableau 5. Si on remplace directement l'argile de Ain Franine par la vase du barrage de l'Oued Fodda avec le même pourcentage, on aura un taux de la silice et de l'alumine dans la composition chimique du mélange inférieure à celui de la composition initiale (celle préparée par l'argile de Ain Franine).

Par contre que le taux de la chaux et la perte au feu est supérieur. Cette différence peut créer des défauts dans le produit final au niveau de la couleur, le retrait, l'adsorption et surtout la résistance.

Pour rattraper cette différence en composition chimique du mélange, on a proposé une autre formulation avec laquelle on s'approche à la formulation initiale. Cette fois ci, on utilise la vase du barrage de l'Oued Fodda avec un taux de 13%, le grès 16% et un taux de schiste de 71% (Voir le tableau 6).

Le mélange de la matière première proposé en utilisant la vase du barrage de l'Oued Fodda permet de diminuer la perte au feu de 17.90% au 6.46% pour un taux de référence de 5.58%. Il reste toujours loin de celui de la formulation initiale mais il est dans les normes.

L'avantage de la formulation proposée est d'utiliser un pourcentage de 13% de la vase. Le choix du pourcentage des matières premières doit être confirmé par des analyses et des tests physico-céramique toute en comparant les résultats trouvés aux normes et exigences de l'industrie des carreaux de sol en céramique.

Tableau 5 : Composition chimique de la matière première utilisée par CERAL

Oxydes	Argile de Ain Franine (12%)		Grès (17%)		Schiste (71%)		Total de la matière première utilisée par CERAL(%)
SiO ₂	53.03	6.36	61.99	10.53	64.38	45.70	62.59
Al ₂ O ₃	14.70	1.76	15.72	2.67	16.97	12.04	16.47
Fe ₂ O ₃	5.80	0.69	3.45	0.58	7.16	5.08	6.35
CaO	4.65	0.55	6.23	1.05	0.26	0.18	1.78
MgO	2.75	0.33	1.57	0.26	1.46	1.03	1.62
Na ₂ O	0.95	0.11	2.86	0.48	1.19	0.84	1.43
K ₂ O	1.84	0.22	2.46	0.41	2.89	2.05	2.68
TiO ₂	0.74	0.08	0.45	0.07	0.90	0.64	0.79
PAF	11.65	1.39	5.12	0.87	4.68	3.32	5.58

Tableau 6 : Composition chimique de la matière première proposée

Oxydes	Vase de l'Oued Fodda (13%)		Grès (16%)		Schiste (71%)		Total de la matière première proposée(%)
SiO ₂	46.37	6.02	61.99	9.91	64.38	45.70	61.63
Al ₂ O ₃	13.73	1.78	15.72	2.51	16.97	12.04	16.33
Fe ₂ O ₃	5.76	0.74	3.45	0.56	7.16	5.08	6.38
CaO	11.87	1.54	6.23	1.00	0.26	0.18	2.72
MgO	1.64	0.21	1.57	0.25	1.46	1.03	1.49
Na ₂ O	0.37	0.04	2.86	0.45	1.19	0.84	1.33
K ₂ O	1.48	0.19	2.46	0.39	2.89	2.05	2.63
TiO ₂	0.67	0.08	0.45	0.07	0.90	0.64	0.79
PAF	17.90	2.32	5.12	0.82	4.68	3.32	6.46

5.2. Préparation de la barbotine à testé

La vase du barrage concassée jusqu'à qu'elle passe par le tamis de 2mm pour faciliter le broyage puis séchée dans l'étuve à une température de 105°C pendant 48 heures idem pour les autres composantes (grès et schiste) afin d'éliminer l'humidité initiale. Après on a pris une quantité de 1000g de mélange en matière première pour préparer les 2 types de barbotine comme suit :

A- Le mélange en matière première pour préparer la barbotine de CERAL (1000g): 710g de schiste, 170g de grès et 120g d'argile de Ain Franine.

B- Le mélange en matière première pour préparer la barbotine proposée (1000g): 710g de schiste, 160g de grès et 130g de vase de l'Oued Fodda.

Ensuite on a mis dans un bécher de 2000ml le mélange de la matière première de CERAL et dans un autre bécher le mélange de la matière première qui contient la vase de l'Oued Fodda et on ajouté un volume de 400ml d'eau de gâchage et 4,2g de défloculant (Triphosphosphate de sodium) dans les deux béchers après on a mis chaque mélange dans un broyeur à bille pendant une durée de 2 heures. Le temps de broyage est limité par la viscosité, la densité de la barbotine produite et le pourcentage du refus d'un tamis de 80 micro mètre. A la fin on a obtenu deux types de liquide homogène appelé barbotine.

Les mesures rhéologiques ont été effectuées sur un rhéomètre à contrainte imposée [13] appelé HAAKE RheoStress 600. La géométrie du rhéomètre est en cylindre coaxial.

Toutes les mesures ont été effectuées à température ambiante (20°C). Le HAAKE RheoStress 600 est conçu pour le rhéologue créatif qui utilise son rhéomètre dans un environnement de recherche. Grâce à sa modularité, le RheoStress 600 peut être rapidement adapté à de nouvelles exigences, il dispose de plusieurs géométries de mesure d'un Régulateur de température et d'un logiciel appelé RhéoWin pour la mesure et l'exploitation complet de tous les modes de mesure. Il permet de commander le RheoStress 600 et de traiter les données de mesure sous forme de graphe ou de tableau numérique.

5.3. Préparation des carreaux éprouvette

Les tests physico-céramiques sont effectués sur des éprouvettes sous forme des carreaux de 55x110 mm² largeur x longueur et d'épaisseur de 6 mm. Ces carreaux sont préparés par la même barbotine testée dans le rhéomètre RS.

La barbotine est séchée, broyée et tamisée par un tamis de 1mm. La poudre produite est utilisée pour fabriquer les éprouvettes à l'aide d'une presse hydraulique qui exerce une pression verticale de 100 bar. La poudre doit être avoir une humidité initiale qui varie entre 4.2 à 5.5% comme une condition d'un bon pressage. Nous avons préparé deux types des carreaux éprouvette: carreaux préparés par la composition de la vase du barrage de l'Oued Fodda et d'autres carreaux préparé par la poudre atomisée prélevée à partir de l'usine et qui est préparée par l'argile de Ain Franine et à l'aide d'une presse de mesure de la résistance à la flexion, nous avons testé pour chaque type, trois éprouvettes cru; directement après le pressage dont l'humidité est de 4.89% et trois d'autres éprouvettes sec; séché à l'aide de l'étuve sous une température de 105°C et pendant 5 heures.

Pour avoir un produit final confort aux normes et exigences internationale (ISO 13006) [14] des carreaux éprouvette secs sont passés par un four au niveau de laboratoire de l'usine CERAL pour les températures maximales de cuissons: 800, 900 et 1000°C. D'autres carreaux sont passés par le four tunnel dans la ligne de production de l'usine dont la température maximale de la cuisson est de 1100°C.

Le but de varier la température maximale de cuisson est de déterminer son influence sur les paramètres physiques du carreau tel que la résistance à la flexion, l'écart de longueur et de largeur et la perte au feu.

Pour chaque température, nous avons utilisé trois carreaux secs préparés par la vase du barrage de l'Oued Fodda dont l'humidité est environ de 1.2% et trois autres préparé par l'argile de Ain Franine. Si l'humidité du carreau à l'entrée du four dépasse 2% une transformation brusque de l'eau interstitielle de l'état liquide à l'état gazeux engendre l'explosion du carreau.

5.4. Résultats des tests physico-céramiques et discussion

Sur les figures 10 et 11, nous avons représenté en abscisse le gradient de vitesse de cisaillement en abscisse et en ordonnée la contrainte de cisaillement. Les différentes mesures sont traitées à l'aide d'un logiciel du rhéomètre RS 600.

Nous avons testé deux barbotines: une préparée par l'argile de Ain Franine utilisée dans l'usine CERAL et une autre préparée par la vase du barrage de l'Oued Fodda dont le but est de comparer le comportement rhéologique et l'écoulement sous l'application d'une vitesse variable en mesurant la contrainte équivalente pour chaque vitesse.

La variation de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse est linéaire pour les deux mixtures mesurée. Ils obéissent au model linéaire de Bingham avec un coefficient de corrélation qui s'approche beaucoup à un. Il est de l'ordre de 0.93 pour la barbotine de CERAL et de 0.94 pour la barbotine de la vase du barrage de l'Oued Fodda. Les équations des deux courbes de tendance sont:

- Barbotine de CERAL : $y = -0.7714 \dot{\gamma} + 20.677$

- Barbotine de l'Oued Fodda : $y = -0.3935 \dot{\gamma} + 12.472$

La contrainte du seuil de la barbotine de l'Oued Fodda est inférieure à la contrainte du seuil de la barbotine de CERAL, ça veut dire que la première (celle de l'Oued Fodda) s'écoule mieux dans le circuit à partir des bacs de stockage de la barbotine jusqu'aux injecteurs de l'atomiseur en passant par les pompes à pistons.

Donc, la barbotine de la vase du barrage de l'Oued Fodda s'écoule avec moins de risque de colmatage des conduites et un bon rendement des pompes. Cela est confirmé par la variation de la viscosité tracé dans la figure 11, dont la barbotine préparée par la vase est moins visqueuse que celle préparée par l'argile de Ain Franine avec les mêmes concentrations est pour chaque vitesse de cisaillement appliquée.

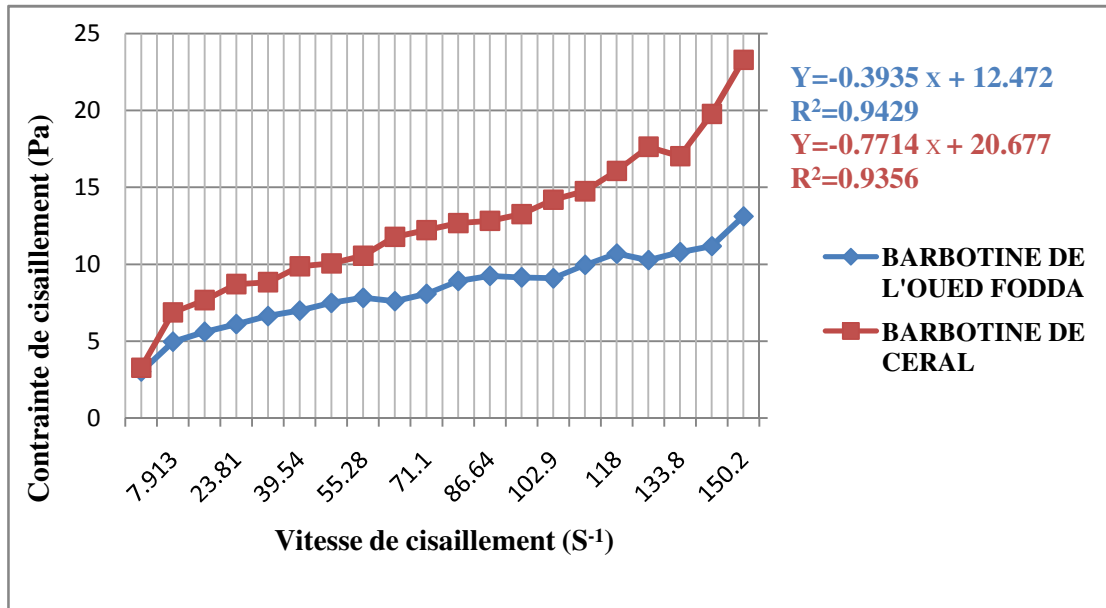


Figure 10 : Contraite de cisaillement en fonction de la vitesse

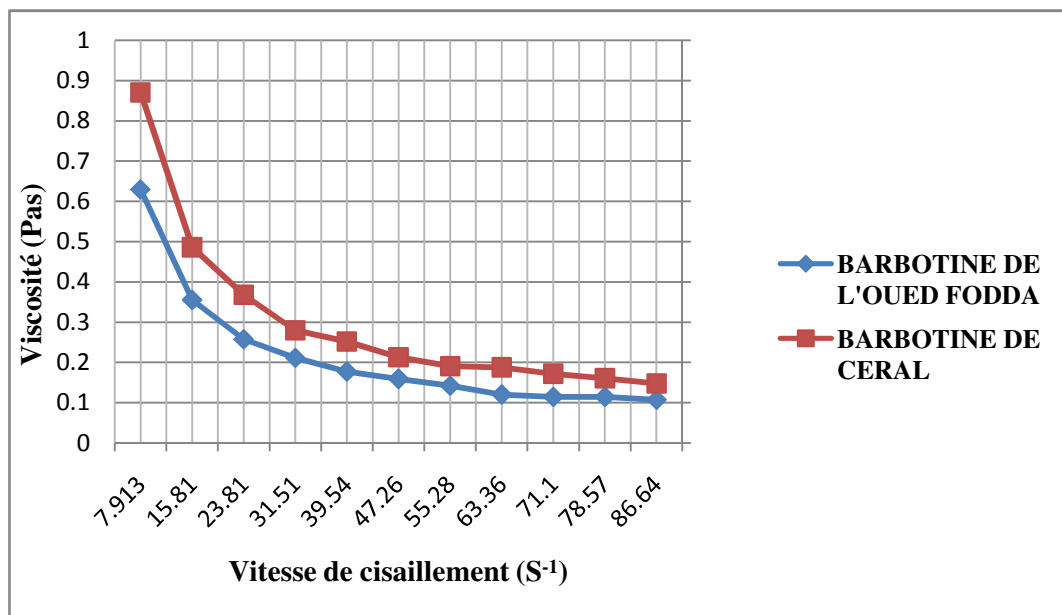


Figure 11 : Viscosité en fonction de la vitesse de cisaillement

La figure 12 présente une comparaison entre la résistance à la flexion des carreaux préparés par la vase du barrage de l'Oued Fodda et celle des carreaux préparés par l'argile de Ain Franine. Cette comparaison est effectuée sur des carreaux crus, secs et après cuisson à la température de 1100°C. Suivant les résultats trouvés la résistance à la flexion des carreaux préparés par la vase du barrage de l'Oued Fodda est proche à celle de Ain Franine pour les différentes températures de cuisson.

Elle est au dessous de la limite inférieure (170 Kg/cm²) pour la température 800°C, elle bonne pour les températures 900°C, et elle est au dessus de la limite supérieure de la norme avec une résistance moyenne de 280Kg/cm² à la température 1000 et 1100°C dont la norme exige seulement une résistance de 245 Kg/cm². Plus la température de cuisson augmente plus que le carreau produit résiste bien à la flexion, dans notre cas, et suivant les résultats trouvés, une température de 1000°C est suffisante pour avoir un carreau qui répond aux normes et exigences internationale ISO 13006. Les résultats de la résistance à la flexion des carreaux crus et secs sont présentés dans le tableau 7. Les carreaux préparés par la vase du barrage de l'Oued Fodda ont donné une résistance crue moyenne de 2.03N/mm² et une résistance sèche moyenne de 6.1 N/mm².

Tableau 7 : Résistance à la flexion des carreaux crus et sec en N/mm²

		Oued Fodda	Ain Franine
Cru	1	1.7	2
	2	2.6	2.8
	3	1.8	2
Sec	1	5.5	5.7
	2	6.6	6.9
	3	6.2	6.3

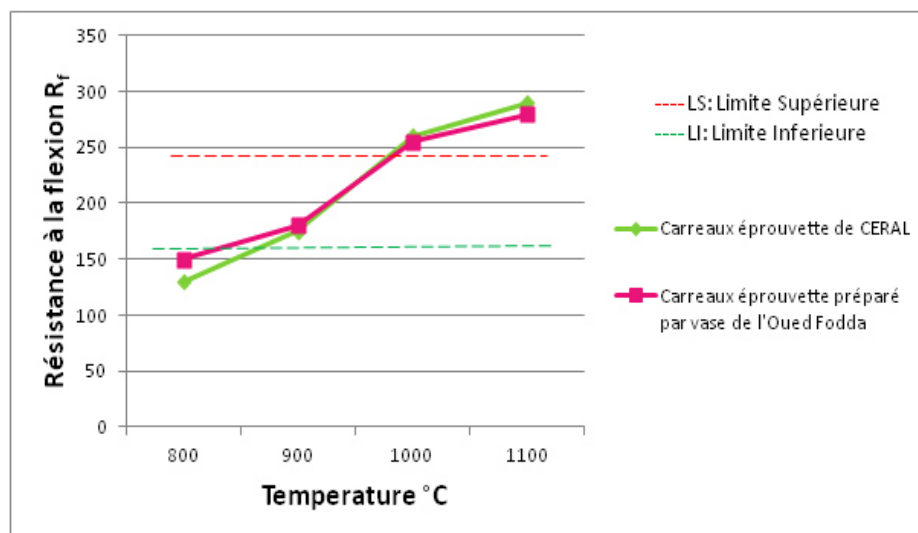


Figure 12 : Variation de la résistance à la flexion en fonction de la température

Les autres carreaux préparés par l'argile de Ain Franine ont donné une résistance crue moyenne de 2.26N/mm² et une résistance sèche moyenne de 6.3 N/mm². Le comportement des carreaux préparés par la vase du barrage de l'Oued Fodda est très bon vis-à-vis le pressage et le séchage. Nous avons trouvé des résultats acceptables en comparant par les carreaux préparé par l'argile de Ain Franine (celle utilisé dans l'usine CERAL). Le produit de CERAL résiste mieux à la flexion que le produit de l'Oued Fodda mais les deux sont dans la marche des exigences demandés et suivant la norme internationale.

La microscopie électronique à balayage du mélange fritté à 1000°C (figure 13) révèle une structure hétérogène, avec des pores dont la taille peut atteindre 2 à 3 µm. L'assemblage quartz-liquide silicaté est toujours entouré d'espaces vides. A cette échelle d'observation, il ne semble pas y avoir d'autres minéraux présents dans la matrice. On observe aussi des grains distincts de tailles variables correspondant probablement à du quartz et à une masse vraisemblablement amorphe.

L'image MEB révèle un nombre plus important de grains distincts tandis que la densité des pores à grand diamètre a considérablement diminué. C'est sans doute cette répartition homogène de pores et de grains qui confère à ce matériau une meilleure résistance à la flexion. La matrice liquide renferme toujours du quartz et les pores sphériques semblent grossir avec la température de cuisson.

L'écart de longueur (figure 14) augmente en fonction de la température, il est au dessous de la limite minimale de la norme ISO 13006 pour la température 1100°C.

L'écart de largeur (figure 15) augmente aussi en fonction de la température.

La perte au feu ou la différence en poids du carreau (figure 16) diminue en fonction de la température de la cuisson pour les deux types des carreaux.

Pour la déformation il est bien clair que celle de l'Oued Fodda perd une longueur de 0.47% et une largeur de 0.38% par contre que les carreaux de CERAL perd que 0.45% en longueur et de 0.35% en largeur. Cette différence est justifiée par le taux de la perte au feu qui est presque identique dans les 2 types de carreau sachant que le taux de perte au feu dans le carreau préparé par la vase du barrage de l'Oued Fodda est de 7.6% dont l'autre carreau de CERAL a un taux de perte au feu de 7.2%. La température de cuisson 1000°C a donné des carreaux de bonne qualité de point de vue déformation le long de la longueur et de la largeur.

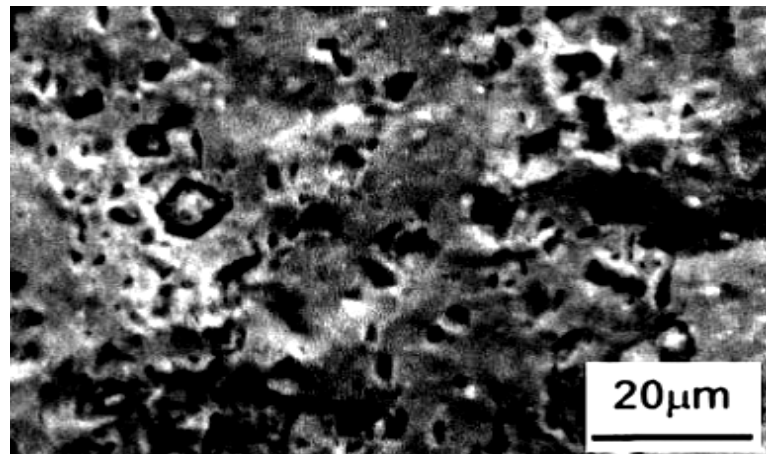


Figure 13 : MEB du matériau de l'Oued Fodda fritté à 1000°C

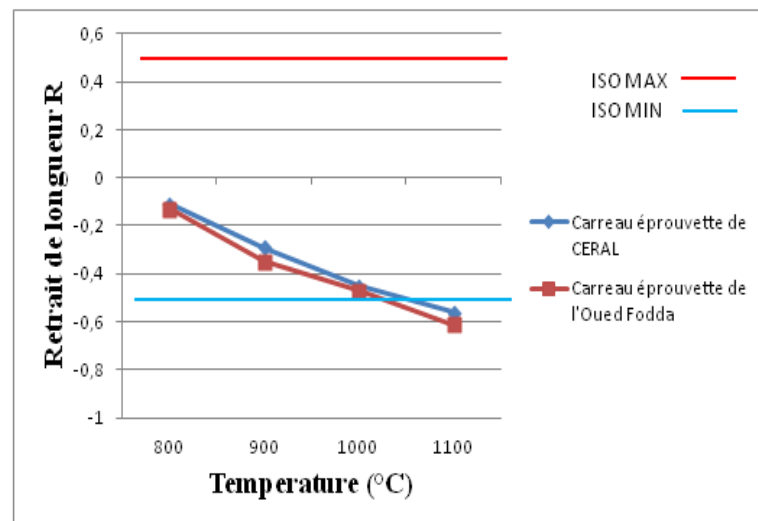


Figure 14 : Variation de l'écart de longueur en fonction de la température

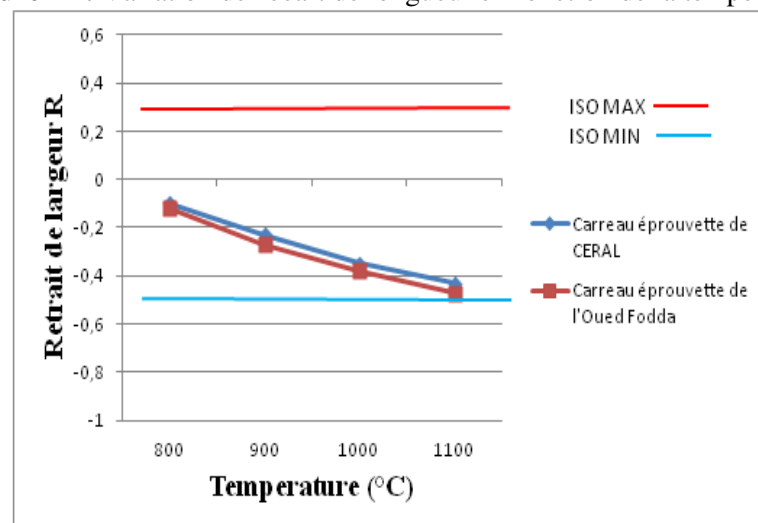


Figure 15 : Variation de l'écart de largeur en fonction de la température

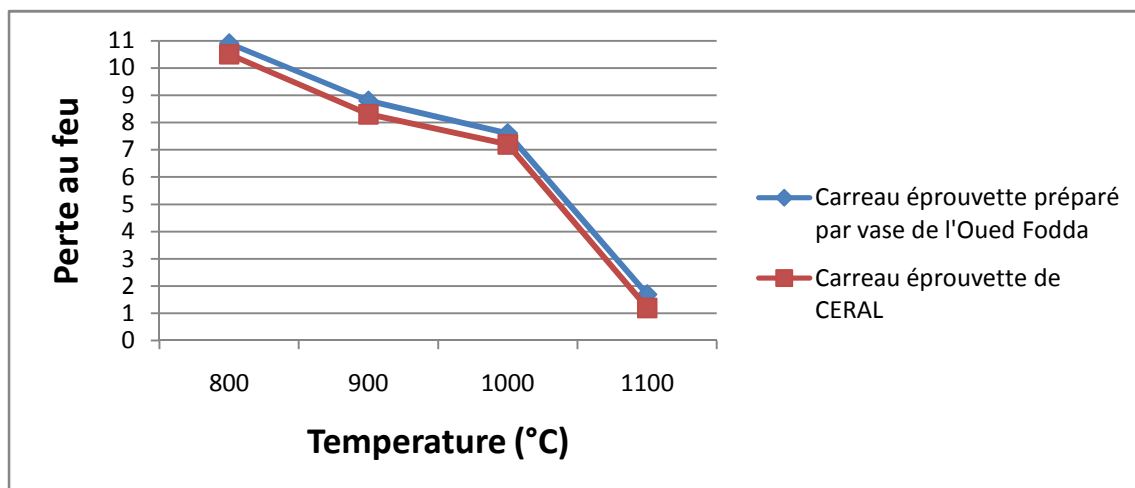


Figure 16 : Variation de la perte au feu en fonction de la température

Conclusion

Des quantités importantes de vase sont évacuées périodiquement en aval du barrage de l'Oued Fodda par les vannes de vidange de fond du barrage, ce qui provoque de sérieux problèmes d'environnement. Le traitement et l'étude de la vase en vue de sa valorisation dans le domaine des matériaux de construction et plus particulièrement les carreaux de sol en céramique ont donné de très bons résultats. Les analyses chimiques de la vase confirment qu'elle est utilisable dans la fabrication des carreaux de sol en céramique jusqu'à un taux de 13%. Ces analyses sont complétées par des rhéologiques afin d'identifier l'écoulement de la barbotine préparée par la vase dans le broyeur et à travers le circuit jusqu'à l'arrivée à l'atomiseur, là où la barbotine est transférée en poudre pour le pressage par la suite.

Le comportement rhéologique de la barbotine préparée par la vase est identique à celui de la barbotine préparée par l'argile de Ain Franine, les deux sont obéies au modèle Herschel Bulkley.

L'argile de Ain Franine est utilisée comme matière première dans la fabrication des carreaux de sol en céramique au niveau de l'usine CERAL situé à une distance de 15 Km à l'Est d'Oran (Algérie) dans la zone industrielle de Hassi Aneur. Le produit final doit répondre à certaines exigences et normes pour qu'il trouve sa place dans le marché à savoir les dimensions, le poids, l'absorption et la résistance à la flexion.

Des éprouvettes sous forme de petits carreaux de dimension 55x110 mm² ont été préparées par deux types de mélanges: un basé sur l'argile de Ain Franine et un autre basé sur la vase du barrage de l'Oued Fodda. Les carreaux préparés par la vase du barrage ont confirmé la possibilité d'utiliser la vase dans la fabrication des carreaux de sol en céramique.

Références

1. Remini B., Avenardj M., 98-105. Available from <http://www.beeep.ird.fr/collect/bre/index/assoc/HASH9d8d.dir/18-098-105.pdf>
2. Benkadja R., *Colloque CMEDIMAT*. ENSET Oran (Algérie), (2005).
3. Available from <http://www.abh-cz.com.dz/Eau/barrages/brgouedfodda.htm>.
4. Benamara L., Ouhba K., Hamwi A., *Environnement & technique journal*, 330 (2013) 40-44.
5. Mezencevova A., Yeboah N.N., Burns S.E., Kahn L.F., Kurtis K.E., *J. Envir. Manag.*, 113 (2012) 128-136.
6. Antegroup, rapport n°67554/C, (2012) 12 septembre.
7. Bouhamou N., Mebrouki A., *20ème Congrès Français de Mécanique Besançon*, 29 Aug-2 Sept (2011) 29.
8. Levacher D., Sanchez M., Duan Z., Le guern C., *Xèmes Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil*. Sophia Antipolis, (2008) 14-16.
9. Bourabah M.A., Taïbi S., Abou-Bekr N., *Eur. J. Envir. Civil Eng.* 15/2, (2011) 179-196.
10. Mekerta B., Semcha A., Benaïssa A., Kazi Aouel Benslafa F., *SBEIDCO – 1st Int. Conf. Sustainable Built Envir. Infrastruct. Devel. Countries*, ENSET Oran (Algeria), (2009) 12 au 14 October.
11. Xu Y., Yan C., Xu B., Ruan X., Wei Z., *Ceramics International*. Vol 40, (2014) July 8833-8840.
12. Labiod Z., Remini B., Belaredj M., *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, 03 (2004) 7-12.
13. Hammadi L., Ponton A., Belhadri M., *Energy Procedia*, 6 (2011) 302-309.
14. Zimmer A., Bergmann C.P., *Waste Management*, 27 (2007) 59-68.