

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان
Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER ACADEMIQUE**

En : HYDRAULIQUE

Spécialité : OUVRAGES HYDRAULIQUES

Par :

Mlle. Djamila DEKKAR
&
Mlle. Sarra DARANI

Sujet

**OPTIMISATION ET VALORISATION DES EAUX PRODUITES PAR LES
UNITES DE TRAITEMENT DES EAUX HUILEUSES : CAS DE LA
STATION DE HASSI R'MEL**

Soutenu publiquement, en Septembre 2020, devant le jury composé de :

M^r. M. HABI	Univ. Tlemcen	Président
M^{me}. I. MAROK-GUASMI	Univ Tlemcen	Directrice de mémoire
M^{lle}. K. BENZINE	CRD, SONATRACH	Co- Directrice
M^r. M. BOUMEDIENE	Univ Tlemcen	Examineur



Remerciements



Éloges à dieu le tout puissant pour tout ce qu'il nous a accordé comme bénédiction pour achever a terme ce travail.

Nous remercions ensuite, nos parents qui ont veillé à notre réussite, nous leur seront a jamais reconnaissantes.

Nos vifs remerciements,

*A notre enseignante et encadreur, **Mme. I. Marok-Guasmi** (Maitre de conférences à la faculté de technologie de l'université de Tlemcen), sans qui rien n'aurait été possible, une femme remarquable et exemplaire qui nous a toujours soutenue et écouté. Qu'elle trouve ici l'expression de notre respectueuse gratitude.*

*A notre Co-encadreur **Mlle. K. Benzine** (Ingénieur spécialiste en environnement 'SONATRACH') qui nous a suivi et encadré durant la partie de notre stage pratique, pour ses efforts, conseils précieux ainsi que pour ses orientations.*

Au personnel du service Hydraulique et de la station de déshuilage de Hassi R'mel qui nous ont suivi et orienté durant notre stage de terrain.

*A toutes les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail, à savoir le personnel du **CRD (SONATRACH)**, en particulier : **Mr. M. BENAMARA** (Directeur division Laboratoires), **Mr. D. ZIRIRI** (Directeur A.U.I), **Mr. M. TALBI** (Chef de département formation), **Mr. M. ZEBBOUDJ** (Chef de département Gestion du personnel), **Mr. M. KHODJA** (Directeur Central du R&D).*

*On tient aussi à remercier vivement les membres du jury **Mr. M. HABI** et **Mr. M. BOUMEDIEN** pour l'intérêt qu'ils ont apporté à ce*

modeste travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs critiques.

À jamais reconnaissantes envers tous les enseignants du département d'Hydraulique de l'université de Tlemcen, nos collègues de la promotion master 2 'OH' et à tout nos ami(e)s.

Enfin, à tous ceux qui ont fait que ce travail se réalise et voit le jour.

Sarra & Djamila

Dédicace

J'ai l'immense honneur de dédier ce modeste travail :

En premier lieu,

A mon pilier dans la vie, ma mère. Celle qui a toujours été là et qui a cru en moi et en mes capacités, qui m'a soutenue, encouragé et grâce à qui je bas toujours de l'avant.

En second lieu,

A mon père, mon idole et mon exemple. Celui qui m'a appris la droiture, la simplicité, l'humilité et surtout l'amour que j'ai pour cette spécialité qui est l'hydraulique.

Aucun mot, ni expression ne pourrons vous justifier l'amour inconditionnel que je vous porte. Vous êtes ma fierté et vous faites mon bonheur.

Sarra



Dédicace

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :

*À celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoir,
à celle qui a sacrifiée sa jeunesse pour m'élever,
à qui quand je suis triste, la voir suffit à changer mon humeur,
à celle qui a le cœur le plus tendre.*

À la plus belle mère du monde.

*À la femme la plus sacrificielle, la plus généreuse,
à la source de ma force et de mon inspiration,
à ma deuxième mère.*

La plus merveilleuse tante.

À ma meilleure amie 'Asmaa'.

Djamila



TABLE DES MATIERES

Pages

REMERCIEMENTS	
DEDICACES	
TABLE DES MATIERES	
RESUME	
LISTE DES ABREVIATIONS	
PREFACE	i

1^{ère} Partie : PARTIE THEORIQUE

Chapitre 1 : CADRE GENERAL

I. PROBLEMATIQUE	01
II. OBJECTIFS	01
III. PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL	01
A. Présentation de SONATRACH.	01
B. Organigramme de l'organisme.	03
C. Présentation de la direction centrale recherche développement (DC-R&D).	04
D. Organisation de la direction centrale de recherche et développement.	04
E. Direction assistance aux unités industrielles (AUI).	06
1. Département Analyse et Etudes environnementales	06
2. Département corrosion	07
3. Département traitement et contrôle des fluides	07

Chapitre 2 : GENERALITES SUR LES EAUX USEES INDUSTRIELLES

I. INTRODUCTION	08
II. GENERALITES SUR LES EAUX INDUSTRIELLES	09
A. Définition et nature des eaux industrielles	09
B. Les différents types de pollutions engendrées par les rejets industriels liquides	10
1. Pollution chimique	10
2. Pollution organique	11
2.1. Les hydrocarbures	11
3. Pollution minérale	11
3.1. Les métaux lourds	11
3.2. Le Cyanure	12
3.3. Les éléments minéraux nutritifs	12
4. Pollution thermique	12
C. Caractéristiques des eaux usées industrielles	13
1. Caractéristiques physiques	13
1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)	13
1.2. La température	14
1.3. Turbidité	14
1.4. Les matières en suspension (MES)	14

2. Caractéristiques chimiques	15
2.1. Demande biochimique en oxygène (DBO)	15
2.2. Demande chimique en oxygène (DCO)	15
2.3. Rapports DCO/DBO ₅	16
2.4. Carbone Organique Total (COT)	16
2.5. Les micropolluants	17
2.6. Éléments nutritifs	17
2.6.1. Azote total 'NT'	17
2.6.2. Phosphore total 'PT'	18
2.7. Autres paramètres	18
2.7.1. Hydrocarbures	18
2.7.2. Emulsion	18
III. PROCÉDES DE TRAITEMENTS ET VOIES D'ÉLIMINATION DES EAUX USEES INDUSTRIELLES EPUREES	18
A. Les différents degrés de traitement conventionnels	19
1. Traitement préliminaire	19
2. Traitement primaire	19
3. Traitement secondaire	19
4. Traitement tertiaire et/ou avancé	19
B. Les méthodes de séparation	19
1. Les prétraitements	19
1.1. Dégrillage	19
1.2. Dessablage	20
1.3. Déshuilage et dégraissage	20
1.3.1. Pré-déshuilage	20
1.3.2. Déshuilage final	20
1.4. Epuration physicochimique	20
1.5. Coagulation-Floculation	21
1.5.1. La coagulation	21
1.5.2. La floculation	22
2. Traitements biologiques	23
3. Traitement d'affinage	23
3.1. Filtration sur sable	23
3.2. Adsorption sur charbon actif	24
3.3. Voies d'élimination des eaux usées industrielles épurées	24
IV. IMPACTS DES REJETS INDUSTRIELLES SUR LE MILIEU NATUREL	24
A. Impacts positifs	25
B. Impacts négatifs	25
V. CADRE REGLEMENTAIRE SUR LA QUALITE DE L'EAU	25
A. Au niveau international	25
B. Au niveau national	26
1. Cadre juridique relatif à l'eau	27
1.1. Loi N° 05-12 du 4 août 2005	27
1.2. Décret exécutif N°07-149 du 20 mai 2007	27
1.3. Décret exécutif N°07-270 du 11 septembre 2007	27
1.4. Décret exécutif N°07-399 du 23 décembre 2007	27
1.5. Décret exécutif N°07-69 du 19 Février 2007	28
V. NORMES DE REJET	28
VI. CONCLUSION	28

Chapitre 3 : GENERALITES SUR LA PHOTOCATALYSE HETEROGENE

I. INTRODUCTION	30
II. LES DIFFERENTS PROCEDES D'OXYDATION AVANCEES (POAs)	30
III. LA PHOTOCATALYSE HETEROGENE (UV/TiO₂)	31
A. Types de procédés de la photocatalyse hétérogène	33
B. Principes de la photocatalyse hétérogène	33
1. La photo-excitation	34
2. La photo-réduction des cations métalliques	35
C. Choix du photo-catalyseur	36
D. La photocatalyse solaire	37
1. Le spectre solaire	37
2. L'absorption de l'énergie solaire par le TiO ₂	38
E. Facteurs d'efficacité du procédé photo-catalytique	39
1. Concentration du polluant	39
2. Influence du pH de la solution	40
3. Influence de la Température	41
4. Influence de la Turbidité	42
5. Influence de la Cristallinité	42
IV. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA PHOTOCATALYSE	43
V. CONCLUSION	43

Chapitre 4 : PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

I. INTRODUCTION	45
II. ORGANISATION DE LA DIRECTION REGIONALE DE HASSI R'MEL	45
III. PRESENTATION DU CHAMP DE HASSI R'MEL	46
A. Situation géographique de Hassi R'mel	46
B. Organisation du champ de Hassi R'mel	47
1. Secteur Nord	47
2. Secteur Centre	47
3. Secteur Sud	47
IV. DEVELOPPEMENT DU CHAMP DE HASSI R'MEL	48
V. DESCRIPTION DU PROCESSUS DE PRODUCTION DU CHAMP DE HASSI R'MEL	50
VI. LES INSTALLATIONS GAZIERES DU CHAMP DE HASSI R'MEL	50
A. Les modules	50
B. Les stations de compression	51
C. LE stockage et l'expédition des hydrocarbures liquides	51
D. Centre national de dispatching de gaz 'CNDG'	51
E. Station de récupération des gaz associé 'SRGA'	51
F. Unité de traitement de gaz naturel	51
G. Le centre de traitement d'huile (CTH)	52
VII. REJETS INDUSTRIELS A HASSI R'MEL ET ENVIRONNEMENT	52
A. Les principaux rejets industriels a Hassi R'mel	52
1. Rejets des modules	52
2. Rejets des CTH	52
3. Rejets des sondes de forage	52

4. Rejets des unités industrielles	52
5. Les bourbiers	53
B. Action mises en œuvre pour la protection de l'environnement à Hassi R'mel	53

2^{ème} Partie : PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre 5 : ETUDE DE LA STATION DE DESHUILAGE DE HASSI R'MEL

I. PRESENTATION DE LA STATION DE DESHUILAGE HASSI R'MEL	54
A. Introduction	54
B. Provenance des eaux huileuses	54
C. Finalités de traitement des eaux huileuses	55
D. Descriptif et fonctionnement des équipements	57
1. Première étape: <i>TRAITEMENT PHYSIQUE</i>	57
1.1. Pré-déshuilage – Bac tampon 'S-101'	57
1.2. Déshuilage primaire - Cuve C.P.I 'S-102'	59
2. Deuxième étape: <i>TRAITEMENT CHIMIQUE</i>	60
2.1. Cuve de floculation 'S-103'	60
2.2. Cuve de floculation 'S-104'	60
2.3. Cuve d'eau traitée 'S-106'	61
2.4. Cuve d'huile 'S-108'	62
3. Troisième étape: <i>FILTRATION ET ULTRAFILTRATION</i>	62
3.1. Injection au puits	64
4. Quatrième étape : <i>FILIERE BOUES</i>	64
4.1. Epaississeur des boues 'S-105'	65
4.2. Centrifugeuse 'MS-110'	65
E. Analyse des eaux huileuses	66
F. Destinée des eaux de rejets traitées	66
II. CONCLUSION	67

Chapitre 6 : MATERIELS ET METHODES

I. INTRODUCTION	68
II. ECHANTILLONAGE	68
A. Niveau de prise d'échantillons	68
B. L'eau à traiter	69
C. Mode opératoire de prélèvements	69
D. Conservation des échantillons	69
E. Analyses faites in-Situ	70
III. CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUE DES ECHANTILLONS	70
A. Analyses des indicateurs de pollution (physico-chimique)	70
1. Mesure de la demande biochimique en Oxygène 'DBO ₅ '	70
2. Détermination de la teneur en Chlorures	71
3. Analyse des métaux lourds par absorption atomique	71

4. Mesure de l'indice hydrocarbure 'HC' par GC-FID	71
5. La Turbidité	71
6. Les matières en suspension 'MES'	72
7. Le potentiel d'Hydrogène 'pH'	72
8. La température	73
IV. MATERIELES ET METHODES UTILISES POUR LE TRAITEMENT	73
A. Produits chimiques utilisés	73
B. Appareillage	74
1. Détermination du carbone organique totale 'COT' (selon la norme ISO 8245)	74
2. Analyse qualitative par GC	74
C. Méthodologie	75
V. CONCLUSION	76

Chapitre 7 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. INTRODUCTION	77
II. ANALYSE DE PERFORMANCE DE L'UNITE DE DESHUILAGE	77
A. Caractérisation des échantillons de l'eau à épurer	77
1. Résultats d'analyses physico-chimiques	78
2. Teneur en métaux lourds	78
3. Quelques Désignations et Discussion	79
3.1. Caractères organoleptiques	79
3.2. Température	79
3.3. Le potentiel d'Hydrogène 'pH'	79
3.4. La DCO et DBO ₅	79
3.5. Indice de biodégradabilité	79
3.6. Teneur en 'HC'	80
3.7. MES / Turbidité	80
3.8. Teneur en Nitrates/Nitrites/Phosphates et Sulfates	80
3.9. Teneur en Chlorures	80
3.10. Les métaux lourds	80
III. EVALUATION DE L'EFFICACITE DU TRAITEMENT DE L'UNITE DE DESHUILAGE	81
A. Caractérisation de l'eau de rejet	81
1. Résultats d'analyses physico-chimiques	81
2. Teneur en métaux lourds	81
IV. REPRESENTATION DES RESULTATS D'ANALYSES A L'ENTREE ET SORTIE DE L'UNITE DE DESHUILAGE	82
A. Interprétation des résultats et discussion	82
1. Interprétation des diagrammes	85
1.1. Odeur et couleur	85
1.2. Température	86
1.3. Le potentiel d'Hydrogène 'pH'	86
1.4. La DCO, DBO ₅ et Indice de biodégradabilité	86
1.5. Teneurs en hydrocarbures	86
1.6. MES et turbidité	86
1.7. Teneurs en Nitrites, Nitrates, Phosphates, Sulfates et Azotes	86
1.8. Teneurs des Chlorures	86
1.9. Les métaux lourds	86

2. Discussion	86
V. APPLICATION DU TRAITEMENT PAR PHOTOCATALYSE	87
A. Analyse des caractéristiques physico-chimiques de l'échantillon	87
1. Le potentiel d'Hydrogène 'pH'	87
2. Le Fer 'FeIII'	87
3. L'Oxygène dissous 'O ₂ '	87
4. Les métaux lourds	87
5. Turbidité	87
B. Test de dégradation de la matière organique par photocatalyse solaire	88
1. Déroulement de l'expérience	88
C. Optimisation des paramètres opératoires	89
1. Influence de la masse et du temps	89
2. Influence du pH initial de la solution	89
3. Influence de la température	90
D. Influence des paramètres opératoires sur l'indice des hydrocarbures et la turbidité	91
1. Influence de la masse de TiO ₂	91
2. Influence du pH de la solution	92
E. Efficacité du traitement par photocatalyse solaire	94
1. Paramètres physico-chimique	94
2. Métaux lourds	95
3. Discussions	97
V. CONCLUSION	97
CONCLUSION GENERALE	99
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
ANNEXES	

Résumé

Dans le présent travail, une étude sur l'évaluation de la performance de l'unité de déshuilage de trois stations situées dans le champ de Hassi R'mel a été réalisée. Ainsi, l'analyse de la qualité de l'eau en amont et en aval de ces unités, nous a permis de révéler l'existence d'une variation importante dans les propriétés physicochimique des eaux. Ces eaux provenant d'un gisement essentiellement salifère se caractérisent par une forte teneur en : hydrocarbures, métaux lourds, DCO, MES et en turbidité.

Par ailleurs, l'étude consacrée à l'efficacité de la station après traitement montre un abattement très satisfaisant de l'indice d'hydrocarbures à des valeurs respectant la norme algérienne. L'utilisation d'une méthode alternative dans le cadre de la dépollution des eaux de la station indique que la photo-catalyse hétérogène à rayonnement solaire peut être considérée comme source d'irradiation. Ladite expérimentation sur la dégradation des polluants organique sous irradiation solaire en présence de TiO_2 a permis de mettre en évidence la performance photo-catalytique de TiO_2 utilisé.

Enfin, des résultats d'abattement très satisfaisants ont été obtenues au niveau des unités de déshuilages (Centre, Sud et Nord) sont respectivement comme suit : 94,77%, 95,55% et 91,55% pour la DCO ; 91,22%, 66,51% et 94,60% pour les MES et 88,57%, 91,93% et 89,34% pour la turbidité. Ces ont été obtenus ici suite à la méthode de traitement considérée. Ceci montre fort bien l'efficacité de la photo-catalyse hétérogène solaire dans le traitement des eaux huileuses en vue d'en réduire l'indice d'hydrocarbures et d'autres paramètres analysés.

Mots-clés: Station de déshuilage, Hassi R'mel, Hydrocarbures, Performance, Traitement, Photocatalyseur TiO_2 .

Abstract

In the present work, a study on the evaluation of the performance of the oil removal unit of three station located in the field of Hassi R'mel was carried out. Thus, the analysis of the water quality upstream and downstream of these units, allowed us to reveal the existence of a significant variation in the physicochemical properties of the water. These waters, which come from an essentially saliferous deposit, are characterized by a high content of hydrocarbons, heavy metals, COD, SS and turbidity.

In addition, the study devoted to the efficiency of the plant after treatment shows a very satisfactory reduction in the hydrocarbon index to values that meet the Algerian standard. The use of an alternative method within the framework of the decontamination of the water of the station indicates that the heterogeneous photo-catalysis with solar radiation can be considered as a source of irradiation. Said experiment on the degradation of organic pollutants under solar irradiation in the presence of TiO_2 made it possible to demonstrate the photo-catalytic performance of the TiO_2 used.

Finally, very satisfactory reduction results were obtained at the level of the oil removal units (Centre, South and North) are respectively as follows: 94.77%, 95.55% and 91.55% for the COD; 91.22%, 66.51% and 94.60% for suspended solids and 88.57%, 91.93% and 89.34% for turbidity. These were clearly shows the effectiveness of heterogeneous solar photo-catalysis in the treatment of oily water in order to reduce the hydrocarbon index and other parameters analyzed.

Keywords: Deoiling station, Hassi R'mel, hydrocarbons, Performance, Treatment, TiO_2 photocatalyst.

ملخص

تم في هذا العمل تنفيذ دراسة حول تقييم أداء وحدة إزالة الزيوت في ثلاث محطات تقع في حقل حاسي الرمل. و هكذا، فإن تحليل جودة المياه في المنبع و المصب لهذه الوحدات سمح لنا بالكشف عن وجود تباين كبير في الخصائص الفيزيوكيميائية للمياه. تتميز هذه المياه، التي تأتي من رواسب ملحية أساسا، بمحتوى عال من المحروقات، المعادن الثقيلة، COD، MES، و التعكر.

بالإضافة إلى ذلك، أظهرت الدراسة المخصصة لكفاءة المحطة بعد المعالجة انخفاضا مرضيا للغاية بالنسبة لمؤشر المحروقات إلى القيم التي تلبى المعايير الجزائرية. يشير استخدام طريقة بديلة في إطار معالجة تلوث مياه المحطة إلى أن التحفيز الضوئي غير المتجانس مع الإشعاع الشمسي يمكن اعتباره مصدرا للإشعاع الشمسي في وجود TiO_2 من الممكن إثبات الأداء التحفيزي الضوئي ل TiO_2 المستخدم.

أخيرا، تم الحصول على نتائج التخفيض مرضية للغاية على مستوى وحدات إزالة الزيت (وسط، جنوب و شمال) على التوالي: 94.77%، 95.55% و 91.55% للطلب على الأوكسجين الكيميائي، 91.22%، 66.51% و 94.60% للمواد الصلبة العالقة و 88.57%، 91.93% و 89.34% بالنسبة للعكارة. تم الحصول عليها هنا بإتباع طريقة العلاج التي تم النظر فيها. يظهر هذا بشكل جيد فعالية التحفيز الضوئي الشمسي غير المتجانس في معالجة المياه الزيتية من أجل تقليل مؤشر المحروقات و المعلمات الأخرى التي تم تحليلها.

الكلمات المفتاحية: محطة إزالة الزيوت، حاسي الرمل، المحروقات، الفعالية، المعالجة، المحفز الضوئي TiO_2 .

Liste des Abréviations

LISTE DES ABREVIATIONS

ABREVIATIONS	SIGNIFICATIONS
CTH	<i>Centre de traitement d'huile.</i>
PIB	<i>Produit Intérieur Brut.</i>
DTD	<i>Division Technique et Développement.</i>
POAs	<i>Procédés d'oxydation avancée.</i>
GNL	<i>Gaz Naturel Liquéfié.</i>
GPL	<i>Gaz De Pétrole Liquéfié.</i>
HR	<i>Hassi R'mel.</i>
DC-R&D	<i>Direction Centrale Recherche et Développement.</i>
SMQ	<i>Système de Management de la Qualité.</i>
HSE	<i>Hygiène Sécurité Environnement.</i>
AUI	<i>Assistance aux Unités Industrielles.</i>
ERU	<i>Eaux résiduaires urbaines.</i>
H₂O	<i>Eau.</i>
HCN	<i>Cyanure d'hydrogène.</i>
OH⁻	<i>Hydroxyde.</i>
CN⁻	<i>Cyanure.</i>
NH₄⁺	<i>Ammonium.</i>
NH₃⁺	<i>Ammoniac.</i>
NO₂⁻	<i>Nitrites.</i>
NO₃⁻	<i>Nitrates.</i>
°C	<i>Degré Celsius.</i>
pH	<i>Potentiel d'hydrogène.</i>
H⁺	<i>Hydrogène.</i>
O₂	<i>Oxygène.</i>
MES	<i>Matière En Suspension.</i>
mg/L	<i>Milligrammes par litre.</i>
g/L	<i>Grammes par litre.</i>
MO	<i>Matière organique.</i>
SONATRACH	<i>Société National de Transport et Canalisation des Hydrocarbures.</i>
SONALGAZ	<i>Société National de l'électricité et du gaz.</i>
ERI	<i>Eaux résiduaires industrielles.</i>
PO₄H₂⁻	<i>Ortho phosphate.</i>
Cd	<i>Cadmium</i>
Pb	<i>Plomb</i>
Cr	<i>Chrome</i>
Cu	<i>Cuivre</i>
Hg	<i>Mercure</i>
cm	<i>Centimètre.</i>
m/s	<i>Mètre par seconde.</i>
m	<i>Mètre.</i>
%	<i>Pourcentage.</i>
HC	<i>Hydrocarbures.</i>
j	<i>Jours</i>
t	<i>Temps</i>

μm	Micromètre.
ml	Millilitre.
min	Minute.
m^2	Mètre carré.
ISO	International Standardization Organisation.
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development.
OMS	Organisation Mondiale de la Santé.
NaCl	Chlorures de Sodium.
TOAs	Techniques d'Oxydation Avancées.
Cl^-	Chlorures.
SO_4^-	Sulfates.
CO_2^-	Dioxyde de Carbone.
O_3	Ozone
ClO_2	Dioxyde de Chlore.
Cl_2	Dichlore.
UV	Ultraviolet
BC	Bande de conduction.
BV	Bande de valence.
CRD	Centre de recherche et de développement.
TiO_2	Dioxyde de titane.
WO_3	Trioxyde de tungstène.
ZnO	Oxyde de zinc.
IUPAC	Union International de Chimie Pure et Appliquée.
Ag^+	Argent
Au^{3+}	Or.
Fe^{3+}	Fer.
Ni^{2+}	Nikel.
Pt^{4+}	Platinium.
Rh^{3+}	Rhodium.
U^{6+}	Uranire.
Zn^{2+}	Zinc
Mn	manganèse
kW	Kilo watt
pH_{pzc}	Potentiel d'Hydrogène point de zéro charge.
NTU	Unité de Turbidité Néphélobimétrie.
MP	Moyenne pression.
m^3/j	Mètre cube par jour.
m^3	Mètre cube
MPP	Module de traitement de gaz.
mc	Mètre colonne.
ppm	Partie par million.
CPI	Corrugated Plate Interceptor.
T	Température
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations.
HC	Hydrocarbures.
[HC]	Indice d'hydrocarbures.

Préface

PREFACE

L'eau ne peut être considérée comme un simple produit commercial. Elle doit être classée comme un patrimoine universel qui doit être protégée, défendue et traitée comme étant une ressource vitale pour l'homme, sa survie, sa santé et son alimentation.

Elle est essentielle aussi pour son usage dans les activités agricoles, économique et industrielles. Sa qualité dépend automatiquement de la préservation de l'environnement, car il est le milieu récepteur universel de tout type de pollution.

Les eaux usées sont une composante essentielle du cycle de l'eau et doivent être gérées dans l'ensemble du cycle de gestion de l'eau: à partir du prélèvement, du traitement, de la distribution, de l'utilisation, de la collecte et du traitement après utilisation de l'eau douce, jusqu'à sa réutilisation et son retour ultérieur à l'environnement, où elle réapprovisionne la source pour des prélèvements d'eau ultérieurs.

Toutefois, l'attention accordée à la gestion de l'eau après qu'elle a été utilisée, constitue un volet négligé du cycle de gestion de l'eau. La gestion des eaux usées fait généralement l'objet de très peu d'attention aux plans politique et social par rapport aux défis liés à l'approvisionnement en eau, en particulier dans un contexte de pénurie des ressources en eau. Pourtant, ces deux éléments sont indissociables et négliger les eaux usées peut avoir des effets nuisibles sur la durabilité des approvisionnements en eau, la santé humaine, l'économie et l'environnement.

Les puits producteurs de pétrole, les usines de traitement de gaz et les raffineries produisent quotidiennement de grandes quantités d'eaux contaminées par des hydrocarbures, des particules solides et des matières en suspension (MES). La minimisation de l'impact de l'industrie pétrolière sur l'homme et l'environnement est devenue une des principales préoccupations des pays producteurs de pétrole. Elle constitue actuellement une composante essentielle dans la stratégie de développement des entreprises. Dans le cadre de la mise en application de la politique de l'entreprise relative à la protection de l'environnement, le groupe **SONATRACH** s'est joint très tôt à la mise en œuvre d'un programme ambitieux visant à éliminer si non réduire au maximum tous les impacts environnementaux significatifs liés à ses activités et services, conformément aux textes législatifs en vigueur (loi N°83-03 du 05/02/1983, relative à la protection de l'environnement) (Anonyme.1).

La direction régionale de Hassi R'mel a mis en place 03 stations de déshuilage dans chacune de ses zone industrielle (Centre, Nord et Sud) assurent à la fois la récupération des hydrocarbures et le traitement des eaux huileuses qui font partie des rejets opérationnels des unités de séparation de brut dont leurs impacts sur les écosystèmes, de par leurs compositions (métaux lourds et forte teneur en hydrocarbures) ne sont pas pour autant négligeables d'où la nécessité de s'assurer de la qualité des eaux de rejet est donc de l'efficacité du traitement de l'unité (Anonyme.2).

Plusieurs techniques ont été utilisées pour l'élimination des ions métalliques et des polluants organiques à partir de l'eau comme l'adsorption, la coagulation-floculation, la précipitation, l'échange d'ions et la séparation membranaire (Prairie & al., 1993).

Cependant, ces procédés ont certaines limites telles que l'incapacité d'éliminer certains éléments et la production de déchets secondaires qui nécessitent un traitement supplémentaire. Cela peut être surmonté par l'application de procédés d'oxydation avancée (POAs) qui sont considérés comme faibles créateurs des déchets toxiques durant le traitement.

La photocatalyse apparaît comme l'un des POAs les moins onéreux à mettre en place pour la dégradation des composés organiques, la réduction des cations métallique ou bien le mélange des deux (Prairie & *al.*, 1993). Cependant, comme cette technique est assurée par l'utilisation des irradiations UV, la lumière solaire peut être utilisée en étant qu'une source gratuite des photons UV. Ce processus pourrait s'appliquer avec succès en Algérie, où la durée d'ensoleillement moyenne est d'environ 2500 heures/an (Anonyme.12).

La photocatalyse hétérogène a déjà montré une certaine faisabilité dans plusieurs publications et études de dégradation de certains polluants connus ou dans le domaine de traitement des eaux synthétiques, mais rarement en ce qui concerne l'abattement de l'indice d'hydrocarbures d'une eau réelle (Cazoir., 2011).

Le but de ce travail, est l'analyses de performance de l'unité de déshuilage Centre, Nord et Sud de Hassi R'mel en évaluant l'efficacité de son traitement, et la contribution à l'évaluation de la pollution engendré par ses rejets, ainsi que l'étude de la faisabilité d'appliquer le traitement par '*photocatalyse hétérogène solaire*' sur les eaux huileuses de cette station surtout que cette activité s'inscrit dans le cadre de développement durable utilisant le soleil comme source d'énergie renouvelable pour choisir la meilleure méthode qui donnera un résultat de traitement adéquat, efficace et moins coûteux.

Ce travail à été réalisé au niveau du Laboratoire Chimie et Traitement des eaux de la direction Assistance aux Unités Industrielles au niveau de la Direction Centrale de Recherche et Développement (*CRD*) et à la direction régionale de production de Hassi R'Mel, pour l'étude des stations de déshuilage du champ de Hassi R'mel, pour une période d'un (01) mois allons du 02 Février au 02 Mars 2020.

Pour ce faire, le présent travail est subdivisé en deux (02) parties:

1. PARTIE THEORIQUE: Est subdivisée en elle-même trois (04) chapitres.

- Le premier chapitre à pour objectif de présenter l'établissement d'accueil ainsi que les différentes structures visitées pendant le stage,
- Le second chapitre est consacré aux généralités sur les eaux usées industrielles, leurs caractéristiques, les différents types de traitement appliqués aux eaux de rejets industriels et les voies leur élimination.
- Le troisième chapitre, il est consacré aux généralités sur la photocatalyse hétérogène en présentant son principe, les différents types de procédés de cette technique, un aperçu sur le traitement photo-catalytique solaire, les effets des paramètres opératoires sur l'efficacité du procédé, sans oublier les avantages et les inconvénients de cette technique.
- Quant au Quatrième chapitre, il abordera une présentation du lieu de stage de terrain, une description de la zone industrielle de Hassi R'mel, le processus de production de la région afin de pouvoir identifier ses principaux rejets industriel, dont les eaux huileuse traitée par la station de déshuilage qui sera décrite par la suite, les étapes du

traitement réalisé, la destinée des eaux de rejet épurées et la situation actuelle de l'unité de déshuilage.

2. PARTIE PRATIQUE: Subdivisée en Trois (03) chapitres.

- Le cinquième chapitre est consacré à l'étude de la station de déshuilage de Hassi R'mel. Il comprendra une présentation de la station proprement dite, description du fonctionnement de la station ainsi que les équipements utilisés et la destinée des eaux de rejets traitées.

- Le sixième chapitre abordera la partie Matériels et Méthodes utilisés,

- Quant au septième chapitre, il présente les résultats et discussion des différentes analyses réalisées. Il est subdivisé lui même en deux (02) étapes:

- *1^{ère} étape* consacrée à l'évaluation de performance de l'unité de déshuilage, où nous présentons l'ensemble des résultats de caractérisation physicochimiques obtenus et évaluer le rendement de l'unité après caractérisation de ses eaux rejetées.

- *2^{ème} étape* comporte l'application du traitement par photocatalyse hétérogène solaire aux eaux d'entrée de l'unité de déshuilage et optimisation des conditions opératoires dans le but d'étudier la faisabilité de ce traitement sur ces eaux.

En fin, on conclut avec une conclusion générale exposant les principaux résultats de cet étude, et des recommandations qui ouvrent de nouvelles perspectives afin d'améliorer le traitement des eaux huileuses.

1^{ère} Partie :
Partie Théorique



Chapitre 1 :
Cadre général

Premier Chapitre: CADRE GENERAL

I. PROBLEMATIQUE

Les eaux huileuses sont représentées essentiellement par des eaux de gisement salées saturées contenant des hydrocarbures, des métaux lourds en très faible quantités, des inhibiteurs de corrosion, des détergents, du gaz Oil, des huiles de vidange, de la poussière métallique et des produits chimiques des laboratoires (acides chlorhydrique et sulfurique, soude caustique et les nitrates d'argent). Notons que leur déversement de ces eaux dans le milieu naturel présente un risque de contamination de la nappe phréatique qui est la seule source d'eau potable pour la consommation humaine, animale, végétale et pour les besoins de l'industrie.

Dans cette optique, plusieurs techniques ont été utilisées pour l'élimination des ions métalliques et des polluants organiques à partir de l'eau comme l'adsorption, la coagulation-floculation, la précipitation (Prairie & al., 1993). Cependant, ces procédés ont certaines limites telles que l'incapacité d'éliminer certains éléments et la production de déchets secondaires qui nécessitent un traitement supplémentaire. Cela peut être surmonté par l'application des procédés d'oxydation avancée (POAs) qui sont considérés comme faibles créateurs de déchet toxique durant le traitement.

Pour cela, la direction régionale de Hassi R'mel et en vue d'éliminer et/ou réduire au maximum les impacts environnementaux à chargée ses services pour la mise en place des unités de traitement des eaux de rejets industriels, comme par exemple des stations de déshuilage pour assurer le traitement des eaux de rejets industriels des CTH.

II. OBJECTIFS

L'objectif de ce travail, est l'analyse de performance des unités Centre, Sud et Nord de déshuilage de Hassi R'mel en évaluant l'efficacité et la rentabilité de son traitement, et la contribution à l'évaluation de la pollution engendré par ses rejets, ainsi que l'étude de la faisabilité d'appliquer le traitement par photocatalyse hétérogène solaire sur les eaux huileuses de cette station surtout que cette activité s'inscrit dans le cadre de développement durable utilisant le soleil comme source d'énergie renouvelable.

III. PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

A. Présentation de *SONATRACH*

SONATRACH est une compagnie nationale algérienne créée en 1963. Elle représente un acteur majeur dans le domaine du pétrole et du gaz avec un chiffre d'affaires qui atteint les 61,2 Milliards de dollars.

Les activités de la société touchent toute la chaîne de production, elles sont effectuées dans quatre (04) principaux domaines : l'Amont, l'Aval, le Transport par canalisation et la Commercialisation.

Elle a pour but de valoriser de façon optimale les ressources nationales d'hydrocarbures et de créer des richesses au service du développement économique et social du pays. Elle emploie environ 50 000 salariés (120 000 avec ses filiales) et produit à elle seule 30% du PIB (produit intérieur brut) de l'Algérie.

SONATRACH est aujourd'hui la première compagnie d'hydrocarbures en Afrique et en Méditerranée. Elle représente le 12^{ème} groupe au niveau mondial, le 2^{ème} exportateur de GNL (gaz naturel liquéfié) et du GPL (gaz de pétrole liquéfié) et 3^{ème} exportateur de gaz naturel. Elle veut aujourd'hui s'afficher sur les cinq (05) continents en relevant les défis de la Mondialisation. La politique de responsabilité sociale et du développement durable de l'entreprise est déjà mise à l'œuvre, elle s'accompagne d'une profonde mutation de ses structures.

SONATRACH s'est investi dans d'autres domaines économiques notamment les mines, la génération électrique, l'eau, le transport aérien et maritime...etc. Elle a participé dans plusieurs projets avec différents partenaires en Amérique latine et en Europe. En capitalisant son expérience avec des partenariats des compagnies internationales de tailles, **SONATRACH** a réussi à intégrer les nouvelles technologies avec une présence prouvée et fiable sur les marchés internationaux des hydrocarbures liquides et gazeux.

Aujourd'hui, elle s'affirme non seulement comme un groupe international à vocation pétrolière et gazière, mais comme une compagnie solidaire, responsable et citoyenne. Elle s'est engagée en faveur du développement économique, social et culturel des populations. Elle s'est également fixé des priorités incontournables en matière du développement durable en s'impliquant directement dans la protection de l'environnement et la préservation des écosystèmes.

L'Algérie possède environ 10% des réserves mondiales en gaz naturel, elle se place au cinquième rang international. Plus de 50% de ces réserves connues sont concentrées dans le gisement de Hassi R'mel (**HR**).

Au moment de l'extraction du gaz naturel des quantités d'eau, d'huile et parfois de pétrole brut remontent à la surface. Le gaz est stocké dans des stations de récupération, l'huile est traitée dans des Centres de traitement d'huile (CTH) et l'eau réinjectée soit dans des puits de production, soit rejetée dans le milieu naturel dans des bourbiers.

Cette partie traitera brièvement une description de la division technologie et développement qui rassemble les laboratoires consacrés aux travaux de prestations d'études dans le domaine de l'amont pétroliers, une description du processus de production de la région, les principaux rejets, et la station de déshuilage installée dans le but de traitement des eaux des rejets industrielles.

B. Organigramme de l'Organisme

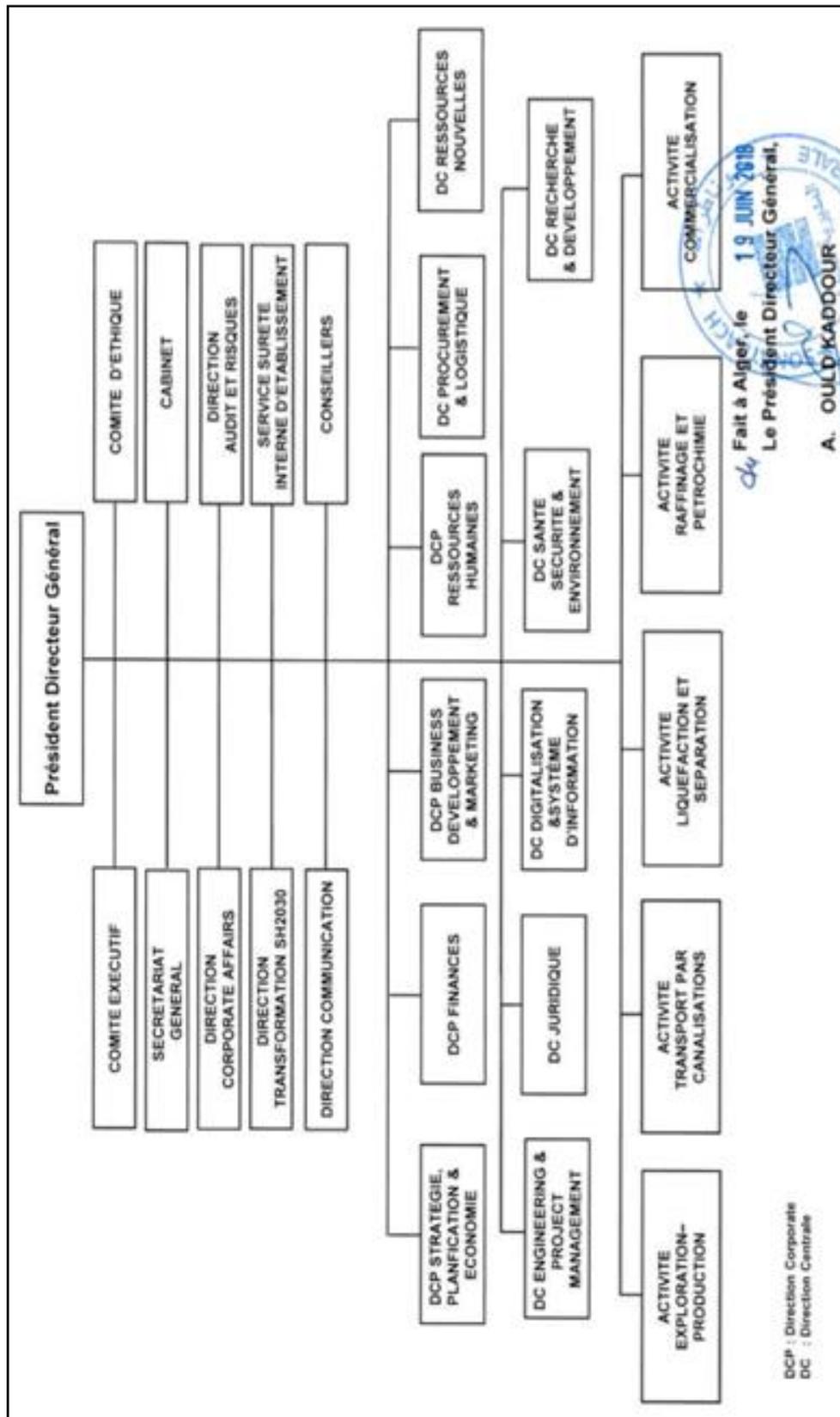


Fig.1 : Organigramme de la macrostructure de SONATRACH.

C. Présentation de la direction centrale recherche et développement (DC-R & D)

La Direction Centrale Recherche et Développement (DC-R & D) est l'outil technique de la *SONATRACH*. Elle a essentiellement pour mission:

- ✓ L'identification des problèmes à caractère scientifique et technique rencontrés au niveau des structures opérationnelles de l'entreprise et l'initiation des projets de recherche nécessaires à leur résolution ;
- ✓ La promotion et la mise en œuvre de la recherche appliquée et le développement des technologies dans les métiers de base de la société ;
- ✓ L'élaboration des programmes annuels et pluriannuels de recherche conformément aux orientations stratégiques de l'entreprise ;
- ✓ La veille scientifique et technologique ;
- ✓ L'élaboration des bases de données techniques et la capitalisation du savoir-faire ;
- ✓ La valorisation des produits de la recherche et la promotion de l'innovation et du développement technologique ;
- ✓ Le développement et l'adaptation des nouvelles techniques et procédés au profit des structures de *SONATRACH* ;
- ✓ L'intégration de la recherche et du développement des technologies numériques et informatiques au cœur des processus de *SONATRACH* ;
- ✓ L'établissement des bilans périodiques de l'activité recherche, l'analyse éventuelle des écarts constatés et l'apport des correctifs adéquats ;
- ✓ La dotation de l'entreprise d'un environnement technique et outils favorables à la promotion de la qualité des systèmes, compétences humaines, procédés et services ;
- ✓ Veiller au respect permanent des règles et consignes HSE et des procédures dans le cadre du SMQ.

D. Organisation de la direction centrale de recherche et développement

La Direction Centrale R & D est organisée comme suit (*fig.2*):

- ✓ Une direction : Appui Scientifique et Technique à la Recherche ;
- ✓ Une direction : Technique Numérique Avancée ;
- ✓ Une direction : Laboratoires de Recherche et de Développement ;
- ✓ Une sous direction : Administration, Logistique et Moyens ;
- ✓ Les directions Projets de Recherche ;
- ✓ Un Conseil Scientifique & Technique ;
- ✓ Des assistants.

La Division dispose de 40 laboratoires, dont 30 à Boumerdès et le reste à Hassi Messaoud. Ils sont répartis dans les trois (03) directions techniques fonctionnant en étroite collaboration:

- Direction Géologie ;
- Direction Gisement ;
- Direction Assistance aux Unités Industrielles (**AUI**) ou ce présent travail a été réalisée.

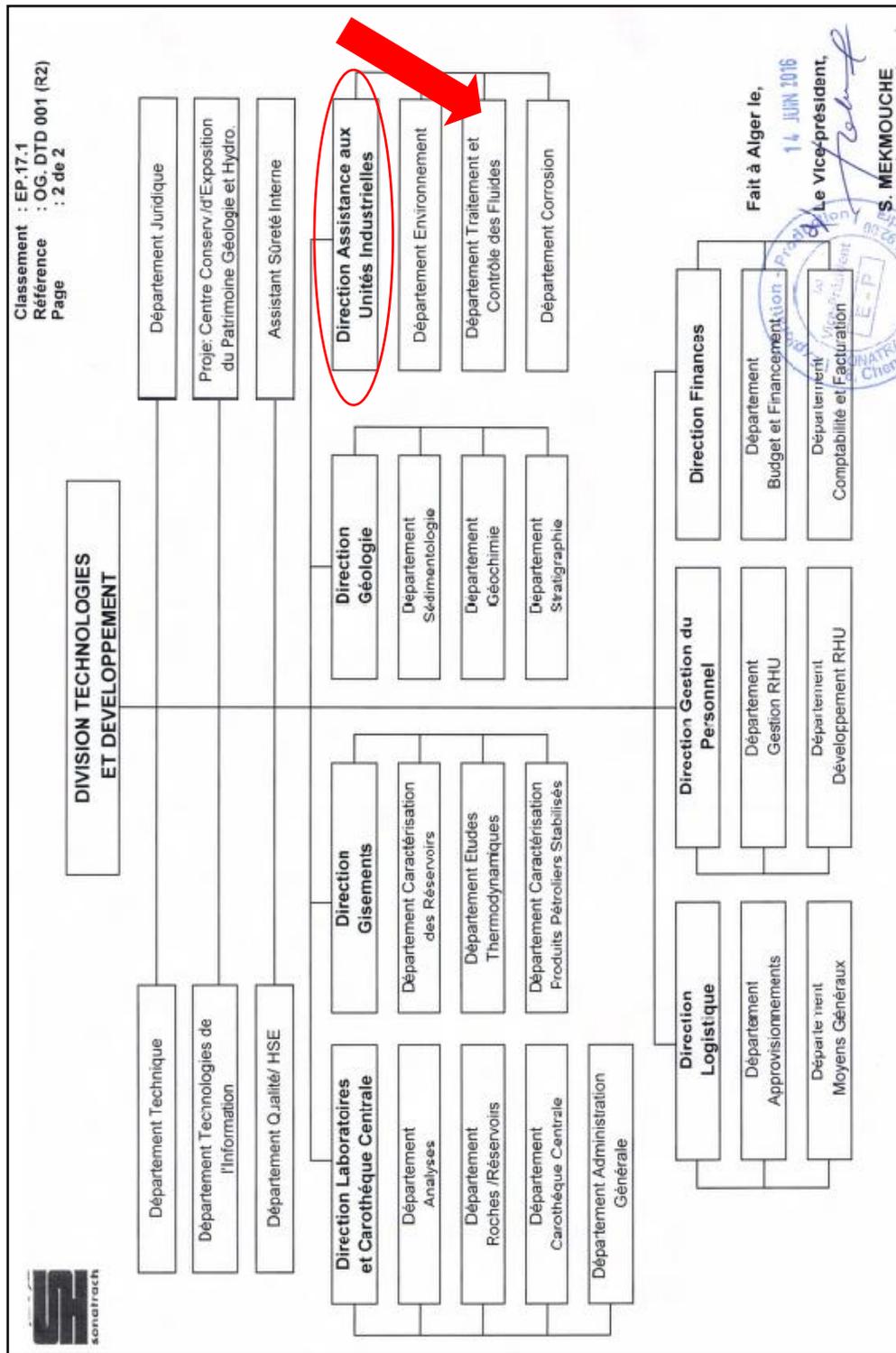


Fig.2 : Organigramme de la direction centrale de recherche et développement.

E. Direction assistance aux unités industrielles (AUI)

La Direction Assistance aux Unités Industrielles (AUI) contribue à la maîtrise technologique de l'exploitation et de la maintenance des unités industrielles de par son intervention aux différents stades des études de réalisation et de fonctionnement des unités.

Les objectifs ciblés par la direction AUI, s'articulent autour de:

- ✚ Développement des méthodes et des techniques pour à une contribution à la prise en charge des problèmes de récupération et de production ;
- ✚ Développement de méthodologie nécessaire à l'évaluation des paramètres de pollution, à la prévention et à la réduction des risques de pollution générés par les activités de l'Entreprise ;
- ✚ Assistance aux unités industrielles, en matière de contrôle la qualité et la conformité des produits chimiques de traitement.

Outre les prestations d'analyses relatives au suivi et contrôle de performances des stations d'épuration, contrôle de déchets industriels, le savoir-faire acquis et développé par ces laboratoires permet :

- ✚ L'évaluation au laboratoire de la conformité des produits de traitement et de l'efficacité des inhibiteurs de dépôts et des émulsifiants destinés au traitement des eaux industrielles et des hydrocarbures ;
- ✚ La réalisation des études de potabilité des eaux et de compatibilité des eaux dans les conditions de surface et d'exploitation ;
- ✚ Etude et analyse en matière de protection anticorrosion des installations de surfaces et de fond (utilisation des inhibiteurs et biocides) ;
- ✚ La réalisation des études d'impact sur l'environnement et audits environnementaux ;
- ✚ L'assistance en temps réel des unités industrielles pour solutionner des problèmes de rejets, de traitement, de dépôts et d'une manière générale de protection et d'exploitation ;

Ces activités sont réalisées dans les différents laboratoires appartenant aux différents départements de cette direction. Ces départements étant :

- Département corrosion ;
- Département contrôle et traitement des fluides ;
- Département environnement.

Cette direction est divisée en trois départements (*fig.3*):

1. Département Analyse et Etudes environnementales

Ce département est chargé de:

- a/ Etudes d'impacts concernant les divisions industrielles de **SONATRACH**:
 - Etudes de pollution des eaux souterraines et des eaux de surface ;
 - Etudes de pollution de sols ;

- Etudes de faisabilité de stations de traitement et neutralisation des déchets.

b/ Trouver des solutions:

- Elaborer des modèles d'inventaire et de recensement des rejets industriels ;
- Développement des techniques de traitement biologique utilisées dans le nettoyage des sédiments contaminés.

c/ Suivie par analyse en utilisant différentes méthodes:

- Suivi des installations de traitement d'eau avec évaluation de la performance ;
- Suivi de la mise en place de réseaux de mesure de la qualité de l'eau et du sol en milieu industriel.

2. Département corrosion

Les missions et les objectifs de ce département est de fournir l'aide aux unités industrielles de l'entreprise pour la résolution des contraintes d'exploitation liées aux problèmes de corrosion, et aux choix des matériaux.

3. Département traitement et contrôle des fluides

Ce département réalise le développement et la valorisation des produits de l'entreprise et prend part au contrôle de qualité des produits de traitement importés par l'entrepris (Anonyme.1).

Les différentes structures de la direction AUI sont présentées dans l'organigramme de la **figure.3**.

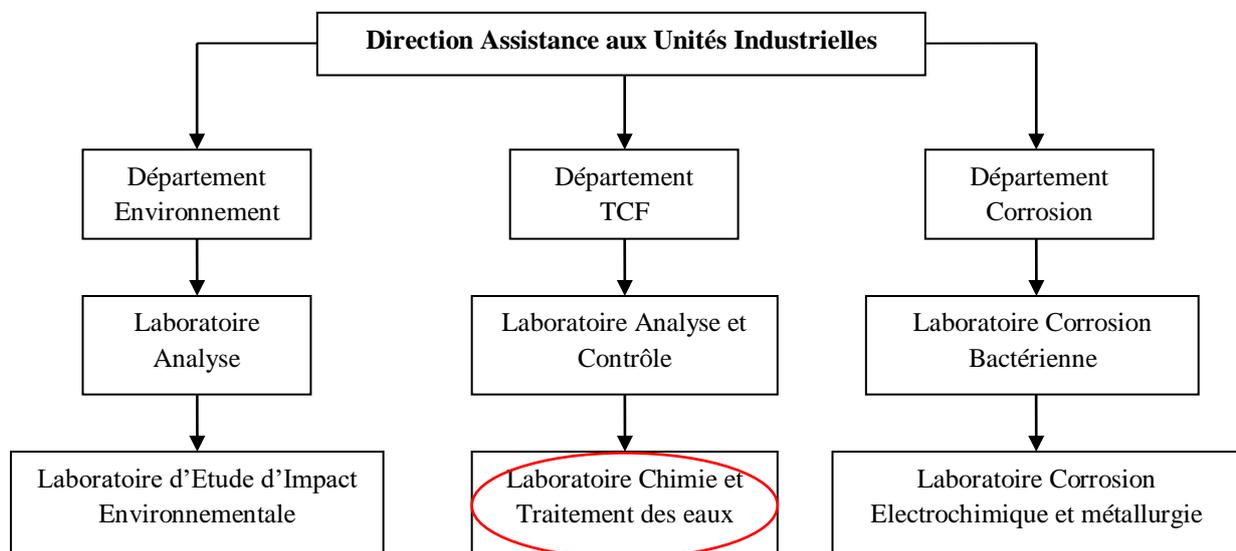


Fig.1 : Organigramme de la direction Assistance aux unités Industrielles (AUI).

*Chapitre 2 :
Généralités sur les
eaux usées industrielles*

Deuxième Chapitre: **GENERALITES SUR LES EAUX USEES INDUSTRIELLES**

I. INTRODUCTION

La pollution des eaux est un des problèmes environnementaux les plus importants. Parmi les sources qui provoquent le problème de pollution, les eaux usées issues de l'agriculture, des procédés industriels, ainsi que les eaux usées domestiques.

Ces eaux usées sont perçues comme une combinaison d'un ou de plusieurs des éléments, tels que : les effluents domestiques constitués des eaux-vannes (excréments, urine, boues fécales), d'eaux grises (eaux usées provenant du lavage, des lessives et du bain), les eaux en provenance des commerces et institutions (les hôpitaux, les effluents industriels, les eaux pluviales, les eaux de ruissellement urbain, les eaux de ruissellement agricole, horticole et aquacole) (Raschid-Sally & *al.*, 2008).

Il existe de nombreuses substances (polluants) qui peuvent détériorer la qualité de l'eau, tels que, la matière organique fécale en provenance des eaux usées domestiques, les produits chimiques des eaux usées industrielles et le lessivage des terres agricoles. Certaines substances précieuses, telles que le sucre, la farine et les matières grasses (l'huile), vont engendrer une grande pollution lorsqu'ils sont rejetés directement dans le milieu récepteur tel que les cours d'eau. Sans oublier les eaux chargées en hydrocarbures ou par les huiles. C'est des polluants très difficile à éliminer à cause de leurs propriétés intrinsèques.

Les multiples utilisations de l'eau par l'homme génèrent plusieurs types d'eaux usées, qui sont liquides de composition hétérogène, chargées en matières minérale et/ou organiques pouvant être en suspension ou en solution et dont certaines peuvent avoir un caractère toxique, ce chapitre abordera la nature de ces eaux, les substances qu'elle contiennent et la pollution engendrée par ces derniers ainsi que les différents polluants que peuvent contenir ces eaux (Baumont & *al.*, 2004); ce chapitre présentera également une brève description des différents traitements des eaux usées et les voies d'éliminations et de traitement de ces eaux.

Selon *Rejsek (2002)*, les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels (Grosclaude, 1999). Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leurs puretés, c'est-à-dire leurs propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir été utilisées dans des activités humaines (domestiques, industrielles ou agricoles).

En parlant de l'eau usée il semble important d'avoir une idée sur sa définition, son origine et ses caractéristiques, ainsi que les différentes méthodes utilisées pour son épuration.

II. GENERALITES SUR LES EAUX USEES INDUSTRIELLES

A. Définition et nature des eaux usées industrielles

Les déchets et les effluents industriels définissent largement la qualité et le taux de pollution de ces eaux usées. Les établissements industriels utilisent une quantité importante d'eau qui tout en restant nécessaire à leur bonne marche, n'est réellement consommée qu'en très faible partie, le reste est rejeté. On peut néanmoins, faire un classement des principaux rejets industriels suivant la nature des inconvénients qu'ils déversent:

- ✓ Pollution due aux matières en suspension minérales (lavage de charbon, carrière, tamisage du sable et gravier, industries productrices d'engrais phosphatés...),
- ✓ Pollution due aux matières en solution minérales (usine de décapage, galvanisation...),
- ✓ Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissages, pâte à papier...),
- ✓ Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, porcherie, produits pharmaceutiques.....),
- ✓ Pollution due aux rejets toxiques (déchets radioactifs non traités, effluents radioactifs des industries nucléaires....).

Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Indépendamment de la charge de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou non, elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés. (Rodier. & al., 2005).

Elles sont différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à une autre (Gomella. & al., 1978). Elles peuvent être soit à caractère organique dominant (résidus des industries alimentaires et conserveries, abattoirs ou élevage industriels, laiterie et fromagerie,...), soit à caractère minéral dominant (eaux de lavage des graviers, des carrières, de l'industrie sidérurgique, de l'industrie chimique minérale lourde, etc....) ou à caractère mixte, elles peuvent 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 et textile, papeterie, industrie physique, industrie pétrochimique),
- De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermique),
- Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs) (Cherfaoui., 2016).

Dans les pays développés et en Algérie, le déversement de ces eaux dans les égouts est soumis à des autorisations spéciales. En effet, certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement en amont 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 (Baumont. & al., 2004).

Les eaux usées industrielles regroupent toutes les eaux qui sont en principe rejetées par les usines dans le milieu extérieur, après avoir contribué à la fabrication, au nettoyage, au transport et à son refroidissement (Woodard, 2001). De façon générale, ces eaux sont composées :

- ✓ Des eaux de fabrication,
- ✓ Des eaux du circuit de refroidissement,
- ✓ Des eaux de lavage des sols et des machines,
- ✓ Des rejets des services généraux.

Selon le dernier rapport de l'agence des nations unies chargée des questions de l'eau (U.N Water, 2017), l'industrie est l'activité humaine qui génère le plus d'eaux usées. La composition et la concentration des effluents industriels sont extrêmement variables suivant le type d'industrie (Shi. & al., 2000).

Ainsi, chaque opération industrielle génère des quantités et qualités spécifiques d'eaux usées pouvant contenir des charges considérables de polluants. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques et des hydrocarbures (Jaber & al., 2001).

B. Les différents types de pollutions engendrées par les rejets industriels liquides

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

1. Pollution chimique

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle, domestique et agricole. Elle génère des pollutions souvent dangereuses pour les écosystèmes par leur concentration dans le milieu naturel pendant certaine saison de l'année. C'est le cas des herbicides et du lessivage des sols.

La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories:

- **Organique** : Hydrocarbures, pesticides, détergents, etc.
- **Minérale**: Métaux lourds, nitrates, phosphates, plomb, mercure et cadmium.

2. Pollution organique

La pollution organique est la plus répandue. Elle peut être absorbée par le milieu récepteur tant que la limite d'autoépuration 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 consommation d'oxygène dissous dans ces eaux. Les polluants organiques sont principalement : les détergents, les pesticides et les hydrocarbures.

2.1. 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 à la surface ou ils forment un film qui perturbe les échanges gazeux avec l'atmosphère. Leurs vitesses de propagation dans le sol sont de 5 à 7 fois supérieures à celle de l'eau. Ils constituent un redoutable danger pour les nappes aquifères.

3. Pollution minérale

La pollution minérale est due essentiellement aux rejets industriels qui modifient la composition minérale de l'eau. Si certains éléments sont naturellement présents et sont indispensables au développement de la vie aquatique, un déséquilibre de ces mêmes éléments provoque le dérèglement de la croissance végétale ou des troubles physiologiques chez les animaux.

D'autres comme les métaux lourds hautement toxiques, ont la fâcheuse propriété de s'accumuler dans certains tissus vivants et constituent une pollution différée pour les espèces situées en fin de la chaîne alimentaire. Le polluant minéral se présente principalement en métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs (Mayet., 1994).

3.1. Les métaux lourds

C'est la présence des métaux lourds dans l'eau, l'atmosphère et par conséquent la chaîne alimentaire est le cas le plus intéressant parmi les problèmes posés par la pollution. Par ordre décroissant de toxicité spécifique, ces métaux sont essentiellement : le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le plomb (Pb), l'argent (Ag), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le nickel (Ni) et le zinc (Zn).

Ils sont classés comme suit: $Hg < Cr < Ti < Cu < Co < Ni < Pb < Zn$.

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.

Ces métaux lourds sont susceptibles d'être métabolisés et concentrés par les organismes vivants et mis en circulation dans la chaîne alimentaire ou leur toxicité

augmente. L'irréversibilité de cette pollution est préoccupante du fait qu'il est impossible de les récupérer, une fois dissipé dans la nature (Galaf. & al., 2003 ; Ramdani., 2006).

3.2. Le Cyanure

C'est un poison à action rapide qui peut se rencontrer sous plusieurs formes, y compris les formes gazeuses, liquides et solides. Bien que les cyanures se rencontrent naturellement dans beaucoup d'aliments et de plantes. L'industrie rejette d'autres composés cyanogènes (installation de cyanuration, galvanoplastie, traitement de minerais...). L'ion CN^- est toxique en raison de l'acide cyanhydrique qui se produit en présence d'eau selon l'équilibre:



3.3. Les éléments minéraux nutritifs

- **Nitrates et phosphates**: Provenant essentiellement de l'agriculture et des effluents domestiques (Mayet., 1994), ils sont à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algue bleue et de phytoplancton dans les milieux aquatiques ;

- **Pollution d'Azote** : Les activités industrielles, peuvent être à l'origine des rejets plus ou moins riche en Azote (élément nutritif) issu des fabrications d'engrais, des cokeries, et des industries chimiques et agroalimentaires (Anonyme.2).

L'azote existe sous deux formes:

- **Une forme réduite** : Elle regroupe l'Azote ammoniacal (NH_3 OU NH_4^+) et l'Azote organique (protéine, créatine et acide urique) ;
- **Une forme oxydée** : En ions nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-).

4. 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.

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries...); ont une température de l'ordre de 70°C à 80°C. Elle diminue jusqu' à 40°C lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène.

En outre, tout changement de température cause des effets significatifs sur la survie des organismes aquatiques. Un abaissement important de température ralenti la plupart des réactions chimiques vitales voire les arrêter. Au contraire, des augmentations de température peuvent tuer certaines espèces, mais également favoriser le développement d'autres organismes causant ainsi un déséquilibre écologique (Mizi., 2006 ; Anonyme.3).

C. Caractéristiques des eaux usées industrielles

L'estimation de la pollution industrielle est un problème complexe et délicat, qui fait appel à des dosages et des tests de différents paramètres, servant à caractériser de manière globale et pertinente, le niveau de la pollution présente dans les effluents (Koller, 2009).

Les eaux de procédé peuvent contenir des solvants, des substances alcalines ou acides, des huiles et graisses, des peintures, des chélatants, des détergents, des phosphates, des matières en suspension surtout inorganiques, des substances toxiques comme des cyanures ou des métaux, etc.

Lorsque les entreprises procèdent au placage, le pH des eaux de procédé est souvent inférieur à 5,5 ou supérieur à 9,5. Les eaux du procédé du secteur de la transformation du métal s'avèrent toxiques comme le laissent supposer les produits énumérés ci-dessus et ne se prêtent pas à un traitement biologique.

Parmi ces paramètres on cite les plus importants :

1. Caractéristiques physiques

1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le potentiel d'hydrogène (pH) est la mesure de la concentration des ions H^+ contenus dans l'eau. Il est donné par la formule:

$$pH = - \log [H^+] \quad (2)$$

Le pH varie entre 0 et 14; un pH = 7 correspondant à la neutralité ; une eau est acide lorsque son pH est inférieur à 7 et alcaline lorsque son pH est supérieur à 7 (Gaujous, 1995).

La solution tampon déterminée par le système: eau, CO_2 dissous, carbonates insolubles et bicarbonates solubles, constitue un milieu relativement stable dans lequel la vie aquatique peut se développer favorablement. Des pH compris entre 5,5 et 8,5 permettent un développement à peu près normal de la faune et la flore (Mizi. 2006 ; Mechat., 2006). Les eaux alcalines présentent généralement une flore plus riche et plus diversifiée que les eaux acides qui sont faiblement minéralisées ne permettent qu'un développement limité de la flore aquatique.

1.2. La température

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température notamment la conductivité. La température doit être mesurée in-situ.

Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré. D'autre part, La plupart des réactions chimiques vitales sont ralenties voire arrêtées par un abaissement important de température, les augmentations de

température peuvent avoir pour effet de tuer certaines espèces mais également de favoriser le développement d'autres espèces ce qui entraîne un déséquilibre écologique (Botta. & al., 2001 ; Mechat., 2006). Chaque espèce aquatique ne peut vivre que dans un certain intervalle de température hors duquel elle est à disparaître.

La température agit, comme un facteur physiologique, sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau. Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier l'O₂) dans l'eau, ainsi que la détermination du pH et la vitesse des réactions chimiques (Thomas & al., 1992).

1.3. Turbidité

La turbidité caractérise le degré de non transparence de l'eau, sa mesure permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. Elle traduit la présence des particules en suspension dans l'eau (matières en suspensions 'MES', débris organiques, argiles et organismes microscopiques) (Vilaginés, 2005 ; FAO., 2003).

Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence des matières colloïdales d'origine organiques ou minérales (Rejsek., 2002).

1.4. Les 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, il intervient dans l'évaluation de la production des boues en excès.

Théoriquement, les matières en suspension comportent des matières organiques et des matières minérales. Ce sont les matières qui ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdale. En fait, les limites séparant les trois états sont indistinctes et seule la normalisation de la méthode d'analyse permet de faire une distinction précise mais conventionnelle.

Les matières en suspension (MES) comprennent toutes les matières minérales de type sable ou organiques de type mucilagineux, qui ne sont pas solubles dans l'eau. La teneur en matières en suspension est obtenue par la pesée après filtration ou centrifugation et séchage à 105°C. Elles sont exprimées en milligramme par litre (mg/L) (Reed. & al., 1984 ; Prairie. & al., 1993).

2. Caractéristiques chimiques

2.1. Demande biochimique en oxygène (DBO)

La demande biochimique en oxygène (DBO) correspond à la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation, par oxydation et par l'intervention des bactéries aérobies et les microorganismes du milieu, des matières organiques présentes dans l'eau usée (Xanthoulis., 1993).

Elle s'exprime en milligramme d'O₂/L. Par convention, la DBO₅ est la valeur obtenue après cinq (05) jours d'incubation à une température de 20°C.

Plus la valeur de la DBO₅ est faible, plus est meilleure la qualité de l'eau.

L'épuration biologique aérobie complète d'une ERI exige en un temps de 21 jours (DBO₂₁ dite ultime) nécessaire pour l'oxydation des composés azotés biodégradables, ou de 28 jours sinon 35 jours, qui représentent le temps de dégradation de certaines familles d'hydrocarbures (Rodier. & al., 1996 ; Bernie. & al., 1991 ; Mizi, 2006).

2.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) représente la quantité totale de la pollution oxydable. Elle correspond à la quantité d'oxygène qu'il faut fournir, grâce à des réactifs chimiques puissants, pour oxyder les matières contenues dans les effluents (Badia-Gondard, 2003, Rodier. & al., 2009). Elle est exprimée en milligramme d'oxygène par litre d'eau (mg O₂/L) (Doré., 1989).

Elle est mesurée par la consommation d'oxygène par une solution de dichromate de potassium en milieu sulfurique en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure II (complexant des chlorures), à chaud pendant 2h (Donnier. ; Rodier., 1996 ; Salghi., 2006 ; Bernie. & al., 1991).

Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présentes dans l'échantillon (certains hydrocarbures par exemple, ne sont pas oxydés dans ces conditions). L'objectif de la DCO est donc différent de celui de la DBO.

La DCO peut être réalisée plus rapidement que la DBO₅ (oxydation forcée) et donne une image de la matière organique présente, même quand le développement de micro-organismes est impossible (présence d'un toxique par exemple).

De nombreux micropolluants organiques d'origines industrielles affectent de plus en plus la qualité des cours d'eau. Ils traversent les stations d'épuration sans être altérés, résistent à l'auto épuration et se trouvent à l'état de traces dans les rivières. Certains confèrent aux eaux de consommation des propriétés irritantes parfois toxiques ainsi qu'une odeur et un goût désagréables. Ces micros polluants peuvent avoir une action nuisible sur la flore bactérienne et gêner, sinon empêcher le bon fonctionnement des stations d'épuration.

La relation empirique suivante lie la DBO₅, la DCO et la matière organique d'un échantillon (MO):

$$MO = [(2*DBO_5 + DCO)] / 3 \quad (3)$$

2.3. Rapports DCO/DBO₅

Le rapport entre DCO et DBO₅ est souvent très différent de celui des eaux résiduaires urbaines (ERU). Il évolue en divers stades du traitement. La valeur de la DCO est toujours plus élevée que celle de la DBO₅ (Grosclaude, 1999).

Le rapport DCO/DBO₅ est l'indice de la biodégradabilité d'une eau et par conséquent l'intérêt du choix d'un procédé d'épuration biologique (Koller, 2009). Pour qu'une pollution soit dégradable le rapport doit être inférieur à 2,5 (Bordet, 2007; Rodier & al., 2009).

$$K = DCO/DBO_5 \quad (4)$$

Pour les effluents industriels qui peuvent contenir une fraction notable de composés non biodégradable, on pourra considérer selon le rapport DCO/DBO₅ que l'aptitude à la biodégradation est plus au moins favorable à un traitement biologique. Les règles suivantes étant généralement retenues (Rodier & al., 2009):

- Si $K < 2.5$: L'effluent peut être facilement épuré par les traitements biologiques ;
- Si $2.5 < K < 5$: L'épuration nécessite soit un traitement chimique, soit un apport de microorganismes spécifiques à l'élément chimique dominant dans l'eau résiduaire ;
- Si $K > 5$: L'épuration biologique est impossible car les microorganismes ne peuvent vivre dans une telle eau et seul les traitements chimiques adéquats peuvent donner des résultats fiables.

2.4. Carbone Organique Total (COT)

Le carbone organique est constitué d'une grande diversité de composés organiques à plusieurs états d'oxydation, dont certains sont susceptibles d'être oxydés par des procédés chimiques ou biologiques. Ces fractions sont caractérisées par la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO).

Certaines matières organiques échappent à ces mesures. Dans ce cas, le dosage du COT est mieux adapté, il est indépendant de l'état d'oxydation de la matière organique et ne mesure pas les éléments inorganiques tels que l'azote et l'hydrogène qui peuvent être pris en compte par la DCO et la DBO.

La détermination porte sur les composés organiques fixés ou volatils, naturels ou synthétiques, présents dans les eaux résiduaires (celluloses, sucres, huiles, etc.). Suivant que l'eau a été préalablement filtrée ou non, on obtiendra le carbone dissous (DCO) ou le carbone organique total (COT).

Cette mesure permet de faciliter l'estimation de la demande en oxygène liée aux rejets, et d'établir éventuellement une corrélation avec la DBO et la DCO (Tarmoul., 2007).

2.5. 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 (Rodier. & al., 2009).

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...).

- **Le plomb**: C'est un constituant naturel mineur, il peut être présent sous forme de carbonates, de phosphates, mais surtout de sulfure ;

- **Le zinc**: Il se retrouve dans les roches généralement sous forme de sulfure ;

- **Le cuivre**: Il est présent dans la nature sous forme de minerais de cuivre natif, de minerais oxydés ou sulfurés. En métallurgie il entre dans de nombreux alliages. Le cuivre est susceptible de perturber l'épuration des eaux résiduaires par des boues activées, cela à des teneurs faibles 1mg/L et la digestion des boues avec des teneurs plus élevées 100mg/L ;

- **Le mercure**: Il peut se retrouver dans les sols à des teneurs variant de 0,01 à 20 mg/kg.

Par ailleurs la contamination géologique de nombreux sols par le mercure explique sa présence dans les rejets de certaines activités industrielles.

2.6. Éléments nutritifs

2.6.1. Azote total 'NT'

Le dosage de l'azote total dans les eaux usées épurées révèle le risque que présentent ces eaux vis-à-vis de l'eutrophisation des milieux aquatiques et les pollutions des nappes, et révèle aussi le pouvoir fertilisant de ces eaux en cas de réutilisation en agriculture.

Exprimé en mg/L, ce paramètre devient de plus en plus important. Sa valeur globale dans les ERI recouvre toutes les formes déjà citées. C'est la somme d'azote des formes réduites (organiques et ammoniacal) est appelé Azote de Kjeldal et l'azote des formes oxydées (NO_2^- , NO_3^-) (Mizi., 2006).

2.6.2. Phosphore total 'PT'

Le phosphore se trouve dans les ERI sous formes:

- D'ortho phosphate soluble PO_4H_2^- ;
- De poly phosphate qui a tendance à s'hydrolyser en ortho phosphate ;
- De phosphore non dissous.

La somme de ces diverses formes constitue le phosphore total, dont chaque forme peut être mesurée indépendamment des autres par spectrométrie (Mizi., 2006).

2.7. Autres paramètres

2.7.1. Hydrocarbures

L'eau entraîne différents hydrocarbures, lors de son utilisation. Les hydrocarbures, par leur densité relativement faible par rapport à l'eau, forment des filtres de surface et empêchent toute oxygénation de celle-ci, occasionnant des asphyxies de la faune et de la flore. Leur élimination fera appel à des procédés aussi bien physiques que biochimiques. Ils proviennent aussi bien de rejets domestiques qu'industriels.

La mesure des hydrocarbures dans les ERI constitue une opération souvent délicate. En effet, l'échantillonnage est fréquemment hasardeux, particulièrement lorsque les ERI ne sont pas prélevées dans un réseau sous pression ou quand elles sont très chargées d'huiles. Par ailleurs, les valeurs obtenues lors du dosage réalisé sur un même échantillon est selon la méthode utilisée, car celle-ci se rapportent alors à la détection partielle ou totale de composés différents.

2.7.2. Emulsion

On définit une émulsion comme mélange stable de deux liquide non miscible et qui en fait dans les conditions normales, ne se mélangent pas. Physiquement, une émulsion se présente comme une dispersion très fine de gouttelettes dans une phase continue

III. PROCÉDES DE TRAITEMENTS ET VOIES D'ÉLIMINATION DES EAUX USEES INDUSTRIELLES EPUREES

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement.

À cet égard, le traitement des eaux résiduaire le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins d'opération et d'entretien minimaux.

Les stations d'épuration des eaux résiduaires, 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 toxique aux récoltes ainsi que les constituants biologiques (microbes pathogènes) qui concernent la santé publique en général.

A. Les différents degrés de traitement conventionnels

1. Traitement préliminaire

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

2. 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 (Mechati., 2006).

3. Traitement secondaire

Enlèvement des matières organiques solubles et des matières en suspension des eaux usées traitées primaires les procédés d'épuration secondaire (ou biologique) comprennent des procédés biologiques, naturels ou artificiels, faisant intervenir des micro-organismes aérobies pour décomposer les matières organiques dissoutes ou anaérobies (digestion anaérobies des boues résiduaires) est annexé au traitement secondaire.

4. 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 (FAO., 2003).

B. Les méthodes de séparation

La séparation un procédé très importants dans une station de traitement des eaux usées industrielles. Les étapes à suivre sont: les prétraitements, les traitements physicochimiques, les traitements biologiques et enfin les traitements d'affinage.

1. Les prétraitements

Les prétraitements constituent l'ensemble des opérations physique et mécanique: dégrillage, dessablage et dégraissage-déshuilage. Ils dépendent de la nature et des caractéristiques des rejets industriels et de la ligne d'épuration prévue en aval (Anonyme.4 ; Chelle. & al., 2005).

1.1. Dégrillage

Il permet de séparer les objets ou les détritres les plus grossiers véhiculés par les eaux usées. Son principe consiste à faire passer l'eau brute à travers des grilles composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60° à 80° sur l'horizontal (Chelle. & al., 2005).

Un espacement de 10 mm maximum (dégrillage fin) est utilisé pour protéger les filières d'épuration des eaux ou des boues spécifiques (décantation lamellaire, centrifugation...).

Plus communément, l'espacement des barreaux est de 2,0 à 2,50 cm pour un dégrilleur mécanique et 3 à 4 cm pour une grille manuelle (Beadry., 1984). La vitesse moyenne de passage de l'eau entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s (Chelle. & al., 2005). Les déchets récupérés sont compactés afin de réduire leur volume puis stockés dans une benne avant d'être envoyés vers une filière de traitement adapté (Anonyme.5).

1.2. Dessablage

Les matières minérales grossières en suspension tels que les sables et les graviers, dont la vitesse de chute est inférieure à 0,3 m/s, susceptibles d'endommager les installations en aval, vont se déposer au fond d'un dessableur par décantation. Il faut 60 secondes à l'eau pour traverser le dessableur et éliminer 90% du sable qui ensuite récupéré par un râteau mécanique et poussé dans un centenaire d'évacuation (Beadry., 1984 ; Pronost. & al., 2002 ; Anonyme.6).

1.3. Déshuilage et dégraissage

Le déshuilage est une extraction liquide-liquide, tandis que le dégraissage est une extraction solide-liquide. On peut considérer que le déshuilage-dégraissage se rapporte à l'extraction de toutes matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau. Ces matières sont de nature très diverses (huiles, hydrocarbures, graisses...). Elles peuvent former une émulsion stable entretenue par le brassage de l'eau ou constituer une phase indépendante non émulsionnée. Le déshuilage complet nécessite en fait un traitement en deux stades:

1.3.1. Pré-déshuilage

Par opération physique gravitaire sans adjonction de réactifs, réduisant la teneur en HC à environ 15 à 100 mg/L, il s'effectue par flottation naturelle des vésicules huileuses émulsionnées. Si l'émulsion n'est pas trop fine (particules supérieurs à 50µm). Il est réalisé dans différents types d'appareils, tels que: déshuileurs longitudinaux conventionnels, à plaques parallèles et circulaires raclés.

1.3.2. Déshuilage final

Flottation par air dissous, où les bulles d'air augmentent la vitesse de remontée des particules grasses et des huiles lorsqu'elles ne sont pas émulsionnées, ou coagulation par sels métalliques ou par électrolytes permettant d'obtenir l'épuration complète (Chelle. & al., 2005 ; Baar. & al., 2005).

1.4. Epuration physicochimique

Si la décantation se faisait directement après le prélèvement dans le milieu aquatique, le temps de décantation d'un gravier dans un (01) mètre d'eau serait d'une seconde par la seule influence de son poids, on passerait à 2 minutes pour le sable fin, à 2

heures pour l'argile, à 8 jours pour une bactérie et de 2 à 200 ans pour un colloïde. Ces durées étant bien évidemment beaucoup trop grandes ; les colloïdes peuvent même traverser un filtre très fin, ils sont les principales causes de la turbidité et la couleur d'une eau (Anonyme.7 ; Dégrèvement., 1998).

1.5. Coagulation-Floculation

L'opération de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement colloïdales) par leur déstabilisation puis formation de floccs par absorption et agrégation, le schéma qui illustre ce phénomène est présenté sur la figure. 4. Les floccs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite (Fuchs. & al., 1934; Klimpel. & al., 1991).

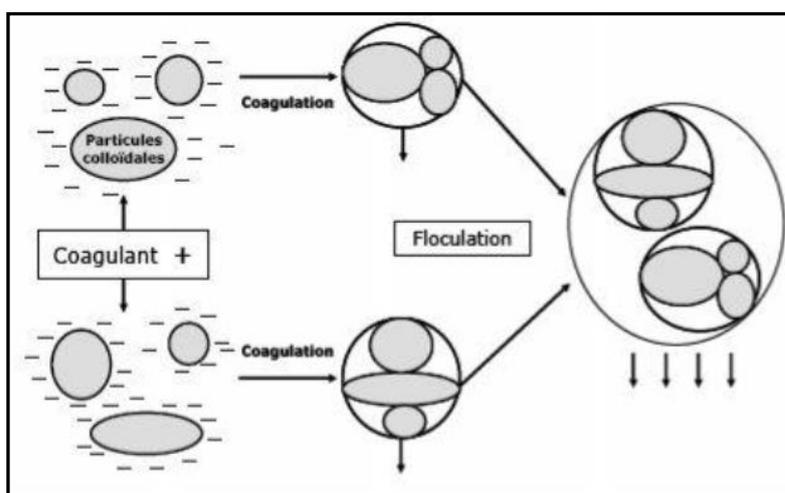


Fig.4 : Coagulation-Floculation.

1.5.1. La coagulation

Le mot coagulation vient du latin coagulé qui signifie «agglomérer». La coagulation consiste à ajouter à l'eau un réactif permettant la déstabilisation des particules en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives qui sont à l'origine du maintien en suspension stable c'est-à-dire à l'annulation du potentiel zêta.

Il faut noter que la coagulation n'est correcte qu'à l'intérieur d'une zone de pH bien déterminée (un pH supérieur à 4 pour les chlorure de fer et un pH compris entre 6 et 7 pour le sulfate d'aluminium); elle demande aussi une dispersion immédiate du coagulant dans l'eau afin que les charges électriques des colloïdes soient déchargés uniformément, cela permet aux particules de s'agglomérer et de décantent plus rapidement (Amirtharajah. & al., 1990 ; Fuchs. & al., 1934).

Quatre (04) mécanismes sont proposés pour expliquer la déstabilisation des particules et leur agglomération:

- **Compression de la double couche:** Coagulation non spécifique ou électrostatique par diminution des forces de répulsion électrostatique, provoquée par des électrolytes quelconques, qui compriment le nuage ionique autour des particules ;

- **Adsorption et neutralisation des charges:** Coagulation par adsorption d'ions de signe contraire fortement chargés, qui diminuent le potentiel à la limite de la couche de STREN ;

- **Emprisonnement des particules dans un précipité (fig.5):** Coagulation par entraînement "Sweep coagulation", pour les suspensions diluées dont les particules sont captées et entraînées dans un précipité de formation rapide.

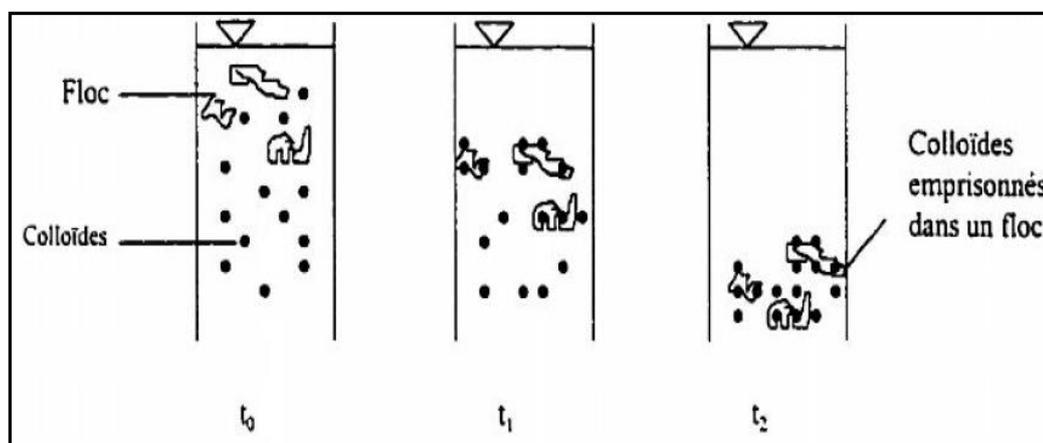


Fig.5 : Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation (t_0 : Temps initiale / t_1 : Temps secondaire / t_2 : Temps final).

- **Adsorption et pontage entre les particules (fig.5):** Flocculation ou adsorption de macromolécules ou de poly électrolytes, susceptibles de former des ponts inter-particulaires (Ernest., 1985; Tchobanoglous. & al., 1987).

1.5.2. La flocculation

La flocculation 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.

Une bonne flocculation est favorisée par:

- Une coagulation préalable aussi parfaite que possible ;
- Une augmentation de la quantité du floc dans l'eau ;
- Un brassage homogène et lent pour tout le volume d'eau ;
- L'emploi de certains produits appelés flocculant ou adjuvants de coagulation (Anonyme.6 ; Amirtharajah. & al., 1990).

On distingue trois (03) types de flocculation selon le type de mouvement qui anime les particules dans la suspension:

- **Flocculation rapide ou pré-cinétique (mouvement brownien) :** Les contacts entre les particules sont causés par le mouvement aléatoire de celles-ci, dit mouvement brownien qui est fonction de la température de l'eau (Dégréement., 1998 ; Laurent., 1994) ;
- **Flocculation lente ou ortho-cinétique (brassage mécanique) :** C'est la flocculation provoquée par l'agitation de l'eau. Elle est donc causée par le brassage de l'eau

qui permet d'augmenter les chances de contacts entre les particules (Ernest., 1985; Laurent., 1994) ;

- **Floculation par entraînement** : Elle se produit dans une solution qui décante quand les grosses particules, tombant plus vite, entraînant les plus petites avec eux (Anonyme.8).

- **La Décantation** : La décantation est utilisée dans pratiquement toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux, c'est un procédé de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc dont la densité est supérieure à celle de l'eau; elle s'effectue selon un processus dynamique, en assurant la séparation des deux phases solide-liquide de façon continue. Les particules décantées s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée. Elle est dirigée vers un autre stade d'épuration. La décantation a un rôle épuratoire non négligeable ;

- **La Flottation** : Une technique qui peut remplacer la sédimentation est la flottation. C'est un procédé de séparation liquide-solide basé sur la formation d'un ensemble appelé attelage, formé des particules à éliminer, plus léger que l'eau. Cette technique convient principalement pour éliminer les particules de diamètre compris entre 1 et 400 μm . Les solides sont transportés à la surface, fixés à des bulles, et sont ensuite écumés. Cette méthode permet d'éliminer des particules plus petites qu'avec la sédimentation. Elle convient davantage aux eaux présentant une haute teneur en algues, une faible turbidité naturelle ou une forte coloration. La flottation n'est pas aussi efficace que la sédimentation pour éliminer les particules et réduire la turbidité. Ce procédé est sensible à la température et affiche un piètre (négligeable) rendement par temps très froid.

2. Traitements biologiques

Les traitements biologiques reproduisent, artificiellement ou non les phénomènes d'autoépuration existant dans la nature. Elle regroupe l'ensemble des processus par lesquels un milieu aquatique parvient à retrouver sa qualité d'origine après une pollution. Son principe est de provoquer une prolifération de micro-organismes aux dépens des matières organiques apportées par l'effluent, en présence ou non d'oxygène. Il s'agit en fait d'un véritable transfert d'une forme non préhensible (matières colloïdales et dissoutes) en un élément manipulable (suspension de micro-organismes). Le résultat de cette dégradation est un accroissement de la masse épuratrice, et le rejet de déchets dans l'eau.

3. Traitement d'affinage

3.1. Filtration sur sable

La filtration est un procédé destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire. La plus ou moins grande facilité de fixation dépend étroitement des conditions d'exploitation des filtres et du type de matériau utilisé.

L'espace inter granulaire définit la capacité de rétention du filtre. Au fur et à mesure du passage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre se colmate. Les pertes de charge augmentent fortement. Il faut alors déclencher le rétro lavage. La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation, de floculation et de décantation, permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur, de la turbidité et indirectement de certains goûts et odeurs (Cardot., 1999).

3.2. Adsorption sur charbon actif

Le charbon actif fait partie d'une gamme de substance présentant une très grande porosité et une surface spécifique importante de l'ordre de 500 à 1500 m² par gramme de charbon.

Ces qualités confèrent au charbon actif un grand pouvoir d'adsorption. Ce processus physico chimique est utilisé dans les filières d'eau pour fixer les substances difficile à éliminer par un traitement classique et pour éliminer les substances humiques (responsable de la couleur), le goût, les odeurs, les phénols et les crésols, ainsi que plusieurs substances toxiques non biodégradables. Les composés retenus sont les adsorbats et le charbon actif est l'adsorbant.

3.3. Voies d'élimination des eaux usées industrielles épurées

Après leur épuration, les eaux gagnent une des deux destinations, soit elles vont être rejetées dans le milieu naturel ou bien elles vont être réutilisées dans différents domaines (agricole, industriel, municipal...etc.). Dans le cas de rejet, les eaux usées épurées sont déversées dans le milieu naturel (cours d'eau, plans d'eau, chotts et sebkhas...etc.). En Algérie les eaux usées épurées sont rejetées soit au niveau de la mer, les chotts et les Sebkhas, les barrages par le biais des cours d'eau ou des bourbiers et des bassins d'évaporation.

IV. IMPACTS DES REJETS INDUSTRIELLES SUR LE MILIEU NATUREL

L'utilisation de l'eau pour les activités industrielles peut impacter le niveau des ressources en eau ou la qualité des milieux récepteurs par les rejets d'eaux usées. L'application de bonnes pratiques participe à la prévention de ces impacts potentiels, qui justifient par ailleurs l'existence d'une réglementation spécifique aux utilisations industrielles de l'eau.

La pollution industrielle peut prendre trois (03) formes différentes:

- La pollution de l'air avec les fumées qui sont rejetées par les usines ;
- La pollution des sols et de l'eau avec le rejet des eaux usées ou de déchets industriels ;
- La pollution sonore causée par le bruit qu'engendre l'activité industrielle.

Quelques conséquences graves sont causées par les industries. En effet, les eaux usées et les déchets peuvent perturber le cycle de l'azote dans le sol et provoquent la montée de sel. C'est comme cela que les sols deviennent stériles et que plus aucune végétation ne peut pousser à l'endroit contaminé.

De plus, le déversement de produits pétroliers dans la mer met en danger la vie maritime au risque de voir certaines espèces de la faune et la flore sous-marine disparaître. Des pertes de vies humaines ont même été enregistrées dues à la consommation de produits intoxiqués par les produits pétroliers.

Au niveau de l'air, les gaz qui s'échappent des usines provoquent des trous dans la couche d'ozone. Les conséquences sont immédiates pour les êtres humains avec l'apparition des cancers de la peau.

Le problème de la couche d'ozone provoque également le réchauffement climatique qui entraîne la fonte des glaciers au Pôle Nord. Des maladies respiratoires peuvent être de plus en plus fréquentes chez les humains à cause des carrières et des minoteries.

Les rejets des eaux usées peuvent avoir des impacts positifs et négatifs sur l'environnement:

A. Impacts positifs

Parmi les impacts positifs, on peut citer :

- ✓ L'alimentation des zones humides ;
- ✓ Le soutien d'étiage des cours d'eau ;
- ✓ La création de zones humides surtout en régions arides et semi-arides.

B. Impacts négatifs

Les rejets des eaux usées même épurées dans certains milieux sensibles peuvent causer des problèmes environnementaux graves, parmi lesquels, nous citons:

- ✓ L'eutrophisation des écosystèmes aquatiques causée par l'excès de l'azote et du phosphore ;
- ✓ L'augmentation de la turbidité des eaux réceptrices ;
- ✓ La contamination des zones destinées à la baignade par des microorganismes pathogènes ou par des substances chimiques ;
- ✓ La pollution des sols par l'accumulation des éléments traces métalliques à long terme ;
- ✓ La salinisation des sols si l'eau usée épurée est salée présente un pouvoir alcalinisant élevé ;
- ✓ La génération des certaines nuisances si les sols récepteurs présentent un pouvoir faible à épurer les matières organiques.

V. CADRE REGLEMENTAIRE SUR LA QUALITE DE L'EAU

A. Au niveau international

L'Organisation internationale de normalisation (International Standardization Organisation ou ISO), créée en 1946, est une fédération mondiale et non gouvernementale chargée de promouvoir l'élaboration et l'application de normes internationales.

L'ISO travaille actuellement à mettre au point un ensemble de normes pour un système de gestion environnementale, regroupées sous l'appellation ISO 14000, axées sur la gestion des incidences environnementales. Le World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), créé en 1995 est une coalition de 122 entreprises internationales, issues de 34 pays, unies par un même engagement pour l'environnement et pour les principes de croissance économique et de développement durable. Le WBCSD s'est donné

comme principal objectif d'encourager la mise en application de normes élevées de gestion de l'environnement au sein même des entreprises. Les rapports et les présentations de différents pays ont fait ressortir qu'il y a beaucoup de chevauchements, de duplication et de dysfonctionnement dans les interventions de différentes instances impliquées dans la gestion des ressources en eau, notamment sur les questions touchant la qualité de l'eau.

Les lois et décrets généraux (lois sur l'eau, codes de l'eau, code forestier, loi sur la protection de l'environnement, etc.) existent, mais souvent les décrets d'application n'existent pas, ou ne sont pas appliqués quand ils existent. Il se pose également beaucoup de difficultés sur le plan de la coordination et même dans certains cas, de la cohérence dans les lois, codes et décrets. Comme recommandé par le mandat, les représentants des pays participants sont formellement revenus à la recommandation d'imposer des normes de rejets aux différentes usines rejetant leurs effluents dans le fleuve ou ses affluents.

L'OMS dans ses recommandations ne fixe pas des normes strictes mais des valeurs guides permettant de porter un jugement comparatif sur la qualité de l'eau. Ces valeurs sont susceptibles d'être utilisées avec une certaine souplesse dans le souci constant de la protection de la santé publique.

B. Au niveau national

Depuis le Sommet de Johannesburg en 2002, l'Algérie a intensifié ses actions dans le domaine de la protection de l'environnement et du développement durable, donnant ainsi une place prépondérante aux aspects sociaux et écologiques dans ses choix de modèle de société. Plusieurs lois pour un développement durable ont été promulguées. Aussi, les politiques sectorielles ont été mises en œuvre au plan de l'éducation et de la sensibilisation environnementale, de la préservation et de l'économie de l'eau, de la préservation des sols et des forêts, de la préservation des écosystèmes sensibles (littoral, steppe, Sahara), de développement rural, de l'amélioration du cadre de vie des citoyens, la dépollution industrielle, de la protection du patrimoine archéologique, historique et culturel. Ces politiques sont appuyées par la nouvelle fiscalité écologique basée sur les principes de pollueur-payeur, afin d'inciter à des comportements plus respectueux de l'environnement par l'utilisation rationnelle des ressources naturelles. L'Algérie possède un arsenal juridique important qui préconise la surveillance de l'environnement (eau, air, sol, etc.)

La réglementation quant à la maîtrise tant qualitative que quantitative de l'eau est réellement à jour. En Algérie, à titre d'exemple; la loi n° 03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, le décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 réglementant les rejets d'effluents liquides industriels et le Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels donnent une idée des préoccupations des pouvoirs publics.

Toutes les installations générant des rejets d'effluents liquides industriels doivent être conçues, construites et exploitées de manière à ce que leurs rejets d'effluents liquides industriels ne dépassent pas à la sortie de l'installation les valeurs limites des rejets définies en annexe du décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 et doivent être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge de pollution rejetée.

Le projet de la station de déminéralisation de la nappe phréatique de Brédéah (Ouest algérien), était sensé améliorer la qualité de l'eau en réduisant son taux de sel de manière significative, malheureusement les rejets débités par cette station se font vers l'extérieur sans prise en considération des dégâts occasionnés par la saumure rejetée. L'ignorance et le non respect des lois, fait que cette installation est en train de générer une catastrophe environnementale à moyen et long terme.

L'impact négatif et déplorable sur la faune et la flore, en particulier les oliviers et les pêchers, se divisent en deux grandes catégories importantes: anthropiques et climatiques. Suite à ces rejets, il existe un risque potentiel pour la santé et l'environnement dus au fait que la plupart des plantes sont sensibles au sel (NaCl) dans le sol, environ 15% des terres présentent un excès de sel et chaque année dans le monde, près de 15 millions d'hectares cultivables sont perdus du fait de l'accumulation au cours du temps des petites quantités de sel contenues dans les eaux d'irrigation et celles rejetées par les stations d'épuration ou de déminéralisation.

1. Cadre juridique relatif à l'eau

1.1. Loi N° 05-12 du 4 août 2005

Relative à l'eau. La présente loi a pour objet de fixer les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale.

1.2. Décret exécutif N°07-149 du 20 mai 2007

Fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges type y afférent. Au sens du présent décret, on entend par eau usée épurée destinée à l'irrigation, toute eau usée dont la qualité, après un traitement approprié dans une station d'épuration ou de lagunage est conforme aux spécifications fixées par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de la santé et de l'agriculture.

1.3. Décret exécutif N°07-270 du 11 septembre 2007

Fixant les conditions et modalités d'établissement du système de tarification du service de l'eau d'irrigation. Le présent décret a pour objet de fixer les conditions et modalités d'établissement du système de tarification du service de l'eau d'irrigation. Tout périmètre d'irrigation, équipé par l'Etat, ou pour son compte, et géré par voie de concession par une personne morale de droit public ou privé, constitue une zone tarifaire pour laquelle une tarification particulière du service de l'eau d'irrigation est établie.

1.4. Décret exécutif N°07-399 du 23 décembre 2007

Relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau. Le présent décret a pour objet de fixer les conditions et les modalités de création et de délimitation des périmètres de protection qualitative des ressources en eau, la nomenclature des périmètres de protection requis pour chaque type d'ouvrage ou d'installation de mobilisation, de traitement et de stockage de l'eau, ainsi que les mesures de réglementation d'activités dans chaque périmètre de protection qualitative.

1.5. Décret exécutif N°07-69 du 19 Février 2007

Fixant les conditions et les modalités d'octroi de la concession d'utilisation des eaux thermales. Le présent décret a pour objet de fixer les conditions et les modalités d'octroi de la concession d'utilisation et d'exploitation des eaux thermales.

V. NORMES DE REJET

Dans plusieurs pays, des normes de rejet ont été établies afin d'atténuer les impacts négatifs de rejet des eaux usées épurées dans les milieux récepteurs, et d'éviter de causer des problèmes environnementaux pareils à ceux cités ci-dessus à l'échelle nationale (Rodier. & al., 1996).

La réglementation algérienne a consacré un seul texte qui spécifie les normes de rejets concernant les effluents liquides industriels citées au sein du décret exécutif N°06-141 du 19 avril 2006, définissant les valeurs limites des constituants des rejets d'effluents liquides industriels (*Annexe.1*).

VI. CONCLUSION

Il convient de traiter avec précaution la problématique liée à ces rejets, car le volume de saumure produit par un litre d'eau dessalée, ainsi que sa teneur en sels, dépendra de la technique de dessalement employée et de la composition saline de l'eau utilisée. La décharge zéro de saumure s'obtient au moyen d'un procédé d'évaporation des concentrés produits qui permet d'obtenir des résidus secs.

Cette technique nécessite une forte augmentation du capital d'investissement et de la consommation d'énergie. Par conséquent, ce choix n'est applicable que lorsqu'il n'existe aucune autre solution de rejet des saumures. De même, il convient de tenir compte de la contamination acoustique résultant de l'exploitation d'une station de dessalement, notamment lorsque les installations se trouvent près des agglomérations. Il faut aussi considérer l'impact paysager causé tant par les installations elles-mêmes que par les conduites nécessaires. En matière de contrôle des rejets, c'est sans doute l'agriculture qui pose le plus de problèmes.

En effet, les eaux d'irrigation et les eaux de pluies, entraînent par lessivage les produits chimiques épandus sur les cultures. Par ce processus, les sols, les rivières et parfois les nappes phréatiques sont contaminées. Cette pollution est plus ou moins grave en fonction de la concentration en polluants. La lutte contre la pollution passe donc par la législation et son application mais aussi par l'amélioration des techniques: utilisation de produits moins nocifs et en doses plus réduites (en particulier pour l'agriculture), meilleures performances des unités de dessalement des eaux. L'absence de prise en compte de l'impact des rejets de la station sur l'environnement, a causé un problème encore plus grave que celui existant naturellement dû aux aléas climatiques, les instances concernées doivent prendre en charge les problèmes liés aux impacts environnementaux en faisant appliquer de façon très stricte la réglementation en vigueur, et trouver les solutions satisfaisants les parties concernées.

Malheureusement, aucune activité industrielle ne peut fonctionner sans polluer un minimum. Cependant, une réglementation beaucoup plus stricte sur le déversement des produits dans la mer, par exemple, pourrait sûrement sauver de nombreuses espèces maritimes. En ce qui concerne la pollution atmosphérique et des sols, seules les lois et les gouvernements peuvent appliquer quelques règles en accord avec les industriels.

Il faut que des actions soient prises pour la pollution industrielle mais également sur toutes les autres sortes de pollution. La prise de conscience de ce problème doit être générale. Il serait irréel d'éradiquer toutes sortes de pollutions. Néanmoins, celles-ci peuvent être encadrées afin d'être ramenées à des mesures raisonnables. La protection de notre environnement est devenue un impératif pour le monde entier. Tous les pays doivent se sentir impliquer dans cette lutte.

Protéger les milieux passe aussi par la réduction de la contamination des eaux usées et des eaux pluviales. L'exploitant peut réduire à la source cette pollution par le choix des matières premières les moins polluantes, l'utilisation des technologies les plus propres, etc.

D'autres bonnes pratiques visent à éviter tout accident, notamment concernant le stockage et la manipulation des substances potentiellement polluantes (stockage sécurisé, utilisation des doses adéquates, etc.). Toutefois, si la performance des stations n'est pas suffisante pour éliminer tous les polluants, une partie de ces substances est susceptible d'être rejetée.

*Chapitre 3:
Généralités sur la
Photocatalyse hétérogène*

Troisième Chapitre : **GENERALITES SUR LA PHOTOCATALYSE HETEROGENE**

I. INTRODUCTION

Depuis 25 ans, la recherche sur le traitement de l'eau s'est fortement développée où le traitement des eaux huileuses apparaît comme une nécessité.

Les contrôles de pollution sont plus rigoureux et la législation devient de plus en plus stricte sur la qualité de l'eau potable. De nouveaux procédés de traitement ont été proposés tels que les Techniques d'Oxydation Avancées (TOAs), très intéressantes pour la dégradation de polluants organiques récalcitrants. Ces techniques sont complémentaires aux techniques habituelles de floculation, précipitation, adsorption sur charbon activé ou Osmose inverse. Le traitement chimique par les TOAs peut conduire à la minéralisation complète des polluants en CO₂ et autres composés minéraux tels que : Cl⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺.

La photocatalyse hétérogène est l'une de ces techniques utilisées qui remonte au début du XX^{ème} siècle. Appartenant à la grande famille des Procédés d'Oxydation Avancée (POAs), la photocatalyse est une technique intéressante dans le sens où il est possible d'envisager une minéralisation totale de l'échantillon. Plusieurs études ont ainsi été publiées ces dernières années, décrivant les principes fondamentaux et les diverses applications de la photocatalyse.

Le principe de ce procédé est l'excitation par la lumière ultraviolette d'un semi-conducteur tel que le dioxyde de titane sous la forme de particules solides en contact avec l'eau à traiter.

Ce chapitre, va présenter des généralités sur la photocatalyse, les principes et mécanismes du traitement de l'eau par cette méthode. Il va être suivi par l'application de ce type de traitement à la problématique des eaux huileuses, en mettant à la fois en évidence la faisabilité du procédé et les contraintes auxquelles il faudra alors s'attendre.

Enfin, après en avoir décrit brièvement les principes fondamentaux, les mécanismes du traitement de l'eau par photocatalyse hétérogène, les facteurs influençant l'efficacité du traitement ; on va étudier les avantages et les inconvénients de cette méthode.

II. LES DIFFERENTS PROCEDES D'OXYDATION AVANCEES (POAs)

Les procédés d'Oxydation Avancées (POAs) émergent comme une nouvelle technologie alternative et prometteuse dans le domaine de la dépollution des eaux usées (FAO, Aquastat).

Ces procédés reposent sur la formation in-situ radicale qui possède un pouvoir oxydant supérieur à celui des oxydants traditionnels tels que Cl₂, ClO₂, O₃. Ils sont très connus pour leur non sélectivité, ces radicaux sont capables de décomposer les molécules organiques les plus récalcitrantes en molécules biologiquement dégradables ou en composés minéraux tels CO₂ et H₂O.

Les POA offrent différentes possibilités pour la formation des radicaux hydroxyles: l'activation peut être de nature catalytique, électrochimique et/ou photochimique. En plus des systèmes UV-peroxyde, UV-Ozone, ou du processus photo-fenton, qui a largement démontré leur efficacité dans l'oxydation des composés organiques, la photocatalyse hétérogène émerge depuis quelques années (Simon. & *al.*, 2008).

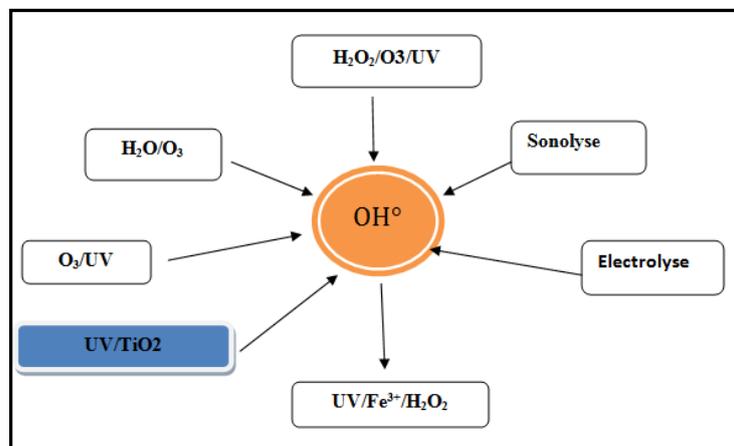


Fig.6: Présentation des principaux procédés d'oxydation avancés (Zaviska. & *al.*, 2009).

Tableau.1: Quelques procédés d'oxydations avancées.

H_2O_2/Fe^{3+}	Fenton
$H_2O_2/Fe^{2+} (Fe^{3+})/UV$	Photo-fenton (photocatalyse homogène)
TiO_2/UV	Photocatalyse hétérogène
O_3/UV	Oxydation UV
H_2O_2/UV	Photochimie assistée
Procédés émergents	Electrochimie, sonolyse et irradiation sous vide.

III. LA PHOTOCATALYSE HETEROGENE (UV/TIO₂)

La photocatalyse hétérogène constitue une alternative prometteuse pour le traitement des polluants organiques présents dans l'eau. Le principe de la photo-dégradation catalytique repose sur le phénomène naturel de photolyse qui intervient dans l'environnement lorsque les conditions nécessaires au déroulement des réactions photochimiques sont réunies.

La photocatalyse hétérogène est un exemple de catalyse hétérogène, induite par l'irradiation de matériaux semi-conducteurs (WO_3 , TiO_2 , ZnO , etc.), avec des photons d'énergie adaptée au solide. Elle permet l'oxydation rapide jusqu'à minéralisation complète, de nombreux composés organiques, azotés, chlorés, en contact avec le catalyseur.

Le dioxyde de titane (TiO_2) existe sous trois (03) formes cristallines: Anatase (quadratique), Rutile (quadratique) et Brookite (orthorhombique). Deux de ces formes ont une activité photo catalytique.

Dans les deux structures cristallines du dioxyde de titane rutile et anatase, l'atome de titane est entouré de six atomes d'oxygène et chaque atome d'oxygène est lui-même entouré de trois atomes de titane. Les structures des deux formes sont présentées dans la figure suivante (Atheba., 2009).

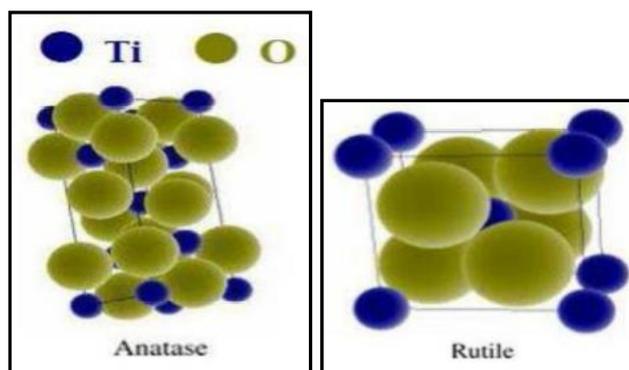


Fig.7: Structures des formes anatase et rutile.

L'absorption d'un rayonnement de longueur d'onde appropriée fait passer les molécules à un état excité et cet excès d'énergie peut-être dissipé par des modification chimiques: modification directe et formation d'un nouveau constituant stable et/ou production d'un réactif intermédiaire, par exemple un radical capable d'amorcer une réaction en chaîne.

L'utilisation d'un catalyseur favorise la formation de radicaux libres et assure une forte augmentation de la vitesse de dégradation (Simon. & *al.*, 2008).

D'après l'IUPAC (Union International de Chimie Pure et Appliquée). La photocatalyse est le domaine de la catalyse qui fait intervenir la lumière comme moyen d'activation du catalyseur. Plus généralement il est possible de définir le concept de photocatalyse à travers les réactions chimiques dites photo-catalytiques induites par l'absorption de photons (énergie lumineuse naturelle, énergie solaire, ou artificielle à l'aide d'une lampe UV) par un photo-catalyseur.

Les photo-catalyseurs sont des matériaux semi-conducteurs dont l'absorption de photons permet de promouvoir un électron depuis la bande de valence vers la bande de conduction qui va être séparées énergétiquement par une bande interdite appelée band gap. De cette promotion naît alors au sein du matériau une paire dite électron-trou qui sera à l'origine de la réaction d'oxydo-réduction des composés adsorbés à sa surface, générant de fait des espèces radicalaires OH^* au fort pouvoir oxydant (Ohtani., 2008).

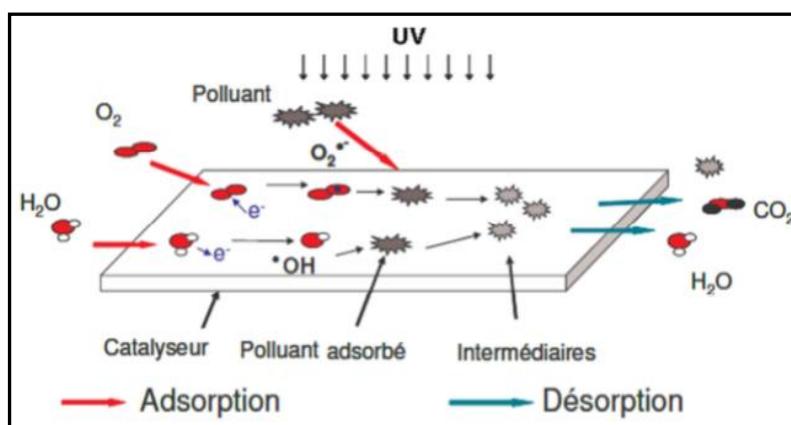


Fig.8: Schéma global représentant les étapes de la dégradation photo-catalytique.

A. Types de procédés de la photocatalyse hétérogène

Dans la conception d'un réacteur de photocatalyse, l'un des points importants relève du choix du catalyseur et de sa mise en forme. Deux grands types de réacteurs et procédés photo-catalytiques sont actuellement en cours de développement et étudiés dans la littérature:

❖ Le premier type du procédé correspond aux réacteurs basés sur l'utilisation d'une suspension du photo-catalyseur dans la solution à traiter et nécessite, de fait, une procédure de filtration du catalyseur une fois le traitement effectué. Par principe, l'utilisation d'une suspension nécessite un procédé utilisant une boucle de recirculation, la solution chargée en polluant est introduite dans la boucle fluide, le traitement par photocatalyse est effectué.

Une fois le polluant dégradé, la pompe de circulation est arrêtée et la procédure de filtration est réalisée. Cette opération n'est pas compatible avec la réalisation d'installations de tailles importantes mais consiste en une méthode d'étude de la faisabilité du traitement de l'eau à étudier.

❖ Le second type de procédé est basé sur l'utilisation de réacteurs (tubulaires ou plan) en lit fixe avec circulation de la solution contenant le polluant autour d'un garnissage constitué du photo-catalyseur associé à un support. L'utilisation d'un catalyseur supporté permet de concevoir un procédé fonctionnant; selon le principe d'une boucle de recirculation sans devoir effectuer l'opération de filtration, en boucle ouverte et en régime continu si le réacteur est dimensionné de manière à assurer avec un seul passage de l'effluent à traiter un abattement du polluant (Goetz. & al., 2012).

B. Principes de la photocatalyse hétérogène

Parmi les diverses applications de la photocatalyse, le traitement de l'eau utilisant ce type de procédé a fait l'objet de nombreuses publications et brevets ces dernières années.

En catalyse classique, on distingue la catalyse homogène de cette dite hétérogène en fonction de l'état du catalyseur par rapport aux réactifs (*Catalyse homogène*: réactifs et catalyseurs dans le même état physique; *Catalyse hétérogène*: catalyseur dans un état différent des réactifs, on prend par exemple: le catalyseur solide et les réactifs liquides). Dans le cas du traitement de l'eau par photocatalyse hétérogène, les réactifs sont dissous dans la matrice aqueuse liquide et le photo-catalyseur est un solide.

La photocatalyse repose sur un processus électronique qui se produit à la surface d'un catalyseur, celui le plus souvent utilisé étant le dioxyde de titane (TiO_2). Le TiO_2 est un semi-conducteur qui possède une structure électronique à bande interdite (E_g). S'il est soumis à un rayonnement de photons d'énergie au moins égale à celle de la bande interdite ($h \geq E_g$), un électron peut passer de la bande de valence (VB) à une orbitale vacante de la bande de conduction (CB) (*fig. 9*) (Atheba., 2009).

De même qu'en catalyse hétérogène, la photocatalyse hétérogène peut être décrite à travers cinq (05) étapes réactionnelles:

- i. Transfert des réactifs de la phase fluide vers le photo-catalyseur - diffusion matérielle ;
- ii. Adsorption des réactifs à la surface du catalyseur ;
- iii. Réactions de surface ;
- iv. Désorption ;
- v. Transfert des produits réactionnels du photo-catalyseur vers la phase fluide (Simon. & al., 2008).

La grande différence entre catalyse hétérogène et photocatalyse hétérogène réside dans l'étape (iii) où se produisent les réactions photo-catalytique.

Les étapes de la dégradation photo-catalytique d'un polluant organique peuvent donc être représentées de manière globale par la figure suivante.

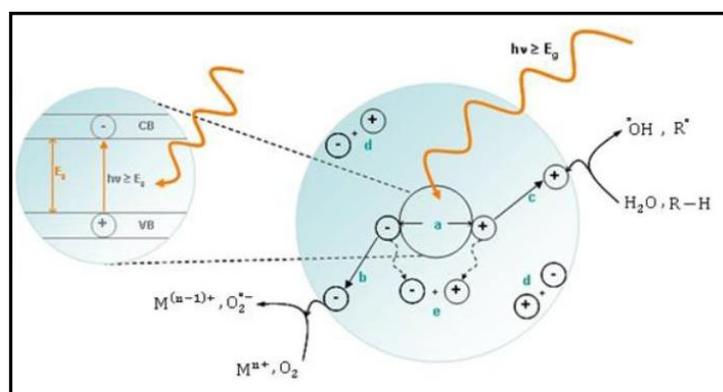


Fig.9: Principaux processus se produisant sur une particule de semi-conducteur: (a) Photo-génération (de e^-/h^+), (b) Réduction des accepteurs d'électrons, (c) Oxydation des donneurs d'électrons, (d) et (e) Recombinaison des paires (e^-/h^+) à la surface et au sein du cristal (Simon. & al., 2008 ; Carp. & al., 2004).

Afin d'initier les réactions d'oxydo-réduction à sa surface, le photo-catalyseur doit absorber une énergie suffisante pour être excité, en créant ainsi un site d'oxydation: un trou positif (h^+), et un site de réduction: un électron (e^-).

Ce qui peut s'écrire dans ce cas:

1. La photo-excitation



Les trous (h^+) réagissent alors avec des donneurs d'électrons tels que l'eau, les anions (OH) adsorbés et les produits organiques (R) qui sont, à leur tour, adsorbés à la surface du semi conducteur pour former alors des radicaux hydroxyles OH^0 et R^0 . Ces différentes réactions sont présentées à l'aide des réactions (5) et (7).

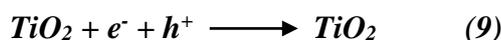




Les électrons quant à eux réagissent avec des accepteurs d'électrons tels que le dioxygène pour former alors des radicaux super-oxydes. La réaction (8) est très importante car c'est elle qui limite la recombinaison des charges.

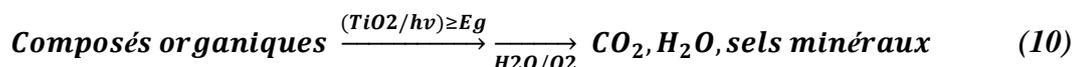


En l'absence d'accepteur et de donneur d'électrons appropriés, on assiste alors à la recombinaison e^-/h^+ , cette réaction est très rapide. Elle est de la picoseconde:



Cette réaction explique également l'importance de l'eau et de l'oxygène dans le processus photo-catalytique. La recombinaison trou/électron est donc le facteur qui limite l'efficacité de cette méthode. En effet, il a été montré que la probabilité de recombinaison est d'environ 99,9% (Aloui., 2010).

En résumé la réaction globale de la dégradation totale d'un polluant organique R, peut s'écrire :



Outre, la photo-réduction des cations métalliques (réaction 11) afin de les déposer sur la surface de photo-catalyseur a été largement étudiée. Des exemples de cation métalliques étudiés dans la littérature comprennent: Ag^+ , Au^{3+} , Cd^{2+} , Cr^{6+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Hg^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Pt^{4+} , Rh^{3+} , Tl^+ , U^{6+} et Zn^{2+} .

Des études ont montré la tendance de la photo-réduction de certains cations métalliques par le TiO_2 . Elle est fortement dépendante des potentiels redox des couples des cations métalliques par rapport à celui de la bande de conduction du TiO_2 . L'énergie de la bande interdite du semi-conducteur doit être plus négative que le potentiel redox du couple métallique ($Mn^+ / M^{(n-2)+}$).

Les positions des potentiels, soit des couple métallique, soit de la bande de conduction du TiO_2 peuvent être déplacés par le pH, l'électrolyte, ou par des coadsorbats.

A titre d'exemple, l'énergie de la bande de conduction du TiO_2 passe de -0.11V à 0.46V quand le pH varie de 1 à 7 (Aarthi. & al., 2008).

2. La photo-réduction des cations métalliques



De surcroit, pour assurer la réaction de réduction, il y avoir une réaction d'oxydation d'équilibre. Des additifs sacrificiels comme des d'électrons sont ajoutés à la solution pour réagir avec les trous positifs et libérer les électrons dans la bande de

conduction de semi-conducteur. Le choix des agents sacrificiels (généralement une molécule organique) est un paramètre clé pour une réduction efficace (Aarthi. & *al.*, 2008).

C. Choix du photo-catalyseur

Les oxydes et les sulfures de métaux représentent une grande classe de semi-conducteur utilisés dans le processus photo-catalytique. Le tableau suivant représente les principales caractéristiques des semi-conducteurs les plus utilisés sont:

Tableau.2: Le choix de la photo-catalytique.

Semi-conducteur	Potentiel de la bande de valence V/ESH	Potentiel de la bande de conduction V/ESH	Energie de la bande gap (eV)	λ_{exe} (nm)
TiO ₂	+ 3.1	-0.1	+ 3.2	387
ZnO	+ 3.0	-0.2	+ 3.2	387
ZnS	+ 1.4	-2.3	+ 3.7	335
SnO ₂	+ 4.1	+0.3	+ 3.8	318
CdS	+ 2.1	-0.4	+ 2.5	496
WO ₃	+ 3.0	+0.2	+ 2.8	443

Le choix d'un semi-conducteur dans le procédé photo catalytique apparaît limité par suite des critères très sélectifs comme l'activité catalytique, l'insolubilité, le non toxicité au contact du milieu réactionnel et sous irradiation. Le TiO₂ s'impose donc comme le meilleur compromis entre l'activité photo catalytique et l'inertie chimique. De plus, le TiO₂ n'est pas coûteux, il est non toxique et peut être utilisé avec la lumière solaire, ce qui réduit le coût du traitement.

Plusieurs oxydes ou sulfures semi-conducteurs ont une large bande interdite (E_g) suffisante pour permettre le processus photo-catalytique comme TiO₂, ZnO, CdS, ZnS, WO₃, SrTiO₃, SnO₂ et Fe₂O₃ (Mills. & *al.*, 1997; Serpone., 1997; Zhao. & *al.*, 2003).

Un semi-conducteur est caractérisé par sa capacité à adsorber simultanément deux réactifs, qui peuvent être réduits et oxydés par une activation photonique grâce à une absorption efficace ($h\nu \geq E_g$). La figure.10, montre les bandes interdites de plusieurs semi-conducteurs et quelques potentiels standards de couples redox. La capacité d'un semi-conducteur à subir le transfert d'un électron photo induit vers un substrat adsorbé est gouverné par la position des bandes d'énergie du semi-conducteur et du potentiel redox de l'adsorbat. Afin de réduire une espèce chimique, la bande de conduction (CB) du semi-conducteur doit être plus négative que le potentiel redox de l'espèce chimique. A l'inverse, pour oxyder une espèce adsorbée, le potentiel de la bande de valence (VB) du semi-conducteur doit être plus positif que le potentiel redox de l'adsorbat (Carp. & *al.*, 2004; Mills. & *al.*, 1997).

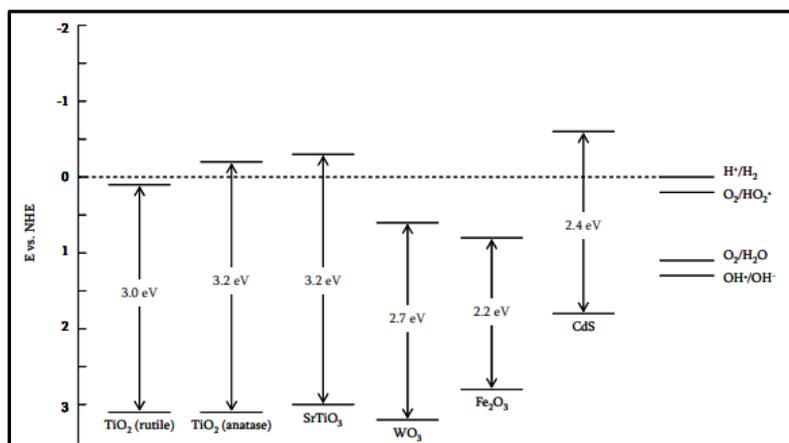


Fig.10: Positions des bandes de valence et de conduction pour différents semi-conducteurs en comparaison avec divers couples redox à pH₀ (Mills. & al., 1997).

Toutefois, le dioxyde de titane apparaît comme le plus intéressant: il est le plus inerte, non toxique, bon marché et peu sensible aux phénomènes de corrosion photochimique. Le TiO₂ utilisé en photocatalyse se présente sous deux formes cristallines : anatase ou rutile, la première étant la plus active. Pour la forme anatase, le potentiel redox élevé de la bande de valence (+3,2 V/NHE > E(OH⁰/OH⁻) > E(O₂/H₂O)) favorise les transferts d'électrons des substances adsorbées vers le semi-conducteur (oxydation) et le potentiel de la bande de conduction légèrement négatif (-0,1 V/NHE < E(H⁺ /H₂) < E(O₂/HO₂⁰)) permet de réduire les protons ou l'oxygène.

D. La photocatalyse solaire

La génération artificielle des photons UV, pour la dégradation de polluants en milieu aqueux, est l'élément le plus coûteux en énergie, lors du fonctionnement d'unités de traitement photo-catalytique. Le soleil peut être utilisé comme source gratuite d'énergie lumineuse. La terre reçoit environ $1.7 * 10^{14}$ kW de rayonnement solaire. Les radiations extra-terrestres ont une intensité environ de 1367 Wm² et des longueurs d'onde entre 200 et 50000 nm, mais se réduisent entre 280 et 3000 nm, lorsqu'elles atteignent la surface de la terre en raison de l'absorption par les différents composants de l'atmosphère (principalement l'ozone, l'oxygène, le dioxyde de carbone, les aérosols, les flux et les nuages).

1. Le spectre solaire

Le spectre solaire est la décomposition de la lumière solaire en longueurs d'onde couleur. La lumière solaire est effet composée de toutes sortes de rayonnements de couleurs différentes caractérisées par leur gamme de longueur d'onde. Les photons, grains de lumière qui composent ce rayonnement électromagnétique, sont porteurs; d'une énergie qui est reliée à leur longueur d'onde par la relation:

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad (12).$$

Où :

h : Constante de Plank,

v : Fréquence,

c : Vitesse de la lumière,

λ : La longueur d'onde.

La figure.11, représente le spectre d'absorption de la qualité d'énergie solaire qui atteint la surface de la terre divisant en rayonnement ultraviolet (UV), visible, et rayonnement infrarouge (IR). On remarque que la lumière visible représente 46% tandis que les rayonnements ultraviolets représentent seulement environ de 5% du spectre.

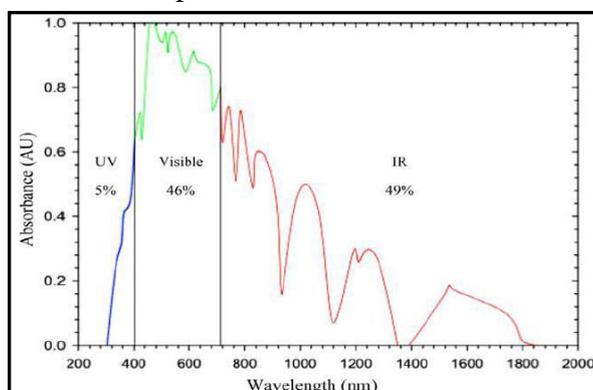


Fig.11: Spectre d'énergie solaire (Sen., 2008).

La durée d'exposition d'un lieu au soleil (ensoleillement) est un paramètre important pour l'installation de plates formes solaires pour la photocatalyse. A cet effet, l'énergie solaire est considérée comme l'une des ressources naturelles les plus abondantes en Algérie. L'ensoleillement sur la quasi-totalité du territoire national dépasse 2500 h/an et peut atteindre 3500 h dans le Sahara (Himri. & al., 2009).

Tableau.3: Statistiques d'ensoleillement par zone en Algérie (Himri. & al., 2009).

Région	Côtier	Haut plateau	Sahara
Surface (%)	4	10	86
Durée d'ensoleillement moyenne (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (Kwh/m ² /an)	1700	1900	2650

2. L'absorption de l'énergie solaire par le TiO₂

Le TiO₂ est un très bon catalyseur pour l'application en photocatalyse, cependant la largeur de sa bande interdite pour l'anatase (3.2 eV) exige une excitation par une longueur d'onde inférieure à 380 nm. Ce domaine représente une faible partie environ de 5% du spectre solaire comme présenté dans la figure.12.

A cet effet, l'intensité des rayonnements solaire est un facteur déterminant pour assurer une bonne activation du TiO₂. En effet, un flux lumineux entre 20-30 Wm⁻¹ dans le domaine 300-400 nm assure une suffisante activité de TiO₂.

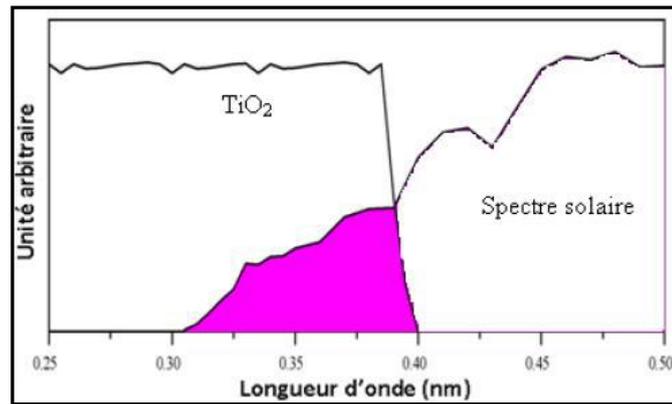


Fig.12: Comparaison du spectre solaire et du spectre d'absorption du TiO₂ (Malato. & al., 2009).

E. Facteurs d'efficacité du procédé photo-catalytique

Efficacité du traitement photo-catalytique dépend plusieurs facteurs qui régissent la cinétique de la photocatalyse, tels que les paramètres opératoires et paramètres structuraux du photo-catalyseur. Dans cette section, nous présentons brièvement les principaux effets de chaque paramètre sur les réactions photo-catalytiques (Carp. & al., 2004).

1. Concentration du polluant

Dans les réactions photo-catalytiques, le rendement de dégradation généralement diminue avec l'augmentation de la concentration initiale du polluant. Une forte concentration initiale du polluant signifie une concentration plus élevée du polluant adsorbé à la surface, qui diminue le rendement de la dégradation, ainsi la pénétration des photons à la surface (Carp. & al., 2004).

La cinétique de dégradation photo-catalytique des COVs est largement représentée par le modèle de Langmuir-Hinshelwood (LH) (Alberici. & al., 1997; Fox. & al., 1993; Kim. & al., 2002; Vorontsov. & al., 1999). En considérant que l'adsorption des produits et des intermédiaires de réaction est insignifiante, la vitesse de photo-dégradation, qui est proportionnelle au taux de recouvrement (θ) des sites catalytiques par le COV, prend la forme suivante:

$$r = k_{deg} * \theta \quad (13)$$

$$\text{Avec : } \theta = \frac{K_{LH} * C}{1 + K_{LH} * C} \quad (14)$$

Où :

r : Représente la vitesse de photo-dégradation,

k_{deg} : Constante cinétique de dégradation,

K_{LH} : Constante d'adsorption qui dépend de l'affinité chimique du polluant avec le catalyseur,

C : Concentration dans le flux gazeux en absence de limitation par le transfert externe.

A faible adsorption ou faible concentration ($K_{LH}C \ll 1$), la vitesse de dégradation (r) est égale à $k_{deg} * K_{LH} * C$ (ordre 1) et à forte adsorption ou forte concentration ($K_{LH}C \gg 1$), la vitesse de dégradation (r) est égale à k_{deg} (ordre 0).

Lorsqu'il y a une adsorption compétitive entre deux ou plusieurs espèces sur un même site d'adsorption, le taux de recouvrement est modifié de la manière suivante:

$$\theta = \frac{KC}{1+KC+\sum KiCi} \quad (15)$$

Où :

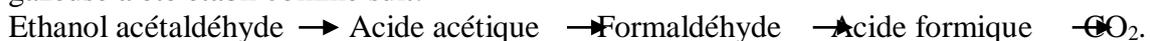
K_i : Constante d'adsorption de l'intermédiaire i ,

C_i : Concentration de l'intermédiaire i dans la phase gazeuse en absence de limitation par le transfert externe.

Ce type de modèle a été utilisé pour évaluer l'adsorption compétitive de l'acétaldéhyde lors de la dégradation photo-catalytique de la méthyléthylcétone (MEK) (Raillard & al, 2004a).

D'autres modèles plus complexes ont été développés pour mettre en évidence l'adsorption de molécules organiques sur deux sites d'adsorption différents (Lewandowski & al., 2003a; Lewandowski & al., 2003b; Nimlos & al., 1996).

Par exemple, le mécanisme de dégradation photo-catalytique de l'éthanol en phase gazeuse a été établi comme suit:



Un modèle cinétique à deux (02) sites d'adsorption a été utilisé pour la dégradation de l'éthanol:

- θ'_E : Où seuls les alcools et les acides peuvent s'adsorber,
- θ_E : Où toutes les espèces organiques sont prises en compte (Nimlos & al., 1996).

La vitesse de photo-dégradation de l'éthanol prend alors la forme suivante :

$$r_{E=} = k_{fa} (\theta_E + \theta'_E) \quad (16)$$

Avec :

$$\theta_E = \frac{K_E[E]}{1+K_{fa}[FA]+K_{Ac}[AC]+K_E[E]} \quad (17)$$

$$\theta'_E = \frac{K'_E[E]}{1+K'_{fa}[FA]+K'_{Ac}[AC]+K'_E[E]} \quad (18)$$

2. Influence du pH de la solution

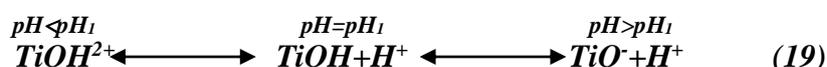
L'influence du pH sur la vitesse de dégradation du polluant pendant une réaction photo-catalytique est souvent difficile à interpréter car il va interférer sur différents paramètres.

Le pH en solution aqueuse affecte énormément la charge de surface du TiO₂ ainsi que la taille des agrégats. Le pH pour lequel la charge de surface de l'oxyde est nulle s'appelle le point de zéro charge (pH_{pzc}). Pour le TiO₂, il vaut environ 6.0 ± 0.5.

Pour des valeurs différentes de ce pH, la surface de d'oxyde est chargée. En effet, si le pH est supérieur au pH_{pzc}.

La surface de TiO₂ est positivement chargée dans des conditions acides (pH < 6,8), alors qu'elle est négativement chargée en milieu alcalin (pH > 6,8). La modification de charges présentes à la surface du catalyseur influe sur l'adsorption des molécules réactives au niveau de la surface de TiO₂, étape importante pour que la réaction photo-catalytique ait lieu.

Pour le TiO₂, la surface du photo-catalyseur est chargée négativement et l'inverse pour une valeur de pH inférieure à pH_{pzc}, comme le montrent les équilibres suivants:



Dans ces conditions, la dégradation photo-catalytique de composés organiques ionisés est très affectée par le pH. En effet, il peut y avoir des interactions répulsives entre le polluant ionisé et la charge de surface du catalyseur ce qui peut modifier les propriétés d'adsorption /désorption. C'est pourquoi, le pH optimum se situe à proximité du PZC du TiO₂ (Simon. & al., 2008).

3. Influence de la Température

Il est généralement admis que la température joue un rôle mineur, car sa contribution énergétique à l'excitation électronique du TiO₂ est faible. Cependant, de forts changements de température entraineront des modifications des propriétés absorbantes du catalyseur, ce qui est susceptible de modifier la vitesse de dégradation.

Le système photo-catalytique ne requiert pas de chaleur car il s'agit d'un processus d'activation photonique. Toutefois, la température a un effet sur les propriétés d'adsorption/désorption et peut de ce fait influencer indirectement les performances du processus. La diminution de la température favorise l'adsorption qui est un phénomène spontanément exothermique. Au contraire, quand la température augmente au dessus de 80°C, l'adsorption exothermique des polluants est défavorisée (Norzita. & al., 2005).

D'autres considérations industrielles peuvent être prises en compte. En effet, si la température de travail était élevée, les matériaux utilisés pour les installations devraient être résistants à la chaleur et la concentration en oxygène dans l'eau diminuerait. En outre, l'absence de production de chaleur au cours de la réaction est très attractive pour le traitement de l'eau car il n'est pas nécessaire de refroidir après le traitement photo-catalytique (Herrmann., 2005).

4. Influence de la Turbidité

La turbidité se réfère souvent à des particules insolubles ou matières en suspension, qui sont présentes dans les eaux. C'est l'état plus ou moins trouble d'une eau causée par la présence de matières fines en suspension (limons, argiles, micro-organismes, etc.) et de colloïdes, gênant le passage de la lumière. La turbidité dépend de nombreux facteurs comme la taille, la quantité, la forme, l'indice de réfraction des particules et la longueur d'onde de la lumière irradiante. La présence de ces matières particulaires insolubles est très préjudiciable au traitement photo-catalytique car ils peuvent affecter la pénétration de la lumière UV par une forte diffusion et absorption des rayons. Afin d'assurer une réaction photo catalytique rapide, la turbidité de l'eau doit être maintenue au-dessous de 5 Unité de Turbidité Néphélométrie (NTU) (Viessman. & *al.*, 1998). Il est donc conseillé de filtrer l'eau à traiter avant de l'envoyer dans le réacteur photocatalytique si celle-ci présente une turbidité excessive.

5. Influence de la Cristallinité

La vitesse de dégradation de certain polluant peut varier en fonction du catalyseur utilisé. En effet, elle dépend fortement du mode de préparation du TiO₂ (support, cristallinité, etc.) et des conditions expérimentales (poudre, disposition du support, etc.). En particulier, le TiO₂ peut se présenter sous diverses formes cristallographiques dont les principales sont l'anatase et le rutile.

Généralement, on considère que l'anatase est la forme photo-active, alors que le rutile a une faible activité photo-catalytique. Sur le marché, la plupart des semi-conducteurs présentent une forme cristalline purement anatase. Ce pendant, pour différentes raisons qui ne sont pas encore explicables, un mélange d'anatase et de rutile possède la meilleure photo-activité (TiO₂ Degussa-P25, qui est constitué de 80% d'anatase et de 20% de rutile). Cette différence de photo-activité entre l'anatase et le rutile est difficile à expliquer. Il a été montré que les vitesses de recombinaison trou /électron sont significativement différentes entre l'anatase et le rutile.

Les facteurs électroniques ne sont pas suffisants pour expliquer la différence de photo-réactivité entre les deux phases. Comme le catalyseur peut être utilisé sous différentes formes (poudres, grains, déposé sur des surfaces à base de fibre de verre, sur des tissus, des plaques métalliques, de la cellulose), plusieurs paramètres physico-chimiques peuvent également être considérés:

- ✓ **La surface hydroxylée du catalyseur:** Les groupements hydroxyles à la surface du TiO₂ favorisent l'adsorption d'O₂ ;
- ✓ **La taille des particules:** Des petites particules présentent une meilleure dispersion dans la phase aqueuse, favorisent les interactions photons /catalyseur/polluants ;
- ✓ **La surface spécifique du catalyseur:** Une grande surface spécifique augmente les interactions catalyseur /polluants (Simon. & *al.*, 2008).

IV. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA PHOTOCATALYSE

En plus de la génération des radicaux HO°, les avantages majeurs de la photocatalyse hétérogène sont:

- C'est une technologie destructive et non sélective ;
- Le processus est technologiquement simple ;
- Absence de réactifs toxiques, Le catalyseur utilisé est non toxique, le TiO₂ est un réactif disponible, bon marché et ne présentent aucun danger pour l'utilisateur et l'environnement ;
- Minéralisation totale possible des polluants organiques: formation de H₂O, du CO₂ et d'autres espèces ;
- Elle fonctionne à température et pression ambiante (utilise le soleil comme source d'énergie renouvelable) ;
- Elle est efficace pour de faibles concentrations en polluants ;
- Elle nécessite une faible consommation d'énergie ;
- Réduction des métaux ;
- Ne génère pas une boue à traiter ultérieurement.

Le seul inconvénient est:

- Le génie des procédés indiquant que l'étape qui limite l'opération serait la filtration finale de TiO₂ en suspension, ce problème peut être surmonté par la mise au point d'un photo-réacteur solaire à lit fixe et à film d'eau tombant en cascade pour favoriser l'oxygénation du milieu (Herrmann., 2007).

V. CONCLUSION

De nouveaux procédés de traitement ont été développés tels que les Techniques d'Oxydation Avancées (TOAs), très intéressantes pour la dégradation de polluants organiques récalcitrants. Ces techniques sont complémentaires aux techniques habituelles de floculation et de précipitation.

La photocatalyse hétérogène est l'une de ces techniques utilisées. C'est un processus électronique se produisant à la surface d'un catalyseur semi-conducteur (tels que TiO₂) sous un rayonnement solaire ou artificiel engendre des entités oxydantes réagissant avec des composés organiques. Le traitement chimique par photocatalyse hétérogène peut conduire à la minéralisation complète des polluants en CO₂ et autre composés minéraux.

Plusieurs paramètres peuvent influencer l'efficacité du traitement par photocatalyse hétérogène: il a été montré que les procédés de photocatalyse hétérogène sont plus performants si la concentration en oxygène dissous est élevée.

De plus, la dégradation photo-catalytique de composés organiques ionisés est très affectée par le pH due aux interactions répulsives qui sont le polluant ionisé et la charge de surface du catalyseur, ce qui peut modifier les propriétés d'absorption/désorption. C'est pourquoi, il faut réaliser le traitement à un pH optimum, d'autre part, autre paramètre peuvent influencer les interactions catalyseur/polluants telle que la température et les propriétés du photo-catalyseur utilisé ainsi que sa masse.

Le traitement des rejets est souvent rendu obligatoire pour ne pas dépasser un flux annuel autorisé.

Les traitements sont nombreux: incinération, condensation, absorption avec ou sans réaction chimique, adsorption, dégradation biologique et photocatalyse. Le traitement idéal, s'il existe, serait celui qui consomme le moins de produits, le moins d'énergie et qui ne rejetterait rien de nocif dans l'environnement.

Dans ce cadre de contraintes, la photocatalyse bénéficie de nombreux atouts tel que : elle ne nécessite pas de coproduits, demande peu d'énergie et minimise les rejets secondaires car c'est un procédé d'oxydation qui permet d'obtenir une excellente minéralisation des polluants.

*Chapitre 4:
Présentation de la
région d'étude*

Quatrième Chapitre : **PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE**

I. INTRODUCTION

L'Algérie possède environ 10% des réserves mondiales en gaz naturel, elle se place au cinquième rang international. Plus de 50% de ces réserves connues sont concentrées dans le gisement de Hassi R'mel (HR).

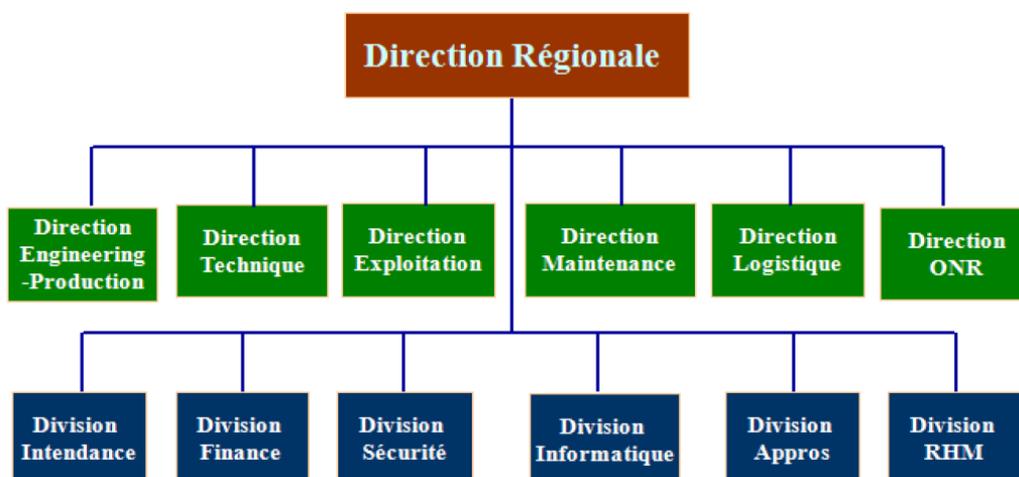
Au moment de l'extraction du gaz naturel des quantités d'eau, d'huile et parfois de brut remontent à la surface. Le gaz est stocké dans des stations de récupération, l'huile est traitée dans des centres de traitement d'huile (CTH) et l'eau réinjectée dans les puits bourbiers.

Les eaux huileuses sont représentées essentiellement par des eaux de gisement salées saturées contenant : des hydrocarbures, des métaux lourds en très faible quantités, des inhibiteurs de corrosion, des détergents, du gaz oïl, des huiles de vidange, de la poussière métallique et des produits chimiques des laboratoires tels que : les acides chlorhydrique et sulfurique, la soude caustique et le nitrate d'argent. Leur déversement dans le milieu naturel présente un risque de contamination de la nappe phréatique qui est la seule source d'eau potable pour la consommation humaine, animale, végétale et les besoins industriels.

Pour cela la direction régionale de Hassi R'mel et en vue d'éliminer et/ou réduire au maximum les impacts environnementaux avec ses activités et services qui ont mis en place des unités de traitement des eaux de rejets industriels, comme par exemple les stations de déshuilage pour assurer le traitement des eaux de rejets industriels des CTH.

Ce chapitre traitera brièvement une description de la zone d'étude, aux travaux de prestations d'études dans le domaine de l'amont pétroliers, une description du processus de production de la région, les principaux rejets, et la station de déshuilage installée dans le but de traitement des eaux des rejets industrielles.

II. ORGANISATION DE LA DIRECTION REGIONALE DE HASSI R'MEL



III. PRESENTATION DU CHAMP DE HASSI R'MEL

A. Situation géographique de Hassi R'mel

La zone d'étude Hassi R'mel est située dans le Sud de l'Algérie, elle est considérée comme la porte du désert. Elle se situe à 525 km au Sud d'Alger, dans une région relativement plate du Sahara septentrional, à une altitude moyenne d'environ 750m, à 120 km au Sud de la wilaya de Laghouat, à environ 70 km à l'ouest de Beriane et à 120 km au Nord-Ouest de Ghardaïa. Son climat est caractérisé par une faible pluviométrie d'environ 140mm/an, une humidité moyenne de 19% en été et 34% en hiver. Les amplitudes thermique sont importantes et les températures variant entre -5°C en hiver et plus 45°C on en été. Les vents dominants sont de direction Nord-Ouest.

Le gisement de Hassi R'mel est l'un des plus grands gisements de gaz à l'échelle mondiale. C'est un anticlinal de forme elliptique dont l'axe principal est orienté NE-SW. Il s'étale sur 3500 km² (70km de long du Nord vers le Sud et sur 50km de large d'Est vers l'Ouest). Les réserves trouvées en place se situe à une profondeur de 2200m, avec une capacité évaluée à plus de 3000 milliards de mètre cube récupérable.

Le gisement de Hassi R'mel contient : le gaz naturel, gaz de pétrole liquéfié GPL (c'est un gaz sous forme liquide), condensat, gazoline et liquide. Cette richesse naturelle est convoitée par plusieurs entreprises nationales et étrangères pour l'exploitation telles que **SONATRACH**, **SONELGAZ**, **ENGTP**, **GENERAL ELECTRIC**, **NOUVO PIGNONE**, **JGC**, etc. Les études du gisement ont prouvé que le réservoir contenait du gaz, du condensât et du GPL, les richesses initiales étaient de 200g/m³ pour le condensât et de 80g/m³ pour le GPL. D'autres études ont mis en évidence la présence du pétrole brut tout autour du gisement, mais plus particulièrement dans les parties Est et Sud du champ. On parle ainsi de présence d'anneau d'huile (pétrole brut).

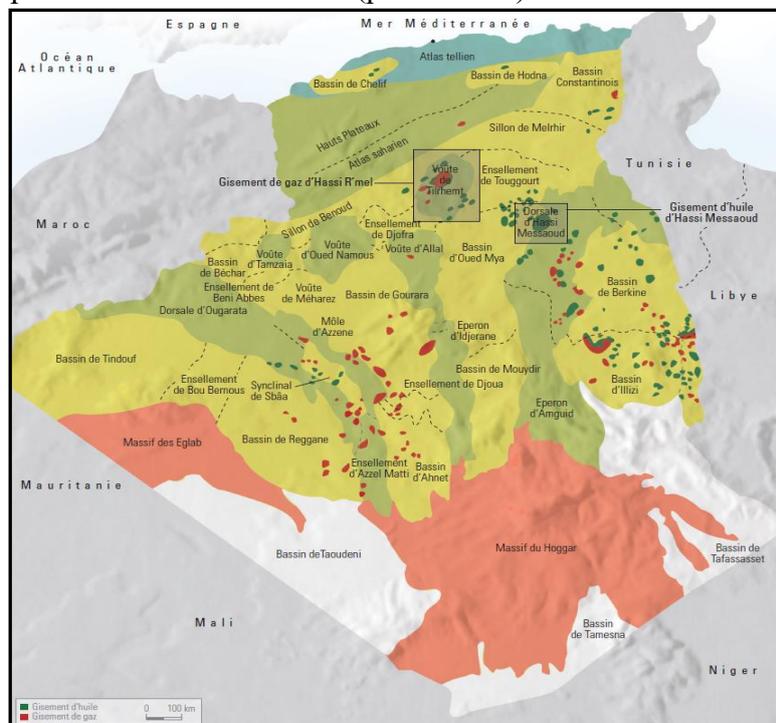


Fig.13 : Carte de Situation des différents bassins sédimentaire (Champ de Hassi R'mel) en Algérie (Source : SONATRACH).

B. Organisation du champ de Hassi R'mel

Le champ de Hassi R'mel comprend trois (03) secteurs qui sont responsable de plusieurs unités chacun:

1. Secteur Nord

Ce secteur comporte :

- Un module de traitement de gaz N°3 (MPP3),
- Une station de Boosting Nord (SBN),
- Une station de compression et de réinjection Nord (SCN),
- Deux centres de traitement d'huile (CTH2 et CTH4),
- Un centre de stockage et de prélèvement butane (NAFTAL),
- Une centrale électrique (SONELGAZ),
- Une station de déshuilage.

2. Secteur Centre

Il comporte :

- Trois modules (0, 1 et 4),
- Une phase B de MPP0 et MPP1 (Communs),
- Un centre de stockage et de transfert de fluides (CSTF),
- Deux centres de traitement d'huile CTH1 et CTH3,
- Une station de Boosting gaz centre (SBC),
- Une station de compression des gaz associés (SRGA),
- Un centre national de dispatching de gaz (CNDG),
- Trois Stations de compression de gaz (GR1, GR2 et GR3),
- Une station de pompage (SP4),
- Un centre de stockage et de prélèvement Butane et Propane (NAFTAL),
- Une centrale électrique (SONELGAZ),
- Une station d'épuration (STEP),
- Une station de déshuilage.

3. Secteur Sud

Il comporte :

- Trois (03) modules de traitement de gaz brut (MPP2, DJ-B et HR-Sud),
- Une station de Boosting Sud (SBS),
- Une station de réinjection de gaz HP (SC-Sud),
- Une unité de traitement d'huile (CTH-Sud),
- Une station de déshuilage (Anonyme.2).

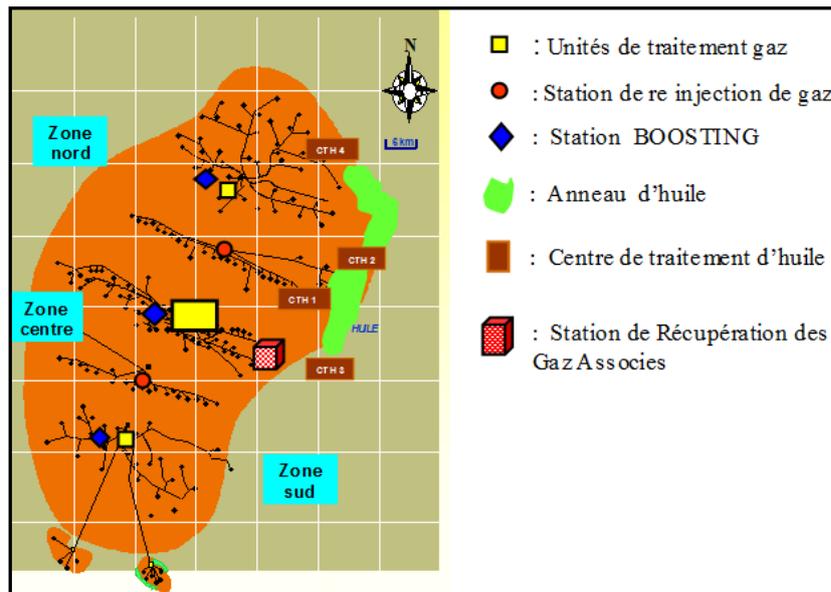


Fig.14 : Représentation schématique des sites des différents secteurs du Champ de Hassi R'mel (Source : Anonyme.2).

IV. DEVELOPPEMENT 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 m³ ont constitué un atout important pour lancer une politique d'industrie gazifière de grande envergure pour le pays. Les deux produits gaz et pétrole se trouvent à l'état brut initialement, nécessite des complexe de traitement qui ont subi un développement continue durant cette décennie.

Le premier puits a été foré en 1952 à Berriane et après, le H-R1 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 à une température de 90°C et une pression de 310 kg/cm².

➤ De 1957 à 1960, furent forés 07 puits (H-R2, H-R3, H-R4, H-R5, H-R6, H-R7, H-R8, HR9), qui ont mis à jour l'existence 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 30m ;

- **Réservoir 'B'**

Il est limité à la zone centrale et la zone Nord du champ. Cette couche présente 13% des réserves en place ;

- **Réservoir 'C'**

Il s'étend sur la majeure partie du champ sauf la zone Sud, c'est le plus épais des trois (03) niveaux et le plus important.

Trois (03) étapes importantes ont marqué le développement du champ de Hassi R'mel, à savoir :

❖ *Première étape 1961*

Réalisation d'une petite unité de traitement de gaz de 1,3 milliards de m³/an, cette réalisation a coïncidé avec la construction de la première usine de liquéfaction de gaz entre 1964 et 1969 ; cette capacité est portée à 4 milliards de m³/an ;

❖ *Deuxième étape 1972-1974*

Mise en exploitation de 06 unités supplémentaires. La capacité de traitement du champ de Hassi R'mel atteint, après la nationalisation des hydrocarbures en 1971 l'équivalent de 14 milliards de m³/an ;

❖ *Troisième étape 1975-1980*

Cette période a permis de concrétiser un plan de développement qui concerne l'ensemble du champ en mesure de répandre aux besoins énergétiques du pays ainsi qu'aux besoins des partenaires. Ce plan a permis également de doter Hassi R'mel d'un modèle d'exploitation en mesure d'optimiser la récupération de différents produits. Cette période est caractérisée par :

- La capacité de traitement qui a été portée à 94 milliards de m³/an ;
- La réalisation de quatre (04) complexes de traitement de 20 milliards de m³ ;
- La réalisation de deux (02) stations de réinjection de gaz d'une capacité unitaire de 30 milliards de m³/an et d'une puissance unitaire de 600000 CV ;
- Le forage de 150 puits producteurs ;
- Le forage également de 52 puits injecteurs ;
- La réalisation des réseaux de collecte de 1000km, haute pression (en entrée).

➤ En 1985: La réalisation et mise en service d'une unité pour la récupération des gaz torchés et la production du GPL des modules 0 et I (les communs) ;

➤ Entre 1987 et 2000: La réalisation et mise en service des centres de traitement du gaz de Djebel Bissa et HR-SUD ;

➤ Entre 1981 et 1993: La réalisation et mise en service de cinq (05) centres de traitement d'huile ;

➤ Entre 1995 et 1999: La mise en service des unités de déshydratation de gaz de Sbaa, d'Adrar et d'In Salah ;

➤ En 1999: La réalisation et mise en service de l'usine de récupération des gaz associés provenant des centres de traitement d'huile ;

➤ En 2000: La mise en œuvre du projet Boosting.

Le développement final du champ de Hassi R'mel a permis d'atteindre les capacités de production suivantes:

- 100 milliards de m³ an de gaz par an ;
- Milliards de tonnes de condensât par an ;

- 2.5 Millions de tonnes de GPL par an ;
- 700 milles tonnes de pétrole brut par an.

V. DESCRIPTION DU PROCESSUS DE PRODUCTION DU CHAMP DE HASSI R'MEL

Le brut venant des différents puits de l'anneau d'huile du champ de HR, entre dans les CTH à travers un manifold où se fait l'injection d'eau douce par les pompes existantes. Il est envoyé vers le premier ballon de séparation tri-phasique, à ce niveau se passe la séparation de la plus grande partie de l'eau de gisement saturée en sel par différence de densité qui sera envoyée vers la station de déshuilage. Le brut est acheminé vers un autre ballon de haute pression, une séparation basée sur la différence de densité, d'où une deuxième séparation entre l'huile et le gaz, ce dernier est envoyé directement vers la station de compression de gaz à une pression de 8 bars.

L'huile contenant des impuretés (trace d'eau et de gaz) passe à travers un autre ballon de séparation de moyenne pression (MP) où une séparation par différence de densité, le gaz en très faible quantité est envoyé vers la torche MP et l'huile est stockée dans un bac où la décantation joue le rôle d'une dernière séparation d'eau huileuse qui est purgée et drainée vers un ballon collecteur rejoignant ainsi toute l'eau huileuse rejetée par les équipements qui sera expédié par la suite à travers des pompes vers la station de déshuilage. L'huile traitée est collectée au MPPO puis expédiée vers la raffinerie d'Arzew à travers la station de pompage (SP4) située au niveau de HR.

Le gaz envoyé vers la station de compression de gaz subit une séparation du condensât éventuel dans un ballon tampon à l'aspiration de l'installation avant de pénétrer dans les trains de compression. Ou il subit une compression à 112 bars est expédié au travers d'un manifold de sortie dans un pipeline en acier de 20 vers la station de boosting, où il rejoint le gaz provenant des puits déjà séparé de l'eau et du condensât au niveau de séparateur d'admission, pour que l'ensemble soit comprimé à 120 bars et expédié vers les modules de traitement de gaz.

Le condensât est envoyé vers les MPPO, 1 et 4 au niveau de la chaîne de traitement puis stocké au niveau de MPPO, tandis que l'eau huileuse est acheminée vers la station de déshuilage.

VI. LES INSTALLATIONS GAZIERES DU CHAMP DE HASSI R'MEL

L'importance des installations gazières à Hassi R'mel ont pour but de traiter le gaz, et séparer les fractions liquides pour une meilleur valorisation, une partie du gaz fait l'objet d'une réinjection, l'autre est destinée à la vente. Les installations gazières réalisées sont réparties comme suit:

A. Les modules

➤ **MPP** 'Module Processing Plant' : Désigne une usine de traitement de gaz naturel à l'échelle industriel.

- Cinq (05) modules sont implantés sur le champ de Hassi R'mel,
- Quatre (04) ont une capacité unitaire de 60 millions de m³/j.
- Le cinquième, module '0' à une capacité de 30 millions de m³/j.

- Le sixième module est le petit gisement de Djebel Bissa en rapport avec sa capacité modeste de 5 millions de m³/j.
- Les modules, I et 0 disposent d'une unité complémentaire commune, ils désignent :
 - Les modules de traitement de gaz sont reliés pour le stockage des hydrocarbures liquide (GPL, Condensât) au CSTF (centre de stockage et transfert des fluides) et pour la réinjection de gaz à deux stations de réinjection de 90 millions de m³/j chacune.
 - Le parc comporte 5500 machines tournantes, 2000 équipements statiques, 1600 appareils d'instrumentation.

B. Les stations de compression

Le but de ces stations est de réinjecter le gaz sec traité au niveau du gisement pour le maintien de la pression à fin de récupérer le maximum de liquides, il existe deux (02) stations de compression Nord et Sud d'une capacité de chacune est de 90 millions m³/j.

C. Le stockage et l'expédition des hydrocarbures liquides

Le condensât et le GPL, produits par tous les modules sont acheminés vers le centre de stockage et de transfert CSTF qui se trouve dans la zone centrale de Hassi R'mel, ils sont débarrassés des éventuelles quantités d'eau résiduelle et comptabilisée avant d'être expédié vers SP4 puis vers Arzew.

Le CSTF comprend trois (03) bacs de 35000 m³ et quatre (04) bacs de 45000 m³ chacune pour le formées dans les sphères, sous l'effet de la température ambiante sont comprimées par des turbocompresseurs, condensées puis remises dans le stockage pour éviter le problème de vaporisation (Boil off) du GPL.

D. Centre national de dispatching de gaz 'CNDG'

Son rôle est la collecte de toutes les quantités de gaz produites au niveau de Hassi R'mel et du gaz provenant de l'extrême Sud via les gazoducs GR1et GR2. Ces quantités sont ensuite distribuées vers centres de consommation, comme les centres GNL, SONALGAZ, et à l'étranger Italie via la Tunisie et l'Espagne via le Maroc GME.

E. Station de récupération des gaz associé 'SRGA'

C'est une unité qui a démarré le 18 Avril 1999, avec une capacité de 4 millions sm³/j. Elle comporte quatre turbocompresseurs avec une capacité unitaire de 1 million de m³/j.

F. Unité de traitement de gaz naturel

Ce projet comporte une unité de traitement de gaz naturel, destiné à traiter le gaz brut pour obtenir du gaz sec et la récupération des hydrocarbures liquides .avec une unité de boosting pour la récupération des gaz associe de CTH Sud.

G. Le centre de traitement d'huile (CTH)

Cinq (05) unités sont implantés 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).

VII. REJETS INDUSTRIELS A HASSI R'MEL ET ENVIRONNEMENT

A. Les principaux rejets industriels a Hassi R'mel

1. 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 bourbiers aménagés à proximité des différentes unités. Le volume total des rejets de ces modules est estimé à 1350 m³/j (Anonyme.9).

2. Rejets des CTH

Les rejets des CTH sot 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 bourbiers sont souvent couvertes d'une pellicule d'huile résultat parfois d'une mauvaise séparation. Le volume des eaux rejetées par l'ensemble des CTH est en moyenne 1200 m³/j (Anonyme.9).

3. Rejets des sondes de forage

Les rejets des sondes de forage et Work-over 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 des tubages. Le volume moyen des rejets d'un puits en forage est estimé à 2500 m³ pour une durée de deux (02) mois (Anonyme.9).

4. 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 les acides sulfuriques, la soude caustique, le nitrate d'argent, etc.

Concernant les huiles de vidange, il convient de noter qu'au niveau des fosses d'entretien des bases de SONATRACH, l'huile est récupérée par NAFTAL, pour son recyclage (Anonyme.9).

5. Les bourniers

Un bournier est une grande fosse de stockage des rejets liquides issus des différentes unités de production ainsi que les boues de forage et de Work-over (Anonyme.9).

B. Action mises en œuvre pour la protection de l'environnement à Hassi R'mel

La prise de conscience sur l'importance de l'environnement est largement partagée à SONATRACH pour la préservation de son image en tant que principal opérateur économique du pays et aussi en tant que groupe pétrolier international. 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. Parmi ces actions, on cite :

- Traitement des eaux domestiques par la réalisation d'une station d'épuration STEP,
- Traitement des boues de forages et de Work-over,
- La récupération des gaz associés, par la réalisation de deux stations SRGA 1 & 2,
- La prise en charge des déchets solides industriels par élaboration de procédure de gestion intégrée,
- Traitement des eaux de rejet industriels; par la réalisation de trois (03) stations de déshuilage et de filtration (Anonyme.9).

2^{ème} Partie :
Partie Expérimentale

Chapitre 5 :
Etude de la station de
déshuilage de Hassi R'mel

Cinquième Chapitre : ETUDE DE LA STATION DE DESHUILAGE DE HASSI R'MEL

I. PRESENTATION DE LA STATION DE DESHUILAGE HASSI R'MEL

A. Introduction

Hassi R'mel compte trois (03) stations de déshuilage implantées dans les zones Centre, Sud et Nord.

Réalisée par SARPI le : 26/07/1999, la Station de déshuilage Centre, a été mise en service le : 17/03/2001 avec une capacité de traitement de 1500 m³/j.

Les stations de déshuilage de Hassi R'Mel reçoivent les eaux de rejet de:

Centre	Module MPP0	CTG Centre	CTH 1
Nord	Module MPP3	CTG-4	CTG-2
Sud	Module MPP2	CTG Sud	CTH Sud

Les effluent huileuses en pression sont envoyés vers le bac tampon, les eaux de purge des bacs du brut coulent gravitairement malgré qu'une cuve de relevage '*S-109*' à été prévue avec deux pompes '*P-106 A et B*' que refoulent les eaux vers le bac tampon.

La cuve '*S-109*' sert à la vidange de toutes les cuves et reçoit en même temps l'eau de lavage des filtres et l'eau qui provient de l'épaississeur '*S-105*'.

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.

B. Provenance des eaux huileuses

Les eaux rejets industriels de toutes les unités de production de gaz et d'huile, des modules de traitement de gaz MPP et des centres de traitement d'huile CTH sont collectées à partir de bassins d'évaporation pour être acheminées vers les unités traitement (Belazzouz. & al., 2017).

Nous avons suivi le procédé de traitement de la zone Centre, Nord et Sud. D'après notre enquête ces dernières reçoivent les eaux de rejets des centres de traitement d'huile CTH1 et CTH3, des trois (03) modules de traitement de gaz, MPP0, MPP1, MPP4 et du centre de stockage et de transfert des fluides CSTF (Anonyme.10).

Les eaux huileuses à traiter proviennent donc de : Module 0, Module 1, Module 4, CSTF CTH1 et CTH3 (Anonyme.10).

C. Finalités de traitement des eaux huileuses

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide on peut le considérer comme étant l'extraction de toutes matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau (élimination des huiles ou hydrocarbures) (Boeglin., 2002).

Les eaux traitées sont destinées à la réinjection dans le puits '*HR-510*' Sud et du '*HR-204*' Nord.

- Le traitement de ces eaux consiste en:
 - ✓ L'élimination totale des hydrocarbures contenus dans les eaux ;
 - ✓ L'élimination de toutes les matières en suspension ;
 - ✓ L'élimination de toutes les particules solides ;
 - ✓ La filtration et l'ultrafiltration ;
 - ✓ La réinjection aux puits.

- Le traitement utilisé est par étages:
 - ✓ **Filière eau :**
 - Réseau de collecte ;
 - Station de relevage ;
 - Bac tampon (pré déshuilage) ;
 - Cuve CPI (déshuilage primaire) ;
 - Flocculation ;
 - Flottation a air dissous ;
 - Filtration et ultrafiltration ;
 - Pompage et injection (Anonyme.10).

 - ✓ **Filière boues :**
 - Epaissement ;
 - Déshydratation ;
 - Pose en décharge.

En général les eaux produites avec le brut, ainsi que les eaux de rejets des usines de traitement de gaz et des raffineries peuvent contenir des hydrocarbures, des particules solides et des matières en suspension.

L'élimination des hydrocarbures et des matières en suspension (MES) est effectuée par des méthodes purement physiques telles que la séparation bac tampon '*S-101*' et '*CPI S-102*' (différence de densité), la décantation, la filtration.

Néanmoins les particules fines qui se comportent comme une suspension colloïdale se maintiennent et nécessitent une séparation par dosage chimique (flocculation). Cette dernière consiste à neutraliser la suspension colloïdale par addition d'un électrolyte qui provoque l'agglomération des particules fines et par conséquent leur flocculation '*S-103*'.

Dans la cuve de flottation '**S-104**', l'eau saturée en air '**R-103**' est introduite en bas, donnant naissance à un flux de petites bulles d'air. Ces bulles d'air favorisent la flottation des boues, qui s'accumulent en surface. Les boues sont écopées par un système mécanique tournant et déversées dans la cuve '**S-105**'. Les eaux de surverse sont évacuées gravitairement vers la cuve des eaux traitées '**S106**'.

La teneur en hydrocarbures dans l'eau à traiter est de 5% volumique de la charge. La teneur en huile résiduelle dans l'eau traitée est inférieure ou égale à 10 ppm (Anonyme.10). Cette dernière est pompée par les '**P-101A et B**' vers l'unité de filtration et d'ultrafiltration.



Fig.15 : Pompes de refoulement '**P-101A et B**' d'eau traitée vers l'unité de filtration.

L'eau filtré est accumulé dans les réservoirs '**R-121 A, B et C**' et en suite les pompes à pistons a haute pression '**P-120 A/B**' sont utilisé pour injecter l'eau filtré dans le puits.

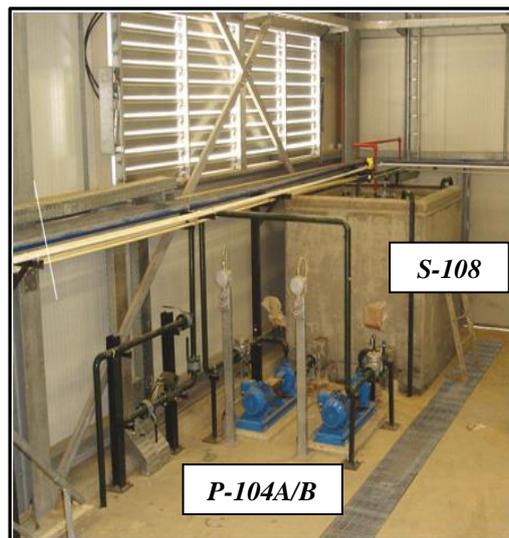


Fig.16 : Huile recyclé de la cuve '**S-108**' vers les pompes de recyclage '**P-104A et B**'.

L'huile surnageant est récupérée par les déshuileurs a disques rotatifs '**MS-106**' (bac tampon) et '**MS-107**' (CPI) et envoyée vers la cuve d'huile '**S-108**'. De la cuve '**S-108**' l'huile est recyclée par les pompes '**P-104 A/B**' vers le centre **SONATRACH**.

Les matières solides décantées et la mousse flottant sont récupérées sous forme de boues liquides en gravitaire dans l'épaississeur 'S-105'. Les boues seront traitées une fois par semaine, déshydratées avec la centrifugeuse 'MS-110' et envoyées à l'extérieur du hangar par deux (02) pelleteuses 'MS-111 et MS-126' dans la cuve à boues 'S-111'.



Fig.17 : Pelleteuses 'MS-126'.



Fig.18 : Cuve à boues 'S-111'.

D. Descriptif et fonctionnement des équipements

1. Première étape: *TRAITEMENT PHYSIQUE*

L'élimination des hydrocarbures et des matières en suspension (MES) est effectuée par des méthodes purement physiques telles que la séparation dans le bac tampon ou le de pré-déshuilage 'S-101' et 'CPI S-102' qui a pour but d'homogénéiser les eaux, d'assurer la régulation du débit et la récupération préliminaire de l'huile surnageant à l'aide d'un déshuileur flottant à disque rotatifs 'Écrémeur' 'MS-106' pour réduire le contenu d'huile à la sortie entre 100 et 200 ppm, et d'autre part de favoriser la précipitation des matières en suspension qui seront racler au fond du bac et puis envoyées vers l'épaississeur des boues 'S-105'.

Le premier étage sera constitué par les opérations suivantes:

- Bac tampon pré-déshuilage ;
- Déshuilage primaire (CPI).

1.1. Pré-déshuilage – Bac tampon 'S-101'

Les deux rôles du bac tampon sont:

- D'homogénéiser les eaux ;
- D'assurer la régulation du débit ;
- Pré-déshuiler.

Vu l'irrégularité du débit en arrivée, il est prévu un bac tampon 'S-101' d'une capacité de 500 mc et d'un diamètre de 12 m. Le bac tampon permet de : régler le débit, de produire une homogénéisation des différents effluents en amont des stations et d'effectuer une séparation préliminaire pour réduire le contenu d'huile (à la sortie environ 100 à 200 ppm) et favoriser la précipitation des matières en suspension (à la sortie environ 80 à 120 ppm).

Le temps du séjour est de 24 heures, le bac est réalisé en béton armé et de forme circulaire.

Les éléments de couverture en fibre de verre sont: autoportants, étanches et légères pour faciliter le démontage pendant les opérations d'entretien. La surface extérieure est protégée par gel-coat contre les rayons UV.



Fig.19: Le Bac tampon 'S-101'.

A la sortie, une boucle de réglage commandé par le DCS, envoie les eaux gravitairement vers la station de traitement.

Dans le bac il est prévu un déshuileur flottant à disques rotatifs "Discoil" 'MS-106' pour la récupération de l'huile surnageant. Celle-ci est ensuite recyclée par pompe vers la cuve d'huile 'S-108', le pompage est réglé par un sonde de niveau.

Le fond du bac est en forme de pente pour la récupération des boues. Un appareil tournant 'MS-106' avec pont métallique et bras tournantes est prévu pour le raclage des boues décantées au fond de la cuve. Les boues, avec résidu sec de 2%, seront envoyées vers l'épaississeur des boues 'S-105' a travers la vanne automatique 'XV-101' réglée à s'ouvrir chaque huit (08) heures pendant huit secondes (Anonyme.10).



Fig.20 : Appareil tournant 'MS-106' et la vanne automatique 'XV-101'.

1.2. Déshuilage primaire - Cuve C.P.I 'S-102'

Après décantation et pré déshuilage dans le bac tampon, l'eau est introduite, en gravitaire, dans le séparateur lamellaire **CPI** (Corrugated Plate Interceptor) pour continuer le déshuilage physique.

La cuve CPI, en béton armée, reçoit les effluents du bac tampon '**S-101**', la séparation se fait au moyen de plaques lamellaires en AISI 316L '**MS-102**' entre l'eau, les solides en suspension et les gouttelettes d'huile d'un diamètre supérieur ou égal à 60micron.

L'huile surnageant est récupérée par le déshuileur à disques rotatifs (**Discoil**) '**MS-107**' et pompé vers la cuve d'huile '**S-108**' et en suite l'huile est recyclée vers le centre de production **SONATRACH**, tandis l'eau se dirige vers le deuxième étage de traitement.



Fig.21 : Cuve de déshuilage primaire '**S-102**' munie d'un disque rotatif '**Discoil**' '**MS-107**'.

Les boues sont évacuée gravitairement du fond de la cuve a travers la vanne automatique '**XV-102**' réglée à s'ouvrir toutes les huit heures pendant huit secondes vers l'épaississeur a boues '**S-105**'.

L'eau chargée en MES conditionné par un flocculant (la silice activée) a la sortie du CPI, est envoyée vers la cuve de floculation '**S-103**'. A la sortie du CPI, en fonction de la quantité des hydrocarbures contenus dans l'eau, on pourra avoir un contenu résiduel d'huile variable entre 15 et 50 ppm.

2. Deuxième étape: TRAITEMENT CHIMIQUE

2.1. Cuve de floculation 'S-103'

Dans la cuve de floculation les flocculant organiques de type Polyamines (poly-électrolyte) sont ajoutés à des doses de 5 à 10 ppm afin de coaguler les matières en suspension et les hydrocarbures et d'augmenter la capacité de traitement du flotteur. La cuve est dimensionnée pour un temps de rétention de 18 min.



Fig.22 : Cuve de floculation 'S-103' munie d'un agitateur rapide 'MS-113'.

La cuve est en béton armé et équipée d'agitateur rapide 'MS-103' pour assurer le mélange des additifs avec l'eau et favoriser la formation du floc.

La cuve de floculation reçoit l'effluent du 'CPI S-102' auquel sont additionnés deux agents chimiques de floculation (silice activée et polyélectrolyte), le premier a la sortie du CPI et le deuxième a la sortie du flocculateur, ces deux agents chimiques sont produits par les skids de préparation et dosage chimique 'MS-112 SILIDOX' et 'MS-113 POLYDOX', les additifs sont utilisés pour augmenter la capacité de traitement du flotteur 'S-104'.

2.2. Cuve de flottation 'S-104'

L'eau arrive par gravité vers la cuve de flottation 'S-104' ou se mélange avec l'eau saturé en air qui arrive des pompes de saturation 'P-102' et du saturateur 'R-103'.



Fig.23 : Cuve de flottation 'S-104'.

Le principe de fonctionnement est le suivant:

Dans la cuve cylindro-conique, est introduite au fond un débit d'eau en pression, saturé d'air; le flash provoqué par la chute de pression, permet de générer des fines bulles

qui en montant au sein du liquide entraînent les huiles flocculées et les matériaux en suspension en surface.

Un racleur en surface balaie les parties flottantes vers une goulotte d'évacuation qui déverse dans la cuve '**S-105**'.

Les sédiments lourds tombent et s'accumulent dans le fond de l'appareil d'où ils sont extraits périodiquement par ouverture d'une vanne de purge automatique.

D'un point de vue hydrodynamique, le flotteur est divisé en trois (03) zones:

- Une zone à forte turbulence délimité par un cylindre, dans la quelle l'eau pressurisé est mélangé à l'eau brute pour favoriser les contacts bulle/flocs ;
- Une zone à écoulement laminaire dans la partie annulaire ;
- Une zone morte supérieure, dans la quelle la mousse s'accumule, et ou le passage des racleurs ne perturbe pas la zone inférieure.

En partie basse de la virole, l'eau épurée est récupéré par collecteur annulaire. Le processus de flottation par air dissous prévoit en tête au flotteur l'introduction d'un polymère. Les polymères favorisent la floculation des floccs et l'action de l'air, ainsi la clarification de l'eau de surverse est très bonne.

Le type de flotteur de la séparation finale de l'huile est à air dissous FAD. Le système comprend:

- La cuve de flottation en béton armé à plan circulaire ayant un fonde conique. Le temps de séjour est de 30 min pour assurer un contenu résiduel d'huile inférieur ou égal à 10 ppm ;
- Un appareil avec pont métallique et bras tournantes est prévu pour le raclage des boues décantées au fond de la cuve ainsi que deux bras en surface pour la récupération de la mousse flottée. Les boues décantées sont également extraites du fond et envoyées vers la cuve à boues ;
- Un saturateur ou l'air est dissout sous pression.

L'eau traitée est envoyée vers la cuve d'eau traitée '**S-106**', les floccs raclés à la surface de l'eau vers l'épaississeur à boues '**S-105**' et la boue décantée par la vanne automatique de fond '**XV-103**' réglée est s'ouvrir toutes les quatre heures pendant douze secondes vers le '**S-105**'.

2.3. Cuve d'eau traitée '**S-106**'

Cette cuve reçoit l'eau traitée du flotteur. Elle se compose de deux (02) compartiments, chaque compartiment est muni de deux pompes. Les pompes '**P-101A/B**' refoulent l'eau traitée vers l'extérieur. Le débit est partagé par deux boucles de réglage commandées par le **DCS**: une partie vers le bac tampon pour le recyclage et la deuxième partie vers l'unité de filtration. Les pompes '**P-102A/B**' recyclent une partie de l'eau traitée vers le ballon de saturation à air '**R-103**', pour être mélangée au fluide sortant de la cuve de floculation '**S-103**', ceci favorise la montée en surface des floccs et colloïdes (processus de flottation).



Fig.24 : Cuve d'eau traitée 'S-106'.

2.4. Cuve d'huile 'S-108'

Cette cuve est alimentée par les *Discoil* 'MS-106' et 'MS-107' respectivement du bac tampon 'S-101' et du CPI 'S-102'. L'huile récupérée est recyclée par les pompes 'P-104A/B' à 10 m³/h et à la pression de 5 bars vers le centre *SONATRACH*.



Fig.25: Cuve d'huile 'S-108'.

3. Troisième étape: *FILTRATION ET ULTRAFILTRATION*

Pour assurer la granulométrie des matériaux en suspension inférieure ou égale à 5 microns est prévu un troisième étage de traitement: filtration et ultrafiltration.

La filtration de l'eau déshuilée est effectuée en utilisant filtres à double couche filtrante en sable de quartz et hydro-anthracite, l'ultrafiltration est prévue par deux filtres à charbon pour l'élimination des particules les plus petites et des traces d'hydrocarbures.

L'eau qui arrive des pompes 'P-101' est envoyée dans la partie supérieure du filtre et à travers le lit filtrant, de haut vers le bas, l'eau perdra les substances en suspension retenues par le quartzite.

Les substances se déposeront principalement sur la couche supérieure du lit filtrant et on arrivera donc au colmatage de la masse filtrante. A ce moment, le contre lavage sera fait, dans le but de chasser et de libérer tous les espaces pour le passage de l'eau. Une telle opération se fait en contre courant. C'est à dire, qu'au lieu d'entrer par le coté supérieur, on entrera par le coté inférieur a travers les buses et on sortira par celui le supérieur.

Le niveau de colmatage est donné par le transmetteur de pression différentielle, mais normalement le lavage est programmé en automatique.

Les trois (03) filtres a sable '*F-101A/B/C*' doivent fonctionner tous les trois en parallèle et quand ils sont colmatés, ils seront nettoyez l'un après l'autre.

Le système prévoit pour le nettoyage en contre-courant des filtres:

- Air comprimé fourni par les soufflantes '*K-103A/B*' ;
- Pompes de lavage '*P-118A/B*'.



Fig.26: Les différents filtres au niveau de la filtration.



Fig.27: Les soufflants '*K-103*' et les pompes de lavage '*P-118A/B*'.

Même les deux filtres a charbon '*F-102A/B*' doivent fonctionner en parallèle et ils sont nettoyez l'un puis l'autre.

L'injection de Silice activé prévue à l'aspiration des pompes '*P-101*' est utilisé pour améliorer le rendement de la couche filtrant.

Le système comprend pour chaque filtre un tableau électropneumatique pour la commande d'ouverture et fermeture des vannes des filtres, la logique de fonctionnement est suivie par le *DCS*.

L'eau de lavage est envoyée vers les lits '*S-112A/B*'. Après décantation sur gravier, l'eau écoule dans la cuve '*S-109*' pour être recyclé vers le bac tampon.

3.1. Injection au puits

L'eau filtrée est envoyée dans les réservoirs '*R-121A/B/C*'. Le réservoir '*R-121/A*' alimente les pompes d'injection '*P-120A/B*' par refoulement vers le puits.

Le débit des pompes d'injection est variable (moteur électrique commandé par inverter) en fonction de la contre-pression du puits. La gestion de l'injection est commandé par le '*DCS*' et le transmetteur de pression '*PT-121*'.

Le réservoir '*R-121/C*', alimente les pompes du contre lavage des filtres '*P-118A/B*'.



Fig.28: Les pompes d'injections.

4. Quatrième étape : *FILIERE BOUES*

Les boues récupérées des différents étages de la station de traitement suivront un parcours dans les conditions de boues fraîches à boues sèches et stockées en décharge contrôlé, les composants de la filière seront les suivantes:

- Epaisseur des boues ;
- Centrifugeuse ;
- Décharge couverte.

4.1. Epaisseur des boues 'S-105'

L'épaisseur est une cuve cylindro-conique en béton avec pont métallique et bras tournants pour assurer l'homogénéité et augmenter la concentration par accumulation au fond de l'ouvrage, des particules denses.



Fig.29: L'épaisseur de boues.

La cuve, en béton, est alimentée en boues des vannes automatiques 'XV-101', 'XV-102' et 'XV-103' respectivement des fonds des cuves 'S-101', 'S-102' et 'S-104' et de la mousse surnageant du flotteur 'S-104'.

Les boues alimentent l'épaisseur dans un cylindre central de diffusion. L'épaississement est assuré par un système de raclage de fond, l'eau de surverse rejoint le bac tampon, les boues sont concentrées jusqu'au 4%. Les pompes Mono 'P-105A/B' alimentent les boues concentrées de la station de centrifugation pour la déshydratation.

4.2. Centrifugeuse de boues 'MS-110'

Les boues sont déshydratées dans la centrifugeuse puis récupérées par deux pelleuses 'MS-111' et 'MS-126' et envoyées à l'extérieur du hangar 'H-101' dans la cuve à boues 'S-111'.



Fig.30: Centrifugeuse de boues.

Le rendement de la déshydratation est optimisé grâce à l'utilisation de polymères qui sont injectés dans la tuyauterie en amont de la centrifugeuse.

Le traitement aura comme résultat des boues avec contenu sec entre 18 et 22% (environ 20%). Le volume sera 1/5 par rapport aux boues liquides à l'entrée.

L'eau de surverse de la centrifugeuse '*MS-110*' est envoyée dans la cuve des eaux huileuse '*S-109*' pour être recyclé dans le bac tampon.

E. Analyse des eaux huileuses

Différentes Analyses sont effectuées pour contrôler le fonctionnement de la station et la qualité de l'eau, les résultats de ces analyses permettent de:

- ✓ Vérifier et optimiser la performance de l'installation ;
- ✓ Garantir la conformité de produits aux spécifications commerciales et de l'environnement ;
- ✓ Améliorer par conditions paramétriques du procès afin d'éviter la détérioration des équipements par la corrosion.

Les analyses que nécessite la station sont:

- La détermination du pH et de la température ;
- La mesure de la turbidité sur plusieurs échantillons d'eau, (à l'entrée du CPI et à la sortie des filtres à cartouche) ;
- L'analyse d'huile «Oil in water» permet de mesurer le taux des hydrocarbures dans l'échantillon à analyser (Anonyme.10).

Actuellement, le suivi de performances de la station n'est pas actuellement dû au manque d'un laboratoire pour le contrôle de l'efficacité de traitement (Anonyme.11).

F. Destinée des eaux de rejets traitées

Les eaux traitées vont être réinjectées dans un puits abandonné ou dans des bourbiers, les huiles récupérées sont expédiées vers les centres de traitement d'huiles et les boues produites sont traitées dans un épaisseur puis dans une centrifugeuse pour être traitées par inertage.



Fig.31: Puits-bourbier de Hassi R'mel.



Fig.32: Puits-bourbier débordant.

II. CONCLUSION

Hassi R'mel, est le plus important gisement de gaz naturel du continent africain, les eaux contaminées rejetées par le puits de gaz naturel au moment où le forage contient des polluants différents, en l'occurrence: des hydrocarbures, des produits chimiques et des faibles teneurs en métaux lourds.

Afin de minimiser la pollution et éviter les désagréments pouvant altérer le milieu récepteur, La SONATRACH a conçu trois (03) unités de déshuilages pour traiter les eaux huileuses issues de l'activité pétrolière à Hassi R'mel.

L'eau entrant à l'unité subit un différent traitement à savoir un traitement physique comprenant la décantation dans un bac tampon permettant la récupération préliminaire de l'huile surnageant et la précipitation des matières en suspension ; une deuxième séparation dans un séparateur lamellaire CPI assurant la décantation des particules solides non décantées dans le premier bassin, et le déshuilage par un déshuileur flottant à disque rotatifs.

La deuxième étape consiste en un traitement chimique au cours duquel des additifs chimiques sont ajoutés pour neutraliser la suspension colloïdale et provoquer l'agglomération des particules fines.

Un racleur en surface balaie les parties flottantes vers une goulotte et les sédiments lourds tombent et s'accumulent dans le fond de l'appareil d'où ils sont extraits périodiquement, l'eau ainsi épurée est récupérée par collecteur annulaire et subit enfin une filtration. Après des analyses confirmant la conformité de ces eaux traitées, ces dernières sont rejetées dans des puits bourbiers.

Actuellement, la station Centre est la seule station de déshuilage de Hassi R'mel qui rencontre plusieurs problèmes de maintenance. De plus, le suivi des performances de la station n'est pas assuré actuellement dû au manque d'un laboratoire pour le contrôle de l'efficacité de traitement.

Chapitre 6 :
Matériels et Méthodes

Sixième Chapitre : **MATERIELS ET METHODES**

I. INTRODUCTION

Le travail faisant l'objet de ce mémoire a été réalisé au sein du Laboratoire d'environnement, département assistante aux unités industrielles 'DTD' Boumerdès.

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents protocoles des études réalisées et matériels utilisés. En général, cette partie du travail se décompose en trois (03) parties principales:

Dans la première partie, il sera décrit l'échantillonnage et prélèvement des échantillons d'eau huileuse.

La deuxième partie est consacrée aux analyses réalisées pour la caractérisation des échantillons d'eaux huileuse et évaluer leur degré de pollution.

La troisième partie présente les matériaux et les produits utilisés, et le protocole des tests photo-catalytique effectués sous irradiation solaire.

II. ECHANTILLONAGE

A. Niveau de prise d'échantillons

Il est essentiel d'obtenir des prélèvements représentatifs du rejet. Pour cela, le point d'échantillonnage à l'entrée de l'unité est indiquée en amont au niveau de la cuve CPI 'S-102' et en aval au niveau de la sortie des filtres de charbon 'F-102B' (fig.33), les échantillons à analyser sont prélevés le 14 février 2020, selon la procédure de l'unité à 8h du matin.

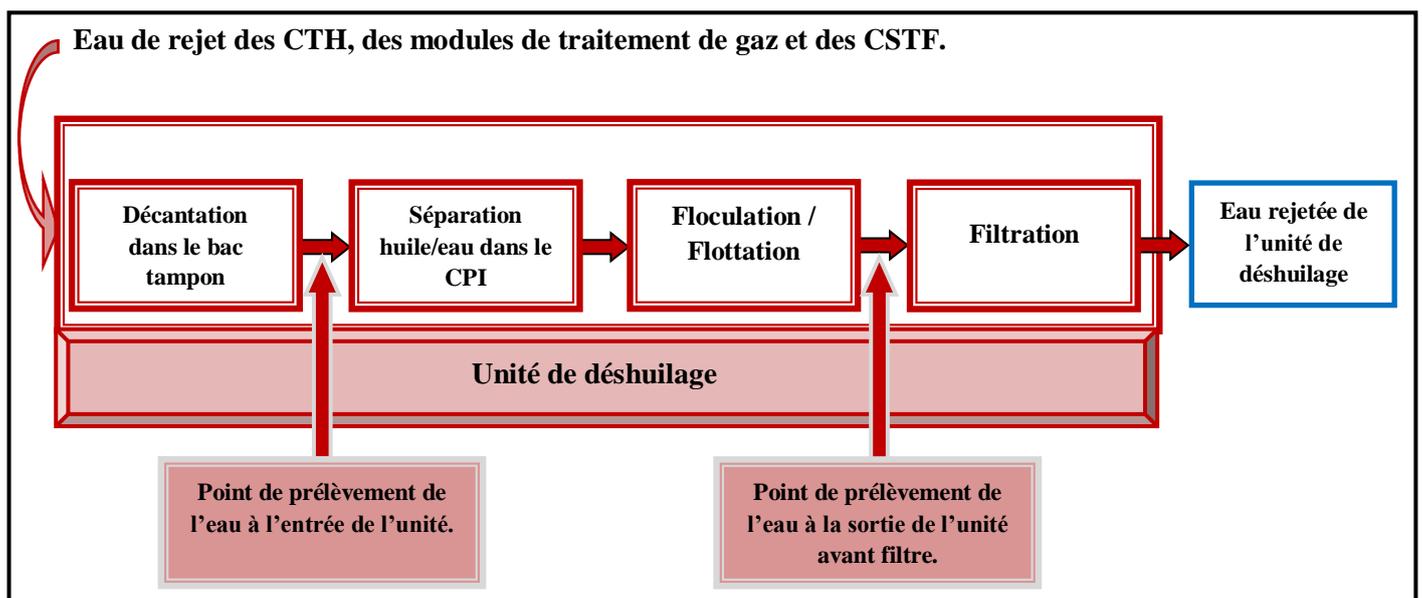


Fig.33 : Schéma simplifié de procédé de traitement de l'unité indiquant les points d'échantillonnage.

Le Département Traitement et Contrôle des Fluides de la Direction Assistance aux Unités Industrielles a été sollicité par la Direction Régionale de Hassi R'mel pour la réalisation des analyses physico-chimiques de cinq (06) échantillons d'eaux (pH, Température, Turbidité, MES, Indices d'hydrocarbures totaux) prélevés au niveau des stations de déshuilage Centre, Nord et Sud.

Les échantillons ont été pris comme suit :

- Un (01) à l'entrée de la station de déshuilage (Centre) ;
- Un (01) à la sortie de la station de déshuilage avant filtre (Centre) ;
- Un (01) à l'entrée de la station de déshuilage (Nord) ;
- Un (01) à la sortie de la station de déshuilage avant filtre (Nord) ;
- Un (01) à la sortie de la station de déshuilage (Sud) ;
- Un (01) à la sortie de la station de déshuilage avant filtre (Sud) ;

B. L'eau à traiter

L'eau à traiter provient principalement des centres de traitement des hydrocarbures après séparation du brut, du gaz et des modules de traitement de gaz.

C. Mode opératoire de prélèvements

Les échantillons sont prélevés dans des conditions d'asepsie rigoureuse pour éviter toute contamination accidentelle durant la manipulation.

L'échantillonnage a été réalisé comme suit:

- ✓ Les échantillons sont prélevés à l'aide d'une canne de prélèvement rincée avec l'eau à prélever ;
- ✓ Les flacons en verre et jerrican conçue pour les prélèvements d'eau sont préalablement lavés, rincés soigneusement pour éliminer toute trace d'un éventuel détergent ;
- ✓ Au moment du prélèvement, le flacon est rincé avec de l'eau à analyser ;
- ✓ Pour l'analyse des hydrocarbures et métaux lourds, les échantillons sont prélevés dans des flacons en verre brun de 1000 ml de capacité, et acidifié sur le lieu du prélèvement par une solution d'HCL 1N pour atteindre un pH de 2 ;
- ✓ Pour le reste des analyses, l'échantillon est prélevé dans un jerrican en plastique.

D. Conservation des échantillons

Les échantillons doivent suivre un protocole de conservation et de transport bien spécifique, à savoir :

- Les flacons remplis complètement sont fermés hermétiquement puis recouverts avec du papier d'aluminium pour assurer une double protection contre toute contamination probable ;
- Soigneusement étiquetées, les flacons remplis sont conservés dans une glacière à basse température (4°C) et transportés.

E. Analyses faites in-Situ

Un certain nombre de mesures sont pratiqués sur place, tel que : la Température, le pH, l'Oxygène dissous, l'odeur et la couleur.

III. CARACTERISATIONS PHYSICO-CHIMIQUE DES ECHANTILLONS

Pour évaluer et mesurer globalement la pollution des eaux huileuses, plusieurs paramètres sont analysés dans la mesure du possible.

La pollution des eaux industrielles est généralement évaluée par la mesure des matières en suspension (MES, turbidité), de la pollution organique carbonée (DCO, DBO₅ et COT), des différentes formes d'azote (NK, N-NH₄⁺, N-NO₂⁻ et N-NO₃⁻), les principales formes de phosphore, la teneur en chlorures, les hydrocarbures et certains métaux lourds (pb, Zn, Cu, Cd.....) ont été analysés et quantifiés.

D'autres examens physico-chimiques ont été mesurés, il s'agit de la mesure du pH, de la température, de la conductivité, de la couleur et éventuellement de l'odeur bien que ce dernier paramètre puisse présenter quelques dangers et de l'oxygène dissous.

A. Analyses des indicateurs de pollution (physico-chimique)

En utilisant un spectrophotomètre DR 1900 et les réactifs LCK (*Annexe. 3*), on procède à l'analyse des indicateurs de pollution en l'occurrence: La DCO, les phosphates, les nitrites, les nitrates et les sulfates.

Les plages de concentrations de chaque paramètre sont indiquées dans le tableau suivant:

Tableau.4: Plage de mesure des différents indicateurs de pollution

Paramètres	Programme	Valeur limite inférieur (mg/L O ₂)	Valeur limite supérieur (mg/L O ₂)
DCO	LCK 514	100	10 000
Phosphates	LCK 348	1.5	15
Nitrites	LCK 341	0.05	2
Nitrates	LCK 340	22	155
Sulfates	LCK 353	150	900

Si le spectrophotomètre indique une valeur supérieure à la valeur limite, on procède à la dilution de l'eau à analyser par l'eau distillée.

1. Mesure de la demande biochimique en Oxygène 'DBO₅'

La DBO₅ est déterminée par la méthode respirométrique selon la norme dans les *Annexes 2 et 3*.

2. Détermination de la teneur en Chlorures

La méthode d'argentimétrie est utilisée pour le dosage des chlorures contenues dans les échantillons à analyser, elle est basée sur le titrage des ions Cl^- par le nitrate d'argent en utilisant le bichromate de potassium comme indicateur et ce selon la méthode API (recommended practice for analysis of OIL FIELD waters) (*Annexe.2 et Annexe.3*).

3. Analyse des métaux lourds par absorption atomique

La détermination de la concentration des différents métaux lourds analysés dans ce travail a été effectuée par dosage spectro-photométrique (SAA), selon la loi de **Beer-Lambert** (*Annexe.2*).

4. Mesure de l'indice hydrocarbure 'HC' par GC-FID

Elle est utilisée pour déterminer les hydrocarbures présents dans les eaux de surface, les eaux résiduaires et les eaux des stations d'épuration selon la norme **ISO 9377-2**. Cette méthode est conçue pour l'analyse quantitative des hydrocarbures compris entre le ' C_{10} ' et le ' C_{40} ' présents dans l'échantillon.

L'eau huileuse acidifiée à $pH = 2$, doit passer par plusieurs étapes avant d'être analysée, en l'occurrence :

1. Préparation du solvant d'extraction (solution d'hexane + agent de référence) ;
2. Extraction des hydrocarbures ;
3. Séparation de la phase organique ;
4. Purification de la phase organique et élimination des molécules polaires et des traces d'eau par les sulfates de magnésium et les sulfates de sodium ;
5. Concentration des hydrocarbures et évaporation de l'hexane à l'aide de l'azote liquide jusqu'à avoir un volume de 1ml.

L'échantillon est injecté dans l'instrument, ensuite transporté par un flux gazeux (Hélium) à travers une colonne capillaire imprégné de phase stationnaire immobile, choisies de telle sorte que les composants de l'échantillon ont des solubilités différentes dans chaque phase.

Après la séparation, les composants vont passer au détecteur pour être identifiés et quantifiés en sommant les concentrations des composés élués entre le décane ' $C_{10}H_{22}$ ' et le tétra-contane ' $C_{40}H_{82}$ '.

5. La Turbidité

La turbidité est définie comme l'expression de la diffusion et de l'absorption (par opposition à la transmission) de la lumière au travers d'un échantillon. Elle est provoquée par la présence des particules en suspension (colloïdes, algues, microorganismes, argile...). Le taux de lumière diffusée et absorbée est proportionnel à la concentration en particules dans la solution.



Fig. 34: Turbidimètre.

- **Mode opératoire**

- ✓ Après avoir étalonné le turbidimètre,
- ✓ On introduit dans une cuvette de l'eau distillée jusqu'au trait, puis à l'aide du papier hygiénique, on essuie les contours de l'échantillon à analyser pour enlever les gouttes d'eau et les traces des doigts,
- ✓ Ensuite on effectue rapidement la mesure (il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure),
- ✓ Enfin, on note après avoir lus le résultat affiché. (*Norme : 5 NTU, Annexe. 01*).

La turbidité est définie par un turbidimètre selon la méthode HACH.

6. Les matières en suspension 'MES'

L'eau est filtrée sous vide et le poids de matières retenues par le filtre de 0,45µm est déterminé par la méthode du double pesé selon la norme (*NF T90 105*).

7. Le potentiel d'Hydrogène 'pH'

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H⁺ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates.

Le pH-mètre est l'appareil mesurant le pH, il donne également la température de l'échantillon en °C. La lecture se fait directement sur l'écran de l'appareil.

- **Principe**

C'est une méthode potentiométrique utilisant une électrode de verre spécifique aux ions H⁺. La notion de pH qui traduit «l'acidité» d'une solution rend compte de la concentration en ions H⁺ (H₃O⁺) de la solution grâce à la relation suivante :

$$pH = -\log [H_3O^+] \quad (20)$$

Un pH-mètre est composé d'un millivoltmètre électronique relié à deux électrodes rassemblées dans la sonde. Il mesure la tension (différence de potentiel) entre ces deux électrodes. Celle-ci est directement liée au pH de la solution dans laquelle la sonde est immergée.



Fig. 35: Le pH mètre.

Deux type de pH mètre sont utilisée. En ce qui concerne sur le site c'est un pH mètre portatif, par contre celui du laboratoire est un pH mètre de type *INOLAB 7*.

8. La température

La température de l'eau, est un facteur qui agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes (Benkaddour., 2015).



Fig. 36: Un thermomètre de laboratoire.

IV. MATERIELES ET METHODES UTILISES POUR LE TRAITEMENT

A. Produits chimiques utilisés

Les produits chimiques utilisés durant cette étude sont de qualité analytique, ils ont été utilisés sans purification préalable.

Le photo-catalyseur commercial utilisé dans ce travail est le '*TiO₂ Degussa P25*' connu comme le photo-catalyseur le plus utilisé dans le traitement photo-catalytique grâce à sa photo efficacité élevée. Il possède une surface spécifique d'environ de 50 m²/g et une mixture de deux phase cristalline (80% d'Anatase et 20% de rutile) (Anonyme.2).

En plus de ces propriétés:

- Il est thermiquement stable ;
- La photo-cyclisation des intermédiaires est minimisée ou complètement évitée ;
- La minéralisation des substrats est toujours complète jusqu'à l'obtention du CO₂ ;
- Peu coûteux ;
- Moins polluant ;
- Peut être fixé sur des supports convenables ;
- Peut-être excité par la lumière solaire, qui peut absorber de 2 à 5% de l'intensité totale du rayonnement solaire ;
- Solutions de HNO₃ à 1N et NaOH à 1N pour l'ajustement du pH.

B. Appareillage

1. Détermination du carbone organique totale 'COT' (selon la norme ISO 8245)

Le carbone organique totale (COT) est un des paramètres les plus importants du point de vue de la caractérisation des eaux polluées. la mesure du carbone organique total est réalisée par un analyseur de carbone organique total de marque 'SKALAR'.

Il utilise la technique d'oxydation thermique sur support catalytique à haute température (jusqu'à 850°C) qui permet la combustion complète de l'échantillon dans un environnement riche en oxygène, on utilisant un tube rempli du catalyseur a base de platine.

Le dioxyde du carbone produit est ensuite détecté par IR. Le COT peut être déterminée par deux méthodes:

Direct

L'échantillon est attaqué avec HCL à 2M pour éliminer le carbone inorganique puis une quantité de solution acidifier est introduite dans la chambre de combustion pour la conversion en CO₂ qui sera envoyé au détecteur pour déterminer la quantité du COT.

Indirect

L'échantillon est prélevé et introduit dans la chambre de combustion via un port d'injection. Une quantité est convertie complètement en CO₂ pour déterminer la concentration en CT (carbone Totale), la deuxième quantité est attaquée avec H₃PO₄ et le CO₂ est obtenue par soustraction de la valeur de 'CT' et de 'CI' de l'échantillon. C'est cette méthode qui sera utilisés pour le suivi de la minéralisation au cours du traitement photo-catalytique.

2. Analyse qualitative par GC

Concernant l'extraction liquide-liquide pour la détermination de [HC], l'hexane a été choisi comme solvant d'extraction. Les étapes à suivre sont les mêmes décrites précédemment sauf que:

- **Pour la concentration:** L'échantillon doit être concentré par l'azote jusqu'à 0,1 ml ;

- **La colonne utilisée** dans cette méthode est une colonne capillaire de 30 m de longueur, elle est à 100% diméthylsiloxane ;
- **La méthode:** Afin de détecter le maximum de composant on procède comme suit: commençant par une température $T=60^{\circ}\text{C}$ pendant 5min, une rampe de 4°C jusqu'à 300°C fixé pendant 5min ;
- **La sensibilité** de l'appareil est réglée selon l'abondance des hydrocarbures.

C. Méthodologie

Les expériences ont été réalisées sous irradiations solaires dans des béchers en Pyrex de 1000 ml ouverts à l'atmosphère (*fig.37*). Les solutions à traiter en présence du photo-catalyseur en suspension ont été agitées pendant 15 mn à l'obscurité afin de permettre l'établissement de l'équilibre d'adsorption des polluants sur le photo-catalyseur puis exposées à la lumière solaire pendant les jours ensoleillés(*fig.38*).



Fig.37 : Montage expérimental.

La masse de photo-catalyseur, le pH et la température de la solution varient au cours du travail selon l'objectif de l'expérience.

Chaque expérimentation a été réalisée sous agitation afin d'homogénéiser la solution à dégrader pour éviter tout phénomène de décantation et faciliter l'adsorption et la désorption des molécules sur la surface du catalyseur.

Des prélèvements du milieu réactionnel ont été effectués à l'aide d'une seringue et filtre seringue, à intervalle de temps régulier (1h) sur toute la durée de l'expérimentation pour la mesure du C.O.T et à la fin de l'expérience pour la mesure des hydrocarbures totaux et de la turbidité.

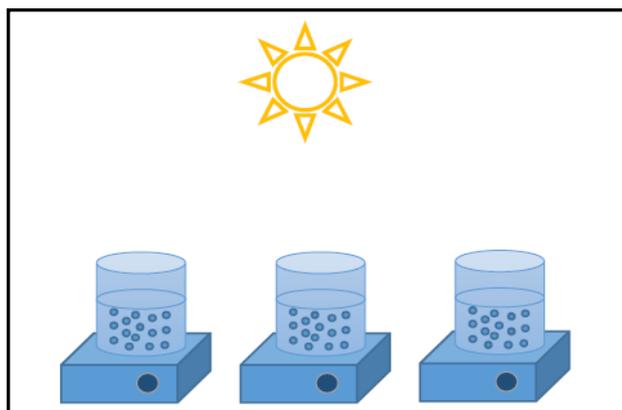


Fig.38 : Schéma du montage des tests photo-catalytiques sous irradiation solaire.

V. CONCLUSION

Les instruments d'analyse sont généralement complexes, coûteux et souvent difficiles à mettre en œuvre. Ils sont aussi le plus souvent volumineux et tributaires de sources d'énergie relativement importantes, donc peu adaptés à l'analyse sur site.

Ils sont enfin affligés de temps de réponse souvent très longs (préparation des échantillons, étalonnage, durée de l'analyse proprement dite, sortie des données, etc.).

En revanche, avantage capital: la conception de ces instruments d'analyse permet d'obtenir une analyse complète du milieu.

Les progrès incessants des techniques analytiques permettent d'améliorer la connaissance des constituants des eaux et de leurs effets.

Les normes de qualité sont de plus en plus sévères, les traitements de plus en plus sophistiqués et le contrôle demande à être d'autant plus précis et fiable.

Chapitre 7 :
Résultats et Discussions

Septième Chapitre : **RESULTATS ET DISCUSSIONS**

I. INTRODUCTION

Les eaux huileuses font partie des rejets opérationnels des unités de séparation du brut. Cependant, leurs impacts sur les écosystèmes, de par leur teneur en polluants organiques et métaux lourds, ne sont pas pour autant négligeables.

La station de déshuilage de Hassi R'mel Centre, Nord et Sud a pour objectif de traiter les eaux de rejets industriels des CTH et de la zone industrielle.

L'objectif de la première partie du travail est l'évaluation de la performance de l'unité de déshuilage. La deuxième partie aura pour objectif d'étudier la faisabilité d'application de traitement par photocatalyse solaire aux eaux contenant des hydrocarbures (les eaux de l'unité).

Dans ce chapitre, nous exposerons les résultats et discussions des analyses effectuées:

1. Pour l'évaluation de performance de traitement de l'unité de déshuilage nous allons:

- Caractériser l'échantillon de l'eau d'entrée de la station en analysant plusieurs paramètres physico-chimiques et la teneur en métaux lourds ;
- Evaluer le rendement de traitement de l'unité par:
 - La caractérisation de l'eau de rejet ;
 - Comparaison avec la norme de rejet.

2. Pour l'étude de l'application du traitement par photocatalyse:

- Analyse des paramètres de l'eau de rejet de point de vue leur influence sur le traitement ;
- Test de dégradation de la matière organique par photocatalyse solaire ;
- Optimisation des paramètres opératoires ;
- Caractérisation de l'eau après traitement ;

II. ANALYSE DE PERFORMANCE DE L'UNITE DE DESHUILAGE

A. Caractérisation des échantillons de l'eau à épurer

Six échantillons d'eau sont prélevés le 14/02/2020 du CPI en amont de l'unité (après traitement physique), la caractérisation de ces échantillons a révélé les résultats suivants:

1. Résultats d'analyses physico-chimiques

Les résultats des analyses des paramètres physico-chimiques des eaux prélevées en amont de l'unité sont illustrés dans le tableau suivant:

Tableau. 5 : Résultats d'analyse physico-chimiques des eaux prélevées à l'entrée de l'unité de déshuilage.

Paramètres	Entrée Station Centre	Entrée Station Sud	Entrée Station Nord	Valeurs limites selon la norme
pH	5.2	4.0	5.1	6.5 – 8.5
T (°C)	27	27	28	30
Turbidité (NTU)	44.6	97.6	19.7	/
MES (mg/L)	296	1438	2240	35
DCO (mg/L O ₂)	8100	2560	7420	120
DBO ₅ (mg/L O ₂)	364	176.8	382.4	35
DCO/DBO ₅	67.68	33.33	95.50	/
IH (mg/L)	88.995	53.66	37.725	10
COT	1440	1278	1023	/
Nitrates (mg/L)	< VL	< VL	< VL	/
Nitrites (mg/L)	0.43	0.28	0.15	/
Phosphates (mg/L)	2.101	2.416	0.971	10
Sulfates (mg/L)	< VL	< VL	< VL	/
Chlorures (mg/L)	9153	9861	8973	/
Couleur	Orange	Orange	Orange	/
Conductivité (mg/L)	9.82	17	5.97	/

Avec :

VL : Valeur limite selon la norme.

2. Teneur en métaux lourds

Les résultats d'analyses effectués des métaux lourds contenant dans l'eau à l'entrée de l'unité de déshuilage sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau. 6 : Résultats des teneurs en métaux lourds des eaux prélevées à l'entrée de l'unité de déshuilage.

Paramètres	Entrée Station Centre	Entrée Station Sud	Entrée Station Nord	Valeurs limites selon la norme
Cd (mg/L)	0.951	< LQ	< LQ	0.2
Mn (mg/L)	12	9.04	8.95	1
Cu (mg/L)	0.238	0.214	0.201	0.5
Cr (mg/L)	0.124	0.110	0.068	0.5
Fe (mg/L)	91.2	68.7	74.1	3
Pb (mg/L)	< LQ	< LQ	< LQ	0.5
Zn (mg/L)	0.434	0.521	0.642	3

Avec :

LQ : Limite de quantification de l'appareil.

3. Quelques Désignations et Discussion

3.1. Caractères organoleptiques

La couleur et l'odeur de l'eau sont des caractères qui doivent être appréciés au moment du prélèvement (Rodier. & al., 2009), l'eau présente une couleur apparente orange due à la suspension de l'oxyde de fer.

D'autre part, l'échantillon d'eau huileuse à l'entrée de la station avait une odeur déplaisante similaire à l'odeur de l'essence, ceci est dû aux hydrocarbures qu'elle contient.

3.2. Température

La température de l'eau en amont a été prise in-situ à des heures différentes de la journée (8h et 16h). La valeur exprimée dans le tableau.5 est la moyenne des valeurs de température enregistrées.

3.3. Le potentiel d'Hydrogène 'pH'

De même que la température, la mesure du pH a été effectuée in-situ à des heures différentes de la journée. Le résultat montre que l'eau à traiter est caractérisée par un pH légèrement acide.

La valeur du pH mesurée au laboratoire n'a pas présentée une différence notable de celle mesurée in-situ, de même pour les caractères organoleptiques qui n'ont pas changé.

3.4. La DCO et DBO₅

La valeur de la demande chimique en oxygène (DCO) est très élevée pour les échantillons d'eau, ce qui traduit leur forte teneur en éléments carbonés susceptibles d'être oxydés chimiquement. Quant à la DBO₅ d'eau huileuse, elle varie notablement.

3.5. Indice de biodégradabilité

Evaluer l'aptitude d'une eau usée à se biodégrader présente un intérêt primordial pour le traitement des eaux de rejets. C'est en effet, cette plus ou moins grande aptitude à la biodégradation qui va conditionner le choix du procédé de traitement :

- $DCO/DBO_5 < 3$: Effluent facilement biodégradable,
- $3 < DCO/DBO_5 < 5$: Effluent moyennement biodégradable,
- $DCO/DBO_5 > 5$: Effluent difficilement biodégradable, voire non biodégradable.

L'eau huileuse à un indice de biodégradabilité très élevé, l'eau d'entrée est donc loin d'être biodégradable (Rodier. & al., 2009).

3.6. Teneur en 'HC'

L'eau contient une quantité d'hydrocarbures élevée, cela est évident vu leur origine, le résultat montre une grande concentration des hydrocarbures dans l'eau prélevée. Ceci est du forcément à une mauvaise séparation huile/eau dans les Centres de traitement des hydrocarbures.

3.7. MES / Turbidité

Les MES sont les majeurs responsables de la turbidité. Pour les trois échantillons on constate un taux élevé d'MES très important dans l'eau et une valeur de turbidité élevée.

3.8. Teneur en Nitrates/Nitrites/Phosphates et Sulfates

L'eau huileuse étudiée contient une concentration très faible en nitrates. Les phosphates, les sulfates et les nitrites sont considéré comme absent dans cette eau.

3.9. Teneur en Chlorures

L'eau huileuse présente une concentration élevée en chlorures, du fait de sa provenance.

3.10. Les métaux lourds

L'analyse des métaux lourds de l'eau d'entrée de la station a décelée la présence de : Fer, Manganèse et Cadmium en grande concentration ; de faible teneur en : Zinc, Cuivre et Chrome, et une absence du Plomb dans l'eau prélevé du 14/02/2020.

Ces derniers ont une concentration moins faible voir absente dans le 2^{ème} et le 3^{ème} échantillon. La présence de ces métaux dans cette eau pourrait être due soit : au composé organométallique présent dans le brut, soit aux caractéristiques des eaux de production ou aux installations (cas du Fer).

D'après les résultats obtenus, il est à remarquer que les propriétés physico-chimiques, la teneur en métaux lourds et en polluants varient considérablement dans l'eau d'entrée et ce vu l'origine de cette eau. Les eaux arrivant à la station de déshuilage sont de même nature à vue d'œil et qualitativement parlant.

En effet cette eau provient des gisements de la région de Hassi R'mel. Or ses propriétés varient qualitativement du jour en jour selon l'efficacité de la séparation dans les Centres de traitement des hydrocarbures ce qui pourra perturber l'efficacité de traitement.

III. EVALUATION DE L'EFFICACITE DU TRAITEMENT DE L'UNITE DE DESHUILAGE

A. Caractérisation de l'eau de rejet

1. Résultats d'analyses physico-chimiques

L'eau de rejet est prélevée en aval de l'unité, après avoir subir les différentes étapes de traitement décrite précédemment. Les résultats d'analyses physico-chimiques et métaux lourds obtenues sont représentés dans le tableau.7. On notera eau de sortie, l'échantillon d'eau prélevée le 14/02/2020 à la sortie de l'unité de déshuilage.

Tableau. 7 : Résultats d'analyse physico-chimiques des eaux prélevées à la sortie de l'unité.

Paramètres	Sortie Station avant filtre Centre	Sortie Station avant filtre Sud	Sortie Station avant filtre Nord	Valeurs limites selon la norme
pH	4.9	4.0	5.4	6.5 – 8.5
T (°C)	27	26	26	30
Turbidité (NTU)	28.4	37.8	7.5	/
MES (mg/L)	252	1252	2202	35
DCO (mg/L O₂)	4380	1911	1940	120
DBO₅ (mg/L O₂)	152.1	86.5	127.2	35
DCO/DBO₅	84.07	72.11	71.32	/
IH (mg/L)	9.166	16.5	7.245	10
COT	440	521	387	/
Nitrates (mg/L)	< VL	< VL	< VL	/
Nitrites (mg/L)	0.35	0.27	0.28	/
Phosphates (mg/L)	1.674	1.942	0.202	10
Sulfates (mg/L)	< VL	< VL	< VL	/
Chlorures (mg/L)	6417	8204	8112	/
Couleur	Orange	Orange	Orange	/
Conductivité (mg/L)	9.82	9.76	9.51	/

Avec :

VL : Valeur limite selon la norme.

D'autre part, les caractéristiques des eaux de rejet doivent satisfaire les valeurs limites fixées dans le décret exécutif n° 06-141 du 19 Avril 2006 concernant les eaux de rejets industriels présentés également dans le tableau.8 pour traitement efficace.

2. Teneur en métaux lourds

Le tableau ci- dessous, rassemble les résultats obtenus d'analyse des métaux lourds:

Tableau. 8 : Résultats des teneurs en métaux lourds des eaux prélevées à la sortie de l'unité de déshuilage.

Paramètres	Sortie Station avant filtre Centre	Sortie Station avant filtre Sud	Sortie Station avant filtre Nord	Valeurs limites selon la norme
Cd (mg/L)	0.511	< LQ	< LQ	0.2
Mn (mg/L)	90.1	7.04	6.9	1
Cu (mg/L)	0.198	0.126	0.110	0.5
Cr (mg/L)	0.104	0.098	0.048	0.5
Fe (mg/L)	65.4	54.3	48.1	3
Pb (mg/L)	< LQ	< LQ	< LQ	0.5
Zn (mg/L)	0.287	0.395	0.356	3

IV. REPRESENTATION DES RESULTATS D'ANALYSES A L'ENTREE ET SORTIE DE L'UNITE DE DESHUILAGE

A. Interprétation des résultats et discussion

Afin de mieux illustrer les résultats d'analyses les figures ci-dessous présentent les différents paramètres d'analyses des eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité de déshuilage (Centre, Sud et Nord).

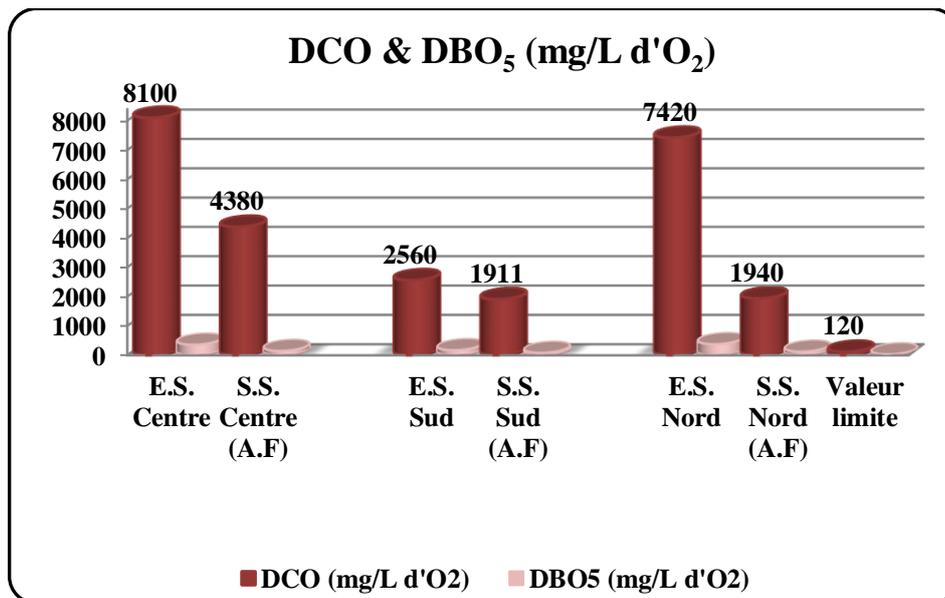


Fig.39: Variation de la DCO et DBO₅ dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.

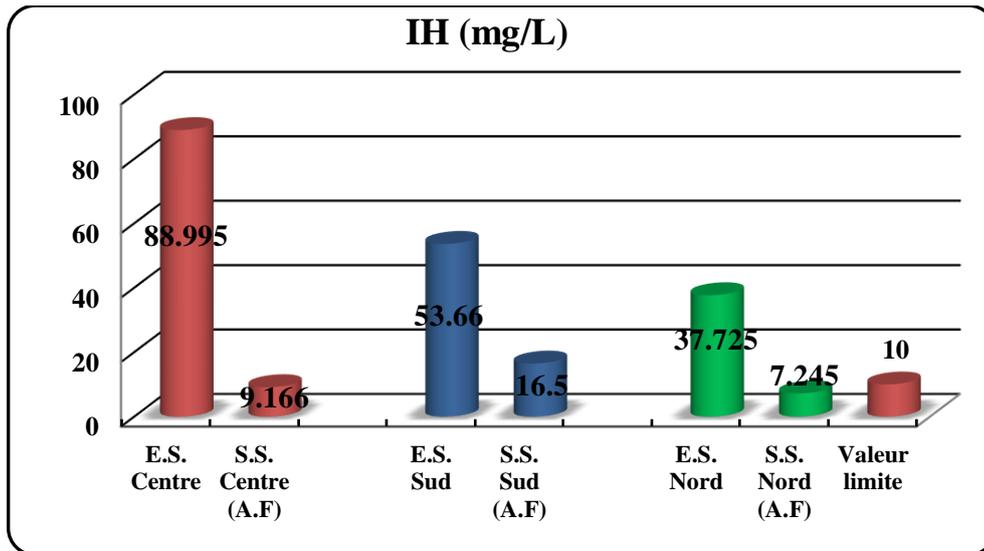


Fig.40: Variation de l'indice des hydrocarbures dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.

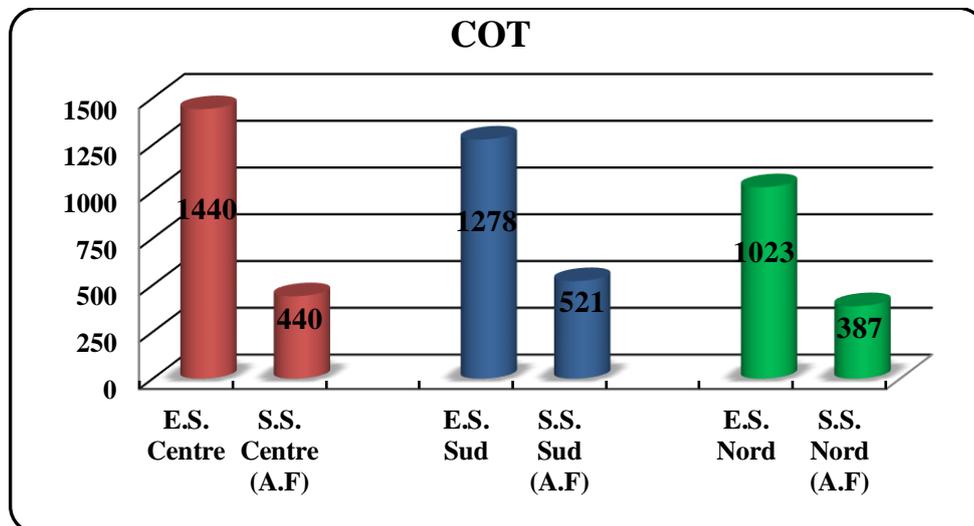


Fig.41: Variation du carbone organique total dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.

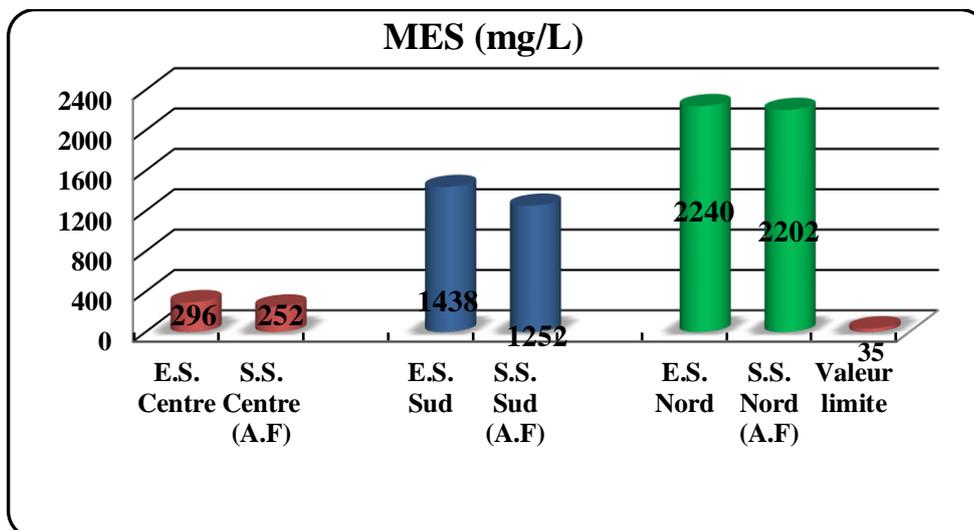


Fig.42: Variation des MES dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.

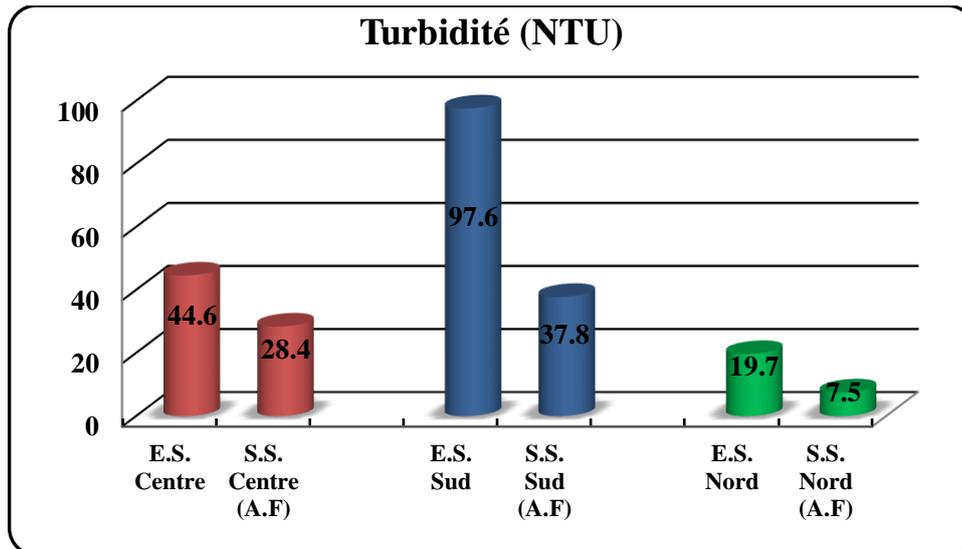


Fig.43: Variation de la turbidité dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.

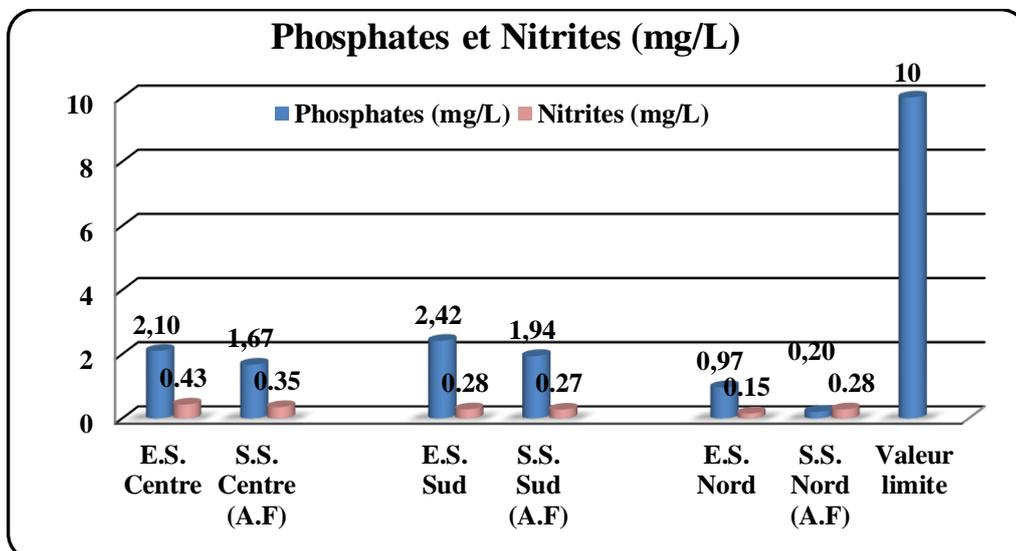


Fig.44: Variation des Phosphates et des Nitrites dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.

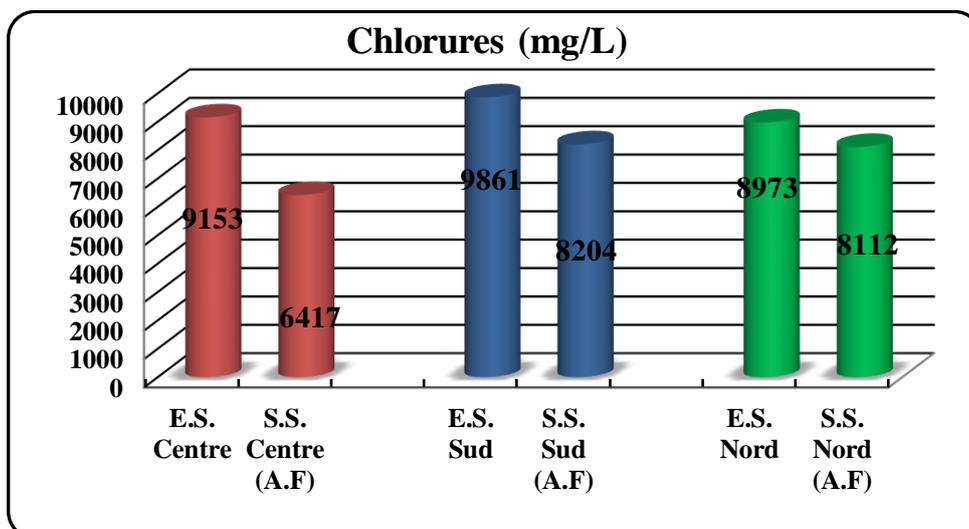


Fig.45: Variation des Chlorures dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.

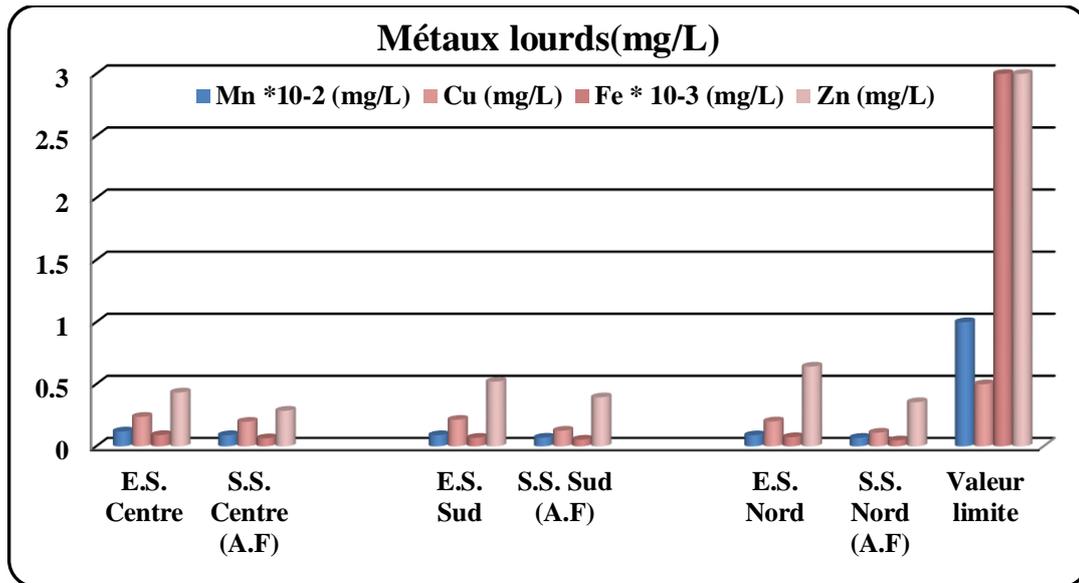


Fig.46: Variation des métaux lourds dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.



Fig.47: Les eaux de l'unité de déshuilage Centre: (a) eau prélevés à l'entrée de la station, (b): eau prélever à la sortie de la station.

1. Interprétation des diagrammes

L'interprétation des diagrammes précédents et des résultats d'analyses réalisées montre que certains paramètres sont conformes aux normes nationales alors que d'autre ne le sont pas:

1.1. Odeur et couleur

Toute odeur est un signe de pollution ou la présence de matières organiques en décomposition (Rodier. & al., 2009).

Même après traitement l'eau de rejet garde son odeur semblable à une odeur d'essence. Sa couleur s'est dégradée légèrement.

1.2. Température

Les valeurs de la température enregistrées sont inférieures à la norme limite fixée qui est de 30°C.

1.3. Le potentiel d'Hydrogène 'pH'

L'analyse du pH montre que l'eau est peu acide, il se situe au-dessous de limites inférieure des rejets directs autorisés.

1.4. La DCO, DBO₅ et Indice de biodégradabilité

La valeur de la DCO reste très élevée même après traitement, avec des faibles valeurs de DBO₅, on a un rapport de biodégradabilité très élevés car ces matières ne sont par biodégradable.

1.5. Teneurs en hydrocarbures

En ce qui concerne la pollution par les hydrocarbures, le taux a baissé pour atteindre des valeurs conformes à la norme.

1.6. MES et turbidité

La quantité de matières en suspension (MES) après traitement reste très élevé et dépasse nettement la norme avec des valeurs de turbidité élevés.

1.7. Teneurs en Nitrites, Nitrates, Phosphates, Sulfates et Azotes

Sont en très faible quantité et parfois en proportions quasiment négligeables.

1.8. Teneurs des Chlorures

L'eau huileuse présente une concentration élevée en chlorures suite à sa provenance.

1.9. Les métaux lourds

On remarque que la teneur en Fer est toujours très élevée et dépasse la valeur limite qui est 3 mg/L. La teneur des autres métaux lourds après traitement oscille entre conformité et non-conformité mais comparant aux teneurs dans l'eau à l'entrée, les résultats n'ont pas montré une diminution significative.

2. Discussion

Au vu des analyses de l'eau de la station de déshuilage (Centre, Nord et Sud) avant et après traitement, il est à constater que l'efficacité de traitement est démontrée pour l'abattement de l'indice d'hydrocarbures, ce qui peut être le facteur principal à vérifier pour le cas d'une station de déshuilage.

En effet, la quantité des hydrocarbures non dissoute à baissée d'environ 90%, mais le carbone organique totale est très élevé donnant une DCO élevé ; sachant que la DCO, les MES et les métaux lourds sont aussi importants à suivre et à contrôler pour les maintenir au-dessous des normes de rejet dans le cas où cette eau sera déversée directement dans le milieu naturel.

Pour ce qui suit, nous allons étudier la faisabilité d'une méthode alternative de traitement des eaux sur nos échantillons d'eau huileuse, bien connue pour son efficacité de dégradation des composés organiques et à la réduction des cations métalliques.

V. APPLICATION DU TRAITEMENT PAR PHOTOCATALYSE

Les eaux de la station de déshuilage est un bon échantillon représentant les eaux des industries pétrolières pour l'étude de leur traitement par photocatalyse solaire et UV, et ce pour leur origines et compositions.

A. Analyse des caractéristiques physico-chimiques de l'échantillon

1. Le potentiel d'Hydrogène 'pH'

La dégradation photo-catalytique de composés organiques ionisés est très affectée par le pH (Aloui., 2010). Le pH de l'eau huileuse est proche du pH_{pzc} TiO_2 .

Les anions dissous: L'eau huileuse présente une forte teneur d'anions dissous majoritairement les chlorures.

2. Le Fer 'FeIII'

Peut augmenter le taux de dégradation des polluants organiques par le piégeage des électrons photo générés par les particules de TiO_2 et il peut également augmenter la qualité de radicaux hydroxyles à travers les réactions de Photo-Fenton (Herrmann., 1999).

3. L'Oxygène dissous 'O₂'

La présence d'oxygène dans la solution est un facteur favorable dans la mesure où il limite les risques de recombinaison trou/électron (Aloui., 2010).

L'oxygène dissous (analysé in-situ) est de l'ordre de 9,5 mg/L. De plus, en travaillant dans un espace ouvert l'apport d'oxygène est toujours assuré par l'air.

4. Les métaux lourds

Certains métaux peuvent se précipiter sous la forme d'hydroxydes ou alors s'adsorber sur la surface du catalyseur en réduisant de fait la vitesse de dégradation photo-catalytique (Herrmann., 1999).

5. Turbidité

La présence de ces matières en suspension peut causer une interférence avec l'intensité du rayonnement UV. C'est pourquoi, il est conseillé de filtrer l'eau à traiter

avant le réacteur photo-catalytique si celle-ci présente une turbidité excessive (Aloui., 2010). Selon les résultats obtenus, il n'est pas nécessaire de filtrer l'eau.

B. Test de dégradation de la matière organique par photocatalyse solaire

La photocatalyse hétérogène est une méthode qui permet une minéralisation totale des polluants organique en solution. L'évolution du carbone organique totale nous donne une bonne information sur la minéralisation des hydrocarbures contenant dans les eaux huileuses de la station de déshuilage.

1. Déroulement de l'expérience

L'expérience est réalisée dans un bécher de 1000 ml, le volume de la solution irradié est 500 ml, et la masse de TiO_2 est de 1g (concentration de 2 g/L). La solution est à pH naturel et à température ambiante.

La photolyse de la solution (en absence de photo-catalyseur) a été faite en parallèle afin d'évaluer la contribution de la photolyse directe sous la même intensité solaire. Il est à noter que durant ces tests l'ensoleillement diffère d'une journée à une autre et même durant la journée, ce qui peut influencer sur l'irradiation et par suite influencer l'activation du semi-conducteur et donc la vitesse et le taux de minéralisation.

La cinétique de minéralisation des polluants organiques solaire contenus dans l'eau à traiter par photolyse et par photocatalyse est donnée par la figure suivante :

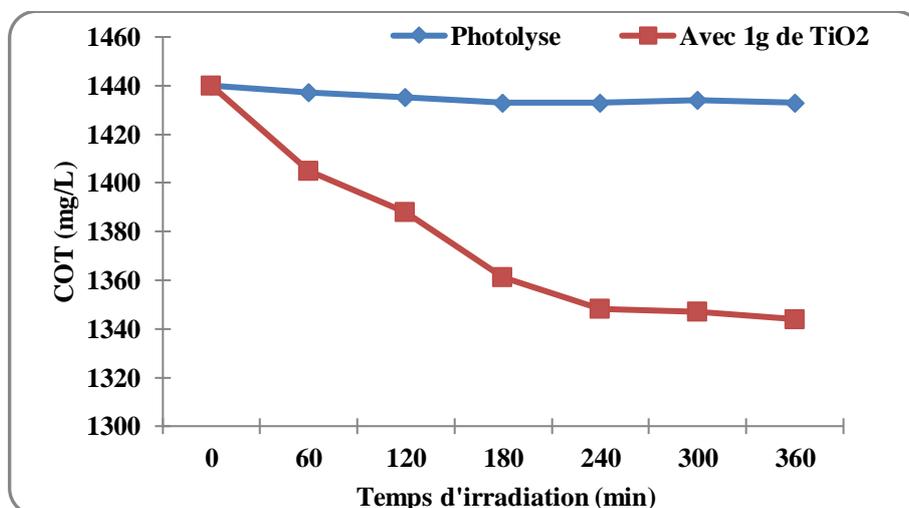


Fig.48: Evolution du COT en fonction du temps d'irradiation.

D'après la figure.48, on remarque que la concentration en carbone organique totale atteint 1340 mg/L après 5h d'irradiation et par photocatalyse, ce qui correspond à un rendement de dégradation de 55% dans le cas de la photolyse directe.

L'allure de la cinétique de minéralisation des polluants organiques indique une minéralisation rapide pendant la première heure, le carbone organique totale continue de diminuer après, mais moins rapidement.

De ce fait, le suivi de la dégradation catalytique par voie solaire des eaux huileuses est réalisable dans les conditions de travail (7 heures par jour dont 5 à 6H max d'ensoleillement). Donc l'étude est réalisable en optimisant encore mieux les autres paramètres influençant le processus de la dégradation dans ce qui suit.

C. Optimisation des paramètres opératoires

1. Influence de la masse et du temps

Dans cet essai, différentes solutions d'eau à traiter ont été préparées de différentes concentrations de TiO_2 en suspension: 0,5; 1 et 2 g/L: l'évolution du carbone organique totale de ces solutions en fonction du temps d'irradiation est représentée dans la figure.49.

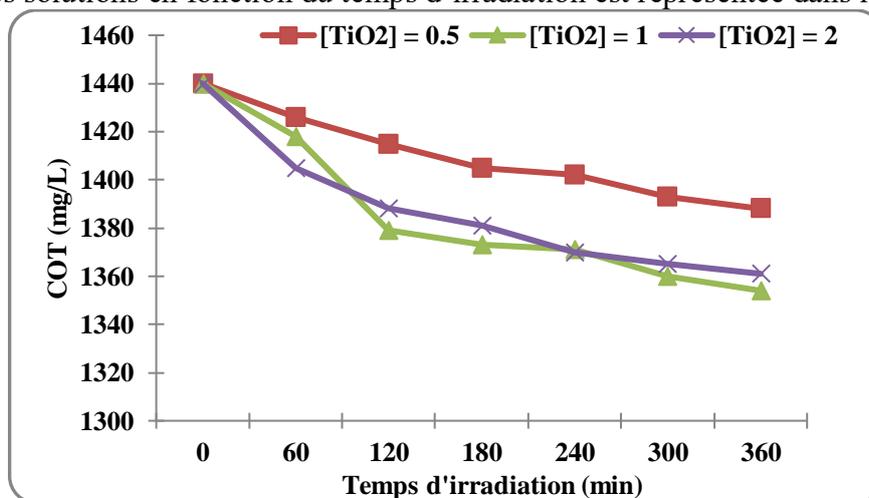


Fig.49: Evolution du COT en fonction du temps d'irradiation pour différentes valeurs de concentration de TiO_2 .

La figure.49 qui représente l'évolution du carbone organique totale en fonction du temps d'irradiation pour diverses concentrations de 0,5g/L, 1 g/L et 2 g/L ; montre que le COT décroît avec la masse de TiO_2 jusqu'aux concentrations respectives de 1388 mg/L, 1354 mg/L et 1361mg/L. Ce qui donne une dégradation de 28,57%; 50,37% et 55,1% en effet la photocatalyse est un processus catalytique l'augmentation de la masse du semi-conducteur augmente la surface de contact assurant une bonne absorbance de photo ce qui favorise la dégradation. Cependant, il est à constater que l'utilisation de 2g/L de dioxyde de titane n'apporte pas une grande amélioration en effet elle diminue la concentration de carbone organique totale environ 5% seulement de plus dans le cas de l'utilisation de 1g/L. D'autre part la dégradation est plus lente plus le temps augmente.

A partir de tous ces résultats, les expériences qui suivent seront effectuées en utilisant 1g/L de TiO_2 .

2. Influence du pH initial de la solution

Nous avons étudié l'effet du pH sur la dégradation photo-catalytique des polluants organiques contenus de l'eau à traiter, dans une gamme de pH allant de 3 à 10. L'ajustement de la solution se fait par ajout d'acide nitrique (HNO_3) ou de soude (NaOH) à 1N. Les courbes obtenues sont représentées sur la figure.50 en utilisation une masse de 1g

de TiO_2 en suspension dans un (01) litre de solution d'eau à traiter pendant 4h d'irradiation solaire.

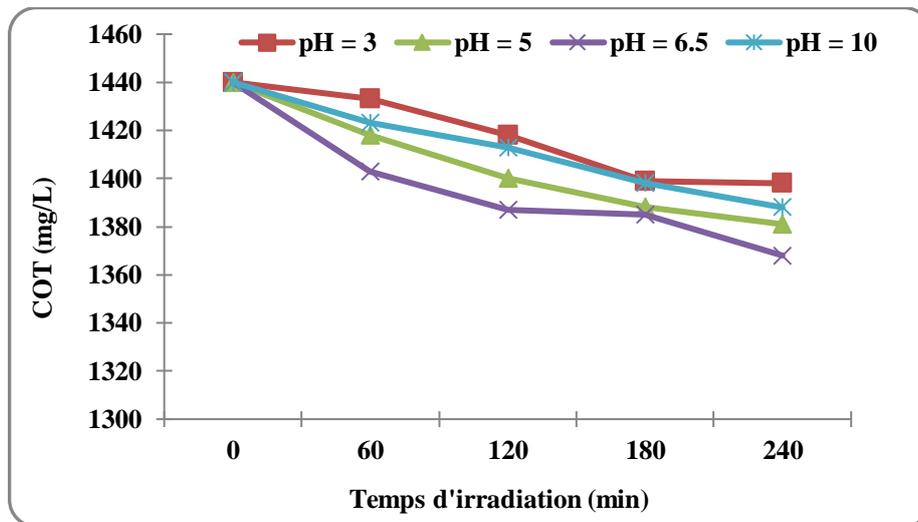


Fig.50: Evolution du COT en fonction du temps d'irradiation à des valeurs du pH variant de 3 à 10.

D'après les courbes représentant l'évolution du carbone organique totale en fonction du temps d'irradiation pour différentes valeurs de pH (*fig.50*), nous avons constaté que la meilleure dégradation est obtenue avec un pH neutre. En effet, la concentration du carbone organique totale diminue de 1440 g/L à 68 mg/L, ce qui traduit une dégradation de 44% durant 4h et diminue lorsqu'on avance vers les pH trop alcalis ou trop acide.

L'évolution du pH de surface peut affecter considérablement l'adsorption des composés. Ici les composés sont majoritairement neutres et auront davantage tendance à s'adsorber sur une surface également neutre. Car à ce pH (pH=6.5) le pH de la solution est égale au pH_i du photo-catalyseur qui aura une forme neutre (TiOH). De plus à pH plus élevé (relativement au pH initial), la concentration en ions hydroxydes OH^- est aussi plus importante (ajout d' NaOH). On peut alors s'attendre à une augmentation parallèle de la qualité de radicaux hydroxyles et donc de la vitesse de dégradation.

D'autre part, des études réalisées sur l'effet des anions contenant dans le milieu réactionnel (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , H_2PO_4^- ,.....), ont montré qu'à pH acide il y'aura lieu d'une compétition d'adsorption entre le sel inorganique et le composé organique à la surface oxydante (trous, radicaux OH^- , etc.). De plus, des mesures d'adsorption à partir de traceurs radioactifs, ont permis de montrer une adsorption préférentielle sur le TiO_2 à pH inférieur à pH_{pzc} des ions: $\text{H}_2\text{PO}_4^- > \text{HSO}_4^- > \text{Cl}^- > \text{ClO}_4^-$ (Cazoir., 2011), tenant compte que l'eau étudiée est riche en chlorures.

3. Influence de la température

La température est un facteur très important vu qu'elle a un effet sur les propriétés d'adsorption/désorption et peut de ce fait influencer indirectement les performances du processus, d'autre part et en prenant compte des températures élevées en période estivale la température des eaux usées en bac de décantation atteint des valeurs élevées.

Au cours de cet essai, nous avons suivi la concentration de carbone organique totale en fonction du temps d'irradiation en variant la température initiale de l'eau (22, 30, 40, 50 et 60°C) pendant 4h. Les résultats sont illustrés dans la *figure.51*.

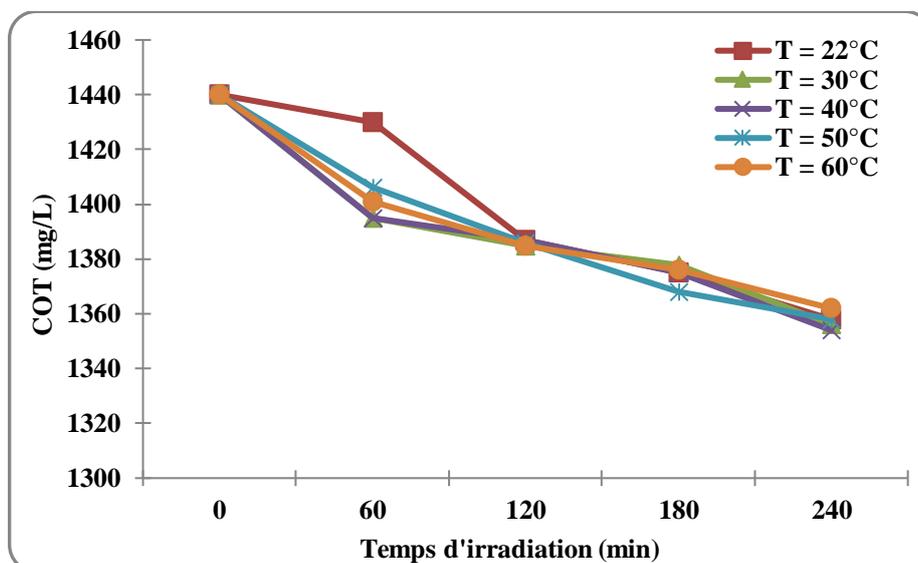


Fig.51: Evolution du carbone organique totale en fonction du temps d'irradiation à différentes températures (mTiO₂=1g, pH=6.5).

La cinétique de minéralisation de la solution et taux de dégradation de la matière organique sont faiblement influencés par la température, il est à remarquer que l'évolution du carbone organique totale est pratiquement la même à différentes températures.

La température donc n'affecte que très peu la cinétique de dégradation ce qui permet de travailler à température ambiante.

D. Influence des paramètres opératoires sur l'indice des hydrocarbures et la turbidité

Dans le cas de l'étude du traitement des eaux huileuse, les mesures au COT-mètre ont montré que ce paramètre évoluait de façon significative dans un délai de temps raisonnable.

Cependant l'essentiel de l'étude ne se portant pas sur l'intérêt de la photocatalyse en tant que technique de minéralisation uniquement, mais en tant que méthode pour l'abattement de l'indice d'hydrocarbure. Les résultats d'analyse du taux des hydrocarbures totale et la turbidité en fonction des paramètres opératoires (masse et pH) sont illustrés par les graphes suivants.

1. Influence de la masse de TiO₂

Les *figures.52 et 53*, montrent l'effet de la masse de TiO₂ sur l'abattement des hydrocarbures totaux et turbidité respectivement, à pH naturel et température ambiante.

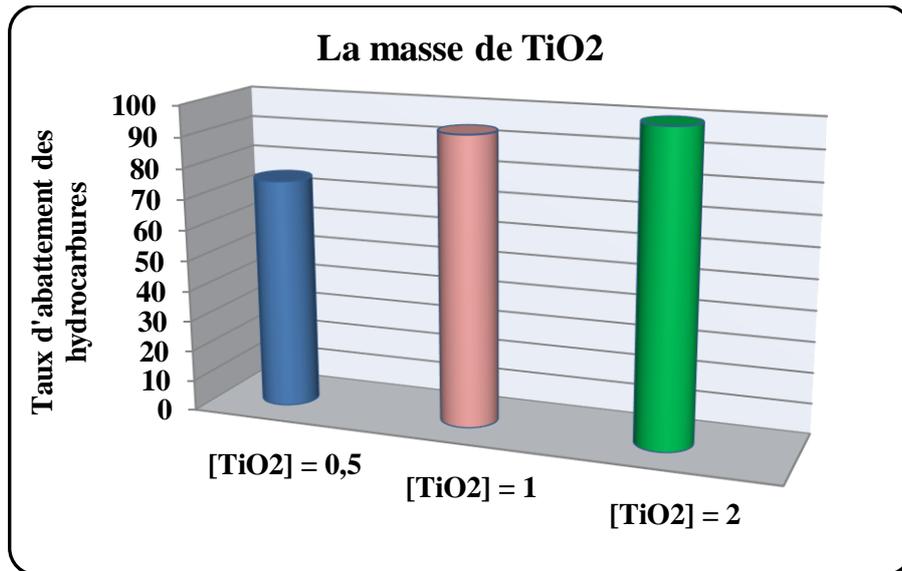


Fig.52: Influence de la masse de TiO₂ sur l'abattement du taux des hydrocarbures.

L'analyse de ces résultats montre que la dégradation est meilleure quand la masse du photo-catalyseur augmente, or il est constaté que l'abattement du taux des hydrocarbures en utilisant 1g de masse de TiO₂ est pratiquement similaire au cas d'utilisation de 2g.

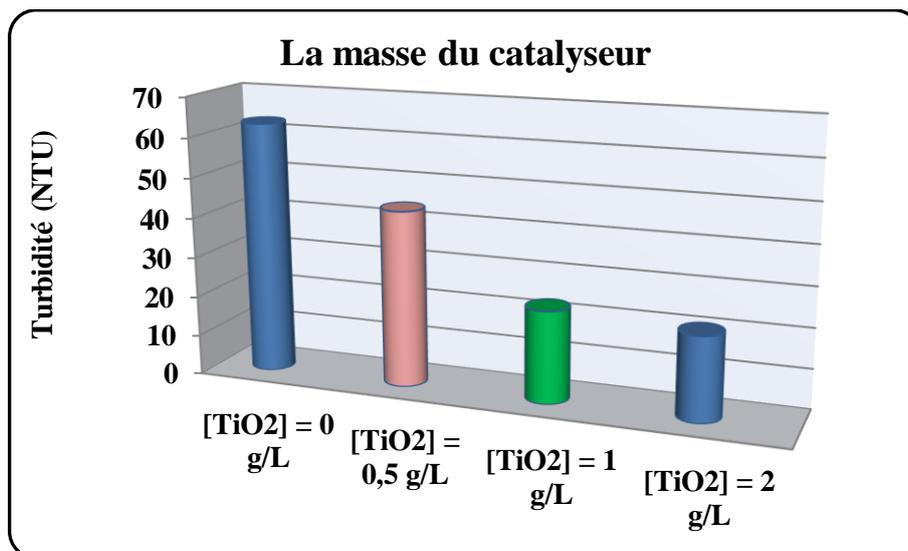


Fig.53: Influence de la masse de TiO₂ sur la turbidité.

La turbidité diminue en augmentant la masse du catalyseur et présente des valeurs proches à 1g et 2g du photo-catalyseur.

2. Influence du pH de la solution

Les résultats de la photo-dégradation sous irradiation solaire pendant 4h avec 1g/L de TiO₂, à température ambiante et à différents pH sont reportés dans la figure ci-dessous.

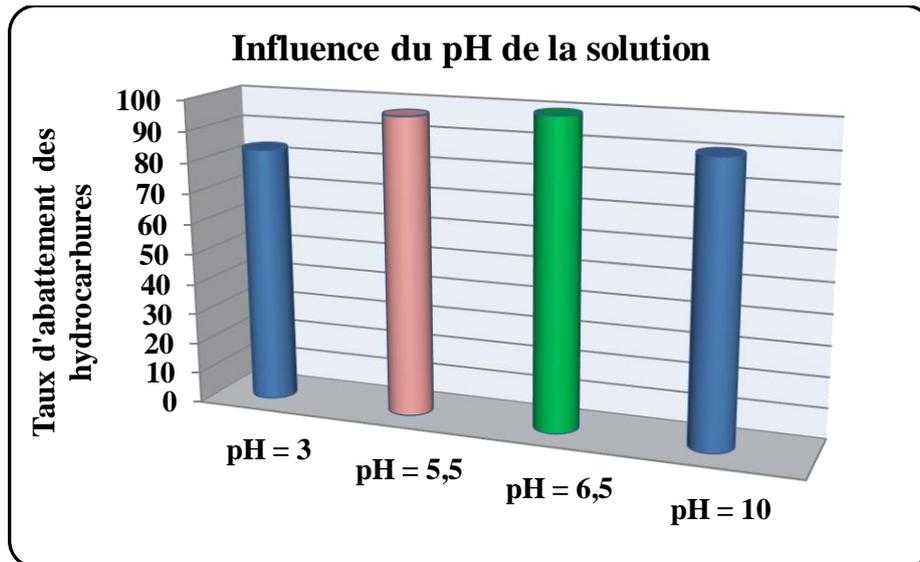


Fig.54 : Influence du pH de la solution sur l'abattement du taux des hydrocarbures.

D'après cette figure, il est évident que le pH de la solution est un paramètre clé dans la réaction de dégradation, des meilleurs résultats sont obtenus à pH=6,5 dont le taux de dégradation est de 99,62%.

La turbidité en fonction du pH de la solution contenant 1g/L de TiO₂ est illustré dans la figure suivante.

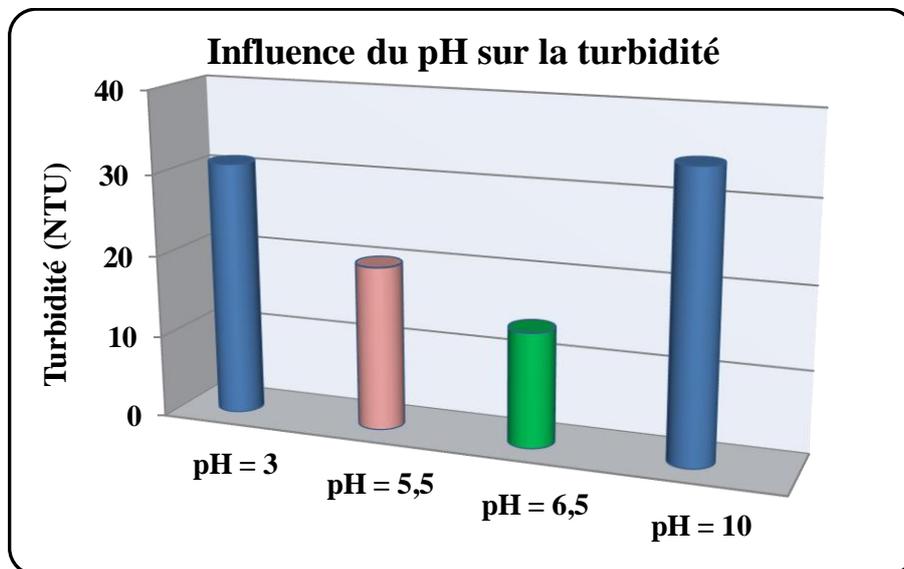


Fig.55 : Influence de pH de la solution sur la turbidité.

Le pH influe visiblement sur la turbidité, en augmentant la dégradation des hydrocarbures, la turbidité diminue.

E. Efficacité du traitement par photocatalyse solaire

1. Paramètres physico-chimique

Une fois les conditions optimisés, nous avons effectué les analyses physico-chimiques sur l'eau traitée ainsi que l'analyse des métaux lourds. Le tableau.9 présente les résultats des analyses effectués sur l'eau avant et après traitement réalisé dans les conditions suivantes:

- Temps: 4h ;
- Masse du photo-catalyseur: 1g/L ;
- pH: 6.5 ;
- Température: ambiante.

Le taux d'élimination des composants est calculé en appliquant la formule suivante:

$$P (\%) = (P_i - P_f) * 100 / P_i \quad (21)$$

Où :

P_i et P_f : Correspondent aux teneurs initiales et finales des paramètres étudiés.

Tableau. 9 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux avant et après traitement par photocatalyse solaire au niveau de l'unité Centre.

Paramètres	Unité	Avant photocatalyse (Centre)	Après photocatalyse (Centre)	Pourcentage D'élimination (%)
DCO	mg/L d'O ₂	8100	424	94.77
DBO5	mg/L d'O ₂	364	31	91.48
COT	mg/L	1440	71	95.07
IH	mg/L	88.995	0.42	99.53
Turbidité	NTU	44.6	5.1	88.57
MES	mg/L	296	26	91.22
Chlorures	mg/L	9153	3948	56.87
Nitrites	mg/L	0.43	0.02	95.35
Phosphates	mg/L	2.101	0.381	81.87
Couleur	-	Orange	Jaunâtre transparente	/

Tableau. 10 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux avant et après traitement par photocatalyse solaire au niveau de l'unité Sud.

Paramètres	Unité	Avant photocatalyse (Sud)	Après photocatalyse (Sud)	Pourcentage D'élimination (%)
DCO	mg/L d'O ₂	2560	114	95.55
DBO5	mg/L d'O ₂	176.8	13.1	92.59
COT	mg/L	1278	53	95.85
IH	mg/L	53.66	0.09	99.83
Turbidité	NTU	97.6	13.4	86.27
MES	mg/L	1438	116	91.93
Chlorures	mg/L	9861	3302	66.51
Nitrites	mg/L	0.28	0.01	96.43
Phosphates	mg/L	2.416	0.59	75.58
Couleur	-	Orange	Jaunâtre transparente	/

Tableau. 11 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux avant et après traitement par photocatalyse solaire au niveau de l'unité Nord.

Paramètres	Unité	Avant photocatalyse (Nord)	Après photocatalyse (Nord)	Pourcentage D'élimination (%)
DCO	mg/L d'O ₂	7420	627	91.55
DBO5	mg/L d'O ₂	382.4	24.7	93.54
COT	mg/L	1023	43.2	95.78
IH	mg/L	37.72	0.03	99.92
Turbidité	NTU	19.7	2.1	89.34
MES	mg/L	2240	121	94.60
Chlorures	mg/L	8973	2128	76.28
Nitrites	mg/L	0.15	0.01	93.33
Phosphates	mg/L	0.971	0.1	89.70
Couleur	-	Orange	Jaunâtre transparente	/

2. Métaux lourds

Les résultats d'analyses des métaux lourds pour les eaux avant et après traitement sont illustrés dans le tableau ci-après.

Tableau. 12: Résultats d'analyses des métaux lourds des eaux huileuses avant et après traitement par photocatalyse solaire au niveau de l'unité Centre.

Paramètres	Unité	Avant photocatalyse (Centre)	Après photocatalyse (Centre)	Pourcentage D'élimination (%)
Mn	mg/L	12	3.1	74.17
Cu	mg/L	0.238	0.001	99.58
Cr	mg/L	0.124	< LQ	/
Fe	mg/L	91.2	25	72.59
Zn	mg/L	0.434	< LQ	/

Tableau. 13: Résultats d'analyses des métaux lourds des eaux huileuses avant et après traitement par photocatalyse solaire au niveau de l'unité Sud.

Paramètres	Unité	Avant photocatalyse (Sud)	Après photocatalyse (Sud)	Pourcentage D'élimination (%)
Mn	mg/L	9.04	1.24	86.28
Cu	mg/L	0.124	< LQ	/
Cr	mg/L	0.110	< LQ	/
Fe	mg/L	68.7	19.3	71.91
Zn	mg/L	0.521	< LQ	/

Tableau. 14: Résultats d'analyses des métaux lourds des eaux huileuses avant et après traitement par photocatalyse solaire au niveau de l'unité Nord.

Paramètres	Unité	Avant photocatalyse (Nord)	Après photocatalyse (Nord)	Pourcentage D'élimination (%)
Mn	mg/L	8.95	0.097	98.92
Cu	mg/L	0.201	0.0008	99.60
Cr	mg/L	0.068	< LQ	/
Fe	mg/L	74.1	21.7	70.72
Zn	mg/L	0.642	< LQ	/

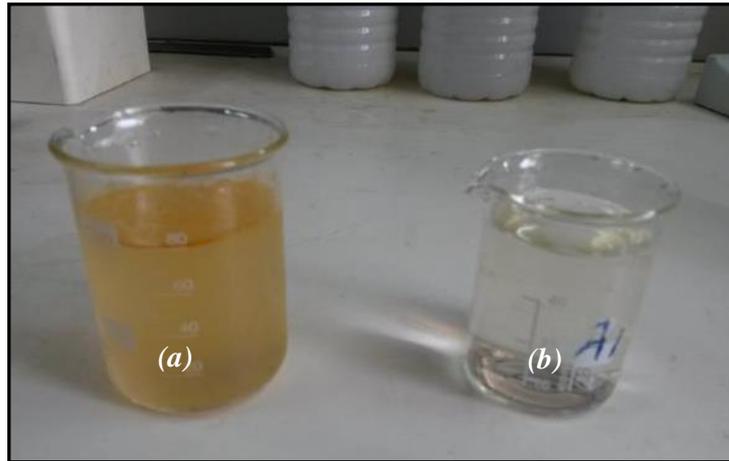


Fig.56 : Eau avant et après traitement par photocatalyse : (a) eau usée, (b) eau traitée.

L'efficacité de la photocatalyse représentée par le pourcentage d'abattement de chaque paramètre analysé pour chaque unité de déshuilage (Centre, Sud et Nord) est illustrée dans les figures 57, 58 et 59.

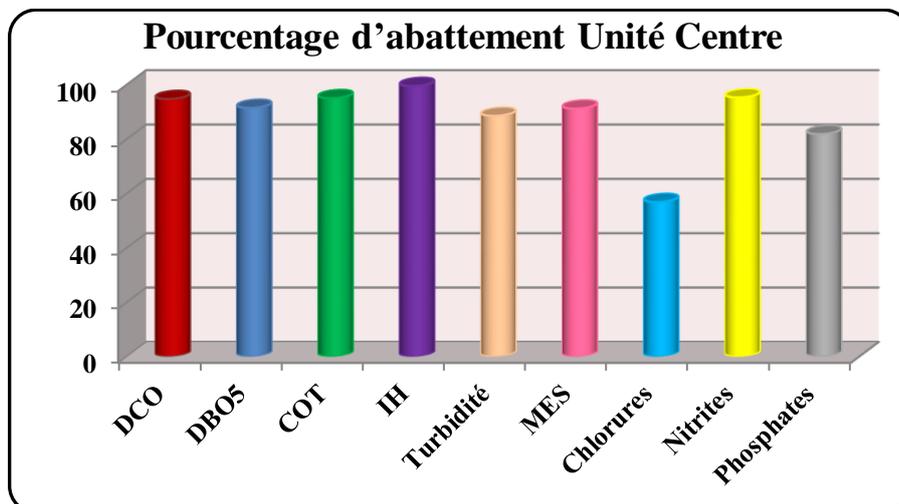


Fig.57: Efficacité du traitement par photocatalyse pour l'unité Centre.

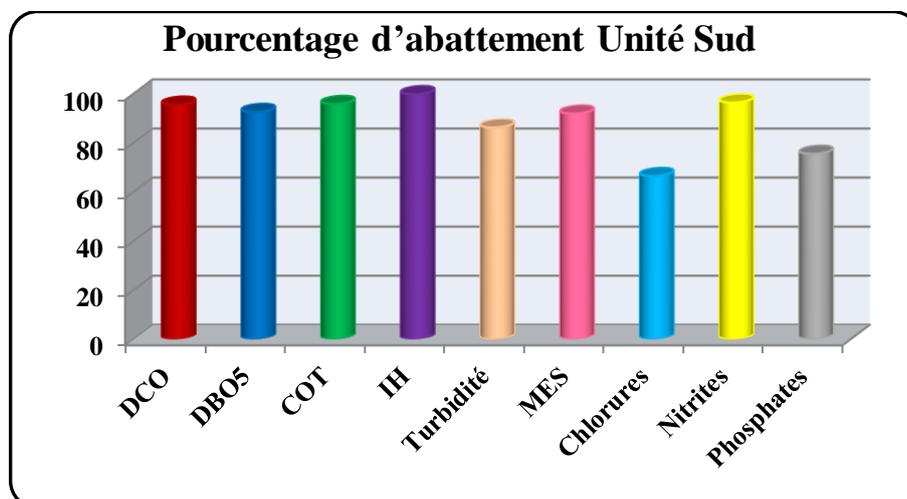


Fig.58: Efficacité du traitement par photocatalyse pour l'unité Sud.

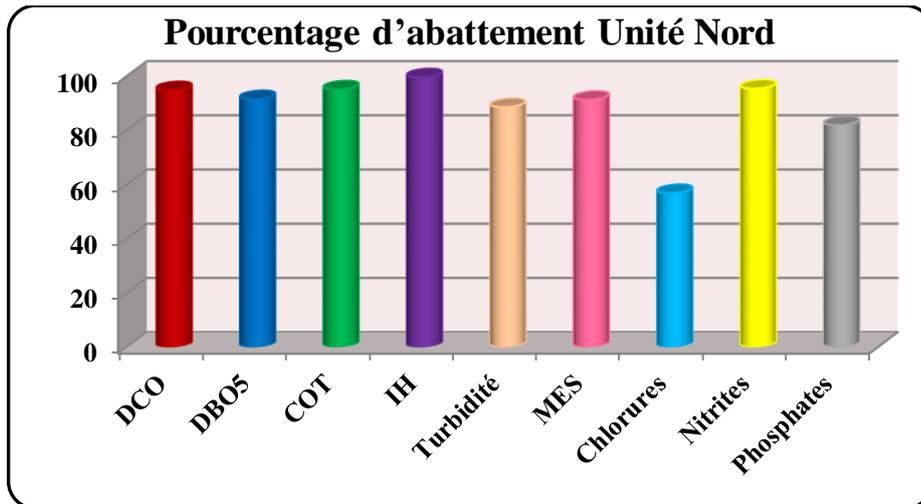


Fig.59: Efficacité du traitement par photocatalyse pour l'unité Nord.

3. Discussions

D'après les résultats obtenus, il est à remarquer que pratiquement tous les paramètres caractérisant notre eau ont été réduits.

L'odeur de l'eau après traitement est devenue moins intense, sa couleur a visiblement changée, l'eau traitée à une couleur transparente légèrement jaunâtre expliquée par la présence des ions ferreux réduits.

Un très bon rendement en élimination des hydrocarbures est observé au niveau des trois (03) unités Centre, Sud et Nord, il varie respectivement de **99.53%**, **99.83%** et **99.92%**. Il est de même pour la DCO, la turbidité et les MES.

Il est à noter que le traitement par photocatalyse n'a pas d'influence sur les chlorures.

En ce qui concerne les nitrites et les phosphates, leurs teneurs après traitement sont très faibles ou inférieures à la valeur limite de détection.

Un taux d'élimination remarquable est signalé également pour les métaux lourds.

V. CONCLUSION

Pour effectuer l'étude de performance de l'unité de déshuilage, on a prélevé six (06) échantillons (03 au niveau des entrées et 03 au niveau des sorties des unités Centre, Sud et Nord).

A la lumière des résultats obtenus à l'entrée de l'unité, on peut déduire que :

- ✓ Ces eaux sont caractérisées par une couleur orange due à la présence des oxydes de fer dans l'eau qui va changer après le traitement en une couleur jaunâtre transparente ;
- ✓ Présence d'une odeur d'essence due aux hydrocarbures ;
- ✓ Le pH ainsi que la température sont inférieurs aux valeurs limites ;

- ✓ Des fortes teneurs en DCO dus aux fortes teneurs en élément carbonées, ce qui induit que les eaux d'entrée sont loin d'être biodégradables. Par contre les teneurs en DBO₅ sont faibles;
- ✓ Une forte teneur en indice d'hydrocarbures, en MES et en turbidité ;
- ✓ Absence de nitrates, phosphates et de sulfates. Par contre, une présence très remarquable de chrome ;
- ✓ En ce qui concerne les métaux lourds, on remarque une présence élevée en fer, en manganèse et en cadmium due au composé organométallique; et une faible teneur en zinc, cuivre et chrome.

Par contre les résultats à la sortie de l'unité montrent :

- ✓ Une diminution remarquable dans les teneurs de l'indice d'hydrocarbures ;
- ✓ Pour le cas de la photolyse directe, on note un taux de dégradation de la matière organique de 55% ;
- ✓ Une bonne dégradation du taux des hydrocarbures est à noter par rapport à la masse du photo-catalyseur contrairement à la turbidité ;
- ✓ En ce qui concerne le traitement des eaux par photocatalyse, toutes les sont favorables ;
- ✓ Pour l'optimisation et l'influence de la masse et du temps, le COT décroît avec la masse du TiO₂ ;
- ✓ Une augmentation de la masse semi-conducteur induit une augmentation de la surface de contact ce qui conduit à une bonne absorbance de la photocatalyse ;
- ✓ On peut conclure qu'une dégradation complète se fait à un pH neutre, et que la température n'influence pas la dégradation de la matière organique ;
- ✓ Un très bon rendement d'élimination des hydrocarbures est observé au niveau des trois (03) unités Centre, Sud et Nord, il varie respectivement de **99.53%**, **99.83%** et **99.92%**.
- ✓ Il est de même pour les rendements d'élimination de la DCO qui sont respectivement de **94.77%**, **95.55%** et **91.55%**, de : **88.57%**, **91.93%** et **89.34%** pour la turbidité et de : **91.22%**, **66.51%** et **94.60%** pour les MES ;
- ✓ Le traitement par photocatalyse n'a pas d'influence sur les chlorures ;
- ✓ En ce qui concerne les nitrites et les phosphates, leurs teneurs après traitement sont très faibles ou inférieures à la valeur limite de détection.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

La zone d'étude Hassi R'mel est située au Sud de l'Algérie, elle est considérée comme la porte du désert. Elle se situe à 525 km au Sud d'Alger, dans une région relativement plate du Sahara septentrional, à 120 km au Sud de la wilaya de Laghouat, à environ 70 km à l'ouest de Beriane et à 120 km au Nord-Ouest de Ghardaïa.

Son climat est caractérisé par une faible pluviométrie, une humidité moyenne de 19% en été et 34% en hiver. Les amplitudes thermique sont importantes et les températures variant entre -5°C en hiver et plus 45°C on en été. Les vents dominants sont de direction Nord-Ouest.

Le gisement de Hassi R'mel est l'un des plus grands gisements de gaz à l'échelle mondiale. Il s'étale sur 3500 km² (70km de long du Nord vers le Sud et sur 50km de large d'Est vers l'Ouest). Les réserves trouvées en place se situe à une profondeur de 2200m, avec une capacité évaluée à plus de 3000 milliards de mètre cube récupérable.

La direction régionale de Hassi R'mel a mis en place 03 stations de déshuilage dans chacune de ses zone industrielle (Centre, Nord et Sud) assurent à la fois la récupération des hydrocarbures et le traitement des eaux huileuses qui font partie des rejets opérationnels des unités de séparation de brut dont, leurs impacts sur les écosystèmes, de par leurs compositions (métaux lourds et forte teneur en hydrocarbures) n'en sont pas pour autant négligeables d'où la nécessité de s'assurer de la qualité des eaux de rejet est donc de l'efficacité du traitement de l'unité.

L'objectif principal de ce travail, est l'analyse de performance des unités Centre, Sud et Nord de déshuilage de Hassi R'mel en évaluant l'efficacité et la rentabilité de son traitement, et la contribution à l'évaluation de la pollution engendré par ses rejets, ainsi que l'étude de la faisabilité d'appliquer le traitement par photocatalyse hétérogène solaire sur les eaux huileuses de cette station surtout que cette activité s'inscrit dans le cadre de développement durable utilisant le soleil comme source d'énergie renouvelable.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressées en première lieu à analyser les performances de l'unité de déshuilage de Hassi R'mel (Centre, Sud et Nord) dans le but d'apporter une aide pratique pour évaluer l'efficacité de traitement chimique utilisé, et ce en analysant objectivement la qualité de ces eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité et s'assurer que les caractéristiques des eaux épurées respectent les normes national de rejet industriels fixés par le décret 06-141 du 19 avril 2006.

Les résultats d'analyses des trois échantillons prélevés à l'entrée de la station ont permis de caractériser les eaux à traiter: elles sont représentées essentiellement par des eaux de gisement très salées contenant une forte teneur en hydrocarbures, des métaux lourds et une DCO, MES, turbidité très élevé. Cependant, il a été remarqué que, quantitativement, les propriétés physico-chimiques et la teneur en métaux lourds et polluants varient considérablement dans les trois eaux d'entrée et ce selon l'efficacité de la séparation dans les Centres de traitement des hydrocarbures. Il a été montré également dans cette partie, au vu des analyses des eaux à la sortie de la station de déshuilage (après

traitement), que l'efficacité de traitement est démontrée pour l'abattement de l'indice d'hydrocarbures.

La deuxième partie de ce travail, a été effectué dans le cadre de la dépollution des eaux de la station par une méthode alternative: en étudiant la faisabilité de traiter les eaux issues de l'industrie pétrolière (représenté par les eaux huileuses de la station de déshuilage) par photocatalyse hétérogène utilisant le rayonnement solaire comme source d'irradiation.

Les expérimentations portées sur la dégradation des polluants organiques sous irradiation solaire en présence de TiO_2 et par photolyse qui été suivie par l'analyse de Carbone Organique Total, a mis en évidence la performance photo-catalytique de TiO_2 utilisé.

La masse du photo-catalyseur, le temps d'irradiation, le pH de la solution et la température sont des paramètres clés qui influencent fortement le rendement de la photocatalyse. La variation de ces paramètres a conduit à l'optimisation du traitement. En effet, il a été montré que de bons résultats ont été obtenues en utilisant 1g/L de TiO_2 à un pH légèrement acide et température ambiante durant 4h d'ensoleillement. L'effet de ces paramètres sur l'abattement de la teneur en hydrocarbures et la turbidité a été également étudié, des résultats satisfaisants ont été donnés.

La caractérisation de l'eau après traitement par photocatalyse et le calcul de l'efficacité de traitement a montré un abattement de la teneur en hydrocarbure différent pour chaque unité (Centre, Sud et Nord). Ces abattements sont comme suit : 99,53% pour l'unité Centre, 86,27% pour l'unité Sud et 99,92% pour l'unité Nord.

En ce qui concerne les taux d'abattement des autres paramètres au niveau des unités de déshuilages (Centre, Sud et Nord) sont respectivement comme suit :

- Pour la DCO : 94,77%, 95,55% et 91,55%.
- Pour les MES : 91,22%, 66,51% et 94,60%.
- Pour la turbidité : 88,57%, 91,93% et 89,34%.

Le plus le pH de la solution est pratiquement neutre et répond à la norme requise ainsi que les autres paramètres, la teneur en métaux lourds a été également fortement réduite.

Au vu de ces résultats de l'étude de la dégradation des polluants organiques par photocatalyse, il a été démontré que la photocatalyse solaire est un procédé applicable dans le cadre du traitement des eaux huileuses en vue d'en réduire non seulement l'indice d'hydrocarbures, mais aussi les autres paramètres déjà décrites conformément à la norme nationale.

De plus son aspect environnemental et l'emploi d'une énergie renouvelable, l'utilisation de la photocatalyse solaire pour le traitement dans l'industrie pétrolière en générale et des eaux huileuses des Centres de traitement des hydrocarbures particulièrement, pourrait être d'une efficacité remarquable:

- Les expérimentations dans ce travail ont été réalisées sous irradiation solaire dans une région largement moins ensoleillée qu'au Sud du pays, la réaction de

photocatalyse étant directement reliée à l'intensité d'irradiation, des résultats meilleurs sont donc à prévoir en exploitant l'énergie solaire au Sud du pays,

- L'eau traitée peut être réutilisée pour la réinjection dans les puits pétroliers en voisinage étant donné que c'est une eau de gisement, l'une de ses caractéristiques la plus intéressante est sa faible teneur voir l'absence des sulfates, ce qui peut remédier au problème d'incompatibilité des eaux de gisement et des eaux d'injection. D'autre part, l'utilisation de cette eau diminue la charge déversée dans les bourbiers,
- Le procédé de la photocatalyse solaire pourrait être un procédé de prétraitement avant un procédé membranaire éliminant les chlorures pour d'autre utilisation.

RECOMMANDATIONS & PERSPECTIVES

Ce travail dans sa première partie, a été une occasion pour évaluer la pollution engendré par les eaux de rejets de la station de déshuilage, afin de diminuer l'impact de la pollution sur l'environnement a Hassi R'mel et améliorer l'efficacité de l'unité.

Les recommandations suivantes peuvent contribuer pour mieux gérer ce problème :

- Des analyses périodique des eaux à l'entrée et à la sortie des unités afin d'optimiser les conditions du traitement et ce a cause de la variation des propriétés des eaux en amont.
- Des analyses approfondie et périodique des autres paramètres tels que les métaux lourds.
- Etablir des études plus approfondies pour avoir un point de départ du développement d'une méthode de traitement des eaux huileuses issue d'une industrie pétrolière par photocatalyse hétérogène solaire, qui peut être compléter par:
 - Des analyses de la masse catalytique par le Microscope Electronique à Balayage pour étudier et confirmer l'hypothèse de la déposition des ions métallique sur la surface du catalyseur.
 - Faire les essais avec d'autres types du photo-catalyseur afin d'optimiser la cinétique de la photo-dégradation.
 - Etude de l'ajout des agents récepteurs électronique tels que : H_2O_2 et O_2 pour l'amélioration du traitement.
 - L'immobilisation du photo-catalyseur sur un support. Cette stratégie permet de surmonter la difficulté de filtration et réutiliser le photo-catalyseur plusieurs fois.

Bibliographie

Références Bibliographiques

- **AARTHI. T., MADRAS. G., (2008):** Photo-catalytic reduction of metals in presence of combustion synthesized nano-TiO₂. Catal. Commun, 9630-634.
- **ALBERICI. R-M. & JARDIM. W-F., (1997):** Photocatalytic destruction of VOCs in the gas-phase using titanium dioxide. Applied Catalysis B. Environmental 14: 55-68.
- **ALOU. A., (2010) :** Etude de la photo-décomposition de colorant industriel par le TiO₂ en solution aqueuse. Mémoire de Magistère. Université Mentouri de Constantine.
- **AMIRTHARAJAH, A., O'MELLA, C-R., (1990):** Coagulation processes: Destabilization, mixing, and flocculation. Chapitre 4 dans Water and Treatment: a Handbook of Community Water Supplies. A WWA. 4^{ème} Edition, p. 269-365.
- **Anonyme.1 :** Politique HSE à SONATRACH. Service environnement. Direction AUI-Division Technologie et Développement, Boumerdes.
- **Anonyme.2:** Document fournie par la station de déshuilage Hassi R'mel centre.
- **Anonyme.3 :** Traité l'environnement. Technique de l'ingénieur. Volume G1210.
- **Anonyme.4 :** Les traitements des eaux dans l'industrie pétrolière, Edition technip, 1992.
- **Anonyme.5 :** Traitement physicochimique de la pollution soluble. Technique de l'ingénieur. Volume G1270.
- **Anonyme.6 :** Inauguration de la nouvelle station d'épuration des eaux usées de cités de campagne.
- **Anonyme.7 :** Le point de connaissance sur le traitement des eaux usées. I.N.R.S, document technique. Novembre 2004.
- **Anonyme.8:** P & I: Processes and Instrumentation. Document de la Société constructeur de la station d'épuration Ain Tolba.
- **Anonyme.9 :** L'environnement à Hassi R'mel, document de l'entreprise fournie par la station de déshuilage Hassi R'mel centre.
- **Anonyme.10 :** Manuel opératoire de la station de déshuilage Hassi R'mel centre. Document N° 14014-SI100-P10-MA00001.
- **Anonyme.11 :** Document fourni par le service environnement. Direction AUI-Division Technologie et Développement. Boumerdès.
- **ATHEBA. G-P., (2009):** Traitement des eaux par action combinée de la photocatalyse solaire et de l'adsorption sur charbon actif: Conception et réalisation du procédé. Thèse de doctorat en chimie physique. Université Paul Verlaine, Metz, France. Pp 193.
- **BAAR. C., LETEBVRE. V. & al., (2005) :** Traitement des eaux usées (1). Université libre de Bruxelles.
- **BADIA-GONDARD. F., (2003) :** L'assainissement des eaux usées. Edition Techni. Cités. ISBN : 2848660058, 9782848660059, 229 pages.

- **BAUMONT. S., CAMARD. J.P., LEFRANC. A & FRANCONI. A., (2004):** Réutilisation des eaux usées épurées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS (Observatoire régional de santé d'Ile-de-France), France.
- **BEADRY. J-P., (1984) :** Traitement des eaux : Les Edition le griffon d'agrile. Québec, Canada.
- **BELAZZOUC. F. & KHELIFAOUI. M., (2017) :** Traitement des eaux huileuse de l'unité de déshuilage de Hassi R'mel par la photocatalyse hétérogène. Mémoire de master en Génie des procédés, Option : Génie de l'environnement. Département de technologie alimentaire. Université M'hamed Bougara, Boumerdes.
- **BENKADDOUR. N., (2015) :** Contribution à l'étude de l'efficacité de la graine de *moringa oleifera* dans la dépollution des eaux d'oued Safsaf. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur. Université Abou Bekr- Belkaid, Tlemcen, faculté des sciences de la vie et de la nature et sciences de la terre et de l'univers. Département de des sciences d'agronomie et des forêts.
- **BERNIE. F. & CORDONNIER. J., (1991) :** Traitement des eaux. TCHNIP. France.
- **BOEGLIN. J-C., (2002) :** Traitement physico-chimiques de la pollution insoluble. Techniques de l'ingénieur, traité de l'environnement.
- **BORDET. J., (2007) :** L'eau dans son environnement rural : Hydraulique et cycle de l'eau, l'alimentation en eau potable, l'assainissement des agglomérations. Edition Johanet, 318 p. ISBN : 978-2-900086-71-1.
- **BOTTA. A. & BELLON. L., (2001) :** Pollution de l'eau et santé humaine. Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale. Université Euro Méditerranée Tehys. Avril 2001.
- **CARDOT. C., (1999) :** Génie de l'environnement, les traitements de l'eau. Edition Ellipses, Paris.
- **CARP. O., HUISMAN. C-L. & RELLER. A., (2004):** Photoinduced reactivity of titanium dioxide. Progress in Solid State Chemistry 32: 33-177.
- **CAZOIR. D., (2011) :** Traitement d'eaux huileuses par photo-catalyse hétérogène: application à la dépollution des eaux de cales. Université Claude Bernard - Lyon I.
- **CHELLE. F. & DELLAL. M., (2005) :** Festival des sciences de la ville. Séminaire France.
- **CHERFAOUI. M., (2016) :** Traitement des eaux des rejets industriels. Institut Algérien de Pétrole.
- **DEGREEMENT., (1998) :** Mémento technique de l'eau, Vol. 1, 9^{ème} édition. Edition Technique et Documentation, Lavoisier, 592p.
- **DONNIER. B. :** La pollution chimique en méditerrané. Laboratoire. C. E. R. B. O. M. Nice. France.
- **DORÉ. M., (1989) :** Chimie des oxydants et traitement des eaux. TEC. DOC. LAVOISIER (Éditeur), Paris, France, 505 p.
- **ERNEST. M-H., (1985):** Fundamental problems in statistical mechanics. Vol: VI. Edit E.G.D. Cohen. Noeth Holland Publishing Company. Amesterdam 1985.

- **FAO., (2003)** : L'irrigation avec des eaux usées traitées: Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage paper.
- **FOX. M-A. & DULAY. M-T., (1993)**: Heterogeneous photocatalysis. Chemical Reviews 93: 341- 357.
- **FUCHS. N & PHYSIK. Z., (1934)** : La théorie de la coagulation. Journal de chimie physique, volume 171A : N° 1. DOI : <https://doi.org/10.1515/zpch-1934-17116>.
- **GALAF. F. & GHANNAM. S., (2003)** : Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin. Mémoire d'ingénieur d'état. Université Hassan II. Rabat. Royaume du Maroc. 2003.
- **GAUJOUS. D., (1995)** : la pollution des milieux aquatiques : aide mémoire. 2^{ème} Ed. Documentation Lavoisier, Paris, 220p.
- **GOETZ. V., CAMBON. J-P., SACCO. D. & PLANTARD. G., (2012)** : Génie des Réactions photo-catalytiques pour la dépollution de l'Eau par Voie Solaire. Laboratoire Procédés Matériaux et Energie Solaire, PROMES-CNRS UPR8521, Rambla de la Thermodynamique, Tecnosud, Perpignan, France.
- **GOMELLA. C. & GUERREE. H., (1978)**: Le traitement des eaux publiques, industrielles et privées. Edition Eyrolles .Paris.
- **GROSCLAUDE. G., (1999)** : *L'eau, Tome 1: Milieu naturel et maîtrise, Tome 2: Usages et polluants*. Versailles, Institut National de la recherche Agronomique (Coll. «Un point sur ... »), 204 p. et 210 p. (ISBN : 2-7380-0855-0 et 2-7380-0864-X).
- **HERRMANN. J-M., (1999)**: Heterogeneous photocatalysis: Fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. Catal. Today, 53 (1999) 115–129.
- **HERRMANN. J-M., (2005)**: Heterogeneous photocatalysis: State of the art and present applications. Top. Catal, 34.
- **HERRMANN. J-M., (2007)**: La photocatalyse hétérogène. La Catalyse en France: Une aventure. Université Claude Bernard Lyon. France.
- **HIMRI. Y., MALIK. A-S., BOUDGHENE STAMBOULI. A., HIMRI. S. & DRAOUI. B., (2009)**: Review and use of the Algerian renewable energy for sustainable development. Renew. Sust. Energ. Rev. 13. DOI: 10.1016/j.rser.2008.09.007.
- **JABER, J. & MOHSEN, M., (2001)**: Evaluation of non-conventional water resources supply in Jordan. Desalination 136: 83–92. 2001.
- **KIM. S-B. & HONG. S-C., (2002)**: Kinetic study for photocatalytic degradation of volatile organic compounds in air using thin film TiO₂ photocatalyst. Applied Catalysis B: Environmental 35: 305-315.
- **KLIMPEL. R-C. & HOGG. R., (1991)** : Evaluation of floc structures. Colloids and surfaces journal, Elsevier. Volume 55, pages 279-288.
- **KOLLER. E., (2009)** : Traitement des pollutions industrielles : Eau, air, déchets, sols et boues. Collection technique et ingénierie – Environnement et sécurité. 2^{ème} Ed. Dunod. L'usine nouvelle. ISBN13 978-2-10-052 104-3, 570 pages.
- **LAURENT. J-L., (1994)** : L'assainissement des agglomérations techniques d'épuration actuelles et évolutions. Les agences de l'eau et le ministère de l'environnement. France.

- **LEWANDOWSKI. M. & OLLIS. D-F., (2003a)**: Extension of a Two-Site transient kinetic model of TiO₂ deactivation during photocatalytic oxidation of aromatics: concentration variations and catalyst regeneration studies. *Applied Catalysis B: Environmental* 45: 223-238.
- **LEWANDOWSKI. M. & OLLIS. D-F., (2003b)**: A Two-Site kinetic model simulating apparent deactivation during photocatalytic oxidation of aromatics on titanium dioxide (TiO₂). *Applied Catalysis B: Environmental* 43: 309-327.
- **MALATO. S., PILAR. F-I., MALDONADO. M-I., WOLFGANG. G. & BLANCO. J., (2009)**: Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends. *Catalysis Today*, 147(1):1-59. DOI: 10.1016/j.cattod.2009.06.018.
- **MAYET. J., (1994)** : La pratique de l'eau. 2^{ème} Edition. Paris, Le Moniteur, 382 p. Permo.
- **MECHATI. F., (2006)** : Etude des paramètres physico-chimique avant et après traitements des rejets liquides de la raffinerie de Skikda. Mémoire de magister.
- **MILLS. A. & LE HUNTE. S., (1997)**: An overview of semiconductor photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 108: 1-35.
- **MIZI. A., (2006)** : Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de Bejaia et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar, Annaba.
- **NIMLOS. M-R. WOLFRUM. E-J., BREWER. M-L., FENNELL. J-A & BITNER. G., (1996)**: Gas-Phase Heterogeneous Photocatalytic Oxidation of Ethanol: Pathways and Kinetic Modeling. *Environ Sci Technol* 30: 3102-3110.
- **NORZITA. N. & JAMALUDIN. S-K., (2005)**: Effects of pH on ethanol photocatalytic oxidation using TiO₂ and zeolite 13x as catalyst. *J. Technol.*, 43 (2005) 27-38.
- **OHTANI. B., (2008)** : Preparing articles on photo-catalysis-Beyond the illusions, conception, and speculation. *Chemistry Letters*.
- **POLITIQUE HSE (SONATRACH)**. Service environnement. Direction AUI, Division Technologie et Développement, Boumerdes.
- **PRAIRIE. M.R., EVANS. L.R., STANGE. B.M. & MARTINEZ. S.L., (1993)**: An investigation of TiO₂ photocatalysis for the treatment of water contaminated with metals and organic chemicals, *Environ. Sci. Technol.*
- **PRONOST. J., PRONOST. R., DEPLAT. L., MALRIEU. J. & BERLAND. J-M., (2002)** : Stations d'épuration: Dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation. Document technique, FNDAE n° 22 bis. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales. Office internationale de l'eau CNFME/SNIDE.
- **RAILLARD. C., HEQUET. V., LE CLOIREC. P. & LEGRAND. J., (2004a)**: Comparison of different TiO₂ photo-catalysts for the gas phase oxidation of volatile organic compounds. *Water Science and Technology* 50: 241-250.

- **RAMDANI. N., (2006)** : Etude comparative de la dépollution des eaux de la station de Skikda par adsorption sur charbon actif et sur bentonite. Mémoire de magister. Université du 20 Août 1955, Skikda. 2006.
- **RASCHID-SALLY, L. & JAYAKODY, P., (2008)**: Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries-results from a global assessment, International Water Management Institute (IWMI), pp. 38.
- **REED. S-C. & CRITES. R-W., (1984)**: Handbook of land treatment systems for industrial and municipal wastes. Noyes Publications, Park Ridge, NJ, United States.
- **REJSEK. F., (2002)** : Analyse de l'eau: Aspects réglementaire et technique. Ed CRDP d'Aquitaine. France: 358 p.
- **RODIER. J. & BAZIN. C., (1996)** : L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^{ème} Edition. DUNOD. Paris.
- **RODIER. J., BAZIN. C., BROUTIN. J-P., CHAMBON. P., CHAMPSAUR. H. & RODI. L., (2005)** : L'analyse de l'eau: eaux naturelle, eau résiduaires et l'eau de mer. 8^{ème} Ed. Dounod, paris: 1383p.
- **RODIER. J., LEGUBE. B. & MARLET. N., (2009)** : L'analyse de l'eau : contrôle et interprétation. 10^{ème} Edition entièrement mise à jour. Edition Dunod, Paris.
- **SALGHI. R., (2006)** : Différentes filières de traitements des eaux. Cours Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir. Université Ibn Zouheir. Royaume du Maroc.
- **SEN. Z., (2008)**: Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques. Springer Verlag, London. UK.
- **SERPONE. N., (1997)**: Relative photonic efficiencies and quantum yields in heterogeneous photo-catalysis. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 104: 1-12.
- **SHI. D-Q., WANG. Y-M. & CHEN. R-Y., (2000)**: Synthesis and stereo-selectivity of a new type of unsaturated phosphonates. Heteroatom Chemistry Journal, volume 11, Number 4, 2000. DOI: 10.1002/1098-1071(2000)11:4.
- **SIMON. J-C., DAUBY. B. & NONET. S., (2008)** : Evaluation de l'efficacité de l'oxydation avancée par photocatalyse hétérogène UV/TiO₂ sur un effluent industriel contaminé par des composés organiques non biodégradables (colorants), Revue Scientifique des ISILF n°22.
- **TARMOUL. F. & SODI. M., (2007)** : Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel : Cas de la lagune de Béni-Messous. Mémoire de DEUA, Institut des Sciences de la mer et de l'aménagement du littoral.
- **TCHOBANOGLIOUS. G. & SOEDER. E-D., (1987)**: Water Quality. Addison-Wesley Publishing Company, Reading Massachusetts, 768 p.
- **THOMAS. R. & MEYBECK. M., (1992)**: The use of particulate material. In Water Quality Assessments. A guide to use of Biota sediments and water. In Environmental Monitoring (D. Chapman, Ed.). Chapman & Hall LTD., London, 121-170 pp.
- **UNITED UNION WATER, (2017)**: Les eaux usées : une ressource inexploitée. Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017. Paris, UNESCO, ISBN : 978-92-3-200115-3, 203 pages.

- **VISSMAN. J-R-W. & HAMMER. M-J., (1998):** Water Supply and Pollution Control. Sixth ed. Addison Wesley Longman Inc, (1998) California USA.
- **VILAGINES. R., (2005) :** Eau, environnement et santé publique : Introduction à l'hydrologie. Paris : Tec & doc, 2005.
- **VORONTSOV. A-V., KURKIN. E-N. & SAVINOV. E-N., (1999):** Study of TiO₂ deactivation during Gaseous Acetone Photocatalytic Oxidation. Journal of Catalysis 186: 318-324.
- **WOODARD. F., (2001):** Industrial Waste Treatment Handbook: Chemical, Petrochemical and Process. Environmental engineering, Pollution engineering, Refere engineering. Butterworth-Heinemann Ed. ISBN: 0750673176-9780750673174; 477 pages.
- **XANTHOULIS. D., (1993) :** Valorisation agronomique des eaux usées des industries agro-alimentaires. Tribune de l'eau, N°563/3.
- **ZAVISKA. F., DROGUI. P., MERCIER. G & BLAIS. J-F., (2009) :** Procédés d'oxydation avancée dans le traitement des eaux et des effluents industriels: application à la dégradation des polluants réfractaires.
- **ZHAO J, YANG X (2003):** Photo-catalytic oxidation for indoor air purification: a literature review. Building and Environment 38: 645-654.

Webographie:

- **Anonyme. 12 :** <http://www.sundous.com/Energie.html> (consulter en Juin 2020).
- **FAO,AQUASTAT,URL.**https://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/indeux.stm. (consulté en Juin 2020).

Liste des Figures

LISTE DES FIGURES

Fig. 1	<i>Organigramme de la macrostructure de SONATRACH.</i>	03
Fig. 2	<i>Organigramme de la direction centrale de recherche et développement.</i>	05
Fig. 3	<i>Organigramme de la direction Assistance aux unités Industrielles (AUI).</i>	07
Fig. 4	<i>Coagulation-Floculation.</i>	21
Fig. 5	<i>Emprisonnement des particules dans les floccs pendant la décantation (t_0: Temps initiale / t_1: Temps secondaire / t_2: Temps final).</i>	22
Fig. 6	<i>Présentation des principaux procédés d'oxydation avancés (Zaviska. & al., 2009).</i>	31
Fig. 7	<i>Structures des formes anatase et rutil.</i>	32
Fig. 8	<i>Schéma global représentant les étapes de la dégradation photo-catalytique.</i>	32
Fig. 9	<i>Principaux processus se produisant sur une particule de semi-conducteur: (a) Photo-génération (de e^-/h^+), (b) Réduction des accepteurs d'électrons, (c) Oxydation des donneurs d'électrons, (d) et (e) Recombinaison des paires (e^-/h^+) a la surface et au sein du cristal (Simon. & al., 2008 ; Carp. & al., 2004).</i>	34
Fig. 10	<i>Positions des bandes de valence et de conduction pour différents semi-conducteurs en comparaison avec divers couples redox à pH_0 (Mills. & al., 1997).</i>	37
Fig. 11	<i>Spectre d'énergie solaire (Sen., 2008).</i>	38
Fig. 12	<i>Comparaison du spectre solaire et du spectre d'absorption du TiO_2 (Malato. & al., 2009).</i>	39
Fig. 13	<i>Carte de Situation des différents bassins sédimentaire (Champ de Hassi R'mel) en Algérie (Source : SONATRACH).</i>	46
Fig. 14	<i>Représentation schématique des sites des différents secteurs du Champ de Hassi R'mel (Source : Anonyme.2).</i>	48
Fig. 15	<i>Pompes de refoulement 'P-101A et B' d'eau traitée vers l'unité de filtration.</i>	56
Fig. 16	<i>Huile recyclé de la cuve 'S-108' vers les pompes de recyclage 'P-104A et B'.</i>	56
Fig. 17	<i>Pelleteuses 'MS-126'.</i>	57
Fig. 18	<i>Cuve à boues 'S-111'.</i>	57
Fig. 19	<i>Le Bac tampon 'S-101'.</i>	58
Fig. 20	<i>Appareil tournant 'MS-106' et la vanne automatique 'XV-101'.</i>	58
Fig. 21	<i>Cuve de déshuilage primaire 'S-108' munie d'un disque rotatif 'Discoil' 'MS-107'.</i>	58
Fig. 22	<i>Cuve de floculation 'S-103' munie d'un agitateur rapide 'MS-113'.</i>	60

Fig. 23	<i>Cuve de flottation 'S-104'.</i>	60
Fig. 24	<i>Cuve d'eau traitée 'S-106'.</i>	62
Fig. 25	<i>Cuve d'huile 'S-108'.</i>	62
Fig. 26	<i>Les différents filtres au niveau de la filtration.</i>	63
Fig. 27	<i>Les soufflants 'K-103' et les pompes de lavage 'P-118A/B'.</i>	63
Fig. 28	<i>Les pompes d'injections.</i>	64
Fig. 29	<i>L'épaississeur de boues.</i>	65
Fig. 30	<i>Centrifugeuse de boues.</i>	65
Fig. 31	<i>Puits-bourbier de Hassi R'mel.</i>	66
Fig. 32	<i>Puits-bourbier débordant.</i>	67
Fig. 33	<i>Schéma simplifié de procédé de traitement de l'unité indiquant les points d'échantillonnage.</i>	68
Fig. 34	<i>Turbidimètre.</i>	72
Fig. 35	<i>Le pH mètre.</i>	73
Fig. 36	<i>Un thermomètre de laboratoire.</i>	73
Fig. 37	<i>Montage expérimental.</i>	75
Fig. 38	<i>Schéma du montage des tests photo-catalytiques sous irradiation solaire.</i>	76
Fig. 39	<i>Variation de la DCO et DBO₅ dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.</i>	82
Fig. 40	<i>Variation de l'indice des hydrocarbures dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.</i>	83
Fig. 41	<i>Variation du carbone organique total dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.</i>	83
Fig. 42	<i>Variation des MES dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.</i>	83
Fig. 43	<i>Variation de la turbidité dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.</i>	84
Fig. 44	<i>Variation des Phosphates et des Nitrites dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.</i>	84
Fig. 45	<i>Variation des Chlorures dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.</i>	84
Fig. 46	<i>Variation des métaux lourds dans les eaux à l'entrée et à la sortie de l'unité.</i>	85
Fig. 47	<i>Les eaux de l'unité de déshuilage Centre: (a) eau prélevés à l'entrée de la station, (b): eau prélever à la sortie de la station.</i>	85
Fig. 48	<i>Evolution du COT en fonction du temps d'irradiation.</i>	88
Fig. 49	<i>Evolution du COT en fonction du temps d'irradiation pour différentes valeurs de concentration de TiO₂.</i>	89

Fig. 50	<i>Evolution du COT en fonction du temps d'irradiation à des valeurs du pH variant de 3 à 10.</i>	90
Fig. 51	<i>Evolution du carbone organique totale en fonction du temps d'irradiation à différentes températures (mTiO₂=1g, pH=6.5).</i>	91
Fig. 52	<i>Influence de la masse de TiO₂ sur l'abattement du taux des hydrocarbures.</i>	92
Fig. 53	<i>Influence de la masse de TiO₂ sur la turbidité.</i>	92
Fig. 54	<i>Influence du pH de la solution sur l'abattement du taux des hydrocarbures.</i>	93
Fig. 55	<i>Influence de pH de la solution sur la turbidité.</i>	93
Fig. 56	<i>Eau avant et après traitement par photocatalyse : (a) eau usée, (b) eau traitée.</i>	96
Fig. 57	<i>Efficacité du traitement par photocatalyse pour l'unité Centre.</i>	96
Fig. 58	<i>Efficacité du traitement par photocatalyse pour l'unité Sud.</i>	96
Fig. 59	<i>Efficacité du traitement par photocatalyse pour l'unité Nord.</i>	97

Liste des Tableaux

LISTE DES TABLEAUX

Tabl. 01	<i>Quelques procédés d'oxydations avancées.</i>	31
Tabl. 02	<i>Le choix de la photo-catalytique.</i>	36
Tabl. 03	<i>Statistiques d'enseillement par zone en Algérie (Himri. & al., 2009).</i>	38
Tabl. 04	<i>Plage de mesure des différents indicateurs de pollution.</i>	70
Tabl. 05	<i>Résultats d'analyse physico-chimiques des eaux prélevées à l'entrée de l'unité de déshuilage.</i>	78
Tabl. 06	<i>Résultats des teneurs en métaux lourds des eaux prélevées à l'entrée de l'unité de déshuilage.</i>	78
Tabl. 07	<i>Résultats d'analyse physico-chimiques des eaux prélevées à la sortie de l'unité.</i>	81
Tabl. 08	<i>Résultats des teneurs en métaux lourds des eaux prélevées à la sortie de l'unité de déshuilage.</i>	82
Tabl. 09	<i>Résultats des analyses physico-chimiques des eaux avant et après traitement par photocatalyse solaire au niveau de l'unité Centre.</i>	94
Tabl. 10	<i>Résultats des analyses physico-chimiques des eaux avant et après traitement par photocatalyse solaire au niveau de l'unité Sud.</i>	94
Tabl. 11	<i>Résultats des analyses physico-chimiques des eaux avant et après traitement par photocatalyse solaire au niveau de l'unité Nord.</i>	95
Tabl. 12	<i>Résultats d'analyses des métaux lourds des eaux huileuses avant et après traitement par photocatalyse solaire au niveau de l'unité Centre.</i>	95
Tabl. 13	<i>Résultats d'analyses des métaux lourds des eaux huileuses avant et après traitement par photocatalyse solaire au niveau de l'unité Sud.</i>	95
Tabl. 14	<i>Résultats d'analyses des métaux lourds des eaux huileuses avant et après traitement par photocatalyse solaire au niveau de l'unité Nord.</i>	95

Annexes

Annexes

Annexe.1

LES VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DE REJETS DES EFFLUENTS LIQUIDE INDUSTRIELLES (Selon le Journal Officiel du décret exécutif N° 06-141 du 19 Avril 2006)

Paramètres	Unité	Valeur limite
Température	°C	30
pH	-	6.5 - 8.5
MES	mg/L	35
Azote kjeldhal	mg/L	30
Phosphates total	mg/L	10
DCO	mg/L	120
DBO₅	mg/L	35
Aluminium	mg/L	3
Substances toxique bio-cumulables	mg/L	0.005
Cyanures	mg/L	0.1
Fluor et composé	mg/L	15
Indice de phénols	mg/L	0.3
Hydrocarbures totaux	mg/L	10
Huiles et graisses	mg/L	20
Cadmium	mg/L	0.2
Cuivre total	mg/L	0.5
Mercuré total	mg/L	0.01
Plomb total	mg/L	0.5
Chrome total	mg/L	0.5
Etain total	mg/L	2
Manganèse	mg/L	1
Nickel total	mg/L	0.5
Zinc total	mg/L	3
Fer	mg/L	3
Composés organiques chlorés	mg/L	5

Annexe. 2

✚ DETERMINATION DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE: (Methode HACHE)

➤ *Principe*

La conductivité électrique mesure le pouvoir conducteur de l'eau. Le courant est produit par les ions inorganiques présentes à l'état dissous. La détermination de la conductivité s'effectue par la mesure de la résistance d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes, une différence de potentiel est appliquée entre les électrodes immergées dans la solution est inversement proportionnelle à la conductivité de l'eau.

➤ *Appareillage*

Conductimètre de type HACH modèle 44600, muni de l'élément de mesure qui consiste en une sonde constituée de deux électrodes recouvertes de noir de platine.

➤ *Mode opératoire*

- Rincer abondamment la sonde à l'eau déminéralisée avant utilisation,
- Presser la touche POWER, puis la touche COND correspondant à la mesure de la conductivité,
- Sélectionner la gamme de mesure appropriée, si la valeur n'est pas connue, commencer par la forte gamme,
- Introduire la sonde dans la solution à analyser, immerger l'extrémité et agiter la sonde verticalement pour chasser les bulles d'air, attendre jusqu'à stabilisation avant de faire la lecture. Si la valeur affichée se situe à moins de 10% de la gamme (2 à 20 ms/cm), passer à la gamme de 0 à 200 ms/cm en appuyant sur la touche 200, attendre jusqu'à stabilisation avant de faire la lecture,
- Rincer abondamment la sonde à l'eau déminéralisée après chaque mesure.

✚ DETERMINATION DE LA TURBIDITE PAR ABSORPTION (Méthode HACH adaptée de FWPCA methods for chemical analysis of water and wastes, 275 (1969))

➤ *Principe*

La détermination de la turbidité mesure une propriété optique de l'échantillon de l'eau qui résulte de la dispersion de l'absorption de la lumière par les particules de matières en suspensions présentes dans l'échantillon. La turbidité mesurée dépend de la taille, de la forme et des propriétés de réfraction des particules, il n'existe pas de relation directe entre la turbidité d'une eau et sa teneur en matière en suspension.

➤ *Mode opératoire*

- Mettre en marche l'appareil en appuyant sur la touche POWER,
- Placer la solution étalons dans le puits de mesure, fermer le capot,
- Verser 30 ml de la matière à analyser dans la cuvette et placer la dans le puits de mesure. Fermer le capot,
- La lecture est relevé après stabilisation environ 10 s; le résultat en unité NTU de turbidité.

🚦 DOSAGE DE CHLORURES PAR VOLUMETRIE (API recommended practice for analysis of Oil Field waters)

➤ **Principe**

Il consiste à doser les ions chlore combinés à l'état de chlorure d'argent ($AgCl$) par le nitrate d'argent ($AgNO_3$) et en présence d'un indicateur coloré: le chromate de potassium (K_2CrO_4).

➤ **Réactifs**

Solution titrée de nitrate d'argent $AgNO_3$ à 0.1N, cette solution est obtenue par dissolution de 17 gammes d' $AgNO_3$ dans un (01) litre d'eau distillée. Des solutions standards appelées (titrisol) peuvent être également utilisées pour la préparation de solutions titrées.

- Indicateur coloré: la solution de chromate de potassium est préparée par dissolution de 100 g de K_2CrO_4 dans 1 litre d'eau distillée,
- Bicarbonate de sodium,
- Acide nitrique a 0.1N.

➤ **Mode opératoire**

- Prélève un prise d'essai de 20 ou 25 ml d'eau analyse et introduire dans un erlenmeyer,
- Ajouter la même prise d'essai d'eau distillée,
- Vérifier que le pH est entre 6 et 8.5, dans le cas contraire réajuste le pH avec le bicarbonate de sodium ou l'acide nitrique,
- Ajouter cinq (05) gouttes d'indicateur,
- Titrer à l'aide de la solution d' $AgNO_3$, jusqu'à apparition d'une coloration rouge brun,
- Noter le volume d' $AgNO_3$ affiché par le dosimètre.

➤ **Expressions des résultats**

La concentration en ions Cl^- est donnée par la formule:

$$[Cl^-] \text{ en } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{V * N * 35.457 * 10^3}{PE}$$

Avec :

V: Volume en ml d' $AgNO_3$ nécessaire à la titration,

N: Normalité de la solution d' $AgNO_3$,

$35,457 * 10^3$: La masse atomique du chlore en milligramme,

PE: Prise d'essai de l'eau à analyser en ml.

🚦 DETERMINATION DES MATIERES EN SUSPENSIONS DANS L'EAU (adaptée à la norme NF T90 105).

➤ **Principe**

L'eau est filtrée et le poids des matières retenues est déterminé par différence de pesée.

➤ **Réactifs**

- **Chloroforme**: Si l'eau à analyser est huileuses le filtre est lavé au chloroforme,

- Eau distillée.

➤ **Appareillages**

- De filtration sous dispositif pression,
- Disques filtrants en litre de verre type AP 20.

➤ **Mode opératoire**

- Avant la pesée du filtre vide, le laver à l'eau distillée puis le sécher à 100-105°C,
- Ce filtre est refroidi dans un dessiccateur puis pesé,
- Mettre en marche de dispositif de filtration sous pression,
- Verser la prise d'essai sur le filtre,
- Laver le récipient contenu la prise d'essai avec de l'eau distillée,
- Sécher le filtre à l'étuve à 105°C pendant 30 min.
- Refroidir le filtre au dessiccateur, puis le peser.

➤ **Expression des résultats**

Le taux de matière en suspension exprimé en mg/L est donné par la formule:

$$[MES]_{en} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(m_2 - m_1) * 10^3}{PE}$$

Avec :

M₁: Masse du filtre vide (en mg).

M₂: Masse de filtre plein (en mg).

PE: Volume de la prise d'essai d'eau à analyse (en ml).

✚ METHODE D'EVALUATION DE LA DBO5 PAR RESPERMETRIE (Méthode HACHE)

➤ **Principe**

En fonction de la valeur de la DCO mesurée et de la valeur de DBO suspectée, il est introduit une quantité connue d'eau dans un flacon de mesure qui est relié au système manométrique.

L'oxygène qui est absorbé par les micro-organismes pour dégrader la matière organique, est remplacé l'air au-dessus de l'échantillon dans le flacon. Le CO₂ produit est absorbé par la différence de pression est directement affiché à l'échelle manométrique en mg/L de DBO₅.

➤ **Réactifs**

- Pastilles de soude caustique,
- Mercure liquide.

➤ **Appareillages**

- Flacon d'échantillon brun en verre de 500 ml de capacité,
- Barreau magnétique d'agitation,
- Armoire thermo statée à 20°C,
- Flacon avec pastille de soude dispositif d'agitation.

➤ **Mode opératoire**

La valeur de la prise d'essai est déterminée en fonction du résultat attendu et en fonction de la valeur de DCO.

Marge de DCO	Volume d'eau en ml	Coefficient de conversion
0 – 40	432	1
0 – 80	365	2
0 – 200	250	5
0 – 400	164	10
0 – 800	97	20
0 – 2000	43	50
0 - 4000	22.7	100

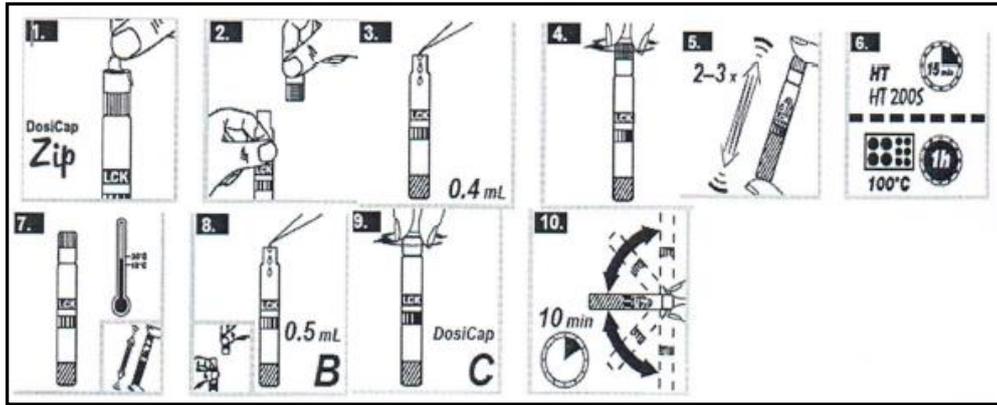
- Mesurer la prise d'essai et l'introduire dans le flacon brun,
- Introduire un barreau aimanté dans le flacon,
- Placer dans le col de la bouteille le support en caoutchouc, qui contiendra une à deux pastilles de NaOH,
- Mettre le bouchon du flacon et du réservoir,
- Ajuster l'échelle au niveau du mercure dans le capillaire,
- Noter la date et l'heure de la mise en marche,
- Lire quotidiennement les valeurs indiquées sur l'échelle,
- Après le cinquième jour lire le résultat sur l'échelle, le multiplier par le coefficient de conversion, le résultat correspond à la consommation d'oxygène en mg/L.

ANALYSE DES SO_4^{-2}

1. Pipeter 2.0 ml d'échantillon,
2. Doser 1 cuillère rase du réactif A (LCK 353 A).
3. Fermer immédiatement la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite pendant 1 min,
4. Attendre 30 sec; pendant ce temps, nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer (DR 1900).

ANALYSE DES PO_4^{-3}

1. Enlevez délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip détachable,
2. Dévissez le DosiCap Zip,
3. Pipeter 0.4 ml d'échantillon,
4. Vissez le DosiCap Zip fermement; diriger le cannetage vers le haut,
5. Secouer énergiquement,
6. Chauffer dans le thermostat HT 200 S:15min avec le programme standard HT thermostat:60 min à 100°C,
7. Laisser refroidir à température ambiante secoué énergiquement,
8. Pipeter dans la cuve une fois refroidie: 0.5ml de réactif B,
9. Fermer immédiatement le réactif B après emploi,
10. Vesser un DosiCap V(LCK350C) gris sur la cuve,
11. Mélanger le contenu de la cuve en la retournant plusieurs fois de suite. Attendre 10min, mélanger de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

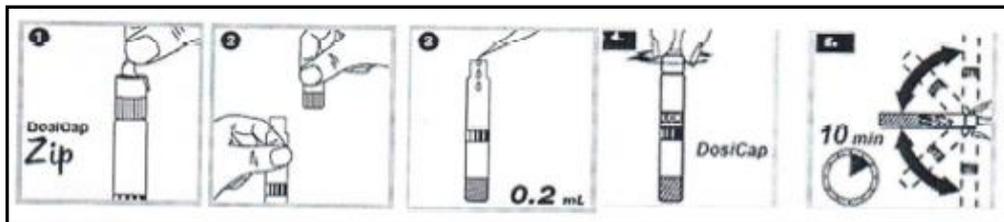


ANALYSE DES NO_3^-

1. Pipeter lentement 0.2 ml d'échantillon,
2. Pipeter lentement 1.0 ml de la solution A,
3. Fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite jusqu'à ce que le mélange soit complet,
4. Attendre 15 min, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer avec le DR1900.

ANALYSE DES NO_2^-

1. Enlevez délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip détachable,
2. Dévissez le DosiCap Zip,
3. Pipeter 0.2 ml d'échantillon,
4. Vissez le DosiCap Zip,
5. Mélanger le contenu en le retournant plusieurs fois de suite pendant 10 min et mesurer.



Annexe. 3



Photo.1 : Centrifugeuse.



Photo.2 : Dosage des chlorures.

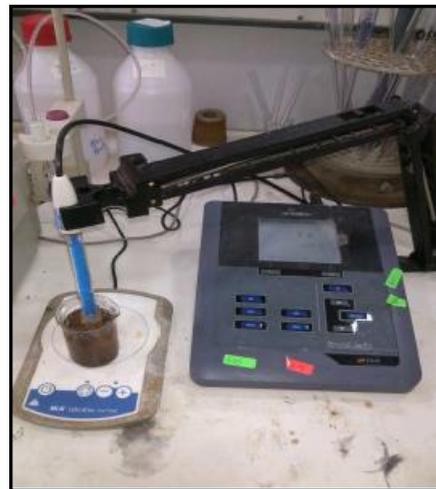


Photo.3 : pH mètre.



Photo.4 : Réactifs LCK.



Photo.5 : Dispositif de filtration sous vide.



Photo.6 : Spectrophotomètre DR 1900. *Photo.7* : Thermoréacteur.



Photo.8 : Réacteur Photocatalytique.



Photo.9 : Montage expérimental.

Annexe. 4 :

✚ EVOLUTION DU COT EN FONCTION DU TEMPS D'IRRADIATION.

Temps (min)	Photolyse	Avec 1g de TiO ₂
0	1440	1440
60	1437	1405
120	1435	1388
180	1433	1361
240	1433	1348
300	1434	1347
360	1433	1344

✚ EVOLUTION DU COT EN FONCTION DU TEMPS D'IRRADIATION POUR DIFFERENTES VALEURS DE CONCENTRATION DE TiO₂.

Temps (min)	Concentrations (g/L)		
	0.5	1	2
0	1440	1440	1440
60	1426	1418	1405
120	1415	1379	1388
180	1405	1373	1381
240	1402	1371	1370
300	1393	1360	1365
360	1388	1354	1361

✚ EVOLUTION DU COT EN FONCTION DU TEMPS D'IRRADIATION A DES pH DIFFERENTS.

Temps (min)	pH = 3	pH = 5	pH = 6.5	pH = 10
0	1440	1440	1440	1440
60	1433	1418	1403	1423
120	1418	1400	1387	1413
180	1399	1388	1385	1398
240	1398	1381	1368	1388

✚ EVOLUTION DU CARBONEORGANIQUE TOTALE EN FONCTION DU TEMPS D'IRRADIATION A DIFFERENTES TEMPERATURES (m_{TiO2}=1g, pH=6.5).

Temps (min)	Température (°C)				
	22	30	40	50	60
0	1440	1440	1440	1440	1440
60	1430	1395	1395	1406	1401
120	1387	1385	1387	1386	1385
180	1375	1378	1375	1368	1376
240	1358	1356	1354	1358	1362

✚ INFLUENCE DE LA MASSE DE TiO₂ SUR L'ABATTEMENT DU TAUX DES HYDROCARBURES ET LA TURBIDITE.

Paramètre	[TiO ₂] = 0	[TiO ₂] = 0.5	[TiO ₂] =1	[TiO ₂] =2
[HC]	32	8	2.05	0.1
Taux d'abattement (%)		75	93.59	99.69
Turbidité	63	44	23	21

✚ INFLUENCE DU pH DE LA SOLUTION SUR L'ABATTEMENT DU TAUX DES HYDROCARBURES ET LA TURBIDITE.

Paramètre	Valeur initiale	pH = 3	pH = 5.5	pH = 6.5	pH = 10
[HC]	32	5.3	1.02	0.12	3.02
Taux d'abattement (%)		83.43	96.81	99.62	90.56
Turbidité	63	31	20	14	34.5

✚ L'EFFICACITE DE LA PHOTOCATALYSE A L'UNITE CENTRE.

Paramètres	Unité	Avant photocatalyse (Centre)	Après photocatalyse (Centre)	Pourcentage d'élimination (%)
DCO	(mg/L O ₂)	8100	824	94.77
DBO ₅	(mg/L O ₂)	364	51	91.48
COT	mg/L	1440	71	95.07
IH	mg/L	88.995	0.42	99.53
Turbidité	NTU	44.6	9.1	88.57
MES	mg/L	296	26	91.22
Chlorures	mg/L	9153	4948	56.87
Nitrites	mg/L	0.43	0.02	95.35
Phosphates	mg/L	2.101	0.681	81.87
Couleur	-	Orange	Jaunâtre transparente	/

✚ L'EFFICACITE DE LA PHOTOCATALYSE A L'UNITE SUD.

Paramètres	Unité	Avant photocatalyse (Sud)	Après photocatalyse (Sud)	Pourcentage d'élimination (%)
DCO	(mg/L O ₂)	2560	234	95.55
DBO ₅	(mg/L O ₂)	176.8	13.1	92.59
COT	mg/L	1278	53	99.83
IH	mg/L	53.66	0.09	86.27
Turbidité	NTU	97.6	13.4	91.93
MES	mg/L	1438	116	66.51
Chlorures	mg/L	9861	4602	96.51
Nitrites	mg/L	0.28	0.01	96.43
Phosphates	mg/L	2.416	0.59	75.58
Couleur	-	Orange	Jaunâtre transparente	/

✚ L'EFFICACITE DE LA PHOTOCATALYSE A L'UNITE NORD.

Paramètres	Unité	Avant photocatalyse (Nord)	Après photocatalyse (Nord)	Pourcentage d'élimination (%)
DCO	(mg/L O ₂)	7420	627	91.55
DBO₅	(mg/L O ₂)	382.4	54.7	93.54
COT	mg/L	1023	43.2	95.78
IH	mg/L	37.725	0.03	99.92
Turbidité	NTU	19.7	2.4	89.34
MES	mg/L	2240	121	94.60
Chlorures	mg/L	8973	3674	76.28
Nitrites	mg/L	0.15	0.01	93.33
Phosphates	mg/L	0.971	0.12	89.70
Couleur	-	Orange	Jaunâtre transparente	/

MEMOIRE DE MASTER

Type de Master : *Académique.*
Domaine : *Sciences et Technologies.*
Filière : *Hydraulique.*
Spécialité : *Ouvrages Hydrauliques.*

Titre du mémoire: OPTIMISATION ET VALORISATION DES
EAUX PRODUITES PAR LES UNITES DE TRAITEMENT DES EAUX
HUILEUSES : CAS DE LA STATION DE HASSI R'MAL

Auteurs

M^{lle}. Djamila DEKKAR & M^{lle}. Sarra DARANI.

Résumé

Dans le présent travail, une étude sur l'évaluation de la performance de l'unité de déshuilage de trois stations situées dans le champ de Hassi R'mel a été réalisée. Ainsi, l'analyse de la qualité de l'eau en amont et en aval de ces unités, nous a permis de révéler l'existence d'une variation importante dans les propriétés physicochimiques des eaux. Ces eaux provenant d'un gisement essentiellement salifère se caractérisent par une forte teneur en : hydrocarbures, métaux lourds, DCO, MES et en turbidité.

Par ailleurs, l'étude consacrée à l'efficacité de la station après traitement montre un abattement très satisfaisant de l'indice d'hydrocarbures à des valeurs respectant la norme algérienne. L'utilisation d'une méthode alternative dans le cadre de la dépollution des eaux de la station indique que la photocatalyse hétérogène à rayonnement solaire peut

être considérée comme source d'irradiation. Ladite expérimentation sur la dégradation des polluants organique sous irradiation solaire en présence de TiO₂ a permis de mettre en évidence la performance photo-catalytique de TiO₂ utilisé.

Enfin, des résultats d'abattement très satisfaisants ont été obtenus au niveau des unités de déshuilages (Centre, Sud et Nord) sont respectivement comme suit : 94,77%, 95,55% et 91,55% pour la DCO ; 91,22%, 66,51% et 94,60% pour les MES et 88,57%, 91,93% et 89,34% pour la turbidité. Ces ont été obtenus ici suite à la méthode de traitement considérée. Ceci montre fort bien l'efficacité de la photo-catalyse hétérogène solaire dans le traitement des eaux huileuses en vue d'en réduire l'indice d'hydrocarbures et d'autres paramètres analysés.

Mots-clés : Station de déshuilage, Hassi R'mel, Hydrocarbures, Performance, Traitement, Photo-catalyseur TiO₂.