

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Direction Générale de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique  
Université M'Hamed Bougara Boumerdès  
Unité de Recherche Matériaux, Procédés et Environnement



# Certificate of Participation

This is to certify that

**AKKOUCHE ALI**

Has successfully participated at the

*21st International Symposium on Materials and Sustainable Development*

09 & 10 November 2015, Boumerdes - Algeria

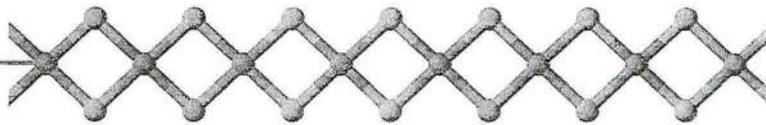
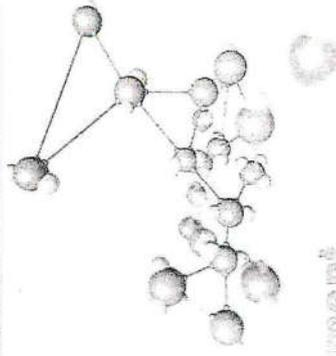
By presenting the following Poster communication entitled:

Valorisation de la Bentonite Algérienne dans les fluides de forage : Etude rhéologique et physico-chimique, Application aux boues de forage à base d'eau de type KCL/Polymères

Co-authors: Abderazak Gueciouer, Djamel Eddine Djemiat, Abdelbaki Benmounah, Abdelhamid Safri

The symposium chair  
Amar IREKTI

The organizing Chair of the symposium  
Abdelhakim DAOU



## Valorisation de la Bentonite Algérienne dans les fluides de forage : Etude rhéologique et physico-chimique, Application aux boues de forage à base d'eau de type KCL/Polymères.

Ali Akkouche<sup>1</sup>, Abderazak Gueciouer<sup>2</sup>, Djamel Eddine Djemiat<sup>3</sup>, Abdelbaki Benmounah<sup>4</sup>, Abdelhamid Safri<sup>5</sup>

1. UR-MPE, FSI, Université M'Hamed Bouguerra, Boumerdes, Algérie, email: materiau.ali@gmail.com
2. UR-MPE, FSI, Université M'Hamed Bouguerra, Boumerdes, Algérie, email: guezak@yahoo.fr
3. Laboratoire LEGHYD, FGC, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Bab Ezzouar, Alger, Algérie, email : dj.djemiat@gmail.com
4. UR-MPE, FSI, Université M'Hamed Bouguerra, Boumerdes, Algérie, email: benmounah2000@yahoo.fr
5. Laboratoire LEGHYD, FGC, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Bab Ezzouar, Alger, Algérie, email : absafri@gmail.com

**Résumé** — Le but de ce présent travail : valorisation de la Bentonite Algérienne (gisement de Maghnia) avec l'introduction de celle-ci dans la fabrication des boues à base d'eau type KCL/Polymères. Nous étudions l'effet de l'ajout des polymères (xanthane, PAC R, PAHPA, CMC LV) ainsi le sel (KCl) sur le comportement rhéologique d'une suspension de bentonite de Maghnia (Algérie). Des tests rhéologiques ont mis en évidence l'influence du polymère et du KCl sur son comportement en écoulement. Les tests rhéologiques réalisés sur la suspension de bentonite ont révélé un comportement de type Herschel-Bulkley. Ainsi, il a été montré que le comportement rhéologique de la solution de polymères domine le comportement des mélanges argile-polymère. L'ajout de KCl provoque une augmentation de la viscosité et de la contrainte seuil expliquée par l'agrégation des particules argileuses due à la compression de la double couche électrique.

**Mot clés:** Bentonite, boues, Polymères, Rhéologie, viscosité.

### I. Introduction

En effet, l'addition de polymères aux fluides de forage provoque une modification importante des propriétés rhéologiques. En général, les lois de comportement de ces matériaux s'avèrent complexes en raison, notamment, de leur caractère thixotrope, rhéofluidifiant à seuil et de leur rigidité qui leur confère un comportement viscoélastique [1]

La bonne connaissance des propriétés rhéologiques du fluide, ainsi que la compréhension des interactions de nature physicochimique au sein de ces systèmes colloïdaux chargés sont des éléments précieux pour adapter la composition du fluide aux conditions de forage [2]. La littérature actuelle est très riche de contributions traitant, d'une part,

les propriétés rhéologiques et colloïdales des suspensions d'argile (sans et avec additif) et, d'autre part, la nature des interactions entre leurs composantes. Néanmoins, la relation entre les propriétés rhéologiques et la micro-structure de ces suspensions n'a pas été bien établie, notamment pour les mélanges "argile-additif anionique" utilisés souvent dans la formulation des fluides de forage [3]. L'objectif principal de ce travail est de valoriser la Bentonite Algérienne (Gisement de Maghnia) et d'aboutir une caractérisation des propriétés rhéologiques de complexes Bentonite-additif, ainsi formuler une boue KCL-Polymère en utilisant notre Bentonite comme l'un de ses constituants.

### II. Matériel et Méthodes

Cette étude a pour objectif est de formuler une boue de forage à base d'eau (WBM) l'aide de la bentonite Algérienne. Pour cette raison une gamme des polymères a été utilisée afin de comprendre l'effet de ces polymères sur la

Suspension bentonitiques. L'étude du comportement rhéologique a été effectuée à l'aide d'un viscosimètre VT550. Les Compositions chimique et Minéralogique de la bentonite sont représentées dans les tableaux 1, 2 respectivement.

Tableau 1 : Composition chimique de la bentonite.

Oxyde	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	MnO	PAF /1100°C
%	46.1	18.0	1.62	1.19	0.65	0.87	-	0.16	28

Tableau 2 : Composition Minéralogique de la bentonite.

Echantillon	Minéraux Argileux		Minéraux non Argileux			
	Illite	Mont	Calcite	Dolomite	Feldspath	Quartz
Teneur %	5	95	4	-	tr	13

Un test de conformité a été effectué selon la norme API API 13A SEC 6 représenté dans le tableau 3.

Tableau 3 : Test de conformité – API 13A SEC 6 [4]

Paramètres	Exigences de la norme API	Valeurs retrouvées
Teneur en humidité	10% maximum	9
Lecture à 600 tr/mn	22 min.	26
Y <sub>v</sub> (lb. /100ft <sup>2</sup> )	3 × V <sub>p</sub> max.	V <sub>p</sub> = 12 C <sub>p</sub> , Y <sub>v</sub> = 25
Filtrat (ml)	15 ml max.	10
pH	9.5 max.	9

### III. Résultats et Discussions

#### III.1 L'effet des polymères sur la Rhéologie des suspensions bentonitiques

##### III.1.1 L'effet de Xanthan (XCD) sur la suspension bentonitique :

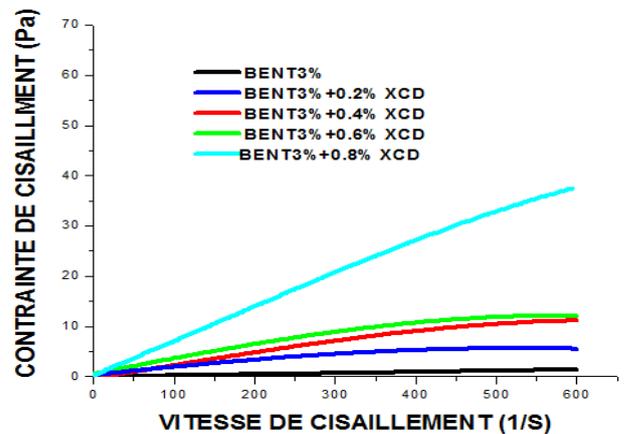


Fig. 1 Rhéogramme d'une suspension bentonitique (3%) à différents concentrations de XCD

Figures 1 et 2 montrent les courbes d'écoulement du système eau-bentonite-xanthane. On constate une augmentation de la

viscosité apparente du mélange par rapport à la bentonite de référence ainsi qu'aux solutions aqueuses de xanthan.

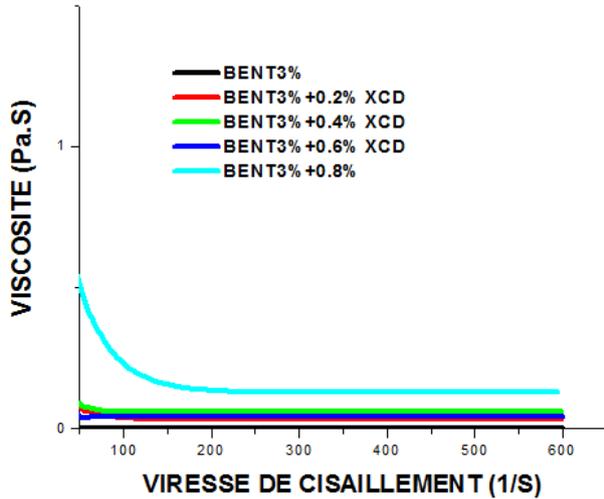


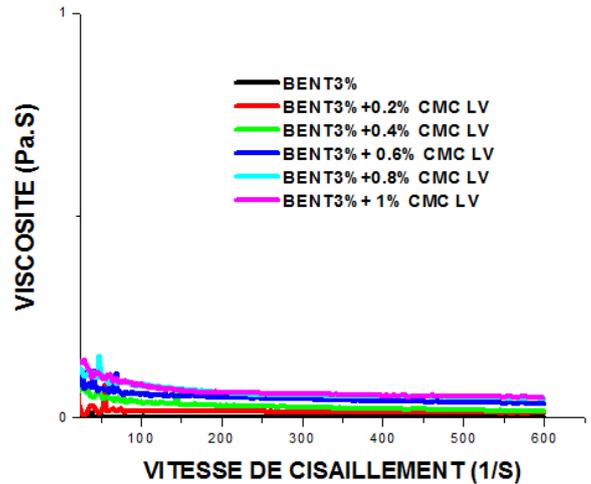
Fig.2 : Viscosité d'une suspension bentonitique (03%) en fonction du gradient de Cisaillement à différents taux de XCD

On remarque aussi que la contrainte seuil des différents mélanges augmente avec la concentration de xanthane, à cause de sa nature chimique et structurale. Le xanthane une double hélice, il est semi-flexible et non complètement rigide. Il est établi dans la littérature que lorsqu'une macromolécule est adsorbée sur une surface colloïdale, celle-ci permet de relier plusieurs particules. L'adsorption augmente la charge sur la surface de la particule, ce qui donne un système plus dispersé. Ceci entraîne l'augmentation du potentiel zêta et l'amplification des forces de répulsion entre les particules argileuses. C'est la nature structurale du polymère et son adsorption sur les particules argileuse qui sont à l'origine du comportement rhéologique des mélanges [6]; ainsi, le mécanisme d'interactions argile-polymère se résume dans les forces de van der Waals et les liaisons Hydrogène [7]

### III.1.2 L'effet de la Carboxyméthylcellulose (CMC LV) sur la suspension bentonitique :

Nous avons représenté sur les figures 3 et 4. Les courbes d'écoulement de la suspension de bentonite de référence (3%) et la solution de CMC à différentes concentrations (entre 0,2% et 01% de CMC).

Fig.3 : Rhéogramme d'une suspension bentonitique (3%) à



différents concentrations de CMC LV.

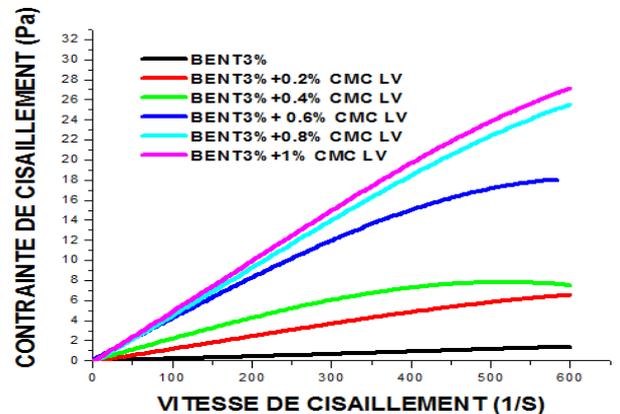


Fig.4 : Viscosité d'une suspension bentonitique (03%) en fonction du gradient de Cisaillement à différents taux de CMC LV.

On remarque une augmentation de la viscosité en fonction de la concentration de polymère. Le comportement rhéologique de la solution de CMC peut être décrit d'une manière satisfaisante par le modèle de Herschel-Bulkley.

L'effet de l'ajout de CMC sur les propriétés rhéologiques de la suspension de bentonite (3%), On observe une augmentation de la viscosité apparente en fonction de la concentration de CMC. A cisaillement égal, et pour la même concentration de polymère, la viscosité apparente du mélange bentonite-CMC reste toujours supérieure à la viscosité de la solution de polymère. On remarque également la

disparition de la contrainte seuil sur tous les mélanges bentonite-CMC, à cause de la flexibilité de CMC.

Ce résultat est en parfait accord avec des résultats établis dans la littérature en utilisant une bentonite de laboratoire.

A noter que ces résultats obtenus sur le système "eau-bentonite-CMC, à savoir : la disparition de la contrainte seuil, l'augmentation de la viscosité et la diminution de l'indice de l'écoulement, renforcent l'hypothèse rapporté dans la littérature sur le fait que c'est le comportement du polymère anionique qui domine dans un tel mélange [7].

### III.1.3 L'effet de la polyacrylamide partiellement hydrolysé (PHPA) sur la suspension bentonitique :

L'emploi le polyacrylamide partiellement hydrolysé (PHPA) comme additif fonctionnel, pour l'encapsulation des déblais et la stabilisation des argiles. Le PHPA joue aussi le rôle de viscosifiant, réducteur de friction et floculant lorsque il apporte une réduction du filtrat. Le PHPA agit avec des concentrations minimales de bentonite pour lier les particules ensemble et pour améliorer la rhéologie sans augmentation de la charge des solides colloïdaux ce qui explique l'augmentation de la rhéologie comme montre les figures 5 et 6.

Des concentrations très élevées, le PHPA est utilisé pour enrober les argiles, améliorant la

capacité de charge des déblais et le pouvoir lubrifiant de la boue.

Fig.5 : Rhéogramme d'une suspension bentonitique (3%) à différents concentrations de PHPA.

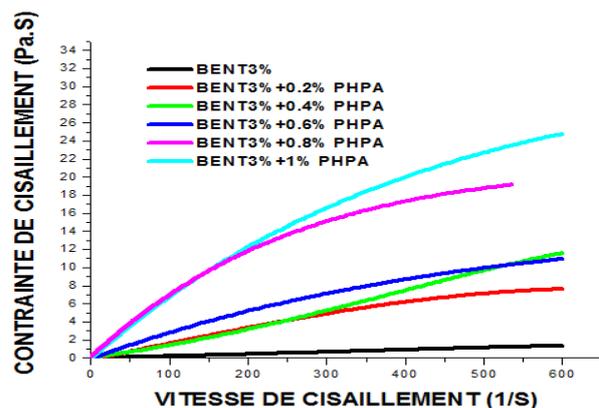
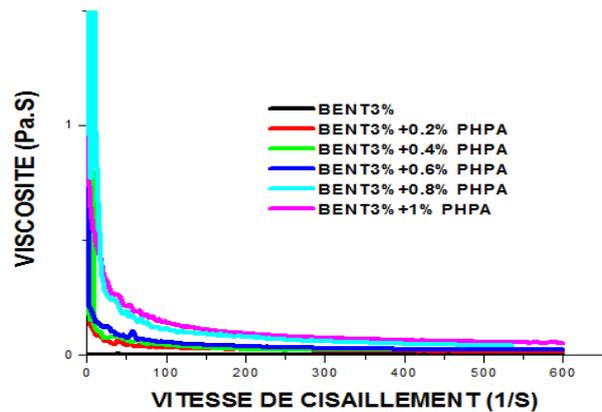


Fig.6 : Viscosité d'une suspension bentonitique (03%) en fonction du gradient de Cisaillement à différents taux de PHPA.

### III.2 L'effet de KCL sur la suspension bentonitique

Nous présentons sur les figures 7 et 8 l'effet de KCl sur la suspension de bentonite de référence.

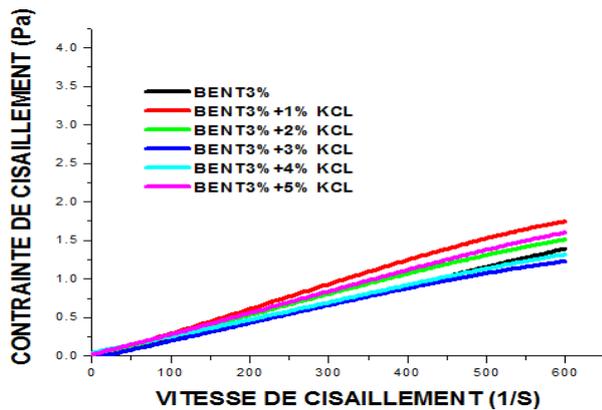
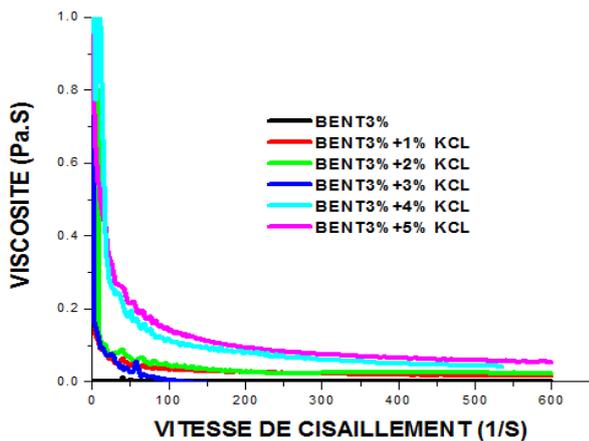


Fig. 7 : Rhéogramme d'une suspension bentonitique (3%) à différents concentrations de KCL.

Fig.8 : Viscosité d'une suspension bentonitique (03%) en



fonction du gradient de Cisaillement à différents taux de KCL

La figure 7 montre que la présence de KCl provoque une augmentation de la viscosité et de la contrainte seuil du mélange jusqu'à une concentration critique de 3% de KCl. A partir de cette concentration, le comportement devient quasi-stable. L'emploi du Kcl comme additif fonctionnel, pour l'inhibition et la stabilisation des argiles. La bentonite une fois dispersée dans l'eau ; les colloïdes ont des charges négatives sur leurs faces dues à leur substitution isomorphique. Les charges négatives en excès sont compensées par des cations tels que le  $K^+$ . Lorsque les particules de bentonite sont en

suspension dans l'eau l'hydratation des cations compensateurs présents sur les surfaces des feuillets provoquent une diminution de l'attraction électrostatique ce qui explique la diminution de la viscosité comme montre les figures 7 et 8.

L'ajout de KCl provoque une augmentation de la viscosité et de la contrainte seuil expliquée par l'agrégation des particules argileuses due à la compression de la double couche électrique.

### III.3 Etude des caractéristiques physico-chimiques et rhéologiques des fluides de forage

Dans cette partie on va formuler une boue à base d'eau type Polymère-KCL Mud avec l'introduction de la bentonite Algérienne (nom commercial : BENTAL) dans la fabrication comme un viscosifiant et réducteur de filtrat. La composition pondérale d'un fluide de forage Kcl/Polymères (Composition basée sur une densité 1.20 sg) telle que :

Eau 937 ml/l, Caustic soda : 0.5 g/l , Soda Ash : 0.5 g/l , Bentonite : 30 g/l , XCD : 2 g/l , CMC Lv : 5 g/l , PHPA : 06 g/l , Kcl : 50 g/l et Barite : 280 g/l. Après la formulation on a fait une rhéologie avec FAN 35A selon les normes API, et physico-chimiques, On a obtenu les résultats suivants :

#### Résultats rhéologiques

Viscosité Apparente : AV=21 cps

Viscosité Plastique : PV= 12 cps

Yield Value :  $Y_v=18 \text{ lb}/100\text{ft}^2$

Gels  $10''/10'$  : 15/20

#### Résultats physico-chimiques

Funnel Viscosité = 55 Sec/qt API

PH= 10

MBT= 20 g/l

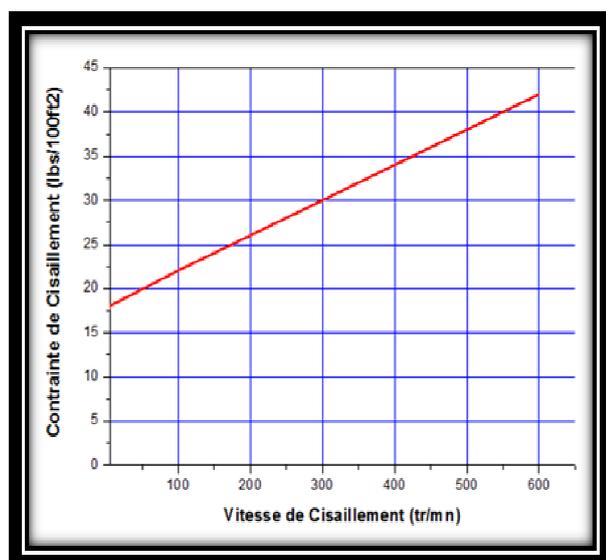
$P_m= 1.2 \text{ cc}$ ,  $P_f= 0.2 \text{ cc}$ ,  $M_f= 0.8 \text{ cc}$

KCL= 5%, Solides= 15%,

Sable > 0.5% en Vol,

Filtrat= 5cc/ 30mn,  $d=1.20 \text{ sg}$

Fig.9 : Courbe rhéologique du fluide de forage formulé



La boue de forage bentonitique avec KCL-polymères a présenté les caractéristiques données dans le tableau ci-dessus, à partir duquel on peut remarquer ; Pour les caractéristiques rhéologiques, le fluide formulé suit le modèle Banghamien (Norme API) dans son écoulement avec une contrainte seuil  $Y_p = 18 \text{ lb}/100\text{ft}^2$  donc ce fluide peut être conseillé pour le forage de 16'' si le programme de forage valide les autres caractéristiques. L'utilisation du PHPA en même temps que KCl en tant que polymère qui agit par encapsulation d'argile et réduire le filtrat 5cc/30mn pour avoir une très bon stabilité du puits. La bentonite Algérienne peut être utilisé dans ce genre de boues car ces derniers ne demande pas une bentonite plus réactive ( $MBT < 40 \text{ kg}/\text{m}^3$ ).

Un seule inconvénient remarquable dans cette formulation c'est que le pourcentage en sable est plus élevé et qui ne respecte pas la norme API qui préconise une quantité inférieur à 0.5% en volume

#### IV Conclusion

L'objectif principal de notre travail était d'aboutir à une caractérisation des propriétés rhéologiques du complexe bentonite-additif, et de contribuer à comprendre la relation entre les propriétés rhéologiques mesurées. Ainsi de

contribué à la valorisation notre bentonite dans la formulation d'un fluide de forage à base KCL-

Polymères. On a commencé notre thèse avec une partie bibliographique qui nous a permis de comprendre l'origine microscopique des propriétés rhéologiques des suspensions étudiée qui sont souvent utilisés dans la formulation des fluides de forage. L'étude rhéologique a montré des comportements similaires pour les polymères xanthane (XCD), cellulose polyanionique (MC LV) et polyacrylamide partiellement hydrolysé (PHPA). La bentonite en tant que support colloïdal, facilite le maillage entre les différents additifs présents (polymères et sels) permettant la formation d'un bon cake imperméable. Les trois systèmes étudiés présentent des modèles rhéologiques du type Herschel -Bulkley ou Ostwald de Waele. Le comportement de polymère inhibiteur (PHPA) révèle l'importance des mécanismes mis en jeu dans la stabilisation et l'inhibition des argiles et s'explique par leurs charges (état de répulsion permanent) conduisant à leur état de dispersion. Les caractéristiques rhéologiques ont été corrélées aux propriétés électrocinétiques et confirmées par la variation des propriétés interfaciales, de mouillage et d'inhibition. Dans la littérature l'étude des mécanismes d'inhibition des polymères montre que le PHPA inhibe le gonflement et la dispersion des argiles par encapsulation et agit par un effet stérique.

Pour le KCL qui joue un rôle pondérant par l'insertion de ces cations  $K^+$  dans l'espace interfeuillet en empêchant la bentonite de gonfler sans provoquer une floculation. La bentonite Algérienne celle de Maghnia (nom commerciale BENTAL) peut être utilisé dans la formulation des fluides de forage à base d'eau seulement si le programme de forage indique une MBT faible inférieur à  $40 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

#### Reference

- [1] GARCIA C., PARIGO P., « *Boues de Forage* », Institut Français du Pétrole (I.F.P), société des éditions Technip, 1968.
- [2] NGUYEN J., P., « *fluide de forage* », Technique d'exploitation pétrolière, le Forage Technip, 1993.
- [3] ADAM T., BOURGOYNE Jr, et al., " *Applied drilling engineering*", SPE Textbook series. Vol 2. 1991, pp. 41.
- [4] Norme API - *API 13A SEC 6*.

*A. Akkouche, A. Gueciouer, D. E. Djemiat, A. B. Benmounah, A. B. Safri*

- [5] HERZHAFT B., « *Les fluides de forage : un exemple de fluides complexes industriels* », 36ème colloque annuel du Groupe Français de Rhéologie (GFR 2001), Marne-la-Vallée France, 10-12 octobre 2001.
- [6] K. BENYOUNES, A. BENCHABANE & A. MELLAK « *caracterisation rheologique de la bentonite de maghnia en Suspension aqueuse sans et avec additifs anioniques* » Courrier du Savoir – N°10, Avril 2010, pp.51-57
- [7] O. M'BODJ et al. "Plastic and elastic properties of the systems interstratified clay–water– electrolyte–xanthan", *Journal of Colloid and Interface Science* 273, 675–684, 2004.