



## **TRAITEMENT PAR STABILISATION/SOLIDIFICATION DE BOUES A L'HUILE DE FORAGES PETROLIERS GENERES PAR LA COMPAGNIE AGIP BV TUNISIA**

**LOUATI D.<sup>1,2</sup>, CHOURA M.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Unité de recherches en géotechnique environnementale et matériaux civils, Sfax,  
Tunisie

<sup>2</sup>Ecole nationale d'Ingénieurs de Sfax, Université de Sfax, Route de la Soukra, Km 4,  
3038 Sfax, Tunisie

dhouhaloua@hotmail.fr

### **RESUME**

Les travaux réalisés concernent l'évaluation du traitement des boues de forages pétroliers générées par la compagnie AGIP BV Tunisia. Le procédé consiste en un traitement de Stabilisation/ Solidification (S/S) de ces boues à l'aide de liants hydrauliques, suivi par un compactage, dans le but de limiter la solubilité et la mobilité des polluants.

La boue après homogénéisation, est malaxée avec une quantité de ciment, de chaux et d'eau qui correspond à la formulation testée. La pâte lisse ainsi obtenue est soumise à des essais de compactage sous presse pour la réalisation des éprouvettes normalisées sur lesquelles sont effectués, après 30, 60 et 90 jours de durcissement les tests de lixiviation et les mesures de résistance mécanique à la compression. Par conséquent, la technique de traitement des boues par Stabilisation/Solidification suivie par un compactage permet d'optimiser la quantité de liants et d'eau de gâchage avec un gain de 40% et d'améliorer la rétention des polluants dans la matrice cimentaire.

**Mots clés:** Boue de forage, stabilisation/solidification, liants hydrauliques, résistance mécanique à la compression, tests de lixiviation.

### **ABSTRACT**

The achieved works concern the evaluation of the treatment of muds in the oil spent of drillings mud generated by the company AGIP BV Tunisia. The

process consists in a treatment by stabilization / solidification (S/S) of these muds using hydraulic binders, followed by a compaction to the state paste, in order to limit the mobility and the solubility of contaminants.

After homogenization, drillings mud is mixed with a quantity of cement, lime and water, which corresponds to the tested formulation. The obtained smooth paste is subjected to compaction tests using a triaxial press for the production of standard specimens, in which, are carried out after 30, 60 and 90 days hardening, leaching tests and mechanical resistance to compression measurements. Therefore, the treatment by Stabilization/Solidification of drilling muds using hydraulic binders, followed by a compaction to the state paste allows to optimize binder and water amount with a gain of 40% and to improve the retention of pollutants in the cement matrix.

**Keywords:** drilling mud, stabilization/solidification, hydraulic binders, mechanical resistance to compression, leaching tests.

## INTRODUCTION

La protection de l'environnement occupe une place importante dans les préoccupations prioritaires nationales et internationales (Qian et al. 2006). La santé humaine et la qualité des milieux naturels sont menacées par la quantité croissante des déchets solides générés (MEAT, 1997). Cette dernière est devenue une question de plus en plus préoccupante dans le monde que les populations urbaines continuent d'augmenter et les habitudes de consommation changent (Marshall et Farahbarakhsh, 2013).

En Tunisie, cette situation pose un véritable problème, du fait de sa mauvaise gestion. Pour cette raison, il est essentiel de (I) mettre en place une infrastructure environnementale viable pour la gestion rationnelle des différents types de déchets solides, (II) améliorer les services de collecte et de traitement des déchets et (III) encourager un développement qui limite autant que possible la dégradation des ressources naturelles, les pollutions, la production des déchets en améliorant notamment l'efficacité de l'industrie en ce qui concerne la production et la consommation de toutes les ressources et les matières en améliorant les technologies de réduction des pollutions et de production des déchets et en mettant au point des nouvelles techniques écologiquement rationnelles.

Au cours de ces dernières années, différentes techniques de traitement des déchets ont été développées afin de diminuer les volumes de résidus à stocker et de minimiser les dispersions des produits polluants (confinement, traitement par Stabilisation/Solidification, traitements thermiques, traitements physico-chimiques, traitements biologiques comme la remédiation (Chaïnea et al. 1995) et la phytoremédiation (Ji et al. 2004)).

La technique de traitement par Stabilisation/Solidification à l'aide de liants hydrauliques est la plus prometteuse (Fantozzi, 2003; Al Ansary et Al Tabaa,

2007). Cette technique de traitement est employée pour diminuer la surface à travers laquelle se font les transferts ou les pertes de polluants et de limiter la solubilité et/ou la mobilité des constituants (Keskes, 2003; Sollas et Perry, 1989; Willes, 1987). Des travaux de recherche antérieurs ont mis en évidence la fiabilité et la possibilité de cette technique pour le traitement de forages pétroliers (Loukil, 2004). Dans ce cadre d'idée, cette étude vise l'évaluation et l'optimisation du traitement par Stabilisation/Solidification de ce type de boue, amélioré par un compactage.

L'évolution de la résistance mécanique à la compression a été suivie en fonction des différents dosages en liants et en fonction du temps. Le comportement des polluants dans la matrice solide de la boue traitée à court et à moyen terme a été étudié à l'aide des tests de lixiviation selon la norme française X31-211. La comparaison des résultats obtenus par le procédé modifié de Stabilisation/Solidification avec ceux du procédé classique de Stabilisation/Solidification par coulage des éprouvettes et vibration a montré que le compactage des boues permet d'une part, d'optimiser la quantité de liant et d'eau avec un gain de 40% tout en ayant une bonne résistance des éprouvettes et d'autre part, d'améliorer la rétention des polluants.

## **MATERIEL ET METHODES**

### **Echantillonnage**

L'échantillonnage a été réalisé directement sur le site pétrolier EDAM au Sud d'El Borma dans la région d'Oued Zâar relevant de la compagnie AGIP BV Tunisia. Un carottage manuel a été effectué, à l'air libre, d'éprouvettes cylindriques conformément à la norme Française X31-210 (diamètre=4 cm, hauteur=8 cm). Les échantillons ont été collectés en plusieurs points dans le bac de récupération de la boue.

### **Caractérisation chimique des boues épuisées de forages pétroliers**

#### *Essais de lixiviation et analyses des métaux lourds et des métaux alcalins*

L'essai de lixiviation consiste à mettre en contact, sous agitation permanente et pendant 24 heures, l'échantillon à tester (50 g) avec 0,5 litre d'eau distillée. La lixiviation a été réalisée conformément à la norme française X31-210. La solution a été séparée de la fraction solide résiduelle par filtration en utilisant un filtre de porosité de 0,45 µm. Les lixiviats obtenus serviront ensuite pour les analyses chimiques.

La spectroscopie par absorption atomique a été utilisée pour l'analyse des métaux lourds et l'absorption par photomètre à flamme pour celle des métaux alcalins.

#### ***Détermination du taux de pollution initial en hydrocarbures (TPI)***

Avant le traitement de la boue, le taux de pollution par la méthode d'extraction par un solvant a été déterminé. Ce dernier, permet l'extraction des hydrocarbures de la boue (Salhi, 2004).

Dans ce cas, le Métyl-Ethyl-Cétone (M.E.C) a été utilisé comme solvant en appliquant les étapes suivantes : (I) Pour 25 g de l'échantillon pollué ( $m_1$ ) 100 ml du solvant a été ajouté; (II) le mélange obtenu a été soumis d'abord à une agitation mécanique à l'aide d'un agitateur magnétique (500 Tr/min) pendant 10 minutes ; (III) ensuite ce mélange a été mis à la décantation. (IV) Enfin l'échantillon obtenu a été séché dans l'étuve. Soit ( $m_2$ ) la masse de l'échantillon après lavage et séchage.

Le taux de pollution initial a été déterminé selon la formule suivante: (TPI)=  $[(m_1 \cdot m_2)/m_1] \times 100$ .

#### ***Détermination du taux de pollution final en hydrocarbures (TPF)***

Cet essai consiste à : (I) peser l'éprouvette de boue traitée après l'avoir étuvée à 105°C , (II) mettre l'éprouvette en position stable dans un bûcher sur un support, (III) ajouter le (M.E.C) jusqu'au niveau supérieur de l'éprouvette, (IV) procéder à une agitation magnétique pendant 6 heures, (V) récupérer l'éprouvette et étuver à 105°C jusqu'à ce que son poids devient constant, (VI) peser l'éprouvette et déduire le taux de pollution final selon la relation suivante :

(TPF)=  $[(m_1 - m_2)/m_1] \times 100$  ( $m_1$ : masse initiale de l'éprouvette avant lavage;  $m_2$ : masse finale de l'éprouvette après lavage).

#### **Traitement des boues a l'aide de liants hydrauliques et compactage sous presse**

##### ***Liants hydrauliques utilisés***

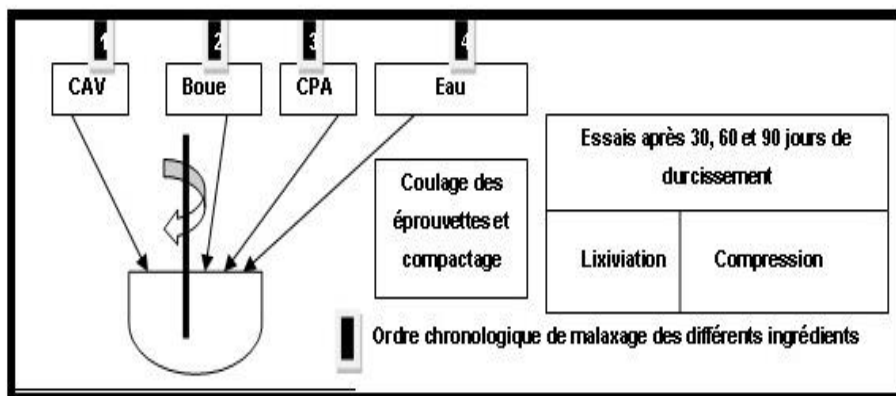
Différents types de liants ont été utilisés pour traiter les déchets solides par Stabilisation/Solidification, tels que le ciment portland, le laitier, la chaux, la haute résistance aux sulfates, les cendres de différentes origines, etc (Pereira et al. 2001). Les liants hydrauliques utilisés dans cette étude sont le Ciment

Portland Artificiel (CPA) et la Chaux Aérienne Vive (CAV). Le ciment à Haute Résistance aux Sulfates (HRS) a été utilisé par Loukil en 2004.

En effet, Le CPA et la HRS ont été employés essentiellement pour la stabilité chimique des polluants. Le CPA est le liant le plus utilisé du fait de son prix réduit et de sa disponibilité (Roy et al. 1991). La CAV joue un rôle d'agent dégraissant capable d'absorber de grandes quantités de composés organiques et d'absorbant capable de retenir les polluants volatils.

### **Confection des éprouvettes selon le procédé modifié par compactage sous presse**

Les éprouvettes de boue traitée ont été confectionnées conformément à la norme française X31-211 (4 cm de diamètre et de 8 cm de hauteur) et selon différentes formulations de S/S comportant chacune une quantité constante de l'échantillon représentatif égale à 1500 g (figure 1).



Note : CAV : Chaux Aérienne vive; CPA : Ciment Portland Artificiel

**Figure 1.** Protocole expérimental des essais de Stabilisation/Solidification par compactage sous presse

Deux séries de dosages ont été réalisées : l'une en fixant le pourcentage en CAV à 50% et en variant les dosages en CPA de 0 à 40%. L'autre en fixant le pourcentage en CPA à 10% et en faisant varier celui du CAV de 60 à 80%, tout en fixant le rapport R à 0,36 avec  $R = \text{Eau} / (\text{CPA} + \text{CAV})$ . Ce rapport a été choisi afin d'obtenir une hydratation suffisante pour une bonne homogénéité et une capacité d'écoulement satisfaisante (Yin et al. 2008) (tableau 1).

**Tableau 1** : Formulations testées pour chaque type de mélange

Dosage en CPA (%)	Dosage en CAV (%)	Quantité de boue (g)	Quantité d'eau (ml)	Temps de malaxage (mn)	Nombre d'éprouvettes
150	750	1500	324	4	15
300	750	1500	378	4	15
450	750	1500	432	4	15
600	750	1500	486	4	15
0	750	1500	270	4	15
150	900	1500	378	4	15
150	1050	1500	432	4	15
150	1200	1500	486	4	15

Note : CPA : Ciment Portland Artificiel; CAV : Chaux Aérienne vive; ml : millilitre; mn : minute; g : gramme

### ***Résistance mécanique à la compression***

Les mesures de la résistance mécanique (RMC) à la compression renseignent sur la sodicité et la cohésion du matériau traité (Barth et al. 1989 ; Golma et al, 2010). Dans cette étude, la RMC a été mesurée par compression triaxiale à l'aide d'une presse d'écrasement de vitesse de mise en charge égale à 0,01 MPa sur les éprouvettes compactées.

### ***Essais de lixiviation sur les éprouvettes de boue traitée par stabilisation/solidification***

La lixiviation des éprouvettes issues de différents dosages en liants, a été réalisée après 30, 60 et 90 jours de durcissement, selon la norme française X31-211. Chaque éprouvette cylindrique a été déposée dans un panier et introduite par la suite dans un bêcher contenant une quantité d'eau distillée suffisante pour la couvrir. Le tout a été mis immédiatement sous agitation permanente pendant 24 heures à l'aide d'un agitateur magnétique. Les lixiviats obtenus ont été filtrés sous vide sur un filtre GF/C (en fibre de verre de porosité 0,45  $\mu$ ) et ils vont servir pour la réalisation des analyses chimiques. Les mêmes méthodes d'analyses des polluants que pour la boue avant traitement ont été effectuées afin d'évaluer le comportement à court et à moyen terme de ces éléments dans la boue traitée (Pyronnard et al., 2009).

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

### Caractérisation chimique de la boue

Les résultats des dosages des métaux lourds et des métaux alcalins effectués sur les lixiviats de boue sont donnés par le tableau 2 : le zinc est l'élément dominant par rapport aux autres métaux lourds et sa concentration dans le lixiviat de boues épuisées est d'environ 1,59 mg/l. Le fer, le chrome et le manganèse ne sont pas détectés par l'analyse du lixiviat de boue épuisée.

Les concentrations de nickel et de plomb sont plus élevées par rapport à celles fixées par la norme Tunisienne NT 106-002-1989 relative aux rejets des effluents dans le milieu hydrique telles que les eaux usées industrielles (Ben Mansour et Gabsi, 2002). Les concentrations de tous les métaux alcalins à l'exception de magnésium sont plus élevées par rapport à celles fixées par la norme Tunisienne NT 106-002-1989. Cela nécessite un traitement préalable de la boue épuisée avant le rejet dans l'environnement.

**Tableau 2 :** Teneur en métaux lourds et en métaux alcalins dans le lixiviat de boue épuisée (Loukil, 2004)

Composé	Cu <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Teneur (mg/l)	0.39	ND	ND	654	1.59	0.22	ND	0.20	5.66	349	82
(N.T106-002)	0.5	1	0,5	500	5	0.2	0.5	0.1	200	300	50

### Détermination du taux de pollution initial en hydrocarbures

L'estimation du taux de pollution initial en hydrocarbures est rapportée dans le tableau 3.

La concentration en hydrocarbures dans la boue est de l'ordre de (20,6±1)% donc (206 000 ppm) ce qui empêche la prise et l'hydratation du mélange et présente de grandes difficultés pour le traitement.

**Tableau 3 : Teneurs initiales en hydrocarbures**

	<b>m<sub>1</sub> (g)</b>	<b>m<sub>2</sub> (g)</b>	<b>TPI%</b>
Essai 1	25	19.82	20.7
Essai 2	25	19.85	20.6
Essai 3	25	19.88	20.5

Note : m<sub>1</sub> : masse de l'échantillon pollué; m<sub>2</sub> : masse de l'échantillon après lavage et séchage; TPI : Taux de Pollution Initial en Hydrocarbures

### **Evaluation de la résistance mécanique à la compression**

Les résultats relatifs à l'évaluation de la résistance mécanique à la compression (RMC) des éprouvettes de boues traitées sont illustrés dans les figures 2 et 3.

La figure 2 montre que la résistance mécanique à la compression évolue linéairement en fonction du dosage en CPA et en fonction du temps. En effet, après 30 jours de durcissement la (RMC) évolue de façon croissante. Les meilleurs résultats sont obtenus par les forts pourcentages en ciment (CPA=40%).

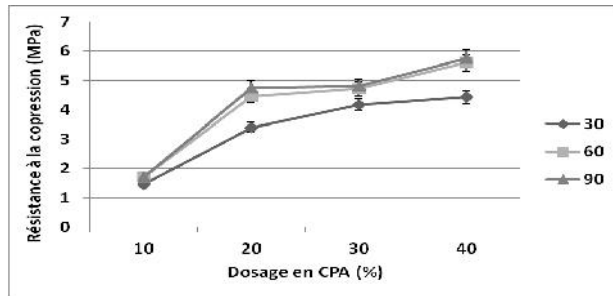
Après 60 jours, la RMC augmente considérablement (de 1 MPa) pour un dosage en CPA=20% et pour un dosage en CPA=40%. En passant de 60 à 90 jours une augmentation notable de cette résistance a été observée, essentiellement avec 40% en CPA. Cette évolution est inférieure à 1 MPa. Cela pourrait être dû au phénomène très lent de la carbonatation de la chaux.

En comparant ces résultats avec ceux du procédé classique de traitement des boues sans compactage utilisé précédemment par Loukil en 2004, on remarque que :

Après 30 jours, la RMC des éprouvettes de boues traitées par le procédé modifié, évolue de 1,46 MPa à 4,44 MPa pour des dosages en CPA allant de 10% à 40%. Par conséquent, la valeur de 1 MPa nécessaire à la mise en décharge des déchets industriels est obtenue à 10 % de ciment et avec R=0,36 uniquement. Alors que, la RMC des éprouvettes de boues traitées par le procédé classique évolue de 3,04 à 5,53 MPa pour des dosages en CPA allant de 40 à 60% et la valeur 1 MPa nécessaire à la mise en décharge des déchets industriels est obtenue à 40% de ciment avec R=0,4 (Loukil, 2004).

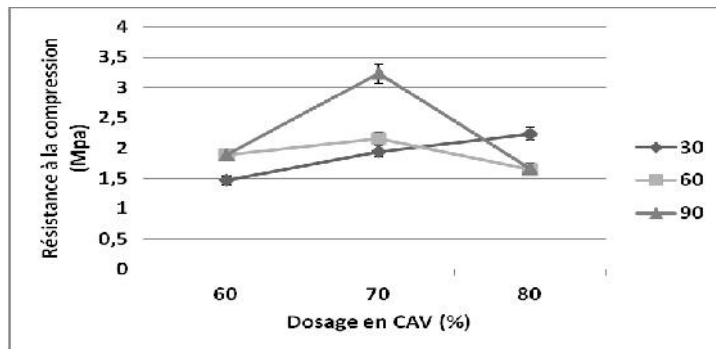
Le compactage des boues permet alors d'aboutir à une meilleure cohésion et résistance des éprouvettes en améliorant aussi bien les propriétés mécaniques que la stabilité des boues traitées et en optimisant la quantité de liant et d'eau avec un gain de 40%.





**Figure 2 :** Evolution de la RMC en fonction du dosage en CPA et en fonction du temps

La figure 3 montre que le dosage en CAV conduit à une évolution de la résistance après 30 jours de durcissement. Elle évolue de 1,47 à 2,23 MPa en passant de 60 à 80%. Après 60 et 90 jours, le dosage en CAV conduit à une évolution de la résistance de solidifiat jusqu'à un maximum de 70%. Au-delà de cette limite, on observe une chute importante de la RMC. Cela pourrait être dû au phénomène très lent de la carbonatation de la chaux.



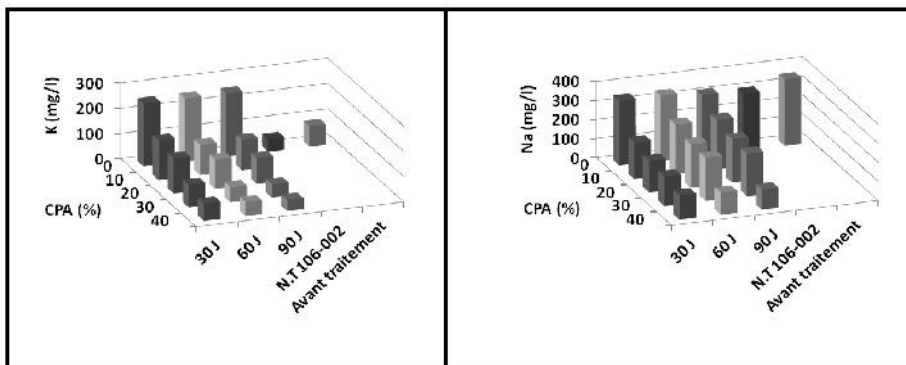
**Figure 3 :** Evolution de la RMC en fonction du dosage en CAV et en fonction du temps

En conclusion, la technique de traitement par Stabilisation/Solidification suivi par un compactage permet de minimiser considérablement la quantité d'eau de gâchage et de liants, tout en ayant une bonne résistance des éprouvettes de boue traitée par le ciment CPA.

### Evaluation du comportement des polluants dans la matrice de boue traitée

L'évaluation du comportement des métaux alcalins dans les lixiviats des éprouvettes de boues traitées par le CPA (CAV=50%) et par la CAV (CPA=10%) est donnée par les figures 4 et 5 respectivement.

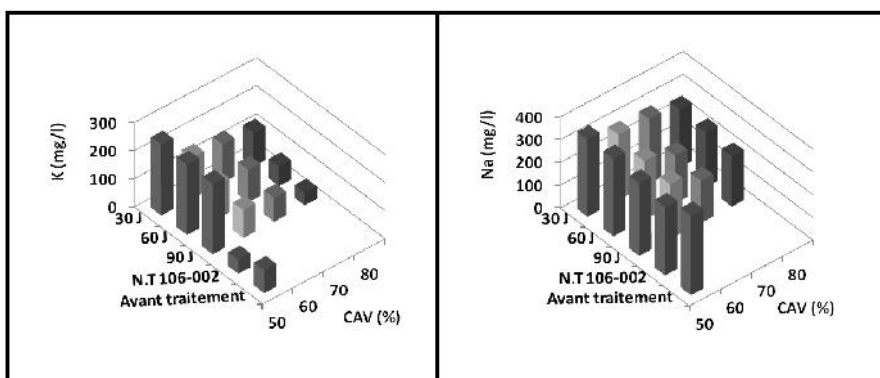
Les résultats d'analyses effectués sur les lixiviats des éprouvettes de boues traitées par le CPA (CAV=50%) et par la CAV (CPA=10%) mettent en évidence une augmentation de la rétention des éléments alcalins en fonction du dosage en ciment, en fonction du dosage en chaux et en fonction du temps. En effet, la figure 4 montre que les concentrations du potassium et du sodium observées après 90 jours de durcissement et pour CPA=40% sont moins importantes que celles trouvées dans les lixiviats des boues avant traitement et celles représentées par la norme Tunisienne des rejets des eaux usées NT 106-002. Le magnésium est présent en très faible quantité dans les lixiviats de boue traitée. Sa concentration maximale (0,07 ppm pour CPA=10%) demeure très inférieure à celle trouvée dans les lixiviats de boue avant traitement et à la limite fixée par la norme tunisienne N.T 106-002.



Note : J: Jour

**Figure 4 :** Variation de la teneur en métaux alcalins dans les lixiviats des boues traitées par le CPA (CAV=50%)

La figure 5 montre également que les concentrations du potassium et du sodium dans les lixiviats des éprouvettes de boues traitées par la chaux (CAV=80%) après 90 jours de durcissement sont moins importantes que celles trouvées dans les lixiviats de boues avant traitement et celles représentées par la norme Tunisienne des rejets des eaux usées NT 106-002. La rétention du magnésium est totale pour les trois mois



**Figure 5 :** Variation de la teneur en métaux alcalins dans les lixiviats des boues traitées par la CAV (CPA = 10%) (Pour CAV = 50% , CPA = 0%)

Au niveau des métaux lourds, les résultats d'analyses effectués sur les lixiviats des éprouvettes de boues traitées par la CAV pour des dosages allant de 50 à 80% (CPA=10%) et avec R=0,36 mettent en évidence la rétention totale de tous les éléments après 30, 60 et 90 jours de durcissement. Les résultats d'analyses effectués sur les lixiviats des éprouvettes de boues traitées par le CPA pour des dosages allant de 0 à 40% (CAV=50%) et avec R=0,36 mettent évidence la rétention totale du Zinc, Manganèse, Fer, Chrome, Cadmium et du Plomb pendant les trois mois. Le Nickel est présent en très faible quantité dans les lixiviats de boue traitée après 30 jours de durcissement. Sa concentration maximale (0,015 ppm pour CPA=10%) demeure très inférieure à celle trouvée dans les lixiviats de boue avant traitement et à la limite fixée par la norme tunisienne N.T 106-002. Une rétention totale de cet élément après 60 et 90 jours de durcissement a été observée. Le Cuivre est totalement retenu pour des dosages en CPA allant de 10 à 40 %. Il n'est détecté que pour un dosage en CPA=0% (CAV=50%) dont la concentration (0,07 ppm) est inférieure à la limite fixée par la norme tunisienne de rejet des eaux usées N.T 106-002 relative aux rejets des effluents dans le milieu hydrique. Par ailleurs, cet élément persiste en faible quantité (0,04, 0,03 et 0,02 ppm) respectivement, pour des dosages en HRS allant de 40 à 60% dans l'étude effectuée précédemment par Houda Loukil en 2004. Par conséquent, le CPA a un effet plus significatif que la HRS sur la rétention des métaux lourds notamment le cuivre.

En conclusion, les formulations testées à l'aide de CPA allant de 0 à 40 % seulement, avec R=0,36 ont abouti à des résultats intéressants et satisfaisants. En effet, les concentrations des polluants détectées sur les lixiviats des éprouvettes de boues traitées par le procédé modifié de Stabilisation/Solidification, ont chuté par rapport à celles déterminées dans les lixiviats avant traitement.

Le compactage à l'état pâte permet alors d'aboutir à une meilleure rétention des polluants dans la matrice cimentaire, améliorant ainsi la stabilité de la boue traitée en optimisant la quantité de liant et de l'eau.

### Détermination de la teneur finale en hydrocarbures des boues traitées par stabilisation/solidification

L'analyse des résultats du test de lixiviation modifié montre que la fraction lixiviable sur les éprouvettes de boues traitées dans le solvant est négligeable avec une valeur moyenne du TPF=0,30% par rapport à un taux de pollution initial (TPI=20,6%). En effet, le taux de rétention en hydrocarbures est de l'ordre de (97 %) (Tableau 4).

L'ajout de la CAV a donné des résultats satisfaisants concernant l'adsorption des hydrocarbures.

**Tableau 4 :** Estimation du taux de pollution final en hydrocarbures en fonction du dosage en CPA (CAV=50%)

Formulation	m <sub>1</sub> (g)	m <sub>2</sub> (g)	TPF %
10% CPA + 50% CAV	188.56	187.37	0.63
20% CPA + 50% CAV	190.42	189.80	0.32
30% CPA + 50% CAV	186.51	186.06	0.24
40% CPA + 50% CAV	187.62	187.53	0.04

Note : m<sub>1</sub> : masse initiale de l'éprouvette avant lavage; m<sub>2</sub> : masse finale de l'éprouvette après lavage; TPF : Taux de Pollution Final en Hydrocarbures

### CONCLUSION

Le procédé modifié de traitement par Stabilisation/Solidification permet de traiter les boues de forages pétroliers même pour des faibles dosages en liants, notamment le ciment portland artificiel. L'amélioration de cette technique par le compactage sous pâte permet la réduction de la fraction lixiviable de tous les contaminants tels que les métaux lourds et les métaux alcalins présents dans cette boue.

En effet, une rétention totale de la majorité des métaux lourds est observée. Au niveau des métaux alcalins, la rétention croît en fonction du dosage en ciment, en fonction du dosage en chaux aérienne vive et avec le temps. La rétention des métaux alcalins est plus importante en fonction du dosage en ciment que pour le dosage en chaux.

La chaux aérienne vive seule n'est pas satisfaisante pour la confection des éprouvettes et pour la rétention des polluants. Ceci peut être dû à un affaiblissement de la structure des éprouvettes traitées à la chaux en fonction du temps de mûrissement. Dans cette étude la chaux aérienne vive est utilisée comme agent dégraissant.

La résistance des éprouvettes dépend alors de la présence en ciment portland artificiel même en très faible quantité.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- AL ANSARY M.S. ET AL-TABBAA A. (2007). Stabilisation/Solidification des déblais de forage pétrolier, *Hazardous Materials*, 141, 410-420.
- BARTH E., PERCIN P., AROZARENA M., ZIELEINWSKI J., DOSANI M., MAXEY H., HOKANSON H., PRYATELY C., WHIPPLE T., KRAVITZ R., CULTINANE M., JONS L. ET MALIE P. (1989). Stabilisation/Solidification des déchets dangereux, *Noges Data corporation*, New Jersey, USA.
- BEN MNASOUR L., GABSI S. (2002). Optimisation des paramètres de traitement des émulsions hydrocarbures/eau par électroflottation. *International Symposium on Environmental Pollution, Control and Waste Management*, 672-682.
- CHAINEA C.H., MOREL J.L., OUDOT J. (1995). La dégradation microbienne des fiouls d'hydrocarbures dans les microcosmes des sols à partir des déblais de forage. *Environmental Sciences and Technology*, 28, 1615-1621.
- FANTOZZI M.C. (2003). Etude de matériaux à base de liants hydrauliques contenant des polluants organiques modèles : Propriétés structurales et de transfert. Thèse de l'INSA de Lyon. Lyon, France, 267 p.
- GOLMANN A.C.M., SILVA M.M., ANGELA B., HENRIQUE Z. (2010). stabilisation/Solidification du plomb dans la matrice cimentaire, *Hazardous Matererials*, 160, 681-687.
- JI G.D., YANG Y.S., ZHAN Q., SUM T., NI J.R. (2004). Phytodégradation des métaux lourds des déblais de forage pétrolier à base d'huile, *Environmental Industrial*, 30, 509-517.
- KESKES M. (2003). Traitement des boues industrielles contaminées : Cas des boues issues d'industries de traitement de surface par galvanoplastie. DEA Sciences de la vie et de la terre, Sfax. Université de Sfax, Tunisie, 70 p.
- LOUKIL H. (2004). Traitement sur site de boues de forage pétrolier (En collaboration avec AGOP BV Tunisia). Mastère en géoressources appliquées aux ressources et environnements naturels, Sfax. Université de Sfax, Tunisie, 69 p.
- MARSHALL RE. AND FARHBABAKHSH K. (2013). Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries, *Waste Management*, Vol. 33, n° 4, 988-1003.

- MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'AMENAGEMENT DE TERRITOIRE., MEAT (1997). 45 p.
- PEREIRA C.F., PINERO M.R., VALE J. (2001). solidification/stabilisation des poussières de four à arc électrique utilisant les analyses des cendres volantes du processus de stabilisation, *Hazardous Materials*, 82, 183-195.
- PYRONNARD O., BENZAAZONG M., BLAND D., MOSRKOWICZ P. (2009). Etude de la minéralogie et du comportement à la Stabilisation/Solidification des boues en utilisant une analyse différentielle de neutralisation des acides : Partie I Etude expérimentale, *Cement Concrete Research*, 39, 600-609.
- QIAN G., PENGCHEONGCHUI Y.C., TAY J. (2006). Utilisation des cendres volantes pour la Stabilisation/Solidification des boues industrielles, *Hazardous Materials*, 129, 274-281.
- ROY A., EATON H.C., CARTLEDGE F.H., TIHLEBAUM M.E. (1991). Solidification/Stabilisation des boues contenant des métaux lourds par le ciment portland et les cendres volantes, *Hazardous Materials*, 8, 33-39.
- SALHI S. (2004). Etude du comportement mécanique des sols pollués par du pétrole brut (Cas du site pétrolier Sidi El Itayem. Mastère en géoressources appliquées aux ressources et environnements naturels. Sfax : Université de Sfax, Tunisie, 68 p.
- SOLLARS C.J., PERRY R. (1989). Stabilisation à base de ciment des déchets solides: Considérations pratiques et théoriques, *Water Environmental Management*, 125-134.
- WILES C.C. (1987). Revue de la technique de Stabilisation/Solidification, *Hazardous Materials*, 14, 5-21.
- YIN C.Y., WAN ALI W.S., LIM Y.P. (2008). Le remplacement partiel du ciment par les cendres du palmier à l'huile pour la Stabilisation/Solidification des boues d'hydroxydes de nickel, *Hazardous Materials*, 150, 413-418.