

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université M'Hamed Bougara
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Département Génie des Procédés Chimiques et Pharmaceutiques



Mémoire fin d'étude en vue de l'obtention de diplôme Master

Spécialité : génie de l'environnement appliquée aux hydrocarbures

Présentée par : NEDJADI Karima
TALBI Kahina

THEME :

**Traitement des effluents industriels liquides de la raffinerie d'Alger :
étude comparative entre l'efficacité du foin et l'antracite dans le
traitement des eaux**

Promoteur :

Mme S.HAMMOUDI

Encadreur :

Mr K. CHENTIR

Année Universitaire 2016/2017

Remerciement

Avant tout, nous remercions Allah, Dieu, l'Unique, le Puissant,pour son guide et sa protection ; qui nous a éclairées notre chemin.

Nous tenons à exprimer toute la reconnaissance à monsieur K. CHENTIR ingénieur en environnement service HSE à la raffinerie d'Alger pour toute la confiance qu'il nous a accordées et acceptées de nous encadrer ; pour son accueil, sa disponibilité, ses conseils qu'il nous a prodigués tout au long de la réalisation de ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à notre promotrice madame S.HAMMOUDI professeur à INH , qui nous a aidées et encouragées.

Un grand merci à monsieur Houssine technicien à la raffinerie d'Alger pour sa permanente disponibilité, son aide, ses conseils durant notre travail.

Nous remercions également l'ensemble du personnel du laboratoire de la RAIG qui nous a bien accueillies et aimablement aidées.

Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, puissent trouver ici, toute notre reconnaissance.

Dédicaces

A ma mère, la source de tendresse qui n'a pas cessé de m'encourager de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils et de prier pour moi. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites. Merci infiniment pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

A mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consenti pour mon éducation et ma formation.

A mes frères Amine et Charafe eddine .

A mes deux sœurs adorables Dihia et Dahbia.

A mon oncle et ma tante Mohamed et Halima.

A mon grand père qui ne cesse à me donné des conseils qui m'a vraiment aidés dans ma vie.

A mon binôme Kahina, avec qui j'ai partagée des moments agréables.

.A toutes mes amies que j'aime, à toi surtout Kamilia.

A tous ceux qui me sont chères

Karima

Dédicaces

A la personne la plus chère à mon coeur, pour m'avoir mise au monde, pour m'avoir accompagnée tout le long de ma vie, pour ses encouragements à aller de l'avant, sa patience, ses sacrifices... un grand merci pour toi maman chérie.

A mon cher papa, sa chaleur paternelle a été et sera toujours d'un grand réconfort, merci à lui pour ses sacrifices et ses encouragements, je lui dois ma réussite.

A mon unique et précieux frère Moh said et mes deux formidables sœurs Kenza et Saida, qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

A toutes les personnes que je porte dans le coeur : ma grand-mère que Dieu la protège et la garde pour nous et ma chère tante sans oublier Farid.

A toutes mes amies que j'aime, Lylia, Hadia et Yamina,

A mon cher Ahmed Amine Adel qui compte pour moi

A mon binôme Karima avec qui j'ai partagée des moments inoubliables

Kahina

Table des matières

Remerciements	I
Dédicaces	II
Résumé	III
Liste des abréviations	
Liste des figures	IV
Liste des tableaux	V
Introduction générale	1

Partie 1 : Description et présentation de la raffinerie

I.Introduction.....	4
II.Historique	4
III.Situation géographique.....	4
IV.Caractéristiques du site	6
IV.1. Données hydrographiques.....	6
IV.2. Données climatologiques	6
IV.3. Température	6
IV.4. Vent.....	6
V.Description des installations.....	6
V.1. Unités de production	7
V.1.1. Unité de distillation atmosphérique (Topping)	7
V.1.2. Unité de reforming catalytique (platforming)	7
V.1.3. Unité gaz plant.....	8
V.2. Unités générales	8
V.2.1. Centrale thermoélectrique (Utilités).....	8
V.2.2. Zone de stockage	8
V.2.3. Laboratoire	8
V.2.3. Politique HSE (Hygiène, sécurité et environnement) de la raffinerie	6

Partie 2 : Cadre théorique

Sous Partie 1 : pollution industrielle liquide

I Pollution industrielle liquide.....	10
I.1. Définition des eaux résiduaires industrielles (ERI).....	10
I.2. Origine de la pollution industrielle liquide dan une raffinerie	10
I.2.1. Eaux résiduaires des procédés de raffinage	10
I.2.1.1. Eaux de dessalage de brut.....	11
I.2.1.2. Condensats de procédé.....	11
I.2.1.3. Effluents particuliers de procédés.....	11
I.2.2. Effluents généraux de raffinerie.....	11
I.2.3. Effluents non-huileux	12
I.2.4. Effluents du transport	12
I.2.2.1. Les constituants insolubles	12
I.2.2.2 Les constituants solubles.....	13
I.3. Incidence sur l'environnement	13
I.3.1. Les constituants insolubles	13
I.3.1.1. Matières en suspension	13
1) Définition.....	13
2) Impact sur l'environnement	13
I.3.1.2. Les hydrocarbures.....	14
1. Définition	14
a) Les hydrocarbures aliphatiques	14
b) Les hydrocarbures naphthéniques	15
c) Les hydrocarbures aromatiques.....	15
• Hydrocarbures aromatiques polycycliques.....	15
• Les hydrocarbures aromatiques monocycliques.....	16
1. Propriétés physiques.....	16
1.1. La viscosité et le point d'écoulement.....	16

1.2. La densité.....	16
1.3. La solubilité.....	17
1.4. Le point d'éclair.....	17
1.5. La tension interraciale.....	17
2. Impact sur l'environnement.....	17
2.1. Pollution maritime.....	18
2.1.1. Devenir des hydrocarbures après un déversement.....	18
a. Évaporation.....	20
b. Dissolution.....	20
c. Photooxydation.....	21
d. Emulsification.....	21
e. Biodégradation.....	21
2.2. Pollution atmosphérique.....	22
2.3. Pollution de sol	23
3. Le comportement des hydrocarbures dans l'environnement	23
3.1. Les BTEX	23
3.2. Les HAP	23
4. Toxicité des hydrocarbures	25
4.1. BTEX	25
i. Le benzène	25
ii. Le toluène	25
iii. L'éthylbenzène	26
iv. Les xylènes	26
4.2. Les HAP	26
I.3.2 Les constituants solubles.....	27
I.3.2.1. Le plomb	28
A. Caractères analytiques du plomb	29
B. Comportement de plomb dans l'environnement.....	29
C. Effets du plomb sur la santé humaine	30
I.3.2.2. phénols	30
1. Comportement des phénols dan l'environnement	30
1.1. Milieu aquatique	31

1.2. Atmosphère	32
1.3. Sols	32
2. Effet du phénol sur la santé humaine	32

Sous Partie 2 : Echantillonnage et paramètre de pollution

II.1. Echantillonnage.....	32
II.1.1. Généralité.....	32
II.1.2. Approche d'échantillon et taille d'échantillon	32
II.1.2.1 Echantillonnage ciblé.....	33
II.1.2.2 Echantillonnage aléatoire.....	33
A. II.1.3 Types d'échantillon	33
a. Echantillonnage aléatoire simple	33
b. Echantillonnage systématique.....	33
II.1.3.1 Échantillon instantané (milieux dynamiques).....	33
II.1.3.2 Échantillon ponctuel (milieux statiques).....	33
II.1.3.3 Échantillon composé (milieux statiques et dynamiques).....	34
II.1.4. Echantillonnage des rejets liquides.....	34
II.1.4.1 Choix du point d'échantillonnage.....	34
II.1.4.3 Types et méthodes d'échantillonnage.....	35
1. Echantillonnage instantané	35
2. Echantillonnage composite	35
II.1.5. Normes.....	37
II.1.6. Volume d'échantillon et nature de flacons.....	37
II.1.7. Conservation des échantillons.....	37
II.2. Paramètres caractéristiques des eaux résiduaires industrielles.....	38
II.2.1 Caractéristiques physiques.....	38
A.Température	38
B.Matières en suspension (MES).....	38
B.1. Méthode par filtration	39
B.2. Méthodes par centrifugation	39
C.Débit.....	39
D. La turbidité	40
II.2.2. Caractéristiques physico-chimiques.....	40
II.2.2.1. Potentiel d'Hydrogène (pH).....	40

II.2.2.2. La conductivité	41
II.2.3. Caractéristiques chimiques.....	41
1. Matières organiques polluantes.....	41
1.1. Demande chimique en oxygène (DCO)	41
1.1.1. Méthodes d'évaluation de DCO	42
a. Méthodes à reflux en système ouvert : méthodes volumétriques (dosage).....	42
b. Méthodes à petite échelle en tube fermé : utilisation d'un spectrophotomètre.....	42
1.2 Demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO ₅).....	42
1.2.1.Demande biologique en oxygène.....	42
1.2.2.1 Les méthodes de détermination de la DBO ₅	42
A. Méthode par dilution	43
B. Méthodes pour les échantillons non dilués	47
C. Méthodes respirométriques (dites manométriques)	48
2.Hydrocarbures totaux (indice d'hydrocarbure).....	50
1.2. Méthode par spectrométrie infrarouge	51
1.3. Méthodes par chromatographie gazeuse	51
3.Phénols	51
3.1 Méthodes de détermination de phénols	51
3.1.1 La méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire à l' amino-4-antipyrine	52
3.1.2 Les méthodes par chromatographie liquide haute performance ou par chromatographie gazeuse	52
4. Les métaux lourds.....	52
5. Eléments fertilisants.....	52
II.2.4. Législation sur les eaux résiduaires industrielles.....	53
II.2.4.1. Règlement sur les ERI des raffineries de pétrole	53

Sous Partie 3 : Méthodes de traitement des eaux résiduaires

III.1. Procédés de traitement des ERI.....	Error! Bookmark not defined.
III.1.1. Les prétraitements : traitement physique	Error! Bookmark not defined.
a) Dessablage-dégraissage	Error! Bookmark not defined.
b) Déshuilage.....	Error! Bookmark not defined.

III.1.2. Traitement physico-chimiques	Error! Bookmark not defined.
a. Flocculation-coagulation	Error! Bookmark not defined.
b. La décantation classique	Error! Bookmark not defined.
b.1. Les différents types de décanteurs	58
C. La flottation	58
III.1.3. Traitement biologique.....	59
1. Traitement biologique aérobie	59
2. Traitement biologique anaérobie	60
III.1.4. Autres techniques de séparation liquides-solides	61
III.1.4.1. La filtration	61
A. la filtration par gravité.....	61
B. la filtration par surpression.....	61
C. la filtration sous pression réduite.....	61
III.1.4.1.1. Pratique de la filtration	62
III.1.4.2. traitement par l’anthracite.....	62
1. Charbon normal	62
2. Le charbon anthracite	62
3. Charbon actif	63
4. L’activation du charbon	64
4.1. La première étape	64
4.2. La deuxième étape d’activation	64
4.2.1 L’activation physique	64
4.2.2 L’activation chimique	64
5. Utilisation de l’anthracite en traitement des eaux	65
5.1 Principe	65
5.2 Phénomène d’adsorption.....	65

5.2.1	L'adsorption par le charbon actif	65
5.3	Régénération des filtres à charbon actif	66
5.3.1	La régénération thermique	66
5.3.2	La régénération chimique	66
5.3.3	La régénération à la vapeur	66

Partie 3 : Partie expérimentale

Introduction	67
I. Prelevement et analyse	Error! Bookmark not defined.
I.1. unité de traitement	67
I.1.1. Origine des eaux residuaires de la raffinerie d'Alger	67
a) ER des procédés du raffinage	67
b) Eaux des services généraux	68
I.1.2 Organisation de la collecte	68
I.1.3 La nature du traitement	68
I.1.4. Principe de traitement	71
I.2. Mode de prélèvement.....	72
I.3. Analyses et mode opératoire.....	74
I.3.1. mesure du pH et de la température.....	74
I.3.2 . Mesure des matières en suspension(MES)	75
I.3.2.1. Expression des résultats	75
I.3.3. Demande chimique en oxygène (DCO)	76
I.3.1 Principe et mode opératoire	76
I.3.3.2 Expression des résultats	77
I.3.4 Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	77
I.3.4.1 Principe et mode opératoire.....	77
I.3.4.2 Expression des résultats.....	78

I.3.5	Hydrocarbures (HC)	78
I.3.5.1	Principe et mode opératoire	78
I.3.5.2	Expression des résultats	79
I.3.6	Phénol	79
I.3.6.1	Principe et mode opératoire	79
I.3.6.2	Expression des résultats	80
I.3.7	Plomb	80
I.3.7.1	Principe et mode opératoire	80
I.3.7.2	Expression des résultats	80
I.3.8	Débit	80
I.3.8.1	Principe et mode opératoire	81
I.3.8.2	Expression des résultats	81
I.4.	Traitement par l'anthracite	81
I.4.1	Procédure de filtration par l'anthracite	81
II.	Résultats et discussion	83
II.1.	Evolution des paramètres physiques	83
II.1.1.	Débit	83
II.1.2.	Température	85
II.1.3.	Potentiel d'hydrogène (pH)	87
II.1.4.	Matières en suspension (MES)	89
II.1.5.	Demande biochimique en oxygène DBO ₅	91
II.1.6.	Demande chimique en oxygène (DCO)	92
II.1.7.	Hydrocarbures (HC)	94
II.1.8.	Phénol	96
II.1.9.	Plomb (Pb)	97
II.2.	Evolution des paramètres physicochimiques (foin et anthracite)	100
	Conclusion	101

Conclusion générale	103
Recommandation	105
Références bibliographiques	106
Annexes	

Liste des abréviations

Symbole	Définition
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	sulfate d'alumine
Al^{3+}	Aluminium
API	Américan Petroleum Institute
BaP	Basse pression
BTEX	benzène, toluène, éthylène et xylène
BTX	benzène, toluène et xylène
C	Concentration
°C	Degré Celsius.
C	Carbone
CaCl_2	chlorure de calcium
$\text{C}_4 \text{H}_8 \text{N}_2 \text{S}$	Allyl thio-urée
$\text{C}_5 \text{H}_9 \text{NO}_4$	Acide glutamique
$\text{C}_6 \text{H}_{12} \text{O}_6$	D-glucose anhydre
Cl^-	chlorure
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer
CO_2	Dioxyde de carbone
Cr^{3+}	Chromium(III)
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$	dichromate de potassium
DBO_5	la demande biologique en oxygène pendant 5 jours
DCO	la demande chimique en oxygène

D _i , T _i	Teneur en oxygène
ER	Eaux résiduaires
ERDP-NAFTAL	Entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers
ERI	Eaux résiduaires industrielles
F	Facteur de dilution
Fe ²⁺	ferreux
Fe ³⁺	ferrique
Fe Cl ₃	chlorure ferrique
FeCl ₃ , 6 H ₂ O	chlorure de fer (III) hexahydraté
GPL	Gaz pétrole liquéfié
H	hydrogène
HAP	hydrocarbures aromatiques polycycliques
HC	hydrocarbures
H ₂ O	Eau
HSE	Hygiène, sécurité et environnement
H ₂ S	Sulfure
H ₃ O ⁺	Hydronium
Hg ²⁺	Mercure
HgCl ₂	Chlorure de mercure
KH ₂ PO ₄	dihydrogénophosphate de potassium
K ₂ HPO ₄	hydrogénophosphate de dipotassium
MES	matière en suspension
MEC	méthyléthylcétone
MIBC	méthylisobutylcétone
M _i	Masse
MgSO ₄ , 7 H ₂ O	sulfate de magnésium heptahydraté
NAFTEC	société du raffinage du pétrole
Na OH	Hydroxyde de sodium
NH ₃	Ammoniac
NH ₄ ⁺	Ammonium
Na ₂ HPO ₄ , 2H ₂ O	monohydrogénophosphate de sodium dihydraté
NF	Norme française

NH ₄ Cl	chlorure d'ammonium
NMP	N-méthylpyrrolidine
O ₂	Oxygène
OH ⁻	hydroxyle
Pb	plomb
PbBr ₂	dibromure de plomb
PbCl ₂	dichlorure de plomb
PCI	Le pouvoir calorique inférieur
PEHD	polyéthylène haute densité
pH	le potentiel hydrogène
Pi	Poids
PTE	plomb tétra-éthyle
PTM	plomb tétra méthyle
Q	le débit
RA1G	Raffinerie d'Alger
S	la section
SO ₂	Dioxyde de soufre
SONATRACH	Société nationale du transport et de commercialisation des hydrocarbures
T	la température
TAC	Titre Alcalimétrique Complet
UV	ultra-violet
v	le volume
V	la vitesse moyenne
%	Pourcentage

Liste des tableaux

N° de tableau	Titre	Page
1	Les hydrocarbures aromatiques polycycliques les plus connus	16
2	La toxicité de certains HAP	26
3	Valeurs limites des paramètres de rejet d'effluents liquides industriels du raffinage de pétrole	54

Liste des figures

N° de figure	N° de figure	Page
1	Vue aérienne de la raffinerie d'Alger (Sidi Rezine) RA1G (Google Earth, 2016)	2
2	Les différentes causes de pollution maritime	15
3	Echelle temporelle des principaux processus d'altération et de transport des hydrocarbures pétrolier à la suite d'un déversement en milieu aquatique (la largeur de chaque bande indique l'importance du processus)	16
4	Devenir des hydrocarbures pétroliers à la suite d'un déversement d'un milieu aquatique	17
5	Devenir des HAP dans les écosystèmes	21
6	Crépine pour conduite fermée sous pression	32
7	Respiromètres adaptés à la détermination de la DBO	46
8	La méthode de BIOFOR	57
9	La méthode de MÉTHANISEURS	60
10	Les étapes du phénomène d'adsorption	66
11	Filtres à foin	69
12	Chicane	70
13	Chapeau chinois	70
14	unité de traitement des eaux de rejet de la raffinerie d'Alger.	73
15	Vue aérienne de la station du traitement des ERI de la raffinerie	74

	d'Alger avec zoom sur les points de prélèvement (Google Earth, 2016).	
16	les étapes de filtration par anthracite	83
17	<i>Evolution des débits volumiques par la quantité du pétrole traité, des différents échantillons</i>	84
18	<i>Evolution des valeurs du débit des différents échantillons; comparées à la norme de rejet</i>	85
19	<i>Evolution de la température des eaux en amont, en aval des filtres à foin, et après le traitement par l'anthracite pour les différents échantillons</i>	86
20	<i>Evolution de la température des eaux en aval des filtres à foin et anthracite; comparées à la norme de rejet</i>	87
21	Variation du pH en amont, aval, et après le traitement par l'anthracite des différents échantillons	88
22	Evolution du pH des eaux en aval des filtres à foin et anthracite ; comparés à la norme de rejet	90
23	<i>Variation des MES en amont, aval foin, et après le traitement par l'anthracite des différents échantillons.</i>	90
24	Variation des MES en aval des filtres à foin et de l'anthracite des différents échantillons; comparées à la norme de rejet	91
25	Evolution de la DBO ₅ en amont, en aval des filtres à foin et après le traitement par l'anthracite des différents échantillons	92
26	Evolution de la DBO ₅ des eaux, en aval des filtres à foin et de l'anthracite des différents échantillons; comparées à la norme de rejet	93
27	Evolution de la DCO en amont, en aval des filtres à foin et après le traitement par l'anthracite des différents échantillons	94
28	Evolution de la DCO des eaux, en aval des filtres à foin et de l'anthracite des différents échantillons; comparées à la norme de rejet	95
29	Evolution des teneurs en HC des ER en amont, en aval des filtres à foin et après le traitement par l'anthracite des différents échantillons	96
30	Evolution des teneurs en HC des ER en aval des filtres à foin et de l'anthracite des différents échantillons; comparées à la norme de rejet	97
31	Evolution des teneurs en phénols ; en amont, en aval des filtres à foin et après le traitement par l'anthracite des différents échantillons	98

32	Evolution des teneurs en phénols des ER en aval des filtres à foin et de l'anthracite des différents échantillons; comparées à la norme de rejet	99
33	Evolution des teneurs en plomb en amont, en aval des filtres à foin et après le traitement par l'anthracite	100
34	Evolution des teneurs en Pb en aval des filtres à foin et après traitement par l'anthracite; comparées à la norme de rejet	101
35	<i>Schéma représentant (en jaune) où on place le filtre à anthracite dans la station d'épuration des ERI de la raffinerie d'Alger.</i>	102

Introduction
Générale

*Description et présentations
de la raffinerie*

Cadre
Théorique

Partie
Expérimentale

Conclusion
Générale

Introduction générale

Introduction

L'industrie pétrolière représente un secteur qui joue un rôle très important dans l'économie Algérienne. Cependant, ces différentes activités industrielles génèrent une pollution qui forme une menace permanente de dégradation de l'environnement, du fait qu'ils utilisent de l'énergie ou des matières premières, produisant des déchets ou des effluents contenant de polluants toxiques principalement les hydrocarbures et les métaux lourds que l'on retrouve aussi dans le milieu naturel ; en se répercutant tôt ou tard sur la qualité de l'eau potable, l'eau de mer et par conséquent sur la santé humaine.

Les impacts environnementaux générés par l'industrie pétrolière touchent autant l'homme que la nature, parmi eux :

La pollution de l'air : plusieurs étapes de l'exploitation pétrolière libèrent des matériaux toxiques dans l'air et/ou à effet de serre. Par exemple le raffinage rejette des oxydes de soufre, des oxydes d'azote, des composés organiques volatiles, du monoxyde de carbone, du benzène, et surtout en grande quantité le CO₂ et d'autres gaz à effet de serre.

La pollution des sols : une fois la production terminée, l'activité industrielle laisse ses déchets toxiques rejetés dans la nature. Ces matières polluantes laissées s'immiscent dans les sols et les polluent avant d'arriver aux nappes phréatiques par l'infiltration, ce qui provoque des risques pour l'homme et l'environnement également.

La pollution de l'eau : elle se traduit par le rejet de quantité importante de l'eau après son utilisation dans le milieu naturel. Ces déchets descendent jusqu'aux nappes phréatiques; en provoquant par la suite des effets néfastes sur l'homme, mais aussi sur l'environnement, et donc les ressources vivantes et la biodiversité vont être menacées par le rejet de ces effluents liquides.

La pollution sonore : elle se traduit par les nuisances sonores provoquées par les activités industrielles notamment les installations des raffineries. Cette pollution n'est peut-être pas aussi dommageable que les précédentes, mais elle peut tout de même causer des troubles d'audition, l'irritabilité, l'insomnie et même la dépression. Il est cependant difficile de déterminer les effets de cette pollution sur les vivants autres que l'homme.

Dans les activités industrielles, ainsi que les raffineries, utilisent l'eau de manière répétée et à des quantités énormes au cours des stades successifs de la chaîne de fabrication, en

Introduction générale

engendrant des eaux résiduaires. Le volume et la composition des eaux résiduaires produits dans les raffineries de pétrole sont en fonction de la qualité du pétrole brut, de son mode de traitement et de l'emploi envisagé pour ses produits. Le volume peut varier entre 3 et 70 fois la quantité de pétrole brut traité.

Au niveau de la raffinerie d'Alger, la production, le transport et le raffinage du pétrole brut engendrent des eaux résiduaires, pour cette raison elle dispose une technique purement physique (mécanique) de traitement pour faire face à cette pollution, cette méthode consiste à collecter les effluents liquides dans deux bassins API pour la décantation gravitaire, puis les eaux de rejet subissent un écrémage et traversent les cages à pailles pour être filtrées. Cette opération permettant uniquement à éliminer partiellement les hydrocarbures à émulsion mécanique.

La raffinerie d'Alger doit donc se plier à une logique de réduction quantitative et qualitative des polluants de ses eaux résiduaires. Pour cela, nous avons étudié dans notre travail le taux de pollution que contiennent les effluents liquides industriels de cette raffinerie ; afin de juger leur potentiel de nuisance vis-à-vis l'environnement et estimer leur aptitude d'être traité de manière efficace conformément à la norme définie par le décret N°06-141, en comparant deux techniques de traitement (la filtration par le foin utilisée au sein de la raffinerie, et l'utilisation d'un autre filtrant qui est l'anhracite). C'est avec cet objectif que nous nous sommes intéressés dans cette étude à la caractérisation de ces eaux résiduaires, étape très importante pour améliorer ou choisir un traitement adéquat ; permettant de minimiser ou d'éliminer totalement la pollution et ses conséquences sur le milieu récepteur.

Le manuscrit présentant ce travail, qui est structuré comme suit :

- Une introduction générale dans laquelle est présentée la problématique de notre travail et l'importance du thème abordé tout en exposant clairement l'objectif visé.
- Une partie théorique qui regroupe le nécessaire des connaissances théoriques en rapport avec le thème étudié :
 - Sous-partie1 : pollution industrielle liquide où on a développé :
 - La définition des eaux résiduaire ;
 - L'origine de la pollution industrielle liquide dans une raffinerie ;
 - L'incidence sur l'environnement : où on a cité les déférents polluants qui peuvent existes dans une eau résiduaire issue de l'industrie

Introduction générale

pétrolière (raffinerie) et on développé l'impact de ces polluants sur l'environnement ainsi que sur l'homme ;

- Sous-partie 2 : échantillonnage et paramètres de pollution. Dans cette sous-partie on a parlé de :
 - L'échantillonnage, les méthodes d'échantillonnage ,les normes ,le volume d'échantillon et la nature des flacons des prélèvements ,Conservation des échantillons ;
 - Paramètres caractéristiques des eaux résiduaires industrielles :où on défini les déférents paramètres d'une eau résiduaire industrielle ainsi que leurs méthodes de détermination.
- Sous-partie 3 : méthodes de traitement des eaux résiduaires. Elle comprend :
 - Toutes les méthodes de traitement ; traitement physique, chimique et biologique ;
 - Autre techniques de séparation liquide- solide : où on a introduit la notion de procédé de filtration ainsi que ses types et les différents filtres utilisés à l'industrie ;
 - traitement par l'antracite : on a définit le charbon, le charbon antracite, le charbon actif et les différentes méthode d'activation de cette matière, utilisation de l'antracite en traitement des eaux et enfin les modes de régénération des filtres à charbon actif saturés.
- Une partie expérimentale : elle comprend deux sou-parie :
 - Sous-partie 1 : prélèvement et analyse ;dans laquelle on a développé
 - L'origine des eaux résiduaires de la raffinerie d'Alger ;
 - La nature de traitement au niveau de la raffinerie d'Alger ;
 - Le mode de prélèvement et méthodes d'analyse .
 - Sous-partie 2 : résultats et discussion, comprend les résultats d'analyse de chaque paramètre (température, pH, MES, DCO, DBO₅ , hydrocarbure, phénol, plomb avec interprétation et comparaison des résultats d'analyse.
- Nous terminerons par une conclusion générale qui récapitule notre travail, en proposant des recommandations.

Description et présentation de la raffinerie

I. Introduction [1]

Le pétrole est la matière première dans l'industrie chimique et pétrolière ; il est l'une des sources énergétiques la plus indispensables pour l'économie nationale et le développement du pays. Il ne pouvant pas être utilisé tel que par l'industrie, il est transformé en différents produits finis, comme les carburants, les combustibles, les matières premières pour la pétrochimie et d'autres produits spécifiques (bitume, huiles lubrifiantes). C'est à cela que sert le raffinage du pétrole .

Le raffinage du pétrole comprend une série d'opérations permettant d'aboutir aux produits que nous utilisons au quotidien. Il permet de purifier les pétroles bruts et de les transformer en produits de composition constante.

L'industrie de raffinage en Algérie est née avec la découverte et la production du pétrole brut de Hassi-Messaoud. Elle est gérée par la société du raffinage du pétrole (NAFTEC), qui met en œuvre des techniques de traitements ou procédés qui permettent d'obtenir à partir des pétroles bruts tout un éventail des produits finis prêts à la commercialisation.

Grâce à la demande sans cesse croissante, soit nationale ou internationale cinq raffineries ont été construites afin d'assurer la satisfaction de ces demandes, parmi eux la raffinerie d'Alger.

II. Historique [1]

La raffinerie d'Alger est le premier complexe construit en Algérie en **1960** par la compagnie française des pétroles suite à la découverte du pétrole au sud Algérien en **1959** à Sidi Arcine , sa construction a duré 3 ans (**1961-1963**) et sa mise en service a été en **19 Février 1964**.

En **1982**, le raffinage et la distribution des produits pétroliers sont séparés et érigés en Entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers (ERDP-NAFTAL). En **1988**, le raffinage, est à son tour, séparé de l'activité distribution est érigé en Entreprise nationale de raffinage de pétrole NAFTEC Algérie. En **avril 1998**, l'Entreprise devient une filiale dont les actions sont détenues à 100% par le Holding raffinage et chimie du Groupe SONATRACH avec un capital social de 12 000 000 000 de DA dénommée Société nationale de raffinage de pétrole NAFTEC.

III. Situation géographique [1]

La raffinerie d'Alger est située à Sidi Arcine (Commune de Baraki) à 5 Km au sud d'EL Harrach et à 20 Km à l'Est d'Alger et se trouve à une altitude de 20 m, occupant une

Description et présentation de la raffinerie

superficie de 182 Hectares (bâti et clôturé 96 Hectares) ; elle est délimitée :

- au Nord Ouest par le dépôt NAFTAL GPL et le centre enfûteur ;
- au Nord par les habitons d'El Harrach ;
- au Sud par les habitations de Baraki ;
- au Sud Est par la Direction Générale de SONATRACH/ACTIVITÉ
- AVAL/DIVISION RAFFINAGE et le siège de SONATRACH/TRC ;
- au Nord, Nord Ouest, Sud Ouest et Est par des terrains agricoles.



Figure 1 : Vue aérienne de la raffinerie d'Alger (Sidi Rezine) RA1G

(Google Earth, 2016).

La raffinerie d'Alger est liée au port pétrolier par une nappe de pipes d'une longueur de 14 km. Cette nappe est essentiellement souterraine. Néanmoins elle présente quelques portions aériennes :

Description et présentation de la raffinerie

- à l'intérieur de dépôts à accès réglementé (2 portions aériennes) ;
- à proximité d'habitations et d'infrastructures de transport pour la traversée de cours d'eau notamment (3 portions aériennes).

Le port pétrolier se trouve dans l'enceinte du port d'Alger du côté Est, appelé aussi Quai 37. En ce qui concerne le choix de la région algéroise, elle se présente comme un futur pôle de développement industriel. Et pour l'emplacement de Sidi Arcine le choix a été fait suite à une étude des sols et à la découverte d'une nappe d'eau qui est nécessaire pour l'alimentation des systèmes de refroidissement.

IV. Caractéristiques du site [1]

IV.1. Données hydrographiques

Le réseau hydrographique à proximité de la raffinerie est représenté essentiellement par Oued El Harrach à environ 2 km au Nord Ouest de la raffinerie et par une petite rivière à moins d'un km à l'Ouest des limites de propriété de la raffinerie.

IV.2. Données climatologiques

La région se caractérise par un climat méditerranéen typique, connu pour ses hivers doux et humides et ses étés chauds et secs.

IV.3. Température

L'année se subdivise en deux périodes : une période froide avec une température moyenne inférieure à la moyenne annuelle de 17.25°C (minimum absolu de 2°C) et l'autre période chaude de température moyenne supérieure à la moyenne annuelle (maximum absolu de 46.2°C).

IV.4. Vent

Les vents dominants sont de direction Nord-Ouest pendant la saison froide et Sud-Est parfois violents pour les vents chauds appelés couramment Sirocco.

V. Description des installations [1]

La raffinerie traite le pétrole brut produit par les puits d'Hassi Messaoud qui est caractérisé par une faible teneur en soufre et une grande richesse en hydrocarbures légers. Ce pétrole est

Description et présentation de la raffinerie

reçu par pipeline venant du dépôt d'Haoud El Hamra.

Les installations de la raffinerie se composent de deux unités :

- Unités de production .
- Unités générales.

V.1. Unités de production

V.1.1. Unité de distillation atmosphérique (Topping)

L'unité 100 permet de fractionner le pétrole brut en ses différentes dérivées classées selon les températures d'ébullition des hydrocarbures, telles que :

- ✓ Un mélange d'hydrocarbure léger, qui sera traité dans l'unité gaz-plant (U300) en donnant :
 - a. Des gaz incondensables, qui seront envoyés soit vers les fours de la raffinerie ou vers la torche pour y être brûlé.
 - b. Du propane commercial.
 - c. Du butane commercial.
- ✓ De l'essence légère ($C_4 - C_{10}$), entrant dans la constitution du carburant auto. Elle est la plus légère fraction du pétrole , sa limite d'ébullition variée entre 30 à 200°C.
- ✓ Un solvant léger et un autre lourd tous deux alimentent l'unité de platforming (Unité 200).
- ✓ Du kérosène ($C_{10} - C_{14}$) :c'est la fraction pétrolière qui vient après l'essence sa température d'ébullition variée entre 130 et 280°C. Il fournit les produits commerciaux, pétrole lampant et le carburacteur.
- ✓ Gas-oil léger ($C_{14} - C_{22}$), matière de base du gasoil moteur commercial.
- ✓ Gas-oil lourd, entrant dans la constitution de gas-oil moteur et des fuels.
- ✓ Et enfin un résidu, matière de base pour la constitution des fuels léger et lourd.

V.1.2. Unité de reforming catalytique (platforming)

L'unité 200 a pour objectif d'augmenter l'indice d'octane par des réactions catalytiques

Description et présentation de la raffinerie

des solvants lourds et légers fabriqués dans l'unité 100 ou stockés dans des bacs A102, A103, A104, en « plat-format » destiné à la fabrication des essences (normal, super).

V.1.3. Unité gaz plant

L'unité 300 permet la séparation et le traitement des gaz venant des deux unités précédentes, pour produire le propane et le butane commerciaux liquéfiés.

V.2. Unités générales

V.2.1. Centrale thermoélectrique (Utilités) [1]

La zone utilité a pour objectif de fournir diverses utilités au reste de la raffinerie :

- production d'énergie électrique et distribution;
- production de la vapeur d'eau utilisée dans les échangeurs de la chaleur ainsi que pour la régénération des catalyseurs ;
- production d'air comprimé ou air service / instrument ;
- production et distribution d'eau : eau brute, eau potable et eau de réfrigération ;
- réseaux torche permettant l'évacuation des gaz ou hydrocarbures en cas de surpression ou d'incident dans les unités de topping, reforming ou gas-plant.

V.2.2. Zone de stockage [1]

La raffinerie d'Alger est dotée d'un parc de 32 bacs pour le stockage du brut, des produits finis et semi finis. Ainsi, un 2^{ème} parc de stockage de GPL, issus des unités de fabrication.

V.2.3. Laboratoire [1]

La raffinerie d'Alger dispose d'un laboratoire qui a pour but d'analyser et de suivre la conformité des différents produits provenant du processus de raffinage et l'analyse des effluents liquides. Ce laboratoire est partagé en deux sections:

- section contrôle de qualité : comme son nom indique, elle est chargée de contrôler la quantité des produits et effectue pour cela différents types d'analyse : distillation, mesure de la densité, vérification des points de congélation et d'éclair du gasoil et du kérosène, Calcul de la conductibilité du kérosène, calcul de l'indice d'octane.
- section chimique : elle est chargée d'effectuer des analyses qualitatives et quantitatives sur les différents échantillons. Elle est dotée d'appareils sophistiqués pour l'analyse des différents paramètres physico-chimique.

Description et présentation de la raffinerie

V.2.4. Politique HSE (Hygiène, sécurité et environnement) de la raffinerie [2]

La politique en matière de maîtrise de l'hygiène, de la sécurité au travail ainsi que de la protection de l'environnement, est fondée sur le principe de l'amélioration continue, avec notamment comme objectifs la réduction des nuisances et des pollutions. Vu l'importance de l'impact écologique des rejets et de la pollution générée au sein de la raffinerie, le service HSE a pour but de :

- minimiser les dégâts causés et aussi penser aux conséquences car il est de l'impossible de ne pas générer de pollution dans le domaine de l'industrie ;
- traiter les eaux résiduaires de la raffinerie ;
- traiter les eaux de forages ;
- valoriser les boues issues du nettoyage des bacs de pétrole.

Cadre théorique

Introduction :

L'eau est devenue une matière indispensable au fonctionnement des industries principalement, utilisée au cours du processus de transformation de la matière première (raffinage du pétrole brut), pour cette raison, l'eau se trouve confrontée à des situations difficiles conduisant à la perturbation de tous les écosystèmes surtout les systèmes aquatiques.

Il existe plusieurs types de pollution mais on s'est basé sur la pollution liquide engendrée par les activités industrielles transportant en général divers produits hautement toxiques avec des taux très élevés.

Il est donc indispensable d'épurer les eaux résiduaires industrielles avant les rejeter dans le milieu naturel, en ayant des informations sur leurs origines et leurs caractéristiques physico-chimiques.

Le traitement des eaux résiduaires industrielles a pour objectif de collecter puis d'épurer ces eaux; afin de les débarrasser de la pollution dont elles sont chargées selon les procédés mis en œuvre et le degré d'épuration souhaité.

I. Pollution industrielle liquide

I.1. Définition des eaux résiduaires industrielles (ERI) [3]

Les effluents industriels sont des rejets d'eaux qui ont été utilisées lors de la transformation de matières premières afin de fabriquer des produits industriels utiles. Tous effluents ou rejets industriels obtenus lors de l'extraction et de la transformation des matières premières en produits industriels, ainsi que les eaux de rejets des services généraux des industries (sanitaire et cuisine) sont considérées également comme eaux résiduaires industrielles.

I.2. Origine de la pollution industrielle liquide dans une raffinerie [4]

Pour traiter un problème de pollution des eaux destinées au rejet vers l'environnement, il est nécessaire de savoir l'origine de cette pollution dans l'industrie concernée. Les sources principales de pollution dans une raffinerie sont :

I.2.1. Eaux résiduaires des procédés de raffinage

Cadre théorique

I.2.1.1. Eaux de dessalage de brut

Ces eaux sont issues du procédé de dessalage, qui consiste à préchauffer le pétrole brut et à le mélanger avec de l'eau qui doit être de préférence totalement déminéralisée. Le dessaleur permet de réduire la teneur en eau (0.1 à 0.2%) et en sels (moins de 1 à 10mg.l⁻¹ du brut avant passage en distillation.

I.2.1.2. Condensats de procédés

Ils proviennent de la condensation des vapeurs qui ont été en contact avec les produits pétroliers, on trouve :

- les condensats de distillation atmosphérique ou sous vide ; ayant un degré de pollution très faible ;
- les condensats acides (Sour waters) issus d'une part, du craquage thermique dont le soufre est converti en H₂S et en mercaptans. D'autre part, d'hydrotraitement dont les composés azotés sont transformés en NH₃. L'acidité de ces condensats est en raison de leurs fortes teneurs en HNH₄S (NH₄⁺, HS⁻) et en phénols ;
- les condensats de réchauffage de produits (Vapocraquage) ; ayant un degré de pollution plus faible, en notant la présence d'aldéhydes, d'acide acétique (pH 8 à 9) et de phénols.

I.2.1.3. Effluents particuliers de procédés

Ces effluents contiennent :

- les ERI issues de soufflage des bitumes par le procédé de distillation sous vide et la purge des ballons séparateurs de phase ; elles sont riche en hydrocarbures et en hydrogène sulfuré ;
- les solvants provenant des unités de fabrication d'huiles lubrifiantes, parmi eux on trouve ; le furfural (ou la N-méthylpyrrolidine (NMP)) pour l'extraction des aromatiques et la méthyléthylcétone (MEC) ou la méthylisobutylcétone (MIBC) pour le déparaffinage ;
- les ERI d'alkylation catalytique, présentant des teneurs élevées en acide sulfurique et/ou fluorures.

I.2.2. Effluents généraux de raffinerie

Cadre théorique

Ils comprennent essentiellement :

- les drainages des stockages de brut ou de produits raffinés, riche en hydrocarbures et en phénols ;
- les eaux pluviales tombées sur toutes les aires dallées de la raffinerie ou hors de ces aires, pouvant représenter des débits considérables et des pollutions accidentelles lors des orages ;
- les eaux de lavage des sols ;
- les fuites d'échangeurs qui sont d'origine accidentelle.

I.2.3. Effluents non-huileux

Ces effluents génèrent une pollution dissoute organique faible, ils comprennent principalement : les eaux domestiques du site (douches, sanitaires, cantines...), de laboratoire, les eaux de purge des chaudières, les éluats de régénération des échangeurs d'ions (trop salines) et les eaux de lavage des filtres.

I.2.4. Effluents du transport

On trouve essentiellement :

- Eaux de déballastage des pétroliers ; ayant des débits instantanés très élevés. Après leur stockage, elles se caractérisent par une salinité élevée (eau de mer), une teneur en HC de 50 à 100 mg.l⁻¹ et en MES de 50 mg.l⁻¹ environ.
- Eaux de nettoyage des Tankers, se caractérisent par des émulsions d'HC très stables et concentrées et elles sont riches en détergent.

I.3. Incidence sur l'environnement

Les eaux résiduaires industrielles contiennent de nombreuses matières toxiques de natures organiques ou minérales représentant, selon les quantités mises en jeu, des dangers de diverses natures pour les milieux récepteurs, ces eaux peuvent entraîner des ennuis par :

- formation de mousses,
- perturbation de processus biologiques,
- par infiltration, elles peuvent altérer la qualité de l'eau souterraine, par une pollution organique, une salinisation, une acidification, une augmentation de la teneur en fer, une coloration, ou un empoisonnement.

Cadre théorique

On peut considérer d'une manière générale, que les eaux résiduaires industrielles sont des mélanges hétérogènes comprenant des constituants insolubles et solubles [5].

I.3.1. Les constituants insolubles

Les eaux résiduaires causent des accumulations de boues, en particulier dans les cours d'eau à faible circulation ou dans les eaux stagnante. Si celles-ci sont dues à des matières organiques décantables, il se produit des phénomènes de décomposition avec dégagement de gaz de fermentation. A cela, s'ajoute un ralentissement des manifestations vitales par la destruction totale de micro-organismes et de poissons.

Ils comprennent :

- Matières flottantes (graisses, hydrocarbures, huiles organiques).
- Matières en suspensions.

I.3.1.1. Matières en suspension [6]

1) Définition

La notion de matière en suspension(ou MES) désigne l'ensemble des particules très fines (dont la taille comprise entre $[10^{-6} - 10^{-3} \text{ m}]$ insolubles et généralement visibles à l'œil nu. Elle détermine la turbidité de l'eau (plus une eau en contient, plus elle est dite turbide). Ces particules sont soit d'origine naturelle, en liaison avec les précipitations, soit produites par les rejets urbains et industriels. Elles sont de nature minérale (sable, boue, argile,...) ou organique.

- les matières en suspension présentées dans les eaux résiduaires de la raffinerie proviennent des eaux de pluie qui ruissellent sur les sols des unités et qui causent une érosion de la couche superficielle des sols. L'eau sera donc chargée en toutes matières présentées dans ces sols.

2) Impact sur l'environnement [7]

- Une forte concentration en matières en suspension dans l'eau réduit la luminosité et abaisse la productivité du milieu récepteur du fait, en particulier, d'une chute de l'oxygène dissous consécutive à une réduction des phénomènes de photosynthèse.
- elles provoquent une augmentation sensible de la température des milieux aquatiques ce qui provoque le changement de fonctionnement de certaines espèces
- Les matières en suspension sont de nature à engendrer des maladies chez le poisson et même l'asphyxie par colmatage des branchies.

Cadre théorique

- Un dépôt continu de sédiments fins sur les fonds marins asphyxie les peuplements benthiques (anémones, mollusques, algues, etc.)
- Elles absorbent et transportent de nombreux polluants et métaux, donc elles provoquent la pollution des milieux récepteurs.

I.3.1.2. Les hydrocarbures

1. Définition [8]

Un hydrocarbure est un composé organique constitué exclusivement d'atome de carbone (C) et d'hydrogène (H). Il désigne le pétrole sous toutes ses formes (pétrole brut, le fuel-oil, les résidus d'hydrocarbures et les produits raffinés : (condensats, huiles minérales, gasoils, essences...)).

Les hydrocarbures repartent en trois familles :

- Les hydrocarbures aliphatiques.
 - Les hydrocarbures naphthéniques.
 - Les hydrocarbures aromatiques.
- ✚ Au niveau de la raffinerie le pétrole brut qui est lui-même constitué des hydrocarbures est fractionné dans des différentes installations et suivant des étapes bien définies afin d'obtenir des coupes qui sont un mélange de différents types d'hydrocarbures. Lors de ces procédés de fabrication de ces coupes l'eau était utilisée avec de grande quantité. Par son contact avec le pétrole brut et ses fractions cette eau est contaminée par les hydrocarbures.

a) Les hydrocarbures aliphatiques

Les hydrocarbures aliphatiques sont des composés constitués de carbone et d'hydrogène. Il peut s'agir de molécules à chaîne ouverte, linéaire ou ramifiée, saturée ou insaturée, dont la nomenclature est la suivante:

- ✓ paraffines (ou alcanes) — hydrocarbures saturés;
- ✓ oléfines (ou alcènes) — hydrocarbures insaturés ayant une ou plusieurs doubles liaisons;
- ✓ acétyléniques (ou alcynes) — hydrocarbures insaturés ayant une ou plusieurs triples liaisons.

Les formules générales sont C_nH_{2n+2} pour les paraffines, C_nH_{2n} pour les oléfines, et C_nH_{2n-2} pour les acétyléniques.

Cadre théorique

Les hydrocarbures aliphatiques à petite molécule sont gazeux à la température ambiante (de C_1 à C_4). Plus la masse moléculaire d'un hydrocarbure est élevée et plus sa structure est complexe, plus il a tendance à devenir liquide et plus sa viscosité s'accroît (C_5 à C_{16}); et, enfin, les hydrocarbures supérieurs sont des solides à la température ambiante (au-delà de C_{16}).

Les hydrocarbures aliphatiques d'importance industrielle dérivent principalement du pétrole, qui est lui-même un mélange complexe d'hydrocarbures. On les obtient par craquage, distillation et fractionnement du pétrole brut.

b) Les hydrocarbures naphténiques

Les naphténes sont des hydrocarbures alicycliques dont la molécule contient trois atomes de carbone ou davantage, formant une structure cyclique et qui portent chacun deux atomes d'hydrogène ou deux groupements alkyle. Tous les termes de cette série répondent à la formule générale C_nH_{2n} . Le méthylcyclohexane ($C_6H_{11}CH_3$), par exemple, est une cycloparaffine substituée.

c) Les hydrocarbures aromatiques

Un hydrocarbure aromatique ou arène est un hydrocarbure dont la structure moléculaire comprend un cycle possédant une alternance formelle de liaison simple et double, et respectant la règle de Hückel sur l'aromaticité. Le terme d'« aromatique » fut donné à ces molécules avant la découverte du phénomène physique d'aromaticité, et est dû au fait que ces molécules ont une odeur en général douce.

La configuration aromatique de six atomes de carbone est nommée cycle benzénique, d'après le plus simple hydrocarbure aromatique possible, le benzène. Les hydrocarbures aromatiques peuvent être monocycliques ou polycycliques .

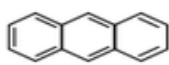
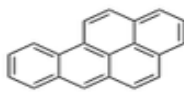
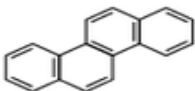

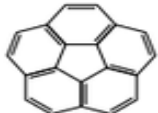
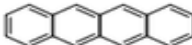
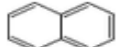
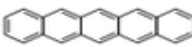
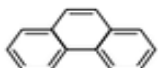
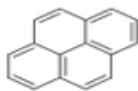

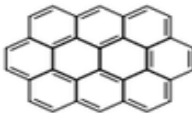
• Hydrocarbures aromatiques polycycliques :

Une importante famille des hydrocarbures aromatiques sont les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Ce sont de composés comportant plusieurs cycles benzéniques fusionnés.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques les plus connus sont cités dans le tableau suivant :

Cadre théorique

Tableau 1 : les hydrocarbures aromatiques polycycliques les plus connus

Composé chimique	Structure	Composé chimique	Structure
Anthracène		Benzo[a]pyrène	
Chrysène		Coronène	
Corannulène		Tétracène	
Naphtalène		Pentacène	
Phénanthrène		Pyrène	
Triphénylène		Ovalène	

- **Les hydrocarbures aromatiques monocycliques :**

Sont des hydrocarbures constitués d'un seul cycle benzénique. Parmi eux les BTX (benzène, toluène et xylène). Ils entrent dans la composition des carburants.

2. Propriétés physiques [9]

Plusieurs propriétés physiques permettent de caractériser et de distinguer les hydrocarbures pétroliers en plus de prédire leur comportement dans l'environnement.

2.1. La viscosité et le point d'écoulement

La viscosité peut être définie comme la résistance à l'écoulement d'un liquide. Elle influence ainsi la propagation d'une nappe d'hydrocarbures à la surface de l'eau. Des hydrocarbures pétroliers ayant une faible viscosité sont très fluides et se propagent rapidement, rendant leur confinement difficile. Notons que la viscosité est influencée par la température. En effet, plus la température est faible, plus la viscosité est élevée. Enfin, la viscosité influence les processus d'évaporation et d'émulsification des hydrocarbures.

2.2. La densité

Cadre théorique

La densité des hydrocarbures correspond à la masse par unité de volume. Cette propriété est utilisée par l'industrie pétrolière pour distinguer les hydrocarbures légers et lourds. Elle est aussi importante pour indiquer la flottabilité des hydrocarbures dans l'eau en cas de déversement.

2.3. La solubilité

La solubilité est la capacité d'une substance à se dissoudre dans la colonne d'eau. Cette propriété est importante chez les hydrocarbures, car certains, une fois solubilisés, peuvent être toxiques pour les organismes aquatiques, même à très faibles concentrations. Les hydrocarbures pétroliers les plus solubles sont essentiellement les composés aromatiques légers tels que le benzène. D'ailleurs, plus la proportion d'hydrocarbures légers sera importante, plus la solubilité du produit pétrolier dans l'eau sera significative.

2.4. Le point d'éclair

Le point d'éclair, ou point d'inflammabilité, est la température à partir de laquelle un produit dégage suffisamment de vapeur pour former avec l'air un mélange inflammable au contact d'une flamme ou d'une étincelle. Beaucoup d'hydrocarbures fraîchement déversés peuvent facilement s'enflammer tant que les composés volatils ne se sont pas évaporés et dispersés dans l'atmosphère.

2.5. La tension interfaciale

La tension interfaciale correspond à la force d'attraction ou de répulsion qui s'exerce à l'interface entre les hydrocarbures et l'eau. C'est une donnée qui doit être considérée avec la viscosité pour évaluer la rapidité de la propagation des hydrocarbures sur l'eau. Plus la tension interfaciale est faible, plus les hydrocarbures se répandront facilement sur l'eau.

3. Impact sur l'environnement

On trouve les hydrocarbures dans la composition des différents produits : on les trouve dans les combustibles, les carburants, la plupart des huiles (huile pour moteur, huile de raffinage, huile pour l'industrie alimentaire, huile minérale), liquide de refroidissement, solvant, lubrifiants Ces produits sont indispensables pour la vie quotidienne vue au développement de l'homme dans tous les domaines.

Mais à cause de l'utilisation excessive de ces produits, on trouve les hydrocarbures partout ; dans l'atmosphère (émissions), dans les milieux aquatiques (ruissèlement,

Cadre théorique

l'atmosphère,.....), dans les sols (industrie mécanique) ;ce qui entraine des effets néfaste sur l'environnement et même sur la santé humaine.

3.1. Pollution maritime

77% environ de la charge de pollution atteignant les océans sont attribuables à des sources terrestres (44% provenant des eaux de ruissellement et des décharges directes terrestres ; 33% provenant de l'atmosphère).

Le ruissellement correspond au lessivage des taches d'huile et d'essence que l'on trouve sur les routes, par les eaux de pluie.

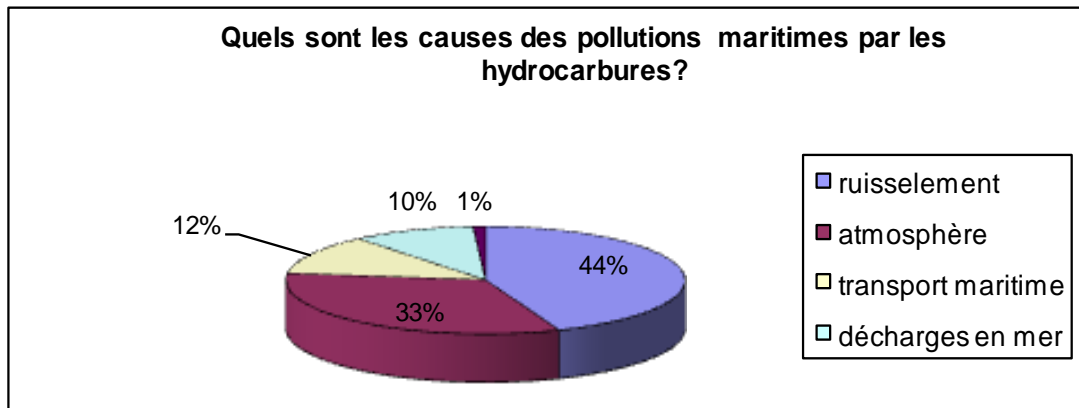


Figure 2 : les différentes causes de pollution maritime

3.1.1. Devenir des hydrocarbures après un déversement [9]

À la suite d'un déversement dans un milieu aquatique, les hydrocarbures vont se propager dans le milieu. Ils seront également soumis à différents processus d'altération physique, chimique et biologique qui vont modifier leur composition chimique et leurs propriétés physiques ainsi que leur devenir dans le milieu. Il s'agit des processus d'évaporation, d'émulsification, de dispersion naturelle, de dissolution, de photooxydation, d'interaction avec des particules fines et de biodégradation. La plupart de ces processus ont lieu de façon simultanée et débutent dès le début du déversement, comme l'illustre la Figure3. L'importance de chaque processus va dépendre de la composition chimique et des propriétés physiques des hydrocarbures, ainsi que des conditions environnementales dans le milieu impacté (p. ex., température, vent, courant).

Cadre théorique

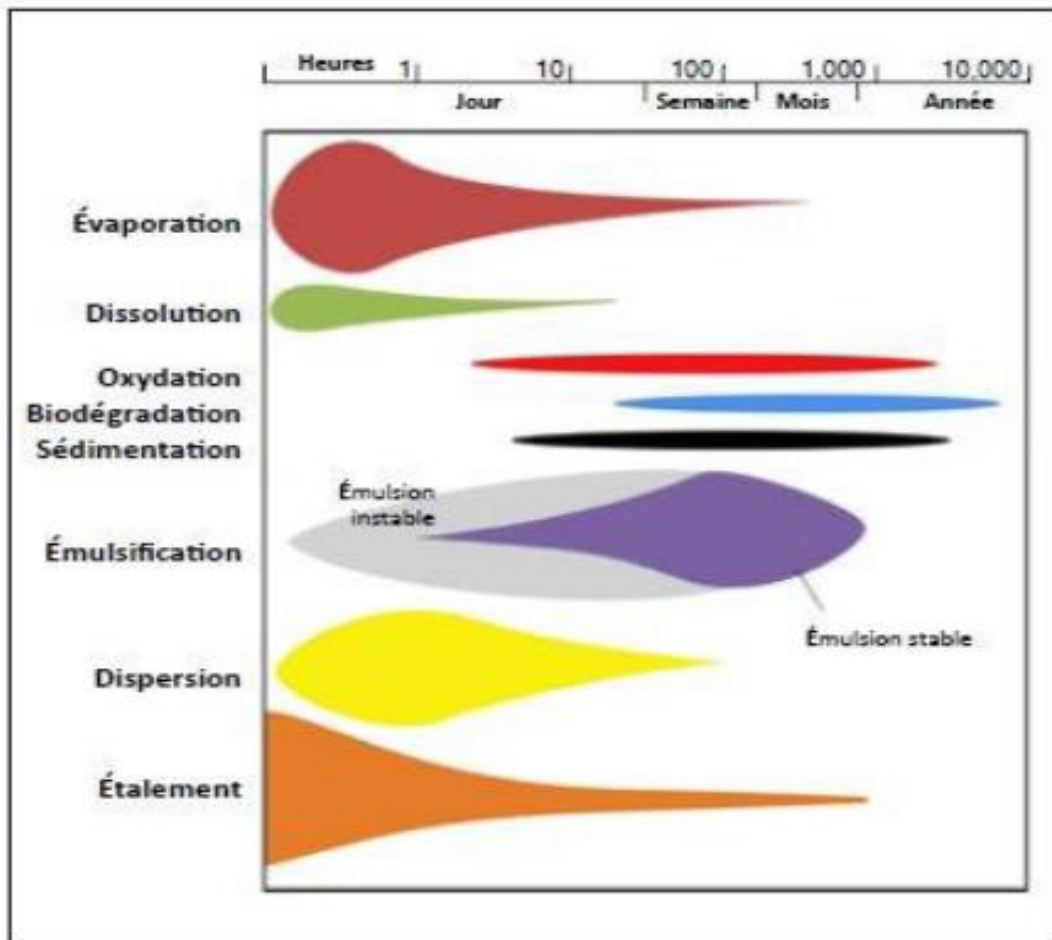


Figure 3 : échelle temporelle des principaux processus d'altération et de transport des hydrocarbures pétrolier à la suite d'un déversement en milieu aquatique (la largeur de chaque bande indique l'importance du processus)

En eau libre, les hydrocarbures commencent à s'étaler à la surface de l'eau dès qu'ils sont déversés (Figure 3). La vitesse à laquelle se produit l'étalement dépend de la viscosité des hydrocarbures, du volume déversé et des conditions du milieu (p. ex., température, vagues, courants). Les caractéristiques de la nappe ainsi formée vont évoluer au cours de l'étalement dépendamment de son épaisseur et de sa fragmentation. À titre d'exemple, les hydrocarbures liquides ont tendance à s'étaler rapidement sous forme de nappe fine et continue, tandis que les hydrocarbures semi-solides ou très visqueux se fragmentent en plaques qui peuvent atteindre une épaisseur de plusieurs centimètres.

Cadre théorique

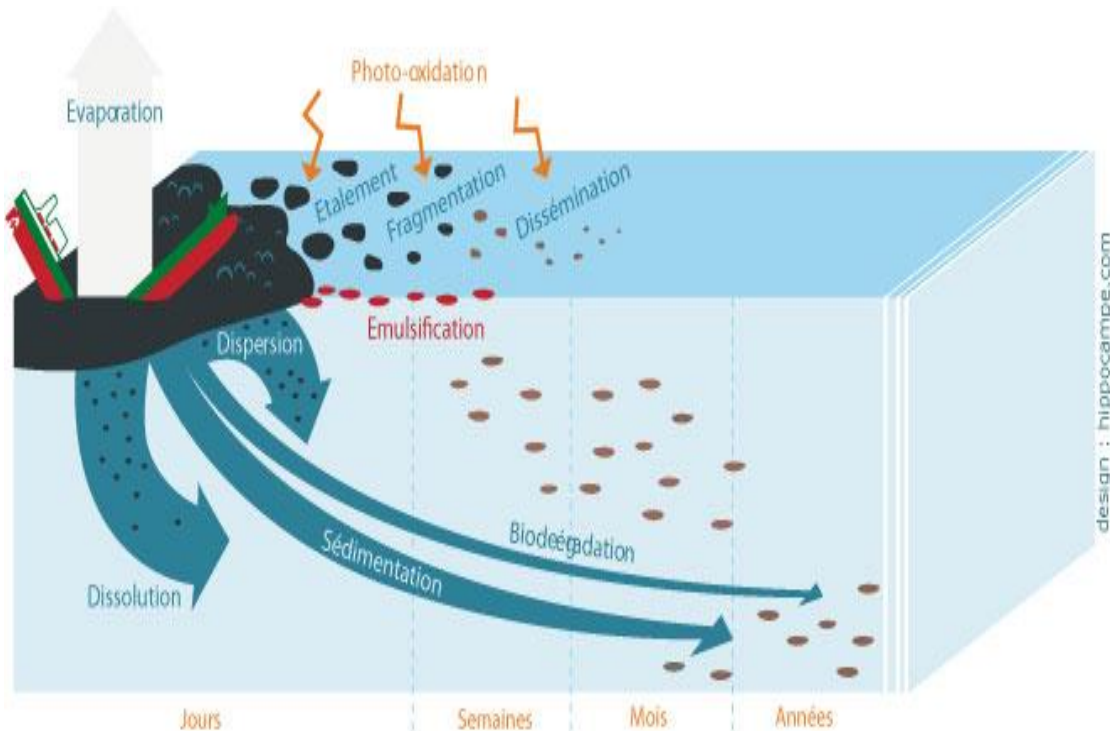


Figure 4 : devenir des hydrocarbures pétroliers à la suite d'un déversement d'un milieu aquatique

L'altération des hydrocarbures, connue également sous le terme de vieillissement, commence immédiatement après le déversement des hydrocarbures dans l'environnement par le processus d'évaporation des composés les plus volatils, de dissolution des composés solubles dans l'eau (p. ex., les composés aromatiques de faibles poids moléculaires, certains composés polaires) et de photooxydation sous l'action des rayons du soleil.

a. Évaporation :

L'évaporation est un processus qui débute immédiatement après un déversement d'hydrocarbures et peut se poursuivre pendant quelques jours . Elle correspond au transfert des composés volatils plus légers, comme **les aliphatiques, les BTEX** et les **HAP** de faible masse moléculaire, vers l'atmosphère . Cette perte des composés volatils entraîne la modification de certaines propriétés physiques des hydrocarbures, telles que la densité et la viscosité. Les principaux facteurs qui influent sur le processus d'évaporation sont la volatilité des composés présents et les conditions atmosphériques, telles que la température du milieu, la présence de vent ou de soleil.

b. Dissolution :

Cadre théorique

La dissolution se produit rapidement après le déversement et affecte principalement les composés aromatiques polaires et de faible poids moléculaire, c'est-à-dire essentiellement les composés inférieurs à C₁₅.

Plusieurs facteurs environnementaux influent sur ce processus d'altération des hydrocarbures. Ainsi, la dissolution prend plus de temps pour atteindre l'équilibre lorsque les températures sont plus basses. La vitesse de dissolution des hydrocarbures peut être également influencée par l'étalement de la nappe, l'épaisseur de la couche d'hydrocarbures et le degré de dispersion de la nappe.

Bien que ce ne soit pas un processus dominant au cours de l'altération, la dissolution est importante puisque certains des composés solubles sont particulièrement toxiques pour les organismes aquatiques ou peuvent être facilement dégradés.

c. Photooxydation :

La photooxydation, ou oxydation photochimique, est un processus d'altération des hydrocarbures qui est modulé par différents facteurs, notamment le spectre et l'intensité lumineuse du rayonnement solaire, la composition chimique des hydrocarbures déversés et la teneur en particules en suspension dans la colonne d'eau. Sous l'action du rayonnement solaire, essentiellement les rayons UV, certains composés peuvent être oxydés. Les composés produits sont alors plus solubles que les composés initiaux et peuvent être plus toxiques.

d. Emulsification :

L'émulsification est un processus d'incorporation de gouttelettes d'eau dans les hydrocarbures pétroliers. Ceci augmente le volume du produit déversé et modifie certaines propriétés physiques des hydrocarbures, telles que la densité et la viscosité. Pour que le produit obtenu soit appelé « émulsion », il doit avoir une certaine stabilité. Cette émulsion stable eau-dans-pétrole est nommée « mousse ».

e. Biodégradation :

Selon leur accessibilité, les hydrocarbures peuvent être biodégradés par les microorganismes (bactéries et champignons) dans la colonne d'eau ou les sédiments. Les hydrocarbures sont alors utilisés par les microorganismes comme source de carbone pour produire de l'énergie.

Cadre théorique

La biodégradation microbienne complète des hydrocarbures produit du dioxyde de carbone (CO₂), de l'eau ainsi que de petits alcanes et des hydrocarbures cycliques. Ces biodégradations peuvent survenir en conditions aérobies ou en conditions anaérobies, par utilisation des sulfures ou du méthane. Toutefois, en conditions anaérobies, la biodégradation des hydrocarbures apparaît plus lente.

Plus les structures moléculaires des hydrocarbures sont complexes, plus le taux de biodégradation diminue. Les alcanes sont les hydrocarbures les plus facilement biodégradés, en particulier ceux qui ont un petit nombre d'atomes de carbone, soit de 12 à 20. La biodégradation commence généralement entre la première et la deuxième semaine après le déversement.

Notons que les hydrocarbures peuvent être également biodégradés par les mécanismes de détoxification des organismes aquatiques, mécanismes par lesquels les hydrocarbures seront transformés en des composés plus hydrosolubles afin de faciliter leur élimination.

✚ Ces processus d'altération provoquent la dispersion des hydrocarbures les plus polluants et les plus toxiques : les BTEX, les HAP et les aliphatiques ; dans l'atmosphère et dans les eaux où ils sont déversés. L'impact de ces composés sur la faune, la flore et sur l'homme sera développé dans les étapes qui suivent.

3.2. Pollution atmosphérique [10]

La présence des hydrocarbures dans l'atmosphère peut s'expliquer par des sources naturelles et anthropiques. Les deux familles les plus présentées dans l'air sont les BTEX et les HAP. Les émissions de HAP dans l'atmosphère proviennent de la production d'aluminium, de l'industrie métallurgique (fonte et acier) et des activités associées à la production et à l'utilisation de bitumes naturels ou artificiels (schistes bitumeux, asphaltes) et de noir de carbone (industrie du caoutchouc et pneumatique).

La contribution des sources naturelles telles que les feux de forêt et les éruptions volcaniques présentent la source naturelle de pollution atmosphérique par ces composés.

On peut citer aussi les procédés d'altération des hydrocarbures lors d'un déversement de pétrole dans les océans comme une autre source de pollution atmosphérique. Les composés les plus volatils (BTEX, HAP et les aliphatiques) émettent dans l'atmosphère par l'un des procédés d'altération (évaporation)

Cadre théorique

L'industrie de raffinage du pétrole peut être considérée comme une grande source de pollution atmosphérique car elle émet plusieurs gaz comme le SO₂ (gaz responsable des pluies acides) ; quand le pétrole brûle, il produit des gaz qui au contact des rayons solaires se transforment en ozone.

3.3. Pollution de sol [11]

Les hydrocarbures les plus existants dans le sol sont les HAP et les BTEX. La présence en grande quantité des HAP dans les sols concerne plus particulièrement les activités de raffinage du pétrole, l'industrie du charbon (usine à gaz, cokerie) et les activités de traitement du bois. En générale les activités industrielles associées à la production et à l'utilisation des matériaux contenant ces composés sont la première source de contamination des sols par les hydrocarbures.

4. Le comportement des hydrocarbures dans l'environnement

4.1. Les BTEX : [12]

Dans l'**atmosphère**, ils sont principalement dégradés en réagissant avec les radicaux hydroxyles présents. La photo-oxydation est la voie la plus importante de dégradation de ces composés dans l'air. Ils sont oxydés par des réactions avec des radicaux hydroxyles et dans une moindre mesure, par l'ozone troposphérique et le radical nitrate. Les produits de la photo-oxydation sont nocifs pour la santé.

La volatilisation et la biodégradation sont les principaux processus responsables de l'élimination des BTEX de l'**eau**. À partir des eaux superficielles, les BTEX se volatilisent rapidement. Ils étant relativement solubles, une partie d'eux présente dans l'atmosphère est déposée sur le sol ou dans les eaux par précipitation.

Les principaux mécanismes responsables de la perte des BTEX du **sol** sont la volatilisation dans l'atmosphère et le ruissellement dirigé vers les eaux de surface. La biodégradation compte aussi pour une petite proportion de la perte. Les BTEX libérés sous la surface du sol peuvent s'infiltrer dans les eaux souterraines à cause de fuites de réservoirs souterrains de stockage.

4.2. Les HAP : [10]

Cadre théorique

Les HAP se partitionnent entre l'atmosphère, le sol et la végétation par les dépôts atmosphériques secs gazeux, secs particulaires et humides de particules. Le transport et la mobilité des HAP dans l'environnement dépendent à la fois de leurs propriétés physico-chimiques, des propriétés des compartiments environnementaux exposés et des conditions environnementales. L'hydrophobicité des HAP témoigne d'un fort potentiel d'adsorption sur les matières organiques et de bioaccumulation dans les tissus gras. Leur structure très stable ne permet leur dégradation dans l'atmosphère que par des attaques de radicaux libres. Dans les sols, ils peuvent être dégradés par certaines voies enzymatiques, mais sont en général récalcitrants à la biodégradation et à la métabolisation. Ils s'accumulent donc dans les sols et les végétaux et peuvent être transférés dans la chaîne alimentaire et avoir des impacts sur l'environnement et la santé humaine. Les HAP du sol peuvent être transférés à la faune du sol soit directement par ingestion ou contact dermique, soit indirectement par ingestion de matériel végétal contaminé.

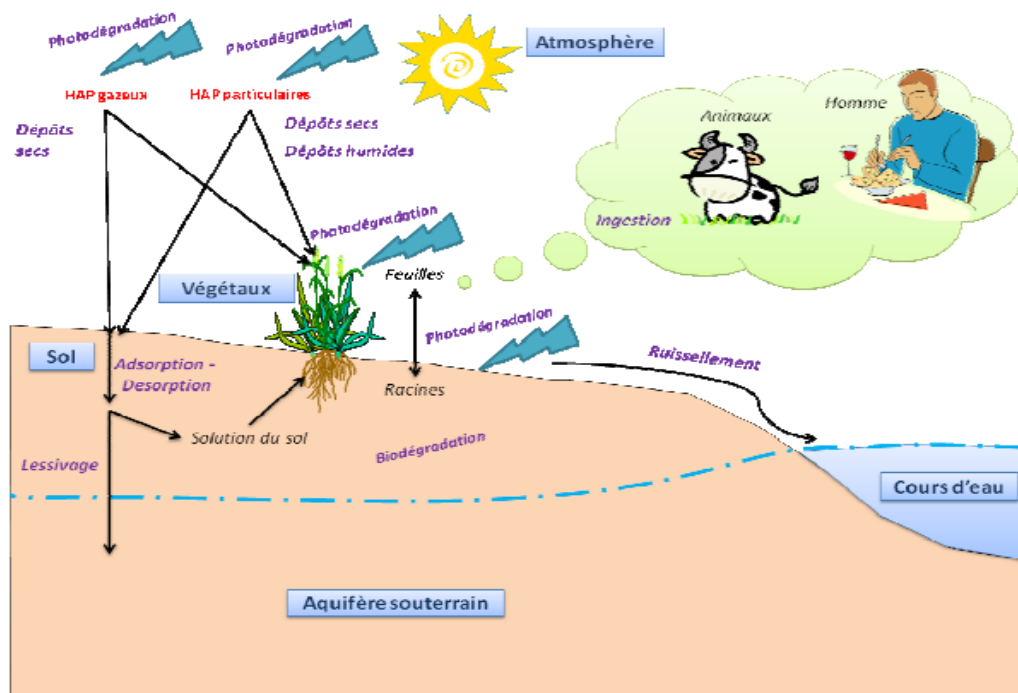


Figure 5 : devenir des HAP dans les écosystèmes

Explication :

Les HAP atmosphériques se déposent sur les champs cultivés ou les prairies et contaminent les parties aériennes des végétaux, soulevant le problème de transfert dans la

Cadre théorique

chaîne alimentaire et dans les denrées alimentaires. La population humaine est exposée aux HAP par ingestion, inhalation et par contact mais la principale source d'exposition et de risque reste l'ingestion de fruits, de légumes, et de produits animaux contaminés (viande, poissons, produits de la mer, produits laitiers, œufs) .

L'exposition varie au niveau individuel selon le lieu (continent, pays, région, zone rurale/ urbaine/ industrielle, densité de trafic) et les habitudes de vie (consommation de viandes grillées, tabagisme).

5. Toxicité des hydrocarbures [13]

La toxicité est la capacité d'une substance de provoquer des effets néfastes et mauvais pour la santé sur toute forme de vie.

5.1. BTEX :

i. Le benzène :

D'après les données disponibles, la cancérogenèse est l'aspect toxique primordial du benzène chez les humains. Des effets aigus ont été observés à la suite de l'inhalation ou l'ingestion de benzène, soit des troubles digestifs (douleurs abdominales, nausées et vomissements), des troubles neurologiques (troubles de conscience, ivresse puis somnolence pouvant aller jusqu'au coma et convulsions à très hautes doses) et une pneumopathie d'inhalation (due à l'inondation des voies respiratoires par le produit et aggravée par les vomissements éventuels).

Chez les mammifères, le benzène ralentit la transmission nerveuse, affaiblit le système nerveux central, abaisse la capacité de l'hémoglobine sanguine à retenir l'oxygène. En milieu aquatique, les espèces de poissons les plus sensibles sont les salmonidés.

ii. Le toluène :

Le toluène a une faible toxicité aiguë; sa cible principale est le système nerveux central. Des expositions à des concentrations comprises entre 281 et 562 mg/m³ induisent des maux de tête, des vertiges, ... Chez l'humain comme chez l'animal, les troubles sont généralement réversibles en quelques heures après l'arrêt de l'exposition. L'inhalation de fortes concentrations peut entraîner la stupeur, la parésie et l'amnésie et, à de très fortes concentrations, peut provoquer la perte de conscience et la mort. Le toluène est irritant pour la

Cadre théorique

peau, les yeux et le système respiratoire. Il est rapidement absorbé par la voie respiratoire; environ 50 % de la dose inhalée sont retenus dans les poumons.

L'information portant sur la toxicité du toluène chez les espèces terrestres est limitée aux bactéries, invertébrés et plantes ainsi qu'aux études effectuées avec des animaux de laboratoire (rats, souris et lapins) . Il a été établi que le toluène est toxique pour les microbes du sol, les invertébrés, les végétaux et les mammifères.

Les végétaux exposés au toluène dans l'air, l'eau et sol jaunissent et croissent plus lentement.

iii. L'éthylbenzène :

Le principal effet des vapeurs d'éthylbenzène est l'irritation des yeux, du nez et des muqueuses à des concentrations d'environ $200 \times 10^3 \text{ mg/m}^3$ d'air. Les concentrations les plus élevées peuvent entraîner une dépression du système nerveux central.

L'éthylbenzène a une faible toxicité aiguë chez l'animal, quelle que soit la voie d'exposition.

iv. Les xylènes :

La toxicité aiguë des xylènes est commune à celle de la plupart des hydrocarbures liquides distillant en dessous de 300°C . L'intoxication par ingestion entraîne des troubles digestifs (douleurs abdominales, nausées puis vomissements suivis de diarrhées), une dépression du système nerveux central.

Des études sont disponibles sur les toxicités aiguë et chronique des xylènes pour des espèces aquatiques situées à divers niveaux trophiques et taxons (algues, poissons et amphibiens).

5.2. Les HAP :

Les HAP sont considérés comme des produits présentant un risque sanitaire.

Le tableau suivant rassemble les données toxicologiques de quelques uns de ces produits.

Tableau 2 : *la toxicité de certains HAP*

Cadre théorique

Nom	Toxique	Mutagène	Tumorigène	Cancérogène
Naphtalène	×	×	×	
Acénaphylène		×		
Phénanthrène	×	×	×	
Anthracène		×	×	
Fluoranthène	×	×	×	
Pyrène	×	×	×	
Chrysène		×	×	×
Benzo[b]fluoranthène		×	×	×
Benzo[k]fluoranthène		×	×	
Benzo[a]pyrène	×	×	×	×
Dibenzo[a,h]anthracène	×		×	×
Benzo[g,h,i]pérylène			×	
Indéno[1,2,3-c,d]pyrène		×	×	×

Les molécules de faible poids moléculaire présentent des caractéristiques de toxicité aiguë tandis que les molécules de poids moléculaires élevés montrent des effets cancérigènes et de bioaccumulation. Des effets de synergie peuvent apparaître.

Des études en laboratoire ont mis en évidence que certains HAP sont immunotoxiques car l'exposition à ces produits aboutit à la suppression des composants du système immunitaire. Plusieurs études toxicologiques ont également révélé que certains HAP sont à l'origine de tumeurs par suite d'exposition prolongée. Des études de médecine du travail ont montré que l'exposition au goudron de houille et aux produits de la combustion du charbon est proportionnelle à l'apparition des cancers du poumon, larynx, peau, scrotum et 28 vessie chez les travailleurs des usines à gaz et cokeries et chez les ramoneurs

L'exposition des poisson à ces composés a provoqué des perturbations de l'expression de gènes impliqués dans le fonctionnement mitochondrial, ainsi que la synthèse d'hormones.

I.3.2. Les constituants solubles [14]

Ils comprennent :

- Eléments organiques séparables par adsorption :

Cadre théorique

- Colorants, détergents, phénol, dérivés chlorés.
- Eléments séparables par précipitation :
 - Métaux et métaux lourds.
 - Les anions tel que : phosphates PO_4^{3-} , sulfates SO_4^{2-} , sulfites SO_3^{2-} , fluorures F^- .
- Eléments séparables par dégazage ou stripage :
 - Sulfure d'hydrogène H_2S , ammoniac NH_3 , dioxyde de soufre SO_2 , hydrocarbures légers ou aromatiques, dérivés chlorés.
- Eléments pouvant nécessiter une réaction d'oxydoréduction
 - Cyanures CN^- , sulfures S^{2-} , chlores Cl_2 , nitrites NO_2^-
 - Acide minéraux : acides chlorhydrique, nitrique, sulfurique et fluorhydrique.
 - Bases diverses.
- Eléments concentrables par échange d'ions ou par osmose inverse :
 - Sels d'acides et de bases forts, composés organiques ionisés (échange d'ions) ou non (osmose inverse).

Les effluents industriels peuvent être fortement **colorés**. Cette coloration est due à des colloïdes (pigments, sulfures) ou à des substances dissoutes (matières organiques, dérivés nitrés).

Les éléments organiques dissous et colloïdaux contenus dans les eaux résiduaires industrielles exigent une dégradation biochimique dans les cours d'eau. Si celle-ci s'accomplit en milieu aérobie mais à faible teneur pour que l'oxydation biochimique des matières organiques se produit, la dégradation de ces dernières se poursuivent en milieu anaérobie, avec la formation de gaz comme : CO_2 , H_2S , NH_4 , N_2 , CH_4 .

Les métaux tels que le cadmium, le cuivre, le mercure, le plomb, le zinc, etc., sont présents dans les rejets aqueux de nombreuses industries. Ces produits font partie des "matières inhibitrices de la vie". Ils sont, à des degrés variables, dangereux pour les organismes vivants. Certains comme le mercure ou le plomb peuvent se concentrer dans les chaînes alimentaires depuis le plancton jusqu'à l'homme.

I.3.2.1. Le plomb [15]

Le plomb est l'élément chimique de numéro atomique 82, de symbole Pb. C'est un membre du groupe des cristallogènes.

Cadre théorique

Le plomb est un métal gris bleuâtre, blanchissant lentement en s'oxydant, malléable. C'est un élément toxique, mutagène, sans valeur connue d'oligoélément. Il a en effet été classé comme potentiellement cancérigène en 1980 par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), puis comme probablement cancérigène pour l'homme et l'animal en 2004. Deux sels de plomb, le chromate et l'arséniate, sont considérés comme carcinogènes certains par le CIRC.

Le plomb est un contaminant de l'environnement, toxique et écotoxique dès les faibles doses. Les maladies et symptômes qu'il provoque chez l'homme ou l'animal sont regroupés sous le nom de « saturnisme ».

A. Caractères analytiques du plomb

Le plomb peut exister en solution soit sous la forme de cations Pb^{2+} correspondant à la valence 2, soit sous celle de cations Pb^{4+} . Les ions Pb^{2+} sont très stables ; Les ions Pb^{4+} , très instables sont des agents oxydants énergiques. En analyse qualitative ont identifié le plus souvent le plomb par le cation Pb^{2+} . En analyse quantitative se pose le problème de doser séparément le plomb sous ses deux états.

B. Comportement de plomb dans l'environnement [16]

Le plomb est présent naturellement dans l'environnement. Cependant, la plupart des concentrations en plomb que l'on trouve dans l'environnement sont le résultat des activités humaines.

Le plomb s'accumule dans le corps des organismes aquatiques et ceux du sol. Ils souffrent des conséquences d'un empoisonnement au plomb. Chez les crustacés ces effets se font ressentir même si de très petites concentrations de plomb sont présentes. Les fonctions du phytoplanctons peuvent être perturbées lorsque le plomb est présent. Le phytoplancton est une source importante d'oxygène dans les mers et beaucoup d'animaux marins plus gros s'en nourrissent.

Les fonctions du sol sont perturbées par l'intervention du plomb, spécialement près des autoroutes et des terres agricoles, où des concentrations extrêmes peuvent être présentes. Les organismes du sol souffrent alors aussi de l'empoisonnement au plomb.

Le plomb est un produit chimique particulièrement dangereux car il peut s'accumuler dans des organismes individuels, mais aussi dans la chaîne alimentaire tout entière.

C. Effets du plomb sur la santé humaine

Le plomb est l'un des quatre métaux les plus nocifs pour la santé. Il peut pénétrer dans le corps humain lors de l'ingestion de nourriture (65%), d'eau (20%) ou par l'air (15%). Le plomb n'effectue aucune fonction essentielle dans le corps humain, il a seulement des effets nocifs.

Le plomb peut avoir plusieurs effets indésirables, tels que:

- Perturbation de la biosynthèse de l'hémoglobine et anémie.
- Augmentation de la pression artérielle.
- Problèmes aux reins.
- Fausses couches.
- Perturbation du système nerveux.
- Dommages au cerveau.
- Déclin de la fertilité des hommes (problèmes au niveau du sperme).
- Capacités d'apprentissage des enfants diminuées.
- Perturbation du comportement des enfants: agressivité, comportement impulsif, hyperactivité.

I.3.2.2. phénols [17]

Le phénol, appelé aussi hydroxybenzène, acide phénique, ou encore acide carbolique, est composé d'un noyau phénylène et d'une fonction hydroxyle. C'est la plus simple molécule de la famille des phénols.

1. Comportement des phénols dans l'environnement [18]

1.1. Milieu aquatique

Le phénol est plus lourd que l'eau et tend à se déposer. Il se dissout lentement et même dilué, continue de former des solutions toxiques. En raison de sa forte toxicité dans l'eau, le phénol figure dans la catégorie de risque WGK 2 (= polluant pour l'eau) en République fédérale d'Allemagne.

Cadre théorique

1.2. Atmosphère

Les vapeurs de phénol sont plus lourdes que l'air et forment des mélanges explosifs sous l'effet de la chaleur. Le phénol s'oxyde à l'air, et ce processus d'oxydation est accéléré par la lumière ou par des impuretés à effet catalytique.

1.3. Sols

Dans le sol, le phénol subit une dégradation microbienne aérobie ou anaérobie, de sorte que l'effet d'accumulation reste limité. L'accumulation est fonction de la présence de minéraux argileux (forte affinité avec l'oxyde d'aluminium).

2. Effet du phénol sur la santé humaine [19]

Les vapeurs et solutions de phénol sont toxiques et pénètrent aisément dans l'organisme par voie cutanée. L'inhalation de vapeurs a un effet caustique sur les voies respiratoires et les poumons. Le contact cutané et oculaire avec des solutions de phénol entraîne de sévères brûlures. L'exposition prolongée entraîne une paralysie du système nerveux central ainsi que des atteintes rénales et pulmonaires. Cette paralysie peut finalement entraîner la mort. L'intoxication s'accompagne de symptômes tels que maux de tête, vertiges, troubles gastriques et intestinaux, étourdissement, collapsus, respiration irrégulière, empoisonnement, perte de conscience, défaillance respiratoire, troubles cardiaques, et parfois convulsions.

II. Echantillonnage et paramètres de pollution

II.1. Echantillonnage

II.1.1. Généralité :[20]

L'objectif de l'échantillonnage à des fins d'analyse est d'obtenir des renseignements sur un milieu donné à l'aide d'échantillons représentatifs.

Une bonne planification de la campagne d'échantillonnage est nécessaire pour éviter les pertes de temps et les erreurs. Elle doit tenir compte du contexte et des objectifs du projet dans lequel l'échantillonnage doit avoir lieu.

Exemples de contextes :

- Surveillance environnementale ou industrielle (routinière);
- catastrophe environnementale;
- Inspection, enquête, etc.;
- évaluation du rendement de certains équipements et épurateurs;
- Connaissance d'un milieu;
- contrôle après restauration ou traitement, etc.

Exemples d'objectifs :

- réduire ou harmoniser les impacts sur un milieu;
- évaluer l'efficacité ou les effets d'une intervention ou d'un procédé de traitement;
- vérifier le respect d'une réglementation;
- améliorer la connaissance d'un milieu, etc.

II.1.2. Approche d'échantillon et taille d'échantillon :

L'expression « **taille d'échantillon** » fait référence au nombre d'échantillons prélevés qui sont utilisés à des fins de caractérisation ou de calcul.

Essentiellement, la détermination de la taille de l'échantillon relève du contexte de l'échantillonnage et des objectifs de précision ou de certitude à atteindre.

La taille d'échantillon est influencée par les approches d'échantillonnage utilisées. Le choix de l'une ou l'autre des trois approches décrites ci-dessous doit se faire au moment de la planification de la campagne.

Une bonne planification nécessite la compréhension et l'intégration des approches d'échantillonnage et de la notion de population.

Le terme « **population** » se définit comme « une collection d'éléments possédant au moins une caractéristique commune et exclusive permettant de l'identifier et de la distinguer sans

Cadre théorique

ambiguïté de toute autre ». Cette notion fondamentale doit être intégrée dans toutes les approches d'échantillonnage envisagées.

II.1.2.1 Echantillonnage ciblé

L'échantillonnage ciblé consiste généralement à prélever des échantillons à des endroits où l'on soupçonne la présence de contaminants. Très souvent, les observations visuelles ou les données provenant d'une enquête ou de plaintes guident le préleveur vers la zone appropriée. Cette approche d'échantillonnage est largement utilisée, mais elle n'apporte généralement que peu de renseignements sur la contamination moyenne d'un secteur donné.

II.1.2.2 Echantillonnage aléatoire

L'échantillonnage aléatoire consiste à prélever des échantillons à des endroits choisis au hasard, de telle sorte que chaque point d'échantillonnage a la même probabilité d'être sélectionné. On trouve deux types :

a. Echantillonnage aléatoire simple

L'échantillonnage aléatoire simple consiste à prélever des échantillons à des endroits choisis au hasard sur le terrain, lorsqu'il s'agit d'un milieu statique (sol, résidus solides, etc.), ou à des périodes de temps choisies au hasard, lorsqu'il s'agit d'un milieu dynamique (rejets liquides, cours d'eau, convoyeur, etc.). Ce type d'échantillonnage est utilisé dans le cas où le contaminant est dispersé ou très dispersé dans le milieu et dans le cas de contamination homogène.

b. Echantillonnage systématique :

L'échantillonnage systématique consiste à sélectionner un premier point au hasard et à y ajouter une unité de longueur ou de temps choisie à l'avance. Cette unité ne peut être modifiée par la suite afin de préserver le caractère aléatoire de l'échantillonnage. Ce type est utilisé si le contaminant n'est pas bien dispersé dans le milieu.

II.1.3 Types d'échantillon :

Une fois l'approche d'échantillonnage choisie, il est nécessaire de déterminer le type d'échantillons à prélever :

II.1.3.1 Échantillon instantané (milieux dynamiques)

Prélèvement d'un échantillon représentatif dans un intervalle généralement inférieur à 15 minutes.

Cadre théorique

- ✓ Exemple : pomper une certaine quantité de liquide en moins de 10 minutes.

II.1.3.2 Échantillon ponctuel (milieux statiques)

Prélèvement d'un échantillon représentatif d'un emplacement particulier.

- ✓ Exemple : prélever une quantité de sol à un endroit bien déterminé.

II.1.3.3 Échantillon composé (milieux statiques et dynamiques)

Prélèvement, dans un même contenant, de plusieurs échantillons à des intervalles de temps ou à des distances variables en respectant l'égalité des proportions.

- ✓ Exemple :

prélèvement d'effluent aux 5 minutes entre 8 h et 17 h (milieux dynamiques).

Prélèvement d'échantillons de sol provenant d'endroits différents (milieux statiques).

II.1.4. Échantillonnage des rejets liquides

La provenance souvent fort variée des échantillons de rejets liquides (effluents industriels, effluents domestiques, effluents finals de procédé ou de traitement, eaux de lixiviation provenant de lieux d'enfouissement, déversement d'origine inconnue ou accidentelle comme les bris de conduite, etc.) démontre fréquemment des variations notables de quantité de polluants. Il est primordial, pour s'assurer de la meilleure représentativité possible, d'effectuer des prélèvements en appliquant des protocoles d'échantillonnage rigoureux et de connaître le comportement des substances qui influenceront les choix des méthodes d'échantillonnage.

II.1.4.1 Choix du point d'échantillonnage

Le point d'échantillonnage est certes l'un des facteurs les plus importants lors d'une campagne d'échantillonnage et doit être choisi judicieusement. Idéalement, son emplacement est sélectionné en fonction de la représentativité des échantillons. Le choix de points d'échantillonnage représentatifs doit s'appuyer sur une déduction logique tenant compte des objectifs de l'échantillonnage et des substances à analyser. Il est très difficile de décrire la position idéale d'un point d'échantillonnage, mais il est important de tenir compte de la présence des composés volatils, des composés surnageants (ex. : hydrocarbures), de la température et des possibilités de décantation :

- Lorsque **la substance à analyser est soluble dans l'eau** et qu'on n'a pas à craindre de pertes par aération ou volatilisation, il faut prélever les échantillons à un endroit où l'eau est parfaitement mélangée.

Cadre théorique

- Si, au contraire, on craint de perdre des composés volatils, il faut plutôt prélever l'échantillon dans un endroit plus calme.

Généralement, le point d'échantillonnage se situe à un endroit de l'effluent où il ya **suffisamment de turbulence** pour assurer l'homogénéité de l'effluent :

- ✓ Le point d'échantillonnage des effluents dans **les canaux ouverts** se situe au centre du canal et à une profondeur permettant la prise d'échantillons même en condition de débit minimum. Dans d'autres circonstances, il peut être requis de modifier le choix du point d'échantillonnage (surfactants, phase flottante, présence d'hydrocarbures, etc.).
- ✓ Pour les conduites sous pression fermées, il faut installer une crépine biseautée ou perforée qui pénètre jusqu'au centre de la conduite. La partie biseautée ou perforée de la crépine doit faire face au courant. La partie de la crépine située à l'intérieur de la conduite doit être biseautée ou perforée sur toute sa longueur. La figure 1 présente l'installation d'une crépine biseautée ou perforée dans une conduite fermée sous pression.

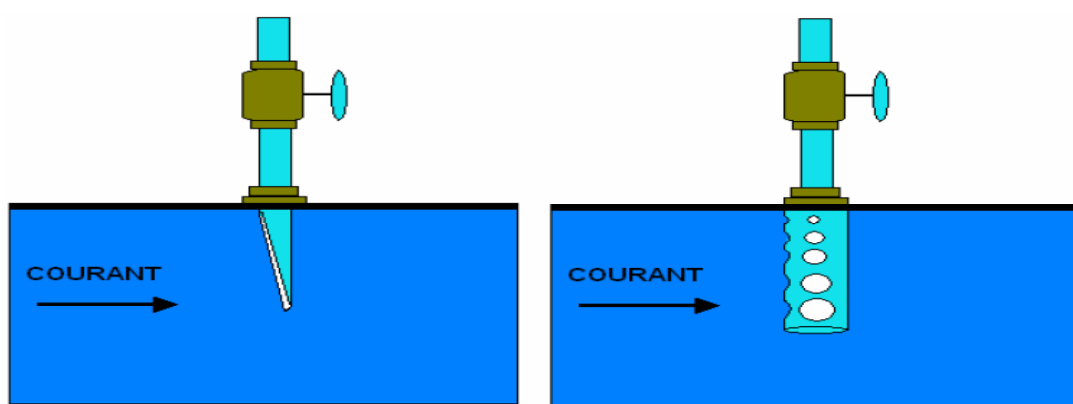


Figure 6 : *crépine pour conduite fermée sous pression*

- ✓ Dans le cas d'une rivière, d'une nappe ouverte, d'un réservoir, d'une citerne, la bouteille sera plongée à une certaine distance du fond (50 cm) et de la surface, assez loin des rives ou des bords ainsi que des obstacles naturels ou artificiels, en dehors des zones mortes ou des remous, et en évitant la remise en suspension des dépôts.

Cadre théorique

- ✓ Dans le cas d'un lac ou d'une retenue d'eau, il y a lieu de choisir plusieurs points de prélèvements et, en chacun d'eux, de prélever plusieurs échantillons à différentes profondeurs pour tenir compte de l'hétérogénéité verticale et horizontale.

II.1.4.3. Types et méthodes d'échantillonnage

1. Echantillonnage instantané

Les échantillons instantanés sont prélevés en milieux dynamiques en une seule prise dans un intervalle généralement inférieur à 15 minutes.

On prélève des échantillons instantanés lorsque les paramètres à analyser peuvent être altérés tels que le pH, le chlore résiduel libre, combiné ou total, les paramètres microbiologiques ou toxicologiques, les composés organiques volatils, les sulfites, les sulfures et les cyanures. Certaines précautions particulières concernant l'échantillonnage de quelques-unes de ces substances sont indiquées aux sections suivantes.

Le prélèvement d'échantillons instantanés se fait habituellement par la **méthode manuelle** :

Cette méthode nécessite peu d'équipement.

- ✚ Les échantillons sont prélevés par immersion d'un contenant dans l'effluent à échantillonner.
- ✚ L'ouverture du contenant doit être face au courant de l'effluent et sous la surface du liquide.
- ✚ Le contenant peut également être fixé à une tige d'échantillonnage ou à un instrument autre pour faciliter le prélèvement lorsque l'effluent est difficile d'accès.

Il est également possible de prélever un échantillon instantané par l'intermédiaire d'un **échantillonneur automatique** :

L'échantillon est aspiré par l'appareil directement dans les bouteilles qui seront expédiées au laboratoire. L'échantillonneur utilisé doit être conforme aux exigences.

2. Echantillonnage composite

Un échantillon composé est obtenu en combinant dans un même contenant des échantillons instantanés prélevés périodiquement en fonction du temps ou du débit en respectant l'égalité des proportions. Un échantillon composé peut se prélever automatiquement ou manuellement.

On obtient un échantillon composé en fonction du temps en prélevant des échantillons de même volume à intervalles de temps réguliers. On obtient des

Cadre théorique

échantillons composés en fonction du débit en prélevant des échantillons proportionnellement au débit des eaux. Un échantillon composé couvre une période de temps définie en fonction des besoins (généralement de 24 heures).

II.1.5. Normes

Les recommandations relatives à l'échantillonnage exposées dans le fascicule de documentation **NF T90-100**, (échantillonnage-précautions à prendre pour effectuer-conserver et traiter les prélèvements).

Des modalités particulières d'échantillonnage, tels que la nature du flacon, volume d'échantillon, précautions de conservation; sont nécessaires pour la détermination de certains polluants, elles ne sont pas incluses dans la présente norme, mais ils font l'objet de paragraphes spéciaux dans les normes de méthodes d'analyses

II.1.6. Volume d'échantillon et nature de flacons [21]

Le volume de prélèvement minimal suggéré pour un échantillon instantané est d'environ un litre, peu importe le volume requis pour l'analyse au laboratoire, et ce, afin d'avoir un volume d'échantillon représentatif du rejet.

Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière. L'emploi de flacons neufs **en verre borosilicaté** ou en **polyéthylène haute densité (PEHD)** avec des bouchons en téflon lavés avec une solution détergente à chaud et rincés avec de l'eau déionisée puis séchés, est recommandé.

II.1.7. Conservation des échantillons [21]

Le prélèvement subira obligatoirement un certain temps de transport et une éventuelle attente au laboratoire avant la mise en route analytique. Ces temps devront être réduits au minimum. Pendant cette période, des phénomènes chimiques et bactériologiques peuvent conduire à des précipitations secondaires par changement de valence, des adsorptions sur les parois des récipients, des volatilisations, des biodégradations, d'où la nécessité d'employer des adjuvants de conservation et de réunir des conditions de température et d'obscurité favorables.

D'une façon générale, le transport à la température de 4 °C et à l'obscurité dans des emballages isothermes permet d'assurer une conservation satisfaisante.

II.2. Paramètres caractéristiques des eaux résiduaires industrielles [21]

Pour évaluer et mesurer globalement la pollution des eaux résiduaires, plusieurs méthodes dites « critères globaux de pollution » sont disponibles depuis longtemps.

la pollution des eaux résiduaires industrielles est généralement évaluée par la mesure des matières en suspension, de la pollution organique carbonée (DCO, DBO₅, COT), des différentes formes d'azote et des principales formes de phosphore (PT, orthophosphates, polyphosphates). Les hydrocarbures et certains métaux lourds (Pb, Zn, Cu, Cd...) pourront être aussi détectés et quantifiés.

L'objectif des critères globaux de pollution est d'évaluer grâce à un paramètre unique le risque polluant associé aux effluents.

II.2.1 Caractéristiques physiques [21]

A. Température :

La température de l'eau est un facteur écologique important, qui contrôle plusieurs processus, parmi eux :

- La solubilité des sels et surtout les gaz (en particulier l'oxygène).
- La détermination du pH.
- Le fonctionnement des systèmes d'épuration : elle peut influencer la multiplication des
- microorganismes affectant ainsi l'épuration biologique.
- Le métabolisme de croissance des organismes vivants dans l'eau

La température est mesurée par thermosonde (ou par thermomètre).

B. Matières en suspension (MES)

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par **filtration** ou par **centrifugation**. La méthode par centrifugation est surtout réservée aux eaux contenant trop de matières colloïdales pour être filtrées dans de bonnes conditions, en particulier si le temps de filtration est supérieur à une heure. Les deux méthodes ont leurs inconvénients respectifs liés à un certain nombre de facteurs. Quelle que soit la méthode choisie, il est nécessaire pour obtenir une reproductibilité satisfaisante de respecter rigoureusement les conditions

Cadre théorique

opératoires et d'utiliser le même type de matériel. D'une façon générale, les matières grossières en suspension doivent être préalablement éliminées par passage sur un tamis et les dépôts restant dans le flacon de prélèvement soigneusement repris. Il convient d'effectuer la détermination le plus rapidement possible après le prélèvement et de préférence sur la totalité de l'échantillon : rincer le flacon de prélèvement pour éviter les pertes.

B.1. Méthode par filtration

❖ Principe

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

Le volume filtré doit être d'au moins 100 mL et contenir au moins 1 mg de matières filtrables par centimètre carré de surface filtrante, sauf si le volume filtré est supérieur à 500 mL.

En présence d'hydrocarbures, le filtre doit être lavé avec 2 fois 30 mL de chloroforme.

Il est préférable de laisser décanter l'échantillon et de verser ensuite le dépôt sur le filtre.

B.2. Méthodes par centrifugation

Lorsque les particules sont trop petites pour décanter sous l'action de la pesanteur, on peut les centrifuger, en substituant l'accélération gravitaire (g) par l'accélération centrifuge.

❖ Principe

L'eau est centrifugée à environ 3 000 g (soit 5 000 trs/min pour un rayon de centrifugation de 10 cm) pendant 20 minutes. Le culot est recueilli, séché à 105 °C et pesé. Il peut être ensuite calciné à 525 °C et pesé de nouveau.

C. Débit

En hydraulique le débit Q ($m^3.s^{-1}$) est défini comme étant un volume (v) de liquide qui s'écoule à travers une section donnée d'un canal S (m^2) ou d'une conduite par une unité de temps (t), à partir de la vitesse moyenne V ($m.s^{-1}$) perpendiculaire à cette section par la relation :

$$Q = \Delta V / \Delta t \longrightarrow Q = S * V$$

La mesure du débit est nécessaire pour : établir la charge polluante des ER et leur source industrielle, connaître les variations de débit et de charge par rapport au temps, dimensionner

Cadre théorique

les équipements de transport et les ouvrages de traitement des ER ainsi savoir quantifier les eaux d'alimentation, gérer les différents problèmes des réseaux de collecte et de distribution de l'eau.

Dans le contexte environnemental, ces mesures sont ainsi nécessaires pour l'application des lois et des règlements.

D. La turbidité :

La turbidité de l'eau (l'inverse de la transparence), est la réduction de la transparence de l'eau, donc elle représente l'opacité d'un milieu trouble.

Elle est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. (RODIER, 2009)

On la mesure soit :

- par observation de la couleur d'eau, en mesurant la hauteur d'eau à travers laquelle on ne distingue plus un objet (disque de SECCHI, fil de platine) ; elle est alors exprimée en mètre ;
- par méthode électronique (néphélométrie) par comparaison avec une gamme de solution de référence (silice, mastic, formazine) ; elle est alors exprimée en mg.l^{-1} de silice, de mastic, ... ou en unité (NTU, Nephelometric Turbidity Unit, ou JTU -Jackson ou FTU, Formazine).

II.2.2. Caractéristiques physico-chimiques [21]

II.2.2.1. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH caractérise l'acidité d'un milieu aqueux. En provoquant la dissociation de l'eau, on obtient selon la loi d'action de masse, des ions hydronium H_3O^+ , et des ions hydroxydes OH^- . Lorsque les premiers prédominent sur les seconds dans un milieu aqueux, ils confèrent à ce milieu un caractère acide (pH de 0 à 7). En sens inverse, lorsque les seconds sont en supériorité, le milieu a un caractère basique ou alcalin (pH de 7 à 14) et la neutralité est attribuée pour une valeur égale à 7.

Il mesure donc la concentration des ions H^+ dans l'eau, et traduit par la suite, l'acidité ou la basicité du milieu.

Sa mesure doit s'effectuer sur place de préférence par la méthode potentiométrique. La mesure électrique, quoique délicate, peut seule donner une valeur exacte, car elle est

Cadre théorique

indépendante du potentiel d'oxydoréduction, de la couleur du milieu, ou de la turbidité et des matières colloïdales.

Le pH est important pour le développement des organismes aquatiques.

II.2.2.2. La conductivité :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm. Elle mesure donc la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, dû à la présence dans le milieu d'ions (sels minéraux) chargés électriquement, ce qui permet de donner des informations sur la salinité des eaux.

Elle est également en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation. La conductivité est exprimée en siemens par mètre (S.m⁻¹). La concentration des sels présente dans les eaux exerce une pression osmotique sur la faune et la flore aquatique. La minéralisation ne doit pas subir donc des variations importantes afin de maintenir un équilibre écologique.

II.2.3. Caractéristiques chimiques [21]

1 Matières organiques polluantes

On mesure les polluants organiques par la quantité d'oxygène qu'ils demandent pour être totalement oxydés, soit par voie biologique et c'est la demande biochimique en oxygène ou la DBO qui représente la quantité de matières biodégradables, soit par voie chimique et c'est la demande chimique en oxygène ou la DCO qui représente la totalité des matières organiques.

1.1 Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelle que soit leur origine organique ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfures et chlorures).

La DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités de l'oxydation, etc,...

Cadre théorique

1.1.1. Méthodes d'évaluation de DCO

Il est préférable d'effectuer les prélèvements dans des récipients en verre, les flacons en matière plastique pouvant entraîner la présence des contaminations organiques. Pratiquer la détermination de la DCO très rapidement après le prélèvement qui doit être représentatif et homogénéisé.

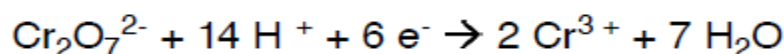
a. Méthodes à reflux en système ouvert : méthodes volumétriques (dosage)

▪ Principe

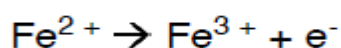
Dans des conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées à l'ébullition (150 °C) par un excès de dichromate de potassium, en milieu acide et en présence de sulfate d'argent jouant le rôle de catalyseur d'oxydation et de sulfate de mercure (II) permettant de complexer les ions chlorure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium.

Les matières oxydables (et en particulier les matières organiques) de **l'échantillon est oxydé par le dichromate de potassium dans les conditions précitées.**

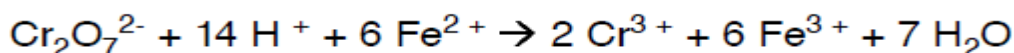
Le dichromate de potassium est réduit :



Le dichromate de potassium résiduel est dosé par une solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium (donc de Fe^{2+}), en présence de ferroïne (indicateur d'oxydo-réduction)

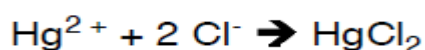


La réaction globale du dosage est la suivante :



Il est alors possible de déterminer la quantité de dichromate de potassium consommé lors de l'essai et d'en déduire la quantité d'oxygène équivalente.

Pour limiter l'interférence des chlorures, on ajoute du sulfate de mercure, qui conduit à la formation de chloromercurate (II), soluble et peu oxydable :



b. Méthodes à petite échelle en tube fermé : utilisation d'un spectrophotomètre

▪ Principe :

La méthode décrite dans ce paragraphe utilise le même principe que la méthode précédente: oxydation de l'échantillon par le dichromate de potassium en présence

Cadre théorique

d'acide sulfurique, de sulfate d'argent (catalyseur) et de sulfate de mercure (II) (complexant des ions chlorure).

L'originalité de cette méthode repose :

- sur l'utilisation de tubes fermés prêts à l'emploi .Ils contiennent tous les réactifs nécessaires et il suffit d'introduire un volume précis d'échantillon,
- sur le dosage spectrométrique de l'oxydant consommé. On utilise la propriété d'absorber à **600 nm** que possède le Cr^{3+} (formé lors de l'oxydation de la matière organique de l'échantillon, par réduction du dichromate de potassium).

1.2 Demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO_5)

1.2.1 Demande biologique en oxygène

- **Définition :** La demande biochimique en oxygène est la concentration en masse d'oxygène dissous, consommée pour l'oxydation par voie biochimique des matières organiques contenues dans l'échantillon, dans les conditions de l'essai.

1.2.2 Demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO_5)

La demande biochimique en oxygène (DBO_5) est définie comme la quantité d'oxygène consommée dans les conditions de l'essai, c'est-à-dire après incubation durant 5 jours, à 20°C et dans l'obscurité, par certaines matières présentes dans l'eau, principalement pour assurer leur dégradation par voie biologique.

1.2.2.1 Les méthodes de détermination de la DBO_5

A. Méthode par dilution

- **Principe**

Mesure de l'oxygène consommé en cinq jours par un échantillon dilué avec une eau saturée en oxygène,ensemencée avec des germes, puis placé dans une enceinte thermostatée à 20°C .

- **Matériel**

- Flacons en verre à bouchon rodé de 150 ou 250 mL.
- Enceinte thermostatée à $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.
- Matériel nécessaire au dosage de l'oxygène dissous, de préférence un **oxymètre**.

Cadre théorique

▪ Réactifs

– Inoculum bactérien pour ensemencement :

Si l'eau à analyser n'est pas riche en microorganismes, on pourra ajouter selon les cas un inoculum.

– Solution tampon de phosphates (pH = 7.2) :

Dans une fiole jaugée de 1 L, dissoudre successivement les réactifs suivants avec de l'eau déionisée :

- dihydrogénophosphate de potassium (KH_2PO_4) → 8,50 g
- hydrogénophosphate de dipotassium (K_2HPO_4) → 21,75 g
- monohydrogénophosphate de sodium dihydraté ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) → 33,40 g
- chlorure d'ammonium (NH_4Cl) → 1,70 g
- eau déionisée → 1 000 mL

– Solution saline :

Dans une fiole jaugée de 1 L, dissoudre successivement les réactifs suivants avec de l'eau déionisée :

- chlorure de fer (III) hexahydraté ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) → 0,25 g
- sulfate de magnésium heptahydraté ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) → 22,5 g
- chlorure de calcium (CaCl_2) → 27,5 g
- eau déionisée → 1 000 mL

– Solution de contrôle glucose/acide glutamique :

Cette solution doit être préparée chaque jour avec des réactifs préalablement séchés à 105°C pendant 1 h :

- D-glucose anhydre ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) → 150 mg ± 1 mg
- Acide glutamique ($\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4$) → 150 mg ± 1 mg
- Eau déionisée → 1 000 mL

Cette solution présente une demande théorique en oxygène égale à 307 mg/L d'oxygène.

– Solution d'allyl thio-urée à 1g/L :

- Allyl thio-urée ($\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{S}$) → 500 mg
- Eau déionisée → 500 mL

Stockée à 4 °C, cette solution se conserve environ 2 semaines.

Cadre théorique

▪ Mode opératoire

– Préparation de l'eau de dilution :

Pour préparer 1 L d'eau de dilution, on ajoutera à 1 L d'eau déionisée :

- 1 mL de la solution tampon de phosphates .
- 1 mL de la solution saline.

Cette solution sera amenée à 20 °C et aérée pendant au moins 1 heure en prenant soin de ne pas la contaminer. Vérifier que la teneur en oxygène dissous est voisine de la concentration de saturation à 20 °C (9,1 mg/L).

Laisser reposer à 20 °C dans un récipient débouché pendant environ 1 h avant usage et l'utiliser dans les 24 h.

– Préparation de l'eau de dilutionensemencée :

Ensemencer l'eau de dilution juste avant son utilisation en ajoutant 5 mL d'inoculum bactérien pour ensemencement.

Si l'eau à analyser est une eau résiduaire urbain, cet ensemencement n'est pas nécessaire.

– Choix des dilutions à réaliser sur les échantillons :

Il est recommandé de réaliser trois dilutions (ou plus) pour chaque échantillon.

Vu la difficulté à choisir le taux de dilution idéal, on cherchera à évaluer la DBO présumée pour chaque échantillon, par exemple en évaluant sa DCO et en estimant la fraction biodégradable.

On considère en général que la concentration résiduelle en oxygène dissous se situe entre 1/3 et 2/3 de la concentration initiale.

On nommera **F** le facteur de dilution réalisé. Si la dilution est au 1/100 e , le facteur de dilution **F** est égal à 100.

On peut considérer approximativement que si la valeur de la DBO présumée est égale à **X**, le facteur moyen de dilution présumé est voisin de **X/4**.

– Préparation des solutions d'essais :

Placer l'échantillon à 20 °C et attendre la stabilisation de sa température. Dans une fiole jaugée de 250 ou 500 mL, diluer l'échantillon avec l'eau de dilution (éventuellementensemencée) pour obtenir la dilution convenable. Trois dilutions différentes seront préparées pour chaque échantillon.

Ajouter dans chaque flacon la solution d'allyl thio-urée à raison de 2 mL par litre d'échantillon dilué.

Cadre théorique

En prenant toutes les précautions nécessaires pour éviter de modifier la teneur en oxygène dissous de cette dilution, on réalisera les opérations suivantes sur des fractions de chaque dilution :

- ✓ Vérification du pH de chaque dilution. Il doit être compris entre 6 et 8. Si ce n'est pas le cas, le pH sera ajusté soigneusement à l'aide de solutions d'acide chlorhydrique ou d'hydroxyde de sodium à environ 0,5 mol/L.
- ✓ Détermination de la teneur en oxygène dissous.
- ✓ Remplissage d'un flacon d'incubation. Le flacon sera rempli totalement sans bulles d'air, et bouché hermétiquement.

Les flacons sont ensuite placés dans une **enceinte thermostatée** à 20 °C pendant 5 jours.

Au bout de 5 jours, on dose à nouveau l'oxygène dissous dans chacun des flacons.

– Essais témoin :

Trois flacons contenant uniquement l'eau de dilution seront traités de la même manière que les échantillons.

La consommation d'oxygène au cours des 5 jours d'incubation à 20 °C ne devrait pas excéder 0,5mg/L.

–Interprétation des résultats :

Soit :

D₀ = Teneur en oxygène (mg/L) de l'eau de dilution au début de l'essai.

D₅ = Teneur moyenne en oxygène (mg/L) de l'eau de dilution au bout de cinq jours d'incubation.

T₀= Teneur en oxygène (mg/L) de l'une des dilutions de l'échantillon au début de l'essai.

T₅ = Teneur en oxygène (mg/L) de l'une des dilutions de l'échantillon au bout de cinq jours d'incubation.

F = Facteur de dilution

La demande biochimique en oxygène exprimée en milligrammes d'oxygène par litre est égale à :

$$DBO_5 = F (T_0 - T_5) - (F - 1) (D_0 - D_5)$$

Cadre théorique

B. Méthodes pour les échantillons non dilués

Cette méthode est applicable pour les échantillons dont la demande bio-chimique en oxygène est inférieure à 6 mg/L.

▪ **Principe**

La teneur en oxygène de l'eau est déterminée immédiatement après le prélèvement, puis à nouveau après un temps d'incubation de 5 jours à 20 °C. La différence entre les deux mesures correspond à la consommation d'oxygène, considérée dans ces conditions comme la demande biochimique en oxygène.

Aucun apport de nutriments ou ensemencement par des micro-organismes n'est apporté à l'échantillon lors de cet essai.

▪ **Matériels**

✓ Flacons d'incubation en verre (dits flacons DBO), d'une capacité de 100 à 130 mL ou de préférence de 250 à 300 mL, munis de bouchons en verre, permettant une fermeture totalement hermétique.

✓ Armoire d'incubation, pouvant assurer une température de 20 °C.

✓ Si possible un appareillage de détermination électrochimique de l'oxygène dissous avec sonde (oxymètre).

▪ **Mode opératoire**

La solubilité de l'oxygène dissous variant avec la température, la totalité de la détermination est réalisée à 20 °C. Toutes précautions utiles devront également être prises lors des opérations de remplissage pour éviter une modification de la teneur en oxygène du milieu.

Porter la température de l'échantillon à 20 °C.

Remplir un flacon d'incubation avec cet échantillon, jusqu'à débordement, en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

Déterminer la concentration en oxygène dissous (C_0) en mg/L.

Boucher les flacons sans emprisonner de bulles d'air.

Mettre à incuber à 20 °C à l'obscurité pendant 5 jours.

Déterminer après incubation de 5 jours la concentration en oxygène dissous (C_5) en mg/L.

▪ **Expression des résultats**

Cadre théorique

La demande biochimique en oxygène après n jours, exprimée en mg d'oxygène par litre correspond à :

$$DBO_5 = C_0 - C_5$$

C_0 : concentration en oxygène dissous dans l'échantillon au temps 0.

C_5 : concentration en oxygène dissous dans l'échantillon après incubation de 5 jours.

C. Méthodes respirométriques (dites manométriques)

▪ Principe

La diminution de l'oxygène consommé lors de la biodégradation d'un échantillon provoque une diminution de pression mesurée à l'aide d'un manomètre. Plusieurs types d'appareillages sont commercialisés pour la mesure de la DBO. Certains permettent d'enregistrer une dépression, c'est le système de Warburg ; d'autres enregistrent la quantité d'oxygène fournie pour rétablir au fur et à mesure des besoins la pression initiale d'oxygène : c'est le système respirométrique de Sierp.

L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermostatée est mis à incuber en présence d'air. Les micro-organismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par de l'oxygène en provenance du volume d'air situé au-dessus de l'échantillon. L'anhydride carbonique formé est piégé par de l'hydroxyde de potassium.

▪ Matériel

- Respiromètres adaptés à la détermination de la DBO :

Les appareillages commercialisés sont de 2 types (voir schémas ci-dessous).

Les appareils les plus anciens comportent un tube manométrique qui sert à déterminer la dépression correspondant à la consommation d'oxygène. Les plus récents utilisent un bouchon équipé d'un capteur de pression qui garde automatiquement en mémoire les pressions aux temps 1, 2, 3, 4 et 5 jours.

Dans tous les cas, le flacon d'incubation est équipé d'un système d'agitation et d'une nacelle contenant de l'hydroxyde de potassium qui piège le dioxyde de carbone libéré lors de la biodégradation.

Cadre théorique

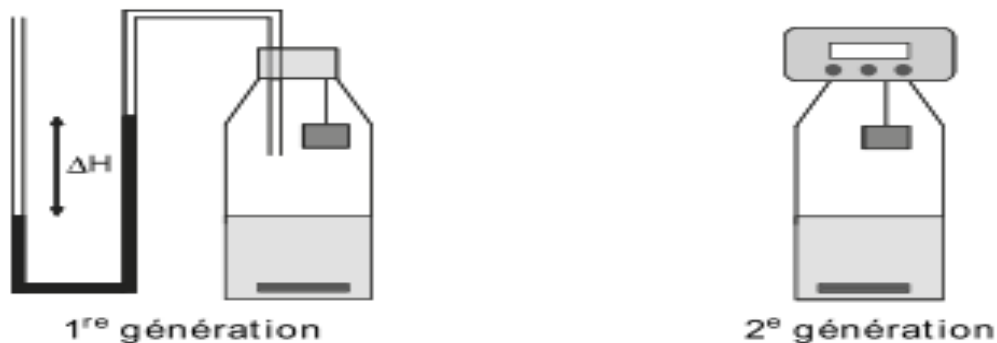


Figure7 : respiromètres adaptés à la détermination de la DBO

- flacons DBO adaptés au respiromètre utilisé .
- enceinte thermostatée à 20 °C – ± 1 °C.

▪ réactifs

Dans le cas d'eaux résiduaires brutes ou traitées, l'ajout de nutriments ou de microorganismes n'est pas nécessaire. Il peut par contre être indispensable pour des effluents industriels. On se référera dans ce cas aux indications données dans la méthode par dilution pour :

- le choix d'un inoculum bactérien pour ensemencement.
- la préparation d'une eau de dilution qui contiendra tous les nutriments nécessaires.

▪ Mode opératoire

Pour la mise en œuvre de cette technique, il est important de suivre les consignes du fabricant du matériel choisi.

Le mode opératoire est généralement le suivant :

Le pH de l'échantillon doit être compris entre 6 et 8. Dans le cas contraire, il sera amené dans cette gamme à l'aide de solutions d'acide chlorhydrique ou d'hydroxyde de sodium à environ 0,5 mol/L.

Dans un flacon contenant un barreau magnétique, on introduit l'échantillon, contenant si nécessaire un ensemencement bactérien. Le volume introduit dans le flacon dépend de la DBO_5 mesurée et de l'appareillage utilisé.

Cadre théorique

Dans la nacelle à placer sur le flacon, on introduit 2 à 3 grains d'hydroxyde de potassium sur lesquels on ajoute 1 à 2 gouttes d'eau.

On ferme ensuite hermétiquement le flacon.

Puis on met ce flacon à incuber à 20 °C pendant 5 jours sous agitation constante.

Suivre les instructions du fabricant pour l'acquisition des données.

2 Hydrocarbures totaux (indice d'hydrocarbure) [21]

Les hydrocarbures totaux ou l'indice d'hydrocarbure c'est la quantité des hydrocarbures en toutes ces formes (alcanes, naphènes , HAP,...) présentée dans un échantillon.

Un certain nombre de méthodes de dosage ont été mises au point par le passé, elles peuvent être classées en deux grandes catégories :

- la première comprend des **méthodes gravimétriques** basées sur l'extraction par un solvant ainsi que celles basées sur la densité ou les propriétés optiques des éléments à doser. Ce type de méthode peu sensible s'applique mal à des contrôles de routine en raison des pertes par évaporation ou des interférences que peuvent provoquer les éléments qui, tout en étant extractibles, ne sont pas des hydrocarbures (elle n'est plus pratiquée aujourd'hui) ;
- le deuxième groupe des méthodes beaucoup plus sensibles. **La spectrométrie infrarouge** permet dans certaines conditions le dosage simultané des hydrocarbures et des phénols mais sa sensibilité varie avec les hydrocarbures rencontrés. Son utilisation est déconseillée compte tenu de la toxicité du tétrachlorure de carbone qui est interdit d'utilisation dans les laboratoires agréés.
- L'utilisation de **la chromatographie en phase gazeuse** permet d'atteindre une bonne sensibilité pour la détermination des hydrocarbures dont le point d'ébullition est situé entre 150 et 450 °C. Elle permet également de préciser l'importance des alcanes par rapport aux autres hydrocarbures présents. Le dosage peut être effectué soit en injectant l'eau directement dans l'appareil, soit en pratiquant une extraction préalable au moyen d'un solvant. Dans ce dernier cas, on utilise soit le tétrachlorure de carbone, soit le pentane. Bien entendu, cette méthode n'est utilisable que pour des hydrocarbures dont le point d'ébullition est supérieur à celui du solvant employé en raison de l'interférence des pics sur les chromatogrammes .La méthode par chromatographie gazeuse (technique d'espace de tête) employée

Cadre théorique

pour les hydrocarbures chlorés aliphatiques volatils peut être utilisée pour le dosage des hydrocarbures.

2.1 Méthode par spectrométrie infrarouge

Les hydrocarbures totaux sont extraits par le tétrachlorure de carbone en milieu acide, puis dosés, après purification, par spectrométrie infrarouge à une longueur d'onde donnant un maximum d'absorption dans la région de 3290 à 3510 nm.

2.2 Méthodes par chromatographie gazeuse

L'indice hydrocarbure correspond dans ce cas à la somme des concentrations des composés extractibles par les solvants définis ci-dessous et dont les temps de rétention en chromatographie gazeuse se situent entre ceux du n-décane ($C_{10}H_{22}$) et du n-tétracontane ($C_{40}H_{82}$).

Principe

Les hydrocarbures sont extraits par exemple par l'hexane contenant les deux étalons internes (C_{10} et C_{40}). Après purification et concentration, ils sont dosés par chromatographie en phase gazeuse avec un détecteur à ionisation de flamme. C'est la somme des surfaces des pics chromatographiques entre les deux étalons et sa comparaison avec celles obtenues par chromatographie de mélanges connus (étalons) qui permet de quantifier les hydrocarbures totaux.

3 Phénols [21]

Du point de vue analytique, le terme de phénol englobe ce produit et ses homologues immédiatement supérieurs. Lorsque le dosage est globalisé (indice phénol), le phénol étant employé comme étalon, le résultat obtenu correspond à la concentration minimum de composés phénoliques présents dans l'échantillon, car les groupements pouvant être fixés sur le noyau benzénique ont plutôt tendance à diminuer la sensibilité de la réaction colorée. Les phénols susceptibles de se rencontrer dans les eaux sont généralement d'origine industrielle (chlorophénols, nitrophénols, alkylphénols...).

3.1 Méthodes de détermination de phénols :

3.1.1 La méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire à l'4-antipyrine

Cadre théorique

Elle permet le dosage du phénol et des composés substitués en ortho et en méta, mais non celui des composés substitués en para avec des groupes alkyl, aryl, benzoyl, nitro, nitroso, aldéhyde.

Les phénols donnent avec l' amino-4-antipyrine en milieu alcalin et en présence de ferricyanure de potassium, une coloration extractible par le chloroforme, susceptible d'un dosage spectrométrique.

3.1.2 Les méthodes par chromatographie liquide haute performance ou par chromatographie gazeuse

permettent d'identifier et de doser rapidement plusieurs familles de composés phénoliques diversement substitués par exemple : (les chlorophénols ,nitrophénols, ,alkylphénols,...). Elles s'appliquent à tous les types d'eaux : potables, de surface, d'égouts, et permettent le dosage de certains polysubstitués avec une grande sensibilité et une bonne reproductibilité.

4 Les métaux lourds [21]

Les métaux lourds sont les éléments les plus nocifs dans les eaux résiduaires. Leur origine est avant tout industrielle mais aussi diffuse (corrosion des tuyauteries). Les métaux les plus fréquemment retrouvés dans les eaux résiduaires sont le fer, l'aluminium, le cuivre, le zinc, le cadmium, le chrome, le plomb, le mercure et le nickel .

Quelques métaux lourds, comme le Zn, Cu, Mn, et Fe, sont indispensables à la croissance et au bien-être des organismes vivants, y compris de l'homme. On peut néanmoins s'attendre à ce qu'ils aient des effets toxiques quand les organismes sont exposés à des niveaux de concentration supérieurs à ceux qu'ils requièrent normalement. D'autres éléments, comme Pb, Hg et Cd, ne sont pas indispensables aux activités métaboliques et manifestent des propriétés toxiques.

5 Eléments fertilisants [21]

Les eaux industrielles apportent des fertilisants majeurs qui sont l'azote et le phosphore. Leur présence dans les eaux de rejet, contribue à l'eutrophisation des cours d'eau qui provoque un déséquilibre du milieu aquatique, et cela par une prolifération d'algues et une diminution de l'oxygène dissous.

Cadre théorique

Azote : l'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral . Il est présent dans l'eau sous différentes formes : l'azote organique, azote ammoniacal, les nitrites (NO_2^-) et les nitrates (NO_3^-). Le phosphore : les différentes formes de phosphore susceptibles de se trouver dans l'eau sont, les ions orthophosphates (PO_4^{3-}) et les ions phosphates condensés avec des molécules organiques.

II.2.4. Législation sur les eaux résiduaires industrielles

Le caractère dangereux que présente le rejet de substances chimiques dans l'environnement a mené les autorités à prendre les mesures légales et réglementaires pour protéger l'homme et son environnement, dont le but est de traiter les eaux usées et produire une eau non polluée, qui satisfait aux normes de rejets.

Parmi l'ensemble des démarches qui sont destinées à analyser les effets de l'industrie sur l'environnement et pour garantir un niveau élevé de protection des eaux dans le cadre de développement durable, le décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993, du journal officiel de la République Algérienne réglementant les rejets d'effluents liquides dans son chapitre I, article 2 (voir annexe I) définit un rejet comme tout déversement, écoulement, jets, dépôts directs ou indirects d'effluents liquides industriels dans le milieu naturel, les valeurs limites de ce rejet sont celles fixées en son annexe.

Ces mêmes valeurs viennent d'être renforcées par un nouveau texte réglementaire; le Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006, section 1, article 3 (voir annexe I).

II.2.4.1. Règlement sur les ERI des raffineries de pétrole

Le décret exécutif n°06-141 définissant les règlements sur les effluents liquides du raffinage de pétrole, visant à limiter les charges des contaminants les plus susceptibles de se retrouver dans les rejets finaux des raffineries (voir tableau N° 2).

Les normes relatives aux valeurs maximales permises sont exprimées en gramme par tonne de pétrole brut, sur la base de la capacité quotidienne de raffinage déclarée par l'entreprise. Par conséquent, l'allocation de rejets fluctue proportionnellement à la quantité de pétrole traité par la raffinerie. Ainsi ce décret réglemente les valeurs limites des rejets en prenant en considération l'ancienneté des installations pétrolières en attendant la mise à niveau de ces installations dans un délai de sept (7) ans (conformément aux dispositions législatives en

Cadre théorique

vigueur, et notamment celles de la loi n°05-07 du 19 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 28 avril 2005).

Tableau 3 : Valeurs limites des paramètres de rejet d'effluents liquides industriels du raffinage de pétrole (annexe I)

Paramètres	Unité	Valeurs limites	Tolérance aux valeurs limites anciennes installations
Débit d'eau	m ³ /t	1	1.2
Température	°C	30	35
MES	g/t	25	30
pH	-	5.5-8.5	5.5-8.5
DB05	g/t	25	30
DCO	g/t	100	120
Hydrocarbures	g/t	5	10
Phénols	g/t	0.25	0.5
Plomb	mg/L	0.5	1
Azote totale	g/t	20	25
Huiles et graisses	mg/L	15	20
Chrome 3+	mg/L	0.05	0.3
Chrome 6+	mg/L	0.1	0.5

III. Méthodes de traitement des eaux résiduaires [22]

La dépollution des effluents liquides industriels, compte tenu de leur hétérogénéité de composition, les procédés mis en œuvre et le degré d'épuration souhaité, conduira toujours à la conception d'une chaîne de traitements assurant par étapes successives, l'élimination des différents polluants que renferment ces eaux résiduaires en se basant sur les des objectifs visés pour la qualité de l'eau traitée.

Selon la forme et la nature de la pollution, les procédés de traitement se basent sur la séparation et l'élimination : des matières en suspension, des matières solubles dont certaine proportion pourra être converties en matières en suspension ce qu'on appelle la matière colloïdale.

D'une manière générale, l'épuration des eaux d'une raffinerie passe par trois étapes, on procède toujours dans un premier stade, par l'élimination de la pollution insoluble (solides en suspension plus ou moins finement dispersés, liquides non miscibles à l'eau) ce qu'on appelle le prétraitement (traitement préliminaire), puis le traitement primaire (physico-chimique) et le traitement secondaire (biologique). Dans certains cas, des traitements tertiaires ou de finition sont nécessaires (désinfection et réduction d'odeur), notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible.

III.1. Procédés de traitement des ERI [22]

III.1.1. Les prétraitements : traitement physique

Les prétraitements sont des traitements faisant appel à des procédés simples qui permettent d'éliminer des éléments indésirables pour la suite des traitements. Ce sont en particulier le dessalage et dégraissage. Mais on désigne aussi parfois ce terme des procédés de traitement permettant d'éliminer une partie de la pollution avant traitement dans une station d'épuration. C'est le cas notamment des préliminaires des effluents industriels avant déversement dans un réseau public.

a) Dessablage-dégraissage :

Le dessablage et le déshuilage (dégraissage) consistent à faire passer l'eau dans des bassins où la réduction de vitesse d'écoulement fait se déposer les sables et flotter les graisses.

Cadre théorique

L'injection des microbulles d'air permet d'accélérer la flottation des graisses. Les sables sont récupérés par pompage alors que les graisses sont raclées en surface.

L'élimination des sables se faisant par voie gravitaire et leur vitesse de décantation étant fonction de la taille des particules.

- On peut distinguer deux types de dessableurs :
- ❖ Les dessableurs rectangulaires dans lequel les eaux suivent un trajet linéaire dans lequel le sable se dépose avant la sortie du décanteur.
Les dessableurs rectangulaires peuvent également séparer les graisses en faisant flotter celles-ci dans une partie de l'appareil au moyen d'une injection d'eau.
- ❖ Pour les stations petites et moyennes les dessableurs circulaires ont tendance à se développer et à remplacer les systèmes linéaires plus encombrants.

b) Déshuilage :

Certains effluents contenant des huiles ou des hydrocarbures qui posent des problèmes lors de l'épuration doivent être déshuilés avant tout traitement. Les huiles et les hydrocarbures peuvent être à l'état de gouttelettes libres d'une certaine dimension, ou absorbées à la surface des particules en suspension ou encore sous forme émulsionnée plus ou moins stable comme les huiles dites stable.

Dans le cas des huiles émulsionnées on doit au préalable casser l'émulsion soit par des voies physiques soit par des voies chimiques.

Dans les raffineries de pétrole on utilise des séparateurs gravimétriques dont les dimensions sont déterminées par la norme API (Américan Petroleum Institute) et dont le but est de séparer les gouttelettes dont le diamètre est supérieur à 150 μm .

III.1.2. Traitement physico-chimiques :

Le traitement physico-chimique a pour objectif d'agglomérer les fines particules ainsi que certains polluants solubles, ayant des difficultés à décanter naturellement ou qui ne décante pas, en précipités ou en solides stables appelés " floccs " avant leur passage sur un séparateur de type décanteur ou flottateur à air dissous.

Cadre théorique

Les procédés de séparation soit du type à barrière comme les filtres ou gravitaire comme la décantation, la flottation ou la centrifugation, bien qu'un certain nombre de techniques comme la filtration sur couche n'y répondent pas.

Le terme de traitement physico-chimique est généralement réservé à l'une des deux chaînes :

- Flocculation et décantation
- Flocculation et flottation

a. Flocculation-coagulation :

L'objectif de la flocculation est le groupement des particules colloïdales sous forme d'amas plus gros séparables de la phase liquide par un moyen de séparation physique.

On distingue dans la flocculation deux étapes :

- La coagulation, c'est-à-dire l'annulation des forces répulsives dues au fait que les particules colloïdales en suspension dans l'eau sont généralement porteuses à leur surface de charges électriques de même signe, le plus souvent négatives.
- Cette coagulation est obtenue par l'adjonction de cations. Il est donc préférable d'utiliser des cations ayant la charge la plus élevée comme Fe^{+++} ou Al^{+++} . C'est pourquoi les réactifs de flocculation les plus utilisés sont le chlorure ferrique FeCl_3 et le sulfate d'alumine $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

b. La décantation classique :

La décantation est le procédé le plus utilisé dans le traitement des eaux usées qu'elles soit urbaines ou industrielles.

Pour dimensionner un décanteur il faut connaître la vitesse de chute des particules dans le liquide. Cependant lorsque la suspension a une concentration supérieure à 500 mg/l la décantation se fait en piston, les particules les plus rapides entraînant les particules les plus lentes. Il est nécessaire dans ce cas de procéder à un essai en éprouvette de décantation.

Lorsque l'on effectue un essai de décantation en éprouvette on observe au bout de quelques minutes une interface entre le floc et le surnageant.

b.1. Les différents types de décanteurs :

Cadre théorique

- ✓ Décanteurs statique
- ✓ Décanteurs raclés
- ✓ Décanteurs à succion de boues
- ✓ Décanteurs à recirculation de boues
- ✓ Décanteurs à lit de boues

c. La flottation :

La flottation est une décantation inversée qui utilise l'aptitude des bulles de gaz sur les particules leurs conférant une densité apparente nettement différente de celle de l'eau. L'ensemble bulles particule subit la poussée hydrostatique et s'élève dans le liquide jusqu'à la surface d'où il est extrait par un moyen mécanique.

La décantation et la flottation ont des domaines d'application différents, la flottation étant plus adaptée à la séparation des matières légères et la décantation à celle des matières lourdes. Cependant décantation et flottation peuvent être en concurrence dans les domaines intermédiaires.

L'efficacité de la flottation ne dépend pas seulement de la taille et la densité des particules mais également de la probabilité de rencontre des bulles et des particules ainsi de l'aptitude des particules à accrocher des bulles gazeuses.

La probabilité de rencontre dépend de :

- Du nombre de bulles
- De la section d'une bulle (section de capture)
- Du temps de séjour des bulles dans le milieu

Les seuls moyens utilisés pour produire de bulles de si faibles dimensions sont :

- L'électrolyse de l'eau qui conduit à l'électroflottation
Electroflottation : l'électrolyse de l'eau produit un dégagement d'oxygène
- La détente d'eau pressurisée saturée en gaz qui conduit à l'aéroflottation
Aéroflottation : appelé également flottation à l'air dissous, utilise la détente d'eau pressurisée saturée en gaz.

III.1.3. Traitement biologique :[2

Cadre théorique

Le traitement biologique le plus simple consiste à éliminer les composés organiques tels que sucres, graisses et protéines. Ceux-ci sont nocifs pour l'environnement puisque leur dégradation implique la consommation de dioxygène dissous dans l'eau nécessaire à la survie des animaux aquatiques. La charge en polluants organiques est mesurée communément par la DBO5 (demande biologique (ou biochimique) en oxygène sur cinq jours) ou la demande chimique en oxygène (DCO). Les bactéries responsables de la dégradation des composés organiques sont hétérotrophes. Pour accélérer la dégradation des composés organiques, il faut apporter artificiellement de l'oxygène dans les eaux usées.

Cette méthode est difficile à maîtriser pour les effluents industriels parce que les eaux de process sont dérégées par les différents polluants présents dans les effluents et leur variabilité importante. Le traitement des eaux résiduaires industrielles est donc complexe. Chaque site, chaque usine est un cas particulier, auquel il convient d'adapter les équipements et les procédés.

Il existe plusieurs méthodes de traitement biologiques parmi eux :

- ✚ Traitement biologique aérobie
- ✚ Traitement biologique anaérobie

1. Traitement biologique aérobie :[24]

Le traitement biologique aérobie consiste en l'aération des parties polluées (souvent pauvres en oxygène) afin de favoriser la dégradation aérobie des polluants par les micro-organismes. Cette technique est actuellement utilisée sur un grand nombre de sites contaminés par des hydrocarbures.

Il existe plusieurs méthodes de réaliser ce traitement on peut citer par exemple :

BIOFOR : TRAITEMENT AÉROBIE PAR BIOFILTRE HAUTE PERFORMANCE :

Le Biofor est un réacteur biologique aérobie, à bactéries fixées sur un matériau spécifique monocouche en lit fixe immergé, à flux ascendant d'eau et d'air qui constitue un traitement spécifique, global ou de finition, l'une des meilleures réponses technologiques pour le traitement des effluents industriels.

Cadre théorique

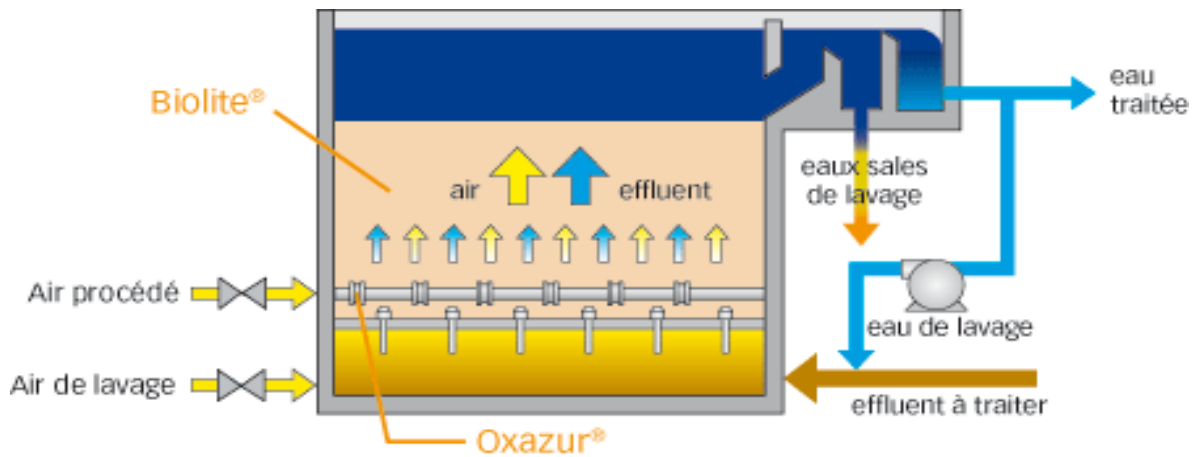


Figure 8 : la méthode de **BIOFOR** .

2. Traitement biologique anaérobie :[25]

Le traitement biologique anaérobie consiste à favoriser les micro-organismes anaérobies capables de dégrader les polluants en éliminant l'oxygène du milieu. Cette technique est employée à l'échelle industrielle même si son utilisation reste peu fréquente.

Il existe aussi plusieurs méthodes pour réaliser ce traitement par exemple :

**MÉTHANISEURS : ANAPULSE, ANALIFT, ANAFLUX ET ANAPLUS :
CONVERSION DU CARBONE ORGANIQUE EN ÉNERGIE.**

La méthanisation proposée en versions ANAPULSE, ANALIFT, ANAFLUX et ANAPLUS est un procédé qui permet, par traitement biologique anaérobie, de dégrader le carbone organique tout en générant du méthane valorisable en production d'énergie.

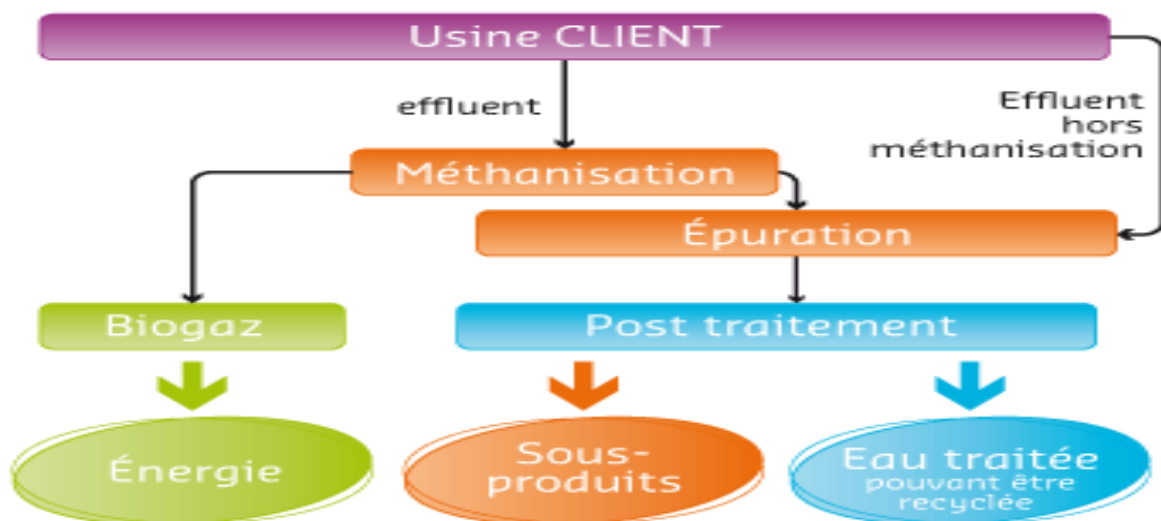


Figure 9 : la méthode de **MÉTHANISEURS** .

Cadre théorique

Le choix et la mise en place des procédés de méthanisation **ANAPULSE**, **ANALIFT**, **ANAFLUX** et **ANAPLUS** sont fonction des caractéristiques de l'effluent à traiter et reposent sur notre expérience et d'éventuels essais de traitabilité.

- **ANAPULSE** (boues granuleuses) est un procédé applicable en particulier aux effluents des sucreries, effluents vinicoles ou effluents de brasseries
- **ANALIFT** (réacteur contact) est adapté aux résidus chimiques, pâte et papier et traitement des jus complexes en agro-alimentaire
- **ANAFLUX** (lit fluidisé) permet de traiter les condensats d'évaporation et alcools
- **ANAPLUS**, solution complète intégrant la réutilisation et le recyclage de l'eau traitée, est une solution intégrée utilisée en particulier pour l'industrie des biocarburants

III.1.4. Autres techniques de séparation liquides-solides :

III.1.4.1. La filtration :[26]

Le but de la filtration est de séparer les constituants d'un mélange liquide – solide par passage à travers un milieu filtrant. Cette opération est beaucoup plus rapide que la sédimentation: elle est donc plus utilisée. On récupère après filtration soit le solide (après une cristallisation), soit le liquide (récupération d'eaux usées avant traitement et après sédimentation), soit le liquide et le solide (opération de recristallisation). On distingue:

A. la filtration par gravité:

Le mélange est soumis uniquement à la pression atmosphérique. Le liquide passe à travers le support filtrant, qui peut être du sable par exemple, tandis que le solide est récupéré sur le support filtrant.

B. la filtration par surpression:

La suspension arrive sous pression dans le filtre.

C. la filtration sous pression réduite:

Le mélange est soumis d'un côté du filtre à la pression atmosphérique, et de l'autre côté, où sort le filtrat, à une dépression réalisée grâce à une pompe à vide.

III.1.4.1.1. Pratique de la filtration

Cadre théorique

Le choix des milieux filtrants est vaste. Il dépend de plusieurs facteurs: le débit et la concentration de la suspension, les caractéristiques physiques et chimiques des liquides et des solides. On peut citer:

- les tissus filtrants: textiles naturels (coton, jute), toiles métalliques (fer, laiton, inox), tissus en matière plastique (nylon, PVC, polyester, téflon)
- les milieux filtrants pulvérulents: sable, charbon, diatomite
- les matières poreuses: porcelaine, verre, charbon, silice, métaux.

Il faut éviter le colmatage qui peut avoir lieu avec des particules aux formes particulières (bâtonnet par exemple) pouvant pénétrer dans les ouvertures sans les traverser. Il vaut donc mieux choisir des ouvertures plus larges qui laissent passer ces particules et reprendre la fraction de filtrat les contenant pour une nouvelle filtration avec un gâteau déjà constitué qui les arrête.

Pour arrêter les petites particules, on a intérêt à procéder à la floculation de ces particules pour l'obtention de particules plus grosses et donc plus faciles à filtrer (application des floculants dans le traitement des eaux). On peut aussi agglomérer les particules par adsorption sur des coagulants (chaux, sulfate ferreux, magnésie).

La meilleure technique consiste à faire appel aux adjuvants de filtration qui sont des produits destinés à faciliter la formation du gâteau et le nettoyage du filtre. Les principaux adjuvants sont la diatomite (Kieselguhr) et la cellulose. Ces composés ne peuvent être employés que si le liquide seul est à récupérer.

III.1.4.2. traitement par l'anthracite

Le terme de charbon désigne un ensemble de combustibles solides et fossiles de couleur noire, résultant de l'accumulation et de la transformation de matières végétales

1 Charbon normal [28]

Le charbon est une roche sédimentaire exploitée dans des charbonnages en tant que combustible et formée à partir de la dégradation partielle de la matière organique des végétaux.

2 Le charbon anthracite [29]

Cadre théorique

Il existe plusieurs sortes de charbon, classés en fonction de leur teneur en matières volatiles, c'est-à-dire les gaz dégagés lors de la combustion du charbon entre 900 ° et 1 000 °. Le charbon anthracite est celui qui en contient le moins, ce qui en fait un combustible particulièrement recherché.

L'anthracite est un matériau à base de carbone (il contient de 92% à 95% de carbone) , obtenu par calcination de matériel végétal tel que le bois ou la tourbe ou à partir des mines. Il se présente sous forme de grain dur et anguleux .Sa densité réelle est de l'ordre de 1.45 à 1.75.[https://fr.wikipedia.org/wiki/Traitement_primaire]

Ces propriétés sont résumées dans ces points :

- Il est très riche en carbone, mais de faible **teneur en matières volatiles** (moins de 10 %).
- C'est le charbon le plus dur et au **pouvoir calorifique le plus élevé**.
- Il brûle régulièrement et avec peu de flammes.
- Son prix est relativement faible.
- Il ne produit ni suie ni goudron, facilitant l'entretien des appareils.

L'anthracite se consume lentement et est utilisé pour :

- Le chauffage comme combustible ;
- La fabrication d'électrodes ;
- Comme colorant ;
- Pour produire du caoutchouc synthétique ;
- Pour la préparation du charbon activé notamment utilisé pour le traitement primaire de l'eau.[<https://fr.wikipedia.org/wiki/Anthracite>]

3 Charbon actif [29]

Le charbon actif ou charbon activé est un matériau constitué essentiellement de matière carbonée à structure poreuse .

On appelle charbon actif tout charbon ayant subi une préparation particulière et qui, de ce fait, possède à un haut degré la propriété de fixer et de retenir certaines molécules amenées à

Cadre théorique

son contact. Il s'agit d'une structure amorphe composée principalement d'atomes de carbone, généralement obtenue après une étape de carbonisation d'un précurseur à haute température

Un charbon actif présente en général une grande surface spécifique qui lui confère un fort pouvoir adsorbant.

4 L'activation du charbon actif [30]

Le charbon actif peut être produit à partir de toute matière organique végétale riche en carbone : bois, houille, tourbe, anthracite, ... Il suit deux étapes de fabrication quelque soit sa matière première :

4.1 La première étape

C'est : la **calcination** ou **carbonisation**, à forte température, des produits constituants. Une première porosité est créée par cette étape, en effet les éléments autres que le carbone laissent des pores dans la matrice carbonée lorsque se volatilisent.

4.2 La deuxième étape d'activation

Elle consiste à augmenter le pouvoir adsorbant, notamment en éliminant les goudrons qui obstruent les pores et ce, selon deux procédés distincts :

4.2.1 L'activation physique

C'est une combustion à une température de 900°C à 1000°C effectuée dans un courant d'air et de vapeur d'eau, injectée sous pression, va créer des millions d'alvéoles microscopiques sur la surface du charbon, augmentant de façon très importante sa surface et son pouvoir d'adsorption. Ce procédé donne un charbon à pores étroits.

4.2.2 L'activation chimique

Le matériau carboné est mélangé avec de l'acide sulfurique, phosphorique ou du chlorure de zinc et le tout est chauffé de 400°C à 800°C. Ce procédé donne un charbon à pores plus larges.

Cadre théorique

5 Utilisation de l'antracite en traitement des eaux

L'antracite est utilisé pour filtration en profondeur : elle est très efficace pour résoudre de nombreux problèmes de traitement de l'eau : chlore, correction de pH, fer, particules en suspension...

5.1 Principe :[31]

Le filtre est constitué d'une ou plusieurs couches de produits filtrants (en général, des grains de sable ou de l'antracite broyé pour le traitement des eaux). Au fond du filtre, on trouve des bosselures qui laissent passer uniquement le liquide filtré.

Dans le cas du traitement de l'eau, les filtres multicouches les plus courants sont les filtres sable de silice-antracite broyée et grenat-sable de silice-antracite broyée.

Au fur et à mesure que le mélange s'écoule à travers le filtre, ce dernier se colmate. Il faut donc procéder à une opération de lavage.

5.2 Phénomène d'adsorption

En chimie, l'**adsorption** est un phénomène de surface par lequel des atomes, des ions ou des molécules (adsorbats) se fixent sur une surface solide (adsorbant) depuis une phase gazeuse, liquide ou une solution solide. [32]

5.2.1 L'adsorption par le charbon actif [33]

L'adsorption est un traitement efficace pour enlever la matière organique, particulièrement quand la charge moléculaire est importante et la polarité est faible.

Le charbon actif peut donc être utilisé pour enlever les phénols, les hydrocarbures saturés qui sont des molécules insolubles, les métaux lourds,....

L'adsorption se 4 étapes :

- **Etape 1** : transfère de la particule (très rapide).
- **Etape 2** : déplacement de l'eau liée jusqu'à être en contact avec le charbon (rapide).
- **Etape 3** : diffusion à l'intérieure du charbon sous l'influence du gradient de concentration (lente).
- **Etape 4** : adsorption dans un micropore (très rapide).

Cadre théorique

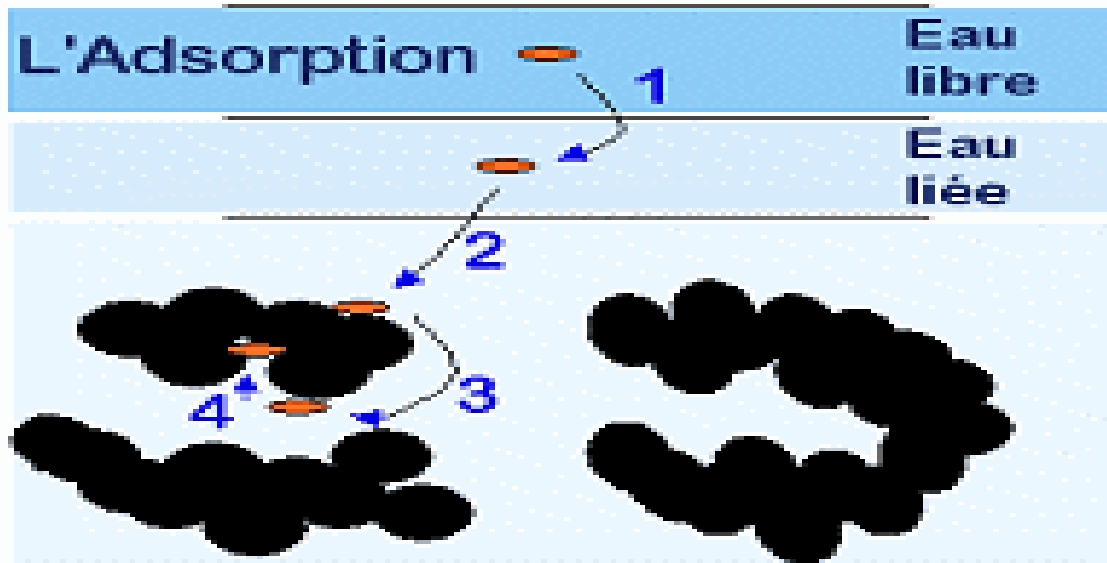


Figure 10 : les étapes du phénomène d'adsorption

5.3 Régénération des filtres à charbon actif [34]

Si l'eau est filtrée par le charbon actif déjà utilisé les résultats peut-être non satisfaisant de raison que les substances retenu dans les pores pendant une filtration antérieur est lavée partiellement à une filtration suivante.

Pour éviter ce problème, il faut utiliser un charbon nouveau pour chaque filtration ou de régénéré le charbon actif après usage.

Il existe trois méthodes de régénération :

5.3.1 La régénération thermique [34]

Ce processus le plus utilisé consiste à bruler à très haute température les matières organiques absorbées par le charbon actif. Le charbon est alors brulé à 800°C dans un confinement et permet de régénérer parfaitement les charbons actifs.

5.3.2 La régénération chimique

Elle consiste à utiliser un solvant avec un pH important pour dissoudre les matières absorbée par le charbon actif.

5.3.3 La régénération à la vapeur

Cette technique est utilisée pour les charbons actifs qui absorbe uniquement des produits dans l'air (volatil).

Introduction

Les prélèvements des eaux effectués au niveau de la station de traitement des eaux résiduaires de la raffinerie d'Alger RA1G, ont pour but d'évaluer le niveau de pollution industrielle liquide, avant d'être rejetées vers le milieu naturel. Pour cela, le prélèvement et l'échantillonnage doivent être représentatifs, en respectant l'enchaînement des étapes et le conditionnement du matériel. La séquence prélèvement- échantillonnage- analyse constitue donc une chaîne cohérente pour laquelle on aura conscience de ne négliger aucun maillon.

La stratégie adoptée est la suivante ; analyser sept échantillons deux jours par semaine durant le mois de mai , des rejets de la raffinerie :

- ❖ En amont à la sortie du bassin de décantation après l'écumeur, afin de comprendre l'origine et la nature de ces effluents ;
- ❖ En aval foin pour évaluer l'efficacité du traitement physique effectué au niveau de la raffinerie;
- ❖ En aval anthracite dans le but de faire une comparaison entre l'efficacité du traitement entre le foin et l'anthracite, pour améliorer le procédé d'épuration des eaux résiduaires de la raffinerie.

Nous avons choisi de mesurer les paramètres physico-chimiques utilisés couramment pour l'évaluation de la qualité des eaux résiduaires (Débit, température, pH, DCO, DBO₅ , MES et le plomb) et des paramètres spécifiques aux raffineries (phénols et hydrocarbures).

La mesure de ces paramètres a été effectuée au niveau du laboratoire de la raffinerie d'Alger.

I. Prélèvement et analyse

I.1. unité de traitement

I.1.1. Origine des eaux résiduaires de la raffinerie d'Alger [1]

Au niveau de la raffinerie, les eaux résiduaires proviennent de diverses sources :

a) ER des procédés du raffinage

Ce sont des eaux huileuses (riche en hydrocarbures), principalement provenant des différentes unités combinées (U100, U200 et U300), on peut distinguer :

Partie expérimentale

- les eaux de dessalage de brut ;
- les condensats de procédés ;
- les eaux purgées de différents bacs : Après stockage, il se produit une décantation ; les eaux occupent donc le fond des bacs qui sont purgées régulièrement (ER riches en hydrocarbures et en sels dissous). On trouve les eaux issues de purge : des bacs de stockage des produits finis, des bacs de brut et de purge des ballons de séparation dans les unités ;
- les eaux de refroidissement des pompes avec production de condensats de vapeur (ER chaudes riches en hydrogène sulfuré) ;
- les eaux provenant des utilités (purgé des chaudières, eaux de régénération et de lavage des adoucisseurs) ;
- les eaux de pluie qui ruissellent sur le dallage des unités et qui sont contaminées par les hydrocarbures.

b) Eaux des services généraux

Ce sont les eaux non huileuses regroupant :

- les ER domestiques de site : douches, sanitaires, cuisines (ER biodégradables) ;
- les ER de services supports tels que les laboratoires (ER riches en substances toxiques) ;
- les eaux de pluies ruisselant sur le sol des usines entraînent différents polluants, et qui n'entrent pas en contact avec le pétrole.

I.1.2. Organisation de la collecte

La collecte des eaux industrielles est de type séparatif. Elle s'effectue à l'aide de différents réseaux :

- réseau eaux pluviales ;
- réseau unités combinées ;
- réseau eaux de purges provenant des bacs de stockages.

I.1.3. La nature du traitement

Le traitement des eaux industrielles au niveau de la raffinerie est purement physique (Déshuilage et décantation) qui s'effectue dans une unité de traitement « bassin de

Partie expérimentale

décantation» appelé API (American Petroleum Institute), comportant deux réseaux (voir annexes II) :

- réseaux des eaux non huileuses ;
- réseaux des eaux huileuses.

Les éléments essentiels constituant ce bassin :

Filtres à foin

Les filtres à foin sont des cages grillagées remplies sur une épaisseur de 0,28 m de foin traversé par le courant d'eau. Les trois filtres (figure N°4) disposés en parallèle sont inclinés avec un angle d'environ 30°(afin d'augmenter la surface de contact entre le foin et l'eau). La distance entre les filtres est de 0,50 m. Après saturation, la charge en foin est renouvelée.



Figure11 : *Filtres à foin.*

Chicane

La chicane est un obstacle disposé pour imposer le chemin d'un liquide.



Figure 12 : *Chicane.*

Ecrémeurs

Le bassin API est équipé d'une goulotte cylindrique d'environ 200 mm de diamètre, l'écumeur est commandé par une vanne d'arrêt manuelle pour extraction périodique des huiles surnagent l'eau.

Chapeau chinois

C'est un récipient ayant la forme d'un chapeau chinois ; il permet de récupérer par un système d'aspiration des huiles qui stagnent devant les filtres.



Figure 13 : *Chapeau chinois.*

I.1.4. principe de traitement [1]

Les effluents parviennent par gravité vers le bassin API de 50 m de longueur et 10,50 m de largeur, doté de deux cellules de décantation parallèles et identiques, pouvant fonctionner simultanément ou par alternance. Généralement, dans la période d'été, une cellule reste sans fonctionnement par des vannes d'arrêt dans le but de récupérer la boue, enlever les sédiments déposés au fond du bassin ou encore pour réparer les fissures des parois ; en vidant ce bassin. Chaque cellule est équipée d'un écrémeur qui permet l'écémage des hydrocarbures qui sont repris au niveau d'un ballon souterrain puis refoulés vers les bacs à slops **D1, D2 et D3**.

Une fois les hydrocarbures écémés, l'eau franchit le niveau des chicanes (barbotage) à une vitesse plus lente dans le but de piéger les huiles, puis elle subit une **filtration et une absorption** à travers une batterie de filtres à foin qui seront restitués chaque trois mois pour un filtrage optimale.

Un autre bassin est destiné en principe à recevoir les eaux pluviales et de ruissellement, il s'appelle bassin des eaux pluviales. Cependant, des problèmes de contamination du réseau dus au débordement du réseau huileux vers les caniveaux du réseau pluvial peuvent survenir et surtout en période hivernale ; les eaux pluviales en traversant les avaloirs des différents unités, se mélangent aux huiles déversées par les pompes. Pour cette raison, le bassin est équipé de points d'aspiration appelés « chapeaux chinois ». Ainsi, on trouve une petite barrière en béton d'environ 30 cm d'hauteur permet de diminuer la vitesse de grosses particules acheminées par le courant d'eau.

Enfin, les eaux pluviales sont mélangées aux eaux des bassins API ayant déjà subies les opérations mécaniques d'écémage et de filtration par le foin. Le mélange de toutes les eaux résiduares de la raffinerie va subir un autre processus du traitement qui est l'arrosage par l'eau ; afin de fragmenter les floccs huileux et les rendre en petites gouttelettes pour faciliter leur absorption une deuxième fois par le foin.

Le mélange est réalisé dans une fosse dite « fosse A » (Voir annexes II). Cette fosse constitue le rejet principal de la raffinerie avant l'évacuation dans le réseau communal des eaux résiduares. Ces eaux s'écoulent vers la station d'épuration de Baraki (ONA) pour subir une autre épuration (physico-chimique et biologique).

I.2. Mode de prélèvement [1]

Dans notre étude, on a fait l'échantillonnage ponctuel où l'ensemble du volume constituant l'échantillon est prélevé en une seule fois ; étant utile pour déterminer la composition d'une eau résiduaire.

Notre échantillonnage de l'eau pour l'analyse a été fait à l'aide d'une bouteille de 1 litre en verre brun pour éviter la photo-oxydation des hydrocarbures, liée à une chaîne, préalablement rincée deux fois avec l'effluent à prélever (Voir annexe IV).

Ces échantillonnages ont été effectués tout le mois entre 8h30 et 10h30 ; en amont à la sortie du bassin de décantation API après l'écumeur et en aval des filtres à foin au niveau de la fosse A ; comme illustré sur les figures N° 14 et N°15.

Une fois prélevé, les échantillons d'eau seront transportés au laboratoire d'analyse pour subir les différentes analyses des eaux en aval et en amont du filtre à foin dans la même journée ; dont une partie de l'eau en amont du filtre est traitée par l'anthracite, et suit les mêmes analyses effectuées.

Partie expérimentale

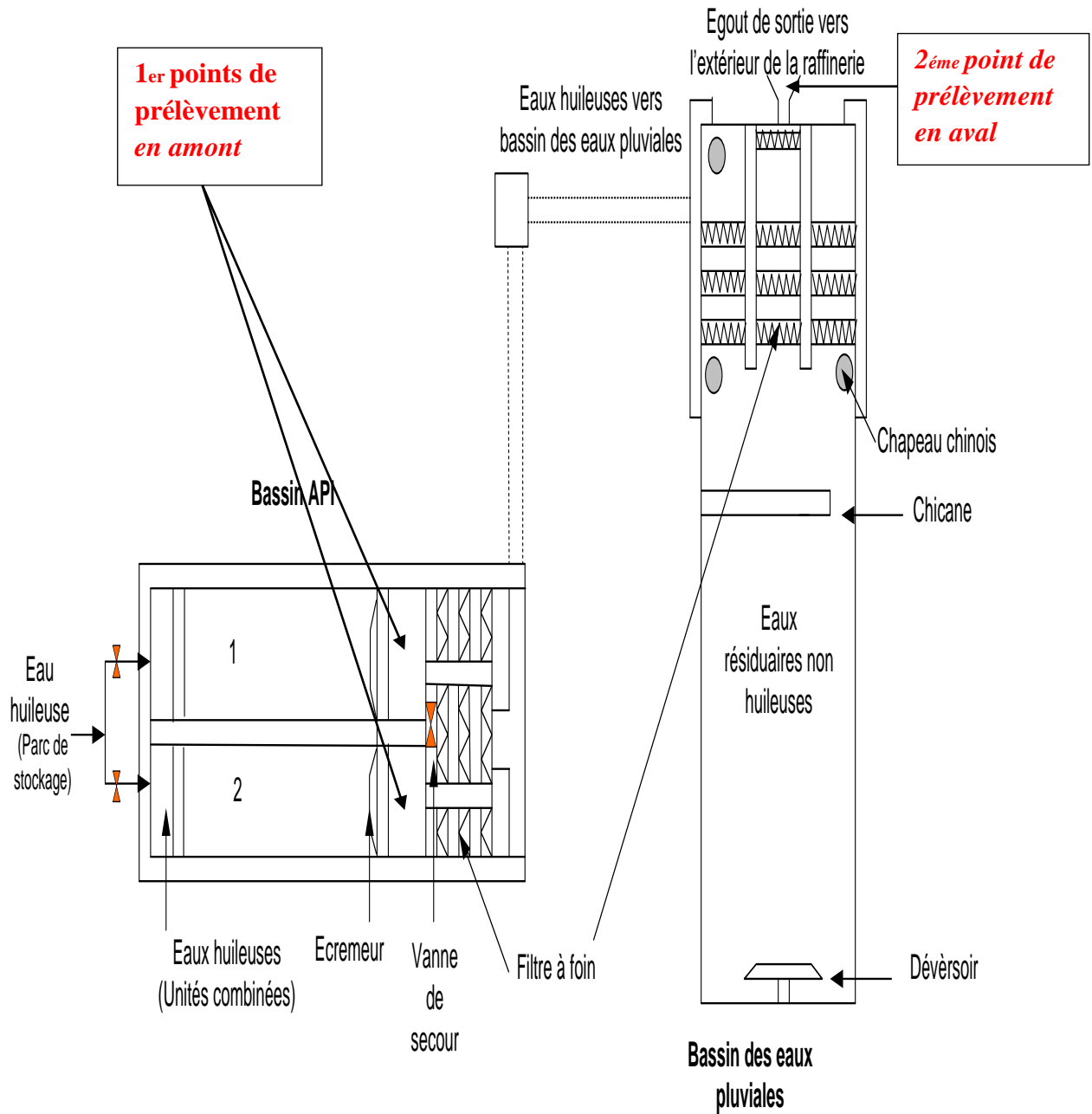


Schéma de la station de traitement des eaux huileuses.

Etabli par : K. CHENTIR
Ingénieur environnement

Figure 14: unité de traitement des eaux de rejet de la raffinerie d'Alger.



Figure 15 : *Vue aérienne de la station du traitement des ERI de la raffinerie d'Alger avec zoom sur les points de prélèvement (Google Earth, 2016).*

I.3. Analyses et mode opératoire

I.3.1. mesure du pH et de la température

Les analyses doivent être faites le plutôt possible après le prélèvement afin d'avoir des résultats représentatifs et corrects.

La température et le pH sont des paramètres qui se mesurent in situ dans le site, à cause de leur évolution très rapide dans les échantillons prélevés ; dans le but de ne pas modifier les

Partie expérimentale

équilibres ioniques par suite d'un transport ou d'un séjour plus ou moins prolongé des échantillons dans des flacons. Le thermomètre (ou thermosonde) n'était pas disponible au laboratoire d'analyse ce qui nous a empêché d'effectuer la mesure in situ et de transporter les échantillons au laboratoire, afin de mesurer les deux paramètres à l'aide d'un pH mètre.

La mesure de ces deux paramètres était effectuée à l'aide d'un pH mètre METRO HM 713, équipé d'une sonde de température (Voir annexe V).

La méthode de mesure selon la norme ASTM-(M-PROD-L (61)), consiste à plonger l'électrode de l'appareil directement dans la bouteille contenant l'échantillon d'analyse après avoir rincé à l'eau distillée ; une fois stabilisé, les valeurs des deux paramètres étaient mentionnées.

I.3.2. Mesure des matières en suspension(MES)

La filtration nous a été utile dans la détermination des MES présentes dans les effluents ; en raison de sa rapidité, de sa simplicité à mettre en œuvre et la possibilité de récupérer le filtrat. Cette méthode selon la norme ASTM-(M- PROD- L (50)) , repose sur le principe de la double pesée; qui consiste à faire passer l'échantillon d'eau de volume $V = 100$ ml (mesuré à l'aide d'une éprouvette graduée), à travers un filtre cellulosique avec une porosité de $0.47\mu\text{m}$ (Voir annexe V), préalablement préparé (rinçage à l'eau distillée, séchage à l'étuve et refroidissement au dessiccateur) et pesé à vide, et après la filtration, le filtre sera pesé une deuxième fois après séchage à l'étuve à une T° égale à 105°C pendant deux heures et après passage au dessiccateur pendant 15 minutes.

La pesée des filtres se fait à l'aide d'une balance de type DEN/VER S-114 (voir annexe V). La concentration des matières en suspension (MES) correspond au rapport de ce poids sur le volume d'eau analyse.

I.3.1.1. Expression des résultats

La teneur de l'eau en matières en suspension en **mg/l** est obtenue par la relation suivante :

$$[\text{MES}] = ((M_2 - M_1) / V) \cdot 10^3$$

Où :

M_1 : masse du filtre sec avant utilisation (mg) ;

Partie expérimentale

M_2 : masse du filtre sec après filtration (mg) ;

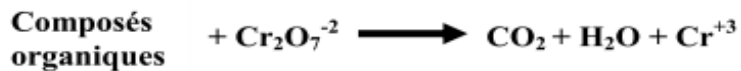
$M_2 - M_1$: masse de la matière retenue par le filtre sec ;

V : volume de la prise d'eau (ml).

I.3.3. Demande chimique en oxygène (DCO)

I.3.3.1. Principe et mode opératoire

La détermination de la DCO se fait essentiellement par **oxydation** de l'échantillon par le dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en présence d'acide sulfurique, de sulfate d'argent comme catalyseur d'oxydation et de sulfate de mercure II Hg^{+2} permettant de complexer les ions chlorures (**Norme ISO 15705**) ; selon la réaction suivante :



Pour notre analyse, on a utilisé la méthode **ST-DCO**, qui repose sur l'utilisation de tubes fermés prêts à l'emploi (voir annexe V), contenant tous les réactifs nécessaires et il suffit d'introduire un volume précis d'échantillon, en laissant les tubes se chauffer pendant deux heures à une température de **150°C** et enfin on mesure la quantité de dichromate de potassium consommé lors de l'essai par spectrophotométrie et d'en déduire la quantité d'oxygène équivalente.

Pour mesurer la DCO, nous avons adopté le protocole expérimental suivant :

- ✚ allumer le réacteur à DCO et laisser la température se stabiliser à 150°C ;
- ✚ ouvrir deux tubes contenant les réactifs (gamme 0 à 150 mg.l⁻¹), les agiter avec précaution, pipeter 2ml d'échantillon puis l'introduire dans l'un de ces deux tubes, puis on prend la même quantité prélevée d'eau distillée pour faire le blanc et l'introduire dans l'autre tube ;
- ✚ essuyer soigneusement l'extérieur des deux tubes puis les mettre dans le réacteur à 150°C pendant deux heures;
- ✚ enlever les tubes du réacteur et les mettre à refroidir ;
- ✚ effectuer la mesure d'absorbance au **spectrophotomètre** de Type **HACH** (voir annexe V), en entrant la longueur d'onde **420nm** et enfin lisant la valeur donnée pour la DCO.

Partie expérimentale

I.3.3.2. Expression des résultats

La valeur de DCO est donnée par le spectrophotomètre HACH; exprimée en **mg d'O₂ /l**.

I.3.4. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

I.3.4.1. Principe et mode opératoire

Le principe selon la norme **AFNOR NF T90-103**, consiste à mesurer la quantité d'oxygène consommée par les microorganismes présents dans l'échantillon ; pendant cinq jours d'incubation à l'obscurité dans une enceinte thermostatée à **20°C**.

L'oxygène dissous dans l'échantillon est remplacé en permanence par le dioxyde du carbone CO₂ formé est piégé par l'hydroxyde de potassium.

Pour notre analyse, nous avons utilisé un appareillage pour la mesure directe de la DBO₅, qui est l'**OxiTop** de type **IS6 (DBO-mètre)**, en raison que ce système est plus pratique, rapide et il donne des résultats représentatifs (Voir annexe V).

Avant de commencer l'analyse, on doit sélectionner la prise du volume nécessaire. Les volumes sont indiqués dans le tableau en annexe V. Dans notre cas, la prise d'essai est égale à **164 ml** d'échantillon à analyser.

Le protocole de mesure de la DBO₅ est le suivant :

- introduire le volume 164 ml d'échantillon dans une bouteille en verre brun conditionnée auparavant contenant un barreau magnétique ;
- mettre 3 gouttes de l'inhibiteur de nitrification C₄ H₈ N₂ S à 5g.l⁻¹ ;
- placer le godet en caoutchouc contenant deux pastilles de soude (NaOH) servant à absorber le CO₂ produit lors de la consommation d'oxygène ; en évitant le contact total avec l'échantillon ;
- placer le manomètre (OxiTop) directement sur la bouteille, devant être fermé à moitié pendant 15 min, une fois le quart d'heure achevé, serrer bien le bouchon ;
- lancer la mesure en appuyant sur **S** et **M** simultanément (deux secondes) jusqu'à ce que l'afficheur indique **00** ;
- maintenir la bouteille sur le système d'agitation, dans une armoire thermostatique à une T° de 20 °C pendant 5 jours. Après que la température soit atteinte, l'OxiTop

Partie expérimentale

lance automatiquement la mesure de la consommation d'O₂ (au maximum après une heure) ;

- l'OxiTop mémorise automatiquement une valeur toutes les 24 heures sur 5 jours.
- après 5 jours d'incubation, on relève la valeur de la DBO₅, en appuyant sur la touche **M** ;
- procéder enfin à la correction de la mesure en multipliant par un facteur correctif qui dépend de la quantité d'échantillon prélevé et de la gamme de mesure souhaitée, dans notre cas le facteur égal à 10.

I.3.4.2. Expression des résultats

La DBO₅ s'exprime en mg d'O₂ .l⁻¹, et s'obtient par la multiplication de la valeur affichée par l'OxiTop par le facteur correspondant au volume échantillonné qui est donné par la gamme d'estimation (voir tableau annexe V).

I.3.5. Hydrocarbures (HC)

I.3.5.1. Principe et mode opératoire

La mesure de la quantité des hydrocarbures présents dans l'échantillon à analyser s'effectue par une méthode classique purement physique.

Les hydrocarbures présents dans l'eau sont extraits par un solvant l'éther ; et une fois décanté, la partie organique est récupérée, séchée sur la plaque chauffante, et enfin pesée.

Pour mesurer les hydrocarbures, on a adopté le protocole suivant :

- ❖ peser un bécher préalablement conditionné, soit P₀ le poids du bécher avant utilisation ;
- ❖ verser 250 ml de l'échantillon à analyser dans une ampoule à décanter préalablement nettoyée ;
- ❖ rajouter 25 ml de l'éther ;
- ❖ agiter et éventer afin de dégager les gaz produits ;
- ❖ laisser décanter quelques minutes, jusqu'à l'apparition de deux phases : la phase organique et la phase aqueuse ;
- ❖ jeter la phase aqueuse, et récupérer la phase organique dans le bécher préalablement pesé, et le mettre sur la plaque chauffante réglée à une température de 180°C afin de le sécher, puis au dessiccateur pour le refroidir pendant 15 minutes ;

Partie expérimentale

- ❖ peser à nouveau le bécher et noter son poids, soit P_1 .

I.3.5.2. Expression des résultats

La concentration des hydrocarbures présents dans l'échantillon analysé s'exprime en mg.l^{-1} ; elle est obtenue par cette relation :

$$[\text{Hydrocarbures}] = (P_1 - P_0) \cdot 10^3 \cdot 4$$

Où :

P_0 : poids du bécher avant utilisation (g) ;

P_1 : poids du bécher après utilisation (g) ;

$P_1 - P_0$: poids des hydrocarbures retenus (g).

I.3.6. Phénol

I.3.6.1. Principe et mode opératoire

Le phénol est déterminé par la méthode **4-aminoantipyrine**, qui réagit pour donner une coloration orange en présence de potassium ferricyanure (voir annexe V). Cette méthode permet de mesurer des concentrations allant de 0,00 à 0,20 mg.l^{-1} .

Le protocole d'analyse du phénol est comme suit :

- ✚ prendre deux ampoules à décanter de 500ml déjà conditionnées, verser 300 ml d'eau distillée dans la première ampoule pour le blanc et la même quantité prélevée d'échantillon à analyser dans l'autre ;
- ✚ rajouter dans chacune 5 ml de la solution tampon $\text{pH} = 10$, agiter et dégazer ;
- ✚ rajouter dans chacune 1 sachet de réactif Phénol 1, agiter et dégazer; puis 1 sachet de réactif phénol 2 et aussi agiter et dégazer ;
- ✚ rajouter dans chacune 30 ml de chloroforme, agiter et dégazer ;
- ✚ obturer chaque ampoule avec du coton, et récupérer la phase inférieure ;
- ✚ passer à la lecture au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 460 nm.

I.3.6.2. Expression des résultats

Partie expérimentale

La concentration des phénols présents dans l'échantillon s'exprime en **mg .l⁻¹**, elle est affichée directement par le spectrophotomètre HACH.

I.3.7. Plomb

I.3.7.1. Principe et mode opératoire

Le plomb est déterminé par la méthode d'extraction rapide en colonne, en utilisant des réactifs en poudre, et quantifié ensuite par colorimétrie avec un indicateur, en évaluant les résultats par spectrophotométrie à 477 nm (voir annexe V).

Pour mesurer le plomb, on a adopté le protocole suivant :

- mettre 100 ml d'eau à analyser dans un bécher, et ajouter 1ml de la solution d'acide préservateur **Pb1**, agiter ;
- ajouter 1ml de la solution fixatrice de plomb **Pb2**, agiter ;
- monter la colonne d'extraction du plomb, et verser dedans le contenu du bécher, jeter le filtrat ;
- verser 25 ml de la solution éluant **Pb3** à travers la colonne et presser avec le piston
- récupérer le filtrat dans un tube à essai et ajouter 1 ml de la solution neutralisante **Pb4**, agiter ;
- ajouter dans le tube à essai 1 sachet d'indicateur de plomb **Pb5**, bien agiter ;
- prendre 10 ml de l'eau du tube à essai pour le blanc, et le verser dans un pilulier
- ajouter au 10 ml du blanc, 3 gouttes de la solution décolorante **Pb6** ;
- lire la valeur de la concentration du plomb par spectrophotomètre à la longueur d'onde **477nm**.

I.3.7.2. Expression des résultats

La concentration du plomb est donnée directement par le spectrophotomètre HACH, elle s'exprime en **µg. l⁻¹**.

I.3.8. Débit

I.3.8.1. Principe et mode opératoire

Partie expérimentale

La mesure du débit est effectuée par la méthode d'exploration du champ de vitesse dans une section cylindrique droite d'écoulement ; en évaluant le débit avec un courantomètre **FLO-MATE 2000/CM** (voir annexe V). Cet appareil est notamment équipé :

- ✚ d'une perche graduée de positionnement de la sonde, permet de mesurer la hauteur d'eau dans la canalisation ;
- ✚ d'une sonde électromagnétique mesurant la vitesse d'écoulement du fluide ;
- ✚ d'un module d'acquisition (enregistrement des données). Ce qui permet de calculer la section mouillée de la canalisation voire le débit.

I.3.8.2. Expression des résultats

La valeur du débit est calculée par la méthode de **SEBASTIEN** (voir annexe V).

Le débit s'exprime en m^3/t par rapport la quantité du pétrole traitée par jour.

I.4. Traitement par l'anthracite :

Afin de comparer les résultats d'analyse des eaux en aval du foin qui est utilisé comme un filtre dans le traitement des effluents industriels liquides du raffinage ; nous avons utilisé une autre méthode de filtration, dont l'échantillon est traité par l'anthracite, en essayant par la suite de tester l'efficacité des deux matériaux dont le but était de réduire au maximum le taux de pollution engendrée.

I.4.1. Procédure de filtration par l'anthracite

Les analyses physico-chimiques des **ER** en aval de l'anthracite, ont été effectuées au laboratoire, après le filtrage d'**un litre** d'eau prélevée en amont. Les étapes effectuées se résumant comme suit :

a)

Partie expérimentale



- Peser **100g** de l'anthracite préalablement préparée, dans une balance de type **DENVER instrument**.



b)



- Verser la quantité pesée dans une ampoule à décanter.



c)



- Faire passer l'effluent en amont prélevé, à travers l'ampoule contenant l'anthracite.



d)

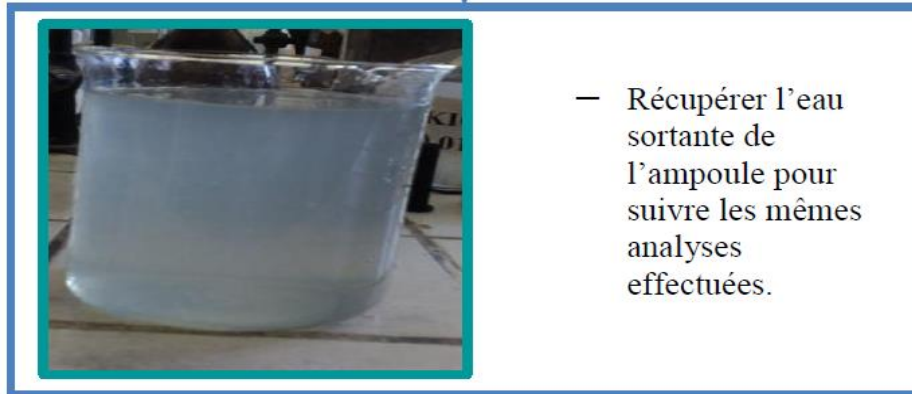


Figure 16 : *les étapes de filtration par anthracite.*

II. Résultats et discussion

Dans cette partie , on présente les résultats d'analyse de telle façon qu'ils soient facilement exploitables pour déterminer la pollution résiduaire industrielle de la raffinerie d'Alger ; afin de les interpréter pour étudier l'efficacité des processus du traitement effectués au sein de cette raffinerie (filtration par le foin), les comparer avec la norme définie par le décret N° 06-141 et enfin faire une comparaison avec le traitement par l'anthracite dans un souci d'optimiser l'épuration des eaux résiduaires de la raffinerie.

II.1. Evolution des paramètres

Les données acquises lors des différentes sorties sur terrain (le bassin de décantation API et la fosse A du rejet principal avant l'évacuation dans le réseau communal) concernant les paramètres physicochimiques, sont résumés dans les tableaux en annexe.

Les variations des teneurs des différents paramètres étudiés en fonction des échantillons prélevés, déterminant le degré de la pollution donc la qualité de ces échantillons, elles seront représentées dans les figures qui vont suivre.

II.1.1. Débit

Pour pouvoir préconiser un traitement fiable, il faut connaître la quantité réelle d'eau rejetée. L'estimation de la pollution globale dépend du débit de l'effluent quittant la raffinerie.

Partie expérimentale

Les résultats de mesure du débit volumique par la quantité du pétrole traité par jour (7534.2 t/jour) de la raffinerie, sont résumés dans le tableau N° 1 en annexe VI. La figure qui suit montre l'évolution de ce paramètre physique dans la conduite de collecte des eaux de rejet principal.

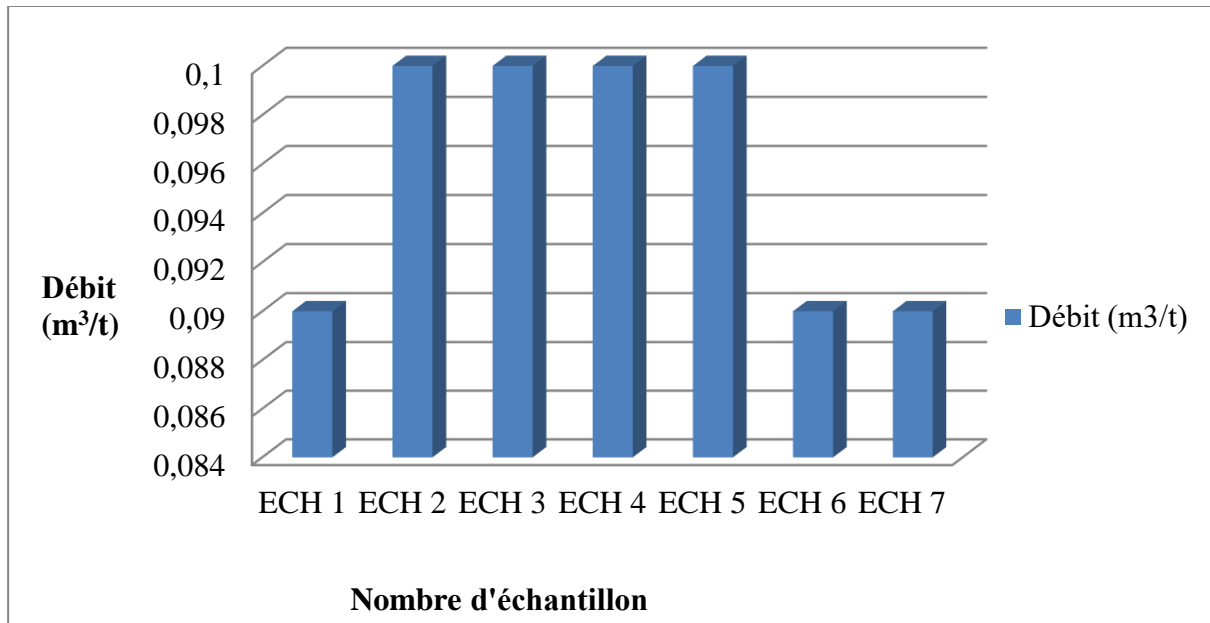


Figure 17 : Evolution des débits volumiques par la quantité du pétrole traité, des différents échantillons.

D'après le graphe représenté dans la figure précédente, nous arrivons à un débit moyen de $0,0957 \text{ m}^3/\text{t}$, exprimant la quantité d'eau polluée traitée par le foin et par l'anthracite.

La variabilité des résultats obtenus du débit pourrait être expliquée par les différentes quantités de l'eau polluée rejetées par les purges au niveau des unités :100 ,200 et 300 ; ainsi que les purges des bacs de stockage et même les eaux pluviales.

La figure qui suit montre des valeurs du débit, comparées à la norme définie par le décret à une valeur de $1 \text{ m}^3/\text{t}$.

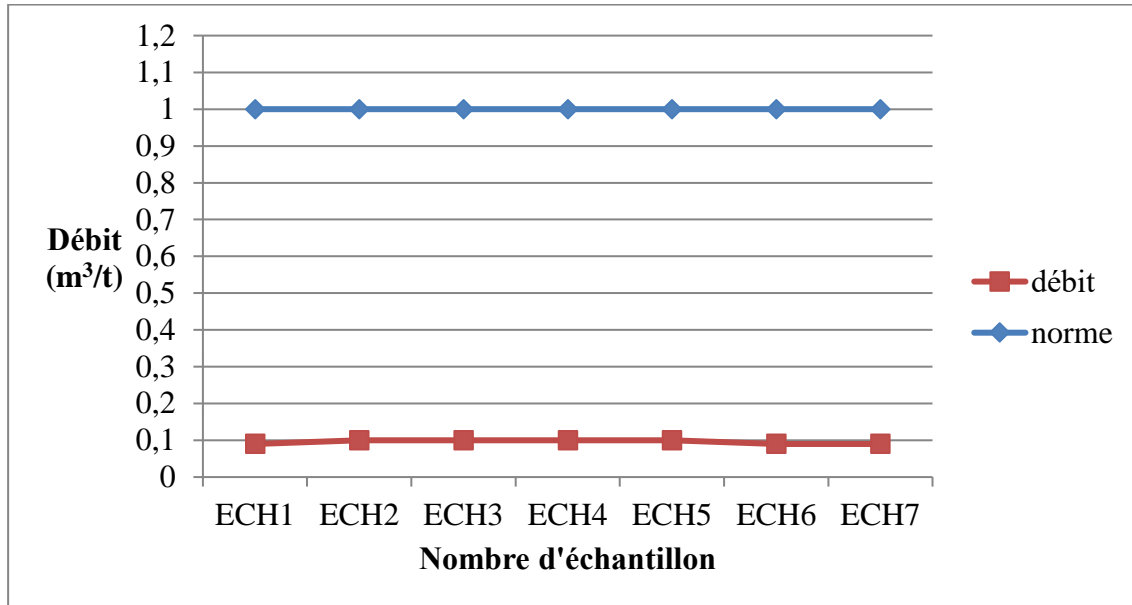


Figure 18 : Evolution des valeurs du débit des différents échantillons; comparées à la norme de rejet.

Comme illustré sur la figure, les valeurs du débit respectent largement la norme, ce qui explique que la quantité d'eau rejetée est très faible.

La mesure du débit permet de quantifier, localiser, analyser et solutionner différents problèmes de réseau de collecte et de distribution de l'eau.

II.1.2. Température

Les graphiques qui vont suivre montrent l'évolution de ce paramètre à la sortie du bassin de décantation de la **RA1G**, qui est caractérisée donc par un gradient croissant de l'aval vers l'amont pour les différents échantillons.

Partie expérimentale

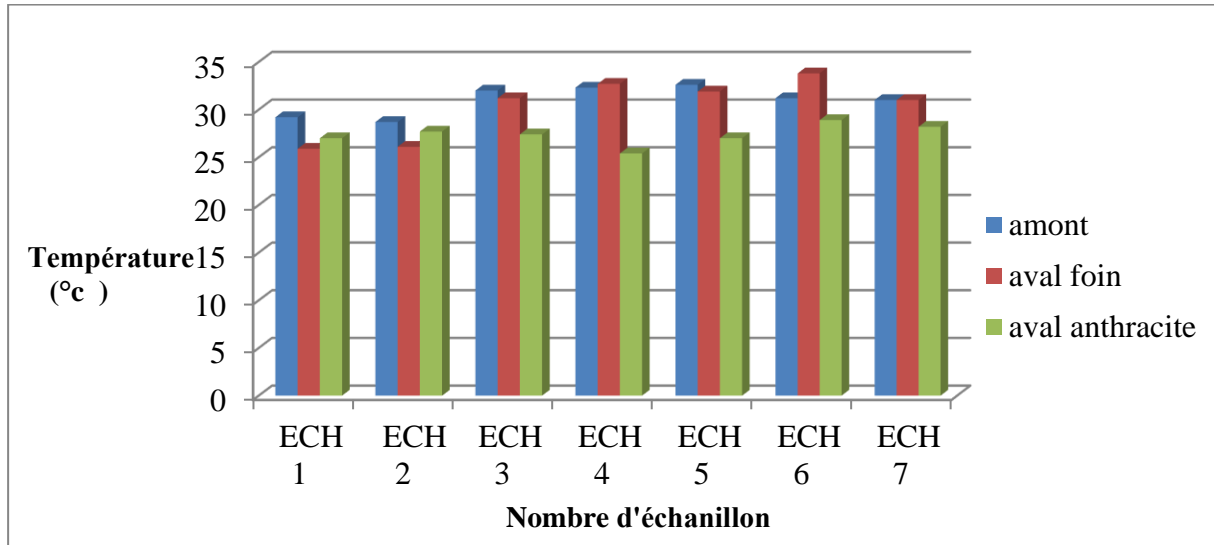


Figure 19 : Evolution de la température des eaux en amont, en aval des filtres à foin, et après le traitement par l'antracite pour les différents échantillons.

Pour les différentes analyses effectuées en amont et en aval ; en constatant que la température en amont dans la plupart des cas est supérieure à celle relevée en aval de foin. Pour les échantillons 4 et 6 la température après le traitement par foin est élevée à celle en amont (avant le traitement par le foin) et ça peut être expliqué par la saturation de ces filtres qui vont transférer une certaine quantité des polluants à l'eau ce qui cause l'augmentation de la température.

Pour l'antracite la température est inférieure à celle en amont pour tous les échantillons. Le meilleur traitement est celui de l'échantillon 6 à une température égale à 29°C.

Partie expérimentale

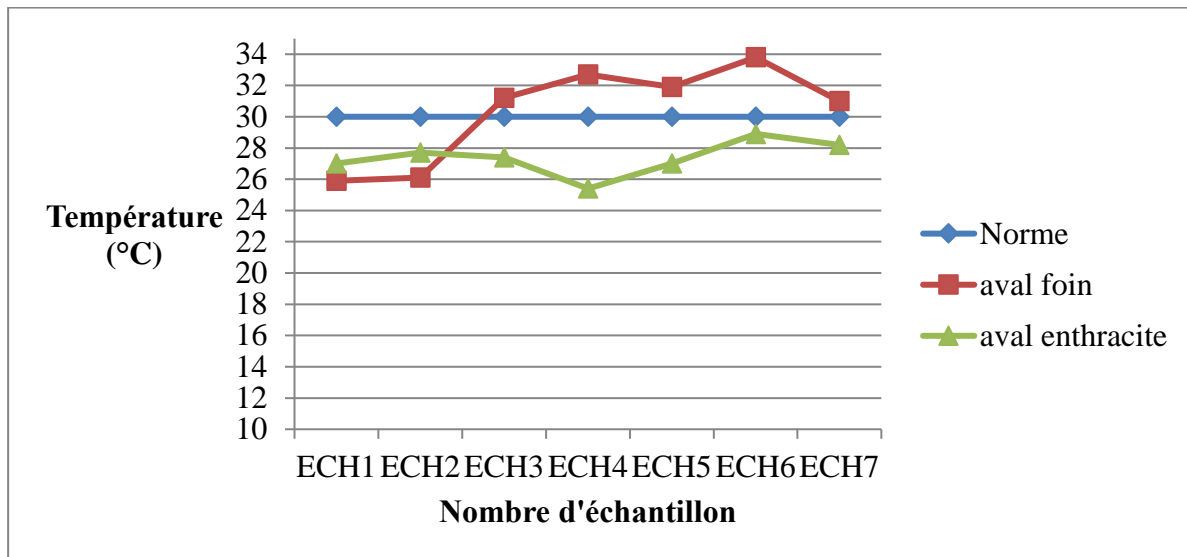


Figure 20 : Evolution de la température des eaux en aval des filtres à foin et anthracite; comparées à la norme de rejet.

Comme illustré sur la figure N° 20, la plupart des valeurs de T° en aval du foin dépassent la norme qui est de 30°C à cause de la présence de grande quantité des huiles et des hydrocarbures dans l'eau rejetée qui se caractérisent par leur T° élevée et ça ce n'est pas le cas pour l'anthracite car il a un pouvoir excellent d'adsorbé les hydrocarbures .Les échantillons 3 et 7 sont les plus proche de la norme

II.1.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le tableau N°3 en annexe VI résume les résultats de mesure du pH obtenus lors de notre étude, la figure qui suit présente les variations de ce paramètre.

L'évolution du pH des rejets durant toute la période d'étude a montré que les eaux en amont, en aval et après le traitement par l'anthracite, présentent des valeurs comprises entre **6.16** et **7.8**, dont la valeur moyenne est de **6.74** à l'entrée du bassin, et **7.03** en moyenne après le traitement par le foin et l'anthracite (Figure N°21).

Partie expérimentale

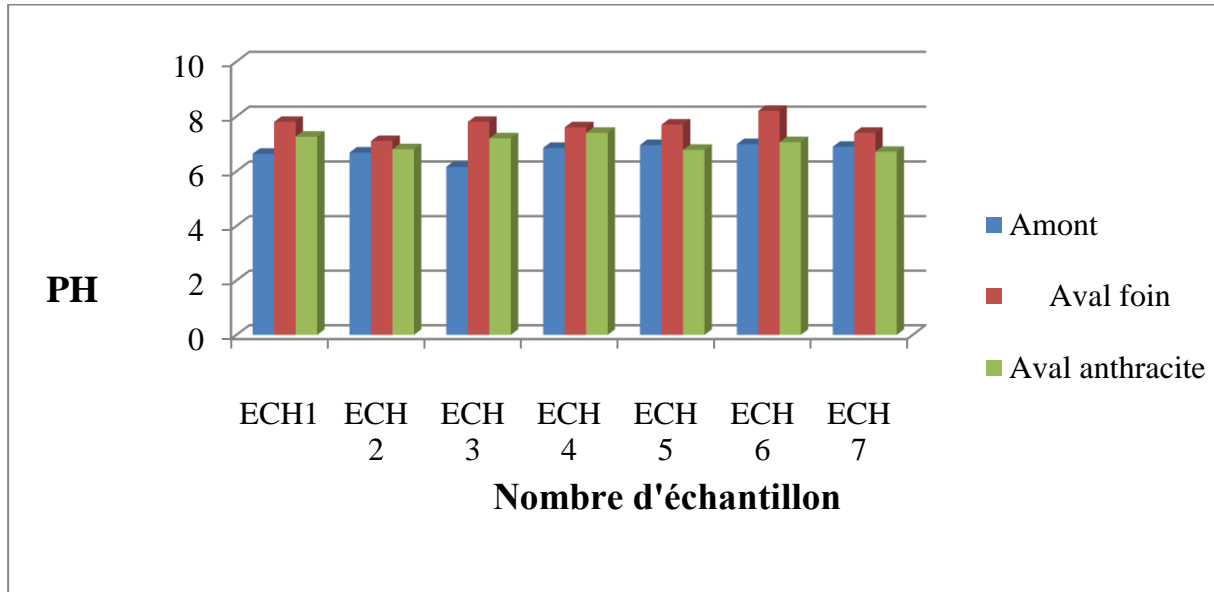


Figure 21 : *Variation du pH en amont, aval, et après le traitement par l’anthracite des différents échantillons.*

Ces valeurs sont caractérisées donc par un gradient croissant dans l’ordre : amont, aval foin, ensuite décroissant dans l’ordre : aval foin, aval anthracite, ce qui explique son élévation voire correction après le traitement par le foin et l’anthracite qui rendent le pH plus au moins neutre par rapport à l’amont qui présente des pH acides.

Les valeurs obtenues pour ce paramètre en amont, peuvent être expliqués par la nature de la charge des rejets provenant des unités de raffinage ; en raison leurs fortes teneurs en composés utilisés pour la protection contre la corrosion et les composés oxygénés (les phénols). D’après les analyses effectuées en aval du foin et d’anthracite, nous constatons que le circuit du traitement permet l’équilibre du pH (valeurs proches de la neutralité).

Partie expérimentale

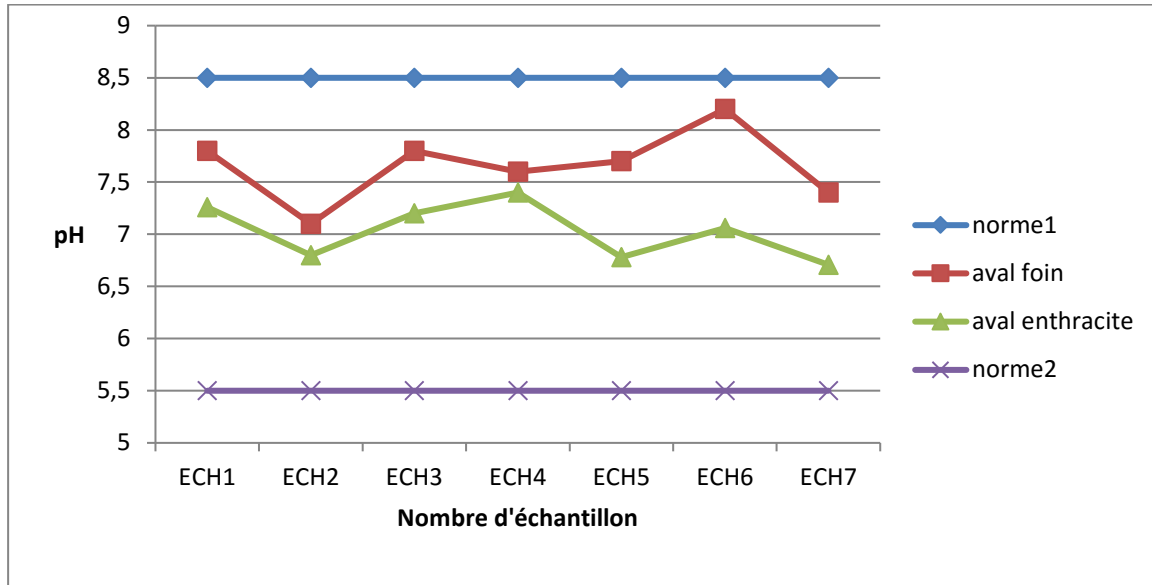
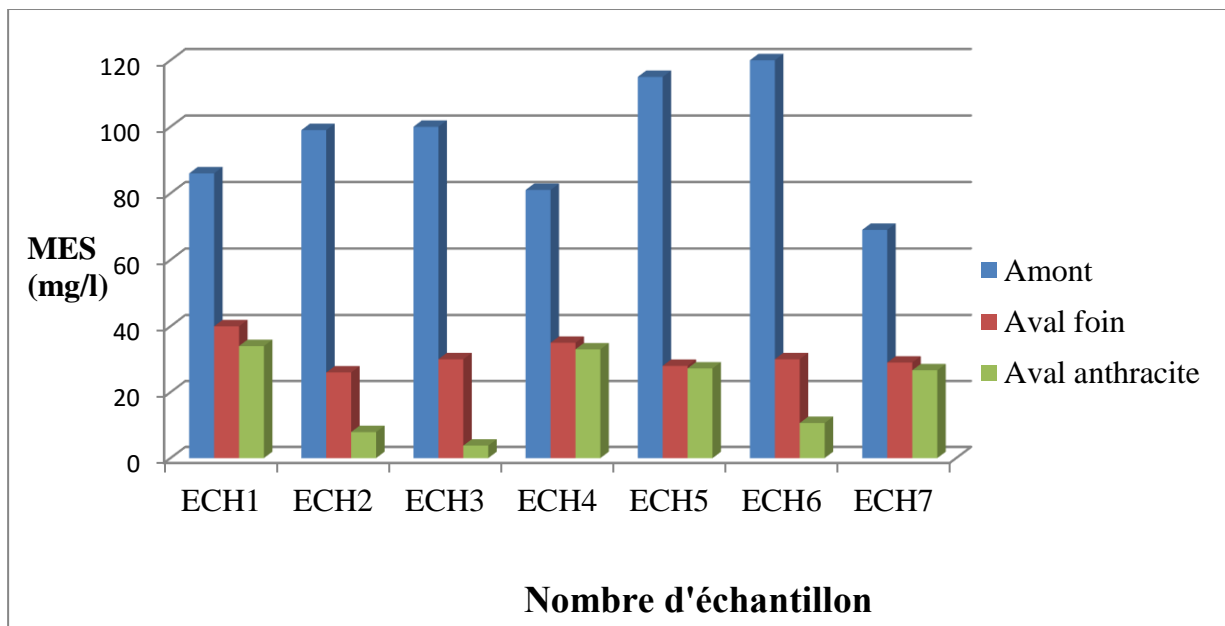


Figure 22 : Evolution du pH des eaux en aval des filtres à foin et anthracite ; comparés à la norme de rejet.

Comme illustré sur la figure N° 22, les eaux rejetées restent conformes à la norme de rejet qui est comprise entre 5.5 et 8.5.

II.1.4. Matières en suspension (MES)

Les résultats de mesure de MES sont résumés dans le tableau N°4 en annexe VI. La figure N°23 montre l'évolution de ce paramètre.



Partie expérimentale

Figure 23 : Variation des MES en amont, aval foin, et après le traitement par l'anhracite des différents échantillons.

Le traitement par les deux méthodes a donné des résultats très satisfaisants pour les MES.

On remarque que pour l'échantillon 2, 3 et l'échantillon 6, le traitement avec l'anhracite est meilleur par rapport à celui de foin ; cela est dû au temps de contact (anhracite effluent) qui était de 30 minutes jusqu'à 2h. L'anhracite (charbon actif) possède la propriété de retenir toutes les particules de 10 à 1 ou 2 nanomètres, sachant que les MES ont une taille comprise entre 10^{-6} et 10^{-3} , et cela explique que l'anhracite possède une filtration et une adsorption meilleures des MES que celle du foin. [21]

Pour l'anhracite ; son efficacité diminue avec l'augmentation de temps de contact (à partir de deux heures) et avec la régénération elle diminue de 5 à 10% (ECH4, ECH5, ECH7) [35]. Dans notre cas la régénération est faite par un rinçage avec de l'eau potable.

La figure N° 24 montre les variations des MES dans les eaux épurées en aval des filtres à foin et anhracite comparées à la norme de rejet.

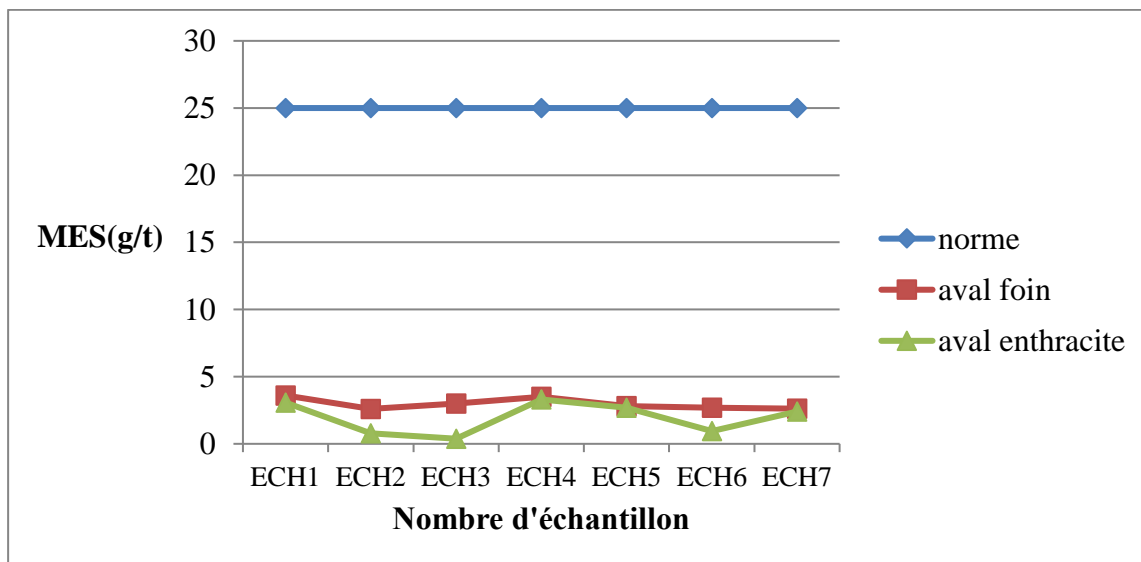


Figure 24 : Variation des MES en aval des filtres à foin et de l'anhracite des différents échantillons; comparées à la norme de rejet.

D'après la figure N° 24, les teneurs en MES respectent la norme définie par le décret fixée à **25 g/t**, pour les deux types de filtration. Nous constatons ainsi que l'anhracite possède une

Partie expérimentale

filtration meilleure que le foin, de telle sorte que les valeurs enregistrées respectent largement la norme.

II.1.5. Demande biochimique en oxygène DBO₅

Les résultats de mesure de la DBO₅ sont résumés dans le tableau N°5 en annexe VI. La figure qui suit montre l'évolution de ce paramètre dans la station du traitement des eaux résiduaires de la RAIG.

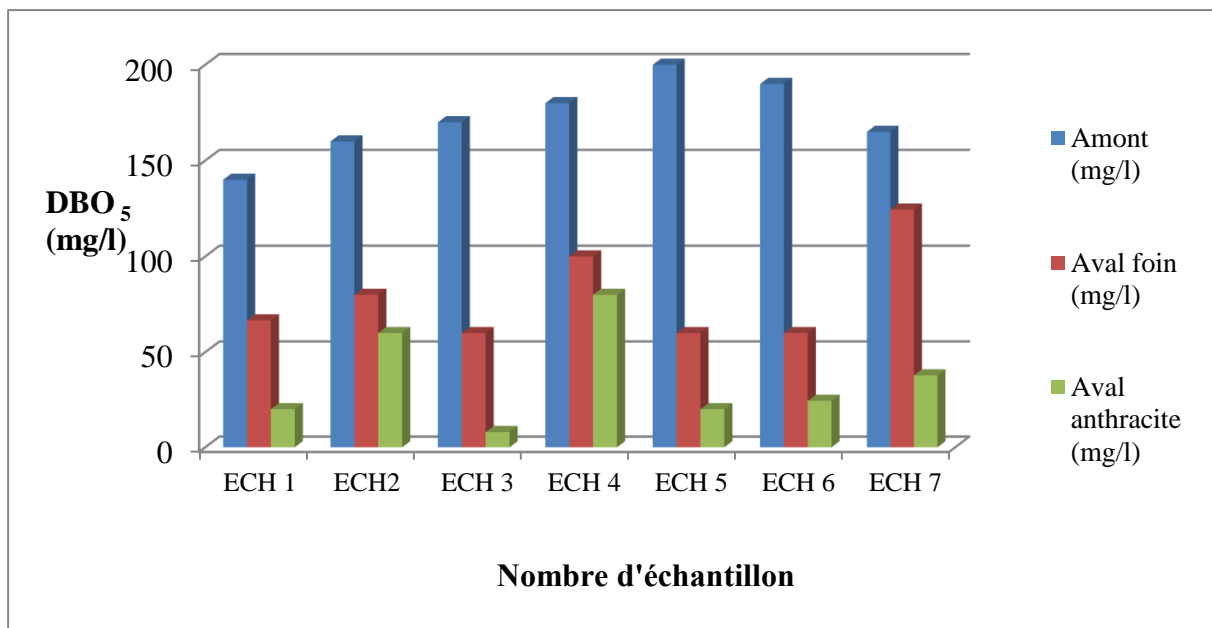


Figure 25 : Evolution de la DBO₅ en amont, en aval des filtres à foin et après le traitement par l'anthracite des différents échantillons.

La quantité de la DBO₅ enregistrée dans le bassin API après l'écrouissage (amont), est de 172.14 mg d'O₂ .l⁻¹ en moyenne, cette valeur élevée peut être interprétée par la dégradation importante des charges organiques que contiennent les rejets sous l'action des microorganismes et qui peut être provenue ainsi des eaux résiduaires domestiques du site comme les sanitaires, les cuisines... qui contiennent des matières organiques biodégradables.

Cette quantité peut aussi être expliquée par le développement d'algues dans le bassin des eaux pluviales qui libèrent par le biais de la photosynthèse l'oxygène responsable de l'oxydation biochimique de la matière organique.

Par rapport à cette pollution organique contenue dans les effluents en amont, cette dernière diminue à la sortie du bassin avec une valeur moyenne de 78.73 mg d'O₂ .l⁻¹ en aval des

Partie expérimentale

filtres à foin, et de 35.74 mg d'O₂ .l⁻¹ en moyenne après le traitement par l'antracite.

Cette diminution est due à la filtration permettant de réduire cette charge organique, et qui explique d'après les résultats d'analyse que l'antracite constitue un bon **filtrant** en effectuant le piégeage de la charge organique par rapport au foin.

La figure N°26, illustre les vérifications des teneurs de la DBO₅ des eaux en aval des filtres à foin et après le traitement par l'antracite, avec la norme fixée par le décret à **25 g/t**.

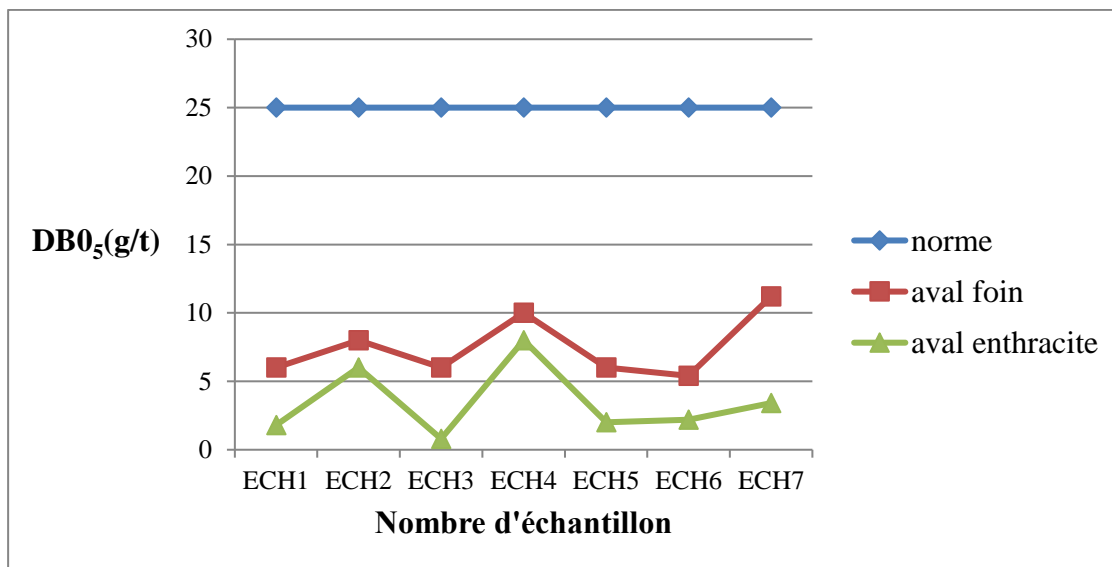


Figure 26 : Evolution de la DBO₅ des eaux, en aval des filtres à foin et de l'antracite des différents échantillons; comparées à la norme de rejet.

L'écart est largement situé dans la norme mais le traitement par le foin reste toujours efficace.

II.1.6. Demande chimique en oxygène (DCO)

Le tableau N°6 en annexe VI, résume les résultats d'analyse de ce paramètre, la figure qui suit montre son évolution en fonction des échantillons analysés.

Partie expérimentale

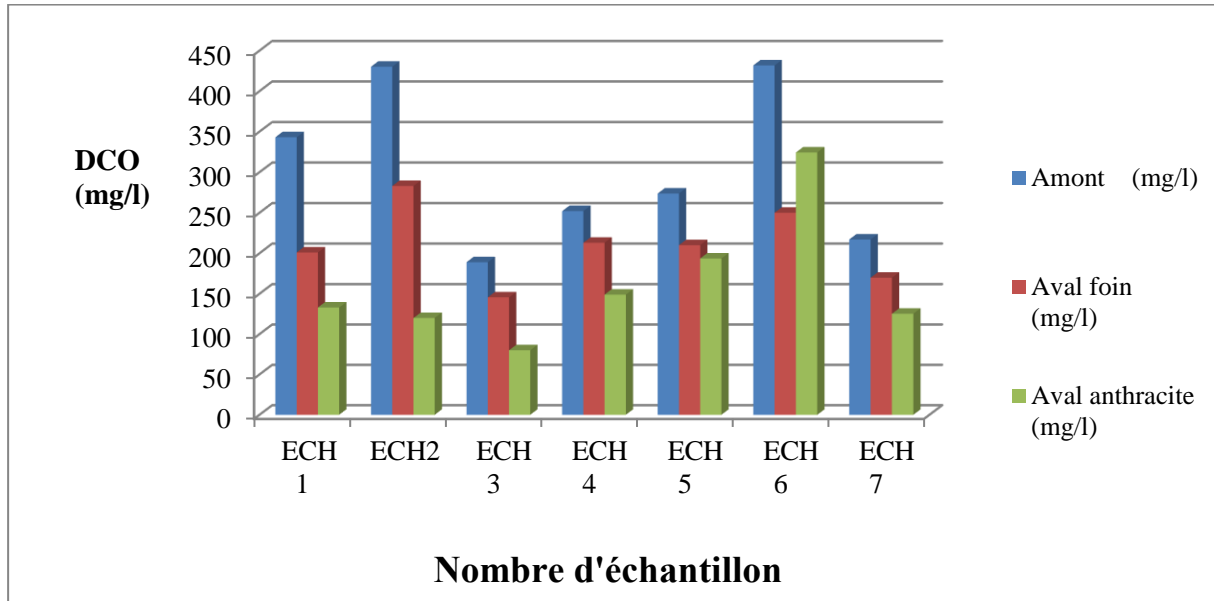


Figure 27 : Evolution de la DCO en amont, en aval des filtres à foin et après le traitement par l'anthracite des différents échantillons.

Nous constatons qu'avant le traitement, les valeurs de la DCO sont élevées par rapport à celles enregistrées après le traitement par le foin et l'anthracite ; en enregistrant une valeur moyenne (en amont après l'écumage) de $300.08 \text{ mg d'O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$

Cela est dû à l'oxydation des matières oxydables (minérales ou organiques), biodégradables ou non, présentes dans les effluents, comme les eaux de laboratoire, constituants des ER riches en substances toxiques et en matières biodégradables oxydables.

Cette valeur diminue après le traitement par le foin pour atteindre $210.48 \text{ mg d'O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$

, ce qui explique le piégeage de la matière oxydable par le foin après sa filtration.

Après le traitement par l'anthracite, nous remarquons donc un abattement important de la charge polluante avec une moyenne de $160.75 \text{ mg d'O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$, cela est expliqué par la

bonne filtration de l'anthracite. On remarque un meilleur traitement pour $t = 30 \text{ min}$ à $t = 2 \text{ h}$ au-delà l'efficacité de traitement diminue due à la saturation des centres actifs de l'anthracite.

La figure N° 28 montre l'évolution de la DCO des eaux en aval des filtres à foin et de l'anthracite avec vérification avec la norme de rejet.

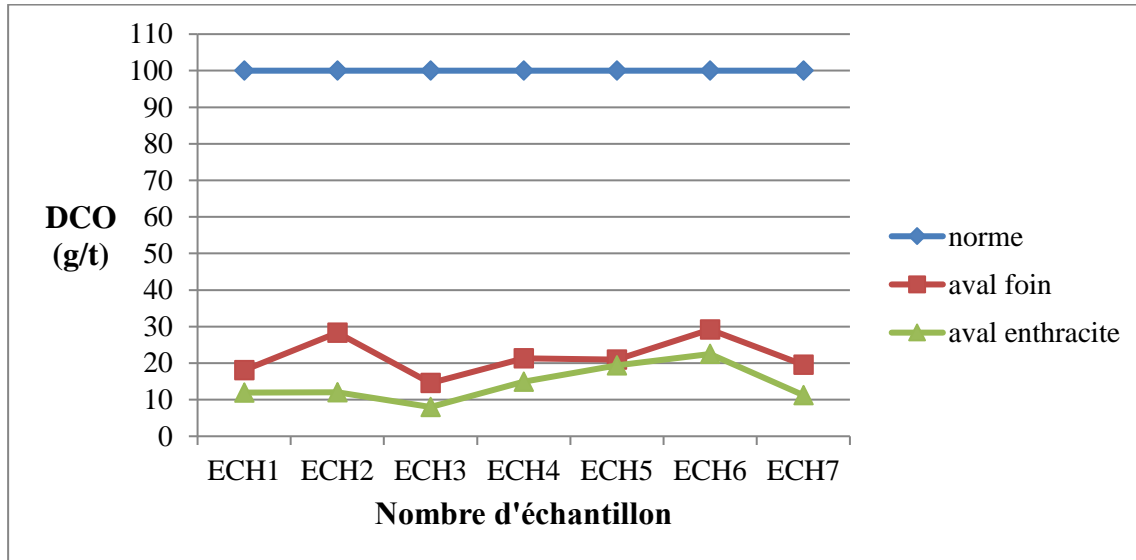


Figure 28 : Evolution de la DCO des eaux, en aval des filtres à foin et de l'anthracite des différents échantillons; comparées à la norme de rejet.

La figure montre clairement que les eaux rejetées par la raffinerie et celle traitées par l'anthracite, respectent largement la norme définie par le décret qui est fixée à **100 g/t** ; cela veut dire que la quantité d'oxygène est suffisante pour l'oxydation chimique, se traduisant le bon fonctionnement de la station du traitement.

I.1.7. Hydrocarbures (HC)

Dans le tableau N°7 en annexe VI, sont résumés les résultats d'analyse des hydrocarbures dans la station de traitement des ERI de la RA1G, en amont, en aval des filtres à foin, et après la filtration par l'anthracite. La figure N° 29 montre l'évolution de ce paramètre pour les différents échantillons.

Partie expérimentale

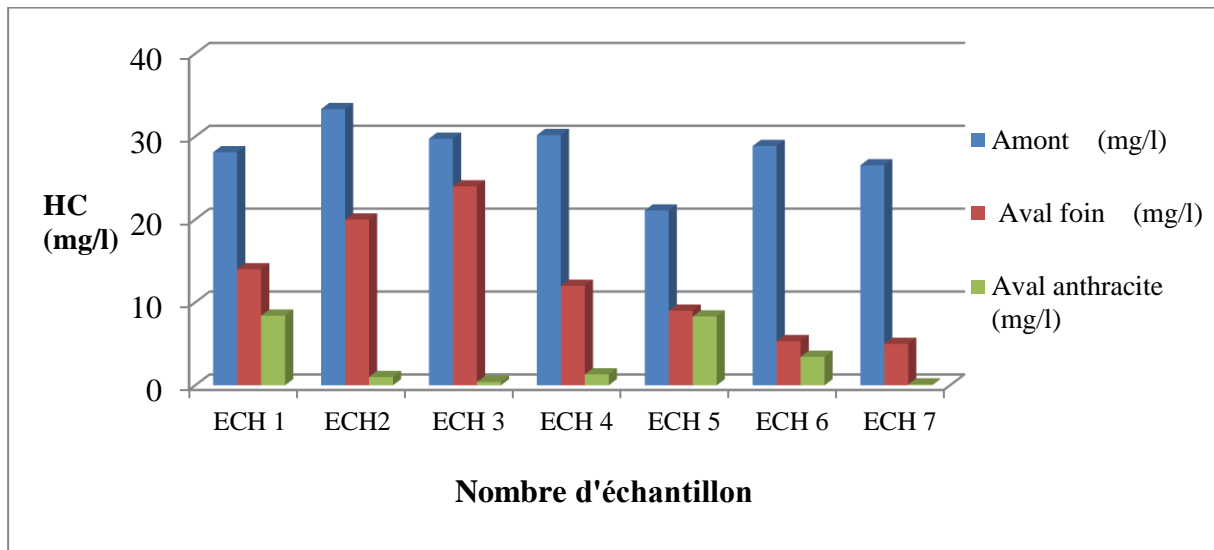


Figure 29 : Evolution des teneurs en HC des ER en amont, en aval des filtres à foin et après le traitement par l'anthracite des différents échantillons.

Nous remarquons d'après les résultats d'analyse, que les teneurs des effluents en HC totaux, en amont dans le bassin API après l'écumage présentent une valeur moyenne de **28.26 mg.l⁻¹**. Cette quantité provient essentiellement des ER issues des procédés de raffinage qui sont caractérisées par des eaux huileuses très riches en hydrocarbure, comme les eaux purgées de différents bacs et les eaux provenant des différentes unités.

Cette teneur diminue après le traitement par le foin pour atteindre une valeur moyenne de 12.76 mg.l⁻¹, et une valeur de 3.28 mg.l⁻¹ après le traitement par l'anthracite.

Le traitement par l'anthracite donne un meilleur résultat pour une durée de temps d'1h à 30 min.

L'élévation des teneurs des HC dans les rejets après la filtration par foin, peut être expliquée par l'engorgement du bassin API dû à la présence des quantités très importantes de vases et boues en surface avec le faible écumage minimal suite au mal fonctionnement des pompes de transfert des huiles récupérées vers les bacs à Slop.

La figure qui suit montre l'évolution des teneurs en HC des eaux en aval des filtres à foin et après le traitement par l'anthracite comparées à la norme.

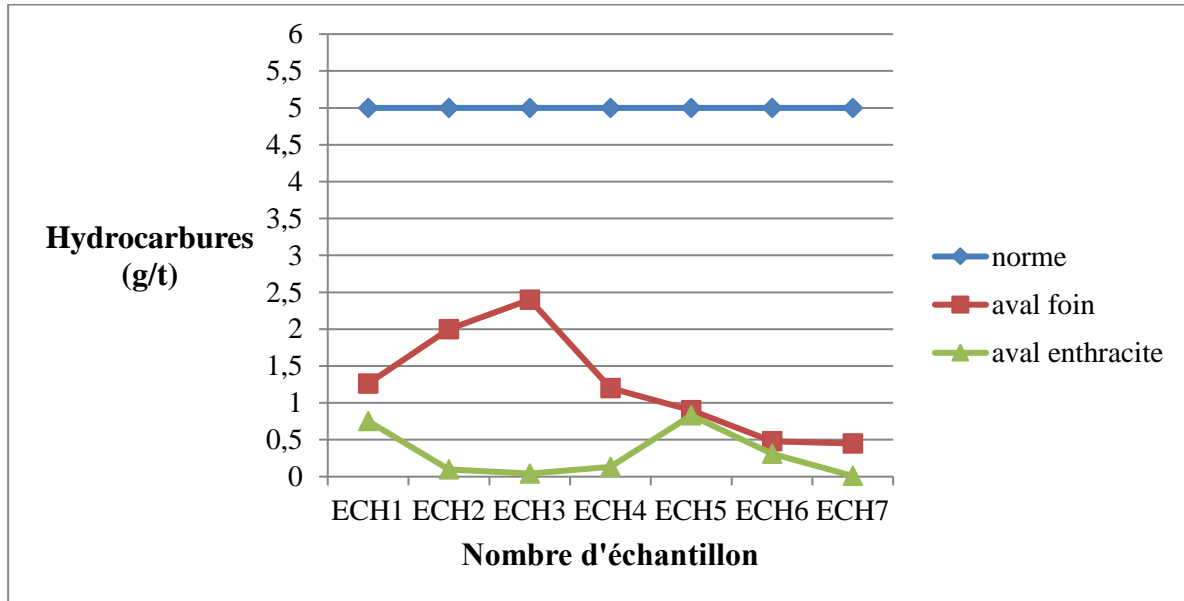


Figure 30 : Evolution des teneurs en HC des ER en aval des filtres à foin et de l'anthracite des différents échantillons; comparées à la norme de rejet.

La teneur en HC contenue dans les eaux à la sortie du bassin, et après filtration par l'anthracite, respecte la norme fixée par le décret à **5 g/t** ; Cependant, nous enregistrons une filtration meilleure par l'anthracite expliquée par des valeurs négligeables par rapport à la norme de rejet.

I.1.8. Phénol

Dans le tableau N°8 en annexe VI, sont résumés les résultats d'analyse du phénol dans le bassin de traitement des ER de la RA1G, en amont, en aval des filtres à foin, et après le traitement par l'anthracite. La figure N°31 indique l'évolution de ce paramètre pour les différents échantillons.

Partie expérimentale

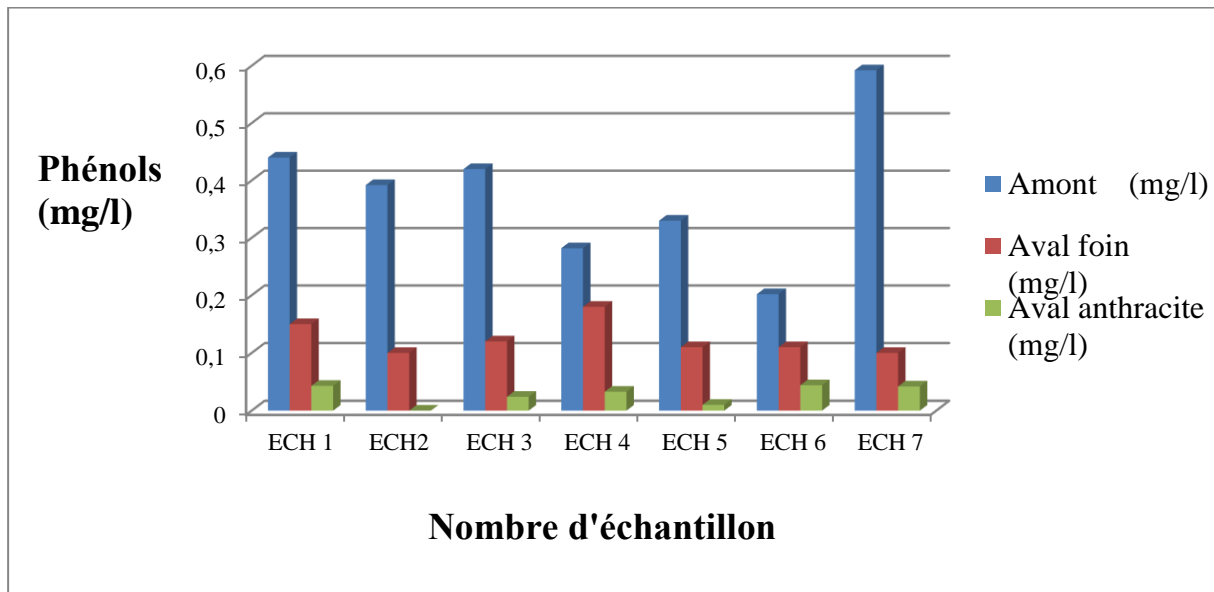


Figure 31 : Evolution des teneurs en phénols ; en amont, en aval des filtres à foin et après le traitement par l'anthracite des différents échantillons.

Le résultat obtenu correspond à la concentration minimum de composés phénoliques présents dans l'échantillon, car les groupements pouvant être fixés sur le noyau benzénique ont plutôt tendance à diminuer la sensibilité de la réaction colorée (RODIER, 2009).

Les valeurs d'analyse des phénols sont très élevées en amont, cette élévation se traduit d'une part, par la présence d'une quantité très élevée des eaux huileuses ; provenant des différents procédés du raffinage et les eaux de purge de différents bacs de stockage, et d'autre part ; par la faible capacité d'écumage de ces eaux qui sont riches en produits phénolés.

Les valeurs obtenues après les traitements physiques et la filtration sur le foin ; sont un peu plus élevées que celles obtenues après la filtration par l'anthracite. Nous pouvons conclure que l'anthracite a une grande tendance à éliminer les composés oxygénés notamment les phénols.

Le traitement est meilleur par l'anthracite pour une durée de temps de 30 min à 2 h.

La figure qui suit montre l'évolution des teneurs en phénols des eaux en aval du traitement par les filtres à foin et après le traitement par l'anthracite comparées à la norme définie par le décret à une valeur de **0.25 g/t**.

Partie expérimentale

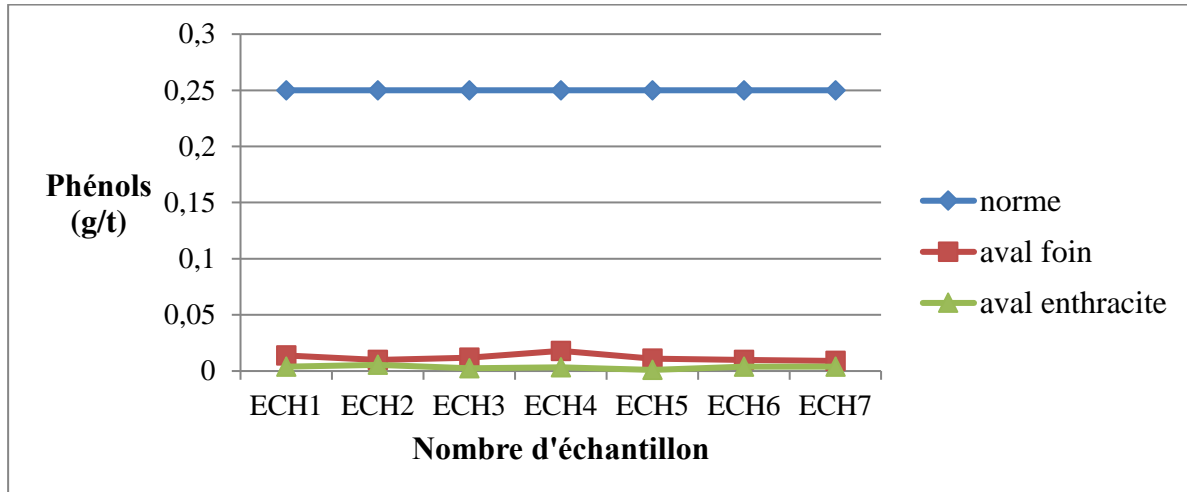


Figure 32 : Evolution des teneurs en phénols des ER en aval des filtres à foin et de l'antracite des différents échantillons; comparées à la norme de rejet.

Comme illustré sur cette figure N° 32, les teneurs en phénols présents dans les eaux résiduelles à la sortie de la station de traitement et après le traitement par l'antracite, respectant largement la norme, en enregistrant une filtration meilleure par l'antracite par rapport à celle effectuée par le foin.

II.1.9. Plomb (Pb)

Les résultats d'analyses sont représentés dans le tableau N°9 en annexe VI, la figure N°33 montre l'évolution de ce paramètre.

Partie expérimentale

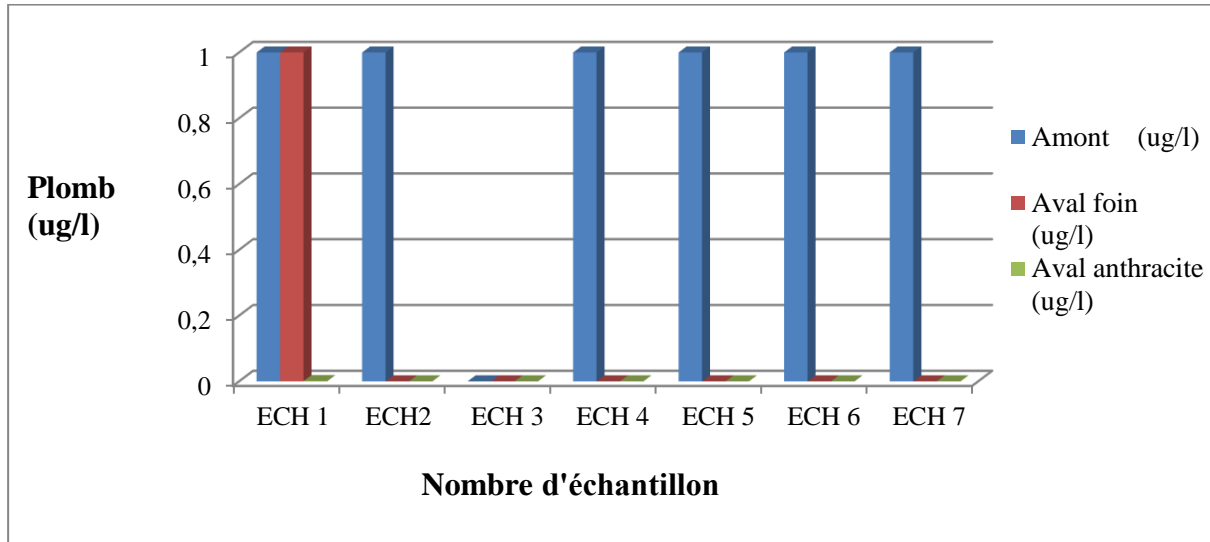


Figure 33 : Evolution des teneurs en plomb en amont, en aval des filtres à foin et après le traitement par l'anthracite.

La figure N°33 montre clairement que les eaux du bassin de traitement des ER de la raffinerie, ont des teneurs en plomb qui varient entre **0 à 1 $\mu\text{g/l}$** , que ça soit en amont ou en aval des filtres à foin.

Avant d'être filtrés, les effluents possèdent des teneurs élevées en plomb qui peuvent être interprétées par son utilisation afin d'augmenter l'indice d'octane (Unité 200) pour obtenir une essence super.

En aval du traitement, nous enregistrons des réductions de ces teneurs allant jusqu'à l'élimination totale ; après le traitement par l'anthracite, nous remarquons d'après les résultats d'analyses, une élimination totale pour la plupart des échantillons.

La figure qui suit montre l'évolution des teneurs en plomb des eaux en aval du traitement par les filtres à foin et après le traitement par l'anthracite comparées à la norme définie par le décret à une valeur de **0.5 $\mu\text{g/l}$** .

Partie expérimentale

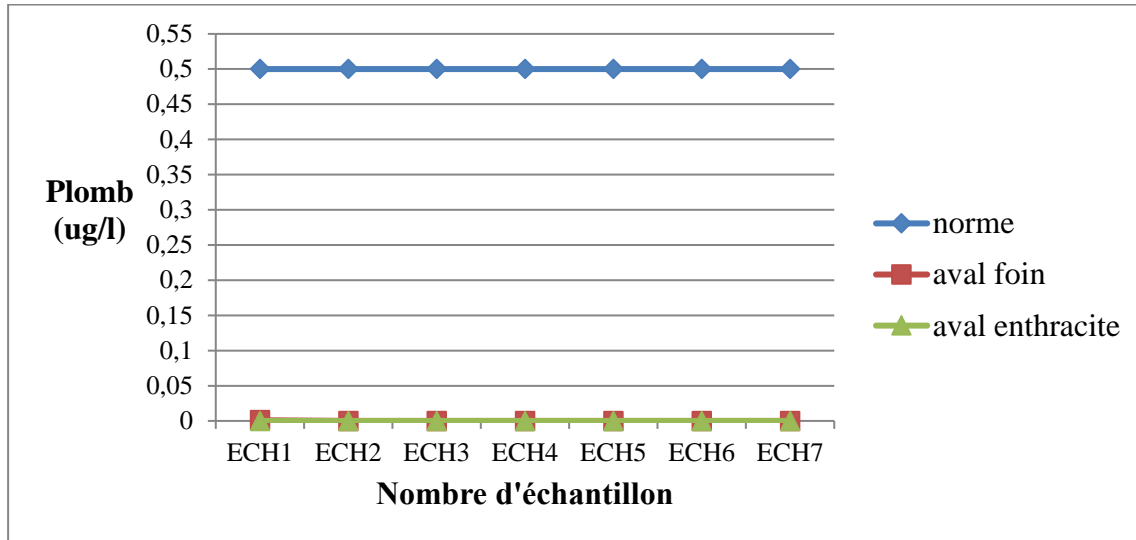


Figure 34 : Evolution des teneurs en Pb en aval des filtres à foin et après traitement par l'anthracite; comparées à la norme de rejet.

Nous remarquons d'après les résultats montrés sur la figure, que les eaux pour les deux types de traitement respectent la norme de rejet définie par le décret.

Ces deux traitements sont conformes aux normes.

II.2. Evolution des paramètres (foin et anthracite)

Afin d'avoir des résultats meilleurs que le traitement des effluents par l'anthracite uniquement, nous avons tester l'efficacité du traitement avec les deux filtrants (**foin et anthracite**), et cela en prélevant quatre échantillons des 4 jours successifs des eaux de la **fosse A** c'est-à-dire en aval des filtres à foin, et les faire passer à une deuxième filtration effectuée par l'anthracite au niveau de laboratoire, pour pouvoir déterminer les même paramètres évalués auparavant. Les résultats de mesure sont résumés dans le tableau N°11 en annexe VI.

Nous nous sommes surtout intéressés par la détermination des paramètres de qualité habituellement étudiés pour évaluer de façon indirecte la charge organique globale contenue dans une eau résiduaire, qui sont la **DCO**, la **DBO5**, les **MES** et les paramètres spécifiques à la raffinerie qui sont les **hydrocarbures** et les **phénols**.

Partie expérimentale

En ce qui concerne la température et le pH, nous remarquons que les effluents enregistrent des valeurs conformes à la norme, nous ne constatons pas de grandes variations avec celles déterminées pour les autres méthodes de traitement.

Le traitement par le foin, suivi par une filtration sur anthracite, donne des valeurs respectant largement la norme définie par le décret. En effet, le rejet final effectué par ce traitement, offre un aspect non polluant vis-à-vis l'environnement marin, ce qui minimise les dangers que peuvent provoquer ces ERI sur la mer.

Conclusion

En effet, les résultats d'analyse des paramètres globaux des effluents de la raffinerie RA1G, montrent que celle-ci rejette une eau épurée de qualité satisfaisante ; sachant qu'une eau épurée n'est considérée comme telle que lorsqu'elle respecte les normes de rejets, ce qui est le cas pour tous les paramètres étudiés.

Les valeurs limites de rejet pour les paramètres suivants : débit, DBO₅, DCO, MES, phénols et hydrocarbures ; sont des flux spécifiques c'est-à-dire des flux journaliers rapportés à la quantité de brut traitée à la journée.

L'ensemble des analyses effectuées, nous permet de faire les constatations suivantes :

- Les paramètres physiques débit, pH et T° sont jugés dans les normes. Les résultats de ces deux derniers paramètres montrent que le fait de mélanger les effluents de différentes unités de raffinage permet un certain réajustement des valeurs extrêmes vers des valeurs intermédiaires ;
- Les phénols et les hydrocarbures restent dans les normes ;
- Le plomb représente des valeurs respectant largement la norme ;
- Les teneurs en matières en suspension dans les eaux de rejet sont proches à la norme et cela confirme le nettoyage des cellules du bassin API en amont des stations de traitement avec une bonne décantation ainsi que le temps de séjour suffisant des effluents dans les bassins de décantation ;
- Les valeurs des paramètres indicateurs de la matière organique biodégradable ou oxydable (DBO₅ et DCO), sont très importantes, mais respectant les normes. De ce fait, il a été constaté que cette eau résiduaire demande beaucoup d'oxygène pour l'oxydation des matières organiques et même pour leur dégradation biologique.

Partie expérimentale

Le foin est un bon filtrant et adsorbant, lorsqu'il est saturé, il doit être extrait et brûlé. Le fait que les teneurs ré-augmentent après passage du filtre peut s'expliquer par un mauvais entretien de celui-ci.

D'après les bons résultats obtenus après le traitement par l'antracite, nous concluons que celui-ci est un excellent filtrant et adsorbant grâce à sa porosité; permettant de piéger les différents polluants donc obtention des eaux bien épurées mieux que celles traitées par le foin ;mais l'antracite se sature d'une façon plus rapide ce qui exige sa régénération qui est coûteuse.

Le couplage de traitement entre l'antracite et le foin donne de meilleurs résultats ce qui le meilleur traitement d'où la régénération de l'antracite se fait à l'entèrne.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude a été réalisée dans le but d'estimer le taux de pollution que contiennent les ER de la raffinerie d'Alger pour pouvoir évaluer ses impacts par rejet sur le milieu naturel, en faisant appel à la norme définie par le décret N°06-141, tout en comparant les résultats de la filtration par le foin utilisée au sein de la raffinerie, avec une autre méthode dont le filtrant est l'antracite.

Pour ce faire, nous avons tout d'abord exploité les données théoriques qui nous ont permis de maîtriser les origines de la pollution industrielle ainsi que les principaux paramètres pouvant caractériser les ER, avec étude de leurs impacts et législation. Nous nous sommes ensuite penchées sur la description du procédé de traitement. En tenant compte de la description de notre zone d'étude (la raffinerie d'Alger) avec ses unités et son mode de traitement des eaux, nous avons par la suite abordé les analyses et le mode opératoire, en décrivant le prétraitement, l'étiquetage, échantillonnage, et en détaillant par la suite les étapes successives du protocole d'analyse permettant d'évaluer les paramètres physicochimiques à savoir **la température, pH, DCO, DBO₅, MES, Pb**, et les paramètres spécifiques à la raffinerie **phénols et hydrocarbures** ; ce qui nous a permis de tracer leur évolution en fonction des échantillons résumés dans la dernière partie 'partie expérimentale'.

Au terme de cette étude relative aux eaux du bassin de décantation de la RAIG, et à partir des résultats obtenus des échantillons prélevés et leurs interprétations, nous espérons avoir atteint l'objectif de notre étude et de conclure avec les points suivants :

- Les ERI, si elles étaient rejetées dans le milieu sans traitement, pollueraient gravement l'environnement et perturberaient donc la vie aquatique en effectuant des déséquilibres écologiques.
- La méthode de traitement utilisée au sein de la raffinerie n'est pas une solution efficace pour avoir un bon traitement, étant donné que la filtration sur foin utilisée présente une « re-pollution » pour certains cas.
- La filtration par antracite, présente des rendements d'élimination importants par rapport au foin avec des résultats respectant largement la norme définie par le décret. L'utilisation de l'antracite dans le processus de filtration est également très sollicitée. Ce filtrant présente une forte capacité d'adsorption des micropolluants et surtout les

Conclusion générale

hydrocarbures et les métaux lourds dû essentiellement à sa grande surface spécifique (porosité).

Recommandation

Recommandations

A la fin de cette étude, et d'après notre test de filtration et absorption par l'antracite appliqué sur les eaux résiduaires de la raffinerie d'Alger, après le passage de ces eaux des filtres à foin, nous proposons une recommandation d'ordre technique qui pourrait être facilement effectuée au niveau de la station d'épuration, qui aura sans doute des effets bénéfiques sur le bon déroulement du complexe principalement, l'amélioration de la qualité des eaux (réduction des matières polluantes est optimum) rejetées vers le réseau communal puis vers la mer.

Cette recommandation consiste donc à remplacer le dernier filtre à foin de la station du traitement des ERI par un autre à anthracite, en diminuant le diamètre des mailles des cages contenant l'antracite, en prenant en considération la granulométrie de l'antracite en grains qui est de l'ordre de 3.5 à 7 mm. Les mailles peuvent donc être de 1.5 à 3 mm.

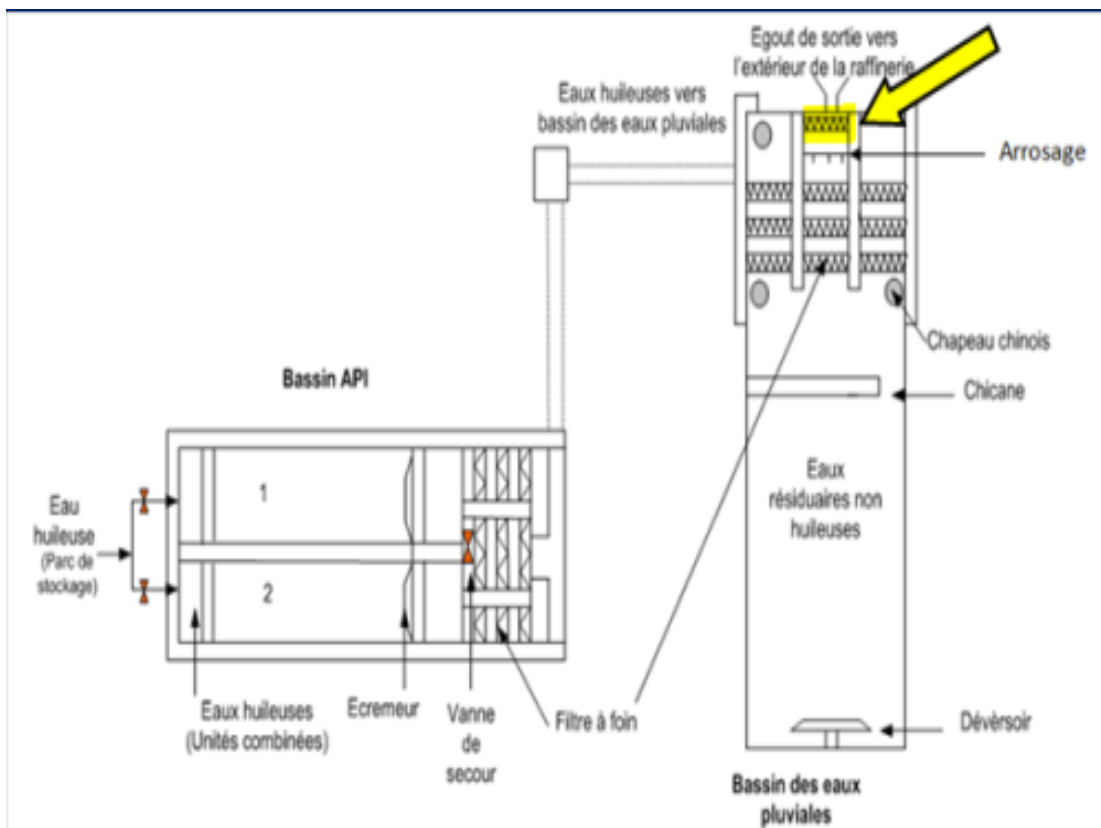


Figure 35 : Schéma représentant (en jaune) où on place le filtre à anthracite dans la station d'épuration des ERI de la raffinerie d'Alger.

Recommandation

En plus de cette technique proposée, on recommande de :

- faire un raclage des fonds des deux bassins de la station d'épuration des ERI, au moins 4 fois par an ;
- respecter la période de changement des filtres à foin dont la durée de vie de ce filtre est limitée à 3 mois, si possible de les changer avant cette période ;
- effectuer le processus d'écumage au niveau du bassin de décantation API de trois à quatre fois par jour ;
- accomplir le traitement physique de la station par un traitement biologique aérobie à culture bactérienne fixée sur un support, comme : les lits bactériens, les biodisques et les biofiltres ;
- utilisation des agents chimiques (coagulants et floculants), permettant la prise en masse des MES et des particules colloïdales non-décantables par l'augmentation de leur taille en formant des floes faciles à éliminer par le procédé de décantation et de filtration ;

Résumé

L'utilisation de l'eau au cours des procédés de raffinage conduit à son altération du fait de la modification de ses propriétés, ce qui génère une pollution de l'eau et par conséquent l'altération du milieu aquatique.

Dans le but d'évaluer le taux de pollution industrielle liquide engendrée par le rejet d'effluents, des prélèvements d'eau ont été effectués au niveau de la station de traitement des ERI de la raffinerie d'Alger, en amont et en aval des filtres à foin, pour mesurer les paramètres : Débit, T°, pH, MES, DCO, DBO₅, HC, phénol, Pb, ; en vérifiant d'une part l'efficacité du traitement effectué au sein de la raffinerie (filtration par le foin) avec la norme définie par le décret N°06-141, et en comparant d'autre part les résultats par une autre méthode de traitement effectuée par l'antracite avec comparaison des mêmes paramètres mesurés; dans un souci d'optimiser l'épuration des eaux résiduaires de la raffinerie. Ce qui a montré que la raffinerie rejette une eau épurée respectant la norme de rejet.

La méthode de traitement proposée, effectuée par l'antracite présente des résultats meilleurs que la filtration par le foin, par sa forte capacité d'adsorption, ce qui laisse à proposer l'effectuation des filtres de l'antracite à la sortie du bassin afin d'avoir des eaux de qualité meilleure et diminuer le maximum des dangers sur le milieu récepteur.

MOTS- CLEFS : Anthracite, eaux résiduaires industrielles, effluents, filtration, pollution industrielle, raffinerie, raffinage du pétrole, traitement des eaux industrielles, traitement physique.

Abstract

Using water during refining processes conducts to its alteration due to the modification of its properties which leads to water pollution and aquatic environment alteration.

In order to evaluate the rate of the liquid industrial pollution caused by effluents discharge, water samples were taken from the wastewater treatment plant of Algiers in upstream and downstream of the hay filters to measure the following parameters: debit, temperature, pH, MES, DCO, DBO₅, HC, phenol and Pb, by controlling from one hand the efficiency of treatment used by the refinery (hay filters) with the standard defined by the decree 06-141,

and from the second hand comparing the results obtained by using the anthracite in the treatment in the aim of getting the best wastewater refined. That showed the refinery rejects standard water purified water.

The proposed treatment with using anthracite showed better results than the one using hay, due to its high absorption capacity. So that, the anthracite filter was suggested to be used at the basin outlet in order to get the best water quality and reduce at the maximum the risks of receiving environment.

KEYWORDS: Anthracite, effluent, filtration, industrial pollution, industrial wastewater, industrial water treatment, oil refining, physical treatment, refinery.

Références bibliographiques

- [1] : Document interne de la raffinerie d'Alger, 2003.
- [2] : K. CHENTIR – 05 juin la journée mondiale de l'environnement cellule environnement département HSE, activité aval, division raffinage, raffinerie d'Alger, (2012).
- [3] : BERNE, F., CORDONIER, J. (1991). *Traitement des eaux*. Paris : Technip. 306 p.
- [4] : MIZI, A. (2006). *Traitement des eaux de rejet d'une raffinerie région de Bejaia et valorisation de déchets oléicoles* [En ligne]. Thèse de doctorat. Chimie et environnement. Annaba: Université Badji Mokhtar. [Consulté le 21 juin 2016]. Disponible sur le web : <<http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2014/09/MIZI-Abdelkader.pdf>>.
- [5] : BOEGLIN.JC, "Analyse des eaux résiduaires, mesure de pollution", Edition technique de l'ingénieur, traité de l'environnement. Article P 4200, 1988.
- [6] : http://www.memoireonline.com/02/09/1994/m_traitement-des-eaux-quot-traitement-de-de-leau-de-source-bousfer-ORAN13.html
- [7] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Mati%C3%A8re_en_suspension
- [8] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrocarbure>
- [9] : <https://hydrocarbure.gouv.qc.ca/document/etude/GENV22-23.pdf>
- [10] : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00800328>
- [11] : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00837762>
- [12] : https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais2010/Negraia_G__27-09-2010_.pdf
- [13] : https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais2010/Negraia_G__27-09-2010_.pdf
- [14]: DEGREMENT, "Mémento technique de l'eau". Tome I, 1989
- [15] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Plomb>
- [16] : <http://www.lenntech.fr/periodique/elements/pb.htm>
- [17] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ph%C3%A9nol_\(mol%C3%A9cule\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ph%C3%A9nol_(mol%C3%A9cule))
- [18] : <http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/ENV/envfr/vol363.htm>

- [19] : <http://www.lenntech.fr/periodique/elements/pb.htm>
- [20] :
<http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/documents/publications/echantillonnage/generalitesC1.pdf>
- [21] : RODIER, J. (2009). *L'analyse de l'eau*. 9^é éd. Paris : Dunod.1489 p.
- [22] : Centre de documentation INH BOUMERDES: LE TRAITEMENT DES EAUX RESIDUAIRES URBAINES ET INDUSTRIELLES
- [23] :Jean-Claude BOEGLIN. Traitements biologiques des eaux résiduaires
- [24] : <http://www.degremont-industry.com/fr/nos-expertises-technologies/traitement-eaux-usees/traitement-aerobie/>
- [25] :<http://www.degremont-industry.com/fr/nos-expertises-technologies/traitement-eaux-usees/traitement-anaerobique/>
- [26] : http://eduscol.education.fr/rnchimie/gen_chim/triboulet/rtf/filtration.pdf
- [27] : <http://www.asseau.com/fr/03-6.html>
- [28] : <https://chauffage.ooreka.fr/astuce/voir/550919/charbon-anthracite>
- [29] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Charbon_actif
- [30] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Charbon_actif
- [31] : https://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich4_3.htm
- [32] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Adsorption>
- [33] : <http://www.lenntech.fr/adsorption.htm>
- [34] :<http://www.lapiroque.fr/regenerer-charbon-actif>
- [35] : <http://www.lenntech.fr/adsorption.htm>

Annexe I

24 Rabie El Aouel 1427
23 avril 2006

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 26

5

Art. 11. — Les opérations de contrôle, telles que définies ci-dessus, donnent lieu à la rédaction d'un procès-verbal établi à cet effet.

Le procès-verbal comporte :

— les noms, prénoms et qualité des personnes ayant effectué le contrôle,

— la désignation du ou des générateurs du rejet d'effluents liquides industriels et de la nature de leur activité,

— la date, l'heure, l'emplacement et les circonstances de l'examen des lieux et des mesures faites sur place,

— les constatations relatives à l'aspect, la couleur, l'odeur du rejet, l'état apparent de la faune et de la flore à proximité du lieu de rejet et les résultats des mesures et des analyses opérées sur place,

— l'identification de chaque échantillon prélevé, accompagné de l'indication de l'emplacement, de l'heure et des circonstances de prélèvement,

— le nom du ou des laboratoires destinataires de l'échantillon prélevé.

Art. 12. — Les méthodes d'échantillonnage, de conservation et de manipulation des échantillons ainsi que les modalités d'analyses sont effectuées selon les normes algériennes en vigueur.

Art. 13. — Toutes dispositions contraires au présent décret et notamment les dispositions du décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993, susvisé, sont abrogées.

Art. 14. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006.

Ahmed OUYAHIA.

ANNEXE I

VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DE REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS

N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	"	30	40
5	Phosphore total	"	10	15
6	DCO	"	120	130
7	DBO ₅	"	35	40
8	Aluminium	"	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
10	Cyanures	"	0,1	0,15
11	Fluor et composés	"	15	20
12	Indice de phénols	"	0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux	"	10	15
14	Huiles et graisses	"	20	30
15	Cadmium	"	0,2	0,25
16	Cuivre total	"	0,5	1
17	Mercure total	"	0,01	0,05
18	Plomb total	"	0,5	0,75
19	Chrome Total	"	0,5	0,75
20	Etain total	"	2	2,5
21	Manganèse	"	1	1,5
22	Nickel total	"	0,5	0,75
23	Zinc total	"	3	5
24	Fer	"	3	5
25	Composés organiques chlorés	"	5	7

PH : Potentiel d'hydrogène
 DBO₅ : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours
 DCO : Demande chimique en oxygène
 MES : Matière en suspension

e - Corps Gras :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Température	°C	30	30
PH	-	5,5 - 8,5	6-9
DBO ₅	g/t	200	250
DCO	"	700	800
MES	"	150	200

2 - Industrie de l'Energie :

a - Raffinage de pétrole :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
Débit d'eau	m ³ /t	1	1,2
Température	°C	30	35
PH	-	5,5 - 8,5	5,5 - 8,5
DBO ₅	g/t	25	30
DCO	"	100	120
MES	"	25	30
Azote total	"	20	25
Huiles et graisses	mg/l	15	20
Phénol	g/t	0,25	0,5
Hydrocarbures	g/t	5	10
Plomb	mg/l	0,5	1
Chrome 3+	"	0,05	0,3
Chrome 6+	"	0,1	0,5

b - Cokéfaction :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
DBO ₅	mg/l	30	40
DCO	"	120	200
Phosphores	"	2	2
Cyanures	"	0,1	0,1
Composés d'Azote	"	35	40
Indice Phénols	"	0,3	0,5
Benzène, Toluène, Xylène	"	0,08	0,1
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	"	0,08	0,1
Sulfure	"	0,08	0,1
Substances filtrables	"	40	50

PH : Potentiel d'hydrogène
DBO₅ : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours
DCO : Demande chimique en oxygène
MES : Matière en suspension

Annexe II

Les réseaux du bassin de décantation API et la fosse A du rejet principal de la raffinerie.



Figure1: *Bassin des eaux non-huileuses (pluviales) de la station de traitement de la raffinerie d'Alger.*



Figure 2: *Bassin des eaux huileuses (Bassin de décantation API) de la station de traitement des ERI de la raffinerie d'Alger.*



Figure 3: *La fosse A du rejet principal de la raffinerie.*

Annexe III

1. La verrerie usuelle



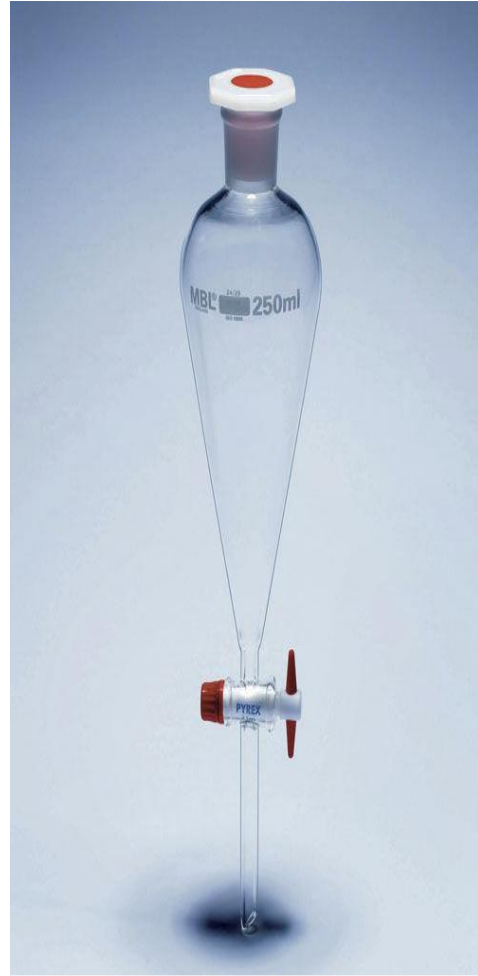
Eprouvette



Entonnoir



Pipettes



Ampoule à décanter



2. L'étuve utilisé pour le séchage de la verrerie et les filtres de la MES avant et après leur utilisation, et le dessiccateur.



Etuve



Dessiccateur

Annexe IV

La figure qui suit, représente la bouteille d'échantillonnage étiquetée des eaux résiduelles, au niveau de la station de traitement des eaux de rejet de la raffinerie d'Alger.



Figure 4: Bouteille d'échantillonnage des eaux résiduelles.



Figure 5 : *Prélèvement des eaux de rejet en aval des filtres à foin (fosse A).*



Figure 6 : *Prélèvement en amont après l'écumeur au niveau du bassin API.*

Annexe V

Appareillage et mode opératoire

1. Mesure du pH et de température



Figure 7 : pH-mètre de type METRO HM 713.

2. Mesure des matières en suspension



Figure 8 : *Filtration des MES.*



Figure 9 : *Balance de type DEN/VER S-114*

3. Demande chimique en oxygène

L'appareil utilisé pour la mesure de la DCO est un réacteur de type **HACH**, qui est composé d'un bloc chauffant compact acceptant au moins 10 tubes, capable de maintenir une température uniforme de $150\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ et dont les orifices permettent un contact étroit avec les tubes. Il est recommandé que ce système de chauffage permette d'atteindre le point d'ébullition en moins de 10 minutes.



Figure 10: *DCO mètre de type HACH.*

Les tubes destinés à l'analyse de DCO, sont en verre borosilicaté équipé de bouchons revêtus intérieurement d'un joint en Teflon. D'un volume total d'environ 20 mL, ils doivent être résistants aux acides et aux pressions élevées et adaptés au bloc chauffant utilisé.

Ces tubes contiennent des réactifs qui sont : de l'acide sulfurique, du dichromate de potassium, du sulfate d'argent et du chlorure de mercure (II) (RODIER, 2009).

4. La DBO5



Figure 11: *DBO mètre de type OXITOP IS6.*

Tableau : *Gamme d'estimation de la DBO₅.*

Charge	DBO ₅ (mg/l)	Prise d'essai (ml)	Facteur
Très faible	0-40	432	1
Faible	0-80	365	2
Moyenne	0-200	250	5
Plus que la moyenne	0-400	164	10
Un peu chargé	0-800	97	20

5. Hydrocarbure : La mesure du bécher contenant les hydrocarbures est effectu e par une balance analytique comme illustr e sur la figure suivante.



Figure 12: Balance analytique numérique de type DEN/VER S-114.

6. Phénol

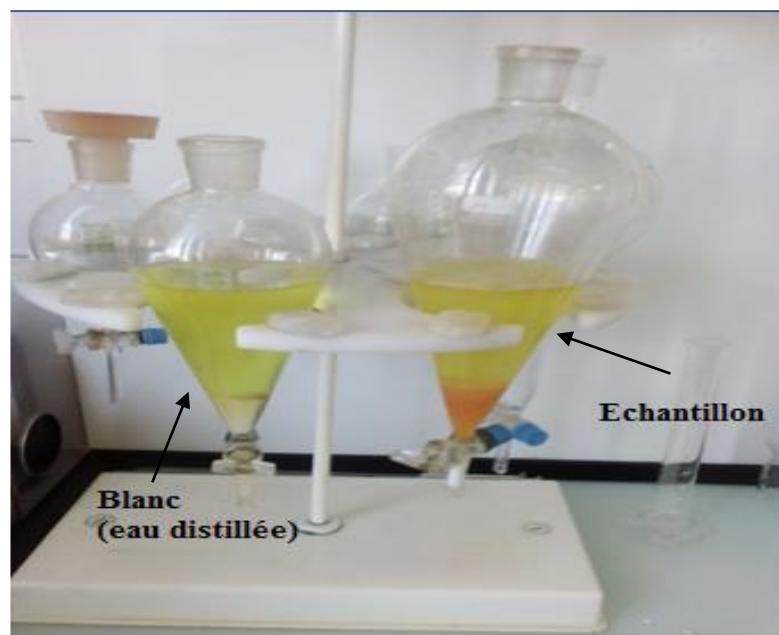


Figure 13: Analyse du phénol par la méthode 4-aminoantipyrine.

Note : Concernant les réactifs **phénol1** et **phénol2** ; ce sont des réactifs destinés uniquement pour l'analyse du phénol dans les eaux résiduaires par le spectrophotomètre HACH (vendus avec l'appareil) et par confidentialité, la nature de ces produits n'est pas indiquée.

7. Plomb



Figure 14 : *Analyse du plomb.*

Note : Concernant les réactifs **Pb1, Pb2, Pb3, Pb4, Pb5 et Pb6** ; ce sont des réactifs destinés uniquement pour l'analyse du plomb dans les eaux résiduaires par le spectrophotomètre HACH (vendus avec l'appareil) et par confidentialité, la nature de ces produits n'est pas indiquée.

8. Débit



Figure 15: *un courantomètre FLO-MATE 2000/CM.*

Tableau : *Variation des débits en fonction des vitesses et de la hauteur de l'eau.*

	Hauteur (m)	Vitesse d'écoulement (m/s)	Débit spécifique (m³/t)
ECH 1	0.14	0.15	0.09
ECH 2	0.13	0.15	0.1
ECH 3	0.12	0.11	0.1
ECH 4	0.12	0.15	0.1
ECH 5	0.14	0.15	0.1
ECH 6	0.14	0.16	0.09
ECH 7	0.12	0.11	0.09

Mode opératoire du spectrophotomètre HACH

- Allumer le spectrophotomètre HACH.
- Entrer le numéro de programme mémorisé pour le paramètre à mesurer.
- Régler la longueur d'onde correspondant à ce paramètre.
- Placer le pilulier comportant le blanc dans l'adaptateur avec le logo HACH dirigé vers l'opérateur.
- Appuyer sur la touche ZERO.
- Enlever le blanc et placer le pilulier à échantillon dans l'adaptateur avec le logo HACH dirigé vers l'opérateur.
- Appuyer sur la touche READ, attendre l'affichage du résultat.



Figure 17 : Spectrophotomètre HACH.

Annexe VI

Les tableaux des résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques

1. Débit

	Débit (m3/t)
ECH1	0.09
ECH2	0.1
ECH3	0.1
ECH4	0.1
ECH5	0.1
ECH6	0.09
ECH7	0.09

2. Température (T°)

	ECH1	ECH2	ECH3	ECH4	ECH5	ECH6	ECH7
Norme (°C)	30	30	30	30	30	30	30
Amont (°C)	29,2	28,7	32	32,3	32,6	31,2	31
aval foin (°C)	25,9	26,1	31,2	32,7	31,9	33,8	31
aval anthracite (°C)	27	27,7	27,4	25,4	27	28,9	28,2

3. Potentiel d'hydrogène (pH)

	ECH1	ECH2	ECH3	ECH4	ECH5	ECH6	ECH7
Norme	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Amont	6,635	6,679	6,16	6,85	6,957	6,99	6,89
Aval foin	7,8	7,1	7,8	7,6	7,7	8,2	7,4
Aval anthracite	7,26	6,8	7,2	7,4	6,78	7,06	6,707

4. Matières en suspension (MES)

		ECH1	ECH2	ECH3	ECH4	ECH5	ECH6	ECH7
	Norme	25	25	25	25	25	25	25
Amont	(mg/l)	86	99	100	81	115	120	69
	(g/t)	7,74	9	10	8,1	11,5	10,8	6,21
aval foin	(mg/l)	40	26	30	35	28	30	29
	(g/t)	3,6	2,6	3	3,5	2,8	2,7	2,61
aval anthracite	(mg/l)	34	7,9	3,8	33	27,2	10,66	26,66
	(g/t)	3,06	0,79	0,38	3,3	2,7	0,96	2,4

5. Demande biologique en oxygène (DBO5)

		ECH1	ECH2	ECH3	ECH4	ECH5	ECH6	ECH7
	Norme	25	25	25	25	25	25	25
Amont	(mg/l)	140	160	170	180	200	190	165
	(g/t)	12.6	16	17	18	20	17.1	14.85
aval foin	(mg/l)	66.66	80	60	100	60	60	124.44
	(g/t)	6	8	6	10	6	5.4	11.2
aval anthracite	(mg/l)	20	60	8	80	20	24.44	37.77
	(g/t)	1.8	6	0,8	8	2	2.2	3,4

6. Demande biochimique en oxygène (DCO)

		ECH1	ECH2	ECH3	ECH4	ECH5	ECH6	ECH7
	Norme	100	100	100	100	100	100	100
Amont	(mg/l)	343.11	430.1	189	252	237.7	431.66	217
	(g/t)	30.88	41.01	18.9	52.2	27.37	38.85	51.28
aval foin	(mg/l)	202	283	145.6	213	210	250	169.77
	(g/t)	18.09	28.3	14.55	21.3	21	29,19	19.53
aval anthracite	(mg/l)	133	120	80	149	193.6	324,33	125.33
	(g/t)	11.97	12	8	14.9	19.36	22.5	11.28

7. Hydrocarbures (HC)

		ECH1	ECH2	ECH3	ECH4	ECH5	ECH6	ECH7
	Norme	5	5	5	5	5	5	5
Amont	(mg/l)	28,12	33,33	29,75	30,19	21,089	28,86	26,54
	(g/t)	2,53	3,33	2,98	3,22	2,11	2,59	2,39
aval foin	(mg/l)	14	20	24	12	9	5,33	5
	(g/t)	1,26	2	2,4	1,2	0,9	0,48	0,45
aval anthracite	(mg/l)	8,4	1	0,4	1,32	8,3	3,44	0,11
	(g/t)	0,755	0,1	0,04	0,132	0,83	0,31	0,01

8. Phénols

		ECH1	ECH2	ECH3	ECH4	ECH5	ECH6	ECH7
	Norme	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Amont	(mg/l)	0,44	0,392	0,42	0,282	0,33	0,202	0,592
	(g/t)	0,0396	0,0392	0,042	0,0282	0,033	0,018	0,053
aval foin	(mg/l)	0,15	0,1	0,12	0,18	0,11	0,11	0,1
	(g/t)	0,014	0,01	0,012	0,018	0,011	0,01	0,009
aval anthracite	(mg/l)	0,043	0,055	0,024	0,0328	0,01	0,044	0,042
	(g/t)	0,00387	0,0055	0,0024	0,00328	0,001	0,004	0,0038

9. Plomb (Pb+2)

		ECH1	ECH2	ECH3	ECH4	ECH5	ECH6	ECH7
	Norme	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Amont	(mg/l)	1	1	0	1	1	1	1
	(g/t)	0,001	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0,001
aval foin	(mg/l)	1	0	0	0	0	0	0
	(g/t)	0,001	0	0	0	0	0	0
aval anthracite	(mg/l)	0,001	0	0	0	0	0	0
	(g/t)	0,000001	0	0	0	0	0	0

10. Tableaux des résultats d'analyse des eaux résiduaires après leur passage des filtres à foin ensuite par l'anthracite.

	T(°C)	pH	MES mg/L	DCO mg/L	DBO₅ mg/L	HC mg/L	Phénols mg/L	Pb mg/L
ECH1	29.2	6.6	10	121	40	3.33	0.01	0
ECH2	27.6	6.7	10	111	20	2.22	0.0166	0
ECH3	28.2	6.2	9	102	20	4.43	0.0046	0
ECH4	26.3	6.9	8	100	30	3	0.01	0