

Effet de traitement thermique sur le comportement physico-chimique et rhéologique des boues activées de station d'épuration

L. Hammadi¹ⁱ, A. Ponton² et M. Belhadri¹

¹ Laboratoire de Rhéologie, Transport et Traitement des Fluides Complexes, 'LRTTFC', USTOMB, Oran, Algérie

² Laboratoire de Matière et Systèmes Complexes (MSC), Université Paris 7, France

(reçu le 30 Juin 2008 – accepté le 30 Septembre 2008)

Résumé - *Le traitement des eaux, qu'il s'agisse de production d'eau potable où d'épuration d'eau usée d'origine urbaine ou industrielle, conduit toujours à la formation de boues que l'on sépare et de l'eau traitée. Ces boues se présentent à la sortie de la station d'épuration comme un liquide à forte teneur en eau. La teneur élevée en substances polluantes interdit le plus souvent leur rejet dans le milieu naturel sans précaution. Pour évaluer l'aptitude de ces boues au traitement, déterminer quels traitements leur faire subir, estimer les risques de pollution et enfin connaître leurs possibilités de réutilisation (agricole, énergétique ou autre). Dans ce cadre qu'il est défini l'objet de cette étude. L'étude consiste à étudier l'effet de traitement thermique sur le comportement physico-chimique et rhéologique des boues activées des stations d'épuration. Le traitement thermique des boues activées montre que l'augmentation de la température provoque une augmentation du pH et une diminution de la demande chimique en oxygène (DCO), et du rapport entre matières volatiles en suspension et matière en suspension (MVS/MES). Concernant l'aspect rhéologique pour les boues étudiées, le seuil de contrainte diminue avec l'augmentation de la température dans le même temps la viscosité apparente des boues diminue suivant une loi de puissance avec l'augmentation de la température.*

Abstract - *The water treatment, which it about production of drinking water where of waste water purification of urban or industrial origin, always leads to the sludge formation which one separates and of treated water. This sludge arises to the exit of the purification plant like a liquid with strong water content. High percentage of polluting substance generally prohibited their rejection in the natural environment without precaution. If evaluate the aptitude of these sludge for the treatment, to determine which treatments to make them undergo, estimate the position risks and finally know their possibilities of re-use (agricultural, energy or different). Within this framework that being defined the object of this study. The study consists in studying the effect of heat treatment on the physicochemical and rheological behaviour of the activated sludge of purification steps. Heat treatment of the activated sludge watch which the increase in the temperature causes an increase in the pH and a reduction in the chemical demand for oxygen (DCO), and relationship between volatile matters in suspension and suspended matter (MVS/MES). Concert the aspect rheological for studied sludge, the threshold of constrained decreases with the increase in the temperature in same time the viscosity apparent of sludge decreases according to a law of power with the increase in the temperature.*

Mots clés: Boues activées - Traitement thermique - Rhéologie - DCO - pH -MES – MVS.

ⁱ hammadi7280@yahoo.fr _ belhadri@univ-usto.dz _ alain.ponton@univ-paris-diderot.fr

1. INTRODUCTION

Les eaux usées issues de diverses activités urbaines ne peuvent être rejetées telles quelles dans l'environnement, car elles contiennent divers polluants organiques et minéraux. Elles doivent donc subir, avant leur rejet dans le milieu naturel, un traitement d'épuration qui conduit la production des boues résiduelles.

La production des boues, augmente bien sûr avec le développement des stations d'épuration. Les boues sont composées d'éléments recueillis à différents stades d'épurations d'une eau usée: matières minérales en suspension, matière organique non biodégradables et microorganismes, ces dernières résultantes de l'épuration biologique. Il devient donc nécessaire de trouver des traitements plus performant permettant de réduire la production des boues.

Parmi les différents scénarios, le plus intéressant, selon Suh et Roussaux (2002) [1], semble être un couplage entre une digestion anaérobie et une valorisation agricole. Ce couplage serait le procédé le moins agressif vis-à-vis de l'environnement. Il existe différentes techniques physico-chimiques pour le traitement, telle que le lyse cellulaire (Salhi, 2003) [2] et Bougrier (2005) [3] et le traitement par le peroxyde d'hydrogène (Murillo, 2004) [4].

Ces techniques peuvent être basées sur des traitements mécaniques (ultrasons, broyage, haute pression), oxydatifs thermique. L'objectif de cette étude concerne l'effet de traitement thermique sur le comportement physico-chimique et rhéologique d'une boue activée de station d'épuration.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Point de prélèvement

Les boues activées traitées ont été prélevées dans le décanteur secondaire, les mesures ont été effectuées sur des échantillons prélevés en mars 2007, ces échantillons conservés à 4 °C dans une glacière et transportés au laboratoire en 24 h. Ces dernières sont conservées au congélateur à -20 °C afin d'éviter toutes évolutions des caractéristiques des boues.

2.2 Traitement thermique des boues activées

Le traitement thermique des boues a été fait en batch à l'aide d'un bain-marie, adapté avec un bûcher en verre borosilicaté d'un litre de capacité avec un couvercle comportant deux orifices, l'un pour la mesure de la température des boues traitées et l'autre pour le prélèvement des boues traitées. Les boues sont agitées à 300 tr/min et maintenues à la température de consigne, pendant 1 h.

Le traitement thermique est réalisé avec une boue activée de 125 mg/l. Nous avons choisi trois températures pour le traitement thermique: 80, 95 et 105 °C. Le temps de traitement est de 60 minutes à la température désignée, plus le temps nécessaire pour y arriver.

La boue est placée dans le bûcher de traitement au moment où la température de consigne est atteinte dans le bain. A ce moment-là, on prélève le premier échantillon avec une seringue.

Les échantillons sont refroidis après leur prélèvement. On prélève 50 ml de boue traitée toutes les dix minutes et on détermine la DCO, le pH, le rapport MVS/MES.

2.3 Détermination des différentes matières

2.3.1 Détermination des matières en suspension (MES) et des matières volatiles en suspension

Un volume (V_e) d'échantillon liquide est centrifugé 10 minutes à 4000 rem. On récupère le culot qui est versé dans une capsule en porcelaine tarée (P_1). Elle est ensuite placée dans une étuve à 105 °C pendant 24 heures afin d'obtenir les matières en suspension. A sa sortie est refroidie dans un dessiccateur avant de la peser (P_2). Puis elle est mise dans un four pendant 2 heures afin de brûler les matières volatiles en suspension. Après refroidissement, elle est de nouveau pesée (P_3). Les matières en suspension et les matières volatiles en suspension en g/l sont données par:

$$\text{MES} = \frac{P_2 - P_1}{V_e} \quad (1)$$

$$\text{MVS} = \text{MES} + \frac{P_2 - P_1}{V_e} \quad (2)$$

2.4 Demande chimique en oxygène (DCO)

Les mesures de la demande chimique en oxygène (DCO) sont réalisées sur les boues totales et sur le surnageant, selon la méthode normalisée NFT90 101. La matière organique est oxydée, en milieu acide (H_2SO_4) et en présence d'un catalyseur (Ag_2SO_4), par le bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), introduit en excès. Après deux heures de chauffe à 105 °C, la DCO est déterminée par dosage en retour: l'excès de bichromate de potassium est déterminé à l'aide d'une solution de fer ferreux et d'ammonium (sel de Mohr à 0.1 N) par dosage volumétrie, avec la féronie comme indicateur coloré. La mesure de la DCO est destinée à quantifier la pollution d'effluents soluble peu concentrée.

2.5 Effet de la température sur le comportement rhéologique des boues

L'effet de la température sur le comportement rhéologique des boues a été réalisé à l'aide d'un viscosimètre rotatif avec un système de mesure à cylindre coaxial de type Rotovisco RV 12 (HAAK).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Effet de traitement thermique sur le pH des boues activées

Le pH initial des boues, de l'ordre de 7.22 augmente au cours du temps pour tous les traitements thermiques réalisés (Fig. 1). L'augmentation du pH est d'autant plus importante que la température de la boue est élevée et que le taux de solubilisation augmente. Murillo (2004) [4] explique que cette augmentation de pH pourrait en partie due à une volatilisation de composé acide ou de CO_2 dissous. Morgan *et al.* (1990) [6] ont expliqué cette augmentation par la désorption de protéines qui présentent des groupes carboxyles.

3.2 Solubilisation de matière minérale des boues par la chaleur

Ce rapport MVS/MES est d'environ 0.94 pour les boues initiales, ce qui correspond à des boues dont le pourcentage de matières minérales est déjà élevé (Fig. 2). Lors de traitement thermique, le rapport MVS/MES diminue jusqu'à une valeur de 0.28. La comparaison du rapport MVS/MES obtenu, s'il n'avait aucune solubilisation de la

matière minérale avec celui observé, permet d'évaluer le degré de solubilisation de la matière minérale. Le pourcentage de MVS/MES évoluerait donc de 94 % à 28 % si aucune solubilisation de matière minérale n'avait lieu. Le traitement thermique entraîne une légère solubilisation nette de la matière minérale du floc. Cependant, comme le taux de solubilisation de la matière organique est plus élevé que celui de la matière minérale.

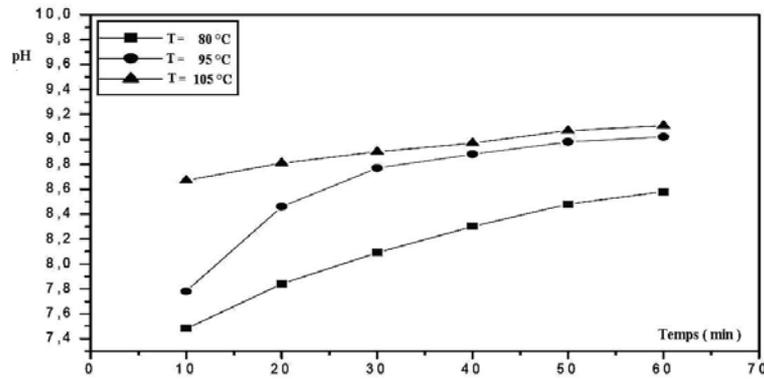


Fig. 1: Variation du pH en fonction de temps de traitement thermique

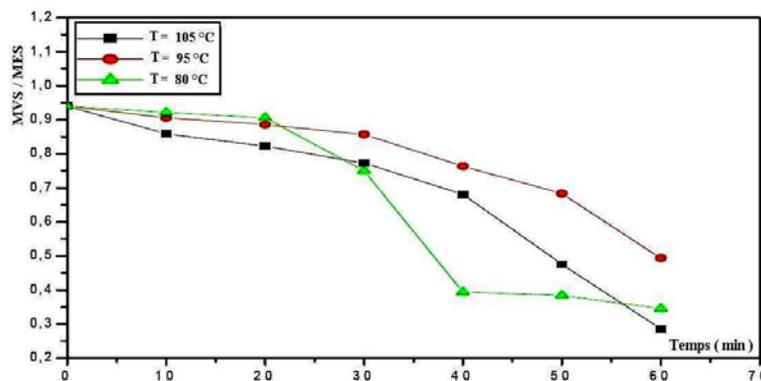


Fig. 2: Rapport MVS/MES en fonction de l'évolution de température

3.3 Effet du traitement thermique sur la biodégradabilité de la DCO

D'après la figure 3, la DCO totale évolue avec le traitement. Ainsi, pour une température de 95 °C, la DCO reste constante après 40 min de traitement. En revanche, pour les autres températures de traitement, les résultats montrent une diminution conséquente de la DCO totale: de l'ordre de 18%. D'après C. Bougrier (2005) [3], cette perte de DCO est liée au fait qu'une partie des boues reste collée aux parois de réacteur thermique donc il est impossible de déterminer la quantité exacte de matière perdue. Le traitement thermique entraîne une solubilisation de la DCO.

3.4 Effet de traitement thermique sur le taux d'abattement de la DCO

Les résultats obtenus montrent que l'efficacité optimale du traitement correspond à une température de 80 °C pour un temps de traitement de 50 min est de 34.17 % et de 59.68 % pour une température égale à 105 °C et 81.17 % pour une température de 95 °C (Fig. 4). Donc l'utilisation d'une température de 95 °C au lieu de 80 °C et 105 °C améliore fortement l'efficacité de la DCO.

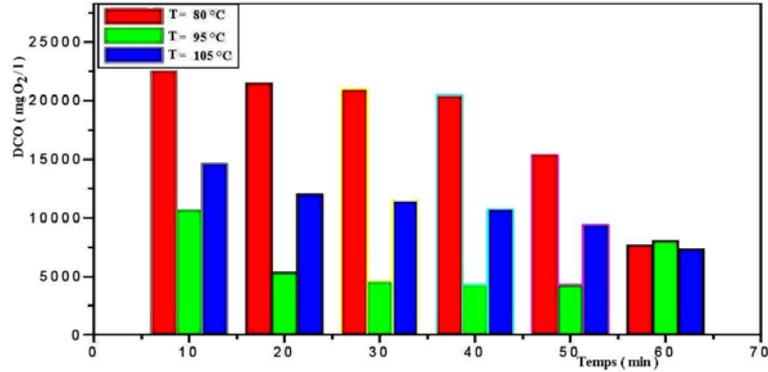


Fig. 3: Evolution de la DCO en fonction du temps et la température de traitement

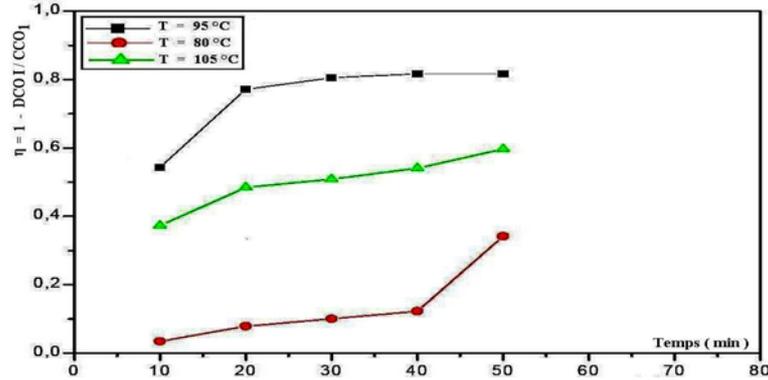


Fig. 4: Effet du traitement thermique sur l'abattement de la DCO

3.5 Effet de la température sur le comportement rhéologique des boues activées

La figure 5 présente les tests rhéologiques effectués sur les boues activées de la station d'épuration de Mascara avec MS de 2.3 g/l. Les boues sont des fluides rhéo fluidifiants ou pseudo plastiques). De plus, les boues présentent un seuil en contrainte, il est nécessaire de dépasser ce dernier avant que les boues ne s'écoulent. Cette valeur appelée seuil d'écoulement ou contrainte critique. A partir de la contrainte et du gradient de vitesse, il est possible de déterminer la

viscosité apparente des boues:
$$\mu_{app} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (3)$$

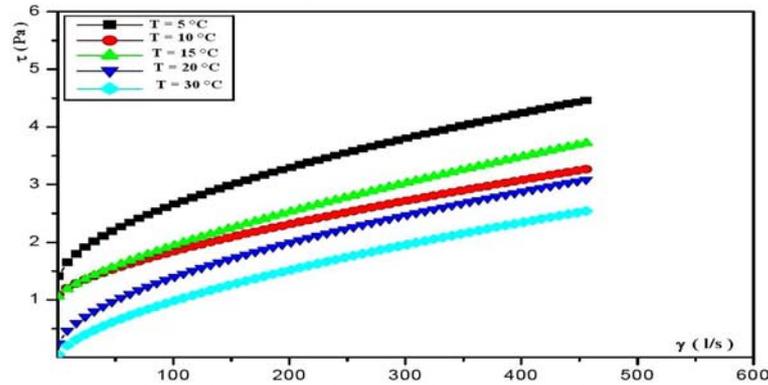


Fig. 5: Courbe d'écoulement des boues activées en fonction de la température

Afin de vérifier cette constatation, il est possible d'utiliser des modèles de rhéologie. D'après la bibliographie (Battistoni, 1997 [7], Lotito *et al.* 1997 [8], Bougrier (2005) [3], N. Txiiier (2003) [9], Dilek Sanin F (2002) [10]) les modèles les plus couramment utilisés pour des boues relativement concentrées sont ceux de Bingham, d'Oswald de Waele et Herschel-Bulkley. Pour cette étude, le modèle de Herschel-Bulkley a été utilisé:

$$\tau = \tau_0 + K \dot{\gamma}^n \quad (4)$$

τ : Contrainte de cisaillement (Pa), τ_0 : Seuil de contrainte (Pa), $\dot{\gamma}$: Gradient de vitesse (1/s), K : Consistance (Pa.sⁿ) et n : Indice d'écoulement.

Le **tableau 1** présente les valeurs déterminées pour les paramètres du modèle de Herschel-Bulkley.

Tableau 1: Paramètres des modèles Herschel-Bulkley

Température (°C)	τ_0	K	n
5	1.31	0.09871	0.5653
10	1.059	0.0328	0.6875
15	1.024	0.03452	0.7119
20	0.16	0.08863	0.5710
30	0.00	0.05416	0.6286

La figure 6 présente les valeurs de la viscosité apparente pour trois gradients de vitesse. Pour les boues étudiées, le seuil de contrainte (τ_0) diminue avec l'augmentation de la température dans le même temps, la viscosité apparente des boues diminue suivant une loi de puissance avec l'augmentation de la température (Fig. 6). Cette diminution de la viscosité apparente des boues peut être liée à la solubilisation des exopolymères. Davis *et al.* (1981) [11] ont expliqué par l'influence d'énergie d'agitation, due aux mouvements browniens qui augmentent avec la température, ce qui entraîne une diminution de la viscosité. Manoliadis et Bishop (1984) [12] ont étudié l'influence de la température sur les boues résiduaires liquides. Les échantillons testés ont été maintenus à 10, 15, 20 et 25°C, ils ont observé que la viscosité apparente des boues varie dans des proportions similaires à la viscosité des fluides newtoniens. En effet, la température en solubilisant la matière, permet de modifier la structure en gel des boues non traitées. Donc l'augmentation de la température facilite le transport des boues dans les conduites des stations de pompage.

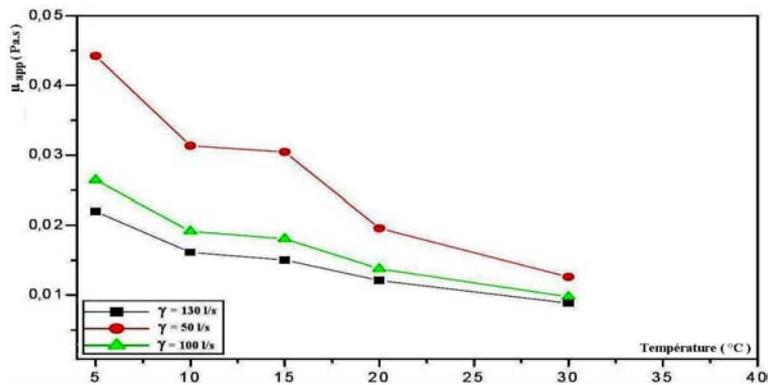


Fig. 6: Variation de la viscosité apparente en fonction de la température

4. ANALYSE DE LA BOUE PAR ANALYSE THERMIQUE GRAVIMETRIQUE (ATG)

La figure 7 montre l'évolution du pourcentage de perte de masse (ATG) en fonction de la température de la boue naturelle, pour une température de 370 °C probablement il s'agit d'un dégagement d'eau, puis à 540 °C c'est la matière organique qui commence à se dégrader. Les carbonates (CaCO_3) se décomposent à partir de 860 °C. La fusion du composé commence dès que la température atteint 1120 °C.

Nous avons remarqué lorsqu'un échantillon est chauffé à 1100 °C dans un four pendant 10 minutes, peut perdre plus de 50 % de sa masse et pour une température de 1200 °C, le produit devient un liquide et se transforme en verre lorsqu'il subit un refroidissement brusque. Le verre obtenu est transparent et très clair dont nous avons tenté de le caractériser, mais le manque d'appareillage nécessaire (laboratoire de verre) nous a empêché de continuer.

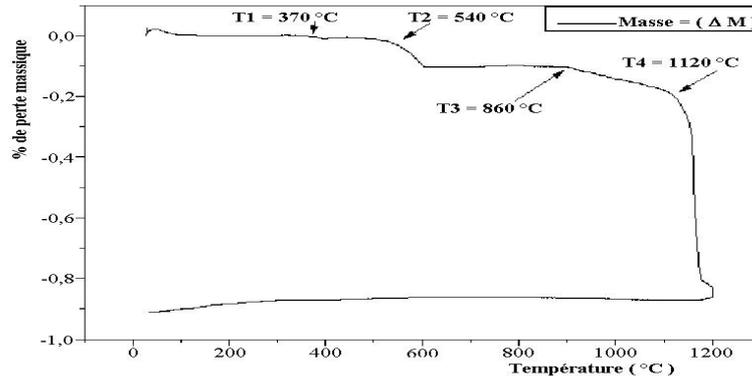


Fig. 7: Variation du pourcentage de perte de masse (ATG) en fonction de la température de la boue naturelle

5. CONCLUSION

Dans le contexte actuel, les voies d'élimination des boues, sont soumises à des contraintes multiples notamment sociales, sanitaires et réglementaires. Une alternative consiste à minimiser la production de boue à la source, soit donc au niveau même de la filière de traitement des eaux usées.

Les résultats obtenus montrent que l'efficacité optimale du traitement correspond à une température de 80 °C pour un temps de traitement de 50 min est de 34.17 % et de 59.68 % pour une température égale à 105 °C et 81.17% pour une température de 95 °C. Donc l'utilisation d'une température de 95 °C au lieu de 80 °C et 105 °C améliore fortement l'efficacité de la DCO.

Lors de traitement thermique, la viscosité apparente des boues considérable diminue jusqu'à environ 0.00883 Pa.s à 130 1/s à une température de 30 °C, de même la filtrabilité des boues est très fortement améliorée, toutefois, ce paramètre n'est pas très important à ce niveau du procédé, mais il peut éventuellement servir d'indicateur de la déstructuration des boues, de plus, le traitement thermique permet une hygiénisation des boues.

On a remarqué que la viscosité apparente varie dans les proportions similaires à la viscosité des fluides newtoniens, en effet la viscosité diminue avec l'augmentation de la température, cette diminution facilite le transport des boues dans les conduites des stations de pompage et ça explique l'avantage de traitement thermique.

REFERENCES

- [1] Y.J. Suh and P. Roussaux, '*An LCA of Alternative Waste Water Sludge Treatment Scenarios*', Resources, Conservation and Recycling, Vol. 35, pp. 191 - 200, 2002.
- [2] M. Salhi, '*Procédés Couplés aux Boues Activées-Ozonisation pour la Réduction dans la Production de Boues: Etude Modélisation et Intégration dans la Filière de Traitement des Eaux*'. Thèse de Doctorat, INSA Toulouse, 2003.
- [3] C. Bougrier, '*Optimisation du Procédé de Méthanisation par Mise en Place d'un Co-Traitement: Application au Gisement de Biogaz Représenté par les Boues d'Épuration des Eaux Usées*', Thèse de doctorat, INSA Toulouse, 2005.
- [4] M. Murillo Murillo, '*Caractérisation de l'Effet d'un Traitement au Peroxyde d'Hydrogène sur une Boue - Application la Réduction de la Production de Boue*', Thèse de doctorat, INSA Toulouse, 2004.
- [5] A. Hamdani et al., '*Caractérisation et Traitement par Coagulation Décantation d'un Effluent de Laiterie*', INRA, EDP Sciences, 2004
- [6] N. Morgan et al. '*A Comparative Study of the Nature of Biopolymers Extracted from Anaerobic and Activated Sludges*'. Water Research, Vol. 24, N°6, pp. 743 - 750, 1990.
- [7] P. Battistoni, '*Pre-treatment, Measurement Execution Procedure and Waste Characteristics in the Rheology of Sewage Sludges and the Digested Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*', Water Science and Technology, Vol. 36, N°11, pp. 33 - 41, 1997.
- [8] V. Lotito et al., '*The Rheology of Sewage Sludge at Different Steps of Treatment*', Water Science and Technology, Vol. 36, N°11, pp. 79 - 85, 1997
- [9] N. Tixier, '*Approche des Propriétés Rhéologiques des Suspensions Biologiques Floculées*', Thèse de l'Université de Limoges, 2003.
- [10] F. Dilek Sanin, '*Effect of Solution Physical Chemistry on the Rheological Properties of Activated Sludge*', Water SA, Vol. 28, N°2, April 2002.
- [11] P.K. Davis and P. Shirvastava, '*Rheological and Pumping Characteristics of Coal-Water Suspensions*'. Journal of Pipelines, Vol. 3, pp. 97 - 107, 1982.
- [12] O. Manoliadis and P.L. Bishop, '*Temperature Effect on Rheology of Sludges*', Journal of Environs Engrg, Vol. 110, pp. 286 - 290, 1984.