



CONCERNANT L'IMPACT ECOLOGIQUE DE CERTAINS FLUIDES DE FORAGE UTILISES DANS L'INDUSTRIE EXTRACTIVE DE PETROLE ♦

Mihaela Manea¹, Claude-Gilles Dussap², Julien Troquet^{3*},
Lazar Avram⁴

¹*University of the Basque Country, P^o Manuel Lardizabal 3,
San Sebastian, Spain*

²*CUST – Clermont-Ferrand*

³*Biobasic Environnement, Clermont-Ferrand*

⁴*Université Pétrole-Gaz Ploiesti, Bd. Bucuresti, 39,
Prahova, Ploiesti, Romania*

Abstract: The composition of drilled materials and the use of drilling fluids are the main factors taken into consideration. By atomic absorption spectrometry (AAS), traces of cadmium, lead, mercury and chromium have been detected. The treatment of drilling fluids has been done in two different manners. The first one supposed the improvement of the circulation/rinsing process of drilling fluids, meanwhile the second focused on more environmental friendly drilling fluids. Both methods are argued and discussed.

Keywords: *ecological impact, elemental analysis, heavy metals, drilling fluids.*

Résumé: La composition des déblais de forage ainsi que la mise en oeuvre des fluides de forage représentent les principaux facteurs pris en considération. Par spectrométrie atomique d'absorption on a détecté la présence des traces de cadmium, plomb, mercure et chrome. On a effectué

♦ Paper presented at **COFrRoCA 2006: Quatrième Colloque Franco-Roumain de Chimie Appliquée**, 28 June – 2 July, Clermont-Ferrand, France

le traitement des fluides de forage en suivant deux voies. La première suppose à améliorer le processus de circulation/lavage des fluides de forage, tandis que la deuxième repose sur des formules de fluides de forage plus écologiques. Les deux approches seront argumentées et décrites par la suite.

Mots clés: *impact écologique, analyse élémentaire, métaux lourds, fluides de forage.*

INTRODUCTION

Les performances du processus de forage sont déterminées par les caractéristiques du fluide de forage destiné à l'ouverture des couches productives. Les différentes additions dans les fluides de forage assurent ses principales propriétés: fluidisation, filtrabilité, inhibition de l'hydratation et de la dispersion des argiles en parois du puits, l'empêchement de la contamination, etc. Ainsi, pour régler la viscosité, certains fluides de forage sont traités avec les substances suivantes :

- ferro-chrome-lignosulphonate (FCLS) pour les boues douces et celles minéralisées (la dose est de 5 ... 40 kg/m³ à pH = 8,5 ... 9,5) ;
- spersènes : chromelignosulphonate utilisé comme agent antifloculant, inhibiteur, réducteur de gélotion, stabilisateur de température et agent de réduction de la filtration (la dose est de 2,8 ... 33,6 kg/m³ à pH = 9 ... 11,5) ;
- chrome-lignite (CL) ou humatus de chrome, utilisé aux boues fortement minéralisées, employées aux températures élevées ;
- X P-20 : chrome-lignite avec efficacité élevée, comme fluidisant, stabilisateur, inhibiteur et réducteur de filtration ;
- X P-20 N : chrome lignite avec efficacité élevée pour établir la rhéologie des fluides aux pressions et températures élevées [1].

L'apport supplémentaire de métaux lourds du fluide de forage conduit à la croissance indésirable de la concentration de ces éléments dans les déblais de forage. Du point de vue physico-chimique, les déblais de forage (produit du processus de forage du trépan, transporté à la surface par l'espace annulaire formé entre le train de tiges et la paroi du puits) représentent un système triphasé. Il contient des fragments de roche disloquée, des composantes liquides et des gaz (hydrocarbures légers, hydrogène sulfuré, dioxyde de carbone, etc.).

Les technologies de nettoyage des déblais de forage, pour réinjecter le fluide, assurent l'élimination des composantes solides et gazeuses. Mais, dans la phase liquide, il reste des espèces ioniques des métaux lourds provenant des roches, brisées par les trépan, et aussi du fluide de forage utilisé.

La présence dans la phase liquide de certains métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le zinc, le chrome, le cuivre, le nickel, etc. ayant des concentrations qui dépassent les valeurs permises (Tableau 1) peut apporter de graves préjudices au milieu environnant. Pour éviter cet inconvénient il est nécessaire d'étudier la possibilité de réduction de la teneur en métaux lourds dans les déblais de forage. Dans ce sens on a élaboré quelques techniques de travail.

Tableau 1. Valeurs de référence pour les traces d'éléments chimiques dans le sol, composés inorganiques [2]

Elément	Valeurs	Seuils d'alerte ; types d'utilisation		Seuils d'alerte ; types d'utilisation	
		Sensibles	Moins sensibles	Sensibles	Moins sensibles
Cadmium (Cd)	1	3	5	5	10
Chrome (Cr) total	30	100	300	300	600
Chrome hexavalent	1	4	10	10	20
Cuivre (Cu)	20	100	200	200	500
Nickel (Ni)	20	75	150	150	500
Plomb (Pb)	20	50	100	100	1000
Zinc (Zn)	100	300	600	600	1500

DONNEES EXPERIMENTALES

On a analysé deux échantillons de déblais de forage provenant de deux puits différents. La caractérisation structurale-minéralogique de ces deux types de déblais de forage a été établie par la méthode de l'analyse spectrale d'absorption en infrarouge, transformée Fourier (FTIR), qui s'est effectuée à l'aide d'un spectromètre Nicolet Avatar 360, par la technique ATR (réflexion totale atténuée) 4/32. Cette technique ne nécessite pas une préparation spéciale de l'échantillon, les échantillons bien séchés étant directement déposés sur la surface de la fenêtre de ZnSe.

La Figure 1 présente les spectres des deux échantillons de déblais de forage et le spectre de la bentonite P, argile organophile qui se disperse dans des produits pétroliers en constituant le support colloïdal suffisant pour maintenir la baryte en suspension.

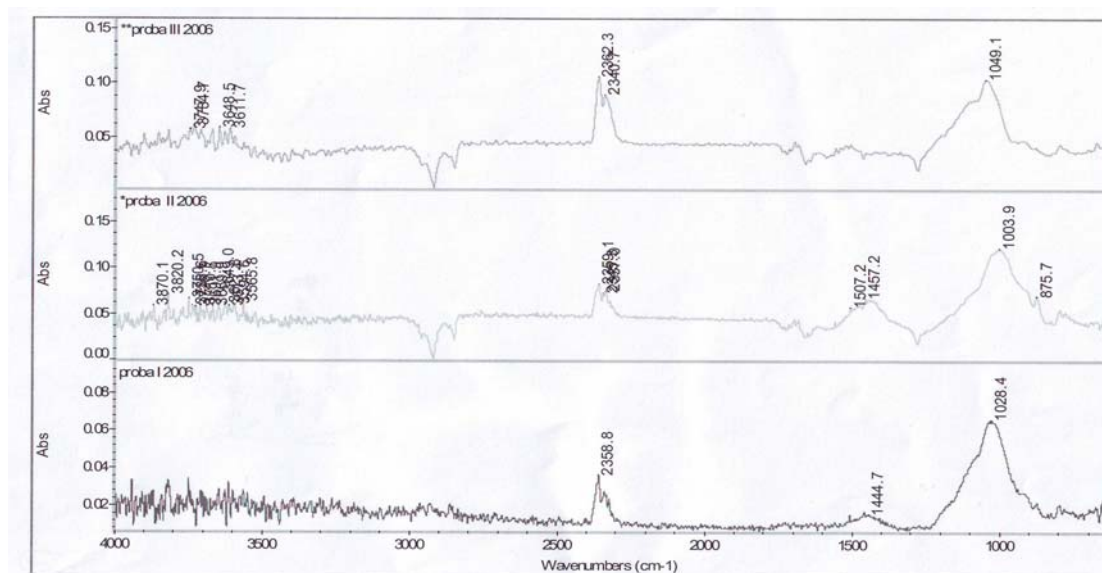


Figure1. Spectres FTIR des déblais de forage ($600 \dots 4000 \text{ cm}^{-1}$) :
carotte 1 représente les déblais I ; carotte 2 –déblais II ; carotte 3 –bentonite P

La composition chimique des déblais a été établie par la méthode de la spectrophotométrie d'absorption atomique dans la solution obtenue par la désagrégation

des échantillons solides. La désagrégation s'est effectuée en capsules de téflon, sous pression, en utilisant un mélange d'acide chlorhydrique 36% et d'acide fluorhydrique 38% à la température de 160 °C [4]. La solution obtenue a été analysée à l'aide d'un spectrophotomètre AAS - Carl Zeiss Jena.

Les éléments chimiques du groupe des métaux lourds : Cr, Cu, Zn, Cd, Pb et Ni, présents dans les échantillons apportées en solution, ont été analysés dans la flamme air - acétylène, dans les conditions présentées dans le Tableau 2.

Tableau 2. Conditions de travail pour déterminer par spectrophotométrie d'absorption atomique certains métaux lourds

Elément	Paramètres de travail				
	λ , mm	Hauteur de la flamme, mm	Fente, mm	Intensité du courant, mA	Sensibilité, ppm
Cr	357,9	10	0,20	7	0,05
Cu	324,8	10	0,30	5	0,04
Zn	213,9	8	0,20	10	0,12
Cd	228,8	10	0,30	10	0,015
Pb	283,3	10	0,40	5	0,35
Ni	237,0	7	0,20	7	0,055

Pour réduire la teneur en métaux lourds des déblais de forage, les échantillons solides ont été broyés et tamisés (5 mesh). Après ça, ils ont été contactés avec la phase liquide : eau, solution acide et solution alcaline, à la température de 30 °C. Le rapport de mélange a été de 1 g d'échantillon solide à 100 mL solution.

La solution acide employée pour l'extraction contient 2,2 % HCl, et la solution alcaline contient 2,2 % NaOH.

La technique de contact de la phase solide avec le liquide d'extraction a été appliquée en régime statique, en régime dynamique et par l'écoulement du fluide en milieu solide. En régime statique, les échantillons des déblais de forage ont été contactés avec le liquide d'extraction pendant 48 heures, après quoi, le liquide a été séparé par centrifugation. On a déterminé les métaux lourds de la solution par la méthode de la spectrophotométrie d'absorption atomique, en utilisant le même appareil et dans les mêmes conditions comme dans le cas des échantillons solides.

En régime dynamique, les échantillons des déblais de forage ont été contactées avec les liquides d'extraction pendant 24 heures, dans des verres Erlenmayer, sous agitation. Les deux phases ont été séparées par centrifugation, et on a déterminé la teneur en métaux lourds dans la solution obtenue.

On a appliqué la technique de l'écoulement du liquide d'extraction parmi les particules des déblais de forage en utilisant un appareillage assez simple. L'échantillon de déblais de forage, séché et majoré, a été introduit dans des tubes en verre de 2 cm diamètre, munis de robinets à la partie inférieure. On a gardé le même rapport de contact entre l'échantillon solide et la phase liquide, 1 g : 100 mL. On laisse couler librement le liquide d'extraction, on collecte l'éluant et on l'apporte à fiole jaugée. On détermine la teneur en métaux lourds de la solution ainsi obtenue.

La méthode appliquée dans ce cas-ci, s'est déroulée avec difficulté parce que l'écoulement du liquide d'extraction a été plus lent vers la fin de la détermination, à cause du gonflement des minéraux composants dans les déblais de forage.

Au début, on a travaillé avec de grandes quantités de solides et aussi de grandes volumes de liquides et puis, à cause des difficultés, on a réduit la quantité de solide et, évidemment, le volume de liquide, en gardant pourtant le rapport établi entre ceux-ci.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'analyse spectrale en infrarouge a établi que les deux échantillons des déblais de forage contiennent en proportion semblable des minéraux trioctédriques ($1000 \dots 1050 \text{ cm}^{-1}$), alors que la bentonite P contient aussi des minéraux dioctédriques.

Les groupements Si-OH ($2300 \dots 3100 \text{ cm}^{-1}$) sont plus abondants en bentonite P qu'en échantillons de déblais de forage, ce qui montre que, dans la présence des roches brisées et des autres additions du fluide de forage, a eu lieu un processus d'échange ionique.

Les différences qui apparaissent dans les spectres d'absorption en infrarouge de ces trois échantillons démontrent l'apparition des modifications structural-minéralogiques du matériel argileux utilisé à la préparation du fluide de forage le long du processus de forage.

La composition chimique de ces deux échantillons des déblais de forage est différente (Tableau 3), ce qui montre le degré de contamination des déblais de forage avec des métaux lourds en fonction des couches traversées par les trépan.

Tableau 3. Teneur en métaux lourds dans les déblais

Echantillon	Elément, mg/kg					
	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni
Déblais de forage I	199	73	93	10	164	91
Déblais de forage II	175	60	60	15	170	101

Les résultats, obtenus par l'application de ces trois techniques de réduction de la teneur en métaux lourds des déblais de forage, sont présentés dans les Tableaux 4 - 6.

Les données présentées offrent la possibilité d'estimer la rentabilité des procédés appliqués et le pourcentage afférent (Tableaux 7 - 10).

Note : Dans les tableaux 7 - 10, L_1 représente l'eau ; L_2 – solution acide ; L_3 – solution alcaline.

Tableau 4. Teneur en métaux lourds dans les déblais de forage décontaminés en régime statique

Liquide d'extraction	Elément, mg/kg											
	Cr		Cu		Zn		Cd		Pb		Ni	
	D I	D II	D I	D II	D I	D II	D I	D II	D I	D II	D I	D II
Eau	180	162	71	57	89	81	9,88	10,2	160	163	88	95
Solution acide	135	148	55	51	68	64	5,61	8,9	151	155	62	82
Solution alcaline	161	155	65	54	88	69	7,65	9,2	120	142	79	91

Tableau 5. Teneur en métaux lourds dans les déblais de forage décontaminés en régime dynamique

Liquide d'extrac-tion	Elément, mg/kg											
	Cr		Cu		Zn		Cd		Pb		Ni	
	D I	D II	D I	D II	D I	D II	D I	D II	D I	D II	D I	D II
Eau	160	153	68	40	81	75	8,92	9,05	150	152	76	80,5
Solution acide	120	99,8	38	29	52	50	4,55	7,25	149	150	51	69
Solution alcaline	140	13,8	49	32	79	52	7,54	7,50	110	115	75	78,53

Tableau 6. Teneur en métaux lourds dans les déblais de forage décontaminés par la technique de l'écoulement

Liquide d'extrac-tion	Elément, mg/kg											
	Cr		Cu		Zn		Cd		Pb		Ni	
	D I	D II	D I	D II	D I	D II	D I	D II	D I	D II	D I	D II
Eau	179	160	70	52	85	79	9,02	10	162	158	80	85,3
Solution acide	137	135	56	38	69	57	5,03	8,2	154	151	65	74,5
Solution alcaline	159	140	66	40	89	61	7,66	8,50	113	128	78	82,5

Tableau 7. Estimation de la rentabilité des procédés de réduction de la teneur en métaux lourds dans les déblais de forage I (Cr, Cu et Zn)

Procédé	Réduction, %								
	Cr			Cu			Zn		
	L ₁	L ₂	L ₃	L ₁	L ₂	L ₃	L ₁	L ₂	L ₃
Régime statique	9,54	32,16	19,09	2,74	24,65	10,95	4,30	26,88	5,37
Régime dynamique	19,59	39,69	29,64	6,85	54,79	32,87	12,90	44,08	15,05
Ecoulement	10,05	31,15	20,10	4,11	23,28	9,59	8,60	25,80	4,30

Tableau 8. Estimation de la rentabilité des procédés de réduction de la teneur en métaux lourds dans les déblais de forage I (Cd, Pb et Ni)

Procédé	Réduction, %								
	Cd			Pb			Ni		
	L ₁	L ₂	L ₃	L ₁	L ₂	L ₃	L ₁	L ₂	L ₃
Régime statique	1,20	43,9	23,50	2,44	7,93	26,83	3,30	31,86	13,18
Régime dynamique	10,08	54,5	24,6	8,54	9,15	32,52	16,48	43,95	17,58
Ecoulement	9,8	49,6	23,4	1,22	6,09	31,09	12,06	28,57	14,28

Tableau 9. Estimation de la rentabilité des procédés de réduction de la teneur en métaux lourds dans les déblais de forage II (Cr, Cu et Zn)

Procédé	Réduction, %								
	Cr			Cu			Zn		
	L ₁	L ₂	L ₃	L ₁	L ₂	L ₃	L ₁	L ₂	L ₃
Régime statique	7,43	15,42	11,42	5	15	10	4,70	24,70	18,82
Régime dynamique	12,57	42,97	21,14	33,33	51,66	46,67	11,76	41,17	37,64
Ecoulement	8,57	22,85	20,0	13,13	36,67	33,33	7,05	32,94	28,23

Tableau 10. Estimation de la rentabilité des procédés de réduction de la teneur en métaux lourds dans les déblais de forage II (Cd, Pb et Ni)

Procédé	Réduction,%								
	Cd			Pb			Ni		
	L ₁	L ₂	L ₃	L ₁	L ₂	L ₃	L ₁	L ₂	L ₃
Régime statique	32	40,66	38,66	4,12	8,82	16,47	5,94	18,81	9,90
Régime dynamique	39,67	51,67	50,0	10,59	11,76	32,35	20,29	31,68	22,27
Écoulement	33,3	45,3	7,05	11,17	6,09	24,70	15,54	26,23	18,31

CONCLUSIONS

Les techniques de réduction de la teneur en métaux lourds dans les déblais de forage, présentées dans cet ouvrage, ont mis en évidence les aspects suivants :

1. La technique du régime dynamique est plus efficace que celle de l'écoulement ou celle en régime statique dans les conditions de l'utilisation du même rapport déblais de forage/phase liquide et à la même température.

2. L'utilisation de la solution acide dans l'extraction des métaux lourds Cu, Cr, Zn, Cd, Ni (sans plomb), est plus efficace que l'extraction par l'eau ou par solution alcaline.

3. Dans tous les cas présentés, la solution alcaline a une capacité d'extraction plus grande que l'eau.

4. La rentabilité d'un procédé appliqué pour la réduction de la teneur en métaux lourds, dépend de la structure minéralogique et de la composition chimique des déblais de forage. Dans ce sens, il est nécessaire une étude préalable de ces caractéristiques des déblais de forage.

5. Les procédés de réduction de la teneur en métaux lourds dans les déblais de forage, proposés dans cet ouvrage, n'impliquent pas de coûts élevés, parce que la concentration des solutions utilisées dans l'extraction est petite.

6. La température de travail choisie pour l'application des techniques de réduction des métaux lourds ne nécessite pas de grands coûts énergétiques. Si l'on désire une croissance de la rentabilité du processus, alors on peut travailler avec des températures plus élevées. La température influence le coefficient de diffusion et la mobilité des ions impliqués dans l'extraction des métaux lourds dans les déblais de forage.

7. Le choix du liquide d'extraction pour réduire la teneur d'une certaine espèce chimique (les métaux lourds) dans les déblais de forage, doit se faire de telle sorte qu'entre les ions du milieu solide et de la phase liquide ne se forment pas de composés difficilement solubles.

BIBLIOGRAPHIE

1. Popescu, M.G.: *Fluides de forage et ciments de puits*, Edition de l'Université de Ploiesti, **2002**.
2. * * * *Moniteur Officiel de la Roumanie*, Première partie, Nr.303, bis/6.XI.**1997**.

3. Manea, F., Badulescu, R., Manea, M.: *Determination of Copper from clay Minerals by UV Emission Spectrography*, 4th International Conference of PhD Students, 11-17 aug. Miskolc, Hungary, **2003**, p.121-127.
4. Manoliu, C., Zugravescu, P.: *Désagrégation sous pression en chimie analytique*, Edition Technique, Bucarest, **1988**.