

Intégration des boues de forages pétroliers dans l'économie circulaire suite à leurs traitements

* F. AISSAT

* Département du Génie des Procédés, Faculté de Technologie, Université M'Hamed Bougara, Boumerdès, Algérie

*Corresponding author: aissatfetta@yahoo.fr

RESUME

Les activités de l'industrie pétrolière génèrent inévitablement une grande quantité de boues appelées boues de l'industrie pétrolière (PIS). Le taux de génération a augmenté en raison de la demande croissante d'énergie. Il s'agit d'une ressource énergétique potentielle. Il a été démontré que les PIS contiennent des composants dangereux (polluants organiques, métaux lourds, etc.) qui peuvent avoir des conséquences négatives sur l'environnement et la santé publique. Le traitement et l'élimination de ces déchets sont donc un problème mondial. De nombreuses méthodes de traitement ont été démontrées pour réduire le volume et la toxicité des boues et récupérer les composants pétroliers (traitement mécanique, chimique et thermique). Les qualités des boues influent sur leur efficacité. Ces stratégies de traitement peuvent réduire les substances toxiques présentes dans les boues et diminuer leurs effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement.

Cependant, en raison du caractère tenace des boues, seules quelques technologies peuvent respecter les lois environnementales strictes tout en utilisant une quantité importante d'eau, d'électricité et de produits chimiques. Il n'existe actuellement aucune méthode de traitement des boues d'épuration qui soit à la fois sans déchets et rentable. L'adoption de l'économie circulaire représente une nouvelle direction pour créer de la valeur et de la prospérité en prolongeant la durée de vie des produits et en déplaçant les déchets de la fin de la chaîne d'approvisionnement vers le début est très importante. Dans cette étude, nous évaluerons les impacts et aspects

environnementaux des bourbiers dans le but d'intégrer ces boues dans l'économie circulaire.

Une mission doublée est attendue de la valorisation des déchets plombés (recyclage des BU) :

Mots clés: Economie circulaire, Boues de l'industrie pétrolière PIS, Métaux lourds, polluants organiques, Traitement thermique.

1. Introduction

La protection de l'environnement occupe une place importante dans les préoccupations prioritaires nationales et internationales. La santé humaine et la qualité des milieux naturels sont menacées par la quantité croissante des différents types de déchets solides, liquides et gazeux générés par les activités anthropiques.

Parmi les causes de la dégradation de l'environnement, la production d'énergie occupe une place des plus importantes. Les énergies fossiles, non renouvelables, sont connues pour leur impact négatif sur tous les milieux écologiques. Ils polluent aussi bien le compartiment atmosphérique, que le sol et les eaux. Pourtant le pétrole brut et le gaz naturel représentent la ressource énergétique mondiale par excellence et constituent la principale source de revenus pour de nombreux pays de même que leurs cours ont des impacts significatifs sur l'économie mondiale. Leur production nécessite comme toute ressource naturelle, au préalable, une phase d'exploration [1].

F. AISSAT

En Algérie, la majorité de l'énergie consommée est une énergie d'origine fossile, fournie principalement, par l'industrie du pétrole. La production du pétrole, repose sur la réalisation d'ouvrages pétroliers via des techniques de forage permettant d'atteindre le combustible à l'état brut. L'industrie pétrolière de la région de Hassi Messaoud est très développée ce qui engendre des déchets industriels plus ou moins néfastes. Durant les opérations de forage et d'exploitation des unités de production et de raffinage, une quantité importante de rejets industriels solides et liquides sont générés. Ces rejets renferment des produits toxiques tels que les métaux lourds et les polluants organiques qui menacent aussi bien l'environnement abiotique et biotique avec un impact négatif sur les plantes, les animaux et la santé de l'Homme.

Dans ce cadre, justement, le groupe pétrolier public SONATRACH qui agit pour le compte de l'état investira à moyen terme 91 milliards de DA dans la prévention, la sécurité et la protection de l'environnement dont 120 millions de DA seront consacrés aux traitements des déchets industriels, liquides et détritiques de forages. L'autorité de régulation des hydrocarbures suit de près les études d'impact sur l'environnement et oblige les compagnies travaillant dans ce secteur à prendre les mesures préventives et à veiller à la gestion des risques environnementaux liés aux activités de forage. La question de la dégradation de l'environnement devient de plus en plus sensible en Algérie du fait de la pollution pétrolière dans certaines zones de production et d'exportation (Ouargla, ports pétroliers...) [2].

Le forage est une opération exercée dans les sites pétroliers sur des puits pour l'extraction du pétrole et le gaz piégés dans des gisements à différentes profondeurs, vers les unités de surface où l'ensemble subit des traitements, avant de procéder à leur commercialisation. Ces opérations de forage génèrent des quantités importantes de déblais entachés d'hydrocarbures et de métaux lourds provenant spécialement de la boue à huile utilisée dans la deuxième opération de forage [3]. Ces déblais sont rejetés dans une crevasse spécialement préparée à cet effet appelée bourbier. Le déversement de ces déchets polluants dans l'environnement engendre un risque majeur de contamination du milieu récepteur qui pourrait avoir des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement.

L'étude d'impact sur l'environnement prend en charge les aspects environnementaux à travers la mise en œuvre du plan de gestion environnementale. Généralement, les études d'impact sont régies par le décret exécutif 07-145

(JORADP N° 34, 2007)[4]. Depuis octobre 2008, l'approbation des études d'impact relevant du secteur hydrocarbures est régie par le décret exécutif **08-312**(JORADP N° 58, 2008) [5].

Ce texte précise, entre autres, le contenu du plan de gestion environnementale qui doit obligatoirement couvrir les plans suivants :

- De prévention et de maîtrise des pollutions (fuites, déversements, décharges l'atmosphère, etc...) durant la phase de construction, la phase d'exploitation et la phase d'abandon ;
- D'intervention en cas de pollution,
- De gestion des déchets ;
- De gestion des sites et sols contaminés,
- De gestion des rejets liquides et gazeux ;
- Un programme de surveillance et de suivi des impacts environnementaux,
- D'utilisation optimale des ressources naturelles,
- De gestion des produits chimiques
- D'information et sensibilisation environnementale,
- Un programme d'audit environnemental,
- Et un programme d'abandon et de remise en état des lieux.

Pour cela, plusieurs techniques de traitement des déblais de forage sont utilisées par SONATRACH, à savoir le traitement mécanique, chimique et thermique.

Le problème posé concernant le traitement des déblais et l'efficacité de ce dernier pour remédier aux éventuelles infiltrations des divers polluants dans le sol, majoritairement sableux, et le risque de contamination de la nappe phréatique par, essentiellement, les hydrocarbures et les métaux lourds. L'objectif de ce travail est d'évaluer les impacts et aspects environnementaux pour les trois méthodes de traitements des boues de forages et évaluer leur potentiel valorisation, ce qui les intègre dans l'économie circulaire .

2. Cadre réglementaire / Législation et normes algériennes

En Algérie, les pouvoirs publics ont promulgué plusieurs textes et règlements en matière de protection de l'environnement et dont certains sont cités ci-dessous :

2.1. Législations

F. AISSAT

La loi n° **01-19** du 12 Décembre 2001, régleme la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets (JORADP, 2001) [6].

La loi n° **03-10** du 19 Juillet 2003, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable (JORADP, 2003)[7].

Le décret exécutif n° **04-88** du 22 Mars 2004, porte sur la réglementation de l'activité de traitement et de régénération des huiles usagées (JORADP ,2004) [8].

La loi n° **05-12** du 04 août 2005, relative à l'eau, fixe les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement des ressources en eau (JORADP, 2005)[9].

Le décret exécutif n° **06-02** du 07 Janvier 2006, définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique (JORADP, 2006) [10].

Le décret exécutif n° **06-104** du 29 Muharram 1427 correspondant au 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux (JORADP ,2006) [11].

Le décret exécutif n° **06-141** du 19 Avril 2006, définit les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels (JORADP ,2006) [12].

2.2. Normes internationales

Il est évident qu'il n'existe aucune législation environnementale liée spécifiquement aux activités d'exploration et de production pétrolières en Algérie (telle que le pourcentage d'huile sur des déblais). Quelques législations existent mais ne sont pas appropriées à ce genre d'activité. Par conséquent, certaines normes internationales spécifiques à la protection de l'environnement comme la protection des eaux et la gestion des déchets ont été adoptées par SONATRACH. L'arrêté du 18/12/1992, agissant en tant que norme européenne, publié au Journal officiel de la République Française le 30/03/1993, est la norme suivie par SONATRACH, pour le traitement des déblais de forage. Cet arrêté définit les paramètres qui devraient être analysés et leurs limites maximales à ne pas dépasser pour que les déblais puissent être rejetés dans la nature. En cas de non-respect de ces valeurs il convient de traiter ces déblais avant leur rejet.

3. Les bourbiers et ses caractéristiques

Dans le domaine de l'exploitation pétrolière, une panoplie des produits chimiques est employée dans la formulation des boues de forage. Ces composés de natures différentes et dont la toxicité et la biodégradabilité sont des paramètres mal définis, sont cependant déversés dans la nature. En plus des hydrocarbures (HC, tels que le gazole) constituant majeure des boues à base d'huile, on note les déversements accidentels du pétrole, ainsi que d'une variété d'autres produits et additifs spéciaux (tensioactifs, polymères, ..) qui peuvent exister sur les sites de forage. Ces rejets sont généralement stockés dans des endroits appelés 'bourbiers'.

Le bourbier est une fosse septique sans toit qui est étanché par un plastique (liner) imperméable qui joue le rôle d'une plateforme pour le bourbier, cette architecture qui est inadéquate à cause de la possibilité de pénétration des métaux lourds au sol d'une part et avoir des vapeurs des hydrocarbures voisinage du sol d'autre part.

4. Identification des impacts de l'activité de forage sur le sol, les ressources en eau, sur la faune et la flore et l'air

Toute activité génère des rejets qui ont des impacts plus ou moins importants sur les écosystèmes affectés, en liaison directe avec essentiellement leurs volumes et leurs toxicités.

Le risque de contamination du sol, spécialement par les fluides de forage est très haut. Ceci peut engendrer un changement des caractéristiques physico-chimiques du sol car les sols du désert sont fragiles et leur capacité à se réhabiliter est très faible. Les températures élevées, le manque de végétation et de précipitations aggravent le problème.

Les sources des impacts sont :

Les eaux souterraines sont la base de toute activité dans un environnement désertique. Les eaux souterraines sont aussi utilisées dans les activités de forage. Les sources de contamination potentielles des activités de forage sont surtout les fuites de lubrifiants et combustibles et l'infiltration des boues par les parois du puits. Le potentiel de contamination de l'aquifère, par intrusion directe et infiltration dans les bourbiers et fuites, existe également. La contamination de l'aquifère est un impact considérable, car une fois la nappe affectée, l'eau qu'elle contient devient inutilisable pendant longtemps. Par contre, en fonction de la superficie qu'occupe la nappe dans le sous-sol, si l'effet de la pollution est localisé et

minime, le pouvoir auto-épurateur de la nappe pourrait être suffisant pour éliminer de petites quantités de polluants [13].

Les déblais de forage sont déchargés avec de la boue de forage dans un borbier. Dans un premier temps, il y aura une sédimentation des déblais de forage ; si le temps de séjour des déblais et boues dans le borbier est important, des lixiviats se forment. Ces derniers, ainsi que d'autres sous-produits huileux peuvent s'infiltrer à travers le film plastique, si ce dernier n'est pas très efficace. En effet, le borbier servant à contenir les déchets de forage (boues et déblais) est imperméabilisé grâce à un film plastique spécial. Cependant ce film peut être endommagé soit par la charge des déchets ou par un événement accidentel (feu, explosion . . . etc.).

Les déchets de forage, sont très chargés en hydrocarbures et huiles, si ces polluants parviennent à s'infiltrer dans la nappe phréatique, les conséquences en seront très graves

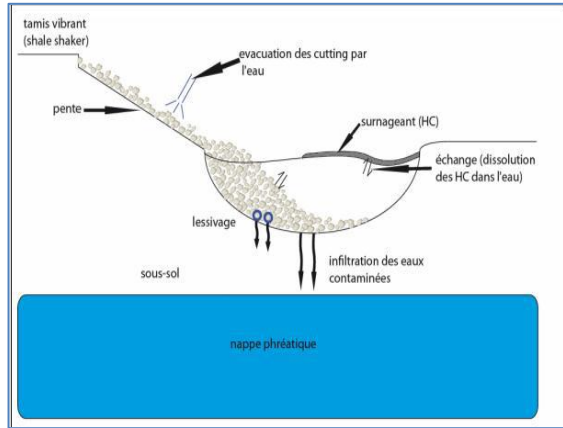


Figure.1. Infiltration des fluides de forage vers la nappe phréatique [13]

Le borbier peut aussi représenter un danger pour les animaux, car en effet, après avoir fini le forage du puits et l'avoir mis en production, l'appareil de forage est démonté et évacué et le borbier qui reste en attente d'être traité, constitue un véritable piège pour les animaux (fig. 5) [14].



Figure 2: la chute d'un chameau dans un borbier (wetpit) (Kadri, 2018)

La source principale d'impact sur la qualité de l'air de ces activités est l'émission de particules et de poussière et autres polluants atmosphériques (CO₂, CO, ...) [15].

5. Avantages et inconvénients des procédés de traitement de la boue issue du champ d'OURHOUD

Tableau 1 représente les avantages et les inconvénients de chaque méthode

	Avantage	Inconvénients
La méthode thermique	<ul style="list-style-type: none"> • Technique prouvée ayant démontré une grande fiabilité et des résultats extrêmement significatifs, • Technique efficace même pour des sols argileux et hétérogènes (l'humidité du sol et l'eau souterraine sont alors vaporisées (techniques à température > 100 °C), ce qui augmente la perméabilité), • Technique permettant de diminuer les temps de fonctionnement classiquement observés pour, • technique permettant de traiter de nombreux polluants notamment les composés semi-volatiles difficilement traitables par les techniques classiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • les gaz doivent la plupart du temps être refroidis afin de protéger les unités de traitements en aval, • les émissions atmosphériques nécessitent un traitement d'air (surcoût), • les coûts de production (coûts d'exploitation) sont souvent importants et sont un frein à l'application de ce procédé, notamment ceux générés pour la vaporisation de l'eau, • les risques d'explosion/incendie doivent être pris en compte

F. AISSAT

	<ul style="list-style-type: none"> technique permettant d'atteindre des taux de dépollution très importants. 	
La méthode S/S	<ul style="list-style-type: none"> Facile à pratiquer étant donné les températures utilisées Technique peu coûteuse Facile à mettre en œuvre Traitement de grande quantité de boue en peu de temps Facile à mettre en œuvre 	<ul style="list-style-type: none"> Ne donne pas une identification de tous les éléments chimiques qui sont contenu dans la boue Elle n'élimine pas tous les pourcentage du COO dans la boue Elle permet à une part de liquide de s'infiltrer Elle utilise des produits chimiques en catalyse de réaction Risque d'explosion incendie Il faut un suivi méthodique des déchets traités
La méthode mécanique	<ul style="list-style-type: none"> Une technique très peu coûteuse Elle se fait au court du forage 	<ul style="list-style-type: none"> Loin d'arriver à un traitement efficace réglementé Nécessite un traitement offline

6. Evaluation des impacts environnementaux des méthodes de traitement de la boue

Les résultats de cette étape d'évaluation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6.évaluation des impacts des 03 méthodes de traitements de la boue de forage [16].

Aspect environnementaux	Méthodes de traitement	Evaluation d'impacts			Facteurs d'impact
		(g)	(t)	(p)	
Consommation des produits pétroliers	THR	5	4	3	60
	S/S	5	3	3	45
	MEC	5	2	3	30
Rejets gazeux	THR	5	5	5	125
	S/S	3	5	3	45
	MEC	2	3	3	18
Déversement de la boue	THR	5	4	3	60
	S/S	4	4	3	48
	MEC	4	4	3	48
Déversement de produit chimique	THR	2	1	2	4
	S/S	5	4	5	100
	MEC	3	2	2	12
Consommation d'eau	THR	3	4	3	36
	S/S	3	4	3	36
	MEC	3	2	3	18
Bruit	THR	3	5	4	60
	S/S	3	5	4	60
	MEC	3	5	4	60

7. Identification des aspects environnementaux significatifs

Tableau 07. Identification des aspects environnementaux significatifs des méthodes de traitement [16].

Aspect environnemental	Méthode de traitement	Facteur d'impact	Régis par la loi	Score
Consommation des produits pétroliers	THR	60	2	120
	S/S	45	2	90
	MEC	30	2	60
Rejet gazeux	THR	125	2	250
	S/S	45	2	90
	MEC	18	2	36
Déversement de la boue	THR	60	2	120
	S/S	48	2	96
	MEC	48	2	96
Déversement de produit chimique	THR	4	2	8
	S/S	100	2	200
	MEC	12	2	24

F. AISSAT

Consommation d'eau	THR	36	2	72
	S/S	36	2	72
	MEC	18	2	36
Bruit	THR	60	2	120
	S/S	60	2	120
	MEC	60	2	120

SCORE	Méthodes de traitements	[1,40 [[40,80 [[80,160 [>160	total
NOMBRE DES ASPECTS	THR	1	1	1	4	7
	S/S	1	1	4	1	7
	MEC	3	2	2	0	7
POURCENTAGE	THR	14.28	14.28	14.28	57.14	100%
	S/S	14.28	14.28	57.14	14.28	100%
	MEC	42.85	28.57	28.57	0	100%

8. Comparaison des performances des trois méthodes

Tableau 08 représente la Comparaison de performances entre les trois méthodes de traitement : [16].

Paramètres	Unités	TDU	S/S	t. mec	Interprétation
Efficacité	OOC %	91	24	17.5	Le processus de désorption thermique est plus efficace que S/S et t.m en ce qui concerne l'élimination de l'OOC

Recyclage	Eau : m3 sur un volume d'eau consommé=191m3	77	0	0	Le procédé de désorption thermique est avantageux que S/S et traitement mécanique en matière de récupération des eaux et huiles et du gasoil
	Huile : m3 sur un volume d'huile consommé=18000m3	3000	0	0	
	Gasoil : m3 sur un volume consommé=24m3	14	0	0	
Taux traitement	de m3 par 24h	80	120/140	40	La S/S a une capacité plus élevée
Consommation d'énergie	m3 /jour	24	14	10	La désorption thermique consomme plus d'énergie que le S/S et le t.m
Le coût de traitement	Da /m3	25200	15000	6000	le coût de traitement du procédé désorption thermique est doublé de celui

					de S/S et du t .mec
--	--	--	--	--	---------------------

9. Intégration de cette ressource boue de forage PIS dans l'économie circulaire

9.1. Les PIS pour la construction durable

L'une des meilleures solutions pour la réutilisation des boues de pétrole est leur application dans plusieurs industries, y compris l'industrie de la construction. Outre l'utilisation des boues d'épuration par les raffineries de pétrole, les boues du secteur pétrolier sont également utilisées dans la production de matériaux tels que les briques, le ciment, les mélanges d'asphalte et de béton, etc. utilisés dans l'industrie du bâtiment [17,18].

9.2. Production de clinker de ciment

Le ciment est un matériau de construction essentiel pour répondre à la demande de logements et d'infrastructures dans le monde. L'industrie du ciment est confrontée à des problèmes croissants en termes de conservation des matériaux et de l'énergie, ainsi que de réduction des émissions de CO₂. La production de ciment vise à devenir plus efficace sur le plan énergétique tout en utilisant des matières premières alternatives. En raison de la croissance économique croissante et de l'engagement de l'industrie du ciment dans la conservation des ressources et la protection de l'environnement a connu une croissance rapide ces derniers temps [19]. Dans le secteur de la construction, la demande de ciment est élevée à l'échelle mondiale. Comme les entreprises multiplient leur taux de production de ciment, la production durable de ciment est une nécessité de l'heure actuelle. Cela pourrait simplement être réalisé en incorporant des sous-produits de déchets ayant des compositions similaires à celles du ciment dans le processus de production et cela contribuera grandement à réduire l'épuisement des ressources naturelles ainsi que le coût de production du clinker de ciment. Le PIS pourrait remplir la fonction du gypse pendant le développement de la résistance en tant que retardateur de prise car il contient une grande quantité d'anhydrite (CaSO₄). Pour remplacer le gypse pendant la production du ciment afin de retarder la prise rapide du clinker, un certain pourcentage de PIS peut être utilisé car il contient une grande quantité de trioxyde de soufre.

9.3. Mortier

Le ciment Portland peut être entièrement ou partiellement remplacé par des matériaux géopolymères dans la production de mortier. Cela produira un mortier avec un

potentiel d'émission de carbone et une capacité d'encapsulation très faibles. Pour l'améliorer en utilisant des déchets, les chercheurs ont étudié la possibilité d'utiliser les boues de pétrole comme matériau de remplacement du ciment. Les boues de pétrole peuvent être converties en cendres de boues de pétrole après un traitement thermique. La résistance à la rupture est légèrement réduite lorsqu'une plus grande proportion de cendres volantes est remplacée par des cendres de boues de pétrole.

10. Conclusion

Notre étude a permis de faire une comparaison de trois différents procédés de traitement des boues de forage pour en apprécier la plus appropriée.

Dès le début de notre recherche, On a émis une première observation qui semble liée seulement au coût du traitement de la boue de forage, qui passe du simple au double : près de 12 000 DA/m³ pour les deux premiers procédés (mécaniques et chimiques) à 25 000 DA/m³ pour le procédé thermique qui est extrêmement efficace. Selon toute vraisemblance, ces coûts dissuadent les opérateurs qui aspirent à limiter leurs charges. Ceci pourrait être compréhensible mais elle se fera au détriment de la protection de l'environnement.

Grâce à l'analyse des aspects / impacts environnementaux tout au long du processus de chaque procédé de traitement, nous avons, montré que ces derniers causent également des pollutions secondaires en plus de leur grande consommation énergétique et matériels.

Le traitement thermique permet une meilleure efficacité pour une dépollution des composés organiques par rapport aux deux autres traitements, mais il faudrait vérifier la dépollution des métaux lourds par ce traitement, ainsi cette boue fera l'objet d'une autre réutilisation dans un autre domaine, en l'intégrant bien dans l'économie circulaire.

Références

1. Logbo, R.D., 2014, Recherche et production des hydrocarbures, groupe leroiani, un livre en cours de finition, 138p.
2. SONATRACH-Division exploration., 2013. Rapport d'étude d'impact environnemental, Hodna, 5p (document interne).
3. Guessoum, B. et Neman, A., 2017. Extraction des déchets dangereux dans des déblais de forage pour la protection de l'environnement. *Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 4, 1, 433-438.
4. JORADP., 2007. Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°34. Décret exécutif n° 07-145 du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
5. JORADP., 2008. Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°58. Décret exécutif n° 08-312 du 5 Chaoual 1429 correspondant au 5 octobre 2008 fixant les conditions d'approbation des études d'impact sur l'environnement pour les activités relevant du domaine des hydrocarbures.
6. JORADP., 2001. Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°77. Loi n° 01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 Décembre 2001, relative à la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets.
7. JORADP., 2003. Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°43. Loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.
8. JORADP., 2004. Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°18. Décret exécutif n° 04-88 de l'Aouel Safar 1425 correspondant au 22 mars 2004 portant réglementation de l'activité de traitement et de régénération des huiles usagées.
9. JORADP., 2005. Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°60. Loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau.
10. JORADP., 2006. Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°1. Décret exécutif n° 06-02 du 7 Dhou El Hidja 1426 correspondant au 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de l'air en cas de pollution atmosphérique.
11. JORADP., 2006. Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°13. Décret exécutif n° 06-104 du 29 Moharram 1427 correspondant au 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux.
12. JORADP., 2006. Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire n°26. Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.
13. BENTRIOU Abdelhak L'impact des fluides de forage sur les sols et les sous-sols thèse de Master 2015.
14. ERM (Environmental Resources Management), 2007. Rapport d'étude d'impact environnemental et social des activités de forage de l'AZS - 2 ; Gassi Chergui, Hassi Messaoud, 12p.
15. Boudjema, A., 2008. Etude d'impact de l'activité pétrolière sur la nappe Moï-pliocène dans le champ de Hassi Messaoud ; Mémoire de magister en science de la terre, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 125p.
16. Boukhalfa Zahra, Tordjemani Yassmine .Etude des méthodes de traitement des boues de forage : Considération environnementale thèse de Master 2017.
17. Shperber, E.R., Bokovikova, T.N., Shperber, D.R., 2011. Methods for processing petroleum wastes. *Chem. Technol. Fuels Oils* 47 (3), 237-242 .
18. Jagaba, A.H., et al., 2021. A systematic literature review on waste-to-resource potential of palm oil clinker for sustainable engineering and environmental applications. *Materials* 14 (16), 4456.
19. Chatziaras, N., Psomopoulos, C.S., Themelis, N.J., 2016. Use of waste derived fuels in cement industry: areview. *Manag. Environ. Qual.* 27 (2), 178-193.