



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M...../GP/2016

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : génie des Procédés

Spécialité : génie des procédés de l'environnement

Thème

Traitement des rejets huileux de GL2/Z par un procédé couplé

Présenté par :

1. NEFOUCI Yacine Abdelillah

Soutenu le 18/ 07/ 2019 devant le jury composé de :

Président : H. BOUZID	MCA	Université de Mostaganem
Examinatrice : I.S. ABDELLI	MCB	Université de Mostaganem
Encadreur : M.R GHEZZAR	Professeur	Université de Mostaganem

Année Universitaire : 2018 / 2019

Sommaire

Dédicace	
Remerciements	
Introduction générale	1
Chapitre I: Présentation du complexe et de la station de déshuilage Problématique	2
Introduction.....	2
I.1 Généralités sur la zone de traitement	2
I.2. Descriptif sur le déshuilage au niveau du complexe GNL2/Z	2
I.2.1 Système d'évacuation des eaux usées a GL2/Z.....	2
I.2.2 Cœur de la station	3
I.2.3 Déshuileur CPS.....	3
I.2.4 Description du processus de séparation	4
I.2.5 Récupération des huiles au niveau du complexe	5
I.2.5 Stockage d'huile	5
I.3 Situation actuelle de la station de séparation CPS	5
Conclusion.....	6
Chapitre II : Théorie de la coagulation-floculation	7
Introduction.....	7
II.1 Clarification	7
II.1.1 Traitements physiques	7
II.1.2 Traitements physico-chimiques	7
II.2 Coagulation-floculation	8
II.3 Aspects pratiques de la floculation	9
II.4 Suspensions colloïdales	9
II.5 Coagulant et processus de coagulation	10
II.2 Filtration.....	12
II.2.1 Première loi de Fick	12
II.2.2 Deuxième loi de Fick	12
II.2.3 Types de filtration	13
Chapitre III : Traitement des eaux huileuses par un procédé couplé	15

III.1 Présentation du procédé.....	16
III.3 Mise en œuvre	17
III.4 Résultats et discussions.....	17
III.4.1 Optimisation de la hauteur du lit de sable.....	17
III.4.2 Coagulation en présence de chlorure ferrique anhydre.....	19
Conclusion.....	
Références bibliographiques.....	

REMERCIEMENTS

J'adresse mon vif remerciement à mon encadreur **Mr. M.R. GHEZZAR** pour ses conseils et ses aides et ses orientations efficaces, pour sa gentillesse, patience et disponibilité .

Je tiens également à remercier **Mme I.S. ABDELLI** , d'avoir accepté d'examiner mon rapport de stage , ainsi le président de jury **Mr. H. BOUZID** qui m'a fait honneur d'être présent parmi les jury et les présider.

Ma profonde gratitude s'adresse également à **BOUBOU CHEMS-EDDINE** responsable de mon stage, et tout l'équipage au niveau du complexe **gn12 bethioua**. Pour leur présence et la patience dont ils m'ont constamment fait part.

Je ne peux oublier mes enseignants et enseignantes qui ont pu me former, moi et mes collègues, tout au long de ce cursus universitaire. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.

En fin, je remercie toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

DEDICACE

On dédie ce modeste travail à nos parents, naturellement en premier pour leur amour inconditionnel et leur éducation. Toutes ces années durant, grâce à vos conseils et orientations, j'ai su maintenir le cap et garder de vue mon objectif.

A tous nos frères , A nos amis et collègues.

Introduction

Les puits producteurs de pétrole, les usines de traitement de gaz et les raffineries produisent quotidiennement de grandes quantités d'eaux contaminées par des hydrocarbures, des particules solides et des matières en suspension. La minimisation de l'impact de l'industrie pétrolière sur l'homme et l'environnement est devenue une des principales préoccupations des pays producteurs de pétrole et de gaz naturel. Elle constitue actuellement une composante essentielle dans la stratégie de développement des entreprises.

En Algérie, les usines de traitement et liquéfaction de gaz naturel sont les principales zones génératrices d'huiles et de graisses. En particulier, GL2/Z qui est située dans la zone industrielle de Bettioua au Nord de l'Alger.

Dans le cadre de la concrétisation de la politique de l'entreprise relative à la protection de l'environnement, la direction régionale de SONATRACH a mis en place une station de déshuilage dans chaque centre producteur. La capacité de traitement de ces stations de déshuilage dépend de la capacité de production.

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'efficacité d'un procédé couplé à savoir la filtration sur sable et la coagulation chimique. Cette technique a été appliquée sur les eaux huileuses admises dans les séparateurs API et à leurs sortie.

Ce manuscrit est composé de trois (03) chapitres:

Chapitre I : le complexe gazier GL2/Z et la station de déshuilage ont été présentés. La problématique de notre mémoire a été introduite à la fin de ce chapitre ;

Chapitre II : une étude bibliographique sur les procédés utilisés ont été abordés dans ce chapitre ;

Chapitre III : dans cette dernière partie, les résultats de nos expériences ont été présentés et commentés.

Le manuscrit se termine par une conclusion et des propositions pour réduire la concentration des eaux huileuses à une échelle réelle.

Introduction

Le système de traitement des eaux huileuses du complexe GL2/Z est composé de six (06) baies de décantation appelées ‘séparateurs API’. Le traitement des eaux huileuses consiste donc à séparer par gravité la phase huileuse et les boues des effluents avant de les rejeter dans le canal de rejet d’eau de mer.

La teneur en huile obtenue dans ces effluents après traitement varie entre 50 à 100 mg/L. Une concentration loin des 20 mg/L préconisée par les normes de rejets industriels dans les milieux aquatiques [1]. Avec ce niveau de traitement, il est clair que ce système API, conçu dans les années 1970, ne peut plus prendre en charge les hautes teneurs en huiles.

Le réseau des effluents contaminés regroupe l’ensemble des eaux provenant des canalisations, pompes, puisards. Même les eaux recueillies pluviales contaminée par les huiles de lubrification sont considérées eaux contaminées et nécessitent un traitement.

I.1 Généralités sur la zone de traitement

La zone de traitement des effluents liquides est un lieu où les eaux de différentes unités d’exploitation se rejoignent. Elles sont refoulées par les pompes d’égouts à travers des canalisations (pipes) de diamètres de 12 pouces. Ces pipes au nombre de 8 sont reliés à une ligne commune de 30 pouces de diamètre, la quelle est installée en position latérale à la zone de séparation. La zone de traitement est constituée de quatre bassins en parallèles, séparés par une baie de récupération d’eau éventuellement traitée. Les quatre bassins sont conçus pour l’installation des équipements de traitement des eaux usées contaminées par les huiles et les corps solides flottants ou sous forme de boue.

L’objectif principal de cette zone de traitement est le nettoyage de toute la quantité d’eau récupérée pour pouvoir la conduire vers la mer via le canal de rejet [2].

I.2. Descriptif sur le déshuilage au niveau du complexe GNL2/Z

I.2.1 Système d’évacuation des eaux usées a GL2/Z

Il est connu que toute superficie envahie par un flux d’eau est considérée comme sinistrée, si l’évacuation de celle-ci n’est pas prise en considération.

Dans le cas d’une unité d’exploitation d’une superficie considérable, il est très important de concevoir un système de collecte et d’évacuation des eaux pluviales et résiduelles. Toutes les eaux qui rentrent en contact avec le sol, ou traversent des équipements industriels sont considérées contaminées par des corps étrangers dont la nature peut être solide ou liquide (détritus, huiles, produits chimiques, etc.).

Chapitre I. Présentation du complexe et de la station de déshuilage- Problématique

I.2.2 Cœur de la station

Le traitement des eaux contaminées composées des eaux huileuses et des eaux de ruissellement est assuré par une batterie de quatre (04) séparateurs appelés séparateurs CPS (Corrugated Plate Separators). Ces CPS sont des séparateurs à plaques inclinées peuvent traiter un débit de 3784 m³/h et permettent d'obtenir des niveaux d'effluents huileux industriels de 20 mg par litre d'eau ; ce qui est en accord avec la limite admissible des huiles et graisses dans les rejets d'effluents liquides industriels [1]. La station de séparation huile/eau comprend :

- ✓ 04 séparateurs coalescents huile/eau dont les références respectives sont : 072-R-701, 072-R-702, 072-R-704 et 072-R-705 ;
- ✓ 01 fosse de séchage de la boue ;
- ✓ 02 pompes de déshuilages 072-J-723/J-724 ;
- ✓ 02 réservoirs d'huile de rejet : 072-I-701/I-702 ;
- ✓ 02 pompes d'huile de décantation : 072-J-725/J-7.

I.2.3 Déshuileur CPS

Tel qu'il est présenté dans la figure I.1, c'est un bassin rectangulaire à circulation longitudinale équipé d'un répartiteur élaboré d'un raclage de surface, d'un dispositif de sortie de l'eau traitée et d'un équipement de récupération d'huile de surface et de boue.

BECHTEL [3] à établi des normes très précise pour le calcul, le dimensionnement et l'exécution de ce genre d'ouvrage.



Figure I.1. Photo du séparateur CPS

I.2.4 Description du processus de séparation

Le distributeur principal achemine le débit d'eau huileuse dans la chambre d'admission. Cette chambre est une zone à l'état de repos située à l'avant de l'ensemble des produits coalescents. Elle permet de ramener la vitesse du liquide à un écoulement laminaire qui favorise la séparation par gravité des huiles brutes et des solides.

Le liquide s'écoule dans une chicane rainurée (distributeur secondaire de débit), qui assure une distribution égale de l'écoulement dans la zone de séparation. Une chambre de séparation située au fond de la chambre d'admission facilite l'élimination des huiles lourdes et des solides et sert de collecte de ces dernières.

La zone de séparation contient les ensembles coalescents, constitués de couches de plaques de tôles ondulées rapprochées les unes des autres, inclinées et placées en alternance. Ces plaques présentent une vaste surface horizontale afin d'améliorer la séparation par gravité des gouttelettes d'huile [4].

En outre, leurs ondulations sont configurées de manière à provoquer un écoulement sinueux qui favorise la collision et la coalescence des gouttelettes d'huile. Au fur et à mesure que la taille de ce dernier croît, elles flottent davantage et montent vers le haut de l'unité. Des chicanes sont incorporées au-dessus et dessous des ensembles pour empêcher les courts circuits des matériaux non traités.

La couche d'huile flottant en haut de l'unité déborde d'un écrémeur réglable. Puis elle est acheminée dans un puisard éloigné.

Les solides qui tentent de se déposer dans les produits du séparateur tombent entre les ondulations des plaques, dans les conduites internes principales à boue située au fond des ensembles modulaires.

Les unités à forte teneur en solides combinent la chambre de séparation d'admission et la zone de boue située sous les produits en une trémie conique commune pour le retrait.

L'effluent propre sortant des ensembles coalescents s'écoule sous une chicane de rétention d'huile, puis dans le collecteur d'effluent, et sort de l'unité.

La couche d'huile flottant en haut de l'unité déborde d'un écrémeur réglable, puis elle est acheminée dans un puisard éloigné.

Les solides qui tentent de se déposer dans les produits du séparateur tombent entre les ondulations des plaques, dans les conduites internes principales à boue situées au fond des ensembles modulaires.

Les unités à forte teneur en solides combinent a la chambre de séparation d'admission et la zone de boue située sous les produits en une trémie conique commune pour le retrait

Chapitre I. Présentation du complexe et de la station de déshuilage- Problématique

l'effluent propre sortant des ensembles coalescents s'écoule sous une chicane de rétention d'huile, puis dans le collecteur d'effluent, et sort de l'unité.

I.2.5 Récupération des huiles au niveau du complexe

L'huile écumée est acheminée par une ligne de trois (3) pouces commune, reliée aux deux premiers séparateurs tandis qu'une autre ligne de même conception est utilisée pour les deux autres. L'inclinaison de ces lignes permet la libre circulation de l'huile et son déversement par gravité dans chacune des deux fosses appropriés. Les deux fosses sont identiques, elles sont situées de part et d'autre des bassins s dont chacune est munie d'une installation de vidange de l'huile récupérée. Les deux pompes sont conçues pour transférer l'huile récupérée dans les fosses vers les deux réservoirs de stockage.

Il est bien de signaler que le démarrage et l'arrêt des pompes sont réglés à l'aide d'un flotteur en cas de haut ou de bas niveau dans les fosses.

I.2.5 Stockage d'huile

Il existe deux réservoirs conçus pour le stockage d'huile récupérer. Ils sont équipés d'un système de réchauffage interne acier de forme cylindrique et à toiture conique.

La diminution de la température augmente la viscosité de l'huile stockée [4], ce qui peut systématiquement gêner sa mise en vidange. C'est pour cette raison que les réchauffeurs E-701, E7-702 installés à l'intérieure de chaque bac sont conçues pour réchauffer l'huile pour diminuer sa viscosité et faciliter son pompage vers le camion citerne.

Ces réchauffeurs sont conçus en serpentin sur la base des bacs avec une alimentation de vapeur sous une pression de 3.45 bars une température de 10 à 66°C.

I.3 Situation actuelle de la station de séparation CPS

La station de séparation fonctionne actuellement mais son efficacité reste périodique. La surveillance en continu n'est pas assurée régulièrement afin de procéder aux réglages nécessaires, tel que la mise en service de l'écumeur pour assurer la récupération de l'huile dans les puisards. Parmi les défaillances observées dans cette station, nous évoquons :

- ✓ Absence d'un abri pour la pompe de vidange des boues accumulées dans les séparateurs vers la fosse de séchage ;
- ✓ Manque d'une ligne de drainage pour vidanger l'eau décantée des bacs de stockage d'huile vers la fosse de séchage des boues, afin d'éviter de déverser l'eau décantée dans la nature.

Conclusion

Les eaux du complexe GL2/Z contaminées par les huiles et les graisses ne sont pas correctement traitées par le système CPS. La problématique de ce sujet tourne autour de l'élaboration d'un système plus adéquat que le procédé existant. Notre contribution se limitera au montage d'un procédé à une échelle pilote.

Introduction

Dans cette partie de notre travail, nous présentons quelques notions théoriques sur deux procédés de traitement des eaux : la filtration sur sable et la coagulation-floculation. Ces deux techniques épuratives sont souvent utilisées pour l'élimination de la turbidité et de la couleur des eaux de textile ou celles destinées à la potabilisation.

II.1 Clarification

La clarification est l'élimination des matières en suspension, des matières colloïdales et des macromolécules susceptibles de communiquer à l'eau une turbidité ou une couleur indésirables. Il s'agit de matières organiques aussi bien que minérales, et les organismes vivants du phytoplancton (algues) et du zooplancton entrent également dans cette définition. On peut distinguer deux catégories de procédés [5].

II.1.1 Traitements physiques

Ils sont appliqués lorsqu'il s'agit d'une simple séparation mécanique solide-liquide, sans introduction de réactifs [5] :

- ✓ dégrillage automatique;
- ✓ tamisage (vide de maille de l'ordre de 1 mm) ;
- ✓ micro tamisage (vide de maille de l'ordre d'une dizaine de micromètres) ;
- ✓ dessablage ;
- ✓ débouage ;
- ✓ déshuilage.

Dans le domaine du traitement des eaux naturelles, ces procédés ne constituent en général qu'un préalable à un traitement physicochimique ou biologique.

II.1.2 Traitements physico-chimiques

Ils sont nécessaires pour clarifier les eaux contenant des colloïdes, c'est-à-dire la quasi-totalité des eaux superficielles, certaines eaux de sources issues de terrains karstiques, certaines eaux profondes contenant des acides humiques en pseudo solution colloïdale, etc. La clarification se subdivisera en trois étapes [6]:

- ✓ **coagulation** : déstabilisation des particules colloïdales et formation de micro micelles constituées d'hydroxyde métallique et de colloïdes ;
- ✓ **floculation** : rassemblement des micro-micelles sous forme séparable de la phase aqueuse ;
- ✓ séparation des phases solide et liquide.

II.2 Coagulation-floculation

La coagulation est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques amenant une suspension stable de particules de très petite taille en solution - les colloïdes - à se séparer en deux phases distinctes [5].

La floculation est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques menant à l'agrégation de particules stabilisées pour former des flocons ou « flocs ». Ce phénomène est réversible, c'est à dire que l'on peut casser ces agrégats, par exemple en agitant fortement le liquide, pour retrouver la solution de colloïdes initiale (Figure II.1) [6].

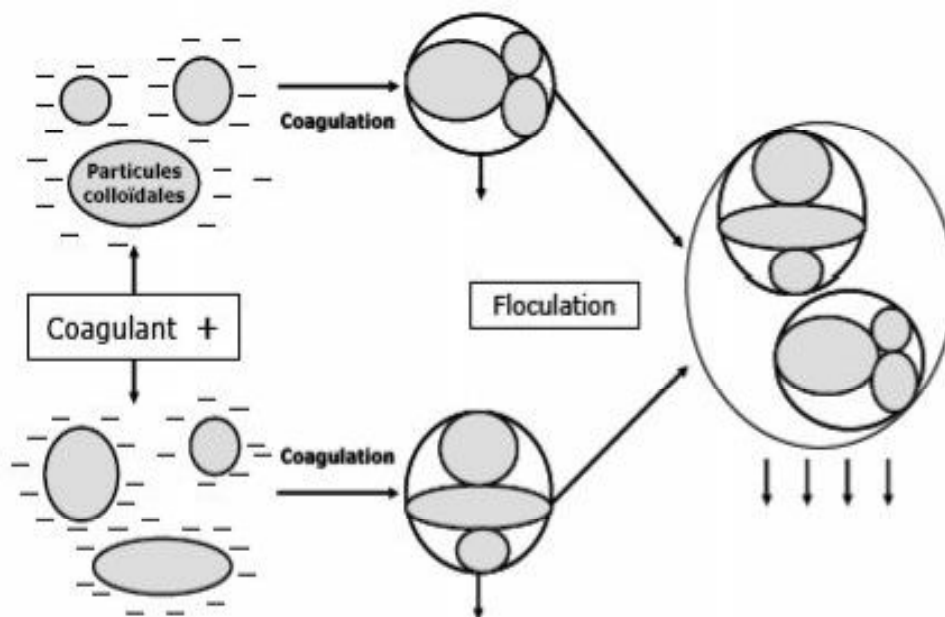


Figure II.1. Principe de la coagulation-floculation

La coagulation-floculation facilite l'élimination des MES (**M**atières **E**n **S**uspension) et des colloïdes en les rassemblant sous forme de flocs dont la séparation s'effectue par décantation, flottation et/ou filtration. C'est donc un traitement physique qui permet d'éliminer la totalité ou une partie des polluants des effluents notamment les fractions particulaires inertes ou vivantes, les fractions floculables, des matières organiques et de certains métaux lourds, les micropolluants associés aux MES et les macromolécules colloïdales.

La coagulation et la floculation sont des processus souvent indissociables. En effet, la coagulation, en diminuant les forces de répulsion entre les particules, favorise les collisions et la formation d'agrégats ; et la floculation, en permettant la croissance des agrégats, accélère la séparation des phases [7].

II.3 Aspects pratiques de la floculation

La formation du floc étant amorcée par l'introduction du coagulant, il est nécessaire d'accroître son volume, sa masse et sa cohésion, ce qui sera favorisé par :

- ✓ une coagulation préalable aussi parfaite que possible ;
- ✓ une augmentation de la quantité du floc dans l'eau ; on a intérêt à mettre l'eau en contact avec les précipités déjà formés par le traitement antérieur (recirculation des boues ou lit de boue) en recherchant la plus forte concentration possible (sans toutefois dépasser une valeur optimale au-delà de laquelle la décantation ultérieure se trouverait freinée) ;
- ✓ un brassage homogène et lent de l'ensemble afin d'augmenter les chances de rencontre des particules colloïdales déchargées électriquement avec une particule de floc ; lorsque les appareils de séparation ne comportent pas de contact de l'eau en cours de floculation avec les boues préexistantes, on fait d'abord passer l'eau dans un floculateur (temps de contact de l'ordre de 20 min), bassin muni d'un système d'agitation (hélice, comme sur la figure II.2, ou ensemble de pales fixées sur un arbre tournant, vertical ou horizontal), qui tourne relativement lentement pour ne pas briser les flocons déjà formés, mais suffisamment vite pour assurer le grossissement progressif du floc et éviter une sédimentation précoce ;
- ✓ l'emploi de certains produits appelés floculants.

II.4 Suspensions colloïdales

La très grande majorité des eaux naturelles (et, en particulier, celle des eaux de surface), contient des impuretés qui affectent leur apparence et peuvent avoir des effets néfastes pour le consommateur. Ces solides peuvent être grossièrement classés comme suit :

- ✓ impuretés dissoutes (sels minéraux dissous, molécules organiques, etc.) ;
- ✓ colloïdes ;
- ✓ solides en suspension.

En fait, cette classification recouvre celle de la taille des particules concernées, intuitivement, on saisit que les particules les plus difficiles à éliminer sont les plus fines. A cette notion de dimension, s'ajoutent deux autres encore plus importantes qui sont celles du rapport surface/volume des particules colloïdales qui leur confère des propriétés d'adsorption très prononcées, et celle de leur charge électrique de surface.

Cette charge peut provenir :

- ✓ de la dissociation de groupes ionisables appartenant au colloïde lui-même ;
- ✓ de l'adsorption d'ions contenus dans la solution ;
- ✓ d'une substitution isomorphique (remplacement dans un réseau macromoléculaire d'un atome par un autre atome de valence différente) ; c'est le cas général des argiles ;

Pour leur étude, les colloïdes sont classés, arbitrairement, en deux groupes principaux ;

- ✓ les colloïdes hydrophiles : ils proviennent de substances solubles présentant une affinité pour l'eau, et qui adsorbent une couche d'eau liée, protectrice. Dans ce groupe se trouvent les protéines, les carbohydrates et, d'une façon générale, les produits organiques ;
- ✓ les colloïdes hydrophobes : généralement plus gros et n'ont pas de couche protectrice. Ils proviennent de substances peu ou pas soluble tels que les métaux, leurs oxydes et/ou leurs hydroxydes. Plus généralement, ce sont des produits minéraux.

L'existence des systèmes colloïdaux dépend de l'interaction entre deux particules.

Elle met en jeux deux forces contraires :

- ✓ Une force de répulsion qui tend à écarter les particules les unes des autres. Cette force dépend de la charge des particules qui sont de même signe ;
- ✓ Une force d'attraction (type de Van der Waals) qui tend à rassembler les particules pour atteindre l'énergie potentielle minimum. Cette force est, bien entendu, fonction de la distance entre particules [8].

II.5 Coagulant et processus de coagulation

L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé. Les plus efficaces sont des sels de métaux, à base d'aluminium ou de fer. Ils sont cités dans le tableau II.1 [8] :

Tableau II.1. Dérivés des sels d'aluminium et de fer

Sels d'aluminium	Formule chimique	Sels de fer	Formule chimique
Sulfate d'aluminium (alun)	$Al_2(SO_4)_3$	Chlorure ferrique	$FeCl_3$
Chlorure d'aluminium	$AlCl_3$	Sulfate ferrique	$Fe_2(SO_4)_3$
Aluinate de sodium	$NaAlO_2$	Sulfate ferreux	$FeSO_4$

La mise en solution d'un coagulant se déroule en deux étapes: (le cas du sulfate d'aluminium est très significatif). La réaction est présentée de la façon suivante [9]:



- L'étape 1 est une phase d'hydrolyse. Des intermédiaires poly chargés positifs se forment pour neutraliser la charge primaire négative des colloïdes. C'est la véritable forme coagulante qui déstabilise les particules chargées négativement.
L'étape 1 dépend de la température et nécessite un pH compatible avec l'existence de ces intermédiaires poly chargés. Le temps de formation de ces composés est de l'ordre de 0,5 s.
- L'étape 2 permet la formation du précipité $\text{Al}(\text{OH})_3$. Elle dépend de l'agitation du milieu. Ce précipité est l'élément qui assure le pontage et la coalescence entre les colloïdes déstabilisés : les sels d'aluminium ou de fer réagissent avec l'alcalinité de l'eau et produisent des hydroxydes insolubles.

II.2 Filtration

La filtration sur sable est un procédé très utilisé dans le traitement des eaux destinées à la potabilisation. Cette technique est préconisée dans la filière de traitement avant l'adsorption sur charbon actif, afin d'éliminer les matières en suspension et en l'occurrence les particules colloïdales.

Le présent chapitre se fixe les objectifs suivants :

- Modéliser l'écoulement gravitaire d'une suspension aqueuse dans une colonne à sable ;
- Elimination de la turbidité d'une suspension aqueuse synthétique par un sable de caractéristiques connues ;
- Validation du modèle théorique par le biais des expériences menées au laboratoire.

II.2.1 Première loi de Fick

La diffusion est le mécanisme de transport des zones concentrées en matière vers les zones moins concentrées. Il y a donc diffusion dès qu'il y a différence de concentration. C'est un phénomène spontané et inévitable (phénomène dispersif) conduisant à un équilibre. La cinétique du phénomène est quantifiée par la diffusivité ou coefficient de diffusion. Le flux de matière engendré par ce phénomène de transport est d'après la loi de Fick (Eq.II.1) proportionnel au dérivé de concentration par l'intermédiaire du coefficient de diffusivité [10].

$$N = - D \frac{dC}{dx} \quad (I.1)$$

Où :

D : coefficient de diffusion m^2/s ;

N : vecteur densité de courant de particules.

Le signe (-) est introduit pour tenir compte du fait que flux et gradient de concentration sont de signe opposé, le flux s'établissant vers la concentration la plus faible.

II.2.2 Deuxième loi de Fick

Considérons un volume de matière compris entre x et $(x + dx)$, et exprimons la conservation de l'espèce diffusante pendant un temps dt . La démonstration de la deuxième loi de Fick résulte de la somme algébrique des flux entrant qui est égale à la variation de la concentration de l'espèce diffusante dans le volume considéré. En utilisant la première loi de Fick (Eq.I.2), en supposant D constant (ce qui est en réalité une approximation car D dépend de x , en effet l'ambiance que rencontre l'espèce diffusante varie continûment dans l'espace x -

$x + dx$). Ceci constitue la deuxième loi de Fick (Eq.II.2). Elle exprime que la variation de concentration en fonction du temps est proportionnelle à la dérivée seconde de la concentration par rapport à la distance. Cette équation est susceptible d'intégration en fonction des conditions initiales et des conditions aux limites du système. Est donnée par la relation suivante:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D * \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right) - \langle v \rangle \frac{\partial c}{\partial x} \quad (\text{II.2})$$

En l'absence de terme de transport, elle se réduit à :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D * \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \right) \quad (\text{II.3})$$

Avec c la concentration de l'espèce, D le coefficient de diffusion et la distance.

Cette équation est souvent qualifiée improprement de seconde loi de Fick. Il existe des expressions analytiques pour les solutions des équations (II.2) et (II.3), différentes suivant les conditions initiales et aux limites du problème.

Ces solutions expriment la forme du profil de diffusion $c(x, t)$ et permettent de calculer le coefficient de diffusion D à partir des profils expérimentaux. C'est ce que nous allons tenter de réaliser pour expliquer d'avantage le phénomène de diffusion plasmagène dans les cibles aqueuses.

II.2.3 Types de filtration

a) Filtration sur support

On amène la suspension au-dessus d'un support (grille, toile, membrane, etc.) sur lequel les particules vont se déposer sous la forme d'un gâteau ou tourteau d'épaisseur croissante. Le filtrat sera plus ou moins pur (suivant les dimensions des particules, la texture du support et le temps). Cette opération est également appelée filtration en surface, sur membrane, ou à gâteau (cake filtration).

On l'utilise en général pour la filtration de suspensions assez fortement chargées en matières solides.

b) Filtration en profondeur

On fait écouler la suspension à travers une masse poreuse (couche de sable ou de graviers, particules agglomérées sous forme de disques, cylindres, bougies, etc.). Il existe, entre les grains, des pores tortueux, dont les dimensions sont en général très supérieures à celles des particules de la suspension. L'expérience prouve cependant que des particules de la suspension vont se loger dans les pores de la masse poreuse en se coinçant entre des grains ou en se déposant dans des anfractuosités, ou en se collant contre les surfaces des grains. Il s'ensuit un colmatage progressif de la masse poreuse. Le filtrat sortira plus ou moins pur suivant la texture de cette masse, la forme des particules à retenir et leur répartition granulométrique, les propriétés physico-chimiques des particules et du filtrat, l'épaisseur de la couche filtrante, le temps, le débit de suspension, etc.

Cette filtration, dite dans la masse, sur lit de sable ou en profondeur (deep filtration), est en général utilisée pour les suspensions relativement peu chargées en matières solides, celles-ci étant presque toujours des impuretés.

Introduction

Comme nous l'avons signalé au chapitre I, le traitement des graisses et des huiles du complexe GL2/Z est réalisé par les séparateurs API c'est-à-dire par simple décantation physique. Le tableau III.1 présente les résultats d'analyses physico-chimiques de ces eaux en amont et en aval des séparateurs-décanteurs.

Tableau III.1. Quelques caractéristiques physico-chimiques des eaux huileuses de GL2/Z

Paramètres	Amont	Aval	Norme [11]
Température (°C)	21,5	21,5	30
pH	6,8	8,8	5,5-8,5
Turbidité (NTU)	980	242	/
DCO (mg d'O ₂ /L)	213600	110000	120
DBO ₅ (mg d'O ₂ /L)	20	15	30
Biodégradabilité (DBO ₅ /DCO)	0	0	0,25

Au vu de ces résultats, il est constaté que le procédé physique utilisé n'est pas approprié pour traiter les eaux huileuses du complexe gazier. Il est vrai que le taux d'élimination de la DCO est de 58% mais la concentration résiduelle de 90000 mg d'O₂/L reste très au dessus des normes de rejets liquides industriels qui préconise une valeur inférieure à 120 mg d'O₂/L, et ce, selon les données obtenues du décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels, et en particulier, celles des industries de raffinage et pétrochimie [1].

Les eaux rejetées dans la mer après traitement restent non-biodégradables avec une DBO₅ de 15 mg d'O₂/L et un indice de biodégradabilité presque nul.

Le procédé de séparation physique fait l'objet de discussions continues au sein du service technique de GL2/Z. Dans ce travail, nous apportons la preuve concrète de son inefficacité et nous proposons un autre procédé pour traiter les eaux huileuses du complexe. Cette technique peut être complémentaire au traitement physique comme elle peut être utilisée directement sans traitement préalable. Ceci dépendra de la composition physico-chimique du rejet à traiter.

Dans cette partie de notre travail, nous présentons le procédé couplé : filtration sur sable-coagulation par FeCl₃ pour traiter les eaux huileuses du complexe GL2/Z.

III.1 Présentation du procédé

La figure III.1 présente le schéma du procédé filtration-coagulation que nous avons utilisé au laboratoire.

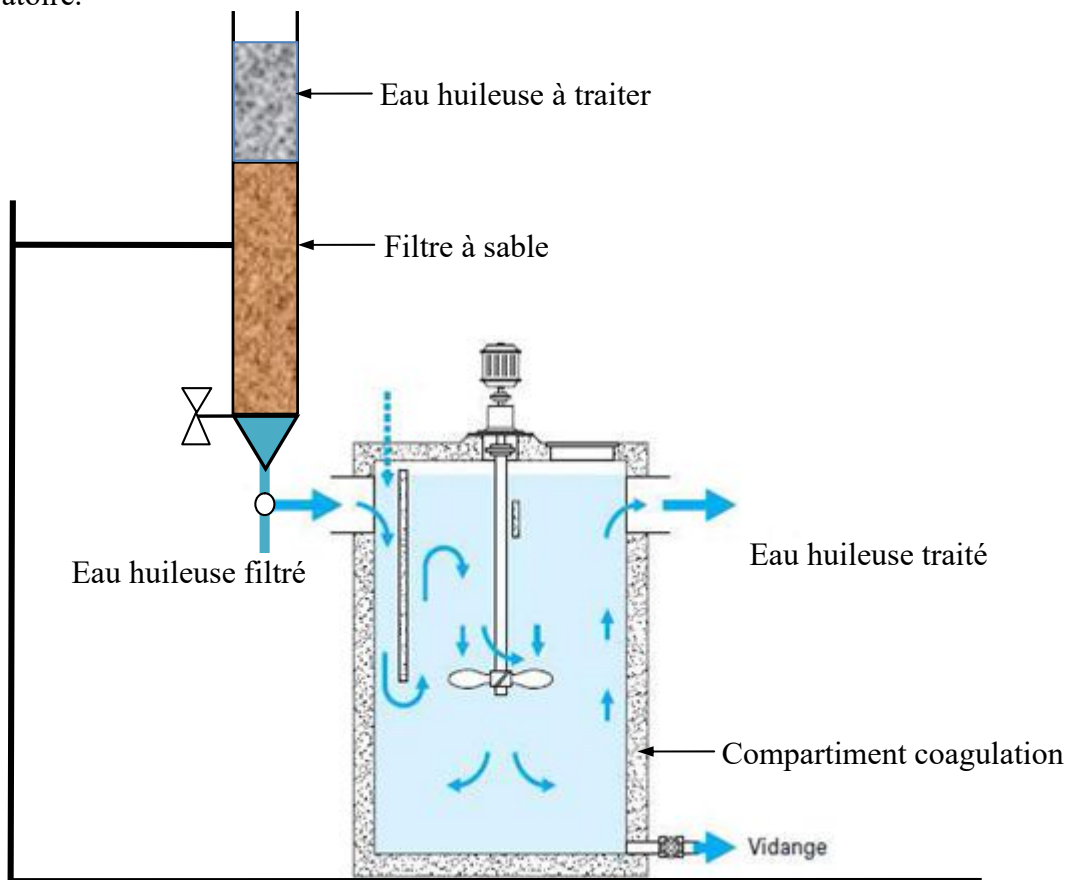


Figure III.1. Schéma illustratif du procédé couplé filtration-coagulation

Dans ce procédé l'eau de rejet est admise en haut de la colonne à sable afin d'y être filtré selon un écoulement gravitaire. L'eau ainsi filtrée est immédiatement acheminée vers une chambre de coagulation où elle sera en contact avec un réactif chimique en mode agité afin d'éliminer les huiles résiduelles. Les boues issues de cette dernière opération feront l'objet d'une vidange en bas du compartiment agité.

III.3 Mise en œuvre

L'approche expérimentale adoptée pour la mise en œuvre du procédé filtration-coagulation est comme suit :

- ✓ Le volume à traiter est de 2 L ;
- ✓ Le procédé fonctionne en mode discontinu ;
- ✓ Le suivi analytique du traitement par le procédé hybride a été réalisé par turbidité, DCO et DBO₅ ;
- ✓ La hauteur du lit de sable a fait l'objet de variation afin d'optimiser le fonctionnement de la colonne de filtration ;
- ✓ La concentration du coagulant a été variée pour une élimination meilleure des huiles résiduelles.

III.4 Résultats et discussions

III.4.1 Optimisation de la hauteur du lit de sable

a) Suivi par turbidité et DCO

Les taux d'élimination de la DCO et de la turbidité en fonction des hauteurs (H) du lit de sable sont représentés graphiquement par la figure III.2.

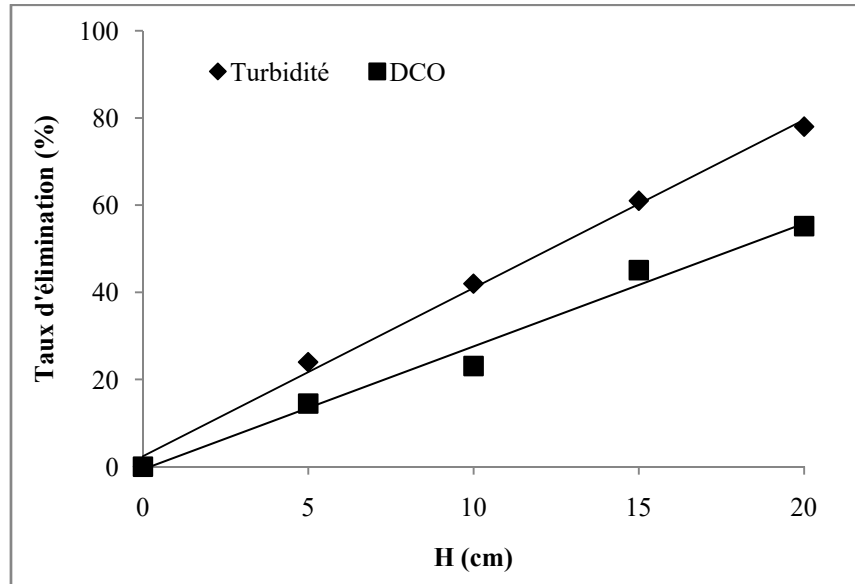


Figure III.2. Taux d'élimination de la turbidité et de la DCO en fonction de la hauteur

Les taux d'élimination de la turbidité et de la DCO sont linéairement liés à la hauteur du lit de sable. Plus la hauteur de celle-ci augmente et plus la filtration sera meilleure. En effet, pour une hauteur de 5 cm, l'élimination de la turbidité et de la DCO est de 24 et 14,2%, respectivement. Ces taux s'élèvent à 78 et 55% pour une hauteur de 20 cm.

La turbidité est éliminée grâce au piégeage des matières en suspension dans l'espace interstitielle du lit de sable. Ce processus conduit à l'élimination de la DCO dure présente dans l'effluent ; cependant la DCO dissoute échappe à la filtration et nécessite un traitement appropriée tel que la coagulation [12].

b) Suivi par DBO_5 et biodégradabilité

Les figures III.3-a et III.3-b montrent respectivement les variations de la DBO_5 et de la biodégradabilité en fonction de la hauteur du lit de sable.

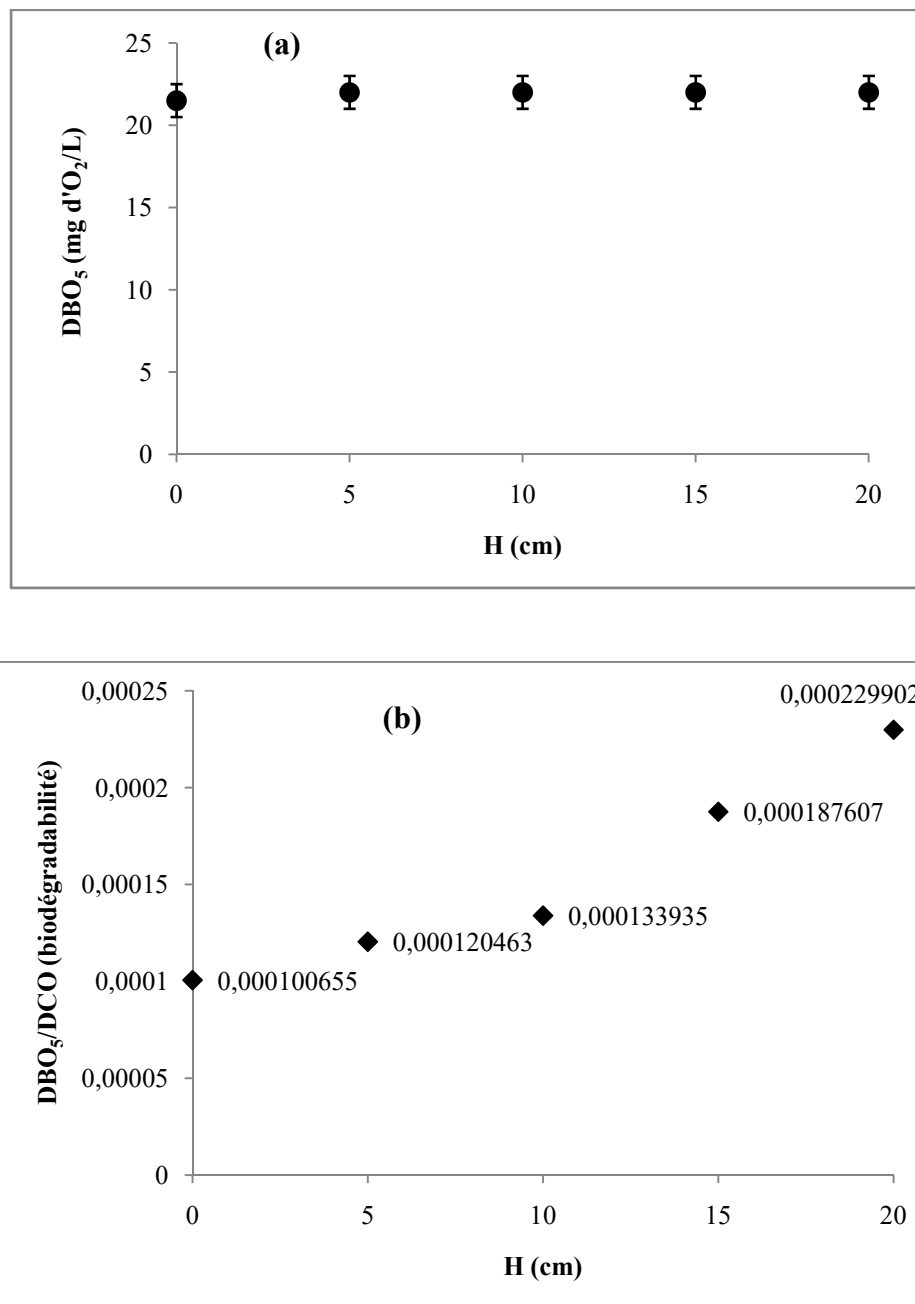


Figure III.3. (a) DBO_5 et (b) biodégradabilité en fonction de la hauteur du lit

L'élimination d'une grande fraction de la turbidité et la réduction de la DCO de 213600 à 95693 mg d'O₂/L n'a pas affecté la DBO₅ de l'effluent filtré. De ce fait l'échantillon de rejet est resté non-biodégradable. La présence d'une matière inoxydable sous forme d'huile confirme la nécessité de coupler le procédé de filtration avec une autre technique qui prend en charge les microparticules en présence d'un réactif chimique [13].

III.4.2 Coagulation en présence de chlorure ferrique anhydre

a) Procédure

Le coagulant appelé sulfate ferrique anhydre FeCl₃. La réaction de dissolution dans l'eau est très exothermique et forme une solution acide marron.

Pour optimiser la dose du réactif, un Jar-test a été utilisé pour optimiser les conditions opératoires du procédé.

Dans ce travail, nous avons utilisé un dispositif muni de six béchers de 1 L de capacité volumique. Le protocole expérimental est comme suit :

- ✓ Les béchers de coagulation sont remplis avec le rejet provenant de la filtration et issu d'une hauteur H = 20 cm ;
- ✓ Le volume de traitement est de 1 L ;
- ✓ Un pH contrôlé par HCl et NaOH concentrés. Dans ces expériences, il a été fixé à 6 [14];
- ✓ Au temps t = 0, nous ajoutons le coagulant FeCl₃ le plus rapidement possible et de façon identique dans chaque bécher. Les doses sont croissantes et comprises entre 0,2 à 4 g/L ;
- ✓ Les béchers sont ensuite placés sur le jar-test et les hélices sont abaissées dans le liquide. Le moteur est mis en marche et réglé à une vitesse d'agitation déterminé ;
- ✓ La première phase est rapide avec une vitesse de 175 rpm durant une minute [15];
- ✓ La vitesse est ensuite réglée à 50 rpm durant 20 min représentant ainsi une étape lente [15];
- ✓ Le surnageant est prélevé par une pipette toutes les 5, 10, 15 et 20 mn afin de réaliser des tests de turbidité, DCO et de DBO₅.

b) Coagulation

La figure III.5 montre la variation de la turbidité **(a)** et de la DCO **(b)** en fonction de la dose de FeCl₃.

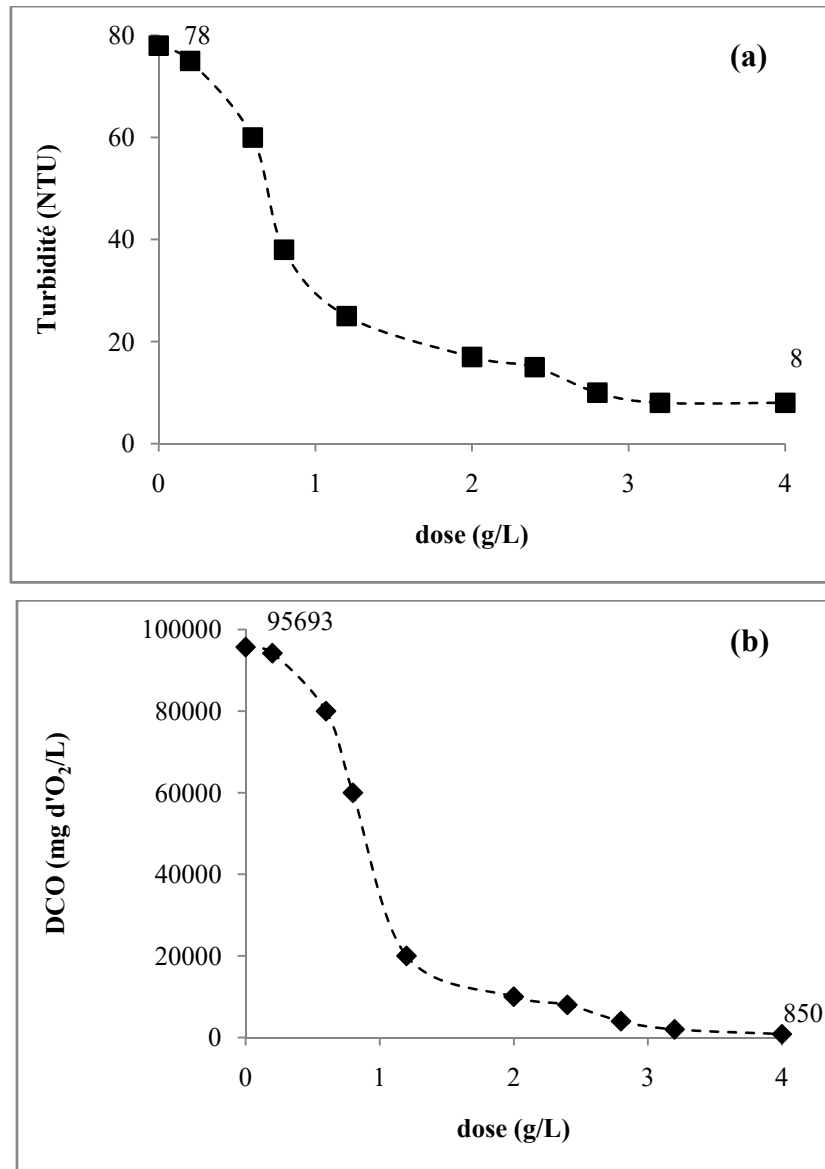


Figure III.4. (a) turbidité et (b) DCO en fonction de dose

L'augmentation de la dose est bénéfique pour le traitement de coagulation. Une dose de 4 g/L a pu réduire la turbidité de 78 à 8 NTU ce qui correspond à 90% de taux d'élimination. Ceci, comme dans le cas de la filtration sur sable, a engendré une nette réduction de la DCO présente dans l'effluent filtré précédemment. Il est bon de rappeler que cette fois-ci il s'agit de DCO soluble récalcitrante aux procédés de filtration. En effet, la DCO est passé de 95700 à 850 mg d'O₂/L pour une dose maximale de 4 g/L de chlorure ferrique. En termes d'efficacité, la technique semble efficace mais côté législation environnementale, la DCO reste trop élevée par rapport aux concentrations admissibles.

L'examen de la biodégradabilité reste indispensable pour la validation du procédé dans ses deux aspects : efficacité et environnement. Pour cette raison, nous avons analysé la DBO₅ des mêmes échantillons.

La figure III.5 illustre la variation de la DBO₅ (a) et de la biodégradabilité du rejet filtré en fonction de la dose du réactif coagulant.

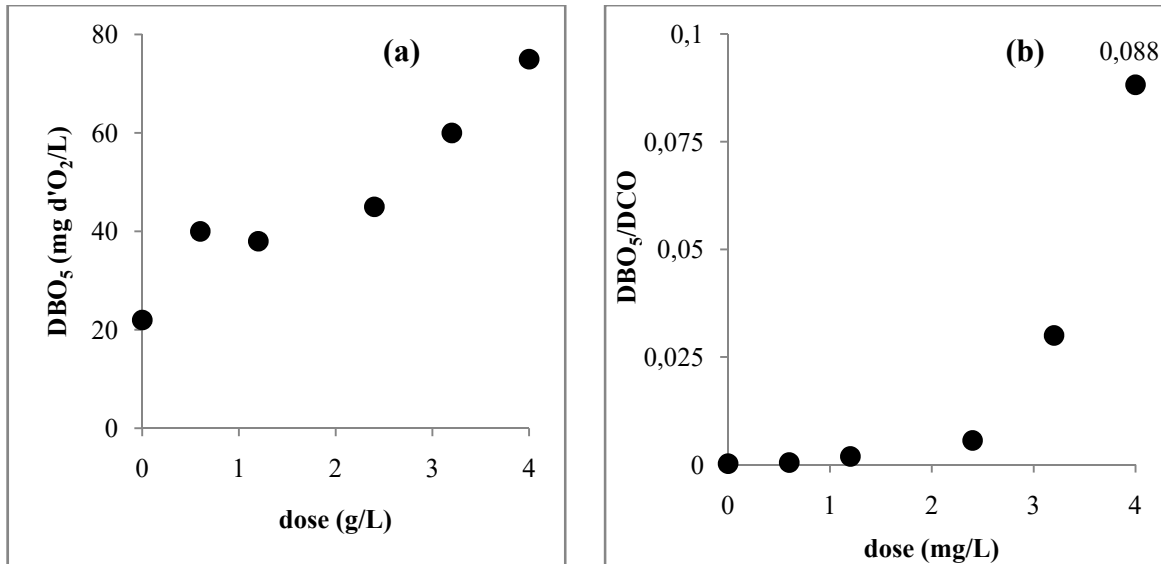


Figure III.5. (a) DBO₅ et (b) de la biodégradabilité en fonction de la dose

La biodégradabilité est passée de 0 à 0,09 à cause d'une DCO résiduelle de 850 mg d'O₂/L qui a engendré la mort des micro-organismes responsables de l'autoépuration du rejet huileux. L'augmentation de la dose des chlorures ferriques est une solution technique pour ce problème mais reste économiquement onéreuse et peut avoir de lourdes conséquences sur la qualité du milieu aquatique récepteur.

A ce stade, il est possible de dire que le procédé couplé filtration-coagulation est insuffisant pour réduire la charge organique du rejet huileux de GL2/Z. Cependant, il peut faire l'objet d'un traitement complémentaire en aval des séparateurs API.

Le tableau III.2 montre les résultats de traitement du rejet en question par filtration puis par coagulation dans les conditions suivantes :

- ✓ pH = 6 ;
- ✓ Hauteur du filtre H= 20 cm ;
- ✓ Dose du coagulant = 4 g/L.

Tableau III.2. Résultat du traitement du rejet en aval du séparateur API

Paramètre	En aval API		Filtration sur sable		Coagulation par FeCl ₃
Turbidité (NTU)	242	→	28	→	5
DCO (mg d'O ₂ /L)	110000		485		169
DBO ₅ (mg d'O ₂ /L)	15		24		45
Biodégradabilité	0		0,049		0,27

Le procédé couplé appliqué sur les eaux huileuses issues des séparateurs API semble plus efficace. Ceci est visible sur la biodégradabilité qui est passée de 0 à 0,27, ce qui rend les eaux issues de cette double opération rejetables dans un milieu aquatique telle que la mer.

La filtration sur sable a réduit 89% de la turbidité et la coagulation a éliminé les 82% restantes. La DCO a été elle aussi éliminé en grande partie dans la première étape du procédé avec un taux de 90%. La DCO résiduelle a été réduite de 65% par coagulation par conséquent la biodégradabilité a augmenter pour atteindre un seuil de 0,27 acceptable pour les rejets liquides industriels.

Ce qui doit être signalé dans cette partie est que ces taux ressemblent énormément aux taux retrouvés pour le rejet brut destiné au séparateur API. Pour expliquer la différence des tendances de biodégradabilité entre les deux rejets, nous pensons à la phase de tranquillisation dans les bassins de séparation. En effet, le temps de séjour dans ces ouvrages dépasse les 48 h, ce qui permet un contact avec des micro-organismes et d'initier des réactions biologiques comme dans tous les procédés à ciel ouvert [16].

Conclusion

Les eaux huileuses du complexe gazier GL2/Z sont traitées par simple décantation physique sans l'ajout de réactif chimique. Le taux d'élimination de la DCO à la fin de cette opération ne dépasse pas les 48% et restent par conséquent non-biodégradables. Malgré ça, les eaux en question sont sciemment rejetées dans la mer méditerranéenne causant des dommages d'ordre environnemental.

Notre travail, consistait à recueillir les eaux en amont et en aval des séparateur API afin de les soumettre à un traitement dit 'couplé' de filtration sur sable et de coagulation. La première opération prend en charge les graisses qui enrobent les matières en suspension. La deuxième technique a pour mission de réduire la charge organique soluble réfractaire à la filtration.

La filtration sur sable a été optimisée en utilisant différentes hauteur de sable à savoir 5, 10, 15 et 20 cm. La dernière hauteur donne de meilleurs résultats avec les taux de réduction suivantes :

- ✓ eaux brut avant admission dans les séparateurs API :

Turbidité : 78% DCO : 55%

- ✓ eaux à la sortie des séparateurs API :

Turbidité : 88% DCO : 98%

Après leur sortie de la colonne de filtration, les eaux traitées sont acheminées vers un compartiment de coagulation en présence de FeCl_3 . Le pH de l'opération a été imposé à 6 et la dose du réactif était de 4 g/L après optimisation. Les résultats de cette opération sont les suivants :

- ✓ eaux brut avant admission dans les séparateurs API :

Turbidité : 88% ; DCO : 99% avec $\text{DCO}_{\text{résiduelle}} = 850 \text{ mg d'O}_2/\text{L}$; Biodégradabilité ≈ 0

- ✓ eaux à la sortie des séparateurs API :

Turbidité : 82% ; DCO : 65% $\text{DCO}_{\text{résiduelle}} = 169 \text{ mg d'O}_2/\text{L}$; Biodégradabilité $\approx 0,27$

Les eaux huileuses brutes sont efficacement traitées par le procédé couplé mais les eaux restent non-biodégradables. Par contre, les eaux issues de ces décanteurs physiques se prêtent plus facilement au traitement physico-chimique testé dans ce travail.

Comme solution, nous proposons que le temps de séjour des eaux huileuses soit plus long dans les séparateurs API. Les eaux ainsi traitées, seront acheminées vers une batterie de filtres à sable disposés en série. Les eaux filtrées seront par la suite rassemblées dans un bassin de coagulation sans ajout d'agent flocculent.

Cette contribution nécessite par la suite un calcul théorique pour le dimensionnement de la nouvelle station qui se trouvera éventuellement en aval des séparateurs API.

Références bibliographiques

- [1] Lettre N°09 du Président Directeur Général de SONATRACH. 2017.
- [2] JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE n° 26. (2006). Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels, Algérie, p. 4-5.
- [3] Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière, Rubrique Monographie Wilaya Wilaya d'ILLIZI, ANIREF, 2013.
- [4] Manuel de l'usine ; Volumes d'installation de traitement et de recyclage du gaz d'Alrar, Fluor Texas.
- [5] D. Gaujous. La pollution du milieu aquatique. Ed. Tec & doc. Paris 1995
- [6] C. Larnotte, Pollution de la nappe par hydrocarbures a Décines (69), BRGM, 2003.
- [7] P. Rousseaux, Analyse du Cycle de Vie (ACV), G5500 v1, 2005.
- [8] <https://www.lenntech.fr/recyclage-eau-huileuse.htm>. Consulté le 18/03/2018.
- [9] F. Woodard, Industrial Waste Treatment Handbook, Butterworth–Heinemann, 2001.
- [10] W.W. Eckenfelder. Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Ed. Tec & doc. Paris. 1978.
- [11] W.W.Eckenfelder. Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Ed. Tec et doc. Paris. 1982.
- [12] C. Lind, Coagulation Control and Optimization: Part 1, Public Works, 1994.
- [13] J.Y. Bottero, B. Lartiges. Séparation liquide-solide par coagulation-floculation : les coagulants/floculant, mécanismes d'agrégation, structure et densité des floes, Mines et carrières Industrie minérales Les Techniques, 1992, 37-44.
- [14] DEGREMONT. Mémento technique de l'eau, 9ème édition, Ed. DEGREMONT, Paris, 1990.
- [15] P. Duchene, A. Lienard - Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités Documentation technique Fndae n°22 - Cemagref, 1998.
- [16] C. Boutin, D. Esser, P. Molle, A. Lienard - Les filtres et lits plantés de roseaux en traitement d'eaux usées domestiques - Cemagref, 2001.