

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université M'hamed Bougara - Boumerdès

Faculté des Technologie

Département Génie des Procédés

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER II

Filière : GENIE DES PROCEDES

OPTION : Génie Chimique

## THEME

**La valorisation des déblais de forage dans l'industrie cimentaire**

**Présenté par :**

- Melle MOUHOUB Yousra
- Melle BEKROUNENE Yasmine

**Promoteur :**

Pr- M.HACHEMI

Promotion 2019/2020



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# *Remerciements*

Nous remercions tout d'abord Dieu le tout puissant, de nous avoir donné le courage, la volonté, la force et la patience afin de pouvoir terminer ce modeste projet de fin d'étude.

Nous tenons à adresser notre profonde gratitude à notre promoteur Mr HACHEMI Messaoud pour ses conseils, sa disponibilité et son encouragement durant toute la période de notre projet et à notre co-encadrante du CRD Mme. SAADI Leila pour son orientation et ses conseils.

Nous tenons à remercier sincèrement Mme MEZALI Malika pour tout le soutien, son aide ainsi que pour ses conseils pour réussir ce projet.

Nous remercions ainsi les personnels du département personnel, le chef de département Mr AKSAS Hamouche, qui nous a accueilli à chaque fois avec un esprit familial et de Gentillesse.

Nos remerciements à tous les membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail.

# Dédicaces

L'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail a ceux qui, quel que soient les termes embrasses, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A ma très chère mère Zahra , Aucune dédicace ne pourrait exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous, Vous avez guetté mes pas, et m'avez couvé de tendresse, ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

A mon très cher père Rabah, Ce travail est le résultat de l'esprit de sacrifice dont vous avez fait preuve, de l'encouragement et le soutien que vous ne cessez de manifester, j'espère que vous y trouverez les fruits de votre semence et le témoignage de ma grande fierté de vous avoir comme père.

A mes sœurs : Siham, Samah, Souad, Je leur dédie ce travail pour l'amour qu'ils m'ont toujours donné, leurs encouragements et toute l'aide qu'ils m'ont apportée durant mes études. Ainsi a ma belle sœur Fatiha.

A mes frères : Abderrahmane et Rafik.

A mes nièces adorées : Lylia, Aya, Meriem.

A mes neveux : Abdallah, Fares ,Abdelali, Mehdi , Mohamed et mon chouchou Adem.

A mes chères cousines : Ma jumelle Maya, Nesrine , Lynda , Tinhinane .

A mes chères amies : Sabrine, Marwa, Rania, Thanina, Imene H, Amina, Sabrina, Rayan ,Imene M.

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

Sans oublier mon binôme Yousra pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

*YASMINÉ.*

Je remercie d'abord et avant tout le bon dieu qui m'a aidé dans ma vie.

J'ai toujours pensé faire ou offrir quelque chose à mes parents en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti comme effort, rien que m'avoir réussi, et voilà, l'occasion est venue.

Je dédie ce travail :

A mes chers parents, qui m'ont donné la vie, symbole de beauté et de fierté, de sa sagesse et de patience, pour tous leurs sacrifices, leurs précieux conseils, leur tendresse, leur soutien tout long mes études.

A mon frère et ma famille qui sont la source de mon inspiration et de mon courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance.

A mes amis particulièrement « Bouchra, Ryma, Kahina, Yasmine, Imene, Sabrina, Rania, Marwa, Thanina, Sabrina, Amina, Ferial », qui sont restés toujours à mes côtés.

A tous mes collègues de ma spécialité qui je passais avec eux les meilleurs moments qui ne seront pas oublier pour le reste de ma vie.

Sans oublier mon binôme Yasmine pour son soutien moral et sa compréhension tout au long de ce projet.

Je vous souhaite tous une bonne santé, bonheur et longue vie.

*YOUSRA.*

# Liste des abréviations

COT : carbone organique totale

CIT : carbone inorganique totale

pH : potentiel en ions hydrogène

DRX : diffractomètre à rayon X

AAS : Spectrométrie d'absorption atomique

# Liste des tableaux

<a href="#">Tableau 1 : Principaux additifs dans les fluides de forage</a> .....	14
<a href="#">Tableau 2 : Avantages et inconvénients des traitements physicochimiques des déchets</a> .....	37
<a href="#">Tableau 3: Composition chimique du clinker</a> .....	38
<a href="#">Tableau 4 : Les cinq types de ciment</a> .....	39
<a href="#">Tableau 5 : compositions des différents types des ciments</a> .....	40
<a href="#">Tableau 6 : Résistance du ciment</a> .....	41
<a href="#">Tableau 7 : Le taux des différents mélanges étudié</a> .....	54

# Liste des figures

<a href="#">Figure 1 : Organigramme représentatif des types de fluide de forage à base d'eau (WBM )</a>	15
<a href="#">Figure 2 : Schéma de circulation de la boue dans un site pétrolier</a>	18
<a href="#">Figure 3 : Bourbiers étanche avant le forage</a>	22
<a href="#">Figure 4 : Bourbiers après le forage</a>	22
<a href="#">Figure 5 : Action des polluants dans le sol</a>	24
<a href="#">Figure 6 : Préparation d'un terrain de forage</a>	30
<a href="#">Figure 7 : Présentation d'une unité de traitement thermique</a>	32
<a href="#">Figure 8 : Fonctionnement du procédé stabilisation solidification</a>	36
<a href="#">Figure 9 : Dispositif d'agitation pour l'essai de lixiviation</a>	48
<a href="#">Figure 10 : Spectrométrie d'adsorption atomique à flamme</a>	49
<a href="#">Figure 11 : Chromatographie phase gazeuse</a>	50
<a href="#">Figure 12 : Appareil de mesure du COT</a>	51
<a href="#">Figure 13 : Dispositif de diffractomètre de rayon X</a>	52
<a href="#">Figure 14 : Dispositif de la granulométrie à laser</a>	53
<a href="#">Figure 15 : Test de fluidité par mini-cône</a>	55
<a href="#">Figure 16 : Moule utilisée pour l'élaboration d'éprouvette</a>	55
<a href="#">Figure 17 : Machine pour essais de flexion</a>	56
<a href="#">Figure 18 : Essai de flexion sur les éprouvettes de mortier</a>	57
<a href="#">Figure 19 : Machine pour essais de flexion/compression</a>	58
<a href="#">Figure 20 : échantillon de mortier a analysés par DRX</a>	59

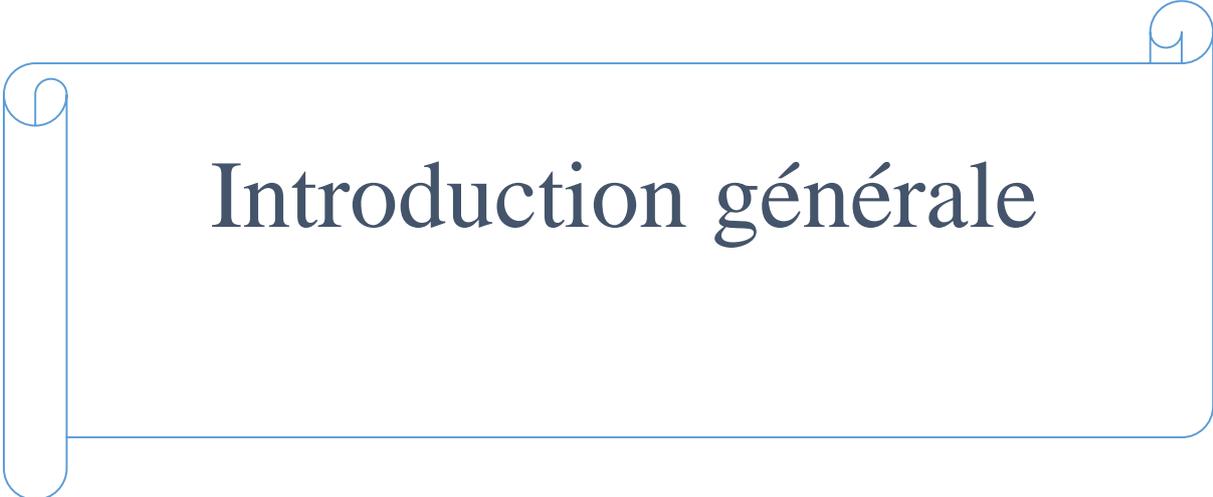
# Sommaire

Introduction générale .....	1
Chapitre I :Généralités surle forage et les fluides de forage .....	
I -1- Historique du forage : .....	2
I -2- Définition du forage : .....	2
I -3-Principe de forage : .....	3
I-4- Les fluides de forage : .....	5
I -4-1- Généralités sur les fluides de forage : .....	5
I-4-2- Définition : .....	6
I-4-3- Caractérisations des fluides de forage : .....	6
I-4-3-1- Paramètres physico-chimique : .....	7
I-4-3-1-1- Densité : .....	7
I-4-3-1-2- Rhéologie : .....	8
I-4-3-1-3- Viscosité : .....	8
I -4-3-1-4- Contrainte seuil : .....	9
I -4-3-1-5- Gels et thixotropie : .....	9
I-4-3-1-6- Concentration : .....	10
I-4-3-1-7- Filtration : .....	10
I -4-3-2- Propriétés de filtration des fluides de forage : .....	10
I-4-4- Principales fonctions des fluides de forage : .....	11
I-4-4-1-Évacuation des déblais du fond du trou : .....	11
I-4-4-2- La suspension des particules : .....	11
I-4-4-3- Contrôle de stabilité des parois : .....	11
I-4-4-4- Isolation des fluides de formation : .....	11
I-4-4-5- Lubrification et refroidissement : .....	12
I-4-4-6- Support du poids du train de tige : .....	12
I-4-4-7-Maximisation du taux de pénétration : .....	12
I-4-4-8- Acquisition d'informations : .....	12
I-4-5-Le choix des boues de forage : .....	13
I-4-6-Compositions des boues de forage : .....	13
I-4-7- Types de fluides de forage : .....	14

I-4-7-1-Les fluides à base d'eau :	14
I-4-7-2-Les fluides à base d'huile :	16
I-4-7-3-Les fluides de forage gazeux :	17
I-4-8- Circulation du fluide de forage :	17
Chapitre II : Impacts des fluides de forage sur l'environnement	
II-1-Introduction :	19
II -2-Définition de déchets de forage :	20
II -3-Catégorie des déchets pétroliers :	20
➤ Déchet dangereux :	20
➤ Déchet non dangereux :	21
II -4-Définition d'un borbier :	21
II -4-1-Influence du borbier sur l'environnement :	23
II -4-2-Problématiques lié à la conception d'un borbier :	25
II -5- Stratégie de l'état algérien dans le domaine environnemental :	26
II -6- Pollution par les fluides de forage :	27
II -6-1- Problématique de la pollution du forage dans le monde en général et en Algérie en particulier :	27
II -7-Impacts des déblais de forage :	28
II -7-1- Sur l'environnement :	28
II -7-2- Sur la santé :	29
II -7-3- Sur la qualité d'air :	29
II -8- Traitement de la pollution des déblais de forage :	30
II -8-1- Traitement thermique :	30
II -8-2- Traitement biologique :	32
II -8-3- Traitement par Stabilisation/Solidification :	33
II -8-3-1- Introduction :	33
II -8-3-2- Principe de la Stabilisation/Solidification :	34
II -8-3-3-Etapes de traitement :	35
II -8-4- Le traitement physico-chimique :	36
II -9- Les ciments :	38
II -9-1-Différents types des ciments :	38
II -9-2- Classe de Résistance des ciments :	40
II -9-3- Les ajouts cimentaires :	42
II -9-4- Avantages et inconvénients des ajouts cimentaires :	42

II -10- Les mortiers :	43
II -10-1- Définition du mortier :	43
II -10-2-Pourquoi étudier les mortiers ?	44
II -10-3-Les différents types de mortiers :	44
II -11- La valorisation des déchets :	45
II -11-1- La valorisation des déchets dans l'industrie des ciments:	46
II -11-2- La valorisation des déchets en Algérie :	46
Chapitre III : Méthodes et matériels utilisés	
III-1- Objectif :	47
III-2- Echantillonnage :	47
III-3- Test de lixiviation :	47
III-3- 1-Réactif et appareillage :	47
III-3- 2-Mode opératoire :	48
III-4- Analyses sur le lixiviât :	49
III-4- 1-Dosage des métaux lourds par absorption atomique SAA (norme NFX31-151) :	49
➤ Principe :	49
III-4-2-Dosage des hydrocarbures totaux :	50
➤ Principe de l'appareil Chromatographie Phase Gazeuse :	50
III-4- 3-Dosage du carbone organique totale COT :	51
➤ Principe du COT :	51
III-5- analyse des matières premières utilisées :	51
III-5- 1-Analyse par diffractomètre à rayon x (DRX) :	51
III-5- 2-Analyse par granulométrie à laser :	52
➤ Méthodologie :	52
III-6- Préparation et analyse des coulis :	53
III-6- 1- Préparation des coulis à partir de mélanges liant (ciment) et déblai de forage stabilisés :	53
III-6- 2-Analyse des coulis de ciment :	54
III-6-2- 1-Variation du PH des différents mélanges :	54
III-6- 2-2- Analyses de la fluidité des mélanges élaborés :	54
III-6- 3-Préparation et analyse des mortiers issus des différents coulis :	55
III-6-3-1-Moulage des éprouvettes :	55
III-6-3-2- Analyse mécanique par flexion des éprouvettes :	56
III-6-3-3- Analyse mécanique par compression des éprouvettes :	57

III-6-3-4- Analyse de la masse volumique des mortiers élaborés : .....	58
III-6-3-5- Analyse par DRX des différents mortiers :.....	59
III-6-3-5--1- Préparation des poudres à analyser : .....	59
Conclusion générale .....	60
Références bibliographiques .....	
Résumé.....	
Abstract.....	

A decorative border resembling a scroll, with a blue outline and rounded corners. The top-left and top-right corners feature small circular motifs that look like the ends of rolled-up paper.

# Introduction générale

---

Le forage est une étape indispensable lors du procédé de l'extraction du pétrole qu'il peut provoquer un danger de pollution de l'environnement et cela peut y arriver si les déblais de forage seront jetés dans la nature sans qu'elles soient traités.

En effet, l'exploitation du pétrole dans le territoire de HASSI-MESSAOUD aurait comme conséquence la pollution de l'environnement, le réchauffement climatique, la disparition de certaines espèces végétales et animales, l'infertilité du sol et la prolifération de diverses maladies et la contamination des nappes phréatiques. [1]

Les conditions actuelles de traitement des déblais de forage reposent essentiellement sur leur stabilisation/solidification par un liant hydraulique (ciment). Ils seront jetés et condensés dans la nature. [1]

Cette situation nous permet de poser plusieurs questions comme :

Quelles seraient les conséquences environnementales des déblais de forage mal traité sur la nature ?

Comment faire pour valoriser ces déblais de forage dans l'industrie des ciments ?

Pour répondre à cette problématique nous avons fait une étude préliminaire pour se débarrasser des déblais de forage polluant et les rendre plus utiles on les valorisant et les introduire dans une matrice cimentaire

Pour cela dans notre travail à comme thème : La valorisation des déblais de forage dans l'industrie cimentaire.

Notre travail est réparti en trois chapitres principaux :

Le premier chapitre est principalement consacré à une recherche bibliographique concernant une généralité sur le forage et les fluides de forage.

Le deuxième chapitre comporte l'impacts des fluides de forage sur l'environnement.

Dans le troisième chapitre nous avons exposé la méthodologie suivie pour l'ensemble des étapes expérimentales conformément aux objectifs de notre thématique.

Notre travail a été finalisé par une conclusion générale dans laquelle nous avons éclairé les objectifs initialement fixés dans ce travail.

# Chapitre I :

*Généralités sur le forage et les fluides de forage*

## I -1- Historique du forage :

En aout 1859, le colonel DARKE fora son premier puits de pétrole, à vingt-trois mètres de profondeur près de Titusville en Pennsylvanie (U.S.A), il employa le système de forage par battage au câble qui utilise, pour attaque le terrain, l'impact d'un lourd trépan suspendu au bout d'un câble qui lui transmet, depuis la surface, un mouvement alternatif créé par un balancier, Lorsque les foreurs avaient affaire à d'autres régions ou ils découvrirent des terrains plus difficiles, le procédé de forage rotary a été utilisé les premiers essais de cette technique semblent avoir été faits sur le champ de Corsicana (Texas), en 1901 J.F.LUCAS, a fora au moyen d'un appareil de forage rotary le premier puits dans le champ de spendletop près de Beaumont (Texas) .[1]

Le forage rotary est une méthode par rotation et broyage. Les déblais sont entraînés vers la surface par la circulation d'un fluide de forage dans l'espace annulaire entre le terrain et le train de tige. Le marteau fond de trou fonctionne à l'air comprimé par percussion d'un taillant. Il est utilisé en terrain dur et fissuré (roches cristallines, carbonatées, volcaniques...). [2]

## I -2- Définition du forage :

Le forage est la clé de toute prospection pétrolière. Cette étape représente le principal et l'essentiel du coût total d'une installation (environ les 2/3). Ce coût dépend bien entendu de la localisation et de la profondeur du terrain. L'exploration offshore (en mer) coûte bien plus (plusieurs fois) que la prospection onshore.

Malgré les progrès des méthodes d'explorations géologiques, la découverte, surtout de gros gisements, reste un événement rare. Dans le monde, on compte en moyenne une découverte pour 10 forages effectués ; mais il faut 100 forages pour découvrir un gisement de 10 millions de tonnes /an. [3]

On appelle forage l'ensemble des opérations permettant le creusement de trous généralement verticaux. L'utilisation principale des forages est la reconnaissance et l'exploitation des gisements de pétrole ou de gaz naturel.

Les autres utilisations, qui sont nombreuses, comprennent notamment : les forages géologiques ou géophysiques pour la reconnaissance des gisements de minerais ; les forages destinés à la recherche des nappes d'eau profondes, au drainage du gaz ou de l'eau dans les exploitations minières ; les forages permettant l'injection de gaz dans des formations poreuses et perméables, pour réaliser des stockages souterrains, et ceux réalisés dans des dômes de sel, agrandis ensuite par injection d'eau douce et permettant le stockage de gaz liquéfiés comme le propane.

Dans le domaine du bâtiment et des travaux publics, les forages permettent l'injection de mortier de ciment en vue de la consolidation des piles, des appuis de ponts, des digues, etc., ainsi que la consolidation des massifs rocheux avant leur excavation, la reconnaissance du sous-sol par prélèvement d'échantillons (carottage) ce qui permet de déterminer les propriétés des différentes couches de terrain et donc le genre de fondations à adopter pour la construction des édifices. La technique du forage, quel que soit son objectif, utilise des moyens analogues à ceux des forages pétroliers.

Le forage pétrolier permet d'atteindre les roches poreuses et perméables du sous-sol, susceptibles de contenir des hydrocarbures liquides ou gazeux. Son implantation est décidée à la suite des études géologiques et géophysiques effectuées sur un bassin sédimentaire. Ces études permettent de se faire une idée de la constitution du sous-sol et des possibilités de gisements, mais elles ne peuvent déceler avec certitude la présence d'hydrocarbures.

Seuls les forages pourront confirmer les hypothèses faites et mettre en évidence la nature des fluides contenus dans les roches. [4]

### I-3-Principe de forage :

Le forage consiste à enfoncer un train de tiges dans le sous-sol en y injectant une boue spéciale. Celle-ci va permettre de ramener à la surface des fragments de roches et des échantillons de gaz. Il faudra forer à plusieurs endroits pour mieux délimiter le gisement potentiel.

Les forages permettent de savoir si les prospect (hydrocarbures) contiennent du pétrole ou du gaz. Ces prospects peuvent être enfouis à des profondeurs très variables - de quelques centaines de mètres jusqu'à 6000 m. Pour les atteindre, on creuse par étapes un trou de diamètre décroissant avec la profondeur.

Le forage nécessite d'installer un derrick , qui sert de support aux tiges de forage.

À l'extrémité de la première tige de forage se trouve le trépan , qui joue le rôle d'une énorme perceuse. Le trépan broie la formation en appuyant sur la roche (broyage par poinçonnement) et en tournant à grande vitesse (broyage par rotation). Au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans le sous-sol, on ajoute de nouvelles tiges de forage en les vissant aux précédentes. Leur ensemble constitue le train de tiges . [5]

Un appareil de forage est constitué d'un mât (ou derrick en anglais) servant à descendre le train de tiges de forage, au bout desquelles se trouve un trépan. Le train de tiges de forage est constitué d'un ensemble de tubes vissés les uns au bout des autres, au fur et à mesure de sa descente au fond du puits. Le trépan découpe la roche au fond du puits, à la tête du forage. Un fluide (mélange à base d'eau et d'argiles) est injecté dans le puits pour contenir les bords du puits et remonter les déblais (cuttings en anglais). D'autres outils sont également disponibles utilisant des fraises garnies de dents en diamant synthétique.

Les techniques modernes de forages permettent de forer en déviation à partir d'un seul point, cela limite les dimensions des installations de surface en concentrant les puits (limite la déforestation ou la taille des plates-formes offshore). Les puits peuvent simplement être déviés ou réellement horizontaux voire en U (U-shape). Optimisant ainsi la surface d'échange entre le puits et la roche réservoir, les puits horizontaux peuvent avoir des productivités cinq à dix fois supérieurs aux puits verticaux.

Tout forage se fait en plusieurs étapes.

Un premier trou de large diamètre 30" (~76 cm) depuis la surface jusqu'à quelques dizaines de mètres pour stabiliser le sol de départ, ce premier trou sera consolidé par un tubage (casing) de 26" et cimenté pour assurer la cohésion entre le terrain et le tube (tubage conducteur). Ce tube servira de guide pour le trépan suivant de diamètre 20" (~50cm), qui ira plus profond, sera à son tour tubé puis cimenté (tube de surface). Suivant la profondeur à atteindre jusqu'à 5 trous de diamètres de plus en plus petits peuvent être forés.

Cette technique permet d'isoler les zones et donc se prévenir toute contamination, par les nappes phréatiques de surface par exemple. Souvent le dernier trou est foré en diamètre 8,5" (~21cm), mais peut aussi être plus petit. Pour évaluer le potentiel du forage, les "cuttings" sont analysés en continu.

Dans ce trou, non encore tubé, des outils sont descendus au bout de câbles électriques, pour permettre d'évaluer les possibilités des roches rencontrées : cela s'appelle des diagraphies électriques (wireline logging). Les informations recueillies permettent :

- De recalibrer les données sismique (en temps) par rapport à des données de profondeur (en mètres) ;
- D'évaluer la hauteur de zone productive ;
- D'évaluer sa porosité ;

Il est aussi possible de prendre des carottes de terrain lors du forage par un trépan spécial. Cette possibilité existe aussi au bout du câble électrique pour des carottes latérales, ou grâce à des outils spéciaux pour récupérer du fluide là où on le veut. Si le puits est considéré comme valable pour la production, il reçoit un dernier tubage, dans notre cas 7" (18~cm) cimenté sur place. Puis on descend au bout du câble électrique un canon contenant des explosifs sur le principe de la charge creuse en face de la zone de production prévue et l'on perce le tubage et le ciment pour mettre en relation la roche mère et le puits. [6]

### I-4- Les fluides de forage :

Le succès d'une opération de forage est assuré par plusieurs facteurs dont le choix du fluide de forage lesquels sont classés dans la famille des fluides complexe du fait de leur nature même (ces fluides peuvent être des émulsion/suspension de divers constituants) dont les fonctions sont multiples (refroidir et lubrifier l'outil au cours du forage, maintenir les parois des puits, maintenir les déblais en suspension, assurer la remontée des déblais ...). [7]

#### *I -4-1- Généralités sur les fluides de forage :*

Depuis le siècle dernier, le développement des exploitations pétrolières s'avère d'une grande importance d'exploitation d'un gisement pétrolier nécessite plusieurs opérations :

- Localisation de la roche réservoir et confirmation de la présence des hydrocarbures.
- Évaluation de la viabilité économique du développement.
- Le forage et la mise en production des puits de pétrole et gaz

Par ailleurs, le succès d'une opération de forage est assuré en grande partie par le bon choix du fluide de forage. [7]

### *I-4-2- Définition :*

Le fluide de forage, appelé aussi boue de forage, est un système composé de différents constituants liquides (eau, huile) et/ou gazeux (air ou gaz naturel) contenant en suspension d'autres additifs minéraux et organiques (argiles, polymères, tensioactifs, déblais, ciments, ...). Le fluide de forage était déjà présenté en 1933 lors du premier Congrès Mondial du Pétrole, où il a fait l'objet de cinq communications (Darley et Gray, 1988). Le premier traité sur les fluides de forage a été publié en 1936 par Evans et Reid. En 1979, l'American Petroleum Institute (API) définit le fluide de forage comme un fluide en circulation continue durant toute la durée du forage, aussi bien dans le sondage qu'en surface. Le fluide est préparé dans des bacs à boues, il est injecté à l'intérieur des tiges jusqu'à l'outil d'où il remonte dans l'annulaire, chargé des déblais formés au front de taille. A la sortie du puits, il subit différents traitements, tamisage, dilution, ajout de produits, de façon à éliminer les déblais transportés et à réajuster ses caractéristiques physico-chimiques à leurs valeurs initiales. Il est ensuite réutilisé (Landriot, 1968). [8]

### *I-4-3- Caractérisations des fluides de forage :*

Tout comme la formulation des boues, le contrôle et la caractérisation des boues de forage sont réalisés selon des normes précises édités par TAPI. Là aussi, il faut employer un appareillage spécifique et des protocoles particuliers.

Certaines mesures sont réalisées systématiquement sur tous les forages (Viscosité, densité, filtration) et d'autres, selon le cout et les possibilités du forage ' taux de gaz, alcalinité). Sur site un responsable boue (appelé "boueux ») est chargé du contrôle de la qualité de la boue. A partir des mesures réalisées et ses connaissances. Il corrige, si nécessaire, La composition de la boue en "temps réel " en ajoutant certains produits ou en reformulant la boue. [9]

### *I-4-3-1- Paramètres physico-chimique :*

La viscosité est la principale propriété des boues de forage, mais la densité est la seconde. Dans l'opération de forage, la pression au fond du trou doit être contrôlée soigneusement. La pression dans le puits doit excéder la pression des formations géologiques et ne doit pas aller au-dessus de la pression de rupture des différentes roches forées. En dessous de cette gamme de pression, les venues de fluide ou de gaz peuvent endommager l'opération de forage, et au-dessus d'elle, les pertes de boue ou l'instabilité mécanique du puits pourrait se produire. Un produit sous forme de poudre (barytine ou calcaire) est ainsi employé comme matière de charge. Le mélange ou la dilution permet une commande précise de sa valeur.

A cause de cette pression de contre-balancement en conditions normales de forage, une diffusion du fluide dans les milieux poreux est possible. Pour diminuer autant que possible cette invasion, un produit de filtration appelée cake est formée sur les parois du trou foré.

Ce film doit être de perméabilité faible et doit être facilement enlevé quand les opérations de cimentage ou d'accomplissement se produisent. [9]

### *I-4-3-1-1- Densité :*

La densité est un paramètre important des boues de forage. Elle doit être suffisamment élevée pour contrebalancer la pression exercée par les venues d'eau, d'huile et de gaz et par conséquent les éruptions. Cependant, elle ne doit pas dépasser la limite de résistance des parois du puits (formations traversées) pour ne pas les fracturer et ne pas risquer une perte de boue au cours de la circulation.

L'action de la densité du fluide sur l'avancement est double. Le premier effet est direct et favorable : l'augmentation de la densité de la boue accroît l'énergie de la boue ou sa quantité de mouvement, donc améliore l'efficacité du nettoyage du front de taille, et par conséquent, l'avancement.

Le deuxième effet est indirect et défavorable : l'augmentation de la densité de la boue en accroissant, à une profondeur donnée, la différence de pression entre le fond du puits et le fluide dans les pores des roches réduit l'avancement. [10]

### *I-4-3-1-2- Rhéologie :*

Etymologiquement, la rhéologie est une discipline qui traite de l'écoulement et des déformations des matériaux sous l'action de contraintes. La rhéologie a été développée pour décrire les propriétés de matériaux au comportement mal défini et intermédiaire entre celui du solide élastique parfait et celui du fluide newtonien. [11]

Les fluides de forage sont souvent des suspensions colloïdales qui ont un comportement complexe et variable suivant leur composition et les conditions d'utilisation. Ce sont le plus souvent des fluides non-newtoniens, visqueux ou viscoélastique, éventuellement thixotropes. De nombreux modèles rhéologique ont été proposés et traités dans l'industrie pétrolière, par plusieurs auteurs.

L'objectif principal des études rhéologique est de caractériser et de quantifier les effets des interactions entre particules sur les propriétés macroscopiques des suspensions. Les caractéristiques rhéologiques les plus utilisées et recommandées par l'institut pétrolier américain (American Petroleum Institute « API ") sont la viscosité, la contrainte seuil et la thixotropie. [8]

### *I-4-3-1-3- Viscosité :*

La viscosité est l'un des principaux paramètres mesurés lors de l'étude de l'écoulement de fluides, Les mesures de viscosités sont en général liées à la qualité et aux performances d'un produit. Toute personne ayant à caractériser un flux, en recherche, ou en développement, sera, à un moment ou à un autre, confronté à une mesure de viscosité. Plusieurs industriels voient à présent les viscosimètres comme faisant partie intégrante de leurs programmes de recherches, développement et contrôle. Ils savent que les mesures de viscosité représentent souvent la méthode la plus rapide, précise et sûre pour analyser certains des facteurs les plus importants affectant la performance des produits (la concentration en solide, la taille et la forme des solides, la viscosité de la phase liquide). [12]

#### ➤ **Viscosité plastique**

La viscosité plastique augmente avec l'accroissement de la teneur en solide ou à teneur constante avec l'augmentation du nombre de particules solides (particules plus fine) et par

conséquent de leur surface inversement, la viscosité plastique diminue lorsque la teneur en solides diminue ou, à teneur égale, par diminution du nombre de particules solides (particules plus grosses) et par conséquent de leur surface (par floculation). [13]

### *I -4-3-1-4- Contrainte seuil :*

Les solides présents dans la boue de forage influence un paramètre autre que la viscosité plastique, qui est la contrainte seuil, plus connue sous le nom anglais " yield value " ou "yield point «, qui représente la résistance initiale à vaincre, pour que le fluide s'écoule.

Cette résistance est due aux forces électrostatiques attractives localisées à la surface des particules. La mesure de cette résistance est une mesure dynamique. La contrainte seuil dépend du type des solides présents et de leurs charges de surface respectives, de la concentration de ces solides, et du type et de la concentration des autres ions ou sels éventuellement présents. [9]

### *I -4-3-1-5- Gels et thixotropie :*

#### ➤ **Gels :**

Le gel 0 (initial) et le gel 10 minutes sont une indication des forces attractives mises en jeu dans un fluide statique. Lorsque la différence entre gel 0 et le gel 10 sont élevés, les gels sont appelés progressif. Lorsqu'il n'y a pratiquement pas de différence, on dit que les gels sont plats. Les gels mesurent les forces attractives en statique, alors que la Yield value est une mesure de ces forces en dynamique, la Yield value et les gels relèvent donc des mêmes traitements. [14]

#### ➤ **Thixotropie :**

Une boue de forage laissée au repos édifie progressivement une structure qui augmente sa rigidité et qui peut être réduite par agitation. On appelle thixotropie le fait que ce phénomène soit non instantané et réversible.

Le caractère thixotrope d'une boue est évalué en mesurant le " gel 0 " et le " gel 10.

Le gel 0 représente la résistance du gel aussitôt après agitation de la boue. Ils sont mesurés à l'aide du viscosimètre à une vitesse de 3 tr/min et exprimé en Ib/1 0ft<sup>2</sup>.

Le gel 10 représente la résistance du gel après un repos de la boue de 10 minutes. [9]

### *I-4-3-1-6- Concentration :*

Par distillation, on sépare les deux phases liquide et solide, par mesure on détermine le rapport d'eau et d'huile, et par calcul on détermine la teneur en solide.

$$T_{\text{solide}} = 100 - V_{\text{liquide}}$$

La quantité d'eau et d'huile est mesurée par une éprouvette graduée déposée au-dessous du retord. Le rapport d'eau est donné par la loi :

$$RE = (V_{\text{huile}} / V_{\text{liquide}}) * 100$$

Par analogie on trouve le rapport d'huile :  $RH = (V_{\text{huile}} / \text{Liquide}) * 100$  . [12]

### *I-4-3-1-7- Filtration :*

Il est vraisemblable qu'indirectement, le filtrat ait une influence sur l'avancement, dans la mesure où il permet l'égalisation des pressions entre le fond du puits et le fluide de formation au voisinage du front de taille. Cette observation conduit à lier le filtrat à la perméabilité de la formation et la pression différentielle. [13]

### *I -4-3-2- Propriétés de filtration des fluides de forage :*

Le fluide de forage, qui est constitué d'une phase liquide et de produit argileux en suspension, et soumis à la pression hydrostatique tout en étant en contact avec des formations poreuses et perméables.

- Si le diamètre des pores est supérieur à celui des argiles en suspension, la formation absorbera le fluide dans son entièrement absorbé par la formation, il n'y a donc aucun retour de la boue à la surface.

- Si le diamètre des pores est inférieur à une partie des éléments sur la paroi (constitution d'un cake) et envahissement par le liquide de base (filtrat) de la formation. C'est la perméabilité du cake qui conditionne la filtration. [13]

### **I-4-4- Principales fonctions des fluides de forage :**

#### ***I-4-4-1-Évacuation des déblais du fond du trou :***

L'une des fonctions la plus importante d'un fluide de forage est d'évacuer efficacement les déblais qui viennent d'être forés par l'outil en les remontant dans l'espace annulaire entre la tige de forage et le trou jusqu'à la surface où ils peuvent être éliminés. [15]

#### ***I-4-4-2- La suspension des particules :***

Le fluide de forage doit avoir une propriété de former une structure de gel réversible quand il est en stabilité, pour que les déblais et les matériaux pesants restent suspendus. [16]

#### ***I-4-4-3- Contrôle de stabilité des parois :***

Les formations sont composées de roches de différentes porosités, ou les pores sont remplis de liquides et de gaz. La roche et les fluides des pores sont sous pression provenant des poids des couches sus-adjacentes, la colonne de fluide de forage exerce une pression hydrostatique proportionnelle à la profondeur du trou et à la densité du fluide. Cette pression contrôle l'écoulement du gaz, « huile ou eau » des pores et contribue d'une manière importante à la stabilité des parois du trou.

L'écoulement du fluide de forage durant la circulation et le mouvement du train de tige, crée des pressions différentielles qui sont en fonction des propriétés de l'écoulement du fluide et la vitesse du mouvement du train. [12]

#### ***I-4-4-4- Isolation des fluides de formation :***

Pour des considérations de sécurité, la pression hydrostatique exercée par le fluide de forage dans le puits est généralement supérieure à la pression existant dans la formation, si ce n'est pas le cas ; le puits peut être l'objet d'une éruption. [12]

### *I-4-4-5- Lubrification et refroidissement :*

#### ➤ **Refroidissement**

Durant le forage, des quantités considérables de chaleur sont générées par force de frottement, dues à la rotation de l'outil et du train de tige, cette chaleur ne peut être absorbée totalement par la formation et doit être évacuée par le fluide de forage. Une grande part de cette chaleur est perdue en surface, avec un fluide relativement froid qui est recyclé dans le puits. [12]

#### ➤ **Lubrification**

La lubrification est obtenue à travers le dépôt de cake, et à travers l'utilisation des additifs spéciaux, l'addition du surfactant ou un lubrifiant spécial pour le cas des boues à base d'eau, et cette pratique est moins courante vu la restriction écologique. [15]

### *I-4-4-6- Support du poids du train de tige :*

L'importance de cette fonction devient plus apparente lorsque la profondeur du trou augmente. En effet, la boue exerce une contre-pression sur le train réduisant la charge sur les outils de surface, et facilite la maniabilité du train lors des différentes opérations de remontée et de descente du train de tige. [12]

### *I-4-4-7-Maximisation du taux de pénétration :*

Le fluide de forage mouille la formation traversée et il la rend moins résistante au passage de l'outil de forage, donc plus facile à forcer, favorisant ainsi la rapidité du forage, et à un taux d'avancement meilleur. [12]

### *I-4-4-8- Acquisition d'informations :*

L'objectif du forage d'un puits est de récupérer le maximum d'informations sur les types de formations traversées, ainsi que les informations sur le fluide remplissant les pores.

Ces informations sont obtenues par analyse des déblais, gaz dissous, ou l'huile et par la technologie des diagraphies électriques. [17]

### *I-4-5-Le choix des boues de forage :*

Le choix des fluides de forage est basé sur les conditions géologiques et les contraintes de forage. Chaque phase de forage doit consommer un type de fluide de forage avec une densité différente. La boue à base d'eau (boue Benthonique à base d'eau) est employée dans la première phase de forage, tandis que la boue à base d'huile est utilisée dans les phases suivantes, mais avec un rapport huile/eau différent d'une phase à l'autre. [18]

### *I-4-6-Compositions des boues de forage :*

Historiquement, les fluides de forage ont évolué d'un simple mélange d'eau et d'argile appelé "boue " vers des systèmes de plus en plus complexes composés d'eau ou huile avec une multitude d'additifs répondant aux caractéristiques requises et aux problèmes rencontrés. Les fluides de forage sont des fluides complexes classés en fonction de la nature de leurs constituants de base.

Traditionnellement, les fluides de forage ont été classés en trois catégories selon le fluide de base utilisé dans leur préparation : l'air, l'eau ou l'huile (Ryan et Chillingar, 1996). Les propriétés exigées des boues de forage sont multiples et peuvent parfois même être contradictoires.

Les boues doivent par exemple être très visqueuses pour assurer la remontée des déblais, mais la viscosité ne doit pas être trop élevée afin de limiter les pertes de charge dues à l'écoulement et afin d'éviter la fracturation de la formation. De nombreux composants multifonctions sont donc ajoutés à la boue pour lui conférer les propriétés désirées. Il est possible de classer grossièrement ces composants en 20 catégories (Economides et al., 1988, Tableau 1). [8]

<b>1</b>	Contrôleur d'alcalinité	<b>11</b>	Lubrifiants
<b>2</b>	Bactéricides	<b>12</b>	Décoiçant( ou dégrippants)
<b>3</b>	Anti - calcium	<b>13</b>	Inhibiteurs de gonflement des argiles
<b>4</b>	Inhibiteurs de corrosion	<b>14</b>	Produits facilitant la séparation
<b>5</b>	Anti – mousses	<b>15</b>	Stabilisants haute température
<b>6</b>	Agents moussants	<b>16</b>	Défloculants
<b>7</b>	Emulsifiants	<b>17</b>	Viscosifiants
<b>8</b>	Réducteurs de filtrat	<b>18</b>	Alourdissant
<b>9</b>	Floculant	<b>19</b>	Saumure
<b>10</b>	Colmatant	<b>20</b>	Huile minérale ou organique

**Tableau 1 : Principaux additifs dans les fluides de forage**

### ***I-4-7- Types de fluides de forage :***

Ils existent trois types de fluides de forage qui sont en accord avec le fluide de base utilisé dans leur préparations (eau, huile, air)

#### ***I-4-7-1-Les fluides à base d'eau :***

Ces fluides sont souvent désignés par " Water Based Muds" ou WBM. Ils sont dans la plupart des cas constitués par des suspensions de bentonites dans l'eau (30 à 60 g/l) dont les caractéristiques rhéologiques et de filtration sont souvent ajustés par des polymères. [8]

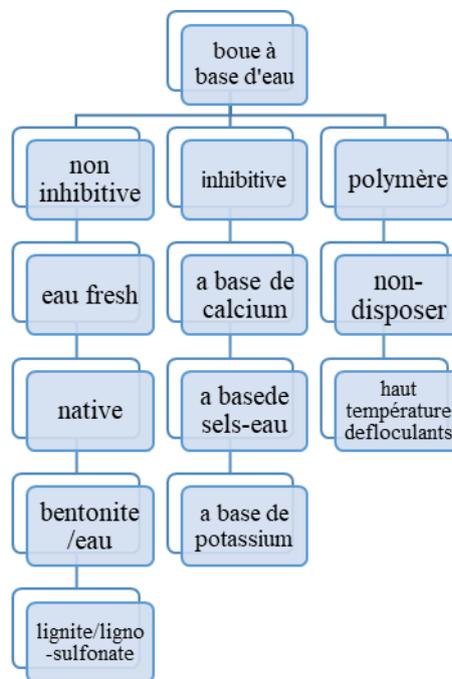
Les boues à base d'eau sont des boues dont la phase continue est l'eau, éventuellement chargée en NaCl. Elles sont généralement utilisées pour forer les sections supérieures d'un puits. Pendant le forage, les matériaux des formations traversés s'incorporent dans la boue et peuvent ainsi changer sa composition et ses propriétés. Elles se présentent essentiellement comme suit : Les boues douces dont la teneur en NaCl ne dépasse pas quelques g/l.

Ces boues douces (benthoniques) sont principalement constituées par une suspension colloïdale d'argiles, plus précisément de la bentonite sodique dans l'eau. La concentration en bentonite varie généralement de 30 à 70 g/l selon le rendement de la

bentonite et les caractéristiques de la boue désirées. Cependant, occasionnellement, des traitements supplémentaires pourront être faits avec des phosphates

Les boues salées dont la teneur en NaCl peut être comprise entre quelques dizaines de g/l et la saturation. Ces boues sont utilisées pour la traversée des zones salifères pour éviter le cavage et elles sont constituées d'eau, de sel (généralement NaCl), de colloïdes minéraux (attapulgite ou sépiolite), de colloïdes organiques (amidon), d'un fluidifiant minéral ou organique (chaux, soude). [19]

Et en vue de mieux comprendre le large spectre des boues à base d'eau, elles sont divisées en trois majeures sous-classes dans l'organigramme suivant voir la figure 1 :



**Figure 1 :** Organigramme représentatif des types de fluide de forage à base d'eau (WBM)

- **Les boues non-inhibitrices :**

Celles qui ne stoppent pas significativement le gonflement, ceux sont des composés d'argile native ou de bentonite commerciale avec de la soude caustique ou du calcaire, elles peuvent aussi contenir des défloculants et/ou dispersants comme : lignites, lignosulfates ou phosphates. [20]

- **Les boues inhibitrices :**

Qui peuvent retarder sensiblement le gonflement de l'argile, achèvent l'inhibition par la présence de cation, typiquement :  $Ca^{++}$ ,  $Na^+$ , généralement  $K^+$ , ou une combinaison des deux, procure une meilleure inhibition de la dispersion de l'argile. Ces systèmes sont généralement utilisés pour le forage de l'argile hydratante. Car la source des cations est généralement un sel, la disposition peut devenir une majeure portion du coût de l'utilisation d'une boue inhibitrice. [20]

- **Les boues polymères :**

Celles qui dépendent des macromolécules, avec ou sans interactions avec l'argile pour fournir les propriétés de la boue, et ont des applications très diverses. Ces boues peuvent être inhibitrices ou non-inhibitrices, cela dépend de l'utilisation d'un cation inhibiteur. Les polymères peuvent être utilisés pour épaissir les boues, contrôler les propriétés de filtration, défouler les solides ou les encapsuler. La stabilité thermique des systèmes polymères peut atteindre 400 F0 malgré leur diversité, les boues polymères sont limitées, les solides présente une majeure menace pour le bon déroulement du cout effectif du système de la boue polymère. [20]

### *I-4-7-2-Les fluides à base d'huile :*

Ces fluides sont désignés par "Oil Based Muds" ou OBM.

L'origine de l'utilisation de l'huile dans les fluides de forage remonte aux premiers forages effectués à Oklahoma City (1934-1937) au cours desquels ils ont constaté une amélioration des performances de forage après ajout de l'huile brute. Les fluides à base d'huile sont des fluides dont la phase continue est une huile minérale (pétrole brut, fuel, gasoil, ...) et la phase dispersée est de l'eau. [14]

Par définition, les fluides de forage à base d'huile contenant plus de 5% d'eau sont appelés boues de forage en émulsion inverse ; avec moins de 5% d'eau, on a les boues à l'huile. [21]

L'huile de base constitue la phase liquide continue dans laquelle les autres constituants sont émulsionnés ou mis en suspension. Selon les contraintes de sécurité et

environnementales, on utilise des huiles de différentes compositions allant de l'huile diesel à l'huile minérale dés-aromatisée. [1]

### *I-4-7-3-Les fluides de forage gazeux :*

Ce sont des fluides dont la phase continue est du gaz mélangé avec de l'eau en proportions variables provenant de la formation traversée (inévitablement) ou ajoutés intentionnellement. Le gaz peut être de l'air ou du gaz naturel, de la mousse ou du brouillard. [7]

### *I-4-8- Circulation du fluide de forage :*

La majeure partie du fluide de forage utilisée dans une opération de forage est recyclée en continu dont le cycle est résumé dans les étapes suivantes et exprimé par la figure 2 ci-dessous :

- Le fluide de forage est mélangé et conservé dans le bassin de décantation.
- Une pompe achemine le fluide de forage dans la tige de forage qui descend jusqu'au fond de puits.
- Le fluide de forage sort de l'extrémité de la tige de forage et tombe au fond du puits où le trépan est en train de forer la formation rocheuse.
- Le fluide de forage emprunte ensuite le chemin inverse en remontant à la surface les morceaux de roche, appelés déblais, qui ont été arrachés par le trépan.
- Le fluide de forage remonte jusqu'à l'espace annulaire, entre la tige de forage et les parois du puits. Le type de diamètre d'une tige de forage est d'environ 10 centimètres (4 pouces). Au bas d'un puits profond, le puits peut mesurer 20 centimètres (8 pouces) de diamètre.
- A la surface, le fluide de forage circule dans la conduite d'aspiration de fluide de forage, une tige qui mène au tamis vibrant.
- Les tamis vibrants se composent d'un ensemble de crépines métalliques vibrantes servant à séparer le fluide de forage des déblais, le fluide de forage s'égoutte dans les crépines et est renvoyé vers le bassin de décantation.
- Les déblais de la roche glissent le long de la glissière du tamis pour être rejetés. En fonction des impératifs environnementaux, notamment, ils peuvent être lavés avant

leur rejet. Une partie des déblais est prélevée pour être examinée par des géologues afin d'étudier les propriétés des roches souterraines présentes au fond du puits. [22]

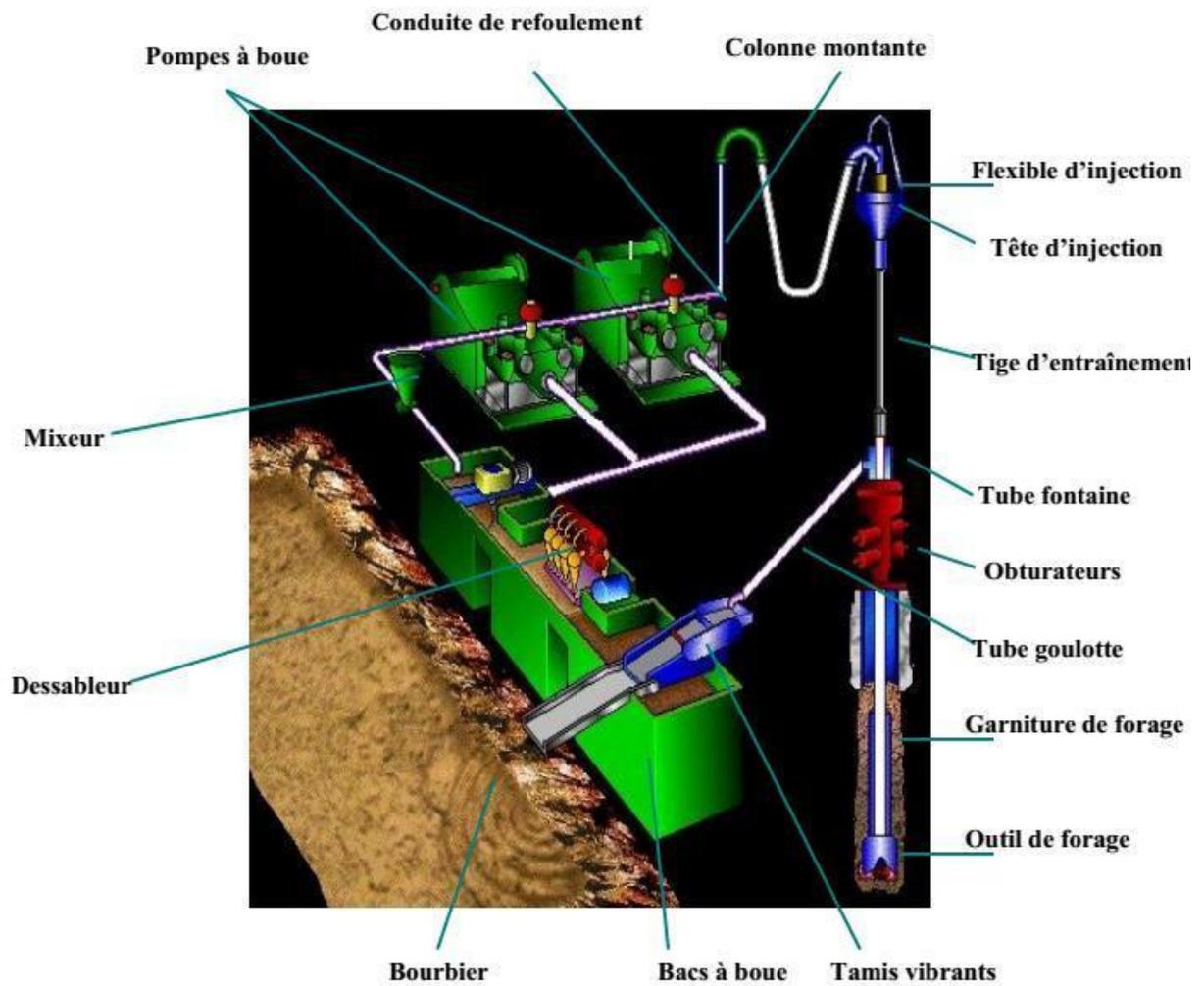


Figure 2 : Schéma de circulation de la boue dans un site pétrolier

# Chapitre II :

*Impacts des fluides de forage sur l'environnement*

---

### II-1-Introduction :

Les fluides de forage à base d'huile présentent un intérêt pratique et économique considérable en particulier pour le forage des zones argileuses sensibles, des puits fortement désignés déviés ou horizontaux, ou lorsque les températures élevées sont rencontrées.

Les utilisations intensives ont fait une source importante de pollution importante. Des quantités assez considérables sont rejetées chaque année dans le désert. Ces derniers sont à 90% rejetées sous forme d'huile absorbée sur les déblais de forage.

La détermination de l'impact de cette pollution sur l'environnement a fait l'objet de nombreuses recherches qui ont mis en évidence les effets perturbateurs sur l'environnement établi près de la plateforme de forage.

Parmi les plus grands problèmes causés par la pollution est dû au forage. La contamination des nappes phréatiques et aquifère. Dans la région de HASSI MESSAOUD les nappes constituent une source d'eau importante, qui alimente aussi bien les champs d'agriculture que les habitants de la région, de façon constante.

À l'échelle mondiale la meilleure connaissance de ses effets a eu pour conséquence une évolution rapide est très restrictive de législations sur l'utilisation des boues à base d'huile.

Ces restrictions sont actuellement plus au moins sévères, elles ont tendance à s'harmoniser sur les bases des plus restrictive. On observe ainsi l'interdiction des rejets en mer des déblais forés en boue à l'huile comme en Californie et au Danemark.

Donc l'industrie pétrolière s'est trouvée confrontée une évolution extrêmement rapide, des législations se traduisent par des conditions limitatives sur les additifs chimiques autorisés, et sur les rejets des déblais de forage. [9]

### II -2-Définition de déchets de forage :

La boue de forage est le fluide qui circule de haut en bas à l'intérieur des tiges et de bas en haut dans l'annulaire (espace entre le train de tiges et le trou foré) pendant un forage pétrolier.

Le rôle de la boue de forage est multiple : permettre la remontée des déblais de forage en surface, assurer l'équilibre du trou en maintenant par sa densité une contrepression un peu supérieure à la pression des formations traversées, limiter l'invasion des réservoirs par les fluides de forage grâce à la formation d'un "cake" protecteur, et contribuer par sa pression de débit au niveau de l'outil de forage au démantèlement des roches traversées. [23]

Les déblais de forage sont des petits morceaux de roche qui sont éjectés par l'action du trépan au fond du puits. La plupart des trépans travaillent la roche par grattement ou broyage rotatif.

Les déblais de forage sont amenés à la surface, entraînés par les boues de forage, et en surface sont traités pour séparer les boues des déblais.

La boue est réutilisée tandis que les déblais sont déchargés récupérés pour être traités (normalement par solidification/stabilisation ou désorption thermique). [9]

### II -3-Catégorie des déchets pétroliers :

Les sites pétroliers sont d'importants générateurs de déchets. Certains modes de gestion utilisés par le passé ont généralement entraîné la formation de lagunes remplies de déchets hydrocarburés, qui ont à leur tour contaminé le sol et parfois la nappe d'eau sous-jacente. [24]

Ils existent deux types de déchets :

- **Déchet dangereux** : un déchet dangereux est défini comme étant tout liquide ou solide qui en raison de sa quantité, de ces caractéristiques physiques, chimiques ou infectieuses peut engendrer des risques à la santé humaine ou à l'environnement une fois incorrectement traité, stocké, transporté ou disposé. Le déchet peut être classifié comme dangereux quand il répond à l'une des deux conditions :

- Le déchet est spécifiquement régulé par une autorité gouvernementale ou organisation internationalement identifiée.
  - Le déchet possède une ou plusieurs des quatre caractéristiques dangereuses suivantes : inflammabilité, corrosivité, réactivité ou toxicité. [9]
- **Déchet non dangereux** : La définition d'un déchet de forage non dangereux , comme reconnue par la plupart des agences environnementales est donnée comme suit : est considéré comme déchet non dangereux tout résidu d'installation de traitement , d'approvisionnement , tout matériel jeté qui ne cause pas ou ne contribue pas de manière significative à un risque actuel ou substantiel ou autrement contrôlé et qui ne présente aucune des caractéristiques relatives à la dangerosité : toxicité , explosivité, corrosivité ...etc. . [9]

### II -4-Définition d'un borbier :

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 majeur 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" voir les figures 3 et 4 ci-dessous. [25]



**Figure 3 :** Bourbiers étanche avant le forage



**Figure 4 :** Bourbiers après le forage

Sur le plan environnemental, en plus des pertes de circulation des fluides pendant et après le forage, le borbier, en tant que collecteur d'effluents liquides et les déchets solides issus du forage, représente une grande source de pollution et de danger pouvant induire des nuisances pour la santé humaine. Le borbier est un vaste bassin de plusieurs mètres cubes de capacité, mi- creusé dans le sol, mi entouré de merlons réalisés avec des déblais. On y déverse :

- La boue en excès pendant le forage.
- La boue retirée en fin de forage quand celui-ci doit être bouché (puits sec) ou équipé pour produire (forage ayant rencontré des Hydrocarbures en quantités suffisantes pour être exploité).
- Les déblais boueux résultant du traitement de la boue usée en cours de forage.
- Certaines eaux de surface (eau de lavage).

Dans les borbiers, les effluents se séparent par décantation, ils se disposent de la surface vers le fond comme suit : [26]

- Les hydrocarbures.
- L'eau.
- Les résidus solides très hydratés.

### ➤ **Types de borbiers :**

- **Borbier artificiel :** C'est une fosse de 2000 à 3000 m<sup>3</sup> qui sert à recevoir les rejets de sonde.
- **Borbier semi artificiel :** Par creusement d'autre fosse de moyenne capacité du genre bassin de décantation ou les eaux sont souvent en débordement.
- **Borbier naturel :** Qui est un véritable cours d'eau coulant dans la nature. Les cuttings et les autres solides se déposent en épandage près de la sonde. [26]

### *II -4-1-Influence du borbier sur l'environnement :*

Les bourbiers (cuttings) sont principalement contaminés par des hydrocarbures (gasoil ou pétrole, provenant de la boue à base d'huile) et des métaux lourds (provenant principalement des additifs de la boue). Les cuttings risquent de contaminer le sol et le sous-sol par les actions suivantes voir la figure 5 ci-dessous :

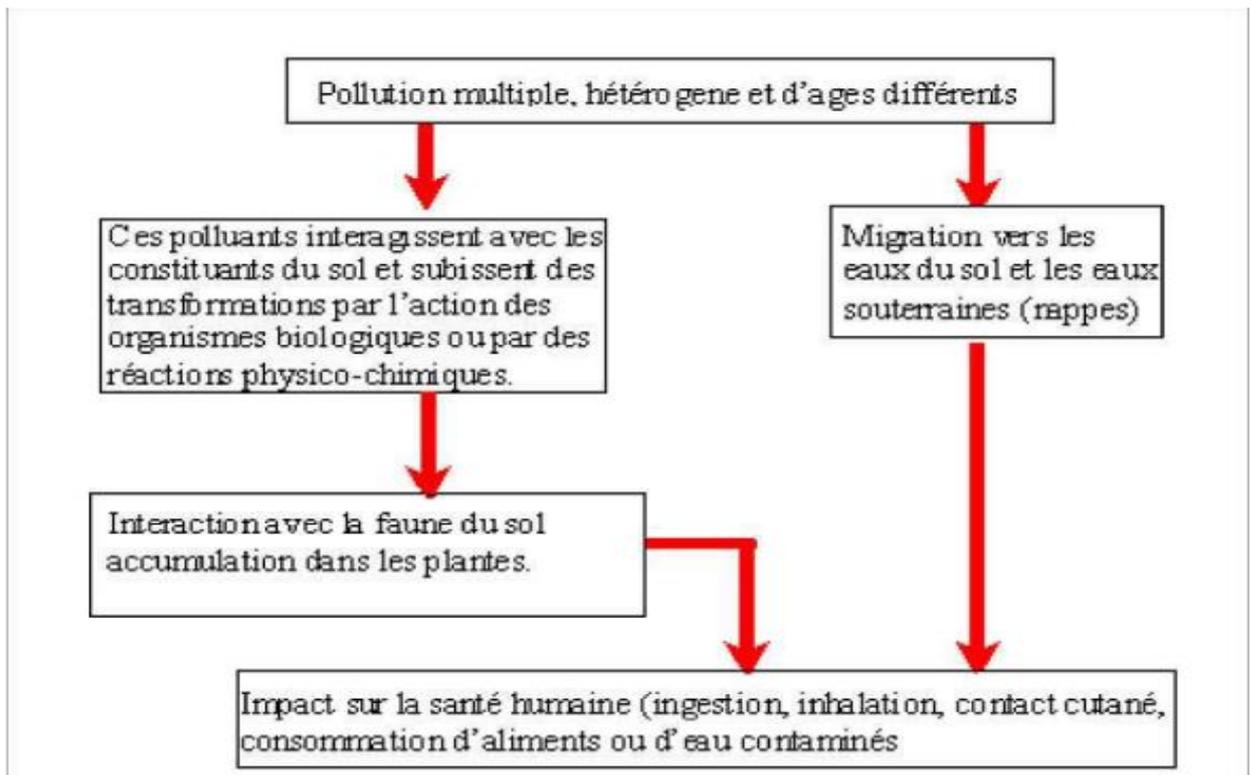


Figure 5 : Action des polluants dans le sol

Le bourbier est un lieu d'isolement des déchets de boue du forage les éléments essentiels qui constituent ces déchets sont des hydrocarbures (gasoil), l'eau, et les solides qui contiennent des métaux lourds. [27]

### a. Métaux lourds :

Certains contaminants tels que les métaux, sont susceptibles d'être toxiques de façon immédiate envers un être vivant. En raison de leurs propriétés chimiques (solubilité, état d'oxydation) les métaux se présentent sous différentes formes (ions, complexes) et liés à divers ligands. Leur spéciation influence directement sur leurs toxicités et leurs biodisponibilités. La présence simultanée de plusieurs métaux peut engendrer une toxicité supérieure à celle de chaque métal séparé. Par exemple, le zinc, le cadmium et le cuivre sont

toxiques faibles pH et agissent en synergie pour inhiber la croissance des algues et affecter les poissons. [27]

### **b. gas-oil :**

La stabilité des hydrocarbures aliphatiques est assez élevée, leur dégradation dans l'environnement, sous l'effet de la lumière ou des bactéries étant très lent, mais l'exposition très lente à l'air libre puisque les bourbiers de forage sans toit et des haute température connu au désert algérien cause l'évaporation du gas-oil il donne naissance à des vapeurs de benzène et du toluène qui sont dangereux même à faible concentration.

Dans le cas des hydrocarbures plus légers que l'eau, la quantité déversée doit être suffisante pour qu'il ait constitution d'une phase continue. Sinon, la pollution se manifestera sous forme de gouttelettes d'huile piégées dans les pores constituant autant de micro-sources de pollution, par relâchement dans la phase eau de composants solubles.

L'effet des déchets isolé dans le bourbier se manifeste pas rapidement leur impact apparait après leur transformation. Des procédures sont mise en place pour protéger environnement par le traitement des bourbiers, avec des méthodes modernes en modes online et offline, distillation pour récupérer l'eau et le gasoil.

La SONATRACH-division forage a consenti des investissements conséquents dans le but de prendre en charge les rejets inhérents à l'activité. Pour ce qui est du traitement, deux modes distincts sont adoptés :

- Les traitements en modes online : ou le prestataire de service de traitement intervient en parallèle avec les travaux de construction du puits.
- Les traitements en mode offline : ou le prestataire de service de traitement intervient après la fin des travaux sur un puits donné et le déménagement de l'appareil de forage. [27]

### ***II -4-2-Problématiques lié à la conception d'un bourbier :***

Sur le plan environnemental, en plus des pertes de circulation des fluides pendant et après le forage, le bourbier en tant que collecteur des produits liquides et solides issus du forage représente une grande source de pollution et de danger.

A la sortie du puits, le fluide de forage remonte chargé de déblais. Ces derniers séparés du fluide de forage par tamisage, sont rejetés dans une grande excavation, réalisée à cet effet appelée : Bourbier. Il se trouve que ces rejets gardent en rétention des quantités importantes du fluide porteur par un phénomène appelé : enrobage ou encapsulation.

Lorsque c'est une OBM qui est utilisée on mesure le pourcentage massique d'huile sur les déblais ou OOC% (Oil On Cutting). Ce dernier dépend de la nature de la roche, des caractéristiques du fluide, de la taille et de la forme des déblais. [9]

### II -5- Stratégie de l'état algérien dans le domaine environnemental :

L'Algérie a mis en place durant les quatre dernières décennies, un arsenal juridique, tels que des arrêtés, des décrets et des décisions ayant pour objectif dans leur globalité la protection de l'environnement. Dans ce qui suit nous avons rassemblé quelques données relatives à la législation Algérienne en matière d'environnement. [1]

- 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.
- 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.
- Décret exécutif n°06-198 du 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement étude de danger ; articles 12-13-14-15.
- Décret exécutif n°06-198 du 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement. /audit environnemental articles : 44-47-48.
- Décret exécutif n° 05-240 du 28 juin 2005 fixant les modalités de désignation des délégués pour l'environnement.
- 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.
- Décret exécutif n°98-147 du 13 mai 1998 fixant les modalités de fonctionnement du compte d'affectation spéciale n° 302-065 intitulé Fond nationales pour l'environnement.

- Décret exécutif n° 07-207 du 15 JoumadaEthania 1428 correspondant au 30 juin 2007 réglementant l'usage des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, de leurs mélanges et des produits qui en contiennent.
- 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.
- Décret exécutif n° 03-410 du 10 Ramadhan 1424 correspondant au 5 novembre 2003 fixant les seuils limites des émissions des fumées, des gaz toxiques et des bruits par les véhicules automobiles.
- Décret exécutif n°06-104 du 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets, y-compris les déchets spéciaux dangereux.
- Loi n° 01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. [27]

### II -6- Pollution par les fluides de forage :

#### *II -6-1- Problématique de la pollution du forage dans le monde en général et en Algérie en particulier :*

Le forage pétrolier présenté comme un projet qui pourrait rapporter gros à la plus grande puissance économique sud-américaine, il inquiète les défenseurs de l'environnement qui voient dans ce forage pétrolier une menace pour les paysages et l'écosystème brésiliens, réputés dans le monde entier.

Le pétrole : la richesse contre l'écosystème

Comptage de l'eau : tout forage doit être muni d'un moyen de comptage permettant de connaître les volumes prélevés. Ces derniers doivent être consignés dans un registre pour une durée minimale de 3 ans.

Responsabilité en cas de pollution : tout propriétaire doit s'assurer que l'état de son ouvrage n'est pas de nature à dégrader les eaux souterraines. Tout incident sur un forage et présentant un danger pour la qualité de la nappe doit être signalé à la préfecture.

Afin d'éviter d'éventuelles pollutions, le forage doit donc être correctement réalisé et aucun produit polluant ne doit être stocké à proximité (produits de jardinage type désherbant chimique, produit d'entretien de véhicule type huiles et hydrocarbures etc.)

Un forage défectueux ou abandonné constitue un vecteur de transfert de pollution vers les nappes. Il est donc nécessaire de le reboucher, d'autant plus si un nouveau forage a été réalisé à proximité.

Le rebouchage doit être réalisé dans les règles de l'art et nécessite donc de faire appel à un professionnel.

Le non-respect de la règle de droit s'accompagne de dommages écologiques et de risques de pollution. Des forages mal conçus, mal réalisés, mal entretenus, mal fermés conduisent à plusieurs types de risques de pollution. [1]

### II -7-Impacts des déblais de forage :

Les impacts environnementaux des activités de forage seraient minimaux si les déchets demeuraient à leur point de rejet. Malheureusement, ces déchets peuvent être transportés d'un point à un autre selon certaines voies de migration. La libération des polluants contenus dans la source vers l'environnement ne s'effectue pas de façon homogène et elle dépend aussi bien des polluants que de la nature des solides porteurs. [9]

#### II -7-1- Sur l'environnement :

L'impact primaire des déchets de forage sur l'environnement est l'exposition des organismes à la toxicité de ces déchets. La toxicité d'une substance est définie comme étant sa concentration dans l'eau résultant en la mort de la moitié des organismes en une durée donnée.

La toxicité entre de trois manières dans les déchets de forage : dans la composition chimique de la boue, dans son stockage et dans les déblais de forage. La composition de la boue est le contribuant le plus important parce qu'elle inclut des produits intentionnellement ajoutés aux fluides de forage pour maintenir ses propriétés.

Le risque de contamination du sol, spécialement par les fluides de forage est très haut, ceci peut engendrer un changement des caractéristiques physico-chimique 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. [9]

### *II -7-2- Sur la santé :*

Les sols contaminés par les hydrocarbures présentent un danger lors d'un contact direct avec l'homme ou lors de leur transfert dans la chaîne alimentaire par le phénomène de bioaccumulation. La toxicité des hydrocarbures vis-à-vis des personnes et de l'environnement dépend de leur structure et de leur concentration.

Parmi les effets sur la santé qui peuvent être associés aux fluides de forage, des irritations dermiques, respiratoires et même des effets cancérigènes, notamment dus aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). En plus des effets toxiques, mutagènes et cancérigènes des HAP, on note de sérieux problème concernant leur oxydation, leur bioaccumulation et leur adsorption dans le sol. [9]

### *II -7-3- Sur la qualité d'air :*

La source principale d'impact sur la qualité de l'air de ces activités est rémission de particules et de poussière.

La préparation d'un emplacement (figure ci-dessous) peut nécessiter des mouvements de terres considérables et du transport de matériel de construction des carrières. Des émissions des gaz de combustion sortent des pots d'échappement des véhicules et de la machinerie lourde utilisée dans les activités de construction de pistes, routes, et préparation de sites. Ces émissions contiennent du monoxyde de carbone, oxyde d'azote et dioxyde de soufre.

L'électricité nécessaire aux activités de forage sera fournie par des groupes électrogènes situés dans la plateforme de forage voire la figure 6 ci-dessous. [9]



**Figure 6 :** Préparation d'un terrain de forage

### II -8- Traitement de la pollution des déblais de forage :

Pour résoudre un problème de décontamination d'un sol, il n'y a pas de solution exclusive. Le traitement à mettre en œuvre est souvent une combinaison de plusieurs techniques.

Le choix est fonction principalement de la nature du sol, des polluants présents, des objectifs de dépollution à atteindre, des délais imposés, de l'espace disponible, du contexte économique et réglementaire et de la destination future du site. Il existe plusieurs techniques classiques pour les cas de pollution les plus courants. [28]

#### *II -8-1- Traitement thermique :*

Les techniques de traitement thermiques emploient les températures élevées (de l'ordre de 500°C) pour récupérer les hydrocarbures qui souillent les rejets.

Le traitement thermique est le traitement le plus efficace pour détruire les produits organiques, réduire également le volume et la mobilité des produits inorganiques tels que les métaux et les sels. Un traitement additionnel peut être nécessaire pour les métaux et les sels, selon la destination finale des rejets. Les rejets à forte teneur en hydrocarbures (en général 10 à 40%), comme la boue à base d'huile, sont de bons candidats pour le traitement

thermique. Celui-ci peut constituer une étape préliminaire pour réduire la toxicité et le volume des rejets et de les préparer à un traitement final avant leur stockage ou réutilisation (par exemple comme matériaux de remblai). [28]

La désorption thermique consiste à faire passer à l'état gazeux, sous l'action de la chaleur (250 à 600 °C), les polluants absorbés dans les sols. Les sols pollués sont introduits dans un désorbeur qui va assurer le transfert physique des polluants, de la "phase solide" vers "la phase gazeuse".

Le sol dépollué est refroidi à l'air ou à l'eau et ré humidifié pour éviter toute émission de poussières. Les gaz issus du désorbeur sont traités avant rejet à l'atmosphère par postcombustion, lavage des gaz et dépoussiérage. L'efficacité de la désorption est fonction des températures et des temps de séjour utilisés. Les niveaux de température nécessaires au processus de désorption dépendent de la masse moléculaire moyenne des produits à désorbeur. On distingue deux types de procédés en fonction du niveau de température :

1. Les procédés à basse température (250°C à 450°C) utilisés pour les polluants les plus volatils dont l'avantage est d'être peu « agressifs » pour les terres et de ne pas aboutir à une minéralisation complète de celles-ci.

2. Les procédés à moyenne température (450°C à 650°C) utilisés pour les composés les plus lourds dont les niveaux de température permettent non seulement la désorption mais également la destruction pyrolytique partielle des composés polluants contenus dans les terres voire la figure 7 suivante : [1]

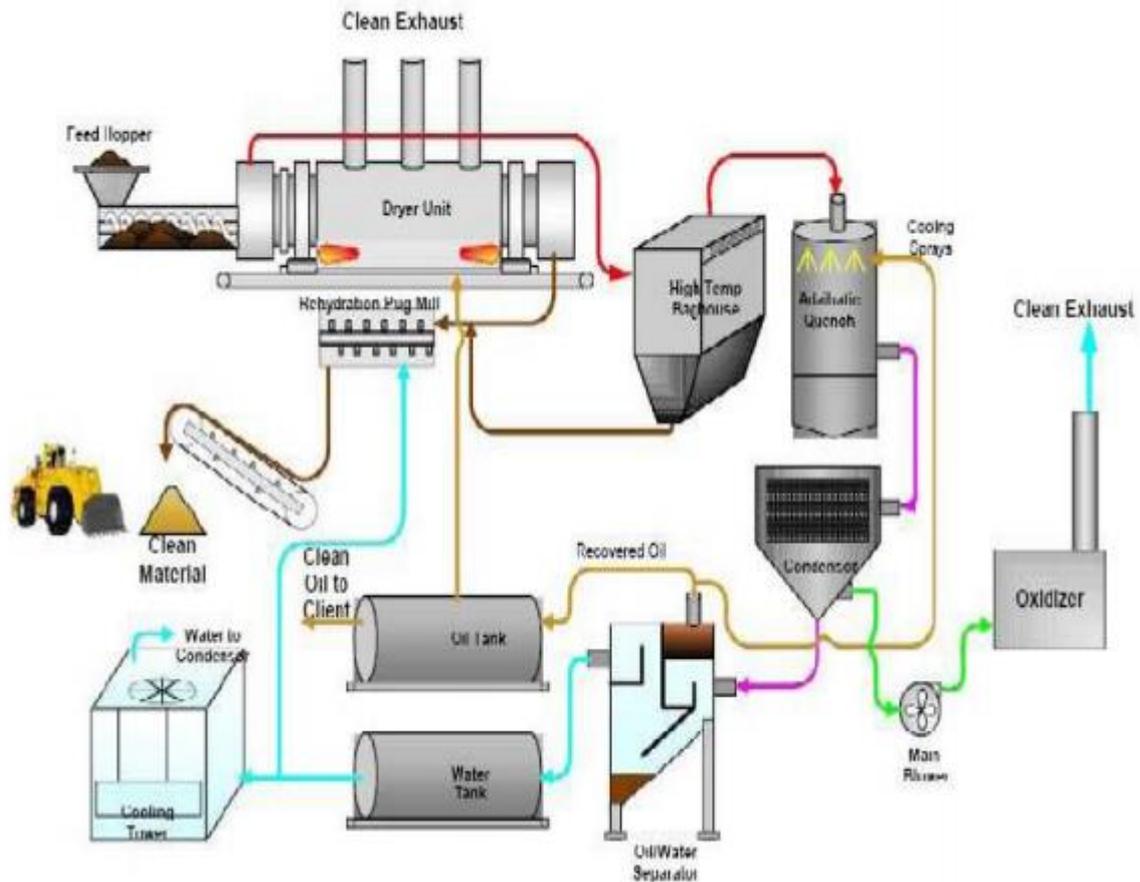


Figure 7 : Présentation d'une unité de traitement thermique

### II -8-2- Traitement biologique :

Les traitements biologiques ou la bioremédiation désigne les processus de dégradation des polluants par des méthodes biologiques utilisant le potentiel métabolique des microorganismes pour détériorer des composés organiques variés. Elle constitue une solution écologique, non destructive et économique. Des inconvénients limitent l'utilisation de cette technique comme la longue durée du processus et le fait que son résultat est imprévisible. [29]

### *II -8-3- Traitement par Stabilisation/Solidification :*

#### *II -8-3-1- Introduction :*

Contrairement à d'autres techniques de traitement où les contaminants sont enlevés ou détruits, la stabilisation et la solidification consistent à utiliser un liant afin de transformer une matière résiduelle ou un sol contaminé en un solide monolithique. Les contaminants sont fixés (stabilisation) et encapsulés (solidification) dans le monolithe de façon à réduire leur mobilité et leur toxicité. Il est nécessaire d'évaluer les performances de la stabilisation et de la solidification afin de s'assurer de l'efficacité du liant à immobiliser les contaminants. Les présentes lignes directrices fournissent un cadre d'évaluation permettant une gestion adéquate du risque en fonction de différents scénarios de gestion des matières résiduelles traitées ou des sols contaminés traités par stabilisation et solidification. Cet objectif peut être atteint en réalisant différents essais physiques ou chimiques dont les résultats sont comparés à des critères de rendement modulés en fonction des scénarios. Au Québec, la stabilisation et la solidification sont utilisées depuis plusieurs années pour le traitement avant enfouissement des matières dangereuses résiduelles ou des sols excavés et contaminés par des métaux. La stabilisation et la solidification peuvent également servir à réhabiliter, lors de la procédure d'évaluation des risques, certains terrains dont les sols sont contaminés par des métaux. Après une brève description à la section 2 de différents procédés de stabilisation et solidification, le reste des présentes lignes directrices porte sur l'ajout de liants hydrauliques (principalement le ciment) pour le traitement des métaux ou métalloïdes. [30]

Les procédés de stabilisation-solidification des déchets dangereux ont été largement développés au stade industriel et permettent de trouver des solutions économiques et environnementales fiables. L'industrie nucléaire a été un précurseur dans le domaine puisqu'il a fallu, dès l'origine, prévoir un mode de gestion efficace et sûr pour des déchets radioactifs dont la nocivité à long terme est évidente. Aujourd'hui, l'incinération est une filière largement appliquée pour le traitement des ordures ménagères avec valorisation énergétique. Des déchets industriels sont aussi éliminés par incinération. Ces procédés thermiques engendrent des résidus : des mâchefers, des résidus d'épuration des fumées d'incinération d'ordures ménagères ou de déchets industriels (REFIOM ou REFIDI). La solidification à l'aide de liants hydrauliques permet de stabiliser les

déchets dangereux et d'obtenir des solidifiés qui peuvent être stockés dans des sites spécialement aménagés, dans de bonnes conditions de sécurité environnementale (centres de stockage de déchets dangereux stabilisés). [31]

Le stockage des déchets constitue un terme Source de pollution. Pour limiter les risques de dissémination, les déchets dangereux doivent être solidifiés ou stabilisés avant leur enfouissement (arrêté du 30 décembre 2002 relatif au stockage des déchets dangereux).[32]

### *II -8-3-2- Principe de la Stabilisation/Solidification :*

La stabilisation limite le caractère polluant d'un déchet en réduisant la solubilité des éléments incriminés. La solidification, quant à elle, confère au déchet un caractère solide massif empêchant l'éparpillement par le vent ou par l'eau des particules du déchet. Elle diminue également les risques de pollution en limitant les contacts entre l'eau et le déchet du fait de la faible porosité, et par conséquent, de la faible perméabilité des matrices issues des procédés de solidification. [32]

Il s'agit de faire en sorte que les contaminants d'une matière résiduelle ou d'un sol se retrouvent sous une forme où ils seront immobiles. Selon la nature du matériau traité et le type de procédé, les contaminants peuvent s'intégrer directement dans la matrice par formation de liens chimiques ou y être emprisonnés. Dans ce dernier cas, les contaminants peuvent être inclus dans un solide amorphe constituant la matrice. Les contaminants peuvent aussi être emprisonnés dans les pores discontinus que l'on y retrouve. [1]

Les traitements de Stabilisation/solidification ont pour but d'améliorer la rétention des polluants et de conférer au matériau obtenu un certain niveau de durabilité structurale. Leur objectif n'est donc pas de réaliser un simple enrobage du matériau contaminé dans une matrice inerte, mais un processus physico-chimique complexe pour obtenir la stabilisation et la solidification des polluants. [32]

### *II -8-3-3-Etapes de traitement :*

- **La stabilisation :** ou fixation chimique, consiste à réduire le potentiel polluant des déchets ultimes. Il s'agit en effet de transformer les espèces chimiques polluantes en composés stables ayant un potentiel polluant faible ou en composés retenus par des mécanismes d'adsorption ou d'échanges d'ions. Cette rétention chimique des polluants se produit grâce à la formation de liaisons chimiques entre les polluants et les composés de la matrice. [32]. La stabilisation des déblais est une opération qui consiste à diminuer leurs toxicités, le plus souvent sous une forme chimique moins facilement mobilisable par l'environnement, cette étape ne change pas forcément leurs propriétés physiques des déblais. [1]
- **La solidification :** La solidification est une opération qui transforme les déblais en un solide c'est-à-dire bloquer définitivement les polluants actifs des déblais de forage en utilisant un liant hydraulique qui sont des produits chimiques dilués dans l'eau et qui sont de silicate de sodium ( $\text{SiO}_2 \text{Na}_2\text{O}$ ) ou silicate de potassium ( $\text{SiO}_2\text{K}_2\text{O}$ ) et du ciment. Le silicate donne un précipité insoluble lorsqu'ils réagissent avec une réaction polyvalente tel que : calcium, magnésium et ces dernier forme un film imperméable autour des particules du solide, aussi, en présence des métaux lourds, ils donnent un précipité insoluble. Le ciment enrobe et renforce la qualité du film du silicate suite à la réaction chimique avec le calcium libérer, le ciment utilisé réagit avec le calcium pour obtenir un produit silicate insoluble à la fin de cette réaction et avec le temps ce mélange devient solide et dur, c'est ce qui forme un produit stable et inerte voire la figure 8 ci-dessous. [33]

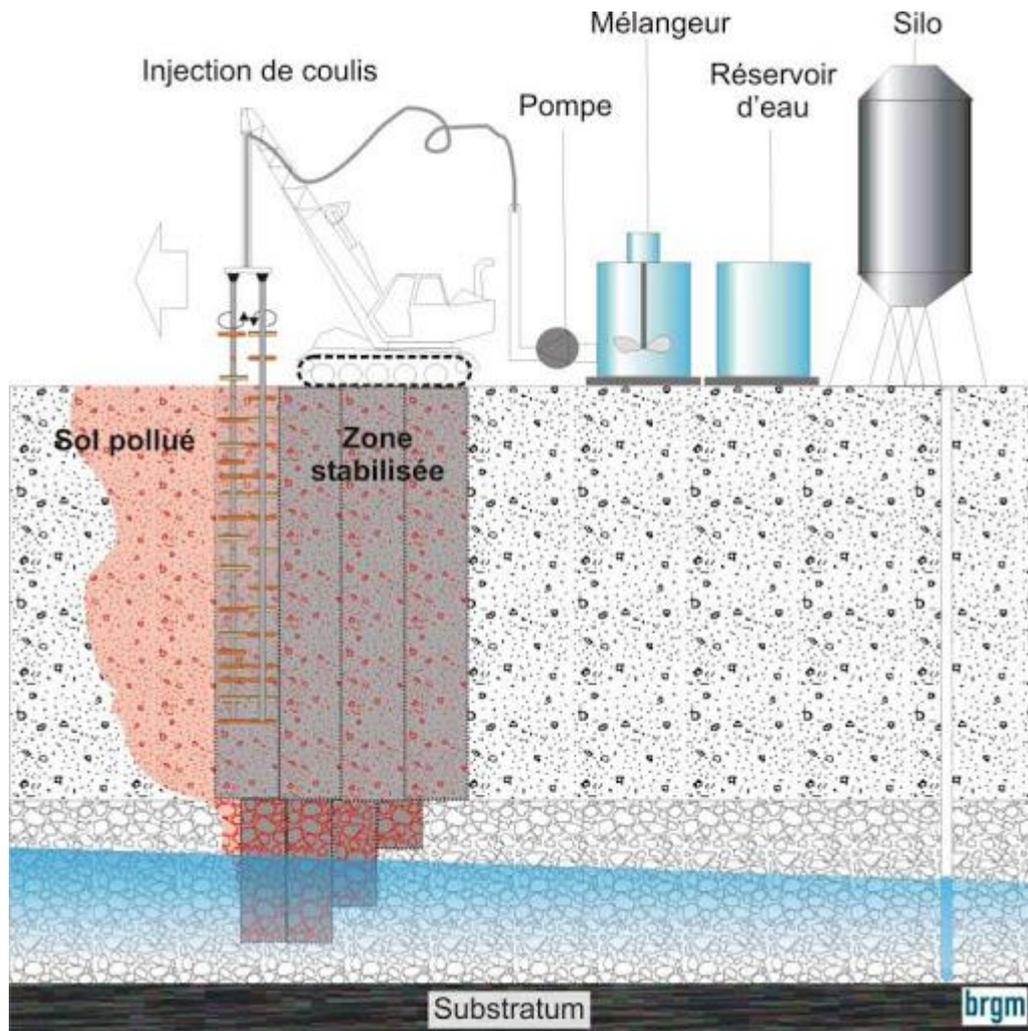


Figure 8 : Fonctionnement du procédé stabilisation solidification

#### II -8-4- Le traitement physico-chimique :

Le but de traitement physico-chimique est d'abaisser la nocivité des déchets toxiques par des réactions chimiques appropriées ou des procédés physiques de séparation : précipitations sous forme de boues, oxydation, réduction, neutralisation, etc. La détoxification recouvre donc divers traitements physico-chimiques qui permettent de supprimer, sans recours au feu, les effets toxiques de certains déchets. Elle est applicable à certains types de substances essentiellement des minéraux solides ou liquides aqueux (eaux, métaux lourds ou acides).

Ces processus concernent la mise aux normes des déchets solides avant leur enfouissement.

Le tableau 2 ci-dessous résume les différentes méthodes physico-chimiques de traitement ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients : [34]

Procédé	Avantages	Inconvénients
<b>Précipitation</b>	Mise en œuvre relativement faible	Production de boue importante
<b>Hypochlorite de sodium</b>	Élimination rapide des colorants ; cout très abordable ; manipulation simple	Production de sous- produit cancérigènes
<b>Ozone</b>	Bonne capacité de traitement d'une grande variété de polluants métalliques et de colorants	Courte durée de vie ; produit relativement cher
<b>Peroxyde d'hydrogène</b>	Cout très abordable	Stabilité à l'eau pur , donc nécessité d'utiliser un catalyseur
<b>Réactif de fenton</b>	Efficace pour l'élimination des colorants résistant à la biodégradation	Forte production de boue
<b>Electrochimie</b>	Elimination rapide et efficace des polluants métalliques et des colorants	Cout énergétique élevé
<b>Photochimie</b>	Elimination des colorants sans production de boue	Investissement de base relativement élevé ; formation de sous- produits

**Tableau 2 : Avantages et inconvénients des traitements physicochimiques des déchets**

### II -9- Les ciments :

Les liants hydrauliques sont des poudres fines constituées de sels minéraux anhydres réactifs en présence de l'eau. Ils s'hydratent en présence d'eau pour former un matériau solide, véritable roche artificielle. Le terme ciment désigne plusieurs catégories de produits, chacune étant définie par sa composition et des classes caractérisant les résistances mécaniques atteintes à des échéances données. Le liant hydraulique le plus couramment utilisé est le ciment Portland artificiel (CPA-CEMI). Il résulte du broyage du clinker, obtenu par la cuisson (à 1450°C) d'un mélange approprié de calcaire (80%) et d'argile (20%), avec environ 5% de gypse (CaSO<sub>4</sub>) pour régulariser la prise. Les autres catégories de ciment sont obtenues par ajouts de constituants secondaires tels que le laitier granulé de haut fourneau, les matériaux pouzzolaniques, les cendres volantes, les schistes calcinés, les fumées de silice... Ainsi les clinkers peuvent être différents suivant les matières premières utilisées et le procédé de fabrication. La composition chimique du clinker est la suivante : [32]

Composants des clinkers	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> + K <sub>2</sub> O
Notation cimentière	C	S	A	F	M	N+K
% (en masse)	62-67	19-25	2-9	1-5	0-3	0-1.5

**Tableau 3:** Composition chimique du clinker

#### II -9-1-Différents types des ciments :

Les ciments sont très variés, ils vont des ciments portlands sans aluminate tricalcique aux ciments alumineux presque sans silicates, des chaux hydrauliques riches en chaux aux ciments de laitier au clinker, aux ciments pouzzolaniques... Ces ciments sont utilisés dans des conditions variées de climat et de cure et dans différentes formulations de bétons. Selon la norme française NF P 15-301, les ciments sont substitués en 5 types principaux voir le tableau 4 ci-dessous :

type I	ciment Portland
type II	ciment Portland composé
type III	ciment de Haut Fourneau
type IV	ciment pouzzolanique
type V	ciment au laitier et aux cendres

**Tableau 4 : Les cinq types de ciment**

Le tableau 5 ci-après illustre la composition des différents types de ciment et donne leur notation normalisée. On l'obtient en faisant suivre le code de l'ancienne classification (CPACEMI pour Portland artificiel) de la mention CEM puis du type de ciment. Ainsi le ciment Portland artificiel se note CPA-CEMI. [32]

Désignation	Notation	clinker K	Laitier de haut fourneau S	Fumée de silice D	Pouzzolanes naturelles Z	Cendres volantes		Schistes calcinés T	Calcaires L	Constituants secondaires
						Siliceuses V	Calciques W			
Ciment Portland	CPA-CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	0-5
Ciment Portland composé	CPJ-CEM II/A	80-94	6-20							
	CPJ-CEM II/B	65-79	21-35							
Ciment de haut fourneau	CHF-CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	0-5
	CHF-CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	0-5
	CLK-CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	0-5
Ciment pouzzolanique	CPZ-CEM IV/A	65-90	-	10-35		-	-	-	-	0-5
	CPZ-CEM IV/B	45-64	-	36-65		-	-	-	-	0-5
Ciment au laitier et aux cendres	CLC-CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30	-	-	-	-	0-5
	CLC-CEM V/B	20-39	31-50	-	31-50	-	-	-	-	0-5

Tableau 5 : compositions des différents types des ciments

**II -9-2- Classe de Résistance des ciments :**

En plus des valeurs caractéristiques des classes de résistance, la norme prévoit le respect de valeurs limites de résistance à la compression applicables à chaque résultat d’essai. Ces résistances sont mesurées sur « mortier normal » selon la norme NF EN 196 -1.

Les propriétés chimiques, qui sont un facteur important de la résistance des bétons à des ambiances agressives, concernent la teneur en anhydride sulfurique(SO3) inférieure à

4 % (3,5 % pour les classes 32,5 N, 32,5 R et 42,5 N) et en ions chlorure inférieure à 0,10 %. [35]

Les ciments sont répartis en trois classes de résistances ; 32.5 - 42.5 - 52.5, définis par la valeur minimale de la résistance caractéristique du ciment à 7 et à 28 jours. La résistance normale d'un ciment est déterminé sur des éprouvettes de mortier de ciment (Mortier normalisé ; 3sable/1ciment/0,5 Eau) et c'est la résistance mécanique à la compression mesurée à 28 jours conformément à la norme NF EN 196-1 et exprimée en N/mm<sup>2</sup>

(1 N/mm<sup>2</sup> = 1 MPa = 10 daN/cm<sup>2</sup>=10bars) , voire le tableau 6 ci-dessous : [32]

<b>Valeurs limites de résistance à la compression</b>			
<b>Classe de résistance</b>	<b>Résistances minimales absolues en MPa</b>		
	<b>2 jours</b>	<b>7 jours</b>	<b>28 jours</b>
<b>32,5 L</b>	–	10	30
<b>32,5 N</b>	–	14	30
<b>32,5 R</b>	8	–	30
<b>42,5 L</b>	-	14	40
<b>42,5 N</b>	8	–	40
<b>42,5 R</b>	18	–	40
<b>52,5 L</b>	8	–	50
<b>52,5 N</b>	18	–	50
<b>52,5 R</b>	28	–	50

Tableau 6 : Résistance du ciment

### *II -9-3- Les ajouts cimentaires :*

Les ajouts cimentaires tels que la fumée de silice, les cendres volantes et le laitier de haut-fourneau sont des résidus industriels utilisés en remplacement d'une partie du ciment lors de la production du béton. Les bétons contenant une proportion adéquate d'ajouts cimentaire peuvent atteindre des propriétés mécaniques et des performances de durabilité équivalentes, et parfois supérieures, à celles du béton ordinaire à cause de leurs actions hydrauliques ou pouzzolanique. [36]

L'utilisation des résidus industriels récupérés et recyclés, comme produits de remplacement partiel du ciment portland dans le béton, permet de réduire les émissions des gaz à effet de serre et se traduit par la fabrication d'un béton non polluant et durable sur le plan environnemental. La minimisation de l'élimination de ces résidus industriels et la diminution de la demande en ressources présente généralement une durée de vie plus longue que le béton traditionnel. [37]

### *II -9-4- Avantages et inconvénients des ajouts cimentaires :*

#### ➤ **Avantages :**

Les ajouts cimentaires qui ont représenté un sujet de recherche intéressent depuis 1970, sont maintenant reconnus et acceptés comme des constituants souhaitables, voire indispensables au béton pour des raisons technico-économiques et écologiques. [38]

#### • **Du point de vue technique :**

L'incorporation de particules très fines dans un mélange de béton permet d'améliorer sa maniabilité et de réduire le besoin en eau à une consistance donnée (sauf pour les matériaux de très grande surface active, comme les fumées de silice). Les ajouts cimentaires améliorent généralement la résistance mécanique, l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques. Enfin, parce qu'ils permettent une faible chaleur d'hydratation des ciments composés, les ajouts minéraux améliorent la résistance à la fissuration. [39]

#### • **Du point de vue économique :**

Le ciment portland est le composant le plus onéreux au cours de la production du béton, puis qu'il est un matériau à forte intensité d'énergie. La plupart des ajouts susceptibles de remplacer le ciment dans le mortier ou le béton sont des sous-produits de différentes industries et leur coût est souvent égal au coût du transport et de la manipulation, et à ce titre,

nécessite relativement moins d'énergie, sinon aucune, et sont moins coûteux que le ciment portland. [39]

- **Du point de vue environnemental :**

La production d'une tonne de ciment portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). En effet, la substitution d'une fraction de clinker permet d'obtenir des ciments aux propriétés mécaniques exploitables, ce qui permet une diminution de rejets de CO<sub>2</sub>.

Aussi cette valorisation permet l'élimination de ces sous-produits de l'environnement. [39]

- **Inconvénients :**

- Retard de prise
- Résistance à la compression à jeune âge plus faible.
- Mûrissement plus long.
- Le broyage et le transport plus cher. [34]

### II -10- Les mortiers :

#### *II -10-1- Définition du mortier :*

Un mortier est un simple mélange entre un liant (ciment ou la chaux) et du sable, gâché avec de l'eau. Néanmoins, au cours des quarante dernières années, les mortiers sont devenus de plus en plus complexes, du fait de l'ajout de multiples adjuvants. Ils font dorénavant intervenir plus d'une dizaine de composants. [40]

#### *II -10-2- Pourquoi étudier les mortiers ?*

Les mortiers ont connu un essor important ces dernières années en Algérie dans divers domaines à savoir : bâtiments, ouvrages d'arts, constructions spéciales, ...

Dans ce contexte, les laboratoires de recherche sur les matériaux travaillent sur le développement de nouveaux composites cimentaires à base déchets, dans le but économique (réduire le coût de réalisation), écologique (éliminer ces déchets de l'environnement) et technique (améliorer les propriétés mécaniques et physiques des mortiers). [41]

Vu les caractéristiques physico-chimiques, minéralogiques, géotechniques, mécaniques et pouzzoulaniques des résidus solides d'incinération que nous avons présentés dans le chapitre précédent, leurs utilisations comme remplacement partiel dans le ciment ou comme addition minérale pour la fabrication des mortiers de ciment est une techniques (Résistances a la compression et la flexion) ainsi que leur durabilité aux attaques chimique.

Bien que cette étude ait été faite dans un système de mortier, il est raisonnable de pense que les tendances qui ont été observées pourraient être extrapolées au béton. [34]

### *II -10-3-Les différents types de mortiers :*

Les mortiers de partagent en différents types :

- **Les mortiers de ciment :**

Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1 m<sup>3</sup> de sable. [41]

- **Les mortiers de chaux :**

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique. [41]

- **Les mortiers batards :**

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement la qualité de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment en parties égales ; mais on mettra une quantité plus au moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée. [41]

- **Mortiers réfractaires :**

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues. [41]

- **Les mortiers rapides :**

Ils sont fabriqués avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements.[41]

- **Le mortier industriel :**

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituant secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. [40]

Ils peuvent être classés selon 4 applications principales :

1. **Façades** : enduits pour bâtiments neufs, enduits pour rénovation, isolation thermique par l'extérieur ;
2. **Carrelages** : colles à carrelage, mortiers de joints, étanchéité, isolation acoustique sous carrelage ;
3. **Sols** : mortiers de chapes, enduits de lissage, ragréages ;
4. **Mortiers spéciaux** : gros œuvre, maçonnerie, réparation, scellement, voirie, assainissement, imperméabilisation. [40]

### II -11- La valorisation des déchets :

L'intérêt qui est porté de plus en plus à la valorisation des déchets et de sous-produits industriels est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement. [41]

Les arguments peuvent être résumés en :

- Augmentation de la production.
- Le coût de stockage ou de traitement est de plus en plus élevé.
- Une législation de plus en plus sévère. [41]

### *II -11-1- La valorisation des déchets dans l'industrie des ciments :*

Grâce à la valorisation des déchets dans les cimenteries et les centrales à béton, ces industries participent depuis de nombreuses années à l'effort collectif pour la préservation des ressources naturelles et le traitement des déchets. Ces déchets sont utilisés de deux façons :

- En remplacement partiel des constituants de base (calcaire, argile, sable, etc.) : c'est la valorisation matière.
- En remplacement des combustibles fossiles (coke de pétrole, charbon, fioul lourd,) : c'est la valorisation énergétique. [41]

### *II -11-2- La valorisation des déchets en Algérie :*

La récupération des déchets en Algérie est une importante opportunité à saisir vis-à-vis l'environnement, les déchets ménagers représentent environ 13,5 millions de tonnes/an soit un kilogramme par habitant par jour, dont près de la moitié peut être récupérée. Environ 45% de ces déchets, soit 6,1 millions de tonnes sont recyclables. Parmi ces 6,1 millions de tonnes, il y a 1,8 million de tonnes de papiers, 1,22 millions de tonnes de plastique, 1,6 millions de textiles et 300.000 tonnes de métaux. Ceux-ci pour une valeur approximative de 23 milliards de DA. C'est un véritable gisement. Or, il n'existe que 247 microentreprises qui opèrent dans la récupération des déchets et qui ne valorisent à peine que 5 ou 6% de ce potentiel dont une partie est exportée. L'Etat mise beaucoup sur le programme national de gestion des déchets municipaux qui constitue le principal cadre de référence en termes de gestion et de valorisation des déchets ménagers. [34]

# Chapitre III :

*Méthodes et matériels utilisés*

---

### III-1- Objectif :

L'objectif de notre travail est d'étudier les propriétés mécanique d'un mortier à base de ciment CEMI, en valorisant les déblais de forage issus du forage pétrolier et voir si c'est possible de les utilisés dans l'industrie cimentaire à fin d'obtenir un matériau (mortier) à propriétés meilleures ou similaires à celles d'un matériau issu du ciment tout seul.

Nous avons utilisé le ciment CEMI ou ciment Portland composé essentiellement de 95% de clinker et au plus 5% de constituants secondaires.

Le déblai de forage utilisé est provenu du cite pétrolier de Hassi-Messaoud. Ces déchets qui sont jetés dans le bourbier sont déjà traiter avec la méthode de stabilisation/solidification pour mobiliser tous les polluants organiques et métalliques susceptibles d'exister.

### III-2- Echantillonnage :

On a utilisé des échantillons qui sont prélevés à partir de bourbier pétrolier traité au niveau du champ de HASSI MESSAOUD. [1]

### III-3- Test de lixiviation :

Des échantillons sont mis en solution par des essais de lixiviation selon la norme (XP X31- 210), cette norme est souvent la plus utilisée. [1]

#### *III-3- 1-Réactif et appareillage :*

- Solution de lixiviation : eau déminéralisée
- Balance d'au moins 0,1g
- Flacon cylindrique en polyéthylène d'un volume minimal de deux litres avec système de bouchage hermétique en matériau inerte
- Dispositif d'agitation 60 cycles/mn
- Filtre membrane de diamètre moyen de pore 0.45  $\mu\text{m}$

- Dispositif de filtration sous vide ou sous pression
- Centrifugeuse. [1]

### *III-3- 2-Mode opératoire :*

- Déterminer la masse exacte de l'échantillon à 0.1 g près.
- Introduire dans le flacon, un volume  $v$ , en litre, d'eau déminéralisée de façon à ce que le rapport du volume d'eau à la masse exacte  $m_0$ , en gramme, de l'échantillon soit de 1l/100g.
- Agiter manuelle le flacon puis le mettre immédiatement en agitation permanente à l'aide d'un dispositif d'agitation. - La température de mise en contact est de  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- La durée de mise en contact est de  $24 \pm 1$  h pour une lixiviation unique voir la figure 9 ci-dessous.
- Le contenu du flacon est soumis à une filtration sous vide sur un filtre membrane de diamètre moyen de pore  $0.45\mu\text{m}$ .
- Diviser l'éluât en un nombre approprié de sous-échantillons pour les différentes analyses chimiques, et les conserver selon leurs exigences relatives.
- Les concentrations des constituants recherchés sont déterminées en utilisant les méthodes d'analyses correspondantes. [1]



**Figure 9 : Dispositif d'agitation pour l'essai de lixiviation**

### III-4- Analyses sur le lixiviat :

#### *III-4- 1-Dosage des métaux lourds par absorption atomique SAA (norme NFX31-151) :*

##### ➤ *Principe :*

La solution contenant l'élément à doser est aspirée à travers un capillaire et dirigée vers le nébuliseur. Elle est ensuite pulvérisée à très grande vitesse à travers une chambre où s'éliminent les grosses gouttes grâce à une bille brise-jet. La solution ainsi vaporisée est entraînée par le combustible à travers le brûleur à la sortie duquel a lieu la combustion. Après dissociation thermique dans la flamme, les radiations incidentes, qui sont fournies par une lampe à cathode creuse qui émet le spectre de l'élément que l'on veut doser, sont absorbées. La mesure de cette absorption permet de déterminer la concentration de l'élément à doser. Avant chaque utilisation de l'appareil, il est indispensable de faire l'étalonnage et de tracer la courbe de calibration de chaque élément à doser. La courbe de calibration est tracée à l'aide de différents étalons de concentrations connues de l'élément qu'on veut doser. (0.5ppm, 1.0 ppm, 5.0 ppm...) préparé à partir de solutions mère de 1000 ppm voire la figure 10 ci-dessous : [1]



**Figure 10 : Spectrométrie d'adsorption atomique à flamme**

### *III-4-2-Dosage des hydrocarbures totaux :*

Extraction des hydrocarbures d'une quantité connue d'échantillon analysé par un mélange hexane/acétone (50/50 v/v).

Séparation de la phase organique et lavage de celle-ci deux fois avec de l'eau saturée en sulfate de magnésium heptahydraté.

Purification et séparation sur colonne de silice. [1]

#### ➤ *Principe de l'appareil Chromatographie Phase Gazeuse :*

Les éléments gazeux ou volatile d'un échantillon sont placés dans un injecteur. Ils vont ensuite être emportés (phase mobile) par un gaz porteur qui va les amener dans la phase stationnaire pour qu'ils y soient séparés. Il s'agit bien souvent d'un liquide ou d'un solide. Plus un élément a d'affinité avec la phase stationnaire, plus il prendra de temps pour sortir de la colonne de chromatographie. Les éléments peuvent être identifiés mais aussi quantifiés voir la figure 11 ci-dessous : [1]



**Figure 11 : Chromatographie phase gazeuse**

### *III-4- 3-Dosage du carbone organique totale COT :*

On fait une dilution de 10% à partir du lixiviat préparé. [1]

#### ➤ *Principe du COT :*

Les échantillons traversent sans interruption l'analyseur. Le carbone inorganique est éliminé de l'échantillon par adjonction d'acide. Cette opération transforme ce carbone inorganique en CO<sub>2</sub> qui est éliminé par dégazage. Le calcul du COT s'effectue en soustrayant le CIT du CT. Cette méthode est décrite par l'équation  $CT - CIT = COT$  [13] voire la figure 12 : [1]



**Figure 12 : Appareil de mesure du COT**

### *III-5- analyse des matières premières utilisées :*

#### *III-5- 1-Analyse par diffractomètre à rayon x (DRX) :*

Cette analyse a été effectuée dans le but d'analyser la composition chimique et minéralogique du déblai de forage utilisé comme charge ainsi que du ciment CEMI utilisé comme matrice. Préparation des poudres à analyser : Les déblais de forage sont à l'état sec, on fait passer notre échantillon dans un broyeur manuel après le broyage ils sont soumis à un tamisage avec un tamis de 125 $\mu$ m. L'analyse des poudres du déblai et du ciment CEMI,

a été effectuée sur un diffractomètre type XPERT PRO de l'Unité de Recherche URMPE. Principe de l'analyse : L'échantillon brut à l'état naturel (sans séchage), réduit en poudre est mélangé avec du tétra borate de lithium dans une certaine proportion, afin d'obtenir une pastille.

La pastille obtenue est soumise à une source de rayonnement X primaire, il s'ensuit une excitation des atomes qui vont émettre un rayonnement X secondaire de fluorescence, caractéristique de la composition chimique de l'échantillon à analyser. Celle-ci est régie par la figure 13 ci-dessous : [1]



Figure 13 : Dispositif de diffractomètre de rayon X

### *III-5- 2-Analyse par granulométrie à laser :*

L'analyse granulométrique a été effectuée à partir de la poudre préparée du déblai de forage et du ciment CEMI.

#### *➤ Méthodologie :*

Nous avons utilisé un appareillage de granulométrie laser voir la figure 14 ci-dessous. Cet appareil mesure des particules allant de  $0.02\mu\text{m}$  jusqu'à  $2000\mu\text{m}$ . Il nous permet non seulement de déterminer les différentes granulométries mais aussi leur volume en pourcentage (répartition granulométrique). [1]

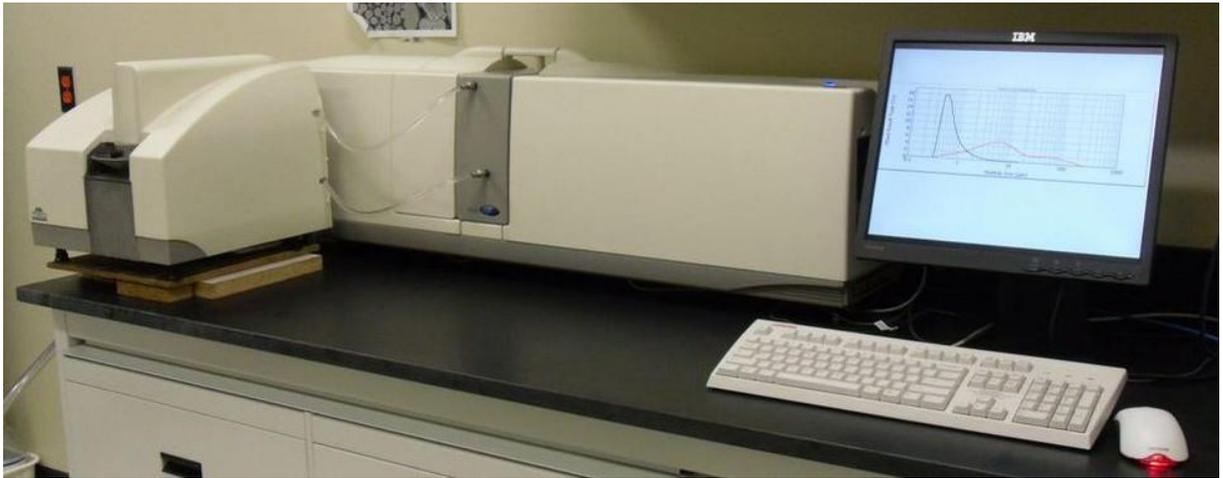


Figure 14 :Dispositif de la granulométrie à laser

### III-6- Préparation et analyse des coulis :

#### *III-6- 1- Préparation des coulis à partir de mélanges liant (ciment) et déblai de forage stabilisés :*

Différents mélanges constitués de ciment CEMI comme matrice et de différents taux de déblai comme charge : 2.5%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% et 30% ont été préparés. Les taux de déblai employés sont calculés par rapport à la masse du ciment CEMI. Les différents mélanges ont été préparés avec un pourcentage d'eau fixe de 35% par rapport à la masse du ciment. Un super-plastifiant (SP) jouant le rôle d'un adjuvant et réducteur d'eau, a été utilisé dans les différents mélanges à un taux fixe de 1.5 % par rapport à la masse du ciment. Les différents mélanges étudiés sont présentés dans le tableau 7 ci-dessous : [1]

Formulation	Déblais %	Ciment g	Déblais g	Sp%	Eau%
Ciment/ Déblai	0	1275	0	1.5	35
	2.5	1243.125	31.875		
	5	1211.25	63.75		
	10	1147.5	127.5		
	15	1083.75	191.25		
	20	1020	255		
	25	956.25	318.75		
	30	892.5	382.5		

Tableau 7 : Le taux des différents mélanges étudié

### III-6- 2-Analyse des coulis de ciment :

#### III-6-2- 1-Variation du pH des différents mélanges :

Pour pouvoir suivre l'évolution du pH des différents coulis élaborés, des mélanges similaires à ceux présentés précédemment ont été préparés, avec les mêmes taux utilisés.

Après l'élaboration de chaque mélange, ce dernier est laissé au repos jusqu'à l'obtention d'une phase liquide en surface. Cette dernière est récupérée dans un bécher, puis la valeur du pH de cette phase a été déterminée en utilisant un pH-mètre. [1]

#### III-6- 2-2- Analyses de la fluidité des mélanges élaborés :

Après élaboration de chaque mélange de coulis, un test de fluidité du mélange est effectué. Ces tests ont été effectués pour suivre l'évolution de la fluidité des différents mélanges sous l'effet de l'incorporation du déblai de forage à différents taux.

Le test de fluidité a été effectué en utilisant un mini cône, voir la figure 15 ci-dessous, dans laquelle le mélange est versé, puis libéré pour s'écouler sur un plan horizontal millimétré.

Toutes les séries des mélanges du béton ont été préparées en utilisant un mélangeur à pâles.

L'évolution de la fluidité est déterminée par la mesure de deux diamètres et le calcul de la valeur moyenne de la distance parcourue par le coulis. [1]



Figure 15 : Test de fluidité par mini-cône

### III-6- 3-Préparation et analyse des mortiers issus des différents coulis :

#### III-6-3-1-Moulage des éprouvettes :

Après avoir préparé chaque mélange, ce dernier a été versé dans un moule comportant 3 chambre qui nous permet d'obtenir des éprouvettes de la dimension (40x40x160) mm, et cela conformément aux normes standards, tel que montré dans la figure 16 ci-dessous : [1]

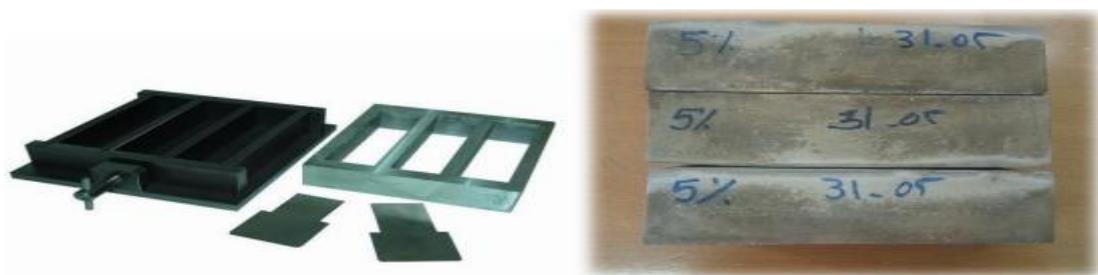


Figure 16 : Moule utilisée pour l'élaboration d'éprouvette

### *III-6-3-2- Analyse mécanique par flexion des éprouvettes :*

Pour la conduite des essais mécaniques , les éprouvettes ( $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ ) ont été confectionnées pour chaque série de coulis. Après le démoulage les échantillons ont été conservés dans l'eau à  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  pendant 28 jours, selon la norme (EN).

Afin d'étudier les propriétés mécanique (résistance à la flexion trois point) des différentes éprouvettes des coulis, élaborés à différents taux de substitution en déblais de forage, celles-ci ont été soumises aux tests de flexion à l'aide d'une presse de flexion/compression pour matériaux durs de marque Toni Technik/Swick Roelle, de capacité maximal de 3000KN, voir figure 17 ci-dessous : [1]



**Figure 17 : Machine pour essais de flexion**

La disposition des éprouvettes ainsi que la contrainte appliquée sont illustrés sur la figure 18 ci-dessous : [1]

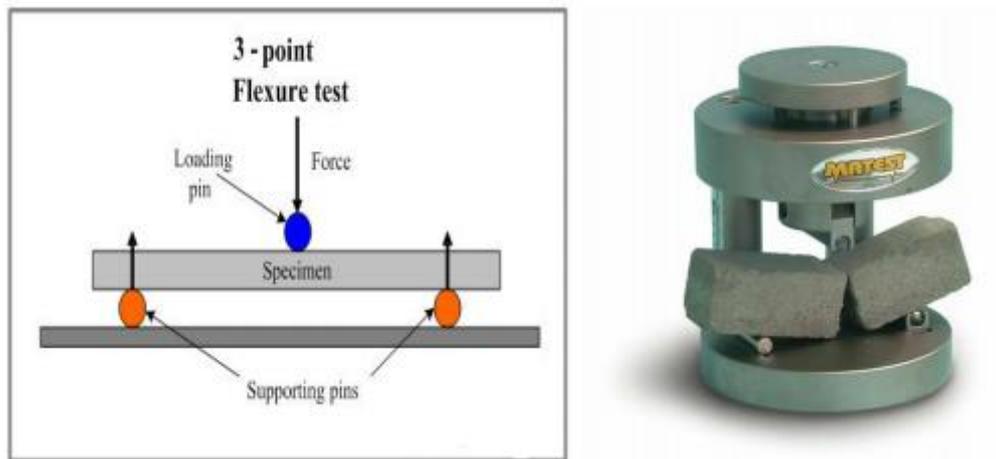


Figure 18 : Essai de flexion sur les éprouvettes de mortier

### *III-6-3-3- Analyse mécanique par compression des éprouvettes :*

Pour la conduite des essais mécaniques , les éprouvettes prismatiques (  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ ) issues des tests de flexion précédemment énumérés , ont été préparées pour chaque série de coulis selon la norme ( EN) .

Afin d'étudier les propriétés mécaniques (résistance à la compression uni-axiale) des différentes éprouvettes des coulis, élaborés à différents taux de substitution en déblai de forage, celles-ci ont été soumise aux tests de compression à l'aide d'une presse de flexion/compression pour matériaux durs de marque Toni Technik/Swick Roell, de capacité maximale de 3000KN précédemment énumérée, voir figure 19 ci-dessous. [1]



Figure 19 : Machine pour essais de flexion/compression

### *III-6-3-4- Analyse de la masse volumique des mortiers élaborés :*

Les essais pour déterminer la masse volumique et la porosité des différents coulis ont été réalisés conformément à la norme (EN).

La masse volumique ( $\rho$ ) est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon de coulis par le volume occupé par la matière solide, compris les vides contenus dans les coulis.

Pour mesurer la masse volumique de chaque mortier, nous avons utilisé la méthode au pycnomètre, selon la méthode suivante : [1]

- Remplir le pycnomètre jusqu'au trait de jauge avec de l'eau et prendre son poids, soit  $M_0$  sa masse initiale.
- Introduire dans le pycnomètre précédent une quantité de morceaux d'échantillon de mortier, jusqu'à ce que le niveau d'eau remonte d'un à deux centimètres dans le pycnomètre, et soit  $M_1$  sa nouvelle masse.
- Aspirer l'eau remontée en dessus du trait de jauge, et remettre le niveau d'eau à son état initial, puis peser encore une fois et soit  $M_2$  sa nouvelle masse.

La masse volumique du solide de mortier peut être déterminée en utilisant les formules ci-dessous :

$$\rho_s = M_s / V_s = d_s \cdot \rho_e \text{ (kg/l)} \quad d_s = (M1-M0) / (M1-M2)$$

### *III-6-3-5- Analyse par DRX des différents mortiers :*

Cette analyse a été effectuée dans le but d'analyser la composition chimique et minéralogique des matériaux cimentaire (mortiers) obtenus des différents mélanges étudiés. Les résultats de cette analyse seront comparés à ceux de l'analyse par DRX des poudres de ciment CEM1 et du déblai de forage utilisé, afin de révéler d'éventuelles formations chimiques. [1]

#### *III-6-3-5--1- Préparation des poudres à analyser :*

Pour chaque cas de mortier, des morceaux d'échantillon issus du test de compression, sont finement broyés pour obtenir une poudre. Cette dernière est traitée par tamisage avec un tamis de 125 $\mu$ m voir figure 20 ci-dessous.

L'analyse des poudres des différents mortiers analysés, a été effectuée sur un diffractomètre type XPERT PRO de l'Unité de Recherche URMPE, selon le même principe déjà exposé précédemment. [1]



**Figure 20 : échantillon de mortier a analysés par DRX**

# Conclusion générale

---

Il n'y a aucun doute que les déblais de forage pétrolier constituent une véritable source de pollution de l'environnement. A travers de nombreuses études réalisées dans le monde, l'analyse de nombreux échantillons de déblai à l'état brut, a révélé que ces déblais renferment une pollution multiforme dangereuse pour l'environnement. [1]

Il y'a lieu de rappeler que des quantités énormes et inestimables de ciment sont employées, lors du processus de leur stabilisation/solidification. C'est à partir de là, que l'idée de leur valorisation dans un matériau cimentaire a pris forme, en mettant en œuvre notre thématique développée dans ce travail avec une diversité d'objectifs : environnemental, économique, technologique. [1]

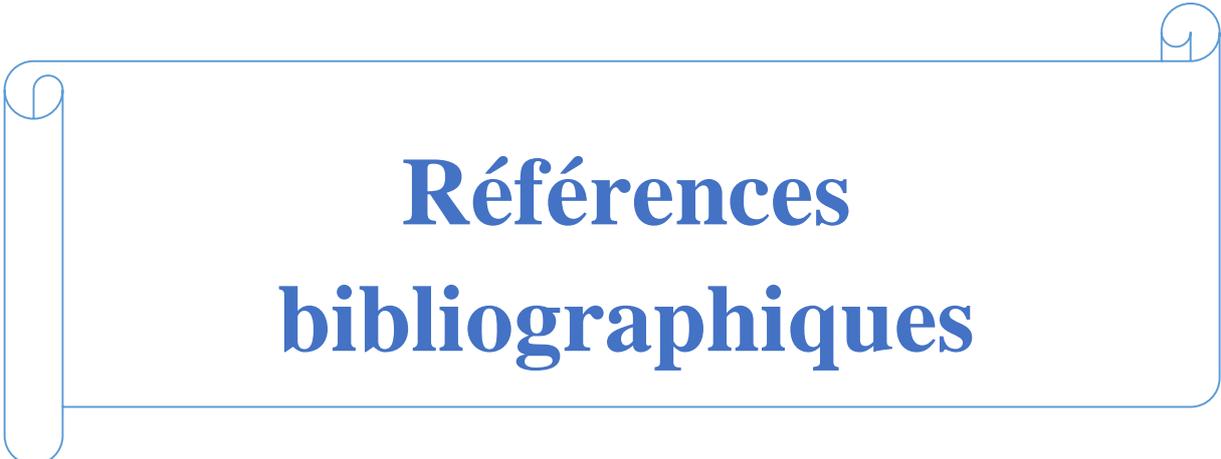
Le développement des composites cimentaires à base de déchets a pour but économique de réduire le cout de réalisation, environnemental d'éliminer ces déchets de l'environnement, technique d'améliorer les propriétés mécanique et physiques des mortiers.

Pour cela dans notre travail, et dans sa première étape, nous avons d'abord procédé à des analyses préliminaires qui ont consistés en la vérification de l'efficacité de la stabilisation/solidification par ciment du déblai utilisé comme charge, en termes de la rétention des différents polluants sous l'effet de la lixiviation. D'ailleurs les résultats obtenus ont été négatifs et ont confirmé ceux donnés par le centre de recherche et du développement (CRD) de Boumerdès. [1]

Dans une deuxième phase, nous avons procédé aux différentes analyses qui nous ont permis d'une part, de quantifier les différentes granulométries des matières de bases utilisées : ciment CEMI et le déblai de forage stabilisé et d'autre part, d'apprécier la constitution chimique et minéralogique du ciment CEMI et du déblai en réalisant les diffractogrammes DRX de chaque matière. [1]

Dans une troisième phase, nous avons réalisé une série de tests et d'analyses physicomécanique et chimique qui nous ont permis d'estimer la qualité des différentes propriétés du matériaux cimentaire (mortier), issu de l'incorporation du déblai à des taux progressifs dans la matrice cimentaire. [1]

On aurait aimé qu'on fasse notre stage au niveau du CRD mais malheureusement on n'a pas pu avoir des résultats à discuter dans notre travail à cause de la pandémie mondiale (covid-19).

A decorative border in a light blue color, resembling a scroll, frames the central text. It has rounded corners and small circular motifs at the top and bottom edges.

# **Références bibliographiques**

---

[1] : Slimani H. Rouab W ., 2017. Etude préliminaire sur la valorisation d'un déblai de forage polluant par incorporation dans une matrice cimentaire. Mémoire master 2 : Procédés Organiques et Macromoléculaires. Université m'Hamed bougara boumerdes,.56.

[2] : Site web :[www.futura-sciences.com/maison/questions-reponses/bricolage-forage-differentes-techniques-2617/](http://www.futura-sciences.com/maison/questions-reponses/bricolage-forage-differentes-techniques-2617/)

[3] : Site web :[www.euro-petrole.com/re\\_05\\_details\\_mot.php?idMot=19](http://www.euro-petrole.com/re_05_details_mot.php?idMot=19)

[4] : Site web :[www.universalis.fr/encyclopedie/forages/](http://www.universalis.fr/encyclopedie/forages/)

[5] : Site web : [www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/comment-se-deroule-un-forage-d-exploration#:~:text=Le%20forage%20consiste%20%C3%A0%20enfonder,mieux%20d%C3%A9limiter%20le%20gisement%20potentiel.,22%20aout.2014](http://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/comment-se-deroule-un-forage-d-exploration#:~:text=Le%20forage%20consiste%20%C3%A0%20enfonder,mieux%20d%C3%A9limiter%20le%20gisement%20potentiel.,22%20aout.2014)

[6] : Site web : [fr.wikipedia.org/wiki/Industrie\\_p%C3%A9troli%C3%A8re](http://fr.wikipedia.org/wiki/Industrie_p%C3%A9troli%C3%A8re) 11 août 2020

[7] : Fourar.K., 2007, Amélioration des propriétés rhéologiques des fluides de forage à base de bio polymères : " application aux puits horizontaux «, mémoire de magister : physique et mécanique des matériaux, université m'Hamed bougara boumerdes, 131.

[8] : Khodja.M. février 2008, ETUDE DES PERFORMANCES ET CONSIDERATIONS ENVIRONNEMENTALES, thèse de doctorat : Génie des Procédés et de l'Environnement, Université des sciences et de Technologie Houari Boumediene d'Alger, 195.

[9] : Benkacimi.N.2013, traitement de la pollution engendrée par les fluides de forage, mémoire master 2 : eau, environnement et développement durable, université Saad Dahlab de blida,84.

[10] : A. Belhabib, « les Fluides de Forages à Base d'huile : Impact sur L'environnement et Technique de Traitement, Mémoire Master Professionnelle, Université Kasdi merbah ouaregla », (2012-2013).

[11]: CD manual of drilling fluids, MI-SWACO

---

- [12]: Boughendja .S et Berriah F .,2016 . Effet de la contamination sur les propriétés physico-chimiques des fluides de forage. Mémoire de master 2 : Valorisation des Ressources Minérales. Université Abderrahmane Mira de Bejaia ,87 p.
- [13] : D. Abid, « Etude de Synthèse sur les Fluides de Forage, 1er Partie du Rapport CRD Boumerdes », (1994).
- [14] : C.M. Himel et E.G. Lee, «DrillingFluids and Méthods of UsingSame», (1951).
- [15] : Forage Rotary, la Boue de Forage, « Groupe II Leçon 2 Edition Technip », (1982)
- [16] : A. Aarroussi, « Manuel de Stage, Département Analyse Sonatrach », (2009).
- [17] :Chkired, « Cours de la Technologie de Forage Pétrolier 1 er année Magister Génie Pétrolier », (2010).
- [18] : R. Benseghier, « Traitement des Cuttings de Forage de Hassi Messaoud avec des Solutions Tensioactives », Projet de fin d'Etudes pour l'Obtention du titre d'Ingénieur d'Etat en Génie de l'Environnement, Ecole Nationale Supérieur Polytechnique 'ENSP' Hacén Badi, El-Harrach, Alger, (2009).
- [19] : Organophile. Applications aux boues de forage pétrolier), thèse de doctorat, l'université pierre et marie curie : le 17 septembre 2007.
- [20] : Manual AVA DF «Drilling Fluides», (2004).
- [21] : Garcia, « le fluide de forage », édition technip, (1984).
- [22] : J.P .Wauquier, « Petrole brut; Produits Petroliers », (1994).
- [23] : [www.planete-energies.com](http://www.planete-energies.com)
- [24] : [www.inertec.fr/inertec/inertec\\_fr.nsf/site/Traitement-des-dechets.Residus-petroliers](http://www.inertec.fr/inertec/inertec_fr.nsf/site/Traitement-des-dechets.Residus-petroliers)
- [25] : Belhabib.A .,Balla.F,Tama ali saber .,2013,.Les fluides de forage a base d'huile: impacts sur l'environnement et technique de traitement .,mémoire master professionnel: forage,. université Kasdi merbah ouargla .,43.
-

- [26] :Benziada.F.,2010,.La réglementation et la protection de l'environnement au sein de l'activité de forage ,.mémoire pour l'obtention du diplôme de poste-Graduation ,:Droit de l'environnement,. université d'Oran ,.48.
- [27] : Braik.A, Saidi.A .,2017,.Les boues de forage à base d'huile, l'impact sur la santé et sur l'environnement et technique de traitement,. mémoire de licence ,:hygiène et sécurité industrielle .,Université Kasdi Merbah Ouargla ,.39.
- [28] : Khefri.A, ganoun.L, 2018, .Etude de l'efficacité des méthodes de traitement de boue de forage appliquée,. mémoire de licence professionnel,: Hygiène et sécurité et environnement,. Université Kasdi Merbah Ouargla ,.48.
- [29] : I.Khelfaoui (traitement des déblais e forage pétrolier et la potentialité de leur valorisation dans un matériau résineux), mémoire de magister, université m'hamed bougara faculté des sciences de l'ingénieur, boumerdes, 2015.
- [30] : A.Hadj abbas (les bourbiers des pétroliers et des unités de production : impact sur l'environnement et technique de traitement) mémoire de magister, université kasdi merbah OUERGLA .2011
- [31] : site web : [www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/gestion-des-dechets-42437210/stabilisation-solidification-des-dechets-g2080/.avril.2001](http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/gestion-des-dechets-42437210/stabilisation-solidification-des-dechets-g2080/.avril.2001)
- [32] : Belakhdar Amel.,Benhidjeb Célia.,2016,. Caractérisation et Solidification/stabilisation par des résidus pétroliers par liant hydraulique,. mémoire master 2,:génie de l'environnement,. Université A. MIRA – BEJAIA,68.
- [33]: st-Lauren, Serge, Burelle, Suzanne et Quелlette, Huges,2011.ligne directrices sur la gestion des matières résiduelle et des contaminés traités par stabilisation et solidification, Québec ,ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs.
- [34]: A.Baddad., 2016. « caractéristique et valorisation des résidus solides issus de l'incinération des médicaments périmés ». mémoire de magister, Chimie organique appliquée ,école normale supérieure vieux kouba-Alger.
- [35]: Site web : [www.infociments.fr/ciments/caracteristiques-et-emplois-des-ciments](http://www.infociments.fr/ciments/caracteristiques-et-emplois-des-ciments)
-

[36] : M. H.tremblay , 2009 << Ecaillage des béton contenant des ajouts cimentaires influence de méthodes de murissement utilisée en chantier sur le comportement a l'écaillage en laboratoire >>. Mémoire présenté a la faculté des études supérieures de l'université Laval dans le cadre du programme du maitrise en génie civil pour l'obtention du grade de maître des sciences ( Québec).

[37]: O. Oueslati ., 2011 « durabilité des matériaux cimentaire soumis aux acides organique ( résistance chimique, mécanique et de corrosion ) » . Thèse de doctorat, faculté des sciences et de génie université Laval Québec.

[38]: Esselami, Ghrici,boukhatem., AVRIL 2013 « prévision du coefficient d'efficacité de pouzzolane naturelle par les réseaux de neurones artificiels ». Direction des travaux publics D'Ain Defla et université de chef.

[39] : L. Laoufi, Y. Senhadji, A. Benazzouk, T. Langet, M. Mouli, I. Laoufi, A. S. benosman, Avril 2016 « évaluation de la durabilité de mortiers pouzzolaniques exposé a une attaque chimique ».laoufi et al. Université de mascara, université de Picardie Jules verne, laboratoire LABMAT Oran, laboratoire LABMAT Oran, laboratoire de la chimie des polymères, université d'Oran.

[40] : T.Poinot, Novembre 2013 « influence des hydroxypropylguars sur les propriétés des mortiers de ciment à l'État frais » thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure des mines, Saint-Etienne.

[41] : K.Bouali, année 2013 « élaboration et caractérisation thermomécanique des mortier a base d'ajout =de déchets de briques réfractaires » mémoire de magister, faculté des sciences d l'ingénieur – université m'Hamed bougara- Boumerdes.

---

# Résumé

Le travail est présenté en deux étapes :

La première consiste à traiter les déblais de forage avec un traitement de stabilisation/solidification des déchets dangereux tel que la stabilisation permet diminuer la toxicité des déchets sans changer leurs propriétés physiques, tandis que la solidification permet de transformer les déblais en un solide dur.

La deuxième étape consiste à valoriser ces déblais de forage dans une matrice cimentaire en intégrant les déblais traités dans un liant hydraulique qui est le ciment CEM1 et construire des mortiers ensuite étudier leurs résistances à la flexion/compression.

Notre étude révèle une importance considérable au vu de l'énorme problème environnementale que peut causer ces quantités inestimables de déblais de forage, à moyen ou à long terme sur notre environnement et l'écosystème.

# Abstract

The work is presented in two steps :

The first consists of treating drill cuttings with a stabilization/solidification treatment for hazardous wastes , such as stabilization allows to decrease the toxicity of the wastes without changing its physical properties , while solidification transforms the drill cuttings into a hard solid .

The second step consists in valorizing these drill cuttings in a cement matrix by integrating the treated cuttings in a hydraulic binder which is cement CEM1 and the building mortars and studying their resistance to bending/compression.

Our study reveals considerable importance in view of the enormous environmental problem that these priceless quantities of drilling cuttings can cause, in the medium or long term, on our environment and the ecosystem.

---