



Incorporation de la boue, d'épuration des eaux usées, traitée par lavage par eau dans le ciment (Incorporation of wastewater sludge treated by water washout in cement)

S. Naamane¹, Z. Rais¹, M. Chaouch²

¹ *Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux, de Modélisation et d'Environnement, Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, Département de Chimie, Fès, Maroc.*

² *Laboratoire de Chimie Physique, Protection de l'Environnement et Modélisation, Faculté des sciences Dhar El Mehraz, Département de Chimie, Fès, Maroc.*

Received 10 September, Revised 10 October 2014, Accepted 22 October 2014

*Corresponding Author. E-mail: saranaamane@hotmail.com

Résumé

Le traitement des eaux usées par voie biologique génère un sous produit sous forme de boues. Dans cette investigation, nous nous intéressons à l'incorporation de ces boues traitées par lavage dans la fabrication du ciment et à leur effet sur les propriétés physico-chimiques du ciment. La caractérisation des matériaux utilisés a été assurée par la Diffraction des Rayons X, la Microscopie Électronique à Balayage, la Spectroscopie d'émission atomique Plasma à Couplage Inductif et par la Fluorescence aux rayons X. Les résultats montrent que les eaux de relargage de la boue sont neutres et portent une charge minérale et organique; la boue est très chargée en minéraux et oxydes de métaux de tailles différentes. L'addition de la boue lavée dans le ciment accroît le taux de la chaux libre, la surface spécifique Blaine et la masse volumique entre le ciment témoin et les ciments à boue et améliore la finesse des ciments, ce qui augmente le rendement des broyeurs.

Mots-clés : Boue d'épuration des eaux usées ; Ciment ; Caractérisation physico-chimique.

Abstract

The biological treatment of wastewater produces increasing quantities of a waste in the form of sludge. The aim of this research is to include this sludge, after being washed by water, in cement manufacturing, and to study its effect on Physico-chemical properties of cement. The materials used in this paper are characterized by X-ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy, Inductivity Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer and X-ray Fluorescence. Results show that water resulted from washing the sludge is neutral and contains a mineral and organic load; the washed sludge is composed of a significant amount of oxides and metals. The introduction of washed sludge in cement increases the rate of free lime, Blaine specific surface area and density between the control cement and cement blended with sludge, improving the performance of mills and ameliorating the fineness of cement.

Keywords: Wastewater sludge, Cement, Physico-chemical characterization.

Introduction

Le traitement des eaux usées par la méthode biologique de boue activée génère des quantités importantes d'un sous produit qui est la boue. Cette dernière, peut avoir des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine [1, 2]. Les principales filières de gestion de ce déchet sont la mise en décharge, l'élimination dans la mer et la valorisation en agriculture ou épandage [1, 3, 4]. Cependant, ces filières apparaissent de plus en plus comme des filières de gestion non satisfaisantes, compte-tenu de la concentration des boues en polluants et en métaux lourds [5, 6].

De ce fait, d'autres filières de gestion de ces boues ont été recherchées. Parmi ces filières, nous trouvons la valorisation dans le ciment, qui permet l'immobilisation des éléments polluants présents dans la boue [5, 7, 8, 9]. Toutefois, les résultats obtenus, après incorporation de la boue, à l'état brut, dans le ciment, n'étaient pas

encourageant pour le temps de prise de ciment et les résistances à la flexion et à la compression [10]. Ceci, nous a incités de prétraiter la boue avant son utilisation.

Dans cette investigation, nous nous intéressons à la caractérisation de la boue d'épuration des eaux usées, traitée par lavage, et à son incorporation comme substituant d'une fraction de clinker dans la fabrication du ciment Portland.

2. Matériaux et méthodes

2.1. Boue d'épuration des eaux usées

Les échantillons de boue ont été prélevés d'une station d'épuration, traitant les eaux usées par la méthode biologique de boue activée, selon les conditions normalisées par AFNOR [11]. À l'échelle du laboratoire, la boue a été traitée par agitation de 100 g de boues dans un litre d'eau de robinet pendant 1 heure, suivie d'une filtration sur Buchner. Le filtrat, constituant l'eau de relargage de la boue (ERB), est analysé par mesure des paramètres physico-chimiques : pH, conductivité, turbidité, matières en suspensions (MES), azote (Nt), phosphate (Pt), anions tensio-actifs (ATA), demande chimique en oxygène (DCO) et par la Spectroscopie d'émission atomique Plasma à Couplage Inductif. Le solide restant dans le Buchner, appelé boue lavée (BL), a été séché pendant 48 heures à 40 °C. Les boues ont été caractérisées par la Spectroscopie d'émission atomique Plasma à Couplage Inductif, la Diffraction des Rayons X et la Microscopie Électronique à Balayage (MEB).

2.2. Clinker, calcaire et gypse

Le clinker est prélevé de la cimenterie LAFARGE Ciment à la sortie du refroidisseur. Le calcaire et le gypse sont approvisionnés de la carrière de la même cimenterie. Ces matériaux sont caractérisés par la Fluorescence aux rayons X.

2.3. Ciments à boue lavée

Dans cette étude, le clinker a été substitué partiellement à différents pourcentages (5, 10 et 20 %) dans le ciment CPJ₄₅, par la boue lavée, afin d'élaborer une nouvelle famille de ciment à boue appelé CPJ_{B.L.}.

Les ciments à boue sont analysés par fluorescence X et par détermination de la chaux libre, de la masse volumique, de la finesse et de la Surface Spécifique Blaine (SSB).

3. Résultats et discussion

3.1. Caractérisation des matériaux

3.1.1. Boue lavée

La caractérisation physico-chimique des eaux de relargage des boues montrent que ces eaux sont neutres, portent une charge minérale et organique faibles. En effet, la boue relargue presque la moitié du Ca et Mg mais ne relargue pas les autres métaux présents dans la boue d'une manière remarquable (tableaux 1 et 2).

Les résultats de la caractérisation de la boue lavée révèlent la présence d'une charge importante en Ca, Fe, Mg et Na; deux minéraux : la Calcite et le Quartz, ainsi qu'une quantité importante d'oxydes de tailles différentes (tableau 3, figure 1 et image 1).

Tableau 1 : Caractérisation physicochimique des ERB

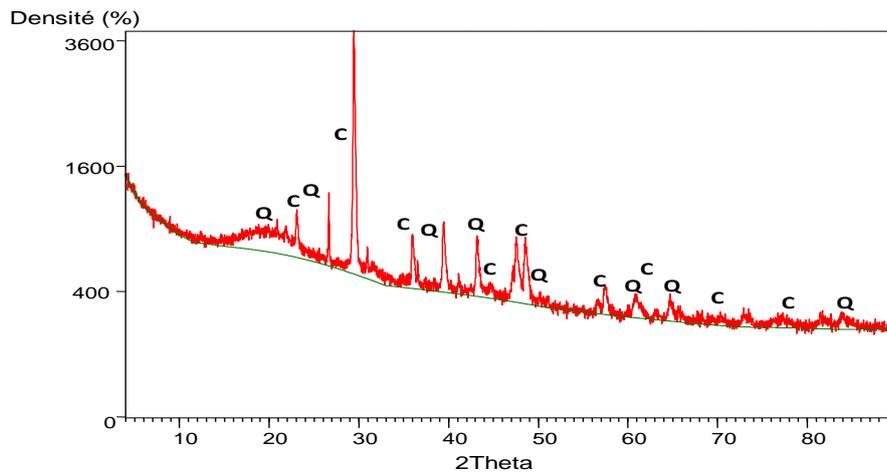
Paramètre	pH	Conductivité (µs)		Turbidité NTU	
Valeur	6,85	327		22,4	
Paramètre	ATA	DCO	Nt	Pt	MES
Valeur (mg/L)	5,51	524	15,6	2,98	48

Tableau 2 : Composition métallique de l'ERB

Concentration (mg/L)	Ca	Fe	Mg	Mn	Na
ERB	373	3,34	50,09	0,01	37,10

Tableau 3 : Composition métallique de la boue lavée

Concentration (mg/L)	Ca	Fe	Mg	Mn	Na
Boue lavée	980	62,98	27,87	0,83	13,6



C : Calcite; Q : Quartz.

Figure 1 : Spectre de diffraction des rayons X de la boue lavée

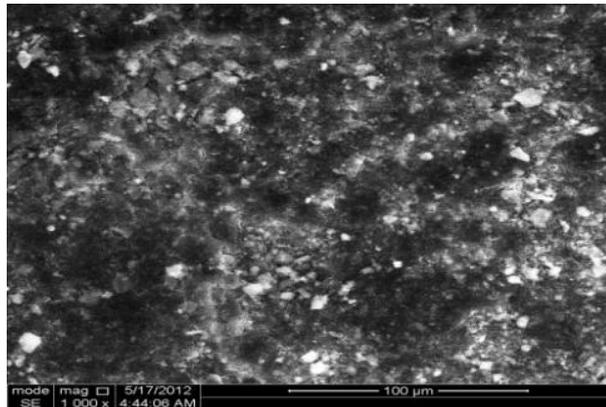


Image 1 : Vue au MEB de la boue lavée

3.1.2. Clinker, calcaire et gypse

Les principaux éléments du clinker, du calcaire et du gypse, déterminés par la Spectrométrie à Fluorescence aux rayons X, sont présentés en % pondéral dans le tableau 4.

Tableau 4 : Composition chimique du clinker, du calcaire et du gypse

Teneur (%)	Clinker utilisé	Calcaire	Gypse
SiO ₂	21.16	7.44	7.55
Al ₂ O ₃	5.18	0.83	3.09
Fe ₂ O ₃	3.43	0.75	1.31
CaO	66.70	48.73	23.49
MgO	1.19	0.66	2.70
K ₂ O	0.52	0.02	0.76
SO ₃	0.69	0.00	44.53
Na ₂ O	0.13	0.008	1.05
P ₂ O ₅	0.05	0.013	0.03
TiO ₂	0.27	0.051	0.08
Cr ₂ O ₃	0.008	0.015	0.004
MnO	0.03	0.02	0.02
PAF*	0.46	39.73	16.42

*PAF : Perte au feu

Le tableau 5 illustre la composition minéralogique du clinker déterminée d'après la formule de BOGUE:

Tableau 5 : Composition minéralogique du clinker

% formation Minéraux	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Clinker utilisé	61.24	14.49	7.93	10.43
Clinker normalisé	55 – 70 %	10 – 20 %	3 – 15 %	0 – 15 %

Dans la fabrication du ciment, un bon clinker est calculé pour avoir un rapport de saturation en chaux m proche de 1 [12].

$$m = \text{CaO} / (2,8 \text{SiO}_2 + 1,18 \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,65 \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

Pour notre clinker, le coefficient de saturation en chaux vaut 0,986 (proche de 1). Donc presque toute la chaux est consommée et par conséquent nous avons obtenu un ciment qui ne présente aucun risque d'expansion. Pareillement la Composition minéralogique du clinker reste dans la norme. Le calcaire est constitué principalement de CaCO₃ (pourcentage élevé de CaO). La teneur du gypse en SO₃ est convenable pour réduire le temps de prise des ciments et reste dans les limites exigées par LAFARGE ciment (SO₃> 38 %). Donc notre clinker, calcaire et gypse sont de bonne qualité.

3.2. Caractérisation des ciments à boue

3.2.1. Analyse par fluorescence X

Le tableau 6 enregistre que l'introduction de la boue lavée dans le ciment augmente la teneur des oxydes de sodium, de magnésium, de phosphore, d'aluminium et de soufre. Généralement, les teneurs de ces éléments restent dans les limites et ne présentent aucun effet défavorable pour les ciments étudiés [13, 14, 15]. Par contre, la teneur des oxydes de la chaux, de la silice et de l'alumine a diminué. Cependant, pour obtenir de meilleures propriétés mécaniques, il est nécessaire d'avoir un rapport CaO/SiO₂>> 1 [16]. L'introduction de la boue lavée dans le ciment a négativement influencé ce rapport (plus le taux de boue augmente plus le rapport CaO/SiO₂ diminue), ce qui va, par conséquence, influencer les résistances mécaniques des ciments (figure 2).

Tableau 6 : Caractéristiques chimiques de la famille de ciment CPJ_{B.L}.

Type de ciment Eléments (%)	CPJ _{B.L} CK			
	0 %	5 %	10 %	20 %
SiO ₂	16.87	16.67	16.41	16.23
Al ₂ O ₃	3.70	3.67	3.63	3.59
Fe ₂ O ₃	2.70	2.72	2.77	2.89
CaO	61.26	59.60	58.49	55.43
MgO	0.95	1.02	1.07	1.13
K ₂ O	0.36	0.39	0.41	0.43
SO ₃	2.839	2.889	2.887	3.002
Na ₂ O	0.080	0.289	0.557	0.898
P ₂ O ₅	0.043	0.159	0.264	0.581
TiO ₂	0.21	0.21	0.21	0.21
Cr ₂ O ₃	0.011	0.015	0.014	0.020
MnO	0.04	0.04	0.04	0.04

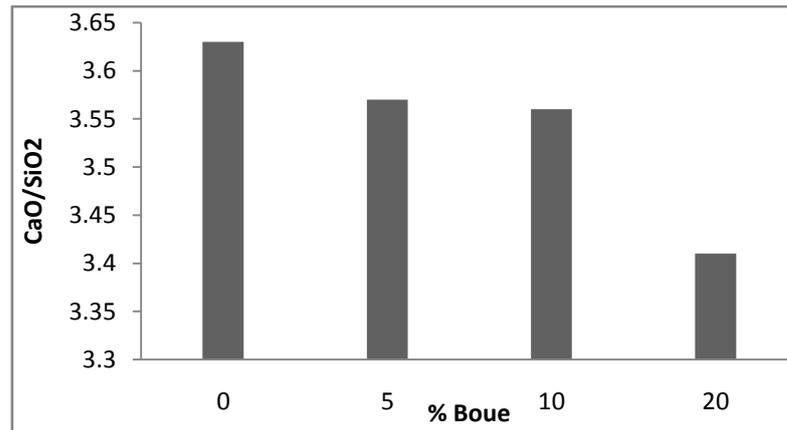


Figure 2: Rapport CaO/SiO₂ de la famille de ciment CPJ_{B.L.}

3.2.2. Analyse de la chaux libre

L'étude de l'évolution du taux de la chaux libre en fonction du pourcentage d'ajout de la boue lavée dénote une augmentation arrivant jusqu'à 72 % dans les ciments à 10 et 20 % de boue par rapport au ciment témoin (figure 3).

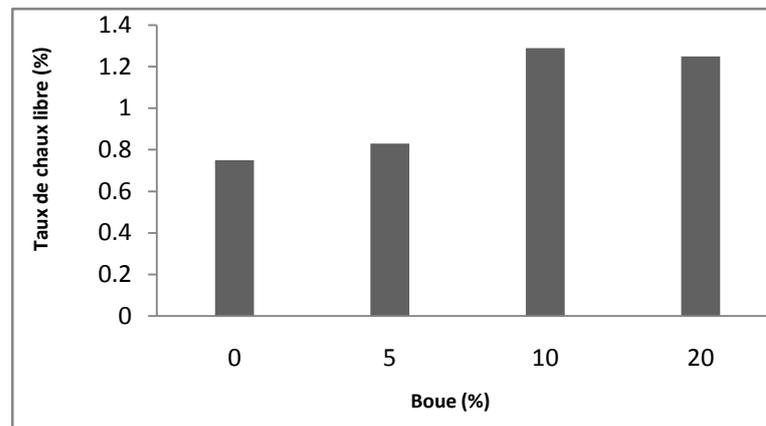


Figure 3 : Taux de chaux libre dans la famille de ciment CPJ_{B.L.}

3.2.3. Analyse granulométrique

Les figures 4 et 5 montrent que les refus des tamis 63 μm et 32 μm ont chuté, respectivement, de 96,86 % et de 71,56%, entre le ciment témoin et celui à 20 % de boue lavée. Ce qui augmente la finesse du ciment. Une finesse élevée assure un contact plus grand des grains de ciment, ce qui permet une forte réactivité et donne des résistances mécaniques élevées à long terme [17].

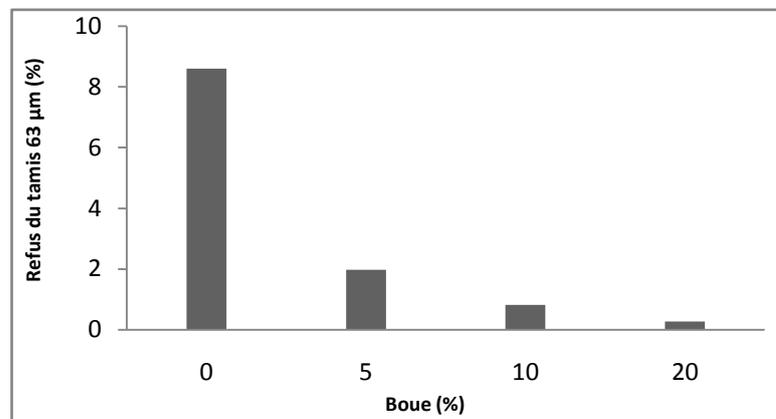


Figure 4 : Refus du tamis 63 μm de la famille de ciment CPJ_{B.L.}

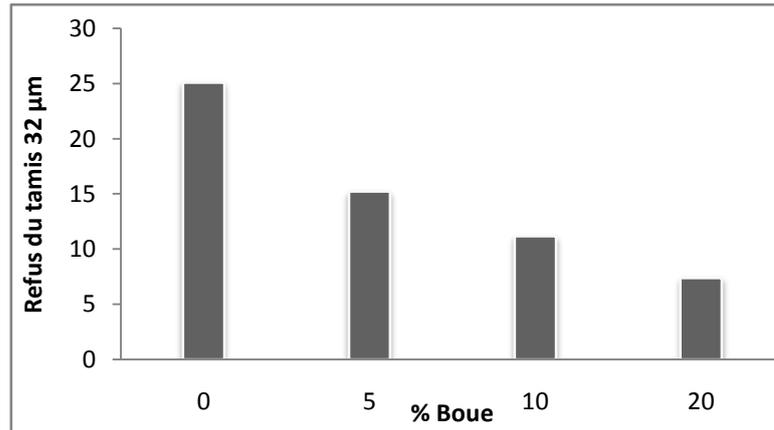


Figure 5 : Refus du tamis 32µm de la famille de ciment CPJ_{B.L.}

Techniquement, l'incorporation de boue dans le ciment a contribué à l'amélioration des rendements des broyeurs (plus le coefficient de boue est grand plus la broyabilité demande moins d'énergie), la diminution du temps de broyage nécessaire pour l'obtention des finesses demandées et l'empêchement ou la diminution de l'agglomération des fines particules dans le broyeur (image 2 et 3):



Images 2 et 3 : Broyeur BB10 après broyage d'un kilogramme de ciment avec 20 % de boue lavée

3.2.4. Masse volumique

La figure 6 révèle que la masse volumique augmente proportionnellement avec le taux de la boue lavée. Cet accroissement a un effet significatif sur le poids spécifique du ciment et justifie l'augmentation de la finesse et du rendement du broyeur.

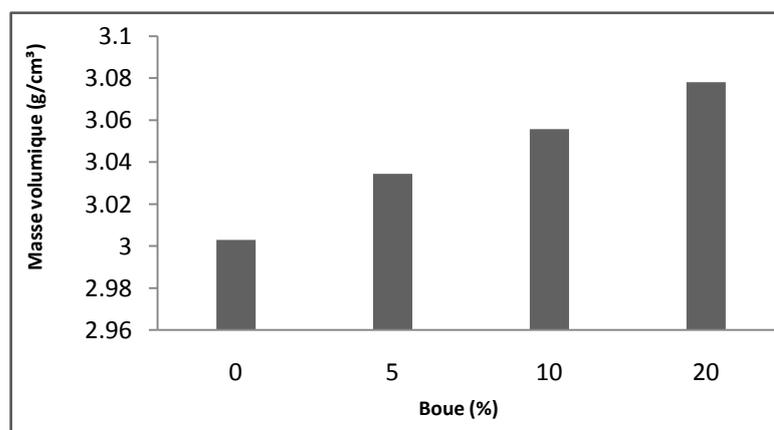


Figure 6 : Masse volumique de la famille de ciment CPJ_{B.L.}

3.2.4. Surface spécifique Blaine

Les résultats de la surface spécifique Blaine (figure 8) signalent une augmentation entre le ciment témoin et les ciments avec ajouts, sauf pour le pourcentage d'addition de boue lavée de 10 %. Cet accroissement

s'explique par l'augmentation de la finesse des grains, en fonction du pourcentage de boue ajoutée, qui rend difficile la pénétration de l'air. Donc, ce résultat confirme celui obtenu lors de l'étude de l'analyse granulométrique.

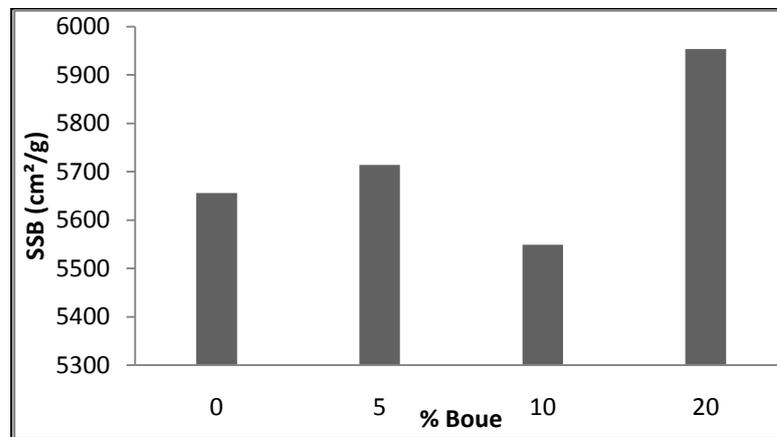


Figure 1 : Surface Spécifique Blaine de la famille de ciment CPJ_{B.L}

Conclusion

Cette investigation portant sur la substitution d'une fraction de clinker par la boue lavée conduit aux conclusions suivantes:

- Les eaux de relargage de la boue sont neutres et portent une charge minérale et organique faible;
- La boue lavée est chargée en Ca, Fe, Mg, Mn, Na, et des oxydes CaCO₃, SiO₂...
- Les ciments à boue lavée connaissent un accroissement du taux de la chaux libre, de la masse volumique et de la surface spécifique Blaine et une amélioration de la finesse des ciments en fonction du pourcentage de la boue lavée incorporé.

References

1. Rogers M., Smith S.R., J. Water Environ. 21 (2007) 34-40.
2. Malerius O., Werther J., J.Chem. Eng. 96 (2003) 157-205.
3. Young S.J., Patrick R., Res. Conserv. Rec. 35 (2002) 191-200.
4. Sánchez-Monedero M.A., Mondini C., Nobili M.D., Leita L., Roig A., Waste Manage. 24 (2004) 325-332.
5. Reijnders L., Resour. Conserv. Recy. 43 (2005) 313-336.
6. Ødegaard H., Paulsrud B., Karlsson I., Water Sci. and Tech. vol. 46, no. 10 (2002) 295-303.
7. Monzo J., Paya J., Borrachero M.V., Girbes I., Waste Manag. 23 (4) (2003) 373-381.
8. Cyr M., Coutand M., Clastres P., Cem. and Concr. Resea. 37 (2007) 1278-1289.
9. Naamane S., Rais Z., Lachquar M., Taleb M., Mater. Environ. Sci. 5 (S1) (2014) 2212-2216.
10. Naamane S., Rais Z., Taleb M., Matér. & Tech. 101 (2014) 703.
11. AFNOR. NF EN 1085 (2007) 16-600.
12. Dreux G., Festa J., 8^{ème} édition, Eyrolles (2002) 32-38.
13. Benard P., Thèse de doctorat, Université de Bourgogne (2005).
14. Ho T. C., Lee H. T., Shiao C. C., Hopper J. R., Bostick W. D., Waste Manage. 15 (1995) 325.
15. Blomble J.P., Lyon : INSA. (1985) 123.
16. Léa F.M., Chem. Pub. Company (1971) 128.
17. Naceri A., Messaoudene I., World Jour. of Engin. 3 (2006) 45-51.

(2014) ; <http://www.jmaterenvironsci.com>