

# وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Mohamed Chérif  
Messadia Souk Ahras  
Mohamed Chérif Messadia  
University Souk-Ahras



جامعة محمد الشريف مساعدي  
سوق أهراس

Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie des procédés

## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Élaboration et Évaluation d'un Matériau Innovant pour le  
Traitement des Eaux usées Industrielles au sein de l'Unité PWT de la  
Station de Boosting de Hassi R'Mel -Sonatrach-

### Filière

Génie des Procédés

### Spécialité

Génie Chimique

### Par

**Messaadia Chaima**

**DIRECTEUR DE MEMOIRE :** GHODBANE houria Pr U.SOUK-AHRAS

### Devant le jury

**PRESIDENT :** BOURANENE Saliha Pr U.SOUK-AHRAS

**EXAMINATEUR :** DJAGHOUT Ilhem MCA U.SOUK-AHRAS

**Année 2023/2024**

## *Remerciements*

Je remercie en premier lieu mon grand Dieu le tout puissant qui m'a éclairé le bon sentier de m'avoir accordé la puissance, la volonté et la patience pour terminer ce modeste travail.

Je remercie mes parents, ma famille d'être si patients, ses généreux et tellement merveilleux, Merci pour leur soutiens moral et matériel.

Nous tenons tout particulièrement à remercier Pr. H. GHODBANE directeur de ce mémoire, pour son encadrement scientifique, son soutien et de nous avoir guidé durant ce travail avec patience, pour ses judicieux conseils, pour son aide et pour sa disponibilité.

Nous la remercions également de la confiance qu'il nous a accordée au cours de la réalisation de cette étude.

Nous tenons à remercier très profondément les membres de jury pour avoir accepté de juger ce travail.

J'adresse mes remerciements particuliers à meneur D.HOUSSEM qui m'a donné la confiance en soi et m'accompagné et aidé dans tout du début à la fin, vraiment merci beaucoup.

On souhaite remercier chaleureusement toute l'équipe du laboratoire de génie des procédés, Sabrina, Abd elsem, et moussa, pour m'aider.

Enfin, je remercie tout personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail

## *Dédicace*

*Je dédie ce Modest travail*

*À tous ceux qui m'ont enseigné une lettre dans ce monde mortel*

*À l'âme pure et pure de ma grand-mère*

*À ma très chère mère, la source de tendresse qui me donne  
toujours l'espoir, de vivre et Qui n'a jamais arrêté de prier pour  
moi*

*À mon très chère père pour ses encouragements, son soutien,  
surtout pour son amour et son sacrifié afin que rien n'entrave le  
déroulement de mes études*

*À mon chère frères et sœurs, tous les membres de familles, la  
source de mon bonheur et de ma joie*

## RÉSUMÉ

L'extraction de pétrole et de gaz engendre une production massive d'eau, souvent chargée en huiles et hydrocarbures. Pour purifier cette eau des divers polluants, un traitement rigoureux est nécessaire. À Hassi R'mel, une nouvelle technologie innovante, appelée PWT, a été mise en place. Ce système de traitement de l'eau intègre plusieurs stations et techniques avancées, telles que l'API, le CPI, l'IGF, le NSF et l'ACF pour l'élimination efficace des contaminants, assurant ainsi une gestion environnementale exemplaire.

Ce travail s'inscrit dans une démarche globale visant à accroître l'efficacité de notre unité tout en valorisant les ressources naturelles de notre pays. Nous proposons d'utiliser un bio adsorbant, la paume de Maram (PM), comme solution abordable et facilement accessible pour le traitement des eaux industrielles contaminées par des huiles. Cette approche innovante non seulement améliore la performance environnementale de notre unité, mais également met en valeur un matériau local, contribuant ainsi à une gestion plus durable des ressources.

Cette étude a débuté par la préparation des biomatériaux (PM), suivie de leur activation chimique à l'aide de chlorure de zinc. Une série d'expériences a ensuite été menée pour déterminer les conditions optimales permettant de maximiser l'efficacité de bioadsorbant dans l'élimination des contaminants. A cet effet, Nous avons examiné l'effet du temps de contact, de la vitesse d'agitation et de la masse du bioadsorbant sur le processus d'adsorption. Les résultats obtenus ont montré qu'une augmentation de la masse du bioadsorbant améliore significativement le taux d'adsorption des polluants, réduisant leur concentration en solution et optimisant leur élimination. De plus, une vitesse d'agitation accrue améliore le rendement, entraînant une diminution notable de la demande chimique en oxygène (DCO). Ces découvertes soulignent l'importance cruciale de ces paramètres dans le processus de purification, offrant des perspectives prometteuses pour des applications à grande échelle.

**Mots clés :** eaux industrielles, les eaux huileuses, traitement, demande chimique en oxygène, la paume de Maryam.

## ABSTRACT

The extraction of oil and gas generates a massive production of water, often laden with oils and hydrocarbons. To purify this water from various pollutants, rigorous treatment is necessary. At Hassi R'mel, an innovative new technology called PWT has been implemented. This water treatment system integrates multiple stations and advanced techniques, such as API, CPI, IGF, NSF, and ACF, for the effective removal of contaminants, thus ensuring exemplary environmental management.

This work is part of a global approach aimed at increasing the efficiency of our unit while enhancing the natural resources of our country. We propose using a bioadsorbent, the Maryam palm (MP), as an affordable and easily accessible solution for treating industrial waters contaminated with oils. This innovative approach not only improves the environmental performance of our unit but also highlights a local material, thereby contributing to more sustainable resource management.

This study began with the preparation of biomaterials (MP), followed by their chemical activation using zinc chloride. A series of experiments were then conducted to determine the optimal conditions to maximize the bioadsorbent's efficiency in contaminant removal. For this purpose, we examined the effect of contact time, agitation speed, and the mass of the bioadsorbent on the adsorption process. The results showed that increasing the mass of the bioadsorbent significantly improves the adsorption rate of pollutants, reducing their concentration in solution and optimizing their elimination. Additionally, an increased agitation speed enhances efficiency, leading to a notable decrease in chemical oxygen demand (COD). These findings highlight the crucial importance of these parameters in the purification process, offering promising prospects for large-scale applications.

**Keywords:** industrial water, oily water, treatment, chemical oxygen demand, Maryam palm.

## ملخص

استخراج النفط والغاز يؤدي إلى إنتاج كميات هائلة من المياه، التي غالباً ما تكون محملة بالزيوت والهيدروكربونات. ولتنقية هذه المياه من الملوثات المختلفة، يلزم معالجة دقيقة. في حاسي الرمل، تم تنفيذ تكنولوجيا مبتكرة جديدة تسمى PWT. يتضمن نظام معالجة المياه هذا عدة محطات وتقنيات متقدمة، مثل API و CPI و IGF و NSF و ACF لإزالة الملوثات بفعالية، مما يضمن إدارة بيئية نموذجية.

يأتي هذا العمل ضمن نهج شامل يهدف إلى زيادة كفاءة وحدتنا مع تعزيز الموارد الطبيعية لبلدنا. نقترح استخدام مادة ممتزة بيولوجية، وهي "نخلة مريم (PM)"، كحل اقتصادي وسهل الوصول لمعالجة المياه الصناعية الملوثة بالزيوت. لا تحسن هذه الطريقة المبتكرة الأداء البيئي لوحدتنا فحسب، بل تبرز أيضاً مادة محلية، مما يسهم في إدارة أكثر استدامة للموارد.

بدأت هذه الدراسة بإعداد المواد الحيوية (PM)، تلتها تفعيلها كيميائياً باستخدام كلوريد الزنك. ثم تم إجراء سلسلة من التجارب لتحديد الظروف المثلى لزيادة فعالية المادة الممتزة في إزالة الملوثات. لهذا الغرض، قمنا بدراسة تأثير زمن التلامس، وسرعة التحريك، وكتلة المادة الماصة على عملية الامتزاز. أظهرت النتائج أن زيادة كتلة المادة الممتزة تحسن بشكل كبير معدل امتزاز الملوثات، مما يقلل من تركيزها في المحلول ويعزز إزالتها. علاوة على ذلك، فإن زيادة سرعة التحريك تحسن الكفاءة، مما يؤدي إلى انخفاض كبير في الطلب الكيميائي على الأوكسجين (DCO). تؤكد هذه النتائج المحصل عليها على الأهمية البالغة لهذه المعايير في عملية التنقية، مما يوفر آفاقاً واعدة لتطبيقات على نطاق واسع.

**الكلمات المفتاحية:** المياه الصناعية، المياه الزيتية، المعالجة، الطلب الكيميائي على الأوكسجين، كف

مريم

## **LISTE DES TABLEAUX**

|                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Tableau I.1. La répartition des installations de Hassi R'Mel                                               | <b>6</b>  |
| Tableau I.2. Capacité de production de gaz naturel, condensât et GPL                                       | <b>11</b> |
| Tableau IV.1. Conception des données du séparateur API                                                     | <b>48</b> |
| Tableau IV.2. Conception des données du séparateur CPI                                                     | <b>48</b> |
| Tableau IV.3. Conception des données du séparateur NSF                                                     | <b>51</b> |
| Tableau IV.4. Conception des données du séparateur ACF.                                                    | <b>52</b> |
| Tableau IV.5. Données sur la qualité de l'eau traitée.                                                     | <b>52</b> |
| Tableau IV.6. Données du point de dosage des produits et de leur fonctionnement                            | <b>54</b> |
| Tableau IV.7. Matériels et réactifs utilisés pour mesurer l'indice des hydrocarbures                       | <b>57</b> |
| Tableau IV.8. Matériels et réactifs utilisés pour mesurer le Fer                                           | <b>59</b> |
| Tableau IV.9. Matériels et réactifs utilisés pour mesurer NaCl                                             | <b>59</b> |
| Tableau IV.10. Matériels et réactifs utilisés pour mesurer MES                                             | <b>61</b> |
| Tableau IV.11. Matériels et réactifs utilisés pour mesurer TOG                                             | <b>62</b> |
| Tableau IV.12. Résultats des analyses                                                                      | <b>63</b> |
| Tableau IV.13. Résultats des analyses journalières                                                         | <b>64</b> |
| Tableau IV.14. Propriétés du sel métallique de chlorure de zinc                                            | <b>66</b> |
| Tableau IV.15. Caractéristiques des eaux usées au niveau du filtre coquilles de noix (NutShell) à l'entrée | <b>71</b> |
| Tableau IV.16. Caractéristiques des eaux usées après traitement                                            | <b>72</b> |

## LISTES DES FIGURES

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure I.1. Situation géographique de Hassi R'Mel                                                                | 4  |
| Figure I.2. Installation gazières de Hassi R'Mel                                                                 | 6  |
| Figure I.3. Processus industriel de Hassi R'Mel                                                                  | 11 |
| Figure I.4. Unité PWT                                                                                            | 13 |
| Figure I.5. Section de traitement des boues                                                                      | 14 |
| Figure III.1. Traitement des eaux usées huileuses                                                                | 28 |
| Figure III. 2. Mécanisme d'interaction entre les bulles de gaz et les gouttelettes d'huile pendant la flottation | 30 |
| Figure III.3. Structure d'un bon adsorbant                                                                       | 35 |
| Figure IV.1. Schéma d'injection d'eau                                                                            | 42 |
| Figure IV.2. Schéma comparatif de traitement de l'eau (avant / après)                                            | 43 |
| Figure IV.3. L'unité de PWT                                                                                      | 43 |
| Figure IV.4. Schéma détaillé du passage de l'eau                                                                 | 45 |
| Figure IV.5. La variation de production en fonction de temps.                                                    | 46 |
| Figure IV.6. Le ballon séparatif de l'API.                                                                       | 47 |
| Figure IV.7. Le ballon séparatif de CPI.                                                                         | 48 |
| Figure IV.8. Le ballon séparatif d'IGF                                                                           | 49 |
| Figure IV.9. Filtres à coque de noix (NutShell filtre)                                                           | 50 |
| Figure IV.10. Schéma des particules de coque de noix (nutshel) + la coalescence d'huile                          | 50 |
| Figure IV.11. Schéma d'eau avant et après filtration NSF                                                         | 50 |
| Figure IV.12. Schéma de fonctionnement de charbon actif                                                          | 51 |
| Figure IV.13. Filtre à charbon actif.                                                                            | 52 |
| Figure IV.14. Traitement des eaux boueuses.                                                                      | 53 |
| Figure IV.15. Point injection de dosage                                                                          | 54 |
| Figure IV.16. Dosage du Capturant d'oxygène (oxygène scavenger)                                                  | 55 |
| Figure IV.17. Schéma de dosage de l'emulsion breaker                                                             | 55 |
| Figure IV.18. Schéma de dosage du Coagulant                                                                      | 56 |

|                                                                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figure IV.19. Chromatogramme.                                                                                                                                        | <b>57</b> |
| Figure IV.20. Spectrophotomètre-DR6000                                                                                                                               | <b>59</b> |
| Figure IV.21. Analyse de NaCl                                                                                                                                        | <b>60</b> |
| Figure IV.22. Détermination de TSS (MES)                                                                                                                             | <b>61</b> |
| Figure IV.23. Analyse de TOG                                                                                                                                         | <b>62</b> |
| Figure IV.24. PH-mètre utilisée.                                                                                                                                     | <b>63</b> |
| Figure IV.25. La paume de Maryam après préparation primaire                                                                                                          | <b>65</b> |
| Figure IV.26. Adsorbants Activés                                                                                                                                     | <b>67</b> |
| Figure IV.27. Dispositif expérimentale                                                                                                                               | <b>67</b> |
| Figure IV.28. Préparation des échantillons                                                                                                                           | <b>69</b> |
| Figure IV.29. Mesure de DCO                                                                                                                                          | <b>70</b> |
| Figure IV.30. Influence du temps de contact sur l'abattement de la DCO par le biomatériau ( $V = 200$ ml, $m = 4$ g, $[DCO]_0 = 160.6$ mgO <sub>2</sub> /L)          | <b>72</b> |
| Figure IV.31. Évolution du rendement de l'adsorption des polluants en fonction de temps de contact ( $V = 200$ ml, $m = 4$ g, $[DCO]_0 = 160.6$ mgO <sub>2</sub> /L) | <b>72</b> |
| Figure IV.32. Évolution de DCO en fonction de la quantité d'adsorbant                                                                                                | <b>73</b> |
| Figure IV.33. Effet de la quantité d'adsorbant sur l'évolution du rendement de l'adsorption des polluants sur le bioadsorbant choisi.                                | <b>74</b> |
| Figure IV.34. Évolution de la DCO en fonction de la vitesse d'agitation                                                                                              | <b>75</b> |
| Figure IV.35. Évolution du rendement de l'adsorption des polluants en fonction de la vitesse d'agitation.                                                            | <b>75</b> |

## **LISTE DES ABRÉVIATION**

SBN: Station Boosting Nord

MPP: Module Pressing Plant

SCN : Station de Compression Nord

SCS : Station de Compression Sud

CTH: Centre de traitement d'huile

CSTF: Centre de stockage et de transfert des fluides

PWT: Produced Water Treatment

PWF: Produced Water Filtration

API: American Petroleum Institute

CPI: Corrugated plate interceptor

IGF: Induced Gas Flotation

ACF: Charbon Actif Filtres

NSF: NutShell Filters

MES: Matière En Suspension

TSS : totale des solides en suspension

DCO: Demande Chimique en Oxygène

## TABLE DE MATIERE

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>REMERCIEMENT</b>          | <b>I</b>   |
| <b>DEDICACES</b>             | <b>II</b>  |
| <b>RESUME</b>                | <b>III</b> |
| <b>ABSTRACT</b>              | <b>IV</b>  |
| <b>ملخص</b>                  | <b>V</b>   |
| <b>LISTE DES TABLEAUX</b>    | <b>VI</b>  |
| <b>LISTE DES FIGURES</b>     | <b>VII</b> |
| <b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> | <b>1</b>   |

### CHAPITRE I : PRÉSENTATION DU SITE DE HASSI R'MEL

|                                                 |           |
|-------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introduction</b>                             | <b>4</b>  |
| <b>I.1 Situation géographique</b>               | <b>4</b>  |
| <b>I.2 Historique du champ de Hassi R'mel</b>   | <b>4</b>  |
| I.2.1 Développement du champ de Hassi R'mel     | 5         |
| I.2.2 Installation gazière à Hassi R'mel        | 6         |
| I.2.3 Les installations productrices            | 7         |
| I.2.4 Les installations réceptrices             | 7         |
| <b>I.3 Généralité sur le gaz</b>                | <b>15</b> |
| I.3.1 Les caractéristiques des produits gaziers | 15        |
| I.3.2 Différents types du gaz naturel(GPL)      | 16        |
| I.3.3 Gaz pétrole liquéfié                      | 16        |
| I.3.3.1 Caractéristique et propriété du GPL     | 16        |
| I.3.4 Condensât                                 | 17        |
| I.3.4.1. Caractéristiques du condensât :        | 17        |
| <b>Conclusion</b>                               | <b>17</b> |
| <b>Références bibliographique</b>               | <b>18</b> |

### CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉS SUR LES EAUX USÉES

#### INDUSTRIELLES

|                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introduction</b>                                                                         | <b>19</b> |
| <b>II.1 Les eaux industrielles</b>                                                          | <b>19</b> |
| <b>II.2 Les différents types de pollution engendrée par les rejets industriels liquides</b> | <b>20</b> |
| II.2.1 La pollution chimique                                                                | 20        |

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| II.2.1.1 La pollution organique                                               | 20        |
| II.2.1.2 La pollution minérale                                                | 20        |
| II.2.1.3 La pollution thermique                                               | 21        |
| II.2.1.4 La pollution mécanique                                               | 21        |
| <b>II.3 Paramètre de mesures de la pollution des eaux usées industrielles</b> | <b>21</b> |
| II.3.1 Paramètre organoleptiques                                              | 21        |
| II.3.2 Paramètre physiques                                                    | 22        |
| <b>Conclusion</b>                                                             | <b>24</b> |
| <b>Références bibliographique</b>                                             | <b>25</b> |

## **Chapitre III : LES PROCÉDÉS DU TRAITEMENT DES EAUX HUILEUSES**

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introduction</b>                                                      | <b>26</b> |
| <b>III.1 Les différentes catégories de traitement des eaux huileuses</b> | <b>26</b> |
| <b>III.2 Les techniques de traitements des eaux huileuses</b>            | <b>27</b> |
| III.2.1 Traitement primaire                                              | 28        |
| III.2.1.1 Séparation par gravité                                         | 28        |
| III.2.1.2 Séparation par centrifuges                                     | 28        |
| III.2.2 Traitement secondaire                                            | 29        |
| III. 2.2.1. Traitement chimique                                          | 29        |
| III. 2.2.2. La Flottation                                                | 30        |
| III.2.2.3 La filtration                                                  | 30        |
| III.2.2.4 Traitement membranaire                                         | 31        |
| III.2.3 Traitement tertiaire                                             | 31        |
| III.2.3.1 Évaporation                                                    | 32        |
| III.2.3.2 Traitement biologique                                          | 32        |
| III.2.3.3 L'osmose inverse                                               | 32        |
| III.2.3.4 Adsorption                                                     | 32        |
| III.2.3.4.1 Définition de l'adsorption                                   | 33        |
| III.2.3.4.2 Types d'adsorption                                           | 33        |
| III.2.3.4.3 Adsorbant                                                    | 33        |
| III.2.3.4.4 Cinétique d'adsorption                                       | 35        |
| III.2.3.4.5 Équilibre d'adsorption sur un solide                         | 35        |
| III.2.3.4.6 Vitesse initiales d'adsorption                               | 37        |

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| III.2.3.4.7 Facteur influençant d'adsorption                               | 38        |
| III.2.3.4.8 Adsorption par charbon actif                                   | 39        |
| <b>Conclusion</b>                                                          | <b>39</b> |
| <b>Références bibliographique</b>                                          | <b>40</b> |
| <b>Chapitre IV : PARTIE EXPÉRIMENTALE</b>                                  |           |
| <b>Introduction</b>                                                        | <b>42</b> |
| <b>IV.1 Traitement de l'eau produite</b>                                   | <b>42</b> |
| <b>IV.2 Description et aperçu du principe de fonctionnement de l'unité</b> | <b>44</b> |
| <b>IV.3 Description de l'unité de traitement de l'eau produite</b>         | <b>45</b> |
| IV.3.1 Le séparateur API (American Petroleum Institute)                    | 46        |
| IV.3.2 Le séparateur CPI (Corrugated Plates Interceptor)                   | 49        |
| IV.3.3 Le séparateur IGF (Induced Gas Flotation)                           | 49        |
| IV.3.4 Filtres à coque de noix (NutShell Filters (NSF))                    | 49        |
| IV.3.5 Filtres à charbon actif (ACF)                                       | 51        |
| <b>IV.4 Traitement des eaux boueuses (D100A/B)</b>                         | <b>51</b> |
| <b>IV.5 Dosage de produit</b>                                              | <b>53</b> |
| IV.5.1 Capturant d'oxygène (Oxygène scavenger )                            | 55        |
| IV.5.2 Emulsion breaker                                                    | 55        |
| IV.5.3 Coagulant et la soude caustique                                     | 56        |
| <b>IV.6 Les analyses effectuées</b>                                        | <b>56</b> |
| IV.6.1 Analyse de l'indice des hydrocarbures                               | 56        |
| IV.6.2 Analyse du fer                                                      | 58        |
| IV.6.3 Analyse de NaCl                                                     | 59        |
| IV.6.4 Analyse de TSS (MES)                                                | 60        |
| IV.6.5 Analyse de TOG                                                      | 61        |
| IV.6.6 Analyse de PH                                                       | 62        |
| <b>IV.8 Préparation des bio-adsorbants</b>                                 | <b>65</b> |
| <b>IV.9 Matériels et méthodes</b>                                          | <b>67</b> |
| IV.9.1 Demande chimique en oxygène (DCO)                                   | 68        |
| IV.9.2 Demande biologique en oxygène (DBO <sub>5</sub> )                   | 70        |
| <b>IV.10 Résultats et discussion</b>                                       | <b>70</b> |
| <b>IV.11 Caractérisation de l'eau usée utilisé</b>                         | <b>70</b> |
| IV.11.1 Effet de temps de contact sur l'abattement de la DCO               | 71        |

|                                         |           |
|-----------------------------------------|-----------|
| IV.11.2 Effet de la masse d'adsorbant   | 73        |
| IV.11.3 Effet de la vitesse d'agitation | 74        |
| <b>Conclusion</b>                       | <b>76</b> |
| <b>CONCLUSION GENERALE</b>              | <b>77</b> |

## INTRODUCTION GENERALE

L'eau, élément vital, transcende les frontières de sa simple utilisation commerciale pour revendiquer son statut de patrimoine universel. Cette ressource précieuse, essentielle à la survie de l'homme et à l'intégrité de son environnement, est aujourd'hui menacée par une multitude de pollutions, notamment celles engendrées par l'industrie pétrolière.

Chaque jour, les puits d'extraction de pétrole, les installations de traitement du gaz et les raffineries génèrent d'importantes volumes d'eaux contaminées, contenant des hydrocarbures, des particules solides et des matières en suspension (MES). Face à cette réalité alarmante, les pays producteurs de pétrole ont été contraints de placer la minimisation des impacts environnementaux au cœur de leurs préoccupations. Dans ce contexte de la politique environnementale de l'entreprise, le groupe SONATRACH a pris des mesures précoces pour mettre en œuvre un programme ambitieux visant à minimiser tous les impacts environnementaux significatifs de ses activités et services, en conformité avec la législation en vigueur (notamment la loi n°83-03 du 05/02/1983 sur la protection de l'environnement) [1].

La direction régionale de Hassi R'mel a installé trois stations de déshuilage dans chacune de ses zones industrielles (centre, nord et sud) pour récupérer les hydrocarbures (le condensat C5<sup>+</sup>) et traiter les eaux huileuses rejetées par les unités de séparation de brut. Ces rejets peuvent avoir un impact significatif sur les écosystèmes en raison de leur composition, notamment en métaux lourds et en hydrocarbures. Ainsi, il est crucial de garantir la qualité des eaux rejetées et l'efficacité du traitement des unités [2].

L'unité PWT comprend une série de processus, débutant à la station API et passant par la CPI, l'IGF, la NSF et l'ACF, qui utilisent diverses techniques pour éliminer les ions métalliques et les polluants organiques de l'eau. Ces techniques incluent l'adsorption, la coagulation-floculation et la précipitation, qui sont appliquées aux eaux huileuses dans le but de récupérer la fraction précieuse du "condensat".

Pour assurer la préservation de nos écosystèmes aquatiques, il est impératif de veiller à la qualité des eaux rejetées ainsi qu'à l'efficacité des traitements appliqués dans les stations. Diverses méthodes ont été développées pour éliminer les contaminants, notamment les huiles, présents dans l'eau. Parmi ces techniques, on retrouve l'adsorption, la coagulation-floculation et la précipitation [2].

L'objectif de notre travail consiste à identifier un nouveau biosorbant peu onéreux et performant pour le traitement des eaux huileuses issues de l'industrie gazière de Hassi R'mel. Par la suite, nous avons affiné les paramètres susceptibles d'influencer ce processus de traitement.

Ce manuscrit est composé de quatre chapitres.

Le premier chapitre présente une description de la zone d'étude située dans le champ de Hassi R'mel.

Dans le deuxième chapitre, nous avons abordé une présentation générale des eaux usées industrielles.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation des procédés de traitement des eaux huileuses.

Dans le chapitre quatre, nous détaillons la méthodologie utilisée sur le terrain, incluant le processus de prélèvement et de préparation des échantillons, ainsi que leur analyse en laboratoire. En outre, nous présenterons une étude expérimentale portant sur l'adsorption des hydrocarbures sur le biosorbant sélectionné.

Une conclusion générale exposant les principaux résultats de ce travail,

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Politique HSE à SONATRACH. Service environnement. Direction AUI-Division Technologie et Développement-Boumerdes.

[2] Document fournie par la station de déshuilage HassiR'mel centre.

[3] PRAIRIE M.R., EVANS L.R., Stange B.M, Martinez S.L.. 1993. An investigation of TiO<sub>2</sub> photocatalysis for the treatment of water contaminated with metals and organic chemicals, Environ. Sci. Technol.

## CHAPITRE I

### PRÉSENTATION DU SITE DE HASSI R'MEL

#### INTRODUCTION

L'énergie occupe une place primordiale dans le développement économique en Algérie qui dépend essentiellement de la valorisation des hydrocarbures. Le gaz naturel joue un rôle énergétique croissant dans le monde, l'importance de ses réserves et leurs avantages favorisent son utilisation, notamment dans les secteurs à forte valeur, (production d'électricité...). Il est composé essentiellement du méthane et contient des proportions décroissantes de tous les hydrocarbures saturés en plus de l'azote, du gaz carbonique et de l'eau. Mais, les coûts techniques de production, de traitement et surtout de transport du gaz naturel restent toutefois élevés et représentent un handicap.

#### I.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Hassi R'Mel, est la porte du désert, elle se trouve à 550 Km au sud d'Alger. Dans cette région relativement plate du Sahara septentrional, l'altitude moyenne est d'environ 750 m. Le climat est caractérisé par une pluviométrie faible (140 mm par an) et une humidité moyenne de 19% en été et 34% hiver. Les amplitudes thermiques sont importantes et les températures varient entre  $-5^{\circ}\text{C}$  en hiver et  $+54^{\circ}\text{C}$  en été, les vents dominant sont de direction Nord-Ouest [1].

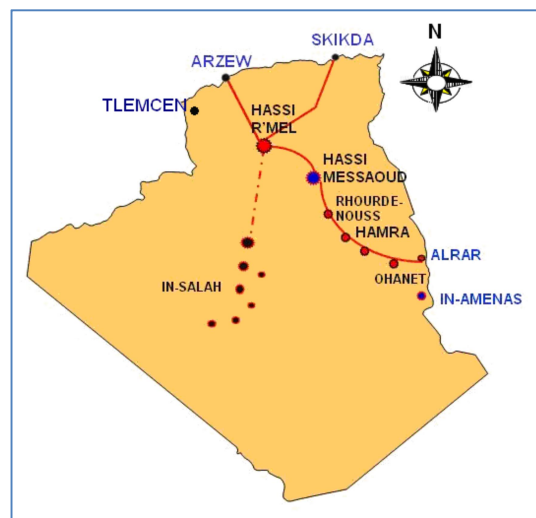


Figure I.1. Situation géographique de Hassi R'Mel

#### I.2. HISTORIQUE DU CHAMP DE HASSI R'MEL

La première campagne s'intéressant à la région a eu lieu en 1951, le forage du premier puits

d'exploitation a eu lieu en 1952 à quelques Kilomètres de BERRIANE. Dans le champ de Hassi R'Mel, le premier puits HR1 a été foré en 1956 sous le sommet de l'anticlinal que constitue le gisement de Hassi R'Mel. Ce puits a mis en évidence la présence de gaz riche en condensât dans le trias gréseux sous une pression de  $310 \text{ Kg/cm}^2$  et  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ . La profondeur atteinte est de 2332 m, révélant la présence d'un réservoir de gaz humide. Le gisement de Hassi R'Mel est constitué de trois réservoirs :

### ➤ Réservoir A

S'étend sur tout le champ de Hassi R'Mel, son épaisseur varie sur l'ensemble du champ de 15 à 30 m. Ses caractéristiques sont

- ✓ Porosité : 15%
- ✓ Perméabilité :  $270.10^{-3}$  Darcy.
- ✓ Teneur en eau : 24%

### ➤ Réservoir B

Il est limité à la zone centrale et la zone nord du champ. Ses caractéristiques sont :

- ✓ Porosité : 15%
- ✓ Perméabilité :  $250.10^{-3}$  Darcy
- ✓ Teneur en eau : 28%.

### ➤ Réservoir C

Il s'étend sur la majeure partie du champ sauf la zone sud, c'est le plus épais des trois niveaux et le plus important. Ses caractéristiques sont :

- ✓ Porosité : 08%
- ✓ Perméabilité :  $800.10^{-3}$  Darcy.
- ✓ Teneur en eau : 13%.

Le champ de Hassi R'Mel est d'une vaste étendue de  $3500 \text{ Km}^2$  (70 Km de long sur 50 Km de large). Les réserves trouvées en place sont évaluées à plus de  $2.8.10^{12} \text{ m}^3$  [1].

### **I.2.1. Développement du champ de Hassi R'Mel**

Le développement du champ de Hassi R'Mel s'est trouvé étroitement lié au développement de l'industrie du gaz dans le monde et les importantes réserves recelées par ce gisement, plus de 2000 milliards de  $\text{m}^3$  ont constitué un atout important pour lancer une politique d'industrie gazière de grande envergure pour le pays.

Trois étapes importantes ont marqué le développement du champ de Hassi R'Mel :

**1<sup>ère</sup> étape : 1961** : réalisation d'une petite unité de traitement de gaz de **1,3 milliards de  $\text{m}^3$  /an**. Cette réalisation a coïncidé avec la construction de la première usine de liquéfaction de gaz, en **1964**.

**2<sup>ème</sup> étape :** La capacité de traitement du champ de Hassi R'Mel atteint, après la nationalisation des hydrocarbures en 1971, **14 milliards de m<sup>3</sup>/an.**

**3<sup>ème</sup> étape : 1975-1980 :** Cette période a permis de concrétiser un plan de développement qui concerne l'ensemble du champ de Hassi R'Mel [2].

**I.2.2. Installations gazières à Hassi R'Mel**

Le plan d'ensemble des installations gazières implantées sur le champ de Hassi R'Mel est élaboré de façon à avoir une exploitation rationnelle du gisement et pouvoir récupérer le maximum de liquide. Les cinq modules de traitement de gaz (0, 1, 2, 3, et 4) sont disposés d'une manière alternée par rapport aux trois stations de compression tel que présenté sur la Figure 2. Ci-après [2].

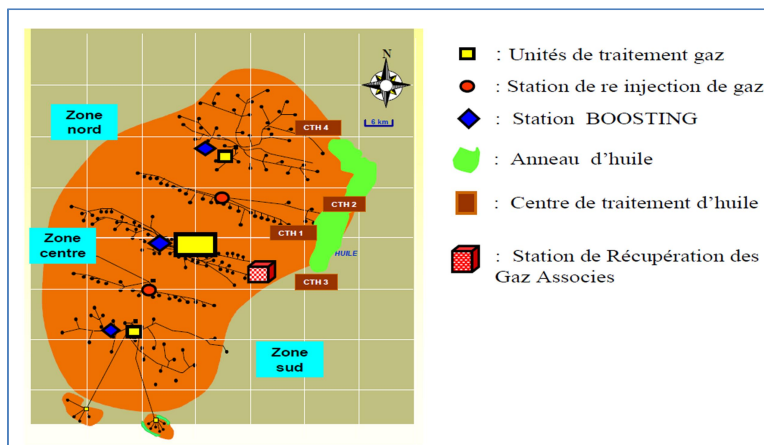


Figure I.2. Installations gazières de Hassi R'Mel

Les installations mises en œuvre sont réparties comme suit :

**Tableau I.1.** La répartition des installations de Hassi R'Mel

| Zone Centre                                                                                                                                                                                                                                                | Zone Nord                                                            | Zone Sud                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Module de traitement de gaz 0, 1 et 4 et les installations communes (communs ou Phase B).<br>Centre de Stockage et de Transfert par Facilité (CSTF).<br>Centre National de Distribution de Gaz (CNDG).<br>Station de Récupération des Gaz Associés (SRGA). | Module de traitement de gaz 3.<br>Station de Compression Nord (SCN). | Module de traitement de gaz 2.<br>Station de Compression Sud (SCS).<br>Centre de Traitement de Gaz CTG/Djebel-Bissa.<br>Centre de Traitement de Gaz CTG/HR-Sud. |

### **I.2.3. Les installations productrices**

- ❖ Module de traitement de gaz MPP.

MPP est le diminutif de Module Processing Plant. Il désigne une usine de traitement de gaz naturel à l'échelle industrielle.

Cinq modules sont implantés sur le champ de Hassi R'Mel ; quatre ont une capacité unitaire de 60 millions de m<sup>3</sup>. Le cinquième module 0, a une capacité de 30 millions m<sup>3</sup> ; il est le plus ancien.

Il existe deux autres centres de traitement le HR sud et Djebel Bissa de capacité de 8 et 6 millions de m<sup>3</sup> respectivement.

Ces installations produisent :

- ✓ Le Gaz sec.
- ✓ Le GPL
- ✓ Le Condensât

### **I.2.4. Les installations réceptrices**

- ❖ **Le Centre de Stockage et de Transport par Facilités (CSTF) :**

Le condensât et le GPL produits sont envoyés vers le (CSTF) pour être stockés et acheminer vers les terminaux par l'intermédiaire des stations de pompage.

Il comprend trois bacs de 35000 m<sup>3</sup> et quatre de 45000 m<sup>3</sup> pour le stockage du condensat, douze sphères de 7100 m<sup>3</sup> pour le stockage du GPL.

- ❖ **Le Centre National de Distribution de Gaz (CNDG) :**

Le centre a pour rôle de collecter toutes les quantités de gaz produits au niveau des installations productrices et le dispatcher vers les centres de consommation nationale et internationale (l'Italie et l'Espagne).

- ❖ **Station de compression (Boosting) :**

Les stations de compression ont pour rôle de régler la pression du gaz à une pression suffisante qui puisse vaincre la pression naturelle du gisement. La capacité de réinjection de chaque unité est de 90 millions de m<sup>3</sup>/jour.

Le but de la réinjection est de maintenir la pression afin de récupérer le maximum de liquide.

- ❖ **Description de la STATION BOOSTING Nord (SBN) :**

Le SBN a pour vocation de comprimer le gaz d'alimentation, dont la pression diminue progressivement, dans la zone nord du champ de Hassi R'Mel, d'unité de traitement de gaz MPP 3. Et d'assurer la pression de gaz brut de 102 bars au minimum à l'entrée de MPP 3 pour que celui-ci reste en service.

**SBN** est une station comprissions de gaz 24 Kg/cm<sup>2</sup> jusqu'à 56Kg/cm<sup>2</sup> pour la bonne séparation aux niveaux des module 3. Garder le débit du gisement d'alimentation des modules de traitement à 35 millions standard m<sup>3</sup>/24h.

Pour le maintien de cette pression minimale d'alimentation des installations existantes, Sonatrach a décidé de mettre en œuvre des stations de compressions intermédiaires conformément aux étapes suivantes :

- ✓ **Le SBN III** conçu pour maintenir la pression du gaz brut à l'entrée du Boosting phase II aux dessus de 57 bars pour cela le condensat et l'eau libre du gaz brut sont séparés Initialement avant la compression du gaz, l'eau est envoyée à l'unité de traitement d'eau PWT et le condensat sera pompé et mélangé avec le gaz comprimé avant son admission aux **SBN II**.

- **Processus description du SBN III**

Pour ce faire Le fluide des puits du réseau de collecte est reçu via les différentes lignes principales est admis dans les séparateurs triphasés horizontaux d'entrée D901 (Slug Catcher), équipés d'un déversoir gaz-liquide séparation par différence de densités du condensat qui sera pompée par la P901, via le coalesceur de liquide DC901 vers l'entrée du SBN II et l'eau sera envoyée à l'unité de traitement d'eau produite PWT. Le gaz séparé du séparateur d'entrée sera envoyé aux coalesceurs de gaz qui éliminent toute trace de liquide entraîné par le flux de gaz. Conçu pour éliminer 99,99 % des gouttelettes de 1 µm et plus. Le gaz séparé sera envoyé aux compresseurs via les ballons d'aspiration D902 scrubbers. Tous les liquides des coalesceurs de gaz DC901 et ballons d'aspiration D902 des compresseurs seront envoyés au ballon de vidange de condensat D913 sous contrôle de niveau dont l'excès recycle l'entrée des D901 via la P902. Le gaz comprimé dans les compresseurs BCL807 jusqu'à 57 bars refroidi jusqu'à 60°C dans E901 est envoyé au SBN2 pour un second étage de compression.

La station, Boosting **SBN3**, est une station autonome de compression de gaz brut qui comprend les sections suivantes :

**1. Les utilités :**

- a. Compression d'air.
- b. Sécheurs d'air.
- c. Générateurs d'azote.

- d. Traitement d'eau brute et régénération de l'unité.
- e. Traitement des eaux huileuses (PWT) avec un bassin de rétention et une surface d'évaporation.
- f. Filtration des eaux produites (PWF).
- g. Traitement des eaux usées domestiques.
- h. Stockage & régénération d'huile Z904.

**2. Manifolds d'entrées / sorties :**

- a. 10 collecteurs avec des gardes racleurs respectifs.
- b. By-pass total station.
- c. Injections d'inhibiteur de corrosion et de-émulsifiant.
- d. 02 lignes de départs avec une ligne de banalisation.

**3. Séparation et transfert :**

- a. Quatre ballon de séparation d'entrées D901A-D.
- b. Ligne de banalisation inter blocks dotée d'une ESDV9064.
- c. Coaliseurs liquide/gaz DC901A-D.
- d. Pompière d'expédition de condensat P901A/B/C & P902A/B.
- e. Fosse de drainage ouverte SU961.
- f. Ballon de drainage fermé D914.
- g. Ballon de vidange de condensat D913.

**4. Compression :**

**5. Quatre machines tournant MS5002D pour augmenter la pression 24 Kg/cm<sup>2</sup> jusqu'à 57Kg/cm<sup>2</sup> alimenté par des ballons d'aspiration D902.**

**6. Système de torche :**

- a. Ballon de torche HP D910, une torche HP F910.
- b. Ballon de torche BP D911, une torche BP F911.

**❖ La Station de Récupération des Gaz Associés (SRGA)**

Elle permet de récupérer les gaz associés initialement torchés, du centre de traitement d'huile.

**❖ Le centre de traitement d'huile (CTH)**

Cinq unités sont implantées à Hassi R'mel (CTH1, CTH2, CTH3, CTH4 et CTH-Sud), elles sont dotées de séparateurs et de bacs de stockage qui permettent de produire le pétrole brut et de le transférer au module 0 pour stockage intermédiaire avant d'être expédié vers SP4 (station de pompage et de transport).

- **Rejets des modules**

Les rejets des modules de traitement de gaz sont représentés essentiellement par des eaux salées saturées de gisement contenant des hydrocarbures (condensât) sous forme de traces, des inhibiteurs de corrosion, des traces de glycol, des métaux lourds en très faibles quantités. Ces rejets sont acheminés vers des borbiers aménagés à proximité des différentes unités. Le volume total des rejets de ces modules est estimé à 1350 m<sup>3</sup>/j [4].

- a. **Rejets des CTH**

Les rejets des CTH sont essentiellement des eaux salées de gisement ajoutées à l'eau de lavage des tubings et des conduites pompée pour l'évacuation des dépôts de sel.

Les eaux des borbiers sont souvent couvertes d'une pellicule d'huile résultant parfois d'une mauvaise séparation. Le volume des eaux rejetées par l'ensemble des CTH est en moyenne 1200 m<sup>3</sup>/jour [4].

- b. **Rejets des sondes de forage**

Les rejets des sondes de forage sont représentés par un volume important de boue de forage, de déblais contaminés par la boue, des eaux de lavage, du gas-oil utilisé dans la fabrication des boues à base d'huile, des huiles de vidange et des graisses de tiges de forage et tubages. Le volume moyen des rejets d'un puits en forage est estimé à 2 500 m<sup>3</sup> pour une durée de deux mois [4].

- c. **Rejets des unités industrielles**

Ces rejets sont représentés surtout par des eaux de lavage, contenant des détergents et du gas-oil, des huiles de vidange, de la poussière métallique et de produits chimiques des laboratoires tels que les acides chlorhydrique et sulfurique, la soude caustique, le nitrate d'argent. Concernant les huiles de vidange, il convient de noter qu'au niveau des fosses d'entretien des bases de SONATRACH, l'huile est récupérée puis par NAFTAL, pour son recyclage [4].

- **Les borbiers**

Un borbier est une grande fosse de stockage des rejets liquides issus des différentes unités de production ainsi que les boues de forage. Actions mises en œuvre pour la protection de l'environnement à HR.

SONATRACH s'est engagée à faire un suivi actif du volet environnement en vue d'une certification ISO14001, pour cela différentes actions ont été entreprises afin de minimiser la pollution.

- ✓ Traitement des eaux domestiques par la réalisation d'une station d'épuration STEP.
- ✓ Traitement des boues de forages.
- ✓ La récupération des gaz associés, par la réalisation de deux stations SRGA 1 et 2.
- ✓ La prise en charge des déchets solides industriels par élaboration de procédure de gestion intégrée.
- ✓ Traitement des eaux de rejets industriels, par la réalisation de trois stations de déshuilage et de filtration.

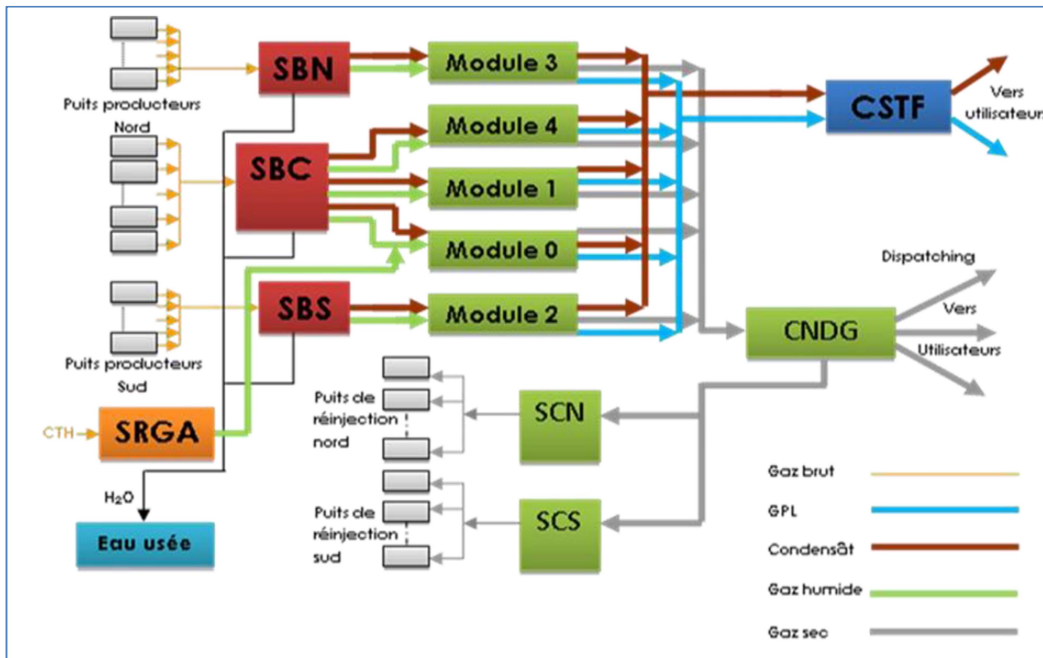


Figure I.3. Processus industriel de Hassi R'Mel.

- **Capacité de production**

D'une capacité de production de 2.400 milliards de mètres cube (m<sup>3</sup>) de gaz naturel, le gisement de Hassi R'mel est classé comme étant le plus grand gisement d'Afrique et quatrième au monde. Il sera épaulé par un projet de réalisation d'une station supplémentaire de compression qui sera mise en service en 2024.

**Tableau I.2.** Capacité de production de gaz naturel, condensât et GPL

| Produits                  | Modules : I, IL III, D | Module 0 |
|---------------------------|------------------------|----------|
| Gaz (M m <sup>3</sup> /j) | 60                     | 30       |
| Condensât (t/j)           | 1120                   | 1500     |
| GPL(t/j)                  | 2400                   | 300      |

- **Station de déshuilage HR**

Hassi R'mel compte trois stations de déshuilage implantées dans les Zones centre, nord et sud avec une capacité de traitement de 1500 m<sup>3</sup>/j. Le rôle de la station de déshuilage consiste à collecter toutes les eaux industrielles rejetées à partir des modules de traitement de gaz et des centres de traitement d'huile et de les traiter avant d'être rejetées, et ce afin de :

- Protéger la nappe phréatique.
- Eviter la prolifération des maladies à transmission hydrique.
- Eviter les désagréments pouvant altérer le milieu récepteur (sol, plantations, population).
- Se conformer à la législation et réglementation en matière de protection de l'environnement.

L'unité de traitement des eaux au niveau de la station boosting sud Hassi R'mel il se compose de deux parties **PWT** et **PWF**. Le principe de cette unité basée sur la séparation de l'eau des autres composants résiduels comme les hydrocarbures, la boue, les sels et les gaz associés. Avant d'être filtrée puis injecté dans les puits.

L'unité **PWT** s'alimenté de plusieurs sources principaux et secondaires. L'arrivage principal venant des 4 ballons de séparation de gaz sludg catcher qui reprisent la grande quantité de l'eau huileuse de cette station, et des autres arrivages secondaires.

Cette unité est composée principalement de cinq sections :

- Les séparateurs d'huile : (API, CPI et IGF).
- Unité de filtration de l'huile en émulsion.
- Séparateur de boue.
- Dosage chimiques.
- Unité de filtration finale.

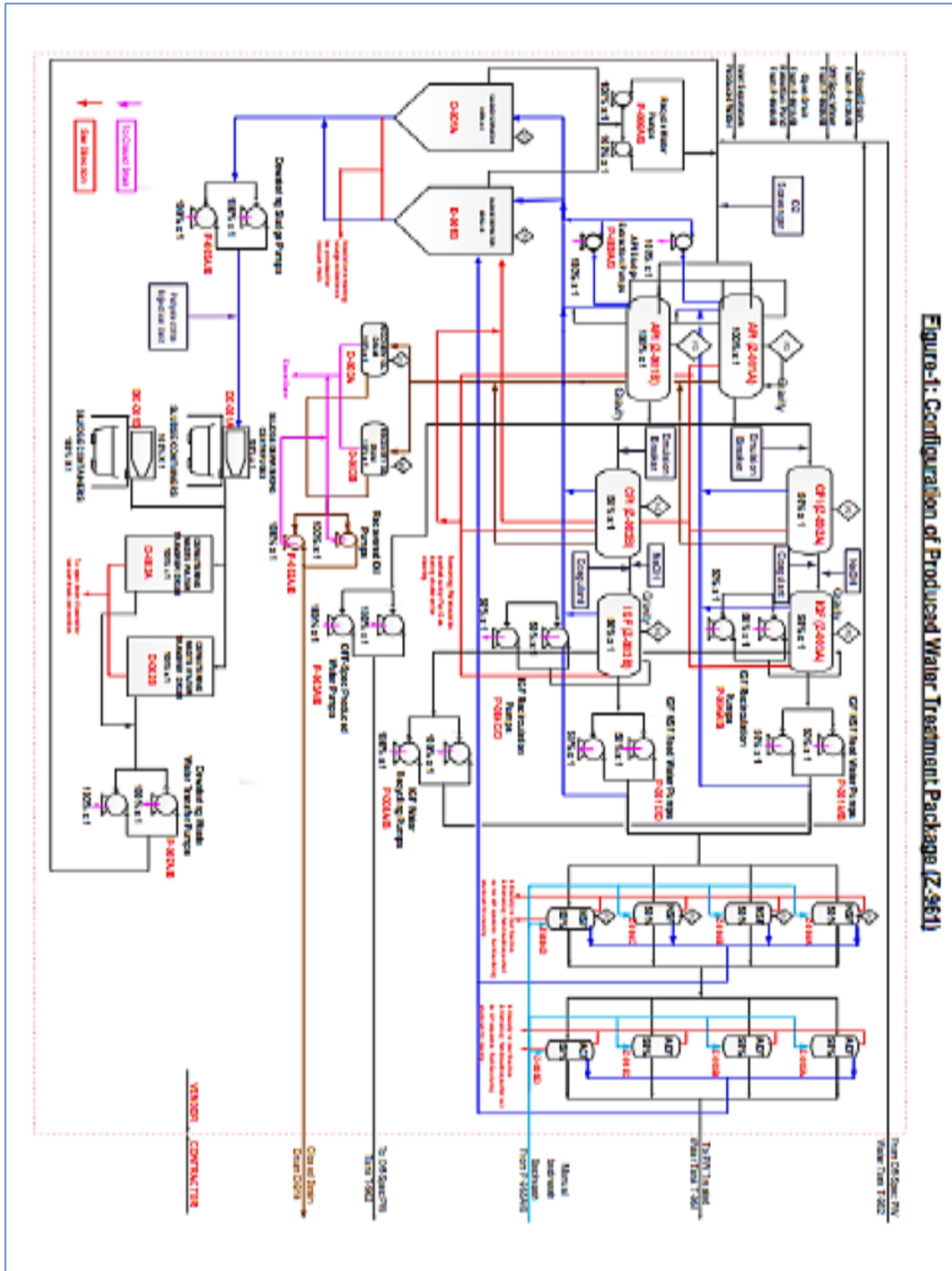


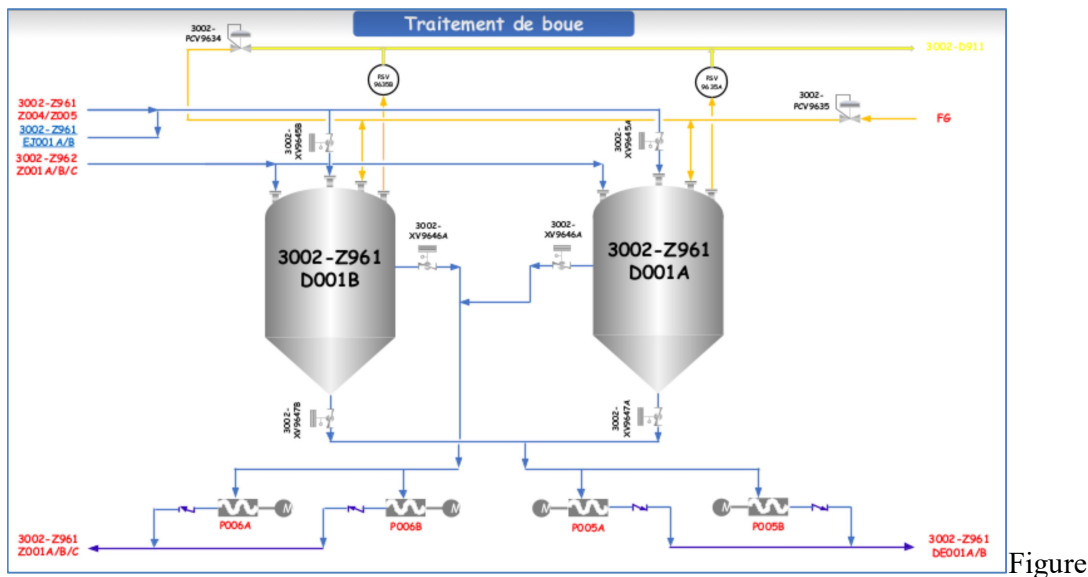
Figure I.4. Unité PWT.

• **Section Traitement des boues**

Les séparateurs de boues sont des récipients cylindriques verticaux à fond conique. Ces navires sont recouverts de carburant gaz au moyen d'une ligne dédiée. Le but principal de ces articles est de recevoir les effluents de lavage à contre-courant des filtres de synthèse.

Après un temps de décantation déterminé, les boues s'accumulent au fond, tandis que l'eau dans la partie supérieure est recyclée en amont des séparateurs API au moyen des Recycle Water Pompe.

Les centrifugeuses de déshydratation des boues sont conçues pour traiter les boues accumulées en 24 heures, en un quart de 8 heures. En particulier, une fois la phase de « décantation » du séparateur de boues terminée, une alarme s'affiche et l'opérateur est autorisé à démarrer manuellement la séquence de déshydratation des boues.



I.5. Section de traitement des boues.

La section Traitement des boues est consacrée à la gestion des flux de déchets générés dans le colis PWT, ainsi que des effluents de rétro lavage du colis PWF. En particulier, les effluents livrés à cette section sont :

- Eaux usées de lavage à contre-courant des eaux usées NSFS.
- Contre-lavage des eaux usées ACF
- Contre-lavage des eaux usées de MMF à partir du paquet PWF.
- Sand jetting automatique à partir des pompes d'extraction de boues API.

Dans notre travail on est intéressé par la PWT seulement.

### I.3. GÉNÉRALITÉS SUR LE GAZ [3]

Le gaz naturel est un combustible fossile, il s'agit d'un mélange d'hydrocarbures trouvé naturellement sous forme gazeuse. C'est la deuxième source d'énergie la plus utilisée dans le monde après le pétrole, et son usage se développe rapidement. Le gaz naturel provient de couches géologiques du sous-sol où il se trouve soit seul, soit en association avec du pétrole. Il est issu de la transformation naturelle, durant des millions d'années de matières organiques. Il est principalement composé de méthane (70% environ), un des hydrocarbures les plus simples d'un point de vue chimique. Le gaz naturel contient aussi d'autres composés, présents en proportions plus ou moins importantes suivant les gisements. On y trouve évidemment des hydrocarbures plus lourds que le méthane mais aussi des composés inorganiques comme la vapeur d'eau, le gaz carbonique et des sulfures d'hydrogène (qu'il faut éliminer), et même de l'hélium. En comparaison avec d'autres énergies fossiles le gaz naturel est considéré comme une énergie plutôt propre et son état gazeux permet en outre l'obtention d'une combustion complète, les gaz de combustion qui y sont dû ne contiennent presque pas d'hydrocarbures imbrûlés et peu de monoxyde de carbone (CO).

#### I.3.1. Les caractéristiques des produits gaziers

Le gaz naturel possède des caractéristiques le spécifiant tels que :

- **La densité** : qui est le rapport de sa masse volumique à celle de l'air dans les conditions normales de pression et de température.
- **Le pouvoir calorifique** : qui est la quantité de chaleur dégagée par la combustion d'une unité de volume du gaz, mesurée dans les conditions normales. Le pouvoir calorifique pour le gaz naturel s'exprime en joules par mètre cube ( $J/m^3$ ).

Il existe deux types de pouvoir calorifique :

- **Pouvoir calorifique supérieur (PCS)** : Correspondant à la chaleur dégagée lorsque tous les produits de combustion dus (hydrogène ou produits d'hydrogène) sont ramenés à la température ambiante, l'eau formée étant à l'état liquide.
- **Pouvoir calorifique inférieur (PCI)** : Correspondant à la combustion du gaz dans laquelle l'eau resterait à l'état vapeur.

Le **PCI** diffère du **PCS** d'une quantité de chaleur qui est égale à la chaleur latente de vaporisation de l'eau.

- **La composition chimique** : est utilisée pour l'étude de vaporisation. Elle sert aussi à calculer certaines propriétés du gaz en fonction de la pression et de la température

(compressibilité, densité) et à définir les conditions de son traitement lors de l'exploration (extraction des produits liquides).

### **I.3.2. Différents types du gaz naturel**

Le gaz naturel est classé selon la nature des phases en présence dans les conditions du gisement et de surface. Ceci conduit à distinguer les types suivants :

- **Gaz sec** : ne formant pas de phase liquide dans les conditions de production, le gaz est concentré en méthane et contient très peu d'hydrocarbures lourds.
- **Gaz humide** : formant une phase liquide en cours de production dans les conditions de surface, il est moins concentré en méthane.
- **Gaz à condensât** : formant une phase liquide dans le réservoir en cours de production, la phase condensée est riche en constituants lourds. C'est le type de gaz qu'on retrouve à Hassi R'Mel.
- **Gaz associé** : comprend le gaz de couverture (phase gazeuse présente en solution dans le pétrole) et les gaz dissous.

### **I.3.3. Gaz pétrole liquéfié (GPL)**

Le butane et le propane, définis sous le terme général de GPL ou Gaz de Pétrole Liquéfiés, sont issus à plus de 60 % des champs de gaz naturel. Pour le reste, ils proviennent du raffinage du pétrole brut.

#### **I.3.3.1. Caractéristiques et propriétés du GPL**

L'appellation « Gaz de Pétrole Liquéfiés » est exclusivement réservée au propane et au Butane, car ils sont les seuls à être gazeux à pression et température ambiante (1,013 bars et 15°C) et à se laisser liquéfier sous faible pression (respectivement à 7,5 et 1,5 bars).

Le butane et le propane partagent de nombreuses caractéristiques tous les deux à leurs états naturels sont incolores, inodores (pour des raisons de sécurité, l'ajout du mercaptan qui par son odeur bien caractéristique permet de détecter toute fuite), non toxiques et non corrosifs (mais dissout le caoutchouc, la graisse et l'huile). Néanmoins, ils se distinguent par deux éléments qui sont leur pression de liquéfaction ainsi que leur température d'ébullition. Le gaz pétrole liquéfié possède des propriétés le distinguant des autres hydrocarbures tels que :

- **La tension de vapeur** : Les GPL ont une tension de vapeur à 20°C égale à 2 bars pour le butane et 8 bars pour le propane.
- **La dilatation** : à l'état liquide, ils ont un haut coefficient de dilatation dont il faut tenir compte lors de leur stockage (les sphères ne doivent jamais être complètement remplies).

- **La densité** : Aux conditions normales de température et pression, les GPL sont plus lourds que l'air.
- **La température d'ébullition** : à la pression atmosphérique la température d'ébullition du propane est de  $-42\text{ °C}$ , celle de butane est de  $-6\text{ °C}$ .
- **Le pouvoir calorifique** : Les GPL offrent une puissance énergétique nettement supérieure aux autres énergies. Cette efficacité nous est indiquée par leur Pouvoir Calorifique.
- **Les impuretés** : Les plus importants sont le soufre dans le GPL, la teneur en soufre est inférieure ou égale à 0,005% en masse et pour le propane l'eau constitue la plus importante impureté.

#### **I.3.4. Condensât :**

Le condensât est constitué d'un mélange d'hydrocarbures paraffiniques, de l'iso pentane jusqu'au do-décane et plus, généralement extrait des gisements de gaz à condensât, il est sous forme liquide dans les conditions normales de température et pression.

##### **I.3.4.1. Caractéristiques du condensât :**

Le condensât est un liquide incolore avec une odeur d'essence, il possède un poids spécifique qui est compris entre [0,7-0,8] et ses vapeurs sont plus lourdes que l'air.

Le condensât est très inflammable, car il a un point d'éclair inférieur à  $0\text{ °C}$ , ses limites d'inflammabilité sont approximativement 1,4 à 7,6%vol (dans l'air).

#### **CONCLUSION**

Les installations de Hassi R'Mel sont soumises aux normes internationales en matière de propreté, de sécurité et d'environnement, ce qui renforce la position et la réputation internationale de l'Algérie en tant que partenaire fiable dans l'approvisionnement, et le rôle du complexe Sonatrach dans l'approvisionnement en gaz d'autres clients traditionnels.

Il est à noter que les capacités énergétiques de Hassi R'mel ont été appuyées par un certain nombre d'installations « qualitatives », dans une démarche qui permettra de suivre le rythme des évolutions dans le domaine du gaz, de répondre aux besoins du marché national dans le domaine de l'énergie. L'électricité et assurer l'approvisionnement local. [4]

**Références bibliographique**

- [1] Labгаа Fatma Zohra, la station boosting centre sbc, rapport de conformation, sonatrach, 2019.
- [2] B.AMRAOUI, S.BELAKHIT, Optimisation des paramètres de la section stabilisation GPL et Condensat, Memoire de Master 2010.
- [3] Latroch Ahmed, Rapport de Stage, Sonatrach 2020.
- [4] L'environnement à Hassi R'mel, document de l'entreprise famine par la station de déshuilage Hassi R'mel centre.

## CHAPITRE II

### GÉNÉRALITÉS SUR LES EAUX USÉES INDUSTRIELLES

#### INTRODUCTION

L'impact de la pollution sur les ressources aquatiques demeure l'un des défis environnementaux les plus pressants de notre époque. Les eaux usées issues de diverses sources, telles que l'agriculture, l'industrie et les foyers, sont parmi les principaux coupables de cette détérioration. Ces eaux chargées de substances nocives, allant de la matière organique issue des ménages aux produits chimiques industriels, compromettent la qualité de nos cours d'eau. Même des éléments précieux dans d'autres contextes, comme le sucre ou l'huile, se transforment en polluants majeurs lorsqu'ils se déversent dans les écosystèmes aquatiques. Parmi les divers types de polluants, les hydrocarbures et les huiles occupent une place prépondérante en raison de leurs propriétés intrinsèques et de leur impact significatif.

#### II .1. DEFINITION ET LA NATURE DES EAUX INDUSTRIELLES

Les eaux industrielles se distinguent des eaux usées domestiques par leurs caractéristiques qui varient selon le secteur. Elles peuvent être principalement organiques (issues des industries agroalimentaires, des abattoirs, des élevages industriels, des laiteries, etc.), principalement minérales (eaux de lavage des graviers, des carrières, de l'industrie sidérurgique, de l'industrie chimique lourde, etc.), ou de nature mixte, pouvant contenir :

- ✓ Des graisses (industries agroalimentaires) ;
- ✓ Des hydrocarbures (raffineries, et unités pétrochimique) ;
- ✓ Des métaux (métallurgie) ;
- ✓ Des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimique diverses, Tanneries) ;
- ✓ De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermique) ;
- ✓ Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs) [1].

Dans les pays développés, le rejets de ces eaux dans les égouts est réglementé par des autorisations spéciales. En effet, certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement en aval des installations industrielles avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement :

- ✓ Soit ils sont directement rejetés dans le réseau domestique ;

- ✓ Soit ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique ;
- ✓ Soit ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel [2].

## II.2. LES DIFFERENTS TYPES DE POLLUTION ENGENDRES PAR LES REJETS INDUSTRIELS LIQUIDES

Dans la pratique on observe plusieurs types de pollution en même temps et leurs actions sont combinées :

### II.2.1. La pollution chimique

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle, domestique et agricole. La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories :

- \* Organique (hydrocarbures, pesticides, détergents..).
- \* Minérale (métaux lourds, nitrates, phosphates...).

#### II.2.1.1. Pollution organique

La pollution organique est la plus répandue. Elle peut être absorbée par le milieu récepteur tant que la limite d'auto-épuration n'est pas atteinte. Au-delà de cette limite, la respiration de divers organismes aquatiques prend le pas sur la production d'oxygène. La première conséquence de cette pollution est la diminution de la consommation d'oxygène dissous dans ces eaux. Les polluants organiques sont principalement les détergents, les pesticides et les hydrocarbures.

- ❖ **Les hydrocarbures** : provenant des industries pétrolières et des transports, qui sont des substances peu solubles dans l'eau et difficilement biodégradables, leur densité inférieure à l'eau les fait surnager. En surface, ils forment un film qui perturbe les échanges gazeux avec l'atmosphère [3].

#### II.2.1.2. La Pollution minérale

La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux. Le polluant minéral sont principalement les métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs [4].

- ❖ **Les métaux lourds** : Sont essentiellement le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le plomb l'argent (Ag), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le nickel (Ni) et le zinc (Zn). Ces éléments, bien qu'ils puissent avoir une origine naturelle (roches du sous-sol

minerais), proviennent essentiellement de la contamination des eaux par des rejets d'activités industrielles diverses. Ils ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants ainsi que dans la chaîne trophique [5].

- ❖ **Les éléments minéraux nutritifs** : (Nitrates et phosphates) : provenant pour l'essentiel de l'agriculture et des effluents domestiques [4], il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques.

### II.2.1.3. Pollution thermique

La pollution thermique par l'élévation de la température qu'elle induit diminue la teneur en oxygène dissous. Elle accélère la biodégradation et la prolifération des germes. Il s'ensuit qu'à charge égale, un accroissement de température favorise les effets néfastes de la pollution.

### II.2.1.4. Pollution mécanique

La pollution mécanique provient de la mise en suspension dans l'eau des fines particules d'origines diverses. Celles-ci colmatent les fonds des ruisseaux et des rivières et diminuent ainsi les échanges possibles entre l'eau et la terre.

Toutes ces formes de pollutions sont rencontrées dans les eaux de rejets des unités pétrolières

## II.3. PARAMETRES DE MESURE DE LA POLLUTION DES EAUX USEE INDUSTRIELLES

Pour aborder le problème de la pollution des eaux usées industrielles huileuses, qu'elles soient rejetées dans l'environnement ou destinées à un éventuel recyclage, il est crucial de définir et d'évaluer les éléments susceptibles de nuire à la qualité de ces eaux, ainsi que les paramètres caractéristiques de leur pollution [6].

### II. 3.1. Paramètres organoleptiques

#### a. La couleur

La couleur des eaux de production est généralement marron foncé, voire noire, ce qui indique la présence d'hydrocarbures libres et en émulsion, ainsi que de matières colloïdales en suspension.

#### b. L'odeur

Toute odeur indique une pollution causée par la présence de matières organiques en décomposition.

### II. 3.2. Paramètres physiques

#### a. Température

La température joue un rôle crucial dans les réactions chimiques, influençant notamment la viscosité de l'effluent. Elle permet aussi de corriger certains paramètres d'analyse, comme la conductivité, qui sont dépendants de la température. Il est donc essentiel de mesurer la température sur place.

Par ailleurs, une baisse significative de la température peut ralentir ou même arrêter la plupart des réactions chimiques vitales, tandis qu'une hausse de la température peut tuer certaines espèces et favoriser le développement d'autres, créant ainsi un déséquilibre écologique. Chaque espèce aquatique ne peut survivre qu'à l'intérieur d'un certain intervalle de température ; en dehors de cette plage, elle risque de disparaître.

#### b. Turbidité

La turbidité est l'opacité de l'eau indiquant la présence de matières en suspension, c'est-à-dire la quantité de matières insolubles (particules solides, colloïdes, microalgues) contenues dans l'eau. La turbidité influence la température de l'eau, car un liquide sombre absorbe mieux la chaleur qu'un liquide clair, et elle réduit la pénétration des ultraviolets, essentiels pour limiter le développement de la flore. La matière en suspension (MES) présente dans l'eau engendre divers problèmes significatifs. Ce sont des particules stables dans l'eau, mesurées en mg/l, qui causent des colmatages (comme dans les pompes et les crépines) par dépôt et sédimentation à long terme, empêchant même les huiles libres de remonter à la surface de l'effluent [7].

#### c. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension contenues dans les eaux résiduaires constituent un paramètre important, qui marque généralement bien le degré de pollution d'un effluent ou urbain ou même industriel. D'autre part, la connaissance de ce paramètre renseigne sur les possibilités épuratoires de certains ouvrages de traitement, décanteurs par exemple, et intervient dans l'évaluation de la production des boues en excès.

#### d. Hydrocarbures (HC)

Ces composés  $C_xH_y$  sont apolaires ou légèrement apolaires, possèdent une solubilité variable dans l'eau, et leur réactivité vis-à-vis de l'acide sulfurique est plus ou moins marquée. L'hydrocarbure peut se présenter sous diverses formes dans l'eau, nécessitant des traitements variés et rendant son élimination très complexe.

### **e. Demande chimique en oxygène (DCO)**

La DCO (demande chimique en oxygène) mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau en utilisant un oxydant, comme le bichromate de potassium. Ce paramètre, exprimé en mg d'O<sub>2</sub>/l, fournit une évaluation plus ou moins complète des substances oxydables présentes dans l'échantillon, bien que certains hydrocarbures ne soient pas oxydés dans ces conditions. L'objectif de la DCO diffère de celui de la DBO. La DCO peut être déterminée plus rapidement que la DBO<sub>5</sub> (grâce à une oxydation forcée) et offre une image de la matière organique présente même lorsque le développement de micro-organismes est impossible (par exemple, en présence de toxiques).

### **f. Demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)**

La Demande Biochimique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>) est une mesure utilisée pour évaluer la quantité d'oxygène nécessaire à la biodégradation biochimique de la matière organique présente dans l'eau sur une période de cinq jours à une température spécifique (généralement 20°C). Elle est souvent utilisée comme indicateur de la pollution organique dans les eaux usées ou les eaux de surface. La DBO<sub>5</sub> est exprimée en milligrammes par litre (mg/L) d'oxygène. Plus la DBO<sub>5</sub> est élevée, plus la charge organique dans l'eau est importante, ce qui peut entraîner une diminution de l'oxygène disponible pour la vie aquatique, notamment dans les écosystèmes naturels ou les systèmes de traitement des eaux usées [8].

### **g. Potentiel d'hydrogène (pH)**

Le potentiel d'hydrogène (PH) est la mesure de la concentration des ions H<sup>+</sup> contenus dans l'eau. Il est donné par la formule :  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ .

### **h. Les micropolluants**

Les micropolluants sont représentés essentiellement par des micropolluants minéraux (métaux lourds et métalloïdes) et des micropolluants organiques. Les métaux lourds sont les éléments les plus nocifs dans les eaux résiduaires [6]. On rencontre les métaux lourds (cuivre, nickel, zinc, plomb, mercure, sélénium...), seuls ou associés, sous forme de métal. Leurs sources sont d'origine naturelle (érosion des sols, éruptions volcaniques, feux de forêts...) ou anthropogéniques (production d'énergie par combustion, hydrométallurgie, incinération des déchets...).

### **i. Éléments nutritifs Azote total (NT)**

Le dosage de l'azote total dans les eaux usées épurées est crucial pour évaluer leur impact sur l'eutrophisation des milieux aquatiques et la pollution des nappes phréatiques. Il permet également de déterminer leur potentiel fertilisant en cas de réutilisation en agriculture. Ce paramètre, exprimé en mg/L, revêt une importance croissante. Il englobe l'ensemble des formes d'azote mentionnées précédemment, à savoir l'azote organique, ammoniacal, nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) et nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ). La somme de l'azote des formes réduites, également connue sous le nom d'azote de Kjeldahl, et de l'azote des formes oxydées constitue la valeur globale de ce paramètre dans les eaux usées épurées [9].

### **II.4. Conclusion**

Ce chapitre a mis en évidence la complexité de la composition des eaux usées industrielles qui varie selon les procédés industriels et les produits utilisés. Plus spécifiquement, les eaux usées huileuses issues de l'industrie pétrolière présentent une diversité de composés organiques, principalement des hydrocarbures, à des concentrations variables. Leur déversement dans l'environnement représente une menace sérieuse pour la qualité des eaux de surface et souterraines, faisant ainsi de ces eaux une source majeure de pollution.

### Références bibliographique

- [1] CHRFAOUI.M. 2016., Traitement des eaux des rejets industriels. Institut Algérien de pétrole.
- [2] BAUMONT S, CAMARD J.P., LEFRANC A et FRANCONI A ., 2004. Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Ile de-France. Rapport ORS (observatoire régionale de santé d » Ile-de-France), France.
- [3] Encyclopedia,(1995) . Industrial chemistry, Water in Ull man's, Wiley-VCH Verlags, vol.8.épuration. Techniques, Sciences et Méthodes, 2: 81-118.
- [4] Mayet J., (1994), « La pratique de l'eau, Traitements aux points d'utilisation, le Moniteur » 2ème Edition, p382, Paris.
- [5] Keck G. et Vernus E, (2000)., « Déchets et risques pour la santé », Techniques de l'Ingénieur, Paris, 2450p
- [6] RODIER J., LEGUBE B., MERLET N et coll., 2009. L'Analyse de l'eau. 9ème édition. Edition DUNOD, Paris, France, 2009.
- [7] Traitement physicochimique de la pollution soluble. Technique de l'ingénieur. Volume G1270.
- [8] C.CARDOT «Traitement de L'eau», édit. Ellipses, Technosup, France (1999).
- [9] Mechat F., 2006«Etude des paramètres physico-chimique avant et après traitements des rejets liquides de la raffinerie de SKIKA, thèse de Magister. »

## CHAPITRE III

### LES PROCÉDÉS DU TRAITEMENT DES EAUX HUILEUSES

#### INTRODUCTION

Dans le contexte actuel de préservation de l'environnement et de protection de la santé publique, le traitement des eaux résiduaires revêt une importance capitale. L'objectif primordial de ce traitement est de parvenir à la production d'effluents d'une qualité adéquate, répondant aux normes requises tant sur le plan chimique que microbiologique, tout en minimisant les risques pour la santé humaine et l'écosystème environnant. À cette fin, le choix du processus de traitement adéquat est crucial, visant à fournir des effluents répondant aux exigences spécifiques d'utilisation, à des coûts réduits et avec des besoins opérationnels et d'entretien minimaux. Les stations d'épuration des eaux résiduaires jouent un rôle central dans cette démarche. Quel que soit leur type de traitement, elles s'efforcent de réduire la charge organique, d'éliminer les solides en suspension et de neutraliser les constituants chimiques potentiellement toxiques pour les cultures, tout en éliminant les agents biologiques pathogènes, préoccupations majeures pour la santé publique. Ainsi, ces stations constituent des maillons essentiels dans la chaîne de préservation de l'environnement et de protection de la santé. Le processus de déshuilage, au sein de ces stations, revêt une importance particulière. En effet, l'eau entrante subit un traitement physique et chimique visant à éliminer les contaminants, notamment les huiles et les solides. Alors que la séparation physique exploite les différences de densité entre les phases, la séparation chimique intervient pour modifier les caractéristiques des particules, facilitant ainsi leur élimination. Dans ce contexte, cette étude se propose d'explorer en profondeur les différents aspects du traitement des eaux résiduaires, en mettant particulièrement l'accent sur le processus de déshuilage. En analysant les méthodes, les défis et les innovations dans ce domaine, nous chercherons à apporter des éclairages précieux pour l'amélioration continue des techniques de traitement des eaux résiduaires, dans le but ultime de préserver notre environnement et de garantir la santé publique.

#### III. 1. LES DIFFÉRENTES CATÉGORIES DE TRAITEMENTS CONVENTIONNELS

Les différentes catégories de traitements conventionnels sont : traitement primaire, traitement secondaire et traitement tertiaire.

➤ **Traitement préliminaire**

Élimination des solides grossiers et d'autres grands fragments de l'eau usée brute.

➤ **Traitement primaire**

Enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottants. Les procédés de traitement primaire sont physiques (par exemple, décantation plus au moins poussée) ou éventuellement physico-chimiques, et produisent des boues primaires.

➤ **Traitement secondaire**

Enlèvement des particules en suspension dans l'eau, qui vont des matières dont la structure est assez grossière, aux particules très fines qui ne se décantent que si elles s'agglomèrent d'abord entre elles, ou si on ajoute à l'eau des produits qui génèrent cette agglomération.

✓ **Traitement tertiaire et/ou avancé**

Enlèvement de constituants spécifiques de l'eau usée tels que les nutriments et les métaux lourds, qui ne sont pas enlevés par le traitement secondaire. Ce sont des traitements complémentaires, dénommés parfois traitements avancés (coagulation physico-chimique, filtration sur sable, chloration, ozonation, traitement par charbon actif, etc...). La désinfection, habituellement avec du chlore, est employée pour réduire les constituants microbiologiques.

### III. 2. Les techniques de traitement des eaux huileuses

Les émulsions d'eau grasse sont les principaux polluants émis dans l'eau par l'industrie pétrolière. Elles constituent le principal problème de pollution car l'eau produite par les champs pétroliers présente des caractéristiques distinctives en raison de la matière organique et inorganique. Elle comprend principalement du sel et des hydrocarbures, qui peuvent être toxiques pour l'environnement [1]. Jusqu'à présent, les stations d'épuration des eaux usées huileuses, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et les solides en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques aux récoltes ainsi que les constituants biologiques (microbes pathogènes) qui concernent la santé publique en général.

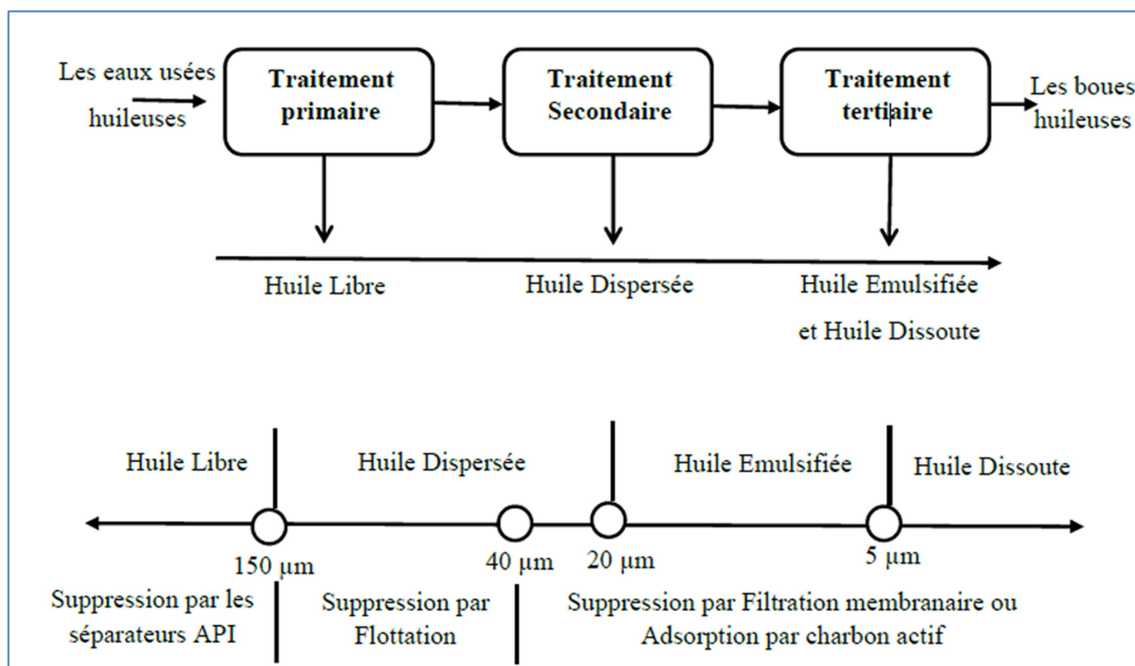


Figure III.1. Traitement des eaux usées huileuses [1].

### III. 2.1. Traitement primaire

Cette étape consiste à des étapes de séparation physique utilisées principalement pour éliminer l'huile libre et certains des solides présents, basant sur les différences de densité. Les techniques courantes utilisées sont la gravité et les séparations centrifuges [1].

#### III. 2.1.1. Séparation par gravité

La méthode la moins chère et la plus couramment utilisée pour éliminer l'huile libre ( $D_p \geq 150 \mu\text{m}$ ) dans les eaux usées huileuses. Elle est basée sur la différence de densité entre les deux phases l'huile et l'eau. L'huile remonte à la surface d'un réservoir et elle est ensuite écrémée. L'efficacité d'un séparateur par gravité dépend de la conception hydraulique appropriée et du temps de rétention des eaux usées. Il existe plusieurs types d'équipements pour mettre en œuvre la séparation par gravité. Les principaux systèmes commerciaux sont : les séparateurs API, les coalesceurs à plaques et les unités de flottation [1].

#### III. 2.1.2. Séparations par centrifuges

La centrifugation est une méthode très efficace par rapport à la séparation par gravité car moins d'espace et de temps de fonctionnement sont nécessaires. La centrifugation permet de

traiter de grands volumes d'eaux usées à faible coût d'exploitation. Dans les centrifugeuses, le liquide s'écoule dans un chemin circulaire en raison du mouvement de rotation de l'appareil : la phase aqueuse plus lourde est projetée vers la région extérieure par la force centrifuge, tandis que la phase huileuse plus légère est collectée près du noyau vortex et elle est ensuite éliminée [14].

### III. 2.2. Traitement Secondaire

Le but de cette étape est de casser les émulsions H / E et d'éliminer l'huile dispersée. Ces opérations peuvent être largement classées comme des méthodes chimiques, physiques ou électriques [14].

#### III. 2.2.1. Traitement chimique

**Coagulation et floculation** Le traitement chimique peut être utilisé avec des eaux usées huileuses pour éliminer l'huile en suspension ou colloïdale. Le dosage chimique dans les systèmes huile-eau ne génère pas de séparation en soi, mais peut conduire à des meilleures performances de l'équipement de séparation physique en générant des gouttelettes d'huile plus grandes. Les gouttelettes d'huile dans un milieu aqueux portent une charge de surface, et lorsque deux gouttelettes se rapprochent, la répulsion électrostatique les empêche de former des agrégats plus gros. L'utilisation d'additifs chimiques déstabilise la phase dispersée en réduisant la charge à la surface des gouttelettes d'huile, servant à briser l'émulsion et à favoriser la coalescence des

- ✓ **Coagulation** : Parfois les solides en suspension ne se déposent pas selon la méthode de sédimentation et de gravité et, par conséquent, les solides non décantables sont autorisés à se déposer par l'addition de certains produits chimiques, ce processus est appelé coagulation. Le pH, la température et le temps de contact sont les facteurs de contrôle les plus importants dans le processus de coagulation [2].
- ✓ **Floculation** : La floculation est le processus de grossissement et d'uniformisation des petits flocons formés lors de l'introduction du coagulant. Elle a pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules colloïdales déstabilisées et leur agglomération, pour accroître son volume, sa masse et sa cohésion.

### III. 2.2.2. La Flottation

Elle peut être considérée comme une méthode physico-chimique pour l'élimination de l'huile émulsionnée. De fines bulles d'air sont introduites dans les eaux usées, et leur adhérence aux gouttelettes d'huile ou même aux solides légers en suspension les rend plus flottantes. L'huile ou les solides peuvent alors remonter plus rapidement à la surface du réservoir où ils sont éliminés sous forme de mousse aérée. La flottation nécessite généralement l'utilisation de produits chimiques qui agissent principalement comme coagulants ou flocculants [1]. Le mécanisme d'interaction entre les bulles d'air et les gouttelettes d'huile est illustré à la Figure III.2. et suit ces étapes :

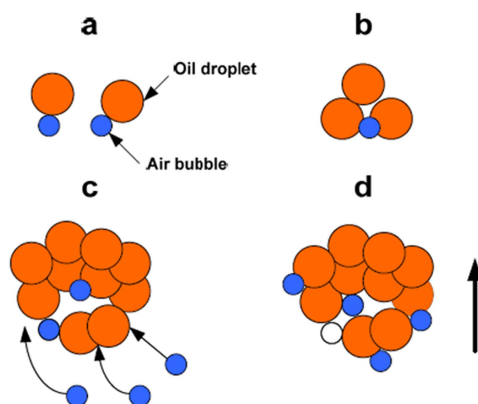


Figure III. 2. Mécanisme d'interaction entre les bulles de gaz et les gouttelettes d'huile pendant la flottation [1].

- a. Collision et fixation de fines bulles d'air à la surface des gouttelettes d'huile.
- b. Collision entre des gouttelettes fixées au gaz avec formation d'agglomérats.
- c. Piégeage de plus de bulles de gaz dans la structure flocculée des gouttelettes d'huile à mesure qu'elle monte.
- d. Élévation vers le haut des structures de flocons dans une action de balayage appelée floculation par balayage [1].

### III. 2.2.3. La filtration

La technique de filtration a été largement employée pour séparer les huiles libres et émulsionnées dans les eaux usées. Ce procédé consiste à faire passer les eaux usées contenant de l'huile à travers un lit filtrant composé de matériau granulaire. Ce matériau a la capacité d'adsorber les gouttelettes d'huile ou de favoriser leur coalescence, ce qu'on appelle la

filtration-coalescence. Habituellement, on utilise une configuration avec une taille de pore comprise entre 0,1 et 0,5  $\mu\text{m}$  pour cette opération [2]. La filtration est utilisée pour éliminer les solides en suspension, les graisses, les huiles, les bactéries, et d'autres contaminants.

Le processus d'élimination de l'huile comprend une filtration directe qui prend en compte la taille des gouttelettes, la coalescence induite pour favoriser l'agrégation des gouttelettes d'huile, ainsi que l'adsorption physique de l'huile sur le matériau filtrant.

### **III. 2.2.4. Traitement membranaire**

Une membrane se définit essentiellement comme une barrière artificielle qui bloque le passage de certains éléments en fonction de différentes propriétés. Leur nature est extrêmement variée, mais leur objectif principal reste la séparation. Les membranes offrent l'avantage d'être des dispositifs de séparation simples et efficaces, capables de retenir des substances telles que l'huile, la graisse, les métaux, etc.

Les membranes peuvent adopter diverses formes : liquides ou solides, homogènes ou hétérogènes, et leur épaisseur peut varier. Elles peuvent également être conçues pour être électriquement neutres, positives, négatives ou bipolaires. Ces caractéristiques multiples confèrent aux membranes la capacité d'accomplir une grande variété de séparations [3].

Les procédés utilisant des membranes présentent des avantages tels qu'un investissement initial réduit et l'élimination de l'utilisation de produits chimiques supplémentaires [4].

De plus, une seule technologie de séparation par membrane ne constitue pas une solution optimale pour le traitement des eaux usées contenant de l'huile. Une approche plus efficace peut impliquer l'utilisation d'une combinaison de technologies, telles que la séparation par membrane associée à des méthodes traditionnelles de traitement des eaux usées [5].

### **III. 2.3. Le traitement tertiaire**

Cette étape finale n'est pas toujours requise, mais elle constitue souvent un processus physico-chimique visant à réduire les niveaux de composés organiques et inorganiques dissous. Dans le cas des eaux usées contenant de l'huile, ce processus est utilisé pour éliminer les fractions d'huile finement dispersées, émulsionnées et solubles.

L'évaporation, l'adsorption par charbon actif, le traitement biologique et l'osmose inverse sont les principaux traitements utilisés [1].

### III. 2.3.1. Évaporation

L'évaporation est un processus de transfert de chaleur qui produit un changement de phase d'au moins l'un des composants d'un mélange liquide. Il est utilisé pour la récupération d'un liquide volatil à partir d'un mélange, et le produit résiduel pourrait être un liquide, un solide ou une combinaison des deux. Les évaporateurs conviennent à des faibles volumes de déchet en raison de la grande quantité d'énergie requise. Les évaporateurs ne retirent pas l'huile usagée du flux liquide, ils ne font que réduire le volume de déchets réduisant les coûts d'élimination. Ils sont faciles à utiliser, ils nécessitent peu d'espace et le type d'huile n'est pas critique. Cependant, leur nettoyage demande beaucoup de travail et leur utilisation ne doit donc être envisagée que lorsque les autres systèmes de traitement ne fonctionnent pas [1].

### III. 2.3.2. Traitement biologique

L'utilisation de traitements biologiques devient de plus en plus populaire dans le domaine des eaux usées huileuses caractérisées par une forte teneur en matières organiques et des hydrocarbures pétroliers, même si la présence de fortes concentrations d'une phase huileuse séparée nécessite généralement des prétraitements appropriés [6].

### III. 2.3.3. L'osmose inverse

L'osmose inverse est l'un des processus membranaires entraînés par la pression et se caractérise par sa faible taille des pores de la membrane (moins de 0,5 nm) et ses pressions de fonctionnement élevées (30–50 bar). L'osmose inverse permet une élimination du sel qui ne peut pas être atteinte par des procédés MF ou UF. De plus, il s'agit de la meilleure technologie disponible pour séparer les solides dissous totaux (TDS), et des taux d'élimination de plus de 95% peuvent être atteints [7]. Comme pour les autres processus membranaires, le principal inconvénient est la baisse du flux de perméat due à l'encrassement de la membrane. L'osmose inverse est couramment appliquée comme étape finale d'un processus hybride afin d'obtenir des effluents de bonne qualité [1].

### III.2.3.4. Adsorption

#### III.2.3.4. 1. Définition de l'adsorption

L'adsorption est un phénomène inter facial où des molécules d'une espèce appelée adsorbat (gaz ou liquide) viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé adsorbant, donc tout atome ou molécule qui s'approche d'une surface subit une attraction qui peut conduire à la formation d'une liaison entre la particule et la surface. Ce phénomène s'appelle « l'adsorption » [8]. L'adsorption est l'un des moyens mis à la disposition du traiteur d'eau pour éliminer

les matières organiques non dégradables dissoutes, extraites de la phase liquide ou gazeuse dans laquelle ils sont immergés ainsi que l'élimination des métaux lourds qui peuvent être dissouts dans l'eau [9].

### III.2.3.4. 2. Les types d'adsorption

On distingue deux types d'adsorption :

- ✓ Adsorption physique (physisorption).
- ✓ Adsorption chimique (chimisorption).

#### ❖ Adsorption Physique

L'adsorption physique ou physisorption est un phénomène physique met en jeu de faibles interactions entre entités moléculaires comme les forces d'attraction de van der Waals et des forces dues aux interactions électrostatiques de polarisation. L'adsorption physique est un phénomène réversible, peu spécifique, rapide et généralement limitée par les phénomènes de diffusion.

La force des interactions mises en jeu peut être estimée par l'énergie d'adsorption physique qui est comprise entre 5 et 40  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  et considérée comme faible. L'adsorption physique est donc favorisée par une baisse de la température et peut se faire en monocouche ou multicouches [10].

#### ❖ Adsorption Chimique

L'adsorption chimique ou chimisorption est une adsorption qui met en jeu des énergies de liaison importantes. Elle résulte d'une interaction chimique entre les molécules d'adsorbant composant la surface du solide et les molécules de soluté. Les molécules adsorbées subissent, généralement des changements dans leurs structures chimiques [11].

L'adsorption chimique résulte d'une interaction chimique qui se traduit par un transfert d'électrons entre le solide et l'adsorbat. Il y a alors formation d'un composé chimique à la surface de l'adsorbant. Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une enthalpie de transformation élevée [12].

### III.2.3.4. 3. Adsorbant

#### a. Définition d'un adsorbant

Les adsorbants sont des solides microporeux présentant des surfaces par unité de masse importantes (de 100  $\text{m}^2/\text{g}$  et jusqu'à ou plus de 1000  $\text{m}^2/\text{g}$ ) donc ils sont caractérisés par leurs propriétés extérieures telles que leur surface spécifique et leur porosité [13]. Une importante surface spécifique est préférable pour avoir une grande capacité d'adsorption. La taille des micropores détermine l'accessibilité des molécules adsorbées à la surface interne

d'adsorbant, il est donc possible de caractériser les adsorbants par la distribution de la taille des pores, et donc de choisir tel ou tel adsorbant pour une séparation particulière [14].

#### **b. Structure de l'adsorbant**

Elle joue un rôle déterminant dans la fixation du substrat, par la taille de ses particules. En effet plus la taille est petite, plus la surface de contact est grande. Ce qui va alors augmenter le pouvoir de rétention de l'adsorbant, cette surface s'accroît lorsque le support est poreux.

#### **c. Critères du choix d'un adsorbant**

La caractérisation complète d'un adsorbant pourrait se concevoir comme la connaissance de quatre entités.

- ✓ La surface spécifique.
- ✓ La distribution de tailles des grains.
- ✓ Le facteur de forme ou de rugosité.
- ✓ La distribution des tailles de pores.
- ✓ Sélectivité
- ✓ Capacité
- ✓ Régénérabilité
- ✓ Cinétiques
- ✓ Résistances mécanique, chimique et thermique :
- ✓ Coûts de fabrication

#### **d. Paramètres d'évaluation de l'efficacité des adsorbants [15]**

##### **❖ Capacité d'adsorption**

La capacité d'adsorption d'un biosorbant définit la quantité de polluants que le matériau peut adsorber pour des conditions opératoires déterminées. Elle est le principal paramètre retenu en vue d'estimer le pouvoir sorbant d'un adsorbant. Elle est exprimée en milligramme (mg) ou milli mole (mmol) de polluants adsorbés par gramme (g) de matériau sec.

L'évaluation de la capacité d'adsorption d'un matériau, passe par la description des réactions d'équilibre produites entre l'adsorbant et l'adsorbat, au terme d'un temps de contact. Cette description est réalisée au moyen d'isothermes d'adsorption. Grace aux essais effectués à température constante, le calcul de la capacité maximale d'adsorption est effectué à partir de modèles mathématiques élaborés par Langmuir, Freundlich, Dubinin-Redushkevich (D-R), Temkin, Frumkin, Harkins-Jura, Halsey-Henderson et Brunauer-Emmett-Teller (BET), rapportés dans la littérature. (qm) est le paramètre retenu par Langmuir en vue de quantifier la capacité maximale d'adsorption d'un adsorbant.

#### III.2.3.4. 4. Cinétique d'adsorption

La cinétique d'adsorption est le second paramètre indicateur de la performance épuratoire d'un adsorbant. Elle permet d'estimer la quantité de polluants adsorbée en fonction du temps. La cinétique fournit des informations relatives au mécanisme d'adsorption et sur le mode de transfert des solutés de la phase liquide à la phase solide.

#### III.2.3.4. 5. Équilibre d'adsorption sur un solide

##### a. Cinétique d'adsorption

Plusieurs processus physiques et physico-chimiques sont susceptibles de déterminer la cinétique d'adsorption d'un polluant en solution aqueuse sur un adsorbant [16].

- A. Une adsorption spécifique sur les parois des pores.
- B. Des interactions plus ou moins fortes dues aux fonctions chimiques superficielles des matériaux carbonés.
- C. La diffusion du polluant dans le volume poreux.

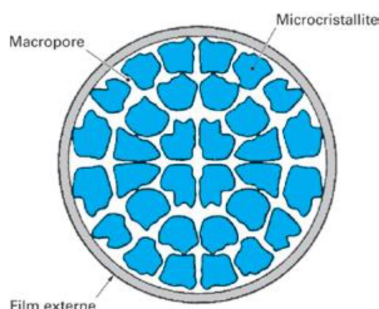


Figure III.3. Structure d'un bon adsorbant [17].

Les mécanismes d'adsorption peuvent être décomposés en plusieurs étapes faisant appel à des processus diffusifs, en particulier 4 phases peuvent être distinguées :

1. Transfert de matière de la solution vers la couche limite entourant la particule ;
2. Transfert de la couche limite vers la surface adsorbant (diffusion externe) ;
3. Transfert de la surface vers les sites adsorbants (Diffusion intra particulaire dans le solide et dans les micropores et les macropores);
4. Fixation, complexation ou précipitation des solutés.

La vitesse d'adsorption est d'autant plus grande que [18] :

- ✓ La concentration du soluté est élevée.
- ✓ La granulométrie de l'adsorbant est faible.
- ✓ La surface spécifique de l'adsorbant est élevée.
- ✓ La taille des molécules adsorbables est faible.

La vitesse d'adsorption est gouvernée par :

- ✓ La diffusion des molécules vers la surface de l'adsorbant à travers le film liquide.
- ✓ La diffusion des molécules au sein des micropores de l'adsorbant et l'adsorption sur les sites internes.

Du fait que les deux étapes contrôlant le processus global d'adsorption sont le transport externe et la diffusion intraparticulaire, trois différentes situations peuvent donc être considérées [19, 20] :

- ✓ Le transport externe est supérieur au transfert interne où la vitesse globale d'adsorption est gouvernée par la diffusion intraparticulaire
- ✓ Le transport externe est inférieur au transfert interne où la vitesse globale d'adsorption est gouvernée par la diffusion à travers la couche limite
- ✓ les transports externe et interne ont des grandeurs comparables, cette situation est beaucoup moins probable

Par conséquent, les situations 1 et 2 dépendent des caractéristiques quantitatives de la solution et de l'adsorbant, à savoir [21] :

- ✓ la taille des particules de l'adsorbant,
- ✓ la concentration du soluté,
- ✓ la vitesse d'agitation,
- ✓ l'affinité du soluté pour l'adsorbant, et les coefficients de diffusion du soluté dans la solution et dans les pores de l'adsorbant.

Il est important de noter que le transport externe est généralement l'étape limitante pour les systèmes ayant [21] :

- ✓ Une faible agitation,
- ✓ Une faible concentration en soluté,
- ✓ Un faible taille des particules,
- ✓ Une grande affinité du soluté pour l'adsorbant.

En revanche, la diffusion intra particulaire est l'étape limitante du processus global d'adsorption pour les systèmes ayant:

- ✓ une bonne agitation,
- ✓ une concentration élevée en soluté,
- ✓ une grande taille des particules,
- ✓ Une faible affinité du soluté pour l'adsorbant.

### III.2.3.4. 6. Vitesse initiale d'adsorption

La vitesse d'adsorption ou vitesse initiale de disparition du soluté est représentée par le coefficient cinétique d'adsorption initiale  $\gamma$ . Ce dernier est calculé suivant l'équation d'Adams-Bohart-Thomas [22].

$$\frac{dq}{dt} = K_1 C (q_m - q) - K_2 q \quad (III. 1)$$

$q$  : capacité d'adsorption au temps  $t$  en (mg/g)

$q_m$  : capacité maximale d'adsorption en (mg/g)

$t$  : temps (min)

$C$  : concentration de la solution au temps  $t$  en (mg/L)

$K_1$  : constante cinétique d'adsorption en (L/mg min)

$K_2$  : constante cinétique de désorption en (1/min)

Au début de l'adsorption  $t \rightarrow 0$ ,  $q \rightarrow 0$ ,  $C \rightarrow C_0$ , le terme cinétique  $K_2$  de la désorption peut donc être négligé. L'équation peut donc s'écrire sous la forme :

$$\left(\frac{dq}{dt}\right)_{t \rightarrow 0} = K_1 C_0 q_m \quad (III. 2)$$

La quantité adsorbée est:

$$q = \frac{(C_0 - C)V}{m} \quad (III. 3)$$

Où:

$C_0$ : concentration initiale du soluté (mg/L)

$C$ : concentration du soluté au temps  $t$  (mg/L)

$q$  : quantité de soluté adsorbé au temps  $t$  (mg/g)

$m$  : masse d'adsorbant (g)

$V$ : volume de la solution (L)

Cette expression normalise la quantité adsorbée par deux paramètres expérimentaux : masse d'adsorbant ( $m$ ) et le volume ( $V$ ). Sa dérivée donne :

$$\left(\frac{dq}{dt}\right)_{t \rightarrow 0} = -\frac{V}{m} \left(\frac{dC}{dt}\right)_{t \rightarrow 0} \quad (III. 4)$$

A partir des équations (I-2) et (I-4), nous obtenons:

$$-\frac{V}{m} \left( \frac{dC}{dt} \right)_{t \rightarrow 0} = K_1 C_0 q_m \quad (III.5)$$

Le terme  $K_1 q_m$  est une constante fonction du couple adsorbat-adsorbant, nommée  $\gamma$  :

$$\gamma = -\frac{V}{C_0 m} \left( \frac{dC}{dt} \right)_{t \rightarrow 0} = K_1 q_m \quad (III.6)$$

$\gamma$  : est appelé coefficient cinétique d'adsorption initiale (L/g min)

Pratiquement, les coefficients  $\gamma$  sont calculés à partir des courbes cinétiques d'adsorption en traçant la tangente à la courbe au temps  $t \rightarrow 0$ , et en calculant la pente de la droite obtenue.

#### III.2.3.4. 7. Facteurs influençant l'adsorption

L'équilibre d'adsorption, dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont décrits ci-après : Surface spécifique; Porosité; Nature de l'adsorbat; Polarité; pH; Température [15].

##### ✓ **Température**

L'adsorption physique s'effectue à des basses températures (phénomène exothermique), alors que l'adsorption chimique demande des températures plus élevées (phénomène endothermique) [23].

##### ✓ **Influence du pH**

Le pH est un facteur important dans toute étude d'adsorption du fait qu'il peut influencer à la fois la structure de l'adsorbant et de l'adsorbât ainsi que le mécanisme d'adsorption [24].

##### ✓ **Surface spécifique**

Plus la surface spécifique est grande, plus on aura une meilleure adsorption [24].

##### ✓ **Solubilité de l'adsorbat**

La solubilité d'un adsorbat joue un rôle important lors de son adsorption. Plus la solubilité est grande, plus faible sera l'adsorption. On a constaté que Les capacités d'adsorption suivent l'ordre inverse des solubilités.

##### ✓ **Polarité**

Un soluté polaire aura plus d'affinité pour un solvant ou pour l'adsorbant polaire. Il faut que l'adsorbant et l'adsorbat soient de polarité voisine.

### ✓ Structure moléculaire de l'adsorbat

Plus la structure moléculaire des particules à fixer est grande, plus le remplissage des pores s'effectue rapidement et la saturation est atteinte avec des rendements faibles.

### III.2.3.4. 8. Adsorption par Charbon Actif

Cette technique est basée sur l'adsorption des contaminants sur un lit de charbon actif. Le charbon actif peut être utilisé pour polir les effluents des usines de traitement des eaux usées huileuses afin d'éliminer les composés organiques dissous résiduels restant après les traitements primaires et secondaires [1].

### III.3. Conclusion

Ce chapitre a souligné l'importance des différents types de traitement des eaux usées huileuses, qu'il s'agisse de traitements primaires, secondaires ou tertiaires. Ces méthodes de traitement sont conçues pour éliminer les polluants en fonction de leur nature et de leur quantité, dans le but d'améliorer la qualité de l'eau et de la rendre conforme aux normes de rejet ou aux spécifications de réutilisation.

### Références bibliographique

- [1] Coca, J., G. Gutiérrez, and J. Benito, Treatment of oily wastewater, in Water Purification and Management. 2011, Springer. p. 1-55.
- [2] Gupta Vinod K, et al., Chemical treatment technologies for waste-water recycling—an overview. journal Royal society of chemistry Advances, 2012. 2(16): p. 6380-6388.
- [3] Coca-Prados, J., G. Gutiérrez, and J.M. Benito, Treatment of oily wastewater by membrane hybrid processes, in Economic Sustainability and Environmental Protection in Mediterranean Countries through Clean Manufacturing Methods. 2013, Springer. p. 35-61.
- [4] Mohsen A, et al., Performance study of mullite and mullite–alumina ceramic MF membranes for oily wastewaters treatment. journal desalination, 2010. 259(1-3): p. 169178.
- [5] Yu, L., M. Han, and H. Fang, A review of treating oily wastewater. Arabian journal of chemistry, 2017. 10: p. S1913-S1922.
- [6] Capodici M, et al., Treatment of oily wastewater with membrane bioreactor systems. journal water, 2017. 9(6): p. 412.
- [7] Norouzbahari, S., R. Roostaazad, and M. Hesampour, Crude oil desalter effluent treatment by a hybrid UF/RO membrane separation process. Journal Desalination, 2009. 238(1-3): p. 174-182.
- [8] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Adsorption> .
- [9] N.GHALMI et A. SIFER,(2006) " Essais d'adsorption du phénol et du cuivre sur charbon actif valorisé à base de grignon d'olives ". Mémoire d'Ingéniorat, Boumerdès.
- [10] N.Gherbi (2008), 'Etude expérimentale et identification du processus de rétention des cations métalliques par des matériaux naturels', Mémoire de doctorat, Université de Constantine.
- [11] A. MEKARZIA. (2000) " Utilisation du charbon actif préparé à partir du marc de café dans le traitement et l'épuration des eaux " . Thèse de Magister. Ecole Nationale Polytechnique.
- [12] Rachidi M. H. (1994). Etude de l'adsorption de l'Octaéthylporphyrine de Nickel sur les apatites phosphocalciques. Mémoire de CEA.
- [13] S. MOREAU,(2003) " L'adsorption et l'environnement ". ENS.
- [14] A. NEFZAOU,(1987) " Contribution à la rentabilité de l'oléiculture par la valorisation optimale des sous-produits " OLIVAE IV Tunisie.
- [15] E.ERRAIS (2011), 'Réactivité de surface d'argiles naturelles, étude de l'adsorption de colorants anioniques', mémoire de doctorat, Université de Strasbourg.

- [16] C. E. Chitour. Physico-chimie des Surfaces. Vol 2. Les Interfaces Gaz-Solide et Liquide-Solide. Edition O.P.U. Alger, 1992.
- [17] Technique de l'Ingénieur. J1092. [www.technique-ingenieur.fr](http://www.technique-ingenieur.fr)
- [18] Tamon H., Atsushi M., Okazaki M. On irreversible adsorption of electron-donating compounds in aqueous solution. Journal of Colloid and Interface Science 177, 384-390, 1996
- [19] Mohan D., Singh K. P. Single and multi-component adsorption of cadmium and zinc using activated carbon derived from bagasse-an agricultural waste. Water Research 36, 2304-2318, 2002.
- [20] Sarkar M., Acharya P. K., Bhattacharya B. Modeling the adsorption kinetics of some priority organic pollutants in water from diffusion and activation energy parameters. Journal of Colloid and Interface Science 226, 28-32, 2003.
- [21] Hamdaoui O. Contribution à l'étude et la modélisation des phénomènes d'adsorption-désorption de composés organiques sur charbon actif en grain en l'absence et en présence d'ultrasons, Thèse de doctorat, Universités de Annaba et de Savoie, 2004.
- [22] Thomas H. C. J. Heterogeneous ion exchange in a flowing system. J.Am. Chem. Soc. 66, 1664-1676, 1944, 1944.
- [23] Cardot C. (1999). Génie de l'environnement, les traitements de l'eau procédés physicochimiques et biologiques, cours et problèmes résolus ». Edition Ellipses.
- [24] Bouchemal F et Achour S. (2007). Essais d'adsorption de la Tyrosine sur charbon actif en poudre et en grain (laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface. Laryss Journal n° 6, 81-89.

## CHAPITRE IV : PARTIE EXPÉRIMENTALE

### INTRODUCTION

Les unités de traitement ont pour mission d'éliminer les huiles et les matières en suspension (MES) de l'eau de procédé pour atteindre une qualité spécifique, rendant ainsi l'eau appropriée pour la réinjection dans les puits poubelles. Les puits d'injection, également appelés puits secondaires, permettent de pomper l'eau dans le réservoir afin d'augmenter ou de maintenir la pression, ce qui accroît la production des puits et assure un taux d'extraction économiquement viable.

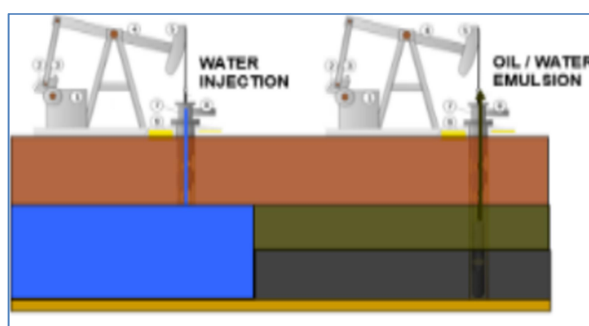


Figure IV.1. Schéma d'injection d'eau

Mon travail est divisé en deux parties : la première partie décrit les travaux pratiques réalisés au sein de Sonatrach, tandis que la seconde partie détaille les recherches menées au laboratoire de génie des procédés de l'université de Souk Ahras. Dans cette étude, nous détaillons la méthodologie employée sur le terrain, incluant le processus de prélèvement et de préparation des échantillons, ainsi que leur analyse en laboratoire. Nous présentons également une étude expérimentale approfondie sur l'adsorption des hydrocarbures par le biosorbant sélectionné, mettant en évidence son efficacité et son potentiel d'application dans la dépollution environnementale.

### ✓ PREMIERE PARTIE D'ETUDE

#### IV.1. TRAITEMENT DE L'EAU PRODUITE "PWT "(Producer Water Treatment)

L'extraction de pétrole et de gaz génère des volumes considérables d'eau. Les unités de traitement ont pour mission de retirer les huiles et les matières en suspension (MES) de cette eau jusqu'à atteindre la qualité requise, afin qu'elle puisse être réinjectée dans les puits. Cela permet d'augmenter la production des puits avant le traitement.

- ✓ **Unité PWT(Z961)** : L'objectif principal de cette unité est de purifier l'eau de procédé en éliminant efficacement les traces d'huile, les sels dissous, les bactéries, ainsi que les gaz corrosifs dissous tels que le  $\text{CO}_2$ , l' $\text{O}_2$ , et le  $\text{H}_2\text{S}$ . De plus, elle vise à réduire les solides en suspension avant de rejeter l'eau traitée dans l'environnement. Cette purification doit respecter les normes strictes de la législation algérienne, avec une teneur en solides en suspension (TSS) inférieure à 30 ppm et une teneur en hydrocarbures inférieure à 10 ppm. Les étapes essentielles du traitement incluent la séparation initiale des hydrocarbures, la filtration fine, la désoxygénation et la désinfection, assurant ainsi une eau propre et respectueuse de l'écosystème naturel.



Figure IV.2. Schéma comparatif de traitement de l'eau (avant / après)



Figure IV.3. L'unité de PWT

## IV.2. DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'UNITÉ

Cette section explique le principe de fonctionnement de l'ensemble du système de traitement de l'eau produite, ainsi que tous les équipements associés. Plus précisément, les étapes mises en œuvre pour atteindre la qualité de l'eau en sortie sont :

- ✓ Séparateurs API (Z-001A / B) pour une étape de déshuilage et de dégazage grossier (2 x 100%).
- ✓ Séparateurs CPI (Z-002A / B) pour le déshuilage primaire (2 x 100%).
- ✓ Séparateurs IGF (Z-003A / B) pour le déshuilage secondaire et l'élimination des solides solubles.
- ✓ Filtres Nutshell (Z-004A ~ D) pour le déshuilage final et le polissage (4 x 50%).
- ✓ Filtres à charbon actif (Z-005A ~ D) pour la finition (4 x 50%).
  - **De plus, le forfait comprend également**
  - ✓ Tambours d'huile de récupération (D-003A / B) (2 x 100%).
    - **Unités d'injection de produits chimiques**
    - ✓ Unité d'injection de piègeur d'oxygène (1x100%).
    - ✓ Unité d'injection brise-émulsion (1x100%).
    - ✓ Unité d'injection de NaOH (1x100%).
    - ✓ Unité d'injection de coagulant (polymère) (1x100%).
    - **Section de traitement des boues**
    - ✓ Séparateurs de boues (D-001A / B) (2x100%).
    - ✓ Centrifugeuse de déshydratation des boues (DE-001A / B) (2x100%).
    - ✓ Tambour d'assèchement des eaux usées (D-002A / B) (2x100%).

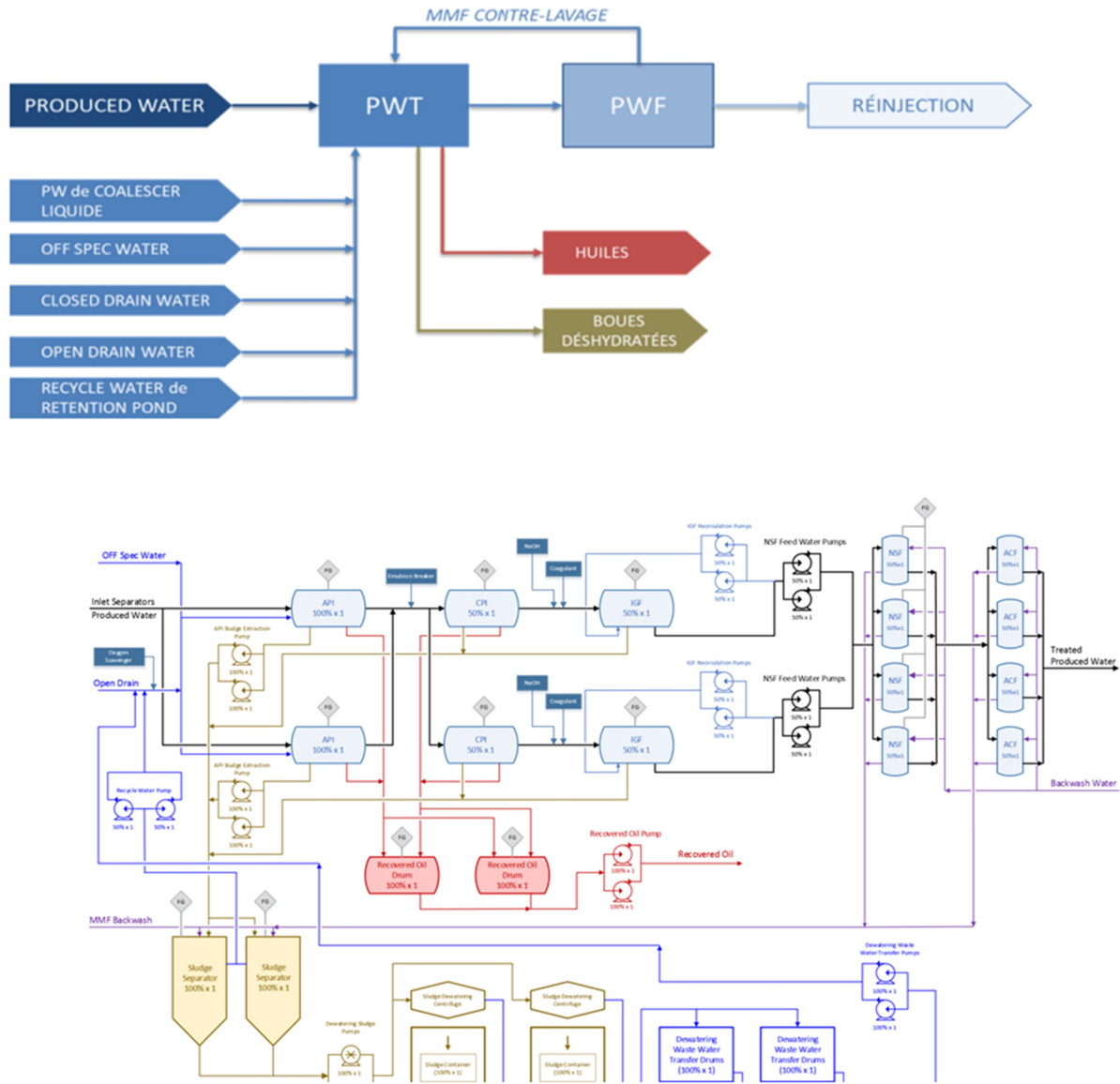


Figure IV.4. Schéma détaillé du passage de l'eau

### IV.3. DESCRIPTION DE L'UNITÉ DE TRAITEMENT DE L'EAU PRODUITE

L'unité PWT peut être divisée en quatre (4) sections :

- ✓ Séparation d'huile : (API, CPI et IGF)
- ✓ Filtration de MES et de l'huile en émulsion

- ✓ Sludge Dewatering
- ✓ Dosage des chimique
- ✚ L'unité de traitement PWT est projetée pour recueillir et traiter les eaux de décharge des :
  - ✓ Inlet Separators (l'entrée de séparation)
  - ✓ Open Drain (drain ouvert)

L'unité PWT est responsable de la séparation et de l'élimination de l'huile libre et des matières en suspension. L'huile séparée dans les deux séparateurs API et les deux CPI est collectée dans le réservoir d'huile et périodiquement déchargée dans le réservoir de récupération d'huile (D-914). Les matières en suspension sont envoyées dans les deux séparateurs de boue, puis traitées dans les deux centrifugeuses de déshydratation de boue. La boue obtenue est collectée dans des conteneurs de boue pour son élimination.

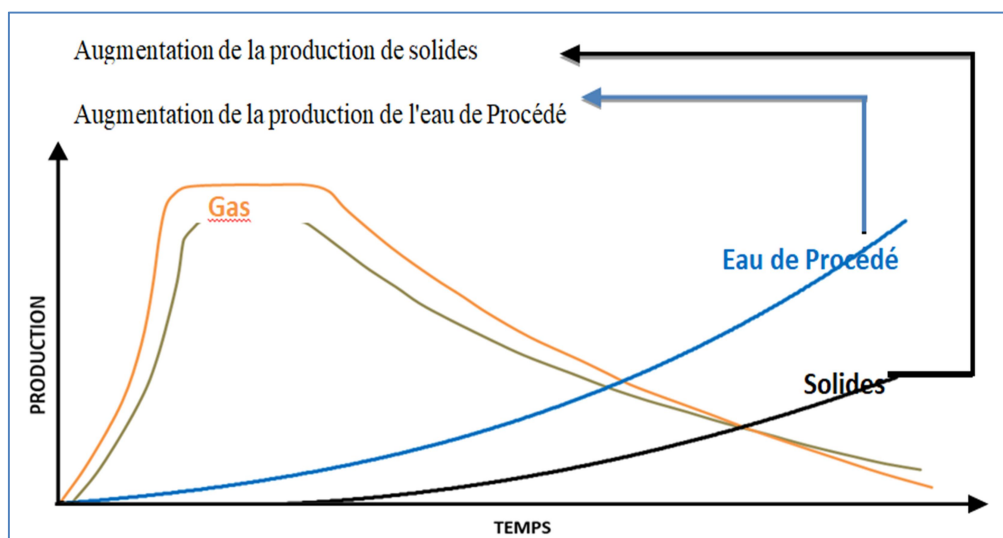


Figure IV.5. La variation de production en fonction de temps.

### IV.3.1. Le séparateur API (American Petroleum Institute)

L'API (Z001B) reçoit l'eau provenant des séparateurs d'entrée (principale alimentation) pour le dégazage. L'eau stabilisée est envoyée via les pompes P003A/B vers le réservoir T963 (off

spec). Elle est ensuite prélevée à nouveau par les pompes P968A/B pour alimenter de manière constante l'API (Z001A).

Autres alimentations de L'API (Z001B) :

- Eau huileuse open drain SU961 (refoulement P961A/B avec injection de l'oxygène scavenger).
- Eau huileuse bassin de rétention SU963 (refoulement P964A/B avec injection de l'oxygène scavenger).
- Eau huileuse de D002A/B.(refoulement P007A/B avec injection de l'oxygène scavenger).
- Eau huileuse de D001A/B. (refoulement P006A/B).

L'API (Z001A) reçoit l'eau des P968A/B pour un déshuilage grossier, où l'huile flottante, écrémée et déversée dans le ballon de récupération d'huile (D003A/B) et L'eau gravite (par différence de hauteurs) vers le CPI(Z002) la hauteur (interface eau huile) du déversoir est réglable mécaniquement à l'aide d'un volant.

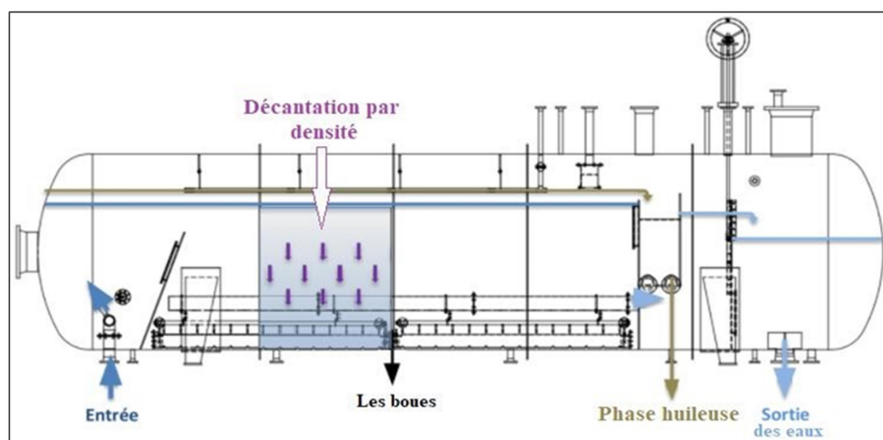


Figure IV.6. Le ballon séparatif de l'API.

Dans cette étape la majorité de condensat est récupérée dans la phase huileuse, mais elle reste une partie entraînée avec l'eau, donc le suivi de la sortie des eaux se réalise par le CPI. Le Tableau IV.1. regroupe toutes les données de conception de l'API.

Tableau IV.1. Conception des données du séparateur API

| Données de Conception      | Unité |                |
|----------------------------|-------|----------------|
| Pression opérationnelle    | 0.55  | Bar            |
| Température opérationnelle | 10/60 | °C             |
| Diamètre                   | 3     | m              |
| Langueur                   | 11.1  | m              |
| Volume                     | 85.5  | m <sup>3</sup> |

### IV.3.2. Le séparateur Intercepteur à plaques ondulées (Corrugated Plates Interceptor (CPI))

Après l'introduction d'un émulsifiant, l'appareil de séparation CPI (Z002) reçoit l'eau provenant de l'API (Z001A) pour effectuer une première étape de déshuilage. Cet appareil est équipé de 89 plaques ondulées afin de prolonger le temps de contact et la surface d'interaction de l'huile, favorisant ainsi sa coalescence et son écoulement vers (D003A/B). Ensuite, l'eau s'écoule naturellement vers l'IGF (Z004). Le Tableau IV.2. résume toutes les données de conception de CPI.

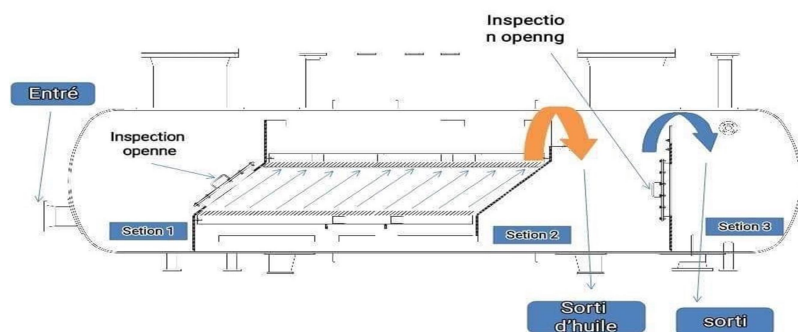


Figure IV.7. Le ballon séparatif de CPI.

Tableau IV.2. Conception des données du séparateur CPI

| Données de conception      | Unité   |                |
|----------------------------|---------|----------------|
| Pression opérationnelle    | 0.55    | Bar            |
| Température opérationnelle | 10 / 60 | °C             |
| Volume opérationnelle      | 15.3    | m <sup>3</sup> |
| Diamètre                   | 1.62    | m              |
| Langueur                   | 7.1     | m              |

### IV.3.3. Le séparateur de Flottation par Gaz Induit (Induced Gas Flotation (IGF))

L'eau provenant du CPI subit deux injections simultanées : celle d'un agent coagulant, favorisant l'agglomération et la floculation des molécules d'huile, et celle de soude caustique (NaOH) pour augmenter son pH à 7,5, ce qui améliore l'efficacité du coagulant. Cette eau traitée est ensuite introduite dans l'IGF (Z004), où le processus de floculation est accentué par la réinjection d'une partie de l'eau produite au refoulement de P001A/B, alimentant ainsi les Noyeux Solides Flottants (NSF). L'eau contenant de l'huile collectée est renvoyée vers l'API (Z001A) via les conduites P008A/B.

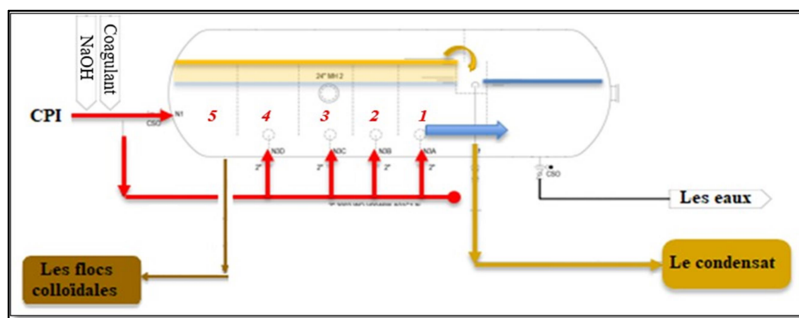


Figure IV.8. Le ballon séparatif d'IGF

### IV.3.4. Filtres à coque de noix (NutShell Filters (NSF))

Après avoir passé par la première étape de traitement (API, CPI et GF), l'eau nécessite encore un second traitement pour enlever principalement les matières en suspension (MES). C'est là que le filtre NutShell à charbon actif entre en jeu. Ce filtre utilise un lit de granules de coquille de noix pour capturer efficacement les résidus indésirables, tout en permettant à l'eau de passer à travers. Le processus se déroule en deux phases distinctes : d'abord, le cycle de filtration, où les gouttelettes de C5+ sont piégées dans le lit filtrant et éliminées. Ensuite, le cycle de contre-lavage, où les particules capturées et le condensat sont relâchées et dirigées vers des séparateurs de boues pour un traitement ultérieur. Cette méthode garantit que l'eau traitée répond aux normes de qualité les plus élevées, prête à être utilisée en toute sécurité.

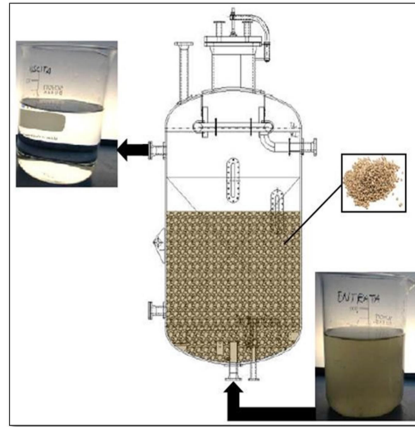


Figure IV.9. Filtres à coque de noix (NutShell filtre)

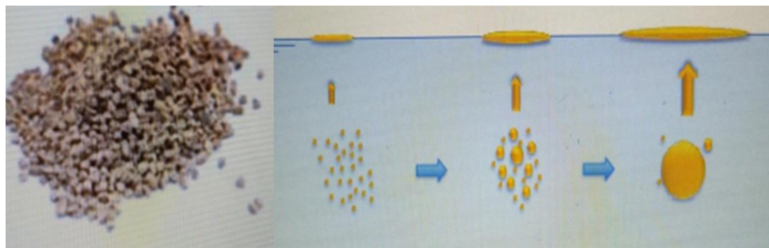


Figure IV.10. Schéma des particules de coque de noix (nutshell) + la coalescence d'huile

Dans le milieu filtrant on a les phénomènes suivants :

- ✓ Promotion de la séparation des huiles
- ✓ Interaction des gouttelettes d'huile
- ✓ Formation de plus grosses gouttelettes
- ✓ Les gouttelettes d'huile sont retenues dans le média filtrant



Figure IV.11. Schéma d'eau avant et après filtration NSF

Tableau IV.3., Conception des données du séparateur NSF

| Données de Conception      | Unité |                |
|----------------------------|-------|----------------|
| Pression opérationnelle    | 4.7/5 | Bar            |
| Température opérationnelle | 10/60 | °C             |
| Volume opérationnelle      | 9.17  | m <sup>3</sup> |
| Diamètre                   | 1.9   | m              |
| Langueur                   | 2.6   | m              |

#### IV.3.5. Filtres à charbon actif (ACF)

La dernière étape du traitement est effectuée par les filtres à charbon actif (Z-005). Le but est d'éliminer les hydrocarbures dissous restants afin de répondre aux exigences de qualité de l'eau traitée. Cette section est composée de quatre filtres, organisés en parallèle. Il est recommandé de maintenir toutes les unités en service afin d'éviter la stagnation de l'eau. Dans cette section, toutes les gouttelettes de C5+ sont récupérées, et les eaux sont traitées. La porosité élevée de charbon actif permet de capter les petites traces de condensat en raison de l'interaction moléculaire, elles sont liées aux particules de carbone (adsorption), Une fois qu'il est saturé avec la particule de C5+, le milieu filtrant doit être remplacé.

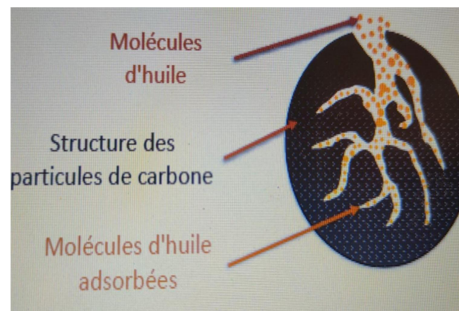


Figure IV.12. Schéma de fonctionnement de charbon actif

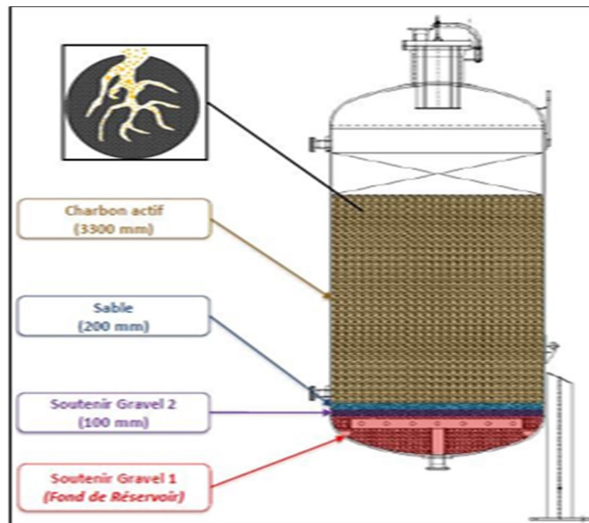


Figure IV.13. Filtre à charbon actif.

Tableau IV.4. Conception des données du séparateur ACF.

| Données de conception      | Unité   |                |
|----------------------------|---------|----------------|
| Pression opérationnelle    | 3.7 / 4 | Bar            |
| Température opérationnelle | 10 / 60 | °C             |
| Volume opérationnelle      | 26.7    | m <sup>3</sup> |
| Diamètre                   | 2.5     | m              |
| Langueur                   | 4.6     | m              |

A la sortie de ACF l'eau traité est envoyé vers le bac T961 (on spec).

Tableau IV.5. Données sur la qualité de l'eau traitée.

| Qualité d'eau en traites              |      |                   |
|---------------------------------------|------|-------------------|
| Hydrocarbures (libres et émulsifiées) | < 10 | mg/L              |
| Matières En Suspension (MES)          | < 30 | mg/L              |
| Densité                               | 1150 | kg/m <sup>3</sup> |

#### IV.4. TRAITEMENT DES EAUX BOEUSES (D001A/B)

Lors de la régénération des filtres NSF/ACF/MMF l'eau boueuse est acheminée vers des séparateurs cylindriques verticaux à fonds coniques pressurisés avec du fuel gaz BP, Après un temps de décantation de 2 heures, la vidange latérale de l'eau en surface est recyclée vers API(Z001A) est assurée par la pompe P006A/B, par contre la séquence de déshydratation de boues accumulées au fond du séparateur est initiée par bouton poussoir monté localement. Les eaux boueuses sont envoyées aux centrifugeuses de déshydratation des boues (DE-001A/B) via les(P-005A/B) avec injection du poly électrolyte (dilué) par les P015A/B, afin de favoriser déshydratation, ou les boues sont déshydratées et collectées dans les conteneurs (SD-001A / B) pour évacuation par camions et l'eau résultante collectée dans la déshydratation est envoyée dans le bac d'eaux usées (D-002A/B), qui sera transférée via les pompes d'assèchement (P-007A/B) vers l'API(Z001A).



Figure IV.14. Traitement des eaux boueuses.

#### IV.5. DOSAGE DE PRODUIT

Le tableau IV.6 présente les données relatives au point de dosage et au fonctionnement. Le point injection de dosage est illustré sur la Figure IV.15.

Tableau IV.6. Données du point de dosage des produits et leur fonctionnement

| PRODUIT                      | POINT DE DOSAGE                                  | FONCTION                                                                |
|------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Oxygen Scavenger             | Collecteur du Drainage Ouvert                    | Enlèvement de l'oxygène dissous dans l'eau que viens du Drainage Ouvert |
| Poly électrolyte             | Collecteur d'alimentation des Sludge Centrifuges | Facilitation de la séparation entre l'huile et la fraction solide       |
| Emulsion Breaker             | Collecteur d'alimentations communes des CPI      | Rupture de l'émulsion entre l'huile et l'eau                            |
| Coagulant et Soude Caustique | Alimentations des IGF                            | Facilitation de la floculation entre les IGF                            |

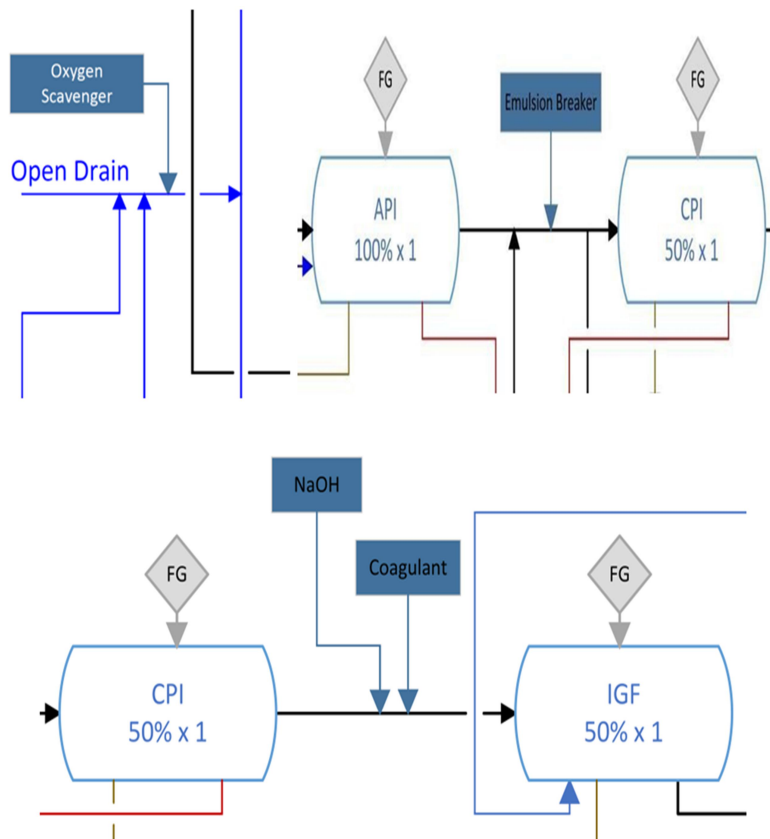


Figure IV.15. Point injection de dosage

### IV.5.1. Capturant d'oxygène (Oxygen Scavenger)

Les capturant d'oxygène (Oxygen Scavenger) jouent un rôle crucial dans le traitement de l'eau et la protection des systèmes industriels. Leur principale fonction est d'éliminer l'oxygène dissous dans l'eau, ce qui aide à prévenir la corrosion des équipements et des pipelines. En supprimant l'oxygène, ces agents prolongent la durée de vie des installations et assurent une meilleure efficacité opérationnelle (Voir Figure IV.16).

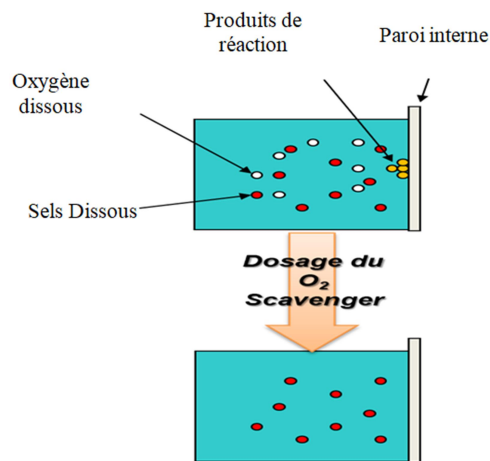
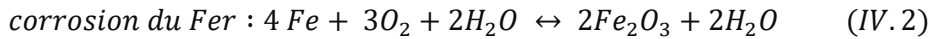
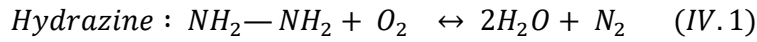


Figure IV.16. Dosage du Capturant d'oxygène ( oxygen scavenger)

### IV.5.2. Émulsion Breaker

L'émulsion breaker facilite la coalescence des gouttelettes dans une émulsion, permettant ainsi leur séparation par gravité, un processus également connu sous le nom de flottation (Voir Figure IV.17).

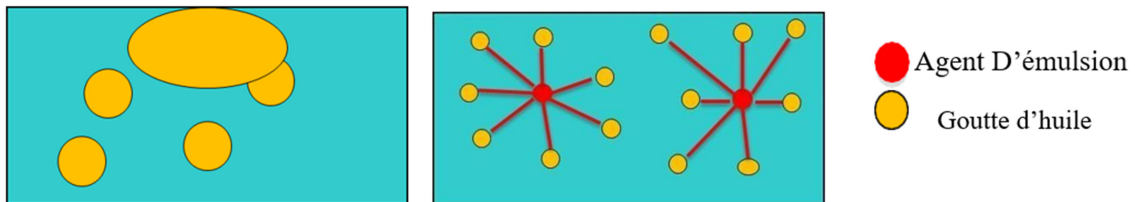


Figure IV.17. Schéma de dosage de l'émulsion breaker

### IV.5.3. Coagulant et la soude caustique

Le coagulant et la soude caustique sont injectés en amont des séparateurs IGF pour améliorer le processus de floculation des particules d'huile. Cette étape est cruciale pour garantir une séparation efficace des contaminants. Le contrôle du pH joue un rôle essentiel dans ce processus, car il permet d'optimiser l'efficacité du coagulant. En maintenant le pH à un niveau approprié, on assure une meilleure interaction entre le coagulant et les particules d'huile, facilitant ainsi leur agrégation et leur élimination ultérieure (Voir Figure IV.18).

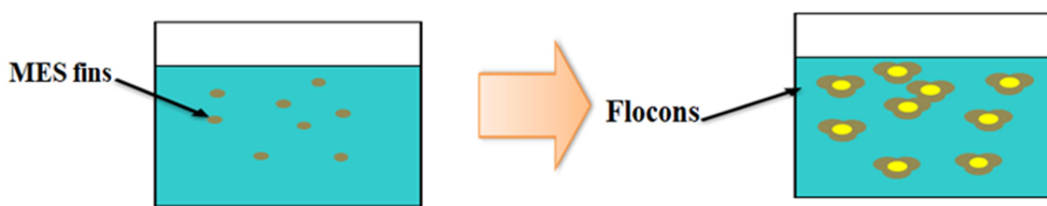


Figure IV.18. Schéma de dosage du coagulant

## IV.6. LES ANALYSES EFFECTUÉES

### IV.6.1 Analyse de l'indice des hydrocarbures

La méthode d'analyse pour la détection d'hydrocarbures dans un échantillon d'eau comporte plusieurs étapes essentielles, réalisées avec précision au laboratoire. Tout d'abord, il est crucial de maintenir la température de l'échantillon entre 4°C et 15°C pour garantir la stabilité des composés à analyser. Ensuite, le pH de l'échantillon doit être ajusté à 2 pour préparer l'environnement adéquat pour l'extraction des hydrocarbures. Une fois ces conditions établies, on procède à la pesée de la bouteille contenant l'échantillon pour obtenir le poids combiné de l'échantillon et de la bouteille ( $m_{\text{échantillon}} + m_{\text{bouteille}}$ ). Après avoir versé l'intégralité de l'eau dans un autre récipient, tel qu'un erlenmeyer, on note le poids de la bouteille désormais vide. On prend ensuite 50 ml de la solution "Hexane + C40" et on utilise cette solution pour rincer les parois de la bouteille afin de récupérer toutes les traces d'hydrocarbures qui pourraient y être adhérentes. Cette solution est ensuite ajoutée à l'échantillon d'eau dans l'erlenmeyer. L'erlenmeyer est bien fermé avec un bouchon étanche et placé dans un mélangeur pendant une heure pour permettre une extraction efficace des hydrocarbures. Cette procédure minutieuse assure une détection précise des hydrocarbures présents dans l'échantillon d'eau. Ensuite, on décante la solution pour séparer le solvant contenant les hydrocarbures de l'eau. La solution organique est ensuite récupérée, tandis que l'eau est jetée. Cette solution passe ensuite par une série de purifications : d'abord à travers du sulfate de sodium ( $\text{NaSO}_4$ ) pour la

déshydratation, puis à travers du florisil pour éliminer les composés polaires. Vient ensuite l'étape de distillation, où la solution est placée dans un bain-marie à 40°C dans un système sous vide pour concentrer l'extrait jusqu'à un volume de 2 ml. Si le volume dépasse 2 ml, il est réduit en barbotant avec de l'azote. L'extrait concentré est ensuite analysé par chromatographie. Pour ce faire, on s'assure d'avoir un bon volume d'hexane, on place l'échantillon dans le chromatographe, choisit la méthode d'analyse, et lance l'analyse. Après 13 minutes, le chromatogramme est affiché. On ajuste alors la ligne de base (de 3.5 à 11.3 minutes) et intègre les pics. Enfin, la concentration obtenue est notée et les calculs nécessaires sont effectués pour déterminer la quantité d'hydrocarbures présents dans l'échantillon suivant la relation :

$$IC = (C_{\text{chromato}} \times V_{\text{échantillon}} \times 10^{-3}) / (m_{\text{net}} \text{ d'échantillon} \times 10^3)$$

Tableau IV.7. Matériels et réactifs utilisés pour mesurer l'indice des hydrocarbures

| Matériels utilisés                 | Réactifs                              |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| Flacons d'échantillonnage.         | Solution fille "Hexane +C40"          |
| Une ampoule à décanter.            | NaSO <sub>4</sub> "Sulfate de sodium" |
| PH-mètre.                          | Florisil.                             |
| Balance.                           | Hexane                                |
| Mélangeur.                         |                                       |
| Erlenmeyer.                        |                                       |
| Mélangeur.                         |                                       |
| Montage de distillation sous vide. |                                       |
| Chromatogramme.                    |                                       |



Figure IV.19. Chromatogramme.

### IV.6.2. Analyse du Fer

La méthode de détermination du fer implique un processus rigoureux comprenant plusieurs étapes bien définies. Pour commencer, nous préparons quatre solutions clés :

- 1- L'acide sulfurique est préparé en diluant un volume d'acide sulfurique dans trois volumes d'eau, en le versant lentement tout en agitant vigoureusement et en veillant à maintenir la solution refroidie.
- 2- Ensuite, nous préparons le tampon acétate en dissolvant 40 g d'acétate d'ammonium dans de l'eau, puis en ajoutant 50ml d'acide acétique cristallisable et en complétant à 100ml avec de l'eau.
- 3- Une solution de chlorhydrate d'hydroxylamine est également préparée en dissolvant 10 g de chlorhydrate d'hydroxylamine dans de l'eau et en complétant à 100 ml. Cette solution reste stable pendant au moins une semaine.
- 4- Enfin, nous préparons une solution de phénantroline en dissolvant 0,42 g de phénantroline monohydratée dans 100ml d'eau contenant deux gouttes de solution d'acide chlorhydrique. Cette solution doit être conservée à l'obscurité pour assurer sa stabilité pendant une semaine.

Une fois ces solutions prêtes, nous passons à l'analyse de l'échantillon. Nous prélevons 10 ml de l'échantillon auquel nous ajoutons une goutte d'acide sulfurique, deux gouttes de tampon acétate, une goutte de chlorhydrate d'hydroxylamine et deux gouttes de solution de phénantroline. Cette solution est laissée reposer pendant 15 minutes avant d'être placée dans la cuvette du spectrophotomètre. Avant cette étape, nous ajustons la ligne de base avec la solution de l'échantillon brut.

Grâce à cette méthode méthodique et précise, nous sommes en mesure de déterminer avec exactitude la quantité de fer présente dans l'échantillon, exprimée en parties par million (ppm) ou en milligrammes par litre (mg/L).

Tableau IV.8. Matériels et réactifs utilisés pour mesurer le Fer

| Matériels utilisés                                | Réactifs                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quatre bécher de 20ml<br>Spectrophotomètre-DR6000 | Acide sulfurique.<br>Tampon acétate (Acétate d'ammonium + Acide acétique).<br>Chlorhydrate d'hydroxylamine.<br>Eau distillé.<br>Phénantroline. |



Figure IV.20. Spectrophotomètre-DR6000

#### IV.6.3. Analyse de NaCl

Pour déterminer la concentration en NaCl dans un échantillon, nous commençons par prélever un volume de 10 ml de l'échantillon. Ensuite, nous ajoutons des gouttes de chromate de potassium ( $K_2CrO_4$ ) et titrons avec du nitrate d'argent ( $AgNO_3$ ) jusqu'à ce que la solution prenne une teinte rouge brique. Nous enregistrons alors le volume d'équivalent utilisé. Enfin, nous calculons la concentration en NaCl en utilisant la formule :

$$C \cdot V = C_{AgNO_3} \cdot V_{eq}$$

Tableau IV.9. Matériels et réactifs utilisés pour mesurer NaCl

| Matériels utilisés | Réactifs                                                      |
|--------------------|---------------------------------------------------------------|
| Burette<br>Bécher  | chromate de potassium $K_2CrO_4$<br>nitrate d'argent $AgNO_3$ |

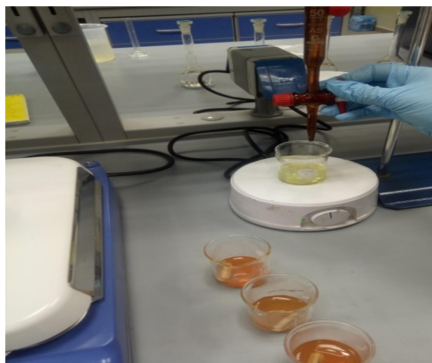


Figure IV.21. Analyse de NaCl

#### IV.6.4. Analyse de TSS (MES)

La détermination des matières en suspension totale (MES) est une étape cruciale dans l'analyse de la qualité de l'eau, visant à évaluer la concentration des particules solides en suspension. Cette méthode exige une série d'étapes rigoureuses pour assurer des résultats précis et fiables.

Tout d'abord, les filtres utilisés dans le processus sont soigneusement séchés dans une étuve à une température contrôlée de 105°C pendant une durée de 10 à 15 minutes, afin d'éliminer toute humidité résiduelle. Une fois secs, les filtres sont pesés avec une balance analytique de haute précision, en veillant à éviter toute contamination extérieure, et en utilisant un dessiccateur pour maintenir un environnement stérile.

La filtration proprement dite commence avec l'introduction des filtres dans l'entonnoir du système de filtration, connecté à un dispositif d'aspiration sous vide qui permet d'accélérer le processus. Avant de filtrer l'échantillon, celui-ci est préparé en agitant vigoureusement un volume défini d'eau distillée dans un flacon pour ouvrir les pores du filtre. Ensuite, le volume précis de l'échantillon est ajouté et filtré à travers le filtre, suivi par un rinçage avec une autre portion d'eau distillée pour récupérer toute trace d'échantillon.

Une fois la filtration terminée, le filtre est soumis à un séchage final en relâchant progressivement le vide pour permettre à l'eau résiduelle de s'évaporer. Ensuite, le filtre est délicatement retiré de l'entonnoir à l'aide d'une pince et placé sur un verre de montre pour un séchage supplémentaire dans l'étuve, cette fois-ci pendant une heure à la même température de 105°C.

Enfin, après ce processus complet de séchage, le filtre est retiré de l'étuve et pesé à nouveau pour déterminer avec précision la masse des matières en suspension retenues. Le calcul de la concentration de MES se fait alors en utilisant la formule appropriée, prenant en compte les masses initiales et finales des filtres, ainsi que d'autres paramètres spécifiques à la méthode employée.

$$X(g/L) = \frac{(M - M_0)}{V} \times 1000$$

X : la quantité de MES en g/L.

M: masse de filtre après filtration en mg.

M<sub>0</sub>: masse de filtre avant filtration en mg.

V: volume de l'échantillon filtré.

Tableau IV.10. Matériels et réactifs utilisés pour mesurer MES

| Matériels utilisés                                                               | Réactifs                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Equipement de filtration sous vide<br>Balance de précision.<br>Etuve.<br>Filtre. | Ce protocole de détermination n'utilise pas de réactifs |

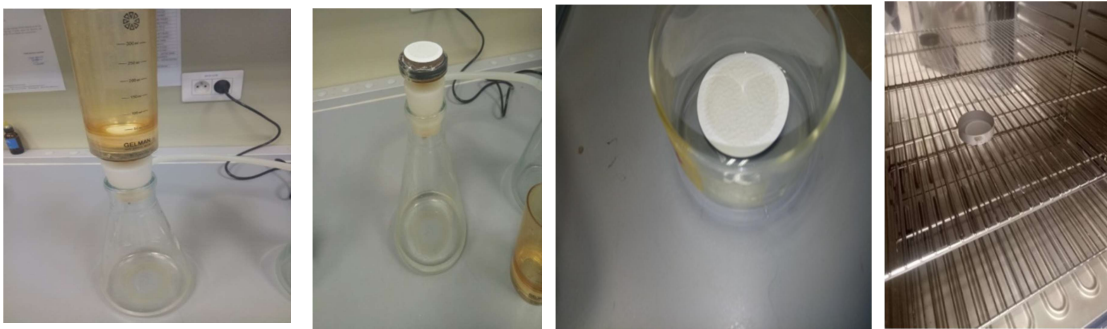


Figure IV.22. Analyse de TSS (MES)

#### IV.6.5. Analyse de TOG

La méthode de détermination du TOG, ou Total des Huiles et Graisses, nécessite une rigueur et une précision dans son exécution. Tout d'abord, il est impératif de s'assurer que l'appareil utilisé ne contient aucuns résidus d'hydrocarbures. Pour ce faire, on suit un protocole strict : 8

ml de solvant S316 sont mélangés avec 16 ml d'eau distillée et quelques gouttes d'acide chlorhydrique HCl, puis cette solution est placée dans une cellule de l'appareil.

La première étape de la préparation de l'appareil consiste à le mettre en marche, déclenchant ainsi une série d'étapes cruciales : une extraction de 40 secondes, suivie d'une séparation de 30 secondes, puis une période de 60 secondes pour l'échantillonnage. Ensuite, 30 secondes sont allouées aux mesures et à l'élimination des résidus, suivies d'une ou deux minutes de soufflage pour éliminer les vapeurs résiduelles.

La deuxième étape est dédiée à la mesure proprement dite du TOG. Pour ce faire, 8 ml du solvant S316 sont associés à 16 ml d'échantillon. L'appareil entre alors en action, calculant avec précision la concentration d'huiles et de graisses présentes dans l'eau. Cette méthodologie stricte garantit des résultats fiables et reproductibles, essentiels dans divers domaines tels que l'analyse environnementale ou la qualité alimentaire.

Tableau IV.11. Matériels et réactifs utilisés pour mesurer TOG

| Matériels utilisés                                                              | Réactifs                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Un appareil pour calculer le teneur des huiles et des graisses de marque HORIBA | Solvant S316<br>Eau distillée<br>Acide de chlorure d'hydrogène HCl |



Figure IV.23. Analyse de TOG

#### IV.6.6. Analyse de pH

Après étalonnage du pH-mètre de marque METTLER TOLEDO. L'électrode de mesure est plongée dans un bêcher contenant un volume de l'échantillon et on note le pH.



Figure IV.24. PH-mètre utilisée.

Dans le cadre de l'étude, les résultats des analyses sont présentés de manière claire et organisée dans les Tableau IV.12. et IV.13. Ces tableaux récapitulent les données essentielles obtenues au cours des différentes étapes d'analyse, conformément aux exigences spécifiques de l'étude. Chaque résultat est consigné avec précision, permettant une évaluation approfondie des paramètres mesurés.

Tableau IV.12. Résultats des analyses

| Échantillon | pH   | NaCl (g/l) | Fer (ppm) | Échantillon | pH   | NaCl (g/l) | Fer (ppm) |
|-------------|------|------------|-----------|-------------|------|------------|-----------|
| D901A       | 6.33 | 40.32      | 48        | D901-G      | 6.16 | 18.72      | 75        |
| DC901A      | 7.04 | 16.95      | 87        | DC901-G     | 7.61 | 1.75       | 18        |
| W1          | 6.21 | 3.51       | 30        | D901-H      | 6.11 | 22.82      | 76        |
| API in      | 6.34 | 36.23      | 22        | DC901-H     | 7.27 | 7.02       | 01        |
| D901B       | 6.12 | 57.27      | 106       | W5          | 6.47 | 1.75       | 68        |
| DC901B      | 7.11 | 4.67       | 18        | API in      | 6.20 | 40.95      | 87        |
| W9          | 6.67 | 2.62       | 74        | D901-A      | 6.28 | 46.8       | 82        |
| API in      | 6.22 | 31.55      | 74        | DC901-A     | 7.13 | 4.095      | 40        |
| D901C       | 6.13 | 63.70      | 95        | E1          | 6.82 | 1.17       | 24        |
| DC901C      | 7.30 | 19.87      | 102       | API in      | 6.26 | 40.95      | 81        |
| W6          | 5.73 | 229.08     | 147       | D901-B      | 6.22 | 57.92      | 99        |
| API in      | 6.42 | 29.80      | 82        | DC901-B     | 7.14 | 3.51       | 21        |
| D901D       | 6.08 | 54.40      | 75        | E4          | /    | /          | /         |
| DC901D      | 7.27 | 4.10       | 15        | API in      | 6.18 | 46.22      | 90        |
| W8          | 6.64 | 2.93       | 74        | D901-C      | 6.21 | 53.82      | 93        |

CHAPITRE IV : PARTIE EXPERIMENTALE

|        |      |       |     |         |      |        |     |
|--------|------|-------|-----|---------|------|--------|-----|
| API in | 6.26 | 38.03 | 77  | DC901-C | 7.19 | 12.285 | 48  |
| D901E  | 6.15 | 4.68  | 19  | E7      | 5.99 | 68.445 | 129 |
| DC901E | 7.13 | 2.34  | 23  | API in  | 6.19 | 41.535 | 75  |
| W5     | 6.16 | 2.34  | 69  | D901-D  | 6.21 | 52.65  | 95  |
| API in | 6.21 | 39.15 | 82  | DC901-D | 7.49 | 3.51   | 10  |
| D901F  | 6.15 | 23.38 | 80  | E5      | 6.40 | 10.53  | 117 |
| DC901F | 7.04 | 1.75  | 23  | API in  | 6.20 | 43.29  | 89  |
| E1     | 6.69 | 2.34  | 4   | D901-E  | 5.96 | 5.84   | 32  |
| API in | 6.36 | 50.26 | 64  | DC901-E | 7.29 | 2.33   | 23  |
| D901G  | 6.07 | 28.64 | 84  | W7      | 6.62 | 2.92   | 3   |
| DC901G | 7.27 | 1.75  | 27  | API in  | 6.40 | 53.76  | 87  |
| D901H  | 6.03 | 24.54 | 81  | D901-F  | 6.11 | 15.795 | 72  |
| DC901H | 7.86 | 5.26  | 01  | DC901-F | 6.53 | 1.755  | 27  |
| E7     | 6.10 | 79.48 | 133 | W1      | 6.58 | 2.925  | 59  |
| API in | 6.22 | 40.91 | 85  | API in  | 6.15 | 42.705 | 89  |

Tableau IV.13. Résultats des analyses journalières

| Échantillon | pH   | TSS (ppm) | TOG (ppm) | IC (ppm) |      |
|-------------|------|-----------|-----------|----------|------|
| ACF"C"      | 6.17 | 12        | 23.9      |          |      |
| T961        | 6.12 | 19        | /         | SBS      | 0.35 |
| ACF"C"      | 6.06 | 13        | 20.5      |          |      |
| T961        | 6.16 | 09        | 23.8      |          |      |
| T961        | 6.08 | 14        | /         | SBN      | 2.79 |
| ACF"A"      | 6.18 | 9         | 14.1      |          |      |
| T961        | 6.16 | 3         | /         | SBS      | 0.37 |
| ACF"A"      | 6.16 | 12        | 17.6      |          |      |
| T961        | 6.10 | 15        | 11.3      | SBC      | 0.18 |
| T961        | 6.09 | 19        | /         | SBN      | 0.74 |
| ACF"B"      | 6.06 | 08        | 16.4      |          |      |
| T961        | 6.13 | 03        | 34.5      | SBS      | 0.34 |
| ACF"B"      | 6.27 | 28        | 76.4      |          |      |

|      |      |    |      |     |      |
|------|------|----|------|-----|------|
| T961 | 6.15 | 08 | 24.6 | SBS | 0.84 |
| T961 | 6.22 | 14 | /    | SBN | /    |

✓ **DEUXIEME PARTIE D'ETUDE**

**IV.8. PRÉPARATION DES BIO-ADSORBANTS**

La première étape cruciale dans notre processus est la préparation minutieuse du bioadsorbant, qui est la plante de la paume de Maryam. Nous commençons par purifier la plante de toute saleté et poussière, suivie par la délicate séparation des tiges et des fleurs. Les tiges sont ensuite soigneusement lavées à l'eau claire, pour garantir un nettoyage optimal. Ce processus de lavage méticuleux s'étend sur environ un mois, totalisant près de 20 lavages, assurant ainsi une pureté maximale. Par la suite, les tiges sont séchées naturellement à l'air ambiant, puis broyées et tamisées avec précision pour obtenir des granulométries spécifiques de 1mm, 0.5 mm et 0.2 mm. Cette rigueur dans la préparation garantit la qualité et l'efficacité optimale de notre bioadsorbant, prêt à être utilisé dans diverses applications avec confiance et fiabilité.

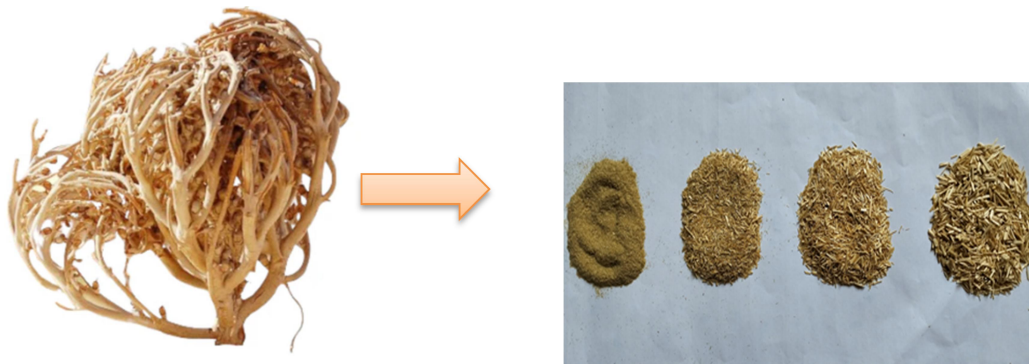
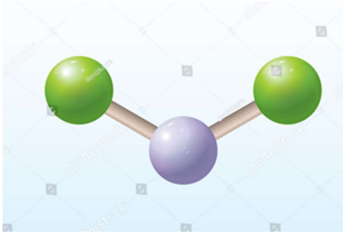


Figure IV.25. La paume de Maryam après préparation primaire .

La seconde étape cruciale du processus consiste à activer chimiquement le bioadsorbant. Les activateurs les plus fréquemment utilisés incluent l'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ ), le chlorure de zinc ( $ZnCl_2$ ), et l'hydroxyde de potassium (KOH), parmi d'autres. Le chlorure de zinc se

démarque particulièrement en raison de sa large utilisation comme activateur. Ce choix n'est pas anodin, car il permet d'optimiser à la fois les micropores et les mésopores de l'adsorbant, son efficacité étant étroitement liée à la température d'activation.

Tableau IV.14. Propriétés du sel métallique de chlorure de zinc

|                                   |                                                                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Nom                               | le chlorure de zinc                                                                |
| Formule chimique                  | ZnCl <sub>2</sub>                                                                  |
| Structure                         |  |
| Masse molaire g/mol               | 136.315                                                                            |
| Masse volumique g/cm <sup>3</sup> | 2.9                                                                                |
| T° Fusion                         | 290                                                                                |
| T° ébullition                     | 732                                                                                |

Après une sélection méticuleuse de l'acide le plus approprié, nous avons initié la préparation de diverses solutions à des concentrations variant entre 1M, 1.5 M et 2 M. Ces solutions jouent un rôle essentiel dans notre démarche d'activation de l'adsorbant, caractérisé par des diamètres oscillant entre 0.5 mm et 1 mm, et activés chimiquement selon un protocole rigoureux. Le processus débute par le soigneux mélange de 1g d'échantillon avec 100 ml de la solution ZnCl<sub>2</sub>, suivi d'une agitation prolongée de deux heures pour assurer une distribution uniforme. Par la suite, le mélange est centrifugé puis délicatement séché à 105°C pendant une heure. Cette étape critique assure la stabilité et l'efficacité de nos adsorbants. Nous répétons cette procédure pour les concentrations de 1.5 M et 2 M, à différentes températures : 20°C, 40°C et 60°C. Cette approche méthodique garantit la qualité et la fiabilité de nos résultats (Voir Figure IV.26).



Figure IV.26. Adsorbants Activés

#### IV.9. MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'étude de la cinétique d'adsorption du polluant par le bioadsorbant choisi a été réalisée dans un réacteur fermé et parfaitement agité, comme illustré à la Figure IV.27. Pour chaque expérience, 4 g de bioadsorbant sont introduits dans 200 ml de solution contaminée. Le réacteur est continuellement agité à une vitesse constante.

Pour déterminer les cinétiques d'adsorption, une masse prédéterminée de bioadsorbant (1 à 4 g) est introduite dans 200 ml d'une solution huileuse de concentration inconnue. La suspension est agitée à une vitesse fixe de 300 tr/min jusqu'à l'équilibre, tandis que la température est maintenue constante entre 20 et 40°C. Des échantillons sont prélevés à des intervalles réguliers pour suivre l'évolution de la demande chimique en oxygène (DCO).

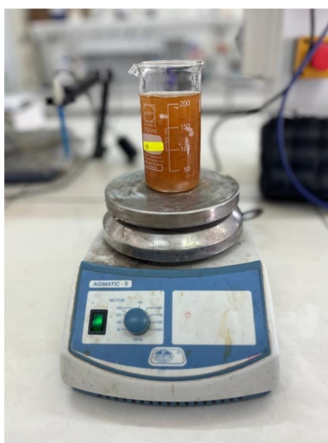


Figure IV.27. Dispositif expérimentale

Les taux d'abattement de la DCO sont calculés à partir de la relation suivante :

$$Re (\%) = \frac{DCO_{ini} - DCO_{fin}}{DCO_{ini}} \times 100$$

R(%): Rendement d'élimination de la DCO

$DCO_{ini}$  (mg d'O<sub>2</sub>/l): DCO initiale des eaux (avant adsorption)

$DCO_{fin}$  (mg d'O<sub>2</sub> /l): DCO des eaux après adsorption

#### IV.9. 1. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Pour déterminer la Demande Chimique en Oxygène (DCO) en utilisant la méthode au dichromate de potassium et le titrage avec le sel de Mohr (sulfate de fer (II) ammoniacal), suivez ces étapes détaillées :

##### Étape 1 : Préparation des solutions et digestion des échantillons

- 1- Dissolvez 1,78 g de sulfate d'argent ( $Ag_2SO_4$ ) dans 180 ml d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) concentré, puis agitez la solution.
- 2- Dissolvez 1,22 g de dichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) dans 100 ml d'eau distillée, puis agitez la solution.
- 3- Prélevez 20 ml de chaque échantillon et ajoutez-y 30 ml de la solution de  $H_2SO_4+Ag_2SO_4$  préparée, ainsi que 10 ml de la solution de  $K_2Cr_2O_7$  et quelques pincées de sulfate de mercure ( $Hg_2SO_4$ ).
- 4- Placez les échantillons dans les tubes de l'appareil de DCO et laissez-les digérer à 150°C pendant 2 heures.

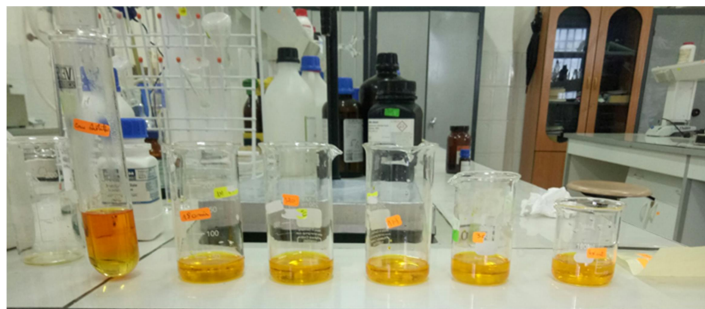


Figure IV.28. Préparation des échantillons

**Étape 2 : Titrage avec la solution de sel de Mohr**

- 1- Préparez une solution de sel de Mohr (fer(II) ammonium sulfate) à une concentration de 0,125 M en dissolvant 4,9 g du sel dans 200 ml d'eau distillée.
- 2- Une fois les échantillons digérés, laissez-les refroidir complètement avant de commencer le titrage.
- 3- Remplissez la burette avec la solution de sel de Mohr.
- 4- Ajoutez 5 gouttes de solution de ferroïne à chaque échantillon.
- 5- Placez l'échantillon dans un bécher et titrez jusqu'à ce que la solution vire à l'orange.
- 6- Notez le volume de sel de Mohr utilisé pour chaque échantillon et calculez la DCO à l'aide de la formule suivante :

$$\text{DCO (mg/l)} = (b-a) \cdot \frac{8000 \cdot N}{X} \cdot F_c$$

Avec :

b : volume de sel de moher titré le blanc.

a : volume de sel de moher titré les échantillons.

X : volume d'échantillon = 20ml.

F<sub>c</sub> : 1

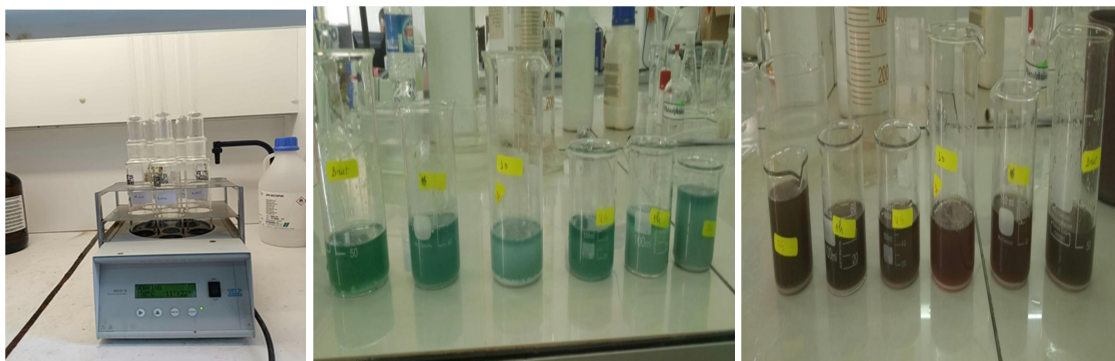


Figure IV.29. Mesure de DCO

#### IV.9. 2. Demande Biologique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>)

La Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours (DBO<sub>5</sub>) est une mesure utilisée pour évaluer la quantité d'oxygène nécessaire pour la décomposition biologique de la matière organique présente dans l'eau sur une période de cinq jours.

Pour débiter, on remplit une bouteille de DBO avec l'échantillon à analyser. Ensuite, on mesure la concentration initiale en oxygène dissous (DO initial) à l'aide d'un oxygéno-mètre ou par la méthode de titration de Winkler modifiée. Cette étape essentielle permet de déterminer la quantité d'oxygène présente avant l'incubation. Les bouteilles de DBO sont ensuite fermées hermétiquement pour éviter toute entrée d'air. Elles sont placées dans un incubateur réglé à 20°C et maintenues à l'obscurité totale pendant cinq jours, empêchant ainsi la photosynthèse qui pourrait fausser les résultats. Au terme de cette période, on mesure la concentration finale en oxygène dissous (DO final). Enfin, la DBO<sub>5</sub>, qui reflète la demande biologique en oxygène sur cinq jours, est calculée en soustrayant la concentration finale d'oxygène dissous de la concentration initiale :  $DBO_5 = DO_{\text{initial}} - DO_{\text{final}}$ .

Cette méthode rigoureuse permet d'évaluer avec précision la charge polluante de l'échantillon, fournissant des données cruciales pour le contrôle et la gestion de la qualité de l'eau.

#### IV.10. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

#### IV.11. CARACTÉRISATION DE L'EAU USÉES UTILISÉE

Les caractéristiques d'un échantillon d'eau usée prélevé à l'entrée du filtre à coquilles de noix (NutShell) sont présentées dans le tableau ci-dessous

Tableau IV.15. Caractéristiques des eaux usées au niveau du filtre coquilles de noix (NutShell) à l'entrée

| pH   | T (°C) | DCO   | DBO <sub>5</sub> (mg/l) | MES (mg/L) |
|------|--------|-------|-------------------------|------------|
| 4.14 | 60     | 160.6 | 69                      | 160        |

#### IV.11.1. Effet du temps de contact sur l'abattement de la DCO

L'effet du temps de contact sur l'adsorption des hydrocarbures par un bioadsorbant activé chimiquement est crucial pour maximiser l'efficacité de l'élimination des hydrocarbures des eaux huileuses. Un temps de contact approprié permet d'atteindre l'équilibre d'adsorption, optimisant ainsi l'utilisation des capacités du bioadsorbant sans pertes de temps inutiles.

La Figure IV.31 illustre l'évolution du pourcentage de réduction de la DCO (demande chimique en oxygène) en fonction du temps à 20 °C pour une solution de 200 ml, avec une concentration initiale de DCO de 160,6 mg O<sub>2</sub>/L, une masse de 4 g de bioadsorbant et une vitesse d'agitation de 300 tr/min. Les résultats montrent une adsorption rapide dans les premières minutes, suivie d'une phase d'adsorption plus lente, avec une diminution de la vitesse à partir d'environ 30 minutes. L'équilibre de la DCO est atteint en 60 minutes, correspondant à un abattement d'environ de 30.89 %. Le rendement d'adsorption des polluants sur le bioadsorbant augmente avec le temps de contact jusqu'à ce qu'il atteigne un plateau. La diminution graduelle de l'abattement jusqu'à l'équilibre peut s'expliquer d'une part par la baisse des gradients de concentration au fur et à mesure de l'adsorption qui a une incidence directe sur la cinétique. D'autre part, les résultats suggèrent la présence de deux groupes de composés à comportements différents. Les différentes caractéristiques de l'eau huileuse après traitement avec notre bioadsorbant est présentée sur le tableau IV.16.

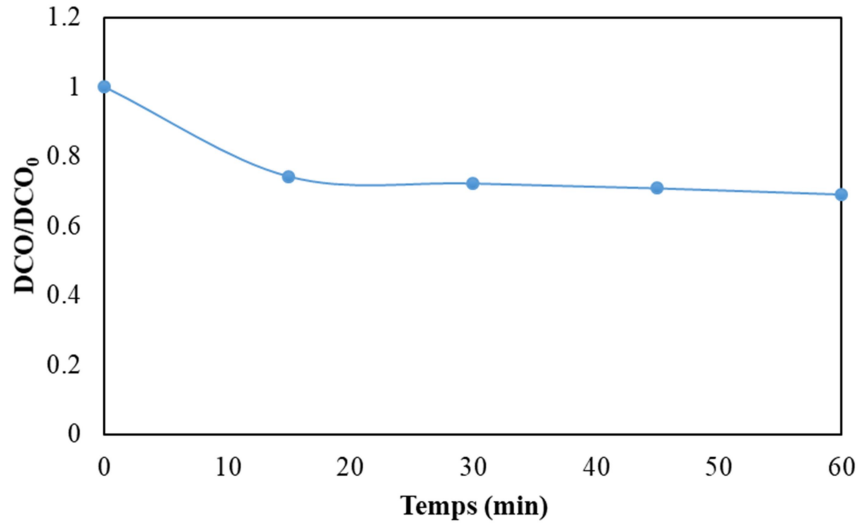


Figure IV.30. Influence du temps de contact sur l'abattement de la DCO par le biomatériau  
( $V = 200$  ml,  $m = 4$  g,  $[DCO]_0 = 160.6$  mgO<sub>2</sub> /L)

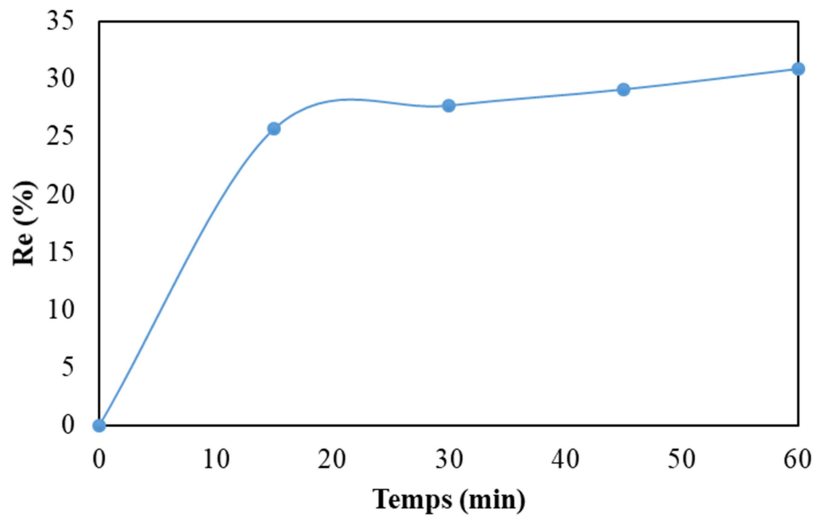


Figure IV.31. Évolution du rendement de l'adsorption des polluants en fonction de temps de contact ( $V = 200$  ml,  $m = 4$  g,  $[DCO]_0 = 160.6$  mgO<sub>2</sub> /L)

Tableau IV.16. Caractéristiques des eaux usées après traitement

| Paramètre | pH   | T  | DCO   | DBO <sub>5</sub> (mg/l) |
|-----------|------|----|-------|-------------------------|
| Valeur    | 4.14 | 25 | 110.1 | 61                      |

#### IV.11.2. Effet de la masse d'adsorbant

L'influence de la masse de l'adsorbant sur l'adsorption du polluant par le bio-adsorbant a été étudiée pour un volume de solution de 200 ml, une vitesse d'agitation de 300 tr/min et une température de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , en variant la masse du bio-adsorbant de 1 à 4 g. La Figure IV.32 présente l'évolution du pourcentage de réduction de la DCO (demande chimique en oxygène). D'après cette figure, nous constatons que la performance de l'adsorption des polluants augmente de façon significative en fonction de la masse de bioadsorbant utilisée. Le rendement d'adsorption des polluants sur le bioadsorbant augmente avec l'augmentation de la dose de bioadsorbant (Voir Figure IV.33). Ceci est dû au gradient de concentration du soluté entre la solution et la surface du matériau. Pour des masses élevées de bio-adsorbant, il y a une adsorption superficielle rapide sur la surface de l'adsorbant qui engendre une faible concentration du soluté dans la solution. C'est parce que qu'une masse de bio-adsorbant ne peut adsorber qu'une quantité fixe de polluant.

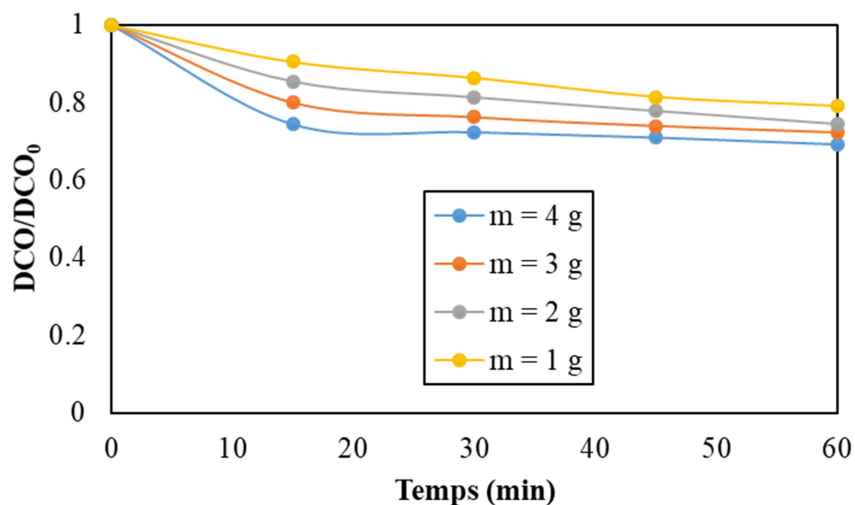


Figure IV.32. Évolution de DCO en fonction de la quantité d'adsorbant

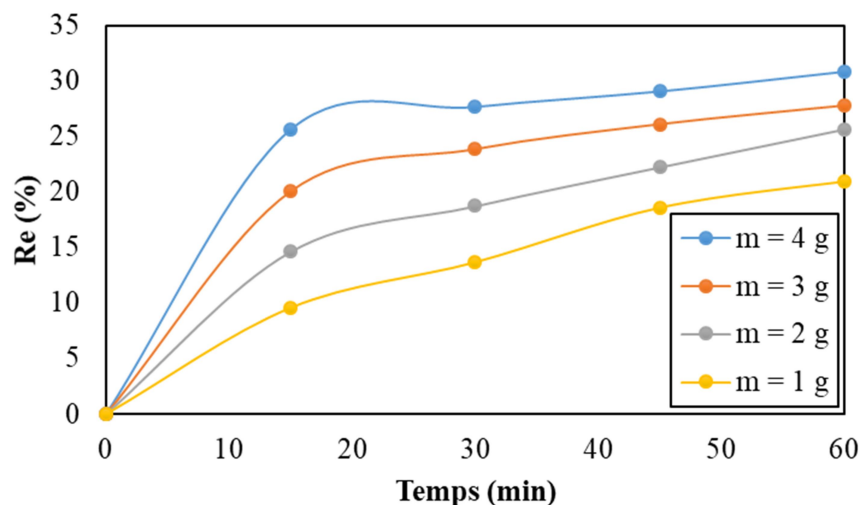


Figure IV.33. Effet de la quantité d'adsorbant sur l'évolution du rendement de l'adsorption des polluants sur le bioadsorbant choisi.

#### IV.11.3. Effet de la vitesse d'agitation

L'effet de la vitesse d'agitation sur l'adsorption du polluant par les particules de biomatériaux a été étudié en présence de 4 g d'adsorbant dans 200 ml de solution. La vitesse est variée de 100 à 500 tr/min. L'évolution de la DCO en fonction du temps pour différentes vitesses d'agitation est présentée sur la Figure IV.34 Cette Figure montre que l'augmentation de la vitesse d'agitation entraîne une diminution de l'abattement et une augmentation du rendement de l'adsorption du polluant (Voir Figure IV.35). Ceci peut être expliqué par le fait que l'augmentation de la vitesse d'agitation entraîne une diminution de l'épaisseur du film liquide à l'interface solide-liquide (couche limite qui entoure les particules et qui constitue une résistance au transfert de matière) ce qui facilite le transfert du soluté de la solution vers l'adsorbant.

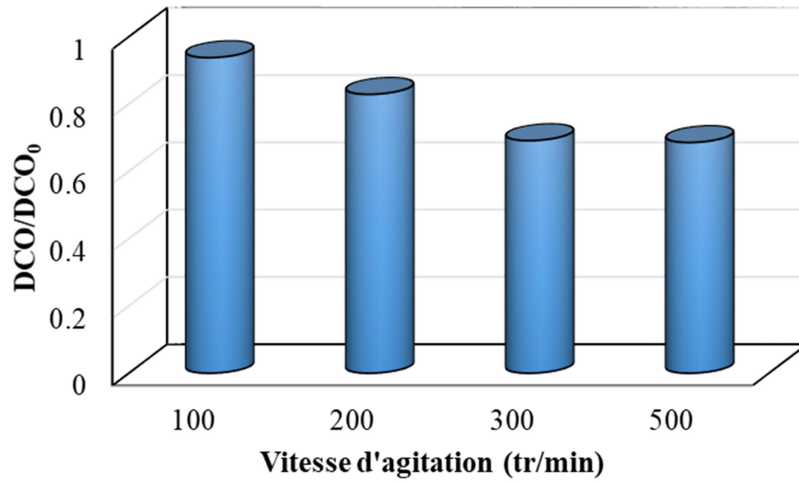


Figure IV.34. Évolution de la DCO en fonction de la vitesse d'agitation.

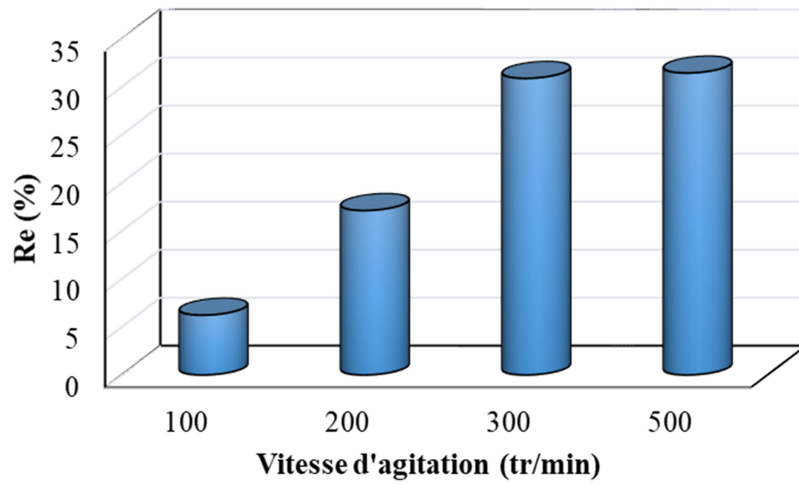


Figure IV.35. Évolution du rendement de l'adsorption des polluants en fonction de la vitesse d'agitation.

#### IV.12. CONCLUSION

La PWT avec ses différentes sections permet de récupérer tous les traces de condensats, ce qui rend les eaux industrielles non polluées.

Dans ce travail, nous avons utilisé un matériau d'origine naturelle en l'occurrence : La paume de Maryam (PM) activé chimiquement, pour promouvoir d'une part une méthode simple rentable et efficace capable de limiter la pollution engendrée par les hydrocarbures. L'influence du temps de contact, de la vitesse d'agitation et de la masse du biosorbant sur l'adsorption a été mise en évidence. L'augmentation de la masse de biosorbant entraîne une augmentation du rendement d'adsorption des polluants et une diminution de la concentration du polluant en solution, c'est-à-dire une meilleure élimination du polluant.

L'augmentation de la vitesse d'agitation conduit à une augmentation du rendement et une diminution de l'abattement de la DCO.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

L'unité PWT est constituée d'une chaîne de traitement allant de la station API, CPI, IGF, NSF et ACF utilisant des différentes techniques qui permettent l'élimination des polluants organiques et inorganiques à partir de l'eau comme l'adsorption, la coagulation, floculation, la précipitation qui sont appliqués aux eaux huileuses.

Dans ce contexte, nous proposons l'utilisation d'un bioadsorbant, la paume de Maryam (PM), comme adsorbant peu coûteux et disponible pour le traitement des eaux huileuses industrielles. La paume de Maryam présente des propriétés adsorbantes exceptionnelles qui en font une solution écologique et économique, capable de réduire efficacement les polluants huileux dans les effluents industriels, contribuant ainsi à une gestion durable et respectueuse de l'environnement.

L'utilisation de la paume de Maryam (PM) activée chimiquement s'avère être une méthode simple, rentable et efficace pour réduire la pollution par les hydrocarbures. Les expériences ont montré l'impact positif du temps de contact, de la vitesse d'agitation et de la masse du biosorbant sur le processus d'adsorption. En effet, l'augmentation de la masse de biosorbant améliore significativement le rendement d'adsorption des polluants, permettant ainsi une réduction notable de leur concentration en solution, ce qui se traduit par une élimination plus efficace des polluants. Par ailleurs, une vitesse d'agitation accrue favorise un meilleur rendement et une diminution de la demande chimique en oxygène (DCO), illustrant l'efficacité de cette approche dans le traitement des eaux polluées. Ces résultats prometteurs ouvrent la voie à des applications industrielles potentielles, offrant une solution écologique et économiquement viable pour la gestion des hydrocarbures dans l'environnement.