

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**



N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière

Département de Chimie

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat ès sciences

Spécialité : Chimie

Option : Chimie Organique

Presentée par : **Melle MESROUK Houria**

Thème

Caractérisation physico-chimique et étude de l'évolution spatio-temporelle de quelques polluants organiques dans les points de rejets d'eaux usées de la région de Ouargla, et contribution à la mise en place d'un protocole de leur traitement.

Soutenu le **22 /02/ 2017**

Devant le jury composé de :

SAIDI Mokhtar	Professeur, Univ. K.M. Ouargla	Président
BEBBA Ahmed Abdelhafid	Professeur, Univ. K.M. Ouargla	Examinateur
ISSAADI Rachid	Professeur, Univ. Blida	Examinateur
DEHAK Karima	M.C.A. , Univ. Boumerdes	Examinatrice
BOUCHAMA Abdelaziz	M.C.A. Univ. F.A. Setif	Examinateur
HADJ MAHAMMED Mahfoud	Professeur, Univ. K.M. Ouargla	Rapporteur

Remerciements

Dieu merci pour m'avoir donné la santé, la volonté et le courage sans lesquels ce travail n'aurait pu être réalisé.

*Le présent travail a été réalisé au Laboratoire " Biogéochimie des Milieux Désertiques ", sous la direction de messieurs **Hadj Mahammed Mahfoud**, professeur et **Touil Youcef**, Maître Assistant, à l'université de Ouargla. Je tiens à les remercier pour la confiance qu'il m'ont témoigné en me proposant ce sujet, pour avoir aiguisé mon sens critique et pour m'avoir permis d'affiner mes compétences de chercheur.*

J'adresse également mes remerciements à tous les membres du jury :

***SAIDI Mokhtar**, Professeur à l'U.K.M. Ouargla, Président*

***ISSAADI Rachid**, Professeur à l'université de Blida, Examinateur*

***BEBBA Ahmed Abdelhafid**, Professeur à l'U.K.M. Ouargla, Examinateur*

***BOUCHAMA Abdelaziz**, Maître de conférences à l'université de Sétif, Examinateur*

***DEHAK Karima**, Maître de conférences à l'université de Boumerdes Examnatrice*

Pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer mon travail et par la même occasion me procurer une autre vision sur ma méthodologie et les résultats obtenus dans ma thèse.

Il est difficile, dans un si petit espace, de remercier toutes les personnes qui ont eu une influence sur ma vie de tous les jours pendant la durée de ma formation graduée et post-graduée, toutes les personnes qui m'ont entouré durant les nombreuses heures de travail et qui ont toujours manifesté à mon égard leur intérêt et leur aide, leur gaieté et leur bonne humeur, auront toujours dans mon coeur une place privilégiée et dans mon esprit une valeur d'exemple.

*Ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements s'adressent à mon enseignant et mon frère **Sekirifa Med Lamine** Maître de Conférences à l'université de Ouargla, pour son aide, ainsi que pour ses nombreux et précieux conseils.*

Je suis très reconnaissante envers les autres membres du Laboratoire de Biogéochimie des Milieux Désertiques, en particulier :

- Melle **Gherairi Fatiha** et **Khengaoui Kheiria** et tous les membres de l'équipe de l'eau.*
- A Melle **HAMMOUDI Roukja** et **HELLALI Naima**, sans oublier Mmes **KRIKER Mebaraka** et **SLOUGUI Nabila**, Mrs **HAMDI-AISSA Baelhadj**, ainsi que les laborantines Mlle **Habiba** et Mme **Amora** et ma chère **Zohra**.*

*Que : - Mr **Rachid TIR** de l'USTHB (pour son aide sur les analyses par GC-MS).*

- Tous les agents de l'université de Ouargla.

*- La direction de l'industrie (M. **Mameri**) et ANRH ainsi que l'ADE (Mme **Atlili, Aicha**) de Ouargla.*

- et toutes mes amies que je n'ai pu citer, qui ont contribué de près ou de loin pour faire aboutir ce travail, trouvent ici l'expression de ma gratitude et de mes remerciements.

Grâce à Dieu, vous tous et toutes, je continuerai . . .

Résumé

Le but de ce travail est l'étude de l'évolution spatio-temporelle de quelques polluants organiques présents dans les rejets des eaux usées de quelques sites dans la ville de Ouargla, afin de proposer par la suite une technique efficace et rentable pour traiter ce type de polluants. Les valeurs obtenues des paramètres mesurés pour les effluents de 4 stations de lavage étudiées sont respectivement 5849, 8966, 2204, 2184 mg/l pour la DCO; 207.5, 766.25, 320, 87.5 mg/l pour la DBO₅; 5174, 3509, 12467, 8621mg/l pour la MES; 6249, 4636, 17707, 7303 mg/l pour le taux des HCT. Les rapports DCO/DBO₅ sont les suivants: 32, 24, 15.82 et 44.16. Ces résultats montrent que les eaux usées des 4 stations étudiées sont chargées par la matière organique non biodégradable. L'analyse spectroscopique et chromatographique (IR, UV, et GC/MS) des extraits des eaux usées de ces sites nous a permis d'identifier quelques composés majoritaires tels que : p-isopropyltoluène, 1,7-diméthylnaphtalène et le 2, 3, 5-triméthylnaphtalène cités dans la liste des polluants défini par l'agence environnementale américaine (US-EPA). La technique que nous avons proposé pour l'élimination de ce type de polluants est la filtration sur des colonnes de sable de dunes. Elle nous a conduit à des résultats très satisfaisants. Ils ont été exprimés par des rendements allant jusqu'à 99 % en termes du taux en HCT, 98 % en termes de la DCO, 98 % pour la DBO₅ et 90 % en termes de MES.

Mots clés : polluants organiques , eaux usées ,Ouargla, station de lavage, filtration sur sable

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة التغيرات الجيو-زمنية لبعض الملوثات البيئية العضوية التي تتواجد في مصبات المياه القذرة لبعض النقاط في مدينة ورقلة بهدف اقتراح تقنية فعالة وغير مكلفة للتقليل من هذا النوع من الملوثات أو التخلص منها نهائيا. القيم المتحصل عليها للطلب الكيميائي للاوكسيجين للمياه المستعملة لمحطات غسيل السيارات الأربعة محل الدراسة على التوالي 5849 و 2184,2204,8966 مغ/ل. القيم المتحصل عليها بالنسبة للطلب البيولوجي للاوكسيجين 5174,3509,12467,8621 مغ/ل بالنسبة لتركيز المواد العالقة و بالنسبة لتراكيز الهيدروكاربونات 6249، 4636، 17707، 7303 مغ /ل وقيم معامل التفكك البيولوجي 44.16,15.82,24,32 مغ/ل. هذه النتائج تبين ان مياه هذه المحطات ملينة بالمواد العضوية قليلة التفكك البيولوجي.

التحليل الطيفي والكروماتوغرافي (مطيافية الاشعة الحمراء ، فوق بنفسجية وكروماتوغرافيا الغاز المرافقة للمطيافية الكتلية) لمستخلص المياه المدروسة بالهكسان الحلقي مكننتنا من التعرف على بعض المركبات الموجودة في هذه المياه ك بارا ايزو بروبييل الطوليان ، 1,7-ديميثيل نفتالين ، 2,3,5 تري مثيل نافثالين والتي تكون من ضمن الملوثات العضوية المحددة في القائمة السوداء المحددة من طرف الوكالة الامريكية لحماية البيئة . التقنية التي اقترحناها لنزع هذه المواد الخطيرة هي تقنية الترشيح بأعمدة الرمل التي أعطت نتائج ممتازة المتمثلة في المرد ودي ة العالية 99 ،بالنسبة للهيدروكاربونات ، 98 بالنسبة للطلب الكيميائي للاوكسيجين وتصل حتى 98 بالنسبة للطلب البيولوجي للاوكسيجين و 90 بالنسبة للمواد العالقة .

الكلمات الافتتاحية. الملوثات العضوية، المياه المستعملة، محطات غسيل السيارات، ورقلة ، الترشيح بالرمل

Sommaire

Introduction générale	01
CHAPITRE I:GENERALITES SUR LA POLLUTION ORGANIQUE ET LES DIFFERENTS TYPES DE TRAITEMENT	
I.1.Introduction	03
I.2. Les sources de pollution	03
I.2.1. la pollution urbaine	04
I.2.1.1. les eaux usées domestique	04
I.2.1.2. Les eaux pluviales	04
I.2.2. la pollution industrielle	04
I.2.3. la pollution agricole	05
I.2.4. la pollution accidentelle	05
I.3. Classification des polluants	05
I.3.1. Polluants Physiques	05
I.3.2. Polluants Biologiques	06
I.3.3. Polluants Radioactifs	06
I.3.4. Pollution chimiques	06
I.3.4.1. Pollution minérale	06
a. Métaux lourds	06
b. Cyanure	07
c. Pollution d'azote	07
d. Pollution par le phosphore	07
I.3.4.2. Pollution organique	07
a. Hydrocarbures	07
b. Phénols	08
c. Agents de surface (détergents)	08
I.4. Les conséquences de la pollution organique	10
I.4.1. Une diminution de la teneur en oxygène dissous	10
I.4.2. La présence de produits toxiques	10
I.4.3. Une prolifération d'algues	10
I.5.Cas des hydrocarbures	11
I.6. La quantification des polluants	14
I.7. La lute contre la pollution des eaux : les techniques utilisées	16
I.7.1.La filtration sur sable	19
I.7.1. Historique sur la filtration	19
I.7.1.2. Principe et théorie	20
I.7.1.2.1. Adsorption	20
I.7.1.3. Types de filtres	22
a. La filtration lente (filtration biologique)	22
b .La filtration rapide	23
I.7.4. théorie de la filtration lente	23
I.7.4.1. Description	23
I.7.4.2. Fonctionnement	23
I.7.4.3. Mécanisme de filtration lente	24
I.7.4.3.1. Mécanisme de transport	24
I.7.4.3.2. Mécanismes de fixation	25
I.7.4.3.3. Mécanisme de purification	26

I.7.4.4. Effet des algues	26
I.7.4.5. Hydraulique de la filtration	27
I.7.5. Caractéristiques des matériaux filtrants	28
I.7.5.1. La taille effective (TE)	28
I.7.5.2. Le coefficient d'uniformité (CU)	28
I.7.5.3. La masse volumique apparente	29
I.7.5.4. La masse volumique réelle	29
I.7.5.5. La porosité	29
I.7.5.6. Le pH	30
I.7.5.7. La conductivité électrique	30

CHAPITRE II: PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE ET CHOIX DES SITES

II.1.Introduction	31
II.2. Le choix des composés étudiés	31
II.3. Le choix de sites d'étude	32
II.4.La présentation de la région d'étude (ville de Ouargla)	34
II.4.1.La présentation générale	34
II.4.2.Situation géographique et administrative	34
II.4.3. Milieu physique	35
II.4.3.1.Présentation climatique	35
II.4.3.2.Géologie	36
II.4.3.3.Géomorphologie	36
II.4.3.4.Ressources en eaux souterraines	36
II.4.4.Les eaux de rejet dans la ville de Ouargla	37
II.4.4.1.L'assainissement agricole et ses problèmes	37
II.4.4.2.L'assainissement urbain	38
a. Réseau d'assainissement	38
b. Localisation des points de rejet	38
c. Impact des eaux usées surtout industriel sur le milieu naturel	39
II.5. La présentation des sites d'étude (station de lavage)	40
II.5.1.L'activité principale	40
II.5.2.Les rejets, déchets et produits dangereux de l'activité	40
II.6.Localisation de sites d'étude dans la ville de Ouargla	42
II.7. L'enquête entreprise dans ce travail	44

CHAPITRE III:ANALYSE QUALITATIVE ET SEMI-QUANTITATIVE DE QUELQUES POLLUANTS DES EAUX USEES DE SITES ETUDIES

III.1.Analyse quantitative et semi-quantitative	46
III.1.1.Introduction	46
III.1.2. Mode de prélèvement et de conservation	46
III.1.3. Matériels et méthodes	47
III.1.3.1. Les paramètres physico-chimiques	47
a. La température	47
b. Le pH	48
c. La conductivité électrique (CE) et la salinité	48
d. La matière en suspension	48
III.1.3.2.Les matières organiques	49
a. La demande biologique en oxygène à 5 jours (DBO ₅)	49
b.La demande chimique en oxygène (DCO)	50
c. L'indice de biodégradabilité (DCO / DBO ₅)	50

d. Matières organiques ou oxydables (MO)	50
III.1.3.3. La quantification des hydrocarbures	51
a. Principe et théorie de la méthode gravimétrique (La détermination des hydrocarbures totaux) :	52
b. Protocole d'analyse	52
c. Calcul et expression des résultats	53
III.1.3.4. Appareillage et matériels utilisés	54
III.1.3.5. Réactifs utilisés	54
III.1.4. Résultats et discussion	55
III.1.4.1. Evaluation de la pollution organique des eaux usées	67
III.1.4.2. Etude de la relation de taux des Hydrocarbures avec la quantité de la matière en suspension	70
III.1.5. Conclusion	72
III.2. Analyse qualitative des polluants	73
III.2.1. Introduction	73
III.2.2. Fractionnement des micropolluants organiques	73
III.2.2.1. Principe (extraction liquide-liquide)	75
III.2.2.2. Matériels et méthodes	75
a. Protocole d'extraction	75
III.2.3. L'analyse qualitative	75
III.2.3.1. L'analyse par la spectrophotométrie ultraviolette (UV)	75
a. Principe et théorie	77
b. Matériels et méthodes	78
III.2.3.2. L'analyse par la spectrophotométrie infrarouge (IR)	78
a. Principe et théorie	78
b. Matériels et méthodes	79
III.2.4. Résultats et discussion	79
III.2.4.1. La densité des extraits	79
III.2.4.2. L'analyse des spectres UV et Ft-IR	80
a. L'analyse par la spectrophotométrie ultraviolette (UV)	80
b. L'analyse par la spectrophotométrie infrarouge (IR)	83
III.2.5. Conclusion	90
III.2.3.3. Analyse par la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse GC-MS	91
III.2.3.3.1. Introduction	91
III.2.3.3.2. Matériels et méthodes	91
III.2.3.3.3. Résultats et discussion	91
CHAPITRE IV : EVALUATION DU PROTOCOLE DE TRAITEMENT DES EAUX USEES DEVELOPPE AU LABORATOIRE	
IV. 1. Introduction	102
IV.2. Matériels et méthodes	103
IV.2.1. Systèmes étudiés	103
a. Les eaux polluées	103
b. Matériaux filtrants	107
IV.2.2. Dispositif expérimental et mode opératoire	110
IV.2.3. Méthodes de dosage	111
a. L'analyse gravimétrique (taux d'hydrocarbures totaux)	111
b. La demande chimique en oxygène	112
IV.2.4. Appareillage et matériels utilisés	113
IV.2.5. Réactifs utilisés	114

IV.3. Résultats et discussion	114
CONCLUSION GENERALE	127
ANNEXE	
1. L'enquête	129
2. L'ouvrage de traitement	130
3. Facteurs de correction de température, pour la conversion de valeurs de conductivité d'eaux naturelles mesurées à une température différente de 25°C (Tableau 1)	131
4. Calcule de la minéralisation à partir de la conductivité mesurée à 20°C (Tableau 2)	132
5. Les normes algériennes de rejet des eaux et les paramètres d'analyse de la pollution (Journal officiel de la république algérienne, 1993) (tableau 3)	132
6. L'analyse granulométrique (photo1)	133
7. Filtration pour la détermination de MES (photo2)	133
8. La DBO mètre pour la détermination de la DBO (photo3)	134
9. Montage à reflux pour la détermination de la DCO (photo4)	134
10. Titrage pour la détermination de la DCO (photo5)	134
11. Protocole d'extraction des hydrocarbures (photo6)	135
12. spectrophotomètre UV-visible (photo7)	136
13. La cuve en quartz (photo8)	136
14. Le spectre UV-visible (photo9)	136
15. Le spectrophotomètre FTIR (photo10)	137
16. Le spectre FTIR (photo11)	137

Liste des tableaux

Numéro	Titre	Page
01	Classification générale des hydrocarbures	11
02	6 HAP classés dans la liste noire de l'OMS	14
03	Procédés utilisés pour les traitements des polluants de l'eau	18
04	Critères pertinents justifiant les contaminants à sélectionner (les hydrocarbures)	31
05	les sources possibles de la contamination par les hydrocarbures	32
06	Quelques industries de la ville de Ouargla (d'après la direction de l'industrie de la Wilaya de Ouargla).	33
07	Les rejets des activités des stations de lavage	42
08	Les sites d'étude sélectionnés	42
09	Récapitulatif des résultats de l'enquête.	45
10	résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées des sites étudiés pour la 1 ^{er} campagne (juin 2010).	55
11	résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées des sites étudiés pour la 2 ^{ème} campagne (octobre 2010).	55
12	résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées des sites étudiés pour la 3 ^{ème} campagne (nov-déc 2010).	56
13	résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées des sites étudiés pour la 4 ^{ème} campagne (31/03/2013).	56
14	résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées des sites étudiés pour la 5 ^{ème} campagne (15/06/2015).	57
15	Concentration des Hydrocarbures totaux dans les différents sites de prélèvement.	57
16	Etude de l'évolution des valeurs des Hydrocarbures en fonction des valeurs de la matière en suspension pour tous les sites pendant la période de travail	70
17	Principales structures et transitions électroniques dans les hydrocarbures.	77
18	Les paramètres d'analyse par l'appareil d'IR	79
19	Valeurs de la densité mesurées pour les extraits des Hydrocarbures.	79
20	Résultats des analyses par spectrophotométrie UV-Visible.	81
21	Résultats des analyses de nos échantillons par spectroscopie IR	84
22	Paramètres d'analyse par l'appareil GC-MS	91
23	Identification des constituants d'un extrait des eaux usées de station de lavage (3) au Cyclohexane par GC/MS	94
24	Identification des constituants d'un extrait des eaux usées de station de lavage (4) au Cyclohexane par GC/MS	96
25	Les caractéristiques des eaux polluées.	103
26	La composition des eaux usées synthétiques préparées	104
27	Les propriétés des huiles et de carburant utilisés	108
28	Les caractéristiques du sable utilisés.	110
29	Les méthodes d'analyse des paramètres étudiés.	113
30	Résultats d'analyse de pH pour l'eau traitée de chaque colonne en fonction du temps.	115
31	Résultats d'analyse de CE pour l'eau traitée de chaque colonne en	116

	fonction du temps.	
32	Résultats d'analyse de taux des hydrocarbures totaux pour l'eau traitée de chaque colonne en fonction du temps.	116
33	Résultats d'analyse de la DCO pour l'eau traitée de chaque colonne en fonction du temps.	119
34	Résultats d'analyse de la DBO ₅ pour l'eau traitée de chaque colonne en fonction du temps.	119
35	Résultats d'analyse de la MES pour l'eau traitée de chaque colonne en fonction du temps.	118

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
01	Liste des principales substances dangereuses prioritaires considérées par la communauté européenne comme « liste noire »	09
02	16 HAP de la liste prioritaire de l'US-EPA et abréviations communément utilisées	13
03	Représentation schématique des types de traitement d'eaux résiduaires	17
04	Représentation schématique de la surface interne et externe d'un adsorbant	21
05	Les étapes de l'adsorption	22
06	La carte de situation de la grande ville de Ouargla	35
07	photo d'une station de lavage	40
08	Localisation de sites d'étude dans la ville de Ouargla	43
09	Températures mesurées à partir des eaux des différents sites étudiés	59
10	pH mesurés à partir des eaux des différents sites étudiés.	60
11	Conductivités électriques des eaux des différents sites étudiés.	62
12	Salinité des eaux des différents sites étudiés.	62
13	Teneurs en matières en suspension des eaux des différents sites étudiés.	63
14	Teneurs en matières organiques des eaux des différents sites étudiés.	64
15	Valeurs de la DCO des eaux des différents sites étudiés.	66
16	Valeurs de la DBO ₅ des eaux des différents sites étudiés.	66
17	Valeurs de l'indice de biodégradabilité des eaux des différents sites étudiés.	68
18	Valeurs du rapport MES / DBO ₅ des eaux des différents sites étudiés.	68
19	La concentration des Hydrocarbures totaux dans les eaux des différents sites étudiés à des périodes différentes	69
20	L'évolution des valeurs des hydrocarbures en fonction des valeurs de la MES pendant la 1 ^{ère} campagne	71
21	L'évolution des valeurs des hydrocarbures en fonction des valeurs de la MES pendant la 2 ^{ème} campagne	71
22	Fractionnement des micropolluants organiques en fonction de propriétés physico-chimiques : point d'ébullition, masse moléculaire, hydrosolubilité et pH.	74
23	Protocole d'extraction des Hydrocarbures	76
24	Le spectre UV de l'extrait des Hydrocarbures (1).	81
25	Le spectre UV de l'extrait des Hydrocarbures (2).	81
26	Le spectre UV de l'extrait des Hydrocarbures (3).	82
27	Le spectre UV de l'extrait des Hydrocarbures (4).	82
28	Le spectre UV de l'extrait de mélange des huiles et des carburants.	83
29	Le spectre IR de l'extrait des Hydrocarbures (1).	85
30	Le spectre IR de l'extrait des Hydrocarbures (2).	85
31	Le spectre IR de l'extrait des Hydrocarbures(3).	86
32	Le spectre IR de l'extrait des Hydrocarbures (4)	86
33	Le spectre IR de 40.	87
34	Le spectre IR de 5W40.	87
35	Le spectre IR de 10W40.	88
36	Le spectre IR de 15W40.	88
37	Le spectre IR de 20W50	89
38	Le spectre IR de 90.	89

39	Le spectre IR de Gazoil	90
40	Chromatogramme obtenu pour un extrait des eaux usées de la station de lavage(3) par GC-MS	92
41	Chromatogramme obtenu pour un extrait des eaux usées de la station de lavage (4) par GC-MS/EI	93
42	Les composées identifiées dans l'extrait de station de lavage (4) par GC-MS	98
43	Spectre de masse de 1, 2, 3,4-Tetraméthylbenzène identifié dans l'extrait(3) et le spectre de masse de référence du même composé	99
44	Spectre de masse de Pentadécane identifié dans l'extrait(3) et le spectre de masse de référence du même composé	99
45	Spectre de masse de 2,3,6-Trimethylnaphtalene identifié dans l'extrait(3) et le spectre de masse de référence du même composé	100
46	Spectre de masse de p-Isopropytoluene identifié dans l'extrait (4) et le spectre de masse de référence du même composé	100
47	Spectre de masse de l'Undecane identifié dans l'extrait (4) et le spectre de masse de référence du même composé	101
48	Spectre de masse de 1,7-dimethylnaphtalene identifié dans l'extrait (4) et le spectre de masse de référence du même composé.	101
49	L'indication de symbole ou l'appellation des huiles (1)	106
50	L'indication de symbole ou l'appellation des huiles (2)	107
51	La courbe granulométrique du sable utilisé (sable de N'goussa)	109
52	Photo du dispositif expérimental	110
53	Colonne et procédé d'alimentation.	111
54	Evolution de la valeur du pH des eaux de station de lavage traitées pendant la période du travail.	118
55	Evolution de la valeur du pH des eaux synthétiques traitées pendant la période du travail.	119
56	Evolution de la valeur de la CE des eaux de stations de lavage traitées pendant la période du travail.	119
57	Evolution de la valeur de la CE des eaux synthétiques traitées de stations de lavage pendant la période du travail	120
58	Evolution de rendement épuratoire des eaux de stations de lavage avec le temps (en terme du taux des hydrocarbures totaux)	121
59	Evolution de rendement épuratoire des eaux synthétiques avec le temps (en terme du taux des hydrocarbures totaux)	122
60	Evolution de rendement épuratoire des eaux de stations de lavage avec le temps (en terme de la DCO)	122
61	Evolution de rendement épuratoire des eaux synthétiques avec le temps (en terme de la DCO)	123
62	Evolution de rendement épuratoire des eaux de stations de lavage avec le temps (en terme de la DBO5)	124
63	Evolution de rendement épuratoire des eaux synthétiques avec le temps (en terme de la DBO5)	124
64	Evolution de rendement épuratoire des eaux de stations de lavage avec le temps (en terme de la MES)	125
65	Evolution de rendement épuratoire des eaux synthétiques avec le temps	125

(en terme de la MES)

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
ERU	eaux usées résiduaires urbaines
ERI	eaux usées résiduaires industrielle
MES	matière en suspension
HAP	hydrocarbure aromatique polycyclique
ABS	alkylbenzènes sulfonates
LAS	lauryl sulfonates
HCP	hydrocarbures pétroliers
US-EPA	agence américaine pour la protection de l'environnement
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
AFNOR	Association française de normalisation
TE	Taille effective
CU	Coefficient d'uniformité
pH	Potentiel d'Hydrogène
UV	Ultraviolet
IR	Infrarouge
CI	Continental Intercalaire
CT	Complexe Terminal
STEP	Station d'épuration
MES	Matière en suspension
DCO	Demande chimique en oxygène
DBO5	Demande biologique en oxygène de cinq jours
MO	Matière organique
SNTV	Société nationale de transport de voyage
HCT	Hydrocarbure totaux
CMA	Concentration maximale admissible
ISO	Organisation internationale de normalisation
ADE	Algérienne des eaux

Introduction

« Ce n'est que lorsque le puits s'assèche que l'on découvre la valeur de l'eau » « proverbe chinois ».

L'environnement dans le quel nous vivons affecte considérablement notre santé. Le domicile, le lieu de travail et l'environnement extérieur peuvent faire poser des risques sur notre santé, depuis la contamination de l'air que nous respirons, jusqu'à l'eau que nous buvons.

L'eau est un élément vital dont l'importance au niveau planétaire est sans cesse rappelée. Partout sur la planète, les besoins quotidiens en eau suscitent une concurrence toujours plus vive entre les particuliers, les agriculteurs, les industries et les écosystèmes. Faute de gestion adaptée. Le prix à Payer peut être élevé, non seulement du point de vue financier, mais aussi en termes d'occasions manquées, d'atteintes à la santé et de dommages causés à l'environnement [1].

La qualité de l'eau n'est pas un problème moindre que celui de sa quantité.

L'eau potable est bien sûr le point central de l'inquiétude des opinions publiques et des dirigeants, mais à long terme il est clair pour tous que tout rejet polluant, en particulier peu biodégradable ou toxique, est une menace et/ou une complication pour la production d'eau potable. Il convient donc de réduire au maximum les émissions polluantes au niveau des effluents. [1,2].

L'eau est au cœur de nombreux processus industriels. Dans l'industrie, l'eau peut être utilisée à diverses fins. Elle peut participer au processus industriels proprement dit, être utilisée pour le lavage et l'évacuation des déchets.

Que ce soit dans l'industrie ou chez les particuliers, l'eau est consommée, altérée, et rejetée.

Les rejets peuvent causer de nombreux problèmes environnementaux en cas non-respects des normes sur la qualité des eaux.

Les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées sont généralement bien adaptés au traitement de rejets domestiques. Toute fois, les procédés et la capacité de la station d'épuration ainsi que le réseau de collecte peuvent ne pas être compatibles avec certains effluents industriels. Cela représente un risque pour le personnel exploitant et pour l'équipement. Aussi, plusieurs substances toxiques peuvent passer à travers les cycles de traitement et seront rejetées dans le milieu naturel. En plus, certaines substances, rejetées en grandes quantités, peuvent obstruer la canalisation du réseau d'égout ou perturber grièvement le processus du traitement à la station. Ils représentent un risque pour l'environnement qui, en raison de leur toxicité, de leur persistance, de leur bio-accumulation, sont de nature à engendrer des nuisances même lorsqu'elles sont rejetées en très faibles quantités. On parle alors de micropolluants

Introduction

organiques qui sont d'origine agricole (pesticides par exemple) ou urbaine ou surtout industrielle. Certains peuvent être toxiques pour l'homme et pour la flore bactérienne ou peuvent donner à l'eau un goût et une odeur désagréables [3]. Parmi ces polluants, on mentionnera les substances considérées comme particulièrement dangereuses pour le milieu et pour l'homme et qui ont été définies comme prioritaires par la directive européenne. Tels que les détergents, les phénols ou encore les hydrocarbures.

Les déversements d'hydrocarbures peuvent avoir des répercussions sérieuses sur l'environnement, tant par engluement physique que par toxicité. La sévérité de l'impact dépend généralement aux hydrocarbures, des organismes touchés et de leurs habitats. Cette nouvelle question environnementale fait l'objet d'études approfondies pour mesurer les taux de contamination des eaux usées urbaines, quantifier les abattements obtenus dans les différentes techniques d'épuration proposées.

Afin d'évaluer la gravité de la pollution des eaux usées urbaines de la région de Ouargla, nous nous sommes proposés d'en étudier une partie relative aux polluants organiques (caractérisation, élimination).

C'est dans ce contexte que des travaux, réalisés au sein de notre laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques (tel que celui initié dans notre magister), ont pour objectif de valoriser les ressources naturelles sahariennes et les matériaux locaux tels que le sable, les noyaux de dattes et d'autres sous produits naturels. Comme application, il s'agira dans notre cas d'œuvrer au développement d'un procédé d'épuration qui fournit une solution aux problèmes des rejets aqueux chargés en matières organiques polluantes. Notre présent travail s'articule donc autour de deux grandes parties à savoir l'identification de quelques polluants organiques présents dans les eaux usées de la région de Ouargla, d'une part, et une proposition d'un dispositif expérimental afin d'éliminer ces polluants à travers des matériaux locaux, d'autre part.

Notre document s'échelonne alors en 4 chapitres débutant par une introduction et s'achevant par une conclusion avec perspectives: Le premier chapitre est consacré aux généralités sur la pollution organique et les différents types de traitement. Une présentation de la région et choix des sites de notre étude est présenté dans le deuxième chapitre. L'analyse qualitative et semi-quantitative de quelques polluants des eaux usées des sites étudiés, est illustrée par le troisième chapitre. Et enfin, le quatrième chapitre est consacré à l'évaluation du protocole de traitement des eaux usées développé au laboratoire.

I.1. Introduction

Pour les besoins de l'homme et l'équilibre des écosystèmes aquatiques, il faut que la qualité de l'eau soit bonne. Une pollution de l'eau peut générer une perturbation des activités humaines qui en dépendent et de l'équilibre existant entre le milieu naturel et les espèces animales et végétales qui s'y trouvent.

Le terme de pollution désigne l'ensemble des rejets de composés toxiques que l'homme libère dans l'écosphère, mais aussi les substances qui, sans être vraiment dangereuses pour les organismes vivants, exercent une influence perturbatrice sur l'environnement.

En ce qui concerne l'eau, la distinction entre eau polluée et eau non polluée est souvent relative, et dépend des exigences d'utilisation. Différentes définitions ont été données par les experts ; citons seulement celle qui assimile la pollution à "une composition ou un état directement ou indirectement modifiés du fait de l'activité de l'homme, de telle façon que cela se traduit par une moindre utilisation de l'eau" [4]. La maîtrise de la gestion de cette eau dans tous les écosystèmes, a été le moteur de l'évolution des sociétés et des civilisations anciennes et récentes [5].

Suite à la croissance et l'expansion des secteurs industriels, l'assimilation des polluants par des processus naturels d'épuration dans les rivières et les lacs ne peut pas suffire pour éviter l'accroissement de la pollution. La qualité de l'eau constitue donc aujourd'hui un enjeu environnemental primordial [6].

Les eaux usées résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées, dans les réseaux d'égouts, sont composées d'un mélange de déchets liquides, de matières solides, de débris et de polluants chimiques provenant essentiellement de l'activité humaine. (Résidentielle, institutionnelle, commerciale et industrielle). Du fait de cette charge polluante, il est important d'épurer ces eaux, au niveau de stations d'épuration, avant de les rejeter dans l'environnement ou le milieu récepteur. En effet, ce rejet peut avoir des conséquences néfastes pour le milieu récepteur, en particulier pour les organismes vivants qu'il héberge, mais également pour l'homme ou pour les activités qu'il réalise au niveau de ce milieu [7,8].

I.2. Les sources de pollution:

Les charges polluantes contenues dans les eaux usées ont des origines diverses. On s'accorde à considérer l'industrie comme le principal agent polluant. Les 3 principales catégories de pollueurs sont : l'industrie, l'agriculture, et l'urbanisation. Le rejet de ces eaux dans le milieu naturel est la principale pollution qui affecte nos cours d'eaux et plus généralement tout le milieu naturel [6].

I.2.1. la pollution urbaine

Résultante de la collecte des eaux usées des ménages, des activités domestiques, ainsi que du ruissellement des eaux pluviales dans les zones urbaines,

I.2.1.1. les eaux usées domestiques : Elles constituent généralement l'essentiel de la pollution et se composent :

- Des eaux ménagères qui contiennent des matières en suspension provenant du lavage des substances alimentaires et des produits détergents utilisés pour le lavage et ayant pour effet la solubilisation des graisses ;
- Des eaux de salle de bains chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées;
- Des eaux de vannes qui proviennent des sanitaires, très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphorés et en microorganismes.
- Des eaux des activités particulières [6].

I.2.1.2. Les eaux pluviales

Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées, surtout en début de pluie, par deux mécanismes :

- Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées. Les déchets solides ou liquides déposés, par temps sec, sur ces surfaces sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent ;
- La remise en suspension des dépôts des collecteurs. Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt de matières décantables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau plus important permet la remise en suspension de ces dépôts.

Elles sont de même nature que les eaux usées urbaines, avec en plus, des métaux lourds et des éléments toxiques provenant essentiellement de la circulation automobile [6].

I.2.2. la pollution industrielle

En terme de volume et type de polluants, les effluents industriels présentent le plus souvent une charge importante et un risque de dysfonctionnement structurel et fonctionnel des réseaux d'assainissement et des dispositifs de traitement des eaux usées. Ces risques sont d'autant plus grands que les industries sont localisées en amont du réseau d'assainissement.

Parmi les polluants transitant dans les eaux usées d'origine industrielle nous pouvons citer les métaux, les toxines organiques, les huiles et graisses, les hydrocarbures, ...etc. [7-9].

I.2.3. la pollution agricole

La concentration des élevages peut entraîner un excédent de déjections animales par rapport à la capacité d'absorption des terres agricoles ; ces déjections, sous l'effet du ruissellement de l'eau et de l'infiltration dans le sous sol, enrichissent les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés et constituent aussi une source de pollution bactériologique. Les engrais chimiques (nitrates et phosphates), employés en agriculture, altèrent la qualité des cours d'eau et des nappes souterraines vers lesquels ils sont entraînés [6].

I.2.4. la pollution accidentelle

Leurs origines sont multiples. Certains déversements de produits polluants sont dus à des accidents (camions citernes, bacs endommagés, fuites sur canalisations...). D'autres surviennent dans des usines, lorsque des quantités importantes de gaz ou de liquides toxiques s'en échappent et sont disséminées en peu de temps dans la nature.

Les stations d'épuration elles-mêmes peuvent tomber en panne et déverser leurs eaux usées ou leurs boues directement dans le milieu aquatique. Enfin, la pollution peut être due à l'ignorance ou à la légèreté de certains usagers : rejet de solvants chlorés dans les égouts, huiles de vidange...

I.3. Classification des polluants

Si l'on cherche à classer les matières polluantes, c'est pour essayer de s'y retrouver et de bien choisir les procédés qui permettront de l'éliminer. La nature des matières polluantes de l'eau dépend bien sûr, de l'origine de l'eau usée. On distingue trois types de pollution :

I.3.1. Polluants Physiques

La pollution thermique: Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries..); ont une température de l'ordre de (70 à 80) °C. Elle diminue jusqu' à (40 à 45) °C lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène. En outre tout changement de température cause des effets significatifs sur la survie des organismes aquatiques. Un abaissement important de température ralenti la plupart des

réactions chimiques vitales voire les arrêter. Au contraire, des augmentations de température peuvent tuer certaines espèces, mais également favoriser le développement d'autres organismes causant ainsi un déséquilibre écologique [6, 10].

La pollution mécanique: Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les ERI, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension MES. [6,10].

La pollution hydraulique : modification des écoulements.

I.3.2. Polluants Biologiques: Les algues, la pollution microbiologique **qui** se développe conjointement à la pollution organique par une prolifération de germes d'origines humaine ou animale dont certains sont éminemment pathogènes, et les microorganismes: bactéries fécales, virus, parasites [6,10].

I.3.3. Polluants Radioactifs: Les éléments radioactifs peuvent persister pendant des Années. Ils ont un effet direct sur les peuplements aquatiques en raison de leur toxicité propre et des propriétés cancérigènes et mutagènes de leurs rayonnements. Ils sont rejetés, à titre indicatif, par les usines de retraitement, les installations militaires et les hôpitaux. [6, 10].

I.3.4. Pollution chimiques:

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

- Minérales (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...) ;
- Organiques (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols.)

Les contaminants ou les micropolluants de caractère chimique peuvent être divisées selon le schéma illustré dans la Figure (1).

I.3.4.1. Pollution minérale

a. Métaux lourds

La présence des métaux lourds dans l'eau, l'atmosphère et par conséquent la chaîne alimentaire est le cas le plus intéressant parmi les problèmes posés à la pollution. Par ordre décroissant de toxicité spécifique. Les métaux sont classés comme suit: Hg < Cr < Ti < Cu < Co < Ni < Pb < Zn
Les métaux lourds sont susceptibles d'être métabolisés et concentrés par les organismes vivants et mis en circulation dans la chaîne alimentaire ou leur toxicité augmente. L'irréversibilité de cette

pollution est préoccupante du fait qu'il est impossible de les récupérer, une fois dissipé dans la nature.

b. Cyanures

Il s'agit un poison à action rapide qui peut se rencontrer sous plusieurs formes, y compris les formes gazeuses, liquides et solides. Bien que les cyanures se rencontrent naturellement dans beaucoup d'aliments et de plantes, l'industrie rejette d'autres composés cyanogènes (installation de cyanuration, galvanoplastie, traitement de minerais...).

c. Pollution d'azote

Les activités industrielles, peuvent être à l'origine des rejets plus ou moins riche en azote (élément nutritif) issu des fabrications d'engrais, des cokeries, et des industries chimiques et agroalimentaires. L'azote existe sous deux formes: la forme réduite qui regroupe l'azote ammoniacal (NH_3 OU NH_4^+) et l'azote organique (protéine, créatine, acide urique). Plus une forme oxydée en ions nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-).

d. Pollution par le phosphore

Le phosphore a pour origine les industries du traitement de surfaces des métaux, les laveries industrielles des fabrications, d'engrais agroalimentaire. Comme l'azote, le phosphore est un élément nutritif, il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques.

I.3.4.2. Pollution organique

Les contaminants organiques sont des molécules chimiques issues des activités humaines et qui ont un effet nocif sur l'environnement. Sa composition est structurée autour du carbone. Parmi les plus connues, on peut citer les détergents, les hydrocarbures, les pesticides, les dioxines, les phénols, les solvants chlorés, les dérivés du benzène ou encore les médicaments. Elles contaminent les milieux naturels par voie aquatique (eaux de ruissellement, eaux usées, etc.) ou atmosphérique (fumée industrielle, gaz d'échappement des voitures, etc.).

a. Hydrocarbures

La pollution par les hydrocarbures résulte de plusieurs activités liées à l'extraction du pétrole, à son transport et en aval à l'utilisation de produits finis (carburants et lubrifiants), ainsi qu'aux rejets effectués par les navires (marées noires). Les effets des hydrocarbures dans le milieu marin sont considérables. Ils dépendent largement de leur composition. En fait leurs activités peuvent s'exercer selon plusieurs modalités très différentes :

- **Toxicité aiguë:** elle s'exerce sur l'ensemble des êtres vivants du milieu (végétaux, animaux ou bactéries) provoquant des disparitions immédiates des poissons s'effectuent par colmatage des branchies. Les oiseaux sont également tués en masses par engluage des plumes. On n'estime que 150 000 à 400 000 le nombre d'oiseaux tués annuellement par les hydrocarbures.
- **Toxicité à long terme:** les hydrocarbures ou les produits de dégradation, peuvent être accumulés par les différents organismes marins, après leur ingestion, leurs effets peuvent s'étaler sur des périodes très longues. Ce danger est évidemment plus grave lorsqu'il s'agit des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HPA) cancérigènes (méthyle chlorolanthrène, benzantracènes, benzopyrènes). Ils sont repris par les chaînes alimentaires et concentrés jusqu'à des taux très élevés. On imagine le danger que peut présenter ce phénomène pour le consommateur humain.

b. Phénols

Ils désignent un ensemble de composés hydroxylés du benzène. La présence du phénol dans l'eau a pour origine les polluants industriels (usine chimique, cokeries, industries pétrochimique, raffineries...), ainsi que les revêtements bitumeux des canalisations et des réservoirs, la décomposition des produits végétaux et la dégradation des pesticides. Ces produits s'oxydent faiblement, se fixent peu, se filtrent facilement et ils sont souvent biodégradables; alors ils ne se trouvent qu'en faible quantité. Leur inconvénient principal est qu'ils donnent à l'eau un goût extrêmement désagréable et très persistant marqué de chlorophénol lorsqu'ils sont en présence de chlore. Les poissons, accumulent les phénols jusqu'à 30 mg/kg, ils sont alors impropres à la consommation. Les phénols peuvent être séparés des eaux résiduaires par extraction liquide-liquide, oxydé par le chlore ou l'ozone ou bien détruits par un traitement biologique [6, 10].

c. Agents de surface (détergents)

Les agents de surface ou détergents sont des composés tensioactifs de synthèse. Ils sont des substances qui permettent d'éliminer les graisses et autres salissures à la surface de matériaux, présents notamment dans les eaux résiduaires urbaines et industrielles. Parmi les formules actives tensioactives des détergents, on peut trouver :

- des anions de type alkylbenzènes sulfonates (ABS) ou lauryl sulfonates (LAS) plus biodégradables,
- des cations de type sels d'ammonium quaternaire,
- des molécules non ionisées à base d'alkylphénols ou d'alcools polyéthoxylés.

Des adjuvants entrent également dans la formulation des produits commerciaux en tant que sequestrants, complexants, colorants, parfums, etc., qui sont soit des composés minéraux (polyphosphates, carbonates, silicates, perborates), soit des composés organiques (NTA, EDTA, alcanolamides, colorants) et des enzymes.

Les nuisances créées par les agents de surface proprement dits sont principalement la formation de mousses, le ralentissement du transfert de l'oxygène et les effets écotoxiques des alkylphénols, auxquelles il faut ajouter l'enrichissement en phosphates, en complexants et en bore dans les eaux naturelles [11].

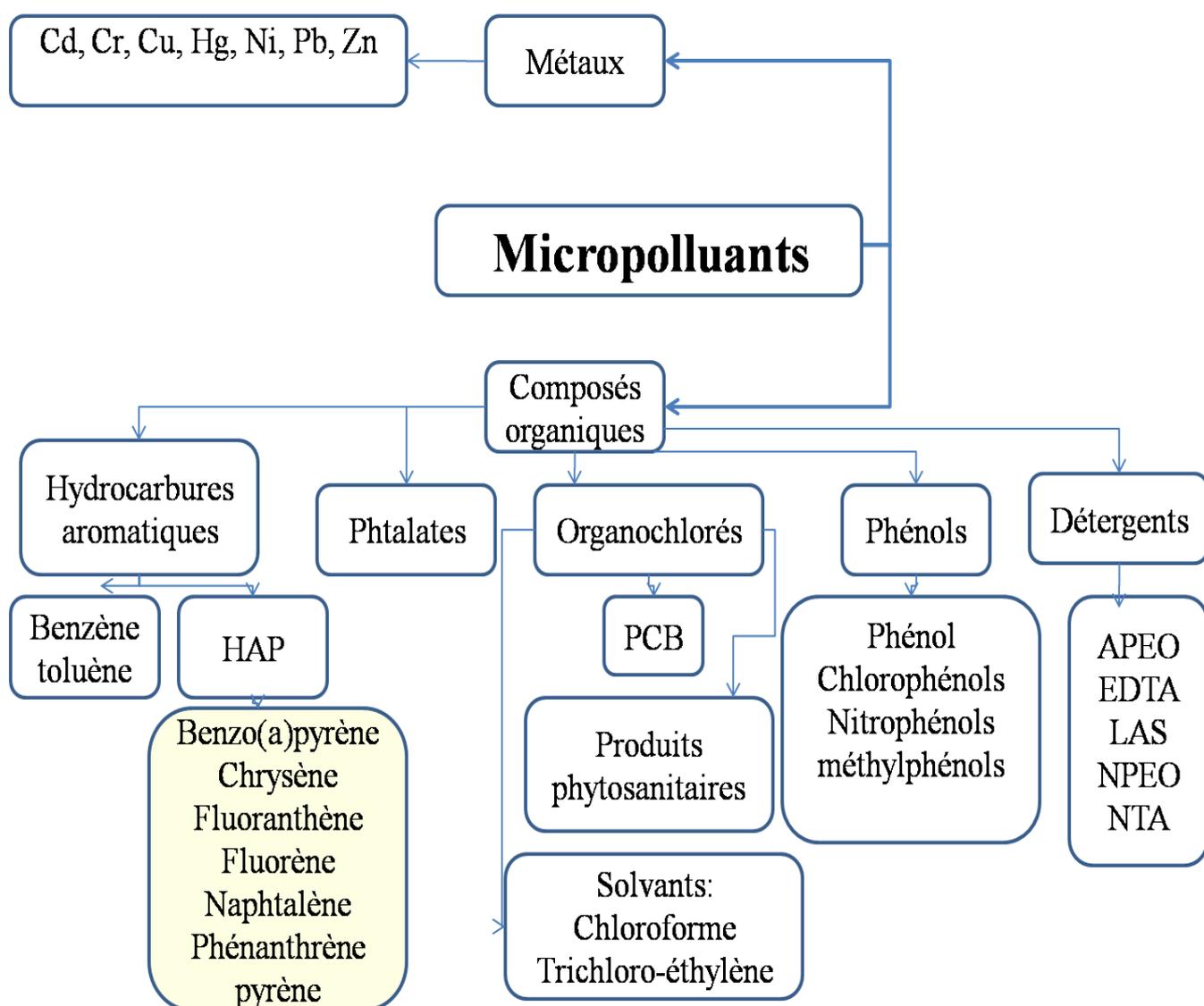


Figure (1): Liste des principales substances dangereuses prioritaires considérées par la communauté européenne comme « liste noire » [6]

I.4. Les conséquences de la pollution organique

Elle se manifeste principalement par :

I.4.1. Diminution de la teneur en oxygène dissous

Les matières organiques, essentielles à la vie aquatique en tant que nourriture, peuvent devenir un élément perturbateur quand leur quantité est trop importante. En effet, elles vont être dégradées par des bactéries et consommer naturellement une fraction de l'oxygène dissous présent dans les rivières, privant ainsi les organismes aquatiques de cet élément essentiel à la vie. Parmi les substances qui entraînent une importante consommation d'oxygène, notons en particulier le lait rejeté par l'industrie laitière, le sang rejeté par l'industrie de la viande, les déchets contenus dans les eaux usées domestiques...

Cette diminution de l'O₂ dissous peut provoquer dans certains cas des mortalités importantes de poissons.

I.4.2. Présence de produits toxiques

Rejetés sous différentes formes, ces substances provoquent des effets qui peuvent être de deux formes :

- effet immédiat ou à court terme conduisant à un effet toxique brutal, et donc à la mort rapide de différents organismes ;
- effet différé ou à long terme, par accumulation au cours du temps, des substances chez certains organismes. La plupart des produits toxiques proviennent de l'industrie chimique, de l'industrie des métaux, de l'activité agricole et des décharges de déchets domestiques ou industriels.

I.4.3. Prolifération d'algues

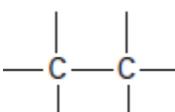
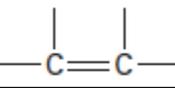
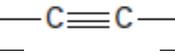
Bien que la présence d'algues dans les milieux aquatiques soit bénéfique pour la production d'oxygène dissous, celles-ci peuvent proliférer de manière importante et devenir extrêmement gênantes (démarrage du processus d'eutrophisation). L'eutrophisation correspond à une accélération de l'activité biologique d'un cours d'eau provoqué par un enrichissement du milieu en substances nutritives. La croissance exagérée des algues peut entraîner parfois un déficit d'oxygène et provoque ainsi la mortalité des poissons par asphyxie. Les algues se nourrissent de matières minérales : phosphore sous la forme de phosphate, ainsi que d'azote (ammonium, nitrates et azote gazeux), carbone (gaz carbonique) et d'autres éléments minéraux. La présence excessive de ces éléments est essentiellement liée aux activités humaines, à l'agriculture et à l'industrie.

I.5. Cas des hydrocarbures

Les hydrocarbures pétroliers (HCP) désignent un mélange de composés organiques présents dans des matières géologiques comme l'huile, le bitume et le charbon ou dérivés de ces matières. Les produits pétroliers rejetés dans l'environnement, tels l'essence, le pétrole brut et le carburacteur, contiennent généralement entre des centaines et des milliers de composés dans des proportions variables [10].

Les hydrocarbures constituent la fraction la plus importante d'un brut pétrolier, ils représentent entre 65 et 95 % de la plupart des pétroles bruts. Ces hydrocarbures peuvent être classés en trois familles principales qui sont présentes en proportions variables selon leur origine: les hydrocarbures saturés (30 à 70 %), les hydrocarbures aromatiques et polyaromatiques (20 à 40 %), [10]. On distingue trois grandes familles présentées dans le tableau (1).

Tableau (1) : Classification générale des hydrocarbures [10, 12, 13]

Type de famille	Désignation courante	Désignation officielle	Motif structural	Formule globale	Nombre d'atomes de carbone	Abondance dans le pétrole (%)
Saturés	Paraffine : Linéaire Ramifié	Alcanes		C_nH_{2n+2}	7 à 40	30 à 70
	Naphtène	Cyclanes	Cycle à 3,4,5 ou 6 atomes de carbone	$C_nH_{2n(1)}$	5 à 6	
Insaturés	Oléfines (2)	Alcènes		C_nH_{2n} (3)		-
	Acétyléniques	Alcynes		C_nH_{2n-2}		-
Aromatiques	Aromatiques			C_nH_{2n-6} (4)		10 à 30

(1) Formule valable uniquement pour les composés à un seul cycle.
(2) Les cyclo-oléfines, dioléfines et polyoléfines sont classées dans cette catégorie.
(3) Formule valable uniquement pour les mono-oléfines non cycliques.
(4) Formule valable uniquement pour les composés à un seul cycle benzénique à chaîne saturée.

Dans l'environnement, les alcanes présentent une stabilité assez élevée, surtout les alcanes ramifiés dont le carbone tertiaire ou quaternaire conduit à une certaine récalcitrance vis-à-vis des micro-organismes. Cependant, grâce à leur faible solubilité et leur hydrophobicité, les alcanes ne se trouveront qu'en faible quantité dans la phase aqueuse et seront stabilisés dans la phase solide du sol ou dans les sédiments.

Jusqu'en, 1988, on croyait la biodégradation des hydrocarbures aromatiques uniquement possible en conditions aérobies. Il se trouve en fait qu'une biodégradation anaérobie est possible pour le benzène, le toluène et l'éthylbenzène. Toutefois, cette biodégradation est généralement insignifiante. Des conditions aérobies sont donc très favorables à une biodégradation des hydrocarbures aromatiques. Le benzène, le toluène et le xylène sont facilement biodégradables s'ils sont présents en faibles doses dans le milieu.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont potentiellement bioaccumulés et concentrés dans les sédiments et les sols. La persistance des HAPs augmente avec le nombre de cycles de la molécule. Par exemple, le naphthalène et les composés de faible poids moléculaire, étant plus solubles et plus volatiles, sont peu persistants et donc peu bioaccumulables. En revanche, les composés de poids moléculaires élevés sont très persistants et par conséquent bioaccumulables.

La biodégradation des HAP est particulièrement difficile, elle s'effectue noyau après noyau et quasiment uniquement en conditions aérobies. Cette biodégradation est en effet très peu significative. L'utilisation de processus de dégradation biologique dans le but de dégrader les HAP est donc peu utile. Toutefois, certains champignons présentent de bonne aptitude à transformer les hydrocarbures aromatiques polycycliques, mais la faible disponibilité de ces polluants, du fait de leur pouvoir d'adsorption, empêche leur dégradation [10, 12, 13].

A cause de leur toxicité ainsi que leur persistance dans l'environnement les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont moins utilisés que les autres hydrocarbures, mais certains HAP sont produits et utilisés commercialement, on cite, par exemple :

- La créosote, qui est un mélange complexe et variable de composés de distillation du goudron de houille. Dix-sept HAP, comptent pour environ 63 % du mélange de créosote. La créosote est communément utilisée comme produit de conservation du bois pour le traitement des traverses de chemin de fer, ainsi que des piles utilisées dans la mer et en eau douce.

- Le naphthalène, qui intervient comme intermédiaire de fabrication dans de nombreux secteurs de l'industrie chimique tels que les colorants. Le naphthalène est également utilisé comme antimite domestique [12, 13].

Le nombre de HAP identifiés à ce jour est de l'ordre de 130. Parmi ceux-ci, une liste restreinte est généralement prise en compte dans des études environnementales. Ce sont les polluants retenus comme prioritaires par l'agence environnementale américaine (US-EPA). Elle contient les HAP les plus étudiés et posant des problèmes environnementaux majeurs du fait de leur toxicité. Les structures de ces 16 HAP sont illustrés dans la figure (2)

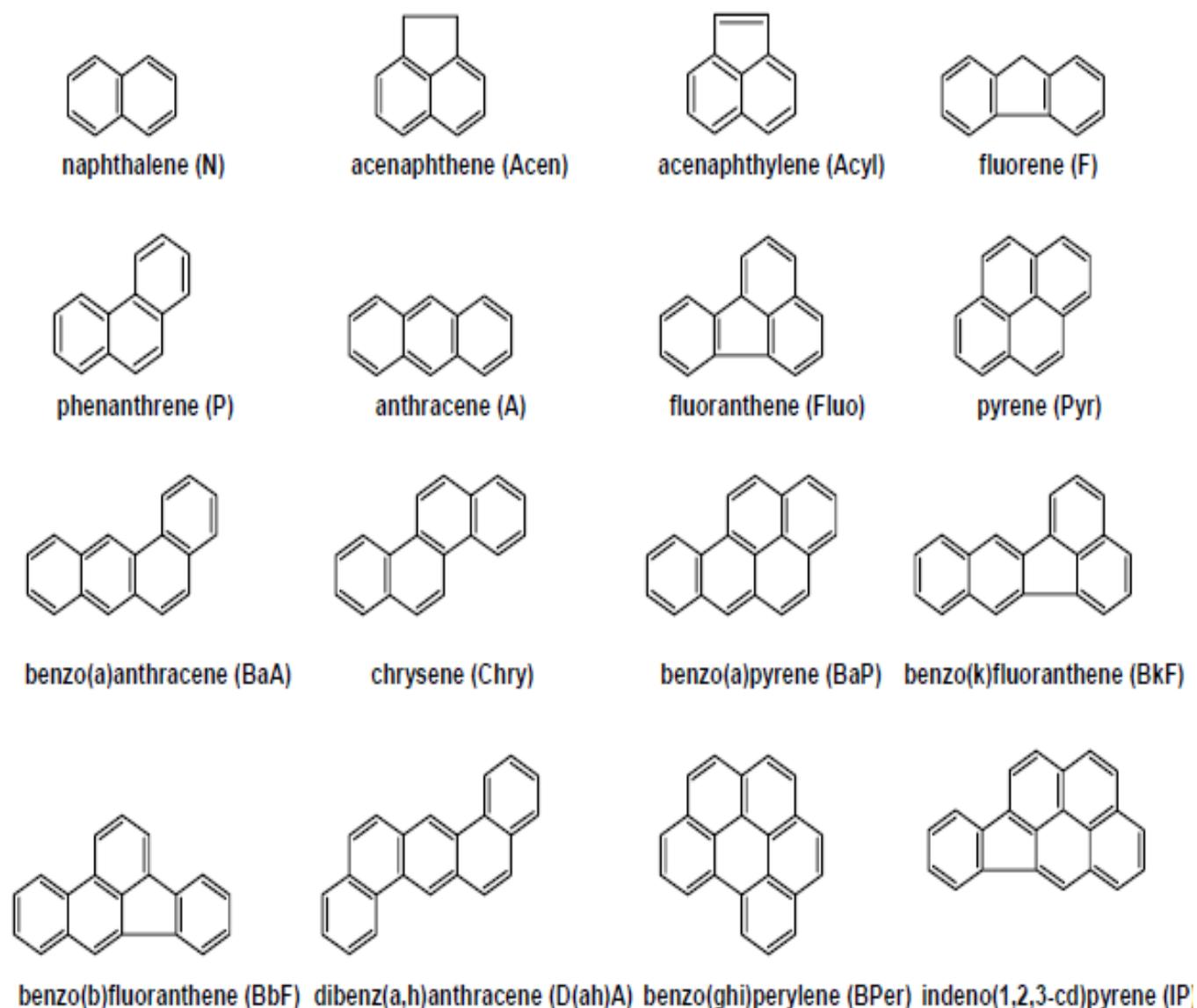


Figure (2) : 16 HAP de la liste prioritaire de l'US-EPA
et abréviations communément utilisées.

Dans le tableau (2) , apparaissent les 6 HAP classés dans la liste noire de l'OMS [10,12]

Tableau (2) : 6 HAP classés dans la liste noire de l'OMS [10,12]

Composé	Nomb -re de cycle	Masse moléculaire (g/mol)	Solubilité (µg/l)	Tension de vapeur (Pa)	Log de Ko/w
Fluoranthrène	4	202	260	8	5.33
Benzo(b)fluoranthrène	5	252	1.3	6.7	6.57
Benzo(k)fluoranthrène	5	252	0.6	6.7	6.84
Benzo(a)pyrène	5	252	3.8	6.7	6.04
Indeno(c,d)pyrène	6	276	0.3	1.3	7.66
Benzo(g,h,i)pérylène	6	276	0.1	1.3	7.23

I.6. La quantification des polluants

Une eau polluée peut contenir un très grand nombre de molécules qui peuvent être minérales ou organiques, qui sont solubles ou particulaires, qui sont très, ou pas toxiques...

Donc si on devait identifier individuellement toutes les molécules qui sont présentes, cela demanderait beaucoup de temps, beaucoup de matériel, et donc beaucoup d'argent... et «plus c'est cher... moins on peut en faire ! ». C'est pourquoi, on utilise souvent des mesures globales de la pollution qui vont nous donner une idée de la quantité totale de matière présente.

Les mesures de la pollution sont effectuées sur le terrain ou bien en laboratoire, après prélèvement d'échantillons d'eau. La phase de prélèvement est extrêmement importante, car elle conditionne la qualité du déroulement de toute la chaîne analytique.

Certains paramètres sont mesurés lors du prélèvement : température de l'eau, oxygène dissous, pH... afin de refléter exactement l'état du milieu naturel au moment du prélèvement. Les autres mesures doivent être faites dans les 48 heures, après conservation des échantillons dans des conditions strictes (obscurité...). Les mesures consistent soit en des dosages de composés ou d'éléments particuliers, soit en des tests d'évaluation de la charge polluante.

La mesure de la pollution s'effectue à l'aide de différents critères [11, 14, 15] :

- **Caractéristiques ou grandeurs physiques :** Les paramètres concernés sont le pH (acidité, basicité), la température, la salinité, la minéralisation (par des mesures de conductivité), l'oxygène dissous et la matière en suspension.
- **Évaluation des substances organiques :** Une mesure globale d'appréciation est possible en utilisant comme référence la quantité d'oxygène nécessaire à les oxyder. On utilisera différents critères tels que :
 - * La **DCO ou demande chimique en oxygène** (exprimée en mg O₂/L), qui représente l'enveloppe de tout ce qui est susceptible de consommer de l'oxygène (par oxydation au bichromate de potassium en milieu sulfurique), en particulier les sels minéraux oxydables et la majeure partie des composés organiques ;
 - * La **DBO5 ou demande biochimique en oxygène** (exprimée en mg O₂/L) qui est la quantité d'oxygène consommée dans les conditions d'essai (incubation à 20 °C et à l'obscurité après un laps de temps de 5 jours), pour assurer par voie bactérienne l'oxydation biologique des matières organiques dites biodégradables ;
 - * Les **matières oxydables ou MOX** (exprimées en mg O₂/L) correspondent à une moyenne pondérée de la DCO et de la DBO5, calculée suivant la formule :

$$\text{MOX} = \text{DCO} + 2\text{DBO}_5/3$$

Notons au passage qu'une indication de la plus ou moins **bonne biodégradabilité** d'une eau est fournie par le rapport DCO /DBO5.

- **Evaluation de la micropollution organique :** Les molécules que l'on peut chercher dans l'eau se comptent par centaines, notamment dans le domaine des micropolluants organiques ou minéraux (pesticides, métaux lourds...). On fait appel à des techniques très sophistiquées, qui permettent de déceler des concentrations inférieures au microgramme par litre telles que les chromatographies en phase gazeuse ou liquide couplées éventuellement à un spectromètre de masse.

On peut identifier et quantifier également des familles de composés en utilisant des **critères semi-globaux**. C'est le cas par exemple de la mesure des **hydrocarbures totaux**, le dosage de ces composés, après extraction par un solvant, est réalisé par la méthode gravimétrique [11, 14, 15].

I.7. La lutte contre la pollution des eaux : les techniques utilisées

En général, le traitement des eaux résiduaires industrielles s'étudie au cas par cas. La composition chimique de l'effluent détermine le traitement adéquat. A l'heure actuelle, les différents types d'effluents peuvent être classés de la manière suivante :

1. Les effluents biodégradables, qui peuvent être directement acheminés vers une station de traitement biologique ;
2. Les effluents récalcitrants, qui nécessitent une sélection et une adaptation bactérienne avant de pouvoir être dégradés par traitement biologique. Il est important de séparer ces composés de ceux qui sont plus facilement biodégradés afin de favoriser l'adaptation bactérienne ;
3. Les effluents toxiques et/ou non biodégradables, qui nécessitent un prétraitement spécifique, à savoir une oxydation totale ou une combustion pour lesquels les procédés de congélation seraient particulièrement intéressants.

Des procédés de traitement physiques, chimiques et biologiques ont été développés pour la purification des eaux résiduaires. Afin de bien choisir le procédé le plus approprié pour chaque effluent en particulier, il est nécessaire de considérer une série de conditions, parmi lesquelles on peut mentionner les suivantes :

- a) Les caractéristiques de l'eau résiduaire brute : DBO, DCO, matière en suspension, pH, substances toxiques.
- b) La qualité de l'effluent final requis (spécifications de l'eau traitée liées souvent à la réglementation).
- c) Les coûts relatifs.
- d) La compatibilité d'un procédé de traitement avec des étapes précédentes ou postérieures [6].

La Figure (3) schématise les divers types de traitement d'eaux résiduaires applicables dans chacun des cas.

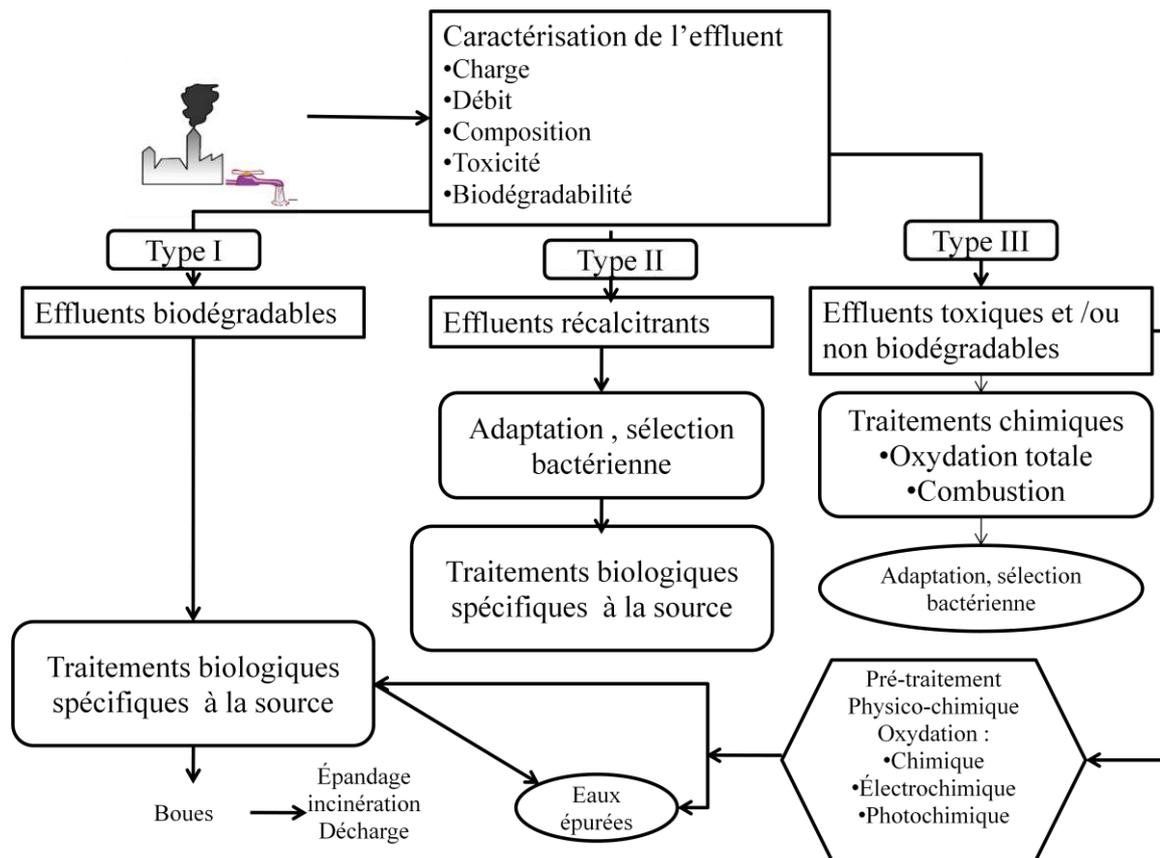


Figure (3) : Représentation schématique des types de traitement d'eaux résiduaires [6]

Le Tableau (3) présente un résumé des étapes utilisées dans chaque traitement, ainsi que les opérations unitaires utilisées en fonction des impuretés à éliminer, et ce par les 03 types et différents de polluants.

Le défi du traiteur d'eau est de fournir une eau de haute qualité à prix abordable, tout en gérant tous les problèmes potentiels d'un approvisionnement donné et du système de traitement. En vue d'améliorer la qualité des eaux, il est essentiel d'élaborer de nouvelles stratégies innovantes de traitement des eaux.

Dans le cadre de ce travail nous avons cherché d'abord à développer une méthode de traitement d'effluents du troisième type, très difficiles à traiter, mais grâce aux résultats obtenus avec d'autres types de polluants, notre recherche sur la filtration sur sable a intégré les eaux contaminées par les polluants organiques. Le but recherché est une minimisation du coût du traitement, qui va de paire avec un traitement spécifique et optimal de l'effluent

Tableau (3) : Procédés utilisés pour les traitements des polluants de l'eau [6].

Etape	Impuretés		Opération unitaire
Traitement préliminaire et primaire	Matière en suspension		Dégrillage Dessablage Sédimentation Filtration Flottation Addition de polymères chimiques Coagulation et sédimentation
Traitement secondaire	Composés organiques biodégradables		Boues activées Réacteur à film fixé : lit bactériens et contacteurs biologiques rotatifs Lagunage Systèmes physico-chimiques
	Composés organiques volatiles		Stripping à l'air Adsorption sur charbon actif
Traitement tertiaire ou avancé	Nutriments	Azotés	Nitrification et dénitrification par croissance et suspension ou sur lit fixe Stripping à l'ammoniaque Echange d'ions Chloration
		Phosphorés	Addition métaux /sels Chaulage +coagulation /sédimentation Elimination biologique du phosphore Elimination biologique et chimique du phosphore
		Azotés et phosphorés	Elimination biologique
	Composés organiques réfractaires		Adsorption sur charbon Ozonation tertiaire
	Métaux lourds		Precipitation chimique
	Sels dissous		Echange d'ions Osmos inverse electrodialyse

I.7.1. La filtration sur sable

I.7.1. Historique sur la filtration

La filtration est l'une des techniques les plus anciennes et de loin la plus appliquée dans les opérations de traitement de l'eau, qu'elle soit à usage industriel ou domestique.

C'est en 1804 qu'un écossais (John Gibb), a conçu et construit pour la première fois un filtre à sable expérimental pour sa blanchisserie de Daisley. Produisant plus d'eau "traitée" qu'il n'en avait besoin, il commença à en vendre le surplus à la population. Par la suite, lui-même et d'autres techniciens perfectionnèrent cette méthode, à tel point qu'en 1829, fût construite pour la première fois une installation de filtration de l'eau, destinée à la consommation de la ville de Londres, sous la direction d'un nommé James Simpson. Depuis, cette méthode de traitement commença à se proliférer dans le monde industrialisé de l'Europe de l'époque. Elle a prouvé son efficacité par suite de nombreuses épidémies qui ont ravagé certaines populations consommant de l'eau non filtrée et épargnant pendant la même période d'autres populations consommant la même eau, mais filtrée. C'est le cas de l'épidémie de choléra de 1892, dont près de la moitié de la population de Hambourg a été victime, consommant les eaux de l'Elbe à l'état brut, et dont est sortie indemne la population d'Altona, procédant à la filtration de ces eaux.

Des suites des découvertes de Pasteur et autres, des examens biologiques sur plusieurs échantillons ont donné des résultats confirmant l'amélioration de la qualité bactériologique de l'eau après filtration. Cette technique fût alors largement adoptée comme moyen de "traiter" l'eau avant consommation, et gagna du terrain tout en s'améliorant au fil du temps grâce aux progrès techniques. Il s'en est suivi la naissance des filtres rapides et la transformation dans la plupart des cas de la filtration seulement en une étape du traitement de l'eau après la décantation et d'autres stades de pré-traitement avant la stérilisation et d'autres stades de post-traitement. De nos jours encore, la filtration demeure une étape indispensable dans une chaîne de traitement d'eau potable, à l'exception d'eau souterraine captée en forages, puits ou sources, et jugée de qualité assez bonne pour se passer de cette technique.

L'utilisation du "filtre biologique" ou "filtre à sable lent" pour obtenir de l'eau de haute qualité n'est toujours pas dépassée. Des villes comme Amsterdam, Anvers, Londres, Springfield (USA) et diverses agglomérations de Suède et du Japon, continuent à utiliser ces filtres datant d'époques anciennes, récente, ou même en cours d'élaboration. En Suisse, les villes de Zurich et St. Gall utilisent toujours leurs filtres lents construits à la fin du siècle dernier comme éléments de leur chaîne de traitement d'eau potable.

I.7.1.2. Principe et théorie

Les premiers principes de filtrations avaient été inspirés par le filtrage naturel de l'eau par les différentes couches de la Terre que traversait l'eau avant d'atteindre des "réservoirs souterrains". Malheureusement ce procédé était beaucoup trop lent pour traiter de grosses quantités d'eau. En outre, ce procédé est excellent au niveau de la qualité de l'eau filtrée. Le mécanisme de la filtration est basé soit sur **l'adsorption**, soit sur un phénomène de **tamisage**.

I.7.1.2.1. Adsorption

Le terme adsorption a été proposé pour la première fois par Kayser en 1881 pour différencier entre une condensation de gaz à la surface et une adsorption de gaz, processus dans lequel les molécules de gaz sont fixées à la surface. L'adsorption est un phénomène de surface où des molécules d'une espèce appelée adsorbat (gaz ou liquide) viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé adsorbant. L'adsorption peut être physique ou chimique selon la nature des interactions qui se produisent entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant:

- **L'adsorption physique** ou physisorption met en jeu de très faibles interactions entre entités moléculaires comme les forces d'attraction de van der Waals et des forces dues aux interactions électrostatiques de polarisation peu spécifique, réversible (la désorption peut donc être totale), rapide et généralement limitée par les phénomènes de diffusion et peut se faire en monocouche ou multicouches.
- **L'adsorption chimique** ou chimisorption très spécifique, est essentiellement irréversible et lente. Elle se déroule avec formation de liaisons de type chimique, elle est uniquement monomoléculaire, et la désorption est difficile.

De manière générale, l'adsorption est un phénomène exothermique qui se produit avec un dégagement de chaleur ce qui peut conduire à un échauffement du solide [2, 16].

En théorie tous les solides sont des adsorbants. Dans l'industrie, les solides les plus utilisés sont les charbons actifs, les zéolithes, les gels de silice et les alumines activées. Les capacités d'adsorption particulièrement élevées de ces matériaux sont en partie liées à leurs structures poreuses très développées et leurs grandes surfaces spécifiques [2]. La surface spécifique ou aire massique (en $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) est la surface totale par unité de masse d'adsorbant accessible aux molécules. Cette grandeur comprend la surface externe et la surface interne d'un adsorbant Figure (4) [2].

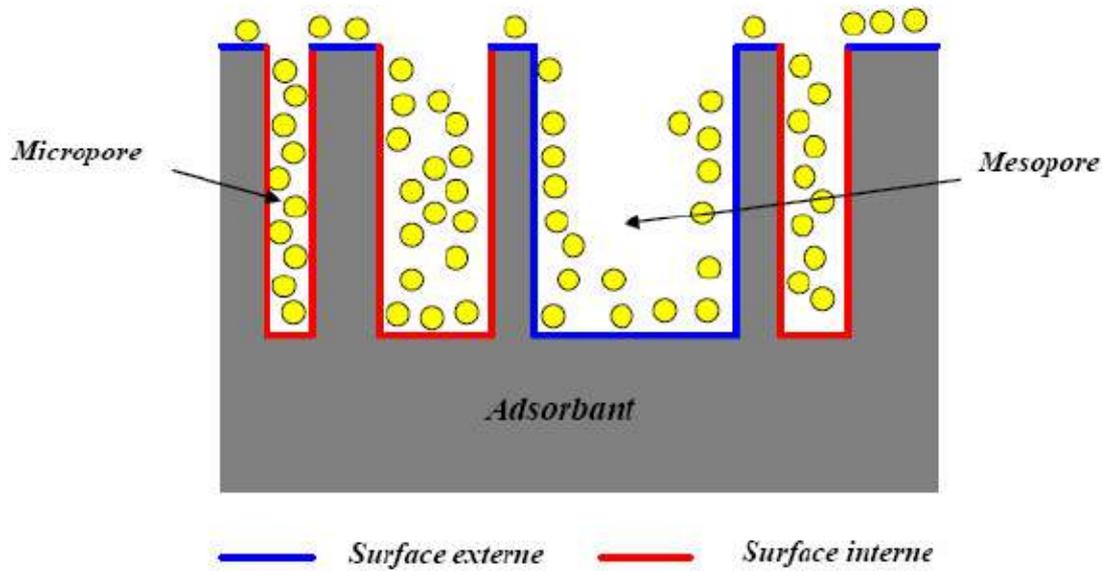


Figure (4): Représentation schématique de la surface interne et externe d'un adsorbant [2].

L'adsorption graduelle multicouche ne s'opère que dans les mésopores et macropores comme le décrit la méthode B.E.T. (Gregg et Sing, 1982). Rappelons que cette méthode permet d'obtenir la surface spécifique, le volume microporeux et le volume mésoporeux d'un solide par adsorption physique d'azote [2].

Le phénomène d'adsorption se déroule en quatre étapes (figure 5) :

- 1ère étape (très rapide): transfert de l'adsorbat de la phase liquide vers la couche limite du film liquide liée à la particule solide (par convection ou diffusion).
- 2ème étape (plus ou moins lent) : Transfert de l'adsorbat à travers le film liquide vers la surface externe de l'adsorbant.
- 3ème étape (lente): Diffusion à l'intérieur de la particule d'adsorbant selon deux voies, sous l'influence du gradient de concentration. (3a: Sous l'état adsorbé, par diffusion de surface et 3b : A l'état libre, par diffusion de pore).
- 4ème étape (rapide) : adsorption à la surface[16].

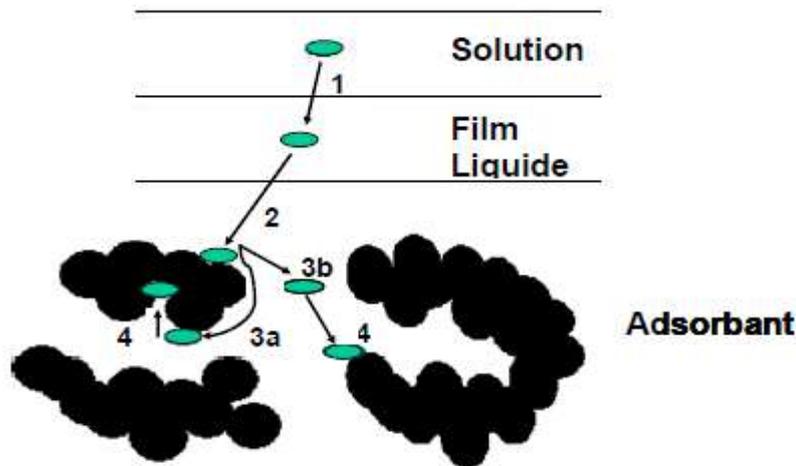


Figure (5): Les étapes de l'adsorption [16].

I.7.1.3. Types de filtres

Il existe deux types de filtrations : filtration à sable rapide et filtration à sable lente.

a. La filtration lente (filtration biologique) : C'est la première technique de filtration qui fût mise en œuvre. Le filtre lent consiste en un récipient à ciel ouvert, contenant du sable servant de matériau filtrant. La couche de sable, d'épaisseur allant de 0,7 m à 1,5 m, est surmontée d'une couche d'eau, s'écoulant en traversant le sable sous l'action de la pesanteur. L'eau filtrée est recueillie au fond du récipient à l'aide d'un système de drainage. Le nom de "filtre lent" vient du fait que la vitesse de percolation est très faible, de l'ordre de 0,1 à 0,5 m/h, par opposition aux filtres rapides.

Le diamètre des grains de sable va de 0,10 mm à 2,0 mm et même plus dans certains cas avec une granulométrie assez étalée. Il est donc possible d'utiliser le sable de la plupart des carrières sans tri. La taille réduite des grains et la faiblesse des vitesses dans ces filtres font qu'ils ne sont pas seulement de simples tamis destinés à retenir les particules dont les dimensions excèdent les pores laissés entre les grains, mais ils éliminent aussi les particules colloïdales, les substances dissoutes, les bactéries et autres germes, ainsi que les goûts et odeurs. On obtient ainsi de l'eau d'une qualité physico-chimique et bactériologique pure. Cette qualité est obtenue grâce à un développement simultané de phénomènes physiques et d'épuration biologique à la surface et dans le lit filtrant; d'où le nom de "filtre biologique" souvent donné à ces filtres. Ces phénomènes seront examinés plus en détail dans la suite.

b. La filtration rapide : les filtres rapides sont constitués par un sable d'une granulométrie assez uniforme, avec un coefficient d'uniformité des grains voisin de 1, ou en tout cas inférieur à 1,8 et une taille effective variant de 0,4 mm à 1,2 mm selon le degré de traitement désiré et la qualité de l'affluent. Le nom de " filtres rapides" vient de l'importance des vitesses d'environ 20 à 50 fois plus élevées que celles des filtres lents vitesses engendrent des durées de traversée du matériau filtrant trop courtes pour permettre d'autres phénomène d'épuration que de type physique. Les vitesses courantes sont supérieures à 5 m/h. Elle est utilisée couramment dans le traitement des eaux potables, cette technique permet d'éliminer les particules non décantables.

I.7.4. théorie de la filtration lente

I.7.4.1. Description

Un filtre lent est composé des éléments suivants :

- Un réservoir d'eau brute (surnageante).
- Un lit de milieu filtrant assurant les processus de traitement. Ce milieu, le plus souvent du sable, peut être aussi du concassé ou tout autre matériau grenu.
- Un système de drainage de l'eau filtrée, par la base du filtre, et qui sert en même temps de support au matériau .Les trois premiers éléments sont réunis en un seul dispositif filtrant à ciel ouvert.

I.7.4.2. Fonctionnement

La filtration lente sur sable diffère des autres types de filtration par le fait qu'elle doit assurer à l'eau une qualité physiquement et bactériologiquement saine et cela souvent sans faire appel à d'autres stades de traitement. Elle ne consiste donc pas seulement en une opération de tamisage à travers le sable, mais aussi en une épuration biologique et biochimique.

Sous l'influence de la lumière solaire, des algues poussent et absorbent les nutriments contenus dans l'eau brute tels que les nitrates, le dioxyde de carbone, les phosphates en les transformant en parois cellulaires et en oxygène. Ce dernier se dissolvant au fur et à mesure de sa formation dans l'eau pour agir sur les impuretés organiques. Parvenu à maturité, il se forme à la surface de sable un mince film visqueux en grande partie d'origine organique, appelé "membrane biologique" ou "peau filtrante". Ce film, extrêmement actif, est composé d'algues filamenteuses, protozoaires, rotifères, bactéries et autres formes de vie animale ou végétale. C'est ce film qui, par les divers organismes qui le composent, piège, digère et désagrège les matières organiques contenues dans

l'eau. Les algues mortes de l'eau qui surmonte le lit et les bactéries vivantes de l'eau brute sont les unes et les autres consommées à l'intérieur de ce film. Il se forme des sels minéraux simples. En traversant cette membrane, les composés azotés se trouvent oxydés et les nitrites dégradés. La couleur est partiellement éliminée et une proportion très importante des particules en suspension sont retenues. L'eau pénètre ensuite dans le lit filtrant qu'elle traverse en percolant par les interstices entre les grains.

Cette percolation se faisant avec une vitesse extrêmement faible permet la rétention des particules en suspension ou colloïdales qui ont résisté jusqu'ici, par des phénomènes physiques de tamisage et d'adsorption par les grains.

L'opération de dégradation biologique due aux micro-organismes se nourrissant des impuretés et les uns des autres, commencée sur la " membrane biologique " se poursuit et se complète dans la partie supérieure de la couche de sable. A mesure que la profondeur augmente, la nourriture de ces microorganismes devient rare et par conséquent leur population diminue.

Aux environs de 40 cm de profondeur, il ne subsiste plus que quelques bactéries utilisant l'oxygène dissous dans l'eau pour extraire les ultimes nutriments existants à l'état de solutés.

Ainsi, après environ 50 à 60 cm de profondeur, l'eau se trouve débarrassée de presque toutes les matières en suspension, colloïdales ou dissoutes et ne contient plus que quelques sels minéraux simples relativement inoffensifs en solution. Non seulement tous les organismes nuisibles sont éliminés, mais aussi les nutriments dissous qui pourraient favoriser leur développement. L'eau ainsi traitée peut être pauvre en oxygène et riche en dioxyde de carbone; inconvénient auquel on peut remédier en l'aérant. [9, 17, 18]

I.7.4.3. Mécanisme de filtration lente

L'ensemble des forces et des processus physiques et biologiques intervenant dans l'épuration par les filtres lents peuvent être groupés dans trois types de mécanismes : mécanismes de transport, mécanismes de fixation, mécanismes de purification.

I.7.4.3.1. Mécanisme de transport

Les particules contenues dans l'eau sont mises en contact avec le sable selon les processus suivants :

- *Tamissage*, Il consiste en la rétention des particules dont le diamètre est supérieur à l'espace laissé par les grains entre eux. Ce tamisage est d'autant plus poussé que les grains sont de petite taille et de forme anguleuse.
- *Sédimentation*, La couche de sable se comporte aussi comme un bassin de sédimentation,
- *Les forces d'inertie* et centrifuges éjectant les particules contre les grains.
- *L'attraction massique*, efficace seulement lorsque les particules sont très proches des grains, en les maintenant contre ces derniers.
- *La force d'attraction électrostatique* et électrocinétique (forces de Coulomb) qui sont négligeables aussi si la distance est élevée et permet de maintenir les particules contre les grains de charge électrique opposée.

I.7.4.3.2. Mécanismes de fixation

Une fois qu'elles sont en contact avec les grains, les particules sont maintenues en place par les forces suivantes :

-*Attraction électrostatique (forces de Coulomb) :*

Ce phénomène ayant son origine aux différences de charges électriques pouvant exister entre particules et grains de sable, est très complexe. Le sable quartz porte une charge négative en raison de sa structure cristalline et attire par conséquent des anions comme les cristaux de carbonate et les flocons d'hydroxyde de fer et d'aluminium. Par contre, les particules colloïdales d'origines animales, y compris les bactéries de charges négatives, sont repoussées. On comprend donc la raison pour laquelle un filtre à sable propre ne les élimine pas.

- *Adhérence* :A la maturation du filtre, les particules d'origine organique retenues à la surface du filtre et sur les grains pris individuellement dans la partie supérieure créent un terrain de prolifération d'organismes produisant un matériau visqueux connu sous le nom de "zooglee", composé de bactéries actives, de leurs déchets, de leurs cellules mortes et des matières organiques partiellement assimilées. La zooglee forme un film gélatineux, visqueux, collant à la surface de la " membrane biologique " et des grains de sable, film sur lequel les particules provenant de l'eau adhèrent. Elles sont assimilées et deviennent une partie du film de la zooglee [17].

I.7.4.3.3. Mécanisme de purification

Le mécanisme de purification s'effectue en deux processus :

- Oxydation biologique (microbiologique)
- Oxydation chimique.

Au sein de la "membrane biologique" les bactéries foisonnent sélectivement en se nourrissant de matières organiques déposées. Elles oxydent une partie de leur nourriture pour obtenir l'énergie nécessaire à leur métabolisme (désassimilation), transforment une partie de cette nourriture en matériel cellulaire nécessaire à leur croissance (assimilation). Ainsi, les substances organiques mortes sont elles converties en matières vivantes. Les produits de désassimilation sont entraînés par l'eau et serviront à plus grande profondeur à d'autres organismes. L'activité bactérienne décroît à mesure qu'on va en profondeur, due à la rareté des matières organiques (nourriture). A plus de 30 à 40 cm de profondeur, il se passe des activités biochimiques qui transforment les produits de dégradations microbiologiques, les amino-acides par exemple en ammoniac, nitrites, nitrates (nitrification). Ces produits de nitrification sont ensuite dégradés par l'oxygène dissous. Ainsi, la totalité des matières organiques dégradables présentes dans l'eau brute est progressivement désagrégée et convertie en eau, dioxyde de carbone et sels minéraux simples (minéralisation).

Dans un filtre lent, fourmillent à chaque profondeur des bactéries spécifiques avec effets bien donnés. Une variation soudaine de la vitesse ou de la charge d'eau tend à rompre cet équilibre et par conséquent à détériorer la qualité du filtrat. Si la teneur en oxygène est voisine de 0, il se produit une décomposition anaérobie engendrant la production de H_2S , NH_3 et d'autres substances génératrices de mauvais goûts et odeurs et aussi des sels de fer et de manganèse en solution. De faibles températures font tomber aussi l'activité des protozoaires et des nématodes qui dévorent les bactéries. Ainsi, le métabolisme (destruction) des bactéries intestinales se ralentit et leur chance de survie et d'être entraînées dans l'effluent, augmente. A plus fortes températures, les micro-organismes sécrètent des substances qui agissent comme des poisons sur ces bactéries intestinales. Il s'en suit une réduction du nombre des Eschiacari coli et surtout d'organismes pathogènes de 100 à 1000 fois.

I.7.4.4. Effet des algues

Sous l'influence, de la lumière solaire, les algues contenues dans l'eau surnageante des filtres prolifèrent en produisant de l'oxygène dissous et du matériel cellulaire selon la réaction :



L'énergie susmentionnée est fournie par oxydation des matières organiques. En période nocturne, c'est plutôt l'inverse de cette réaction qui se déroule, cause de déclin des algues.



La domination de la première ou de la deuxième réaction est fonction des temps d'ensoleillement, de la nature et de la quantité des algues dans l'eau brute, ainsi que de la quantité et de la nature des matières organiques qui y sont présentes :

- Un très grand développement de ces algues peut précipiter le colmatage du filtre
- Un très faible développement rend le milieu pauvre en oxygène dissous et donc propice à la formation de gaz indésirables comme le H₂S, le NH₃, le CO₂ et des substances comme l'éther. Un certain équilibre est donc nécessaire pour un meilleur rendement de l'épuration. [9, 17, 18]

I.7.4.5. Hydraulique de la filtration

Tous les processus (physiques, bactériologiques ou chimiques) qui interviennent dans l'épuration par filtration lente exigent pour un meilleur rendement des vitesses d'écoulement et des diamètres de grains faibles.

On désigne par U et on appelle vitesse de filtration le quotient du débit Q passant dans un filtre par la surface de ce filtre. Cette vitesse est effectivement la vitesse de l'eau dans la couche qui surmonte le matériau filtrant. Cette définition rappelle d'ailleurs la notion de vitesse ascensionnelle de l'eau dans les décanteurs. Elle n'a aucune réalité physique à l'intérieur de la masse filtrante où la vitesse moyenne réelle de l'eau est sa vitesse interstitielle, soient en début de filtration :

$$u_f = \frac{u}{f}$$

En appelant f la porosité initiale du milieu, et au cours de la filtration:

$$u_f = \frac{u}{f - \frac{q}{\rho}}$$

q Étant la masse des dépôts accumulés par unité de volume, et ρ la masse volumique de ces dépôts [18, 19].

La filtration sur sable est une des applications de l'écoulement de fluide au travers d'un milieu poreux, c'est un procédé de séparation qui retient les particules en suspension. Le sable utilisé en filtration est un matériau naturel, à base de silice, provenant de rivières, de gisements naturels, de dunes ou obtenu à partir de galets marins. Sa densité réelle est d'environ 2.5 à 2.7 [19].

I.7.5. Caractéristiques des matériaux filtrants

La nature des matériaux filtrants granulaires utilisés en traitement d'eau s'est largement diversifiée. On se reporte aux recommandations de la norme française NF X 11.507 pour effectuer les analyses granulométriques dans les meilleures conditions. Il s'agira de :

- Tamiser un échantillon représentatif du matériau à analyser successivement sur le tamis normalisés AFNOR n°X 11.501 et noter la masse retenue sur chaque tamis.
- Calculer, à partir des résultats, la masse de matériau qui a traversé chaque tamis (total du matériau retenu ou non sur tous les tamis de dimension inférieure à celui considéré) et l'exprimer en pourcentage de la masse de matériau utilisé pour l'analyse.

L'exploitation des résultats est faite sous forme de courbe représentant ces pourcentages en fonction des vides de maille de chaque tamis. La série de tamis utilisé pour la caractérisation de nos matériaux filtrants est ordonnée comme suit : 0.05, 0.063, 0.08, 0.1, 0.125, 0.16, 0.2, 0.315, 0.5, 0.8, 1, 1.25, 1.6, 2, 2.5 mm (voir l'annexe photo1) [20].

I.7.5.1. La taille effective (TE) :

Elle est exprimée en mm (ou μm), elle correspond à l'ouverture de maille laissant passer 10 % en poids de l'échantillon soumis à l'analyse. Elle donne une indication sur les particules les plus fines, qui se retrouveront dans la partie supérieure de la couche filtrante [38].

I.7.5.2. Le coefficient d'uniformité (CU) :

C'est le rapport entre deux diamètres apparents définis de telle sorte que la taille de 60% et respectivement 10% des particules soit inférieure. Soit d_{60} et d_{10} étant les valeurs lues en abscisse pour les points de la courbe granulométrique correspondant aux ordonnées de 60% et 10%.

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Ce coefficient donne une indication quant à l'homogénéité granulométrique de la masse filtrante. Un coefficient d'uniformité égal à 1 est représentatif d'un sable homogène. L'uniformité d'une courbe est alors généralement déterminée par rapport à la référence suivante :

$C_u < 2 \Rightarrow$ la granulométrie est dite uniforme.

$C_u > 2 \Rightarrow$ la granulométrie est dite variée [20].

En ce qui concerne La masse volumique, nous distinguons deux paramètres :

I.7.5.3. La masse volumique apparente : Cette grandeur définie par le rapport de la masse des éléments solides au volume total apparent du matériau, ce qui constitue un critère plus global de différenciation des matériaux : [20,21].

$$P_a = \frac{M_s}{V_{sa}} \left(\frac{g}{ml} \right)$$

On peut obtenir ce paramètre en divisant la masse d'un matériau solide versé dans une éprouvette sur la valeur de son volume lu.

I.7.5.4. La masse volumique réelle :

Elle est déterminée par la masse des grains solides M_s rapportée à leur volume réel V_s : [20,21].

$$P_r = \frac{M_s}{V_{sr}} \left(\frac{g}{ml} \right)$$

Pour mesurer cette grandeur on pèse une masse du matériau solide, puis introduit dans une éprouvette contenant un volume d'eau. la masse volumique est obtenue en divisant sa masse sur la soustraction de la valeur du volume d'eau du volume totale :

$$V_{sf} = V_t - V_e$$

I.7.5.5. La porosité :

C'est le rapport entre le volume des pores V_p et le volume total V_t

$$V_t = V_p + V_s$$

Où V_s est le volume du squelette solide. On peut estimer la valeur de la porosité en fonction de la densité réelle et la densité apparente par la formule : [22].

$$n = \frac{V_p}{V_t}$$

$$n\% = \left(1 - \frac{P_a}{P_r} \right)$$

P_a : la masse volumique apparente et P_r : la masse volumique réelle

I.7.5.6. Le pH d'un matériau filtrant :

Il rend compte de sa teneur en ions H^+ . Sa mesure est effectuée sur un extrait du matériau filtrant avec de l'eau distillée; de rapport 1/10 [23, 24].

I.7.5.7. La conductivité électrique :

Elle représente l'aptitude d'une solution aqueuse pour conduire un courant électrique (Cette aptitude dépend de la teneur en sel d'un matériau filtrant), elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre, selon les normes AFES (AFES 1995), sur un extrait du matériau filtrant (de même façon que le pH) [22, 24].

II.1.Introduction

La région de Ouargla connaît divers problèmes liés à l'eau et notamment les rejets : ceux –ci entraînent une pollution ayant des effets sur la faune et la flore et la santé de l'homme .Afin d'évaluer la gravité de cette pollution, nous nous sommes proposés d'en étudier une partie relative aux polluants organiques. La ville de Ouargla a été choisie comme la région d'étude.

II.2. Le choix des composés étudiés

La tâche de cette partie du travail était de vérifier la nécessité de cibler les hydrocarbures pour faire notre étude.

En préambule, il est important de souligner que ces composés doivent être présents dans les milieux pris en compte (les eaux usées) à des teneurs compatibles avec l'analyse par les méthodes disponibles, et que leur choix doit être pertinent avec les questions environnementales qui se posent.

Ce choix est un véritable défi au vu du très large spectre des composés et du manque de moyen d'analyse. De plus, ce choix est difficile et ce pour plusieurs raisons. Parmi celles-ci, on peut citer la faiblesse des concentrations en contaminants organiques ou inorganiques. D'après une recherche bibliographique et une enquête, qui ont été réalisées par nos soins, nous avons sélectionné les hydrocarbures répondant aux critères résumés dans le Tableau (4).

Tableau (4): Critères pertinents justifiant les contaminants
à sélectionner [25,26].

La Communauté Européenne et les Etats-Unis (via l'Environmental Protection Agency EPA) ont classé comme polluants prioritaires 16 HAP formés de 2 à 6 cycles [26]
Concentrations significatives dans les rejets des eaux usées de stations de lavage [27]
Accumulé ou bioamplifié dans la chaîne trophique [26]
Présence d'effets toxiques (niveau moléculaire, organisme, population) [26]
Persistance dans l'environnement [26]
Sources urbaines importantes [27]
Sujet d'actualité pour l'Algérie
Faisabilité de l'échantillonnage et de l'analyse (analyse gravimétrique, IR, UV...)
Sujet à une importante production/utilisation/flux de rejet dans l'environnement
Données rares ou inexistantes
Accroissement des concentrations (Hydrocarbures)

II.3. Le choix des sites d'étude

Le choix des sites d'étude est orienté par :

1^{ère} étape: Une recherche bibliographique

Une recherche bibliographique sur les sources possibles de la contamination par les hydrocarbures. Les résultats de cette recherche sont regroupés dans le tableau (5):

Tableau (5): les sources possibles de la contamination par les hydrocarbures [26].

<i>Sources naturelles</i>	<i>Sources anthropiques</i>
-Pétrole brut	-raffinage du pétrole
-Combustibles fossiles	-la distillation du goudron de charbon
-Eruptions volcaniques	-la combustion du charbon
-les feux de forêt	-le fioul, dans l'essence
-synthétisé par les plantes, les bactéries et les algues.	-les échappements d'automobiles
	-l'utilisation des huiles d'imprégnation pour le traitement du bois
	-la préparation de l'asphalte pour les revêtements routiers
	-la combustion de déchets pneumatiques.
	-échappements des machines à moteurs thermique
	-La combustion les huiles moteur
	-Polymères (matières plastiques, fibres synthétiques (Nylon)),
	-Solvants (peintures, colles,...),
	-Engrais, pesticides
	-Produits pharmaceutiques
	-Détergents et détachants, produits d'hygiène et cosmétiques

Les résultats de cette recherche bibliographique nous ont orientés vers les sites industriels qui effectuent des rejets d'eaux usées chargées par les matières organiques de mauvaise biodégradabilité comprenant entre autres les hydrocarbures.

2^{ème} étape: Une enquête

Les résultats de la recherche bibliographique sont extrapolés sur une liste des industries inventoriées par la direction de l'industrie (tableau 6) :

Tableau (6): Quelques industries de la ville de Ouargla
(d'après la direction de l'industrie de la Wilaya de Ouargla).

<i>N°</i>	<i>Activité</i>	<i>N°</i>	<i>Activité</i>
1	Fabrication des moules en béton	14-15	02 Torrifications
2	Transformation du plastique	16	Vente des véhicules et maintenance
3	Fabrication du carrelage	17	Traitement et commercialisation des dattes
4	Production de l'acétylène et O ₂ et N ₂	18-23	06 Stations d'enrobage carrière d'agrégat
5	Production du pétrole	24	Transformateurs PCB (station de lavage et graissage)
6	Nettoyage et hygiène	25	Dépôts explosifs
7	Abattoir décharge PCB	26	Production de farine
8	Matériaux de construction	27	Transformateurs PCB
9	Confiserie d'olive et huilerie	28-30	03 Vente carburant
10	Briqueterie	31-38	08 Stations service
11-13	03 Stations de lavage et graissage	39-48	10 Stations lavage

3^{ème} étape: Des travaux antérieurs :

en plus les résultats de la recherche bibliographique et l'enquête, on a basé pour faire le choix des sites d'étude sur des travaux expérimentaux qui ont été réalisés par nos soins pour but caractériser les effluents de quelques sites industriels de la ville de Ouargla et qui ont montré que les stations de lavage ont les effluents les plus chargés par les matières organiques peu biodégradables [27].

D'après les résultats de la recherche bibliographique et de l'enquête et des travaux antérieurs, nous avons prés certaines stations de lavage pour réaliser notre étude.

II.4. Présentation de la région d'étude

II.4.1. Présentation générale

Ouargla est l'une des plus vieilles villes sahariennes d'Algérie et le chef lieu d'une immense wilaya du sud (Wilaya d'Ouargla). Elle est aussi une destination touristique et l'un des pôles économiques des plus importants du pays en raison de la présence des champs pétroliers de Hassi-Messaoud et autres importants gisements. C'est également une wilaya à vocation agropastorale, jouissant de grandes potentialités agricoles [28].

II.4.2. Situation géographique et administrative

La wilaya de Ouargla située au Sud-est de l'Algérie, distante de la capitale de 800 km, elle couvre plus de 163 233 km², est limitée :

- Au Nord Ouest la Wilaya de Djelfa et Nord Est, la Wilaya d'El oued.
- A l'Est, la Wilaya d'El oued et la frontière Algéro –Tunisienne.
- Au sud Est, la Wilaya de d'Illizi et au Sud Ouest, la wilaya de Tamanrasset.
- A l'Ouest, la Wilaya de Ghardaïa.

Elle est située dans le prolongement de l'exutoire naturel du grand bassin versant du Sahara septentrional. La cuvette est limitée au nord par l'Atlas Saharien et au sud par le plateau de Tadmait, à l'est et à l'ouest par les ergs oriental et occidental.

Les coordonnées géographiques de la région sont :

Altitude moyenne: 134 m

Latitude: 31° 58' Nord.

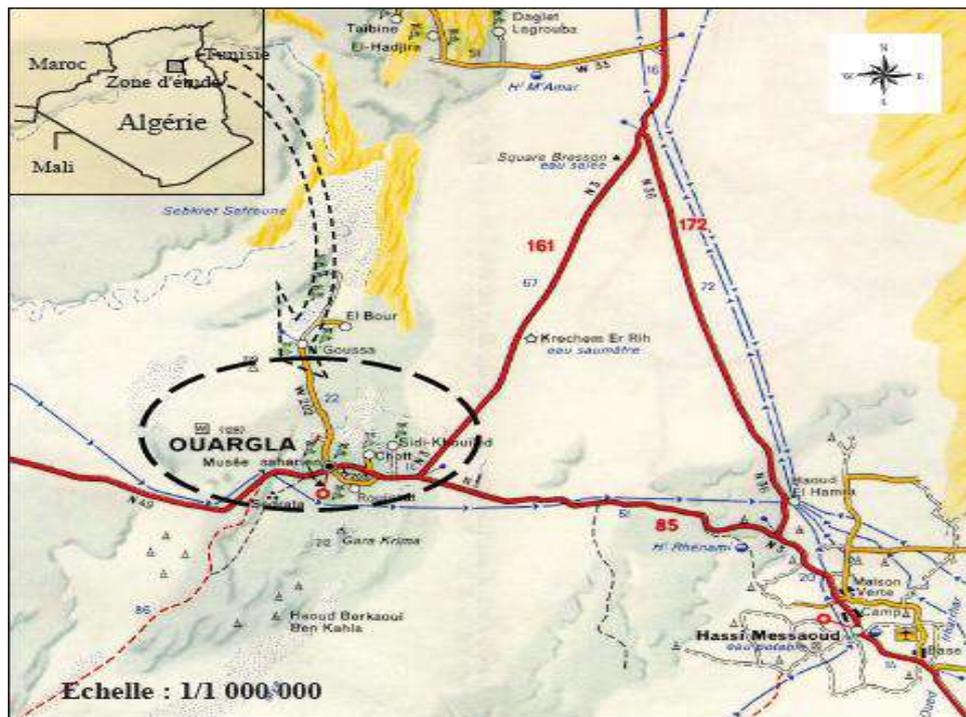
Longitude : 5° 20' Est [28].

Elle comprend plusieurs municipalités. La plus importante est la commune de Ouargla, les autres agglomérations sont Rouissat, Aïn Beïda, Sidi Khouiled et N'Goussa. L'agglomération de Ouargla comprend Ouargla, Rouissat et Aïn Beïda qui forment une seule unité urbaine. Sidi Khouiled est situé à l'est de Ouargla et N'Goussa se trouve à 22 km au nord de Ouargla sur la route W202 [28].

II.4.3. Milieu physique

II.4.3.1. Présentation climatique

La région de Ouargla (région aride) est caractérisée par un climat de type saharien avec des températures élevées, une faible pluviométrie et une forte évaporation [28].



Légende :

	Plateau		Dunes de sable
	Sebka et Chott		Champs de pétrole ou de gaz
	Palmeraie		Lit d'oued
	Route principale		Oléoduc, gazoduc

Figure (6): Carte de situation de la grande ville de Ouargla [28].

La température moyenne maximale du mois le plus chaud est en Juillet avec une valeur de 43.54 °C, et la minimale est en Janvier avec une valeur de 4.825 °C.

En outre, ses précipitations sont très faibles qui n'atteignent pas les 39.15 mm en moyenne par an. Les vents sont très fréquents et peuvent souffler durant 50 jours au printemps,

provoquant ainsi des problèmes d'ensablement ; les plus dominants ont une direction Nord-Nord-Est et Sud-Sud-Est. La vitesse moyenne annuelle des vents est de 3.755 m/s.

La ville de Ouargla reçoit les radiations solaires d'une durée d'ensoleillement moyenne maximale de l'ordre de 336.4 heures en Août et une moyenne minimale de 199 heures en Décembre. Ce qui conduit à une évaporation de l'eau de l'ordre de 3398.6 mm/ an.

L'humidité de l'air moyenne minimale est de 25 % en juillet et de 61 % en décembre. Ces données climatiques de la ville de Ouargla sont prélevées d'une étude statistique préparée par l'Office National de Météorologie pour les années de 1998 à 2009 [28].

III.4.3.2.Géologie

La vallée de Ouargla est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène. Il s'agit de sables rouges et de grès tendres à stratifications entrecroisées, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l'on voit affleurer sur ses bords Est et Ouest. Au-dessous du fond de la vallée. [28].

III.4.3.3.Géomorphologie

La région de Ouargla est caractérisée par :

- La formation dunaire composée de sables fins à des hauteurs qui peuvent atteindre 150 m et occupant la plus grande partie de la région.
- Les terrains du chott et sebkhas qui représentent les zones basses de la cuvette. Ces dernières sont formés sable et de grandes quantité de sels et elles couvrent une superficie de plus de 4 000 hectares.
- Les zones correspondant aux dépôts alluviaux destinées à la culture des palmeraies [28].

III.4.3.4.Ressources en eaux souterraines

A Ouargla, comme dans la plupart des oasis du Sahara, les seules ressources hydriques disponibles sont d'origine souterraine. Les formations géologiques de la région de Ouargla contiennent deux grands ensembles de formations aquifères séparés par d'épaisses séries évaporitiques ou argileuses: de la base du crétacé supérieur l'ensemble inférieur appelé le Continental Intercalaire (CI) ou "Albien", et l'ensemble supérieur appelée le Complexe Terminal (CT). Une troisième formation, d'importance plus modeste, s'ajoute aux deux précédentes: la nappe superficielle (phréatique), son niveau est souvent proche de la surface (parfois moins de 1 mètre, voir même elle affleure le sol en hiver dans certains points),

généralement entre 1 et 2 m, mais qui peut dépasser 18 m au Sud de Ouargla ou sous les reliefs. Cette nappe circule dans les sables dunaires et les alluvions de l'oued Mya. Elle couvre pratiquement toute la cuvette de Ouargla [28].

La répartition de la ressource en eau mobilisée

Cette ressource est répartie en eaux :

- Irrigation : 971.25Hm³/an soit 85.46%.
- potable : 14.80Hm³/an soit 12.91%.
- Industrie et divers : 18.48 Hm³/an soit 1.63%.

L'alimentation en eau potable est assurée par 117 forages en exploitation débitant 250.819 m³/ jour pour une dotation moyenne de 468l/j/hab.

La desserte s'effectue à partir de 74 ouvrages dont 64 châteaux d'eau d'une capacité totale de stockage de 48.305 m³ et un réseau linéaire de 2 047,8 km dont 225,6 km en réseau d'adduction avec un taux de couverture de 98% [28].

II.4.4.Les eaux de rejet dans la ville de Ouargla

II.4.4.1.L'assainissement agricole et ses problèmes

Les palmeraies de la « Cuvette » existent depuis plus d'un millénaire, essentiellement grâce au fameux puits artésiens d'Ain Sfa de l'ancienne cité de Sédrata. Et elles ont connu une extension maximum vers 1958 (année de la réalisation du premier forage Albien).

Ce développement s'est poursuivi avec le début du pompage de la nappe Mio-pléocène en 1962. Toutefois les premiers travaux de drainage se situent entre 1949 et 1952.

Ce n'est qu'en 1949 qu'un effort systématique d'assainissement fut entrepris pour lutter contre le paludisme, il a été construit un véritable réseau de drains aboutissant dans le chott vers la zone déprimée du pied du baten.

Actuellement, le réseau de drainage s'étend sur une longueur totale d'environ 80 km. Un canal collecteur à ciel ouvert, d'une longueur égale à 10,5 km traverse la sebkha de Bamendil ainsi que toute la partie Nord de Ouargla. Créant une ceinture de clôture à l'ancienne palmeraie de Ouargla, ce drain n'a pas été réalisé suivant les normes requises puisque l'étude propose une largeur de drain à 12 m et non pas à 6 m, comme c'est le cas actuellement.

Les études et les observations faites sur l'état actuel des réseaux de drainage, montrent que la majeure partie des canaux sont inefficaces et à faible capacité d'évacuation des eaux excédentaires de l'intérieur des palmeraies à cause de sa mauvaise réalisation et organisation et aussi le manque de son entretien. Et la position topographique qu'occupent certaines palmeraies [28].

II.4.4.2.L'assainissement urbain

a. Réseau d'assainissement

Le réseau d'assainissement urbain de la ville de Ouargla couvre actuellement les trois communes : Ouargla, Rouissat et Ain Beïda. Il repose sur 66 stations de pompage (relevage et refoulement). On distingue deux types d'assainissement, la majorité des citoyens sont branchés au réseau d'égout, mais il existe aussi des réseaux d'assainissement selon le mode autonome.

Le taux de raccordement au réseau public pour les trois communes concernées est reparti comme suit :

- 70 % pour Ouargla,
- 50 % pour Rouissant,
- 80 % pour Ain Beïda.

Le réseau d'assainissement de la ville s'étend sur une longueur de 120 km, dont les diamètres varient de 200 mm pour les canalisations secondaires à 1800 mm pour les collecteurs principaux [28].

b. Localisation des points de rejet

Le premier schéma directeur d'assainissement de la ville de Ouargla propose de faire canaliser les eaux usées vers la station d'épuration d'où elles sont évacuées vers un seul point de rejet (le chott de Ain Beïda). Le développement de la population, qui n'a pas suivi l'évolution prévue dans l'étude du schéma d'assainissement, a engendré l'augmentation du débit rejeté. De plus, l'absence d'une gestion permanente du système d'assainissement (dysfonctionnement de la station d'épuration et les arrêts très fréquents des pompes) a imposé la modification de ce plan par la création de plusieurs points de rejet tout au long du canal. Celui-ci est composé de deux parties, l'ancienne partie qui se trouve à Ain Beïda, réalisée

depuis 1983 où l'on trouve les points de rejet de Ain Beida, Ouargla, Chott (1992) et Saïd Otba (1993). La deuxième partie, dont les travaux d'exécution ont commencé en 1991 à partir de Chott jusqu'à Haï El Nasr en passant par Bamendil, avec une longueur de 10,5 km et une pente de 1 ‰. La création, en 1992, du point de rejet de Bamendil, a vu le raccordement des effluents de Bamendil village et Bouameur respectivement en 1998 et 2000. En 1992, le bassin de décantation de Haï El Nasr a été réalisé avant l'achèvement du canal. Enfin, le point de rejet de la route de Ghardaïa a été créé en 1998 [28].

Actuellement, les eaux usées brutes sont orientées vers une station d'épuration par lagunage par refoulement, et subissent les différents traitements conventionnels d'un effluent urbain. La station de lagunage D4 Ouargla, mise en service en 2009. Elle se situe au Nord de Saïd Otba. Les eaux usées à traiter arrivent à la station d'épuration par l'intermédiaire de cinq stations de refoulement, qui amènent les eaux usées des stations de pompage nœud hydraulique de Chott, de sidi Khouiled; de la nouvelle station de pompage Caserne/Hôpital, de la station de pompage Douane, et de la route N'Goussa. Les eaux épurées sont évacuées par gravité vers le canal de transfert vers Sebkhata Safioune (S.T.E.P.Ouargla, 2009).

c. Impact des eaux usées surtout industrielles sur le milieu naturel

Le réseau d'assainissement de la ville de Ouargla a un rôle de transporteur des eaux usées brutes d'une partie de la ville de Ouargla vers le point de rejet Sebkhata Safioune, avec tous les risques sanitaires possibles.

Les eaux usées qui sont rejetées s'infiltrent et regagnent la nappe phréatique avec toutes les conséquences que cela peut engendrer. Dans ce centre urbain, on assiste à une concentration humaine de plus en plus importante due à une croissance démographique globale d'une part et à un exode rural d'autre part. A ceci s'ajoute une activité économique (industrie, artisanat,.....) qui engendre une augmentation de la demande en eau pour les différents usages, d'où des rejets de plus en plus grands en rapport avec l'intensité d'utilisation.

Les eaux usées résiduelles de la ville de Ouargla ont une certaine spécificité, car elles proviennent d'un hôpital, d'un abattoir, des stations de lavage, des petites industries dont la plupart est localisée dans la zone industrielle comme l'abattoir par exemple. Et leurs eaux usées sont rejetées dans le réseau d'assainissement sans aucun traitement.

II.5. La présentation des sites d'étude (stations de lavage)

II.5.1. L'activité principale

Le secteur d'activité lavage des véhicules regroupe les activités de vidange des huiles brûlées et de lavage intérieur et extérieur des véhicules qu'ils s'agissent de voitures, de camion ou de citerne. Le nettoyage des véhicules s'effectue directement sur site pour les entreprises de transport, dans des stations de lavage ou par des sociétés spécialisées pour les camions citernes. La qualité et le débit des eaux de lavage sont très variables. Ces eaux sont chargées de produits divers : matières premières ou liqueurs de fabrication, hydrocarbures et huiles de machines, produits détergents, bactéricides ou bactériostatiques utilisés en désinfection. La production et le degré de pollution de ces effluents résiduaires sont souvent importants à la fin de la période de travail et au cours des nettoyages de fin de semaine et des périodes de congés. Il ne faut pas oublier que certains de ces **rejets** sont **occasionnels**, et peuvent correspondre, par exemple, à des fuites accidentelles de produits lors de leur manutention ou de leur stockage [14, 29]



Figure (7): photo d'une station de lavage

II.5. 2. Les rejets, déchets et produits dangereux de l'activité

- **Stockage et transvasement de détergent** : L'opération de stockage et de transvasement de détergent (dangereux), de solvant et de produit de traitement (sel adoucissement dangereux) présente un risque de rejet accidentel.

- **Traitement de l'eau** : Une eau dure contient des sels de magnésium et de calcium entraînant un risque d'entartrage et une consommation plus importante de détergent et d'énergie. Afin d'éviter cette surconsommation, l'eau alimentant les stations de lavage est traitée.

Les différents types de traitements existant sont : l'adoucissement : échange d'ions, système électromagnétique (lutte contre la solidification du calcaire), la décarbonatation couplée avec un adoucissement (système de résine carboxylique), les stations de déminéralisations : osmose inverse. Le système de traitement utilisé dans la grande majorité des cas est l'adoucissement, il est peu coûteux et facile à mettre en œuvre. Cette opération produit un rejet chargé en Calcium, en Magnésium, en Sodium et en métaux (fer notamment).

- **Lavage extérieur de véhicules au jet haute pression** : Le lavage extérieur au jet haute pression concerne le lavage des véhicules légers et des camions sur des stations de lavage ou sur le site des sociétés de transport avec détergent dans la majorité des cas ou sans détergent lorsqu'il s'agit juste d'un rinçage. Le rejet de cette opération est chargé en MES, Hydrocarbures et Détergent (si utilisation de détergent).

- **Lavage extérieur de véhicules au rouleau** : Le lavage extérieur au rouleau ou portique concerne le lavage des véhicules légers et des camions sur des stations de lavages ou sur le site des sociétés de transport. Le rejet de cette opération est chargé par MES, Hydrocarbures et Détergent.

- **Lavage intérieur de camion au jet** : L'intérieur des camions de transports de marchandises alimentaires est nettoyé tous les jours avec un jet d'eau mélangée avec du détergent.

Une centrale de dosage est généralement placée en amont du jet d'eau dans les entreprises de nettoyage spécialisées, mais beaucoup plus rarement chez dans les autres cas (poissonnier nettoyant au jet d'eau seul ou avec un dosage des détergents au jugé par exemple). Les eaux rejetées sont chargées par MES, détergent et graisse.

- **Lavage intérieur de camion citerne** : Les industries chimiques et agroalimentaires ne peuvent garantir à leurs clients la qualité des produits livrés sans nettoyage de leurs citernes avant chaque chargement. Ce type de nettoyage s'effectue dans des stations de lavage spécialisées faisant appel à différentes méthodes de lavage : nettoyage eau, vapeur, détergent, solvant ...etc. La qualité des eaux rejetées est Variable en fonction du produit transporté, le rejet est chargé par les MES et détergent. Le tableau (6) résume les activités des stations de lavage et leur rejet [29,30].

Tableau (7) : Les rejets des activités des stations de lavage [30].

<i>Rejets de l'activité</i>	<i>Caractéristiques de rejets</i>
Transvasement et stockage : rejet accidentel de produit.	hydrocarbures et détergents
Traitement de l'eau : rejet de régénération	Calcium, Magnésium, sodium et en métaux (fer notamment).
Lavage extérieur : rouleau	MES, hydrocarbures et détergents
Lavage extérieur : jet haute pression	
Lavage intérieur au jet (camions réfrigérés)	MES, hydrocarbures, détergents, DCO, SEH
Lavage intérieur de citerne	Chargé en MES, détergents, en DCO, graisse, sels ou métaux selon l'activité.
La vidange des huiles	hydrocarbures

II.6. Localisation de sites d'étude dans la ville de Ouargla

Dans le présent travail, nous avons choisis quatre stations de lavage à des endroits différents dans la ville de Ouargla et qui sont indexés selon le tableau (8) :

Tableau (8): Les sites d'étude sélectionnés.

<i>Symbole</i>	<i>Le site</i>	<i>Locale</i>
St1	Station de lavage1	Cité Bouzid
St2	Station de lavage2	Beni Thour
St3	Station de lavage3	A coté de la SNTV
St4	Station de lavage 4	Mekhadema

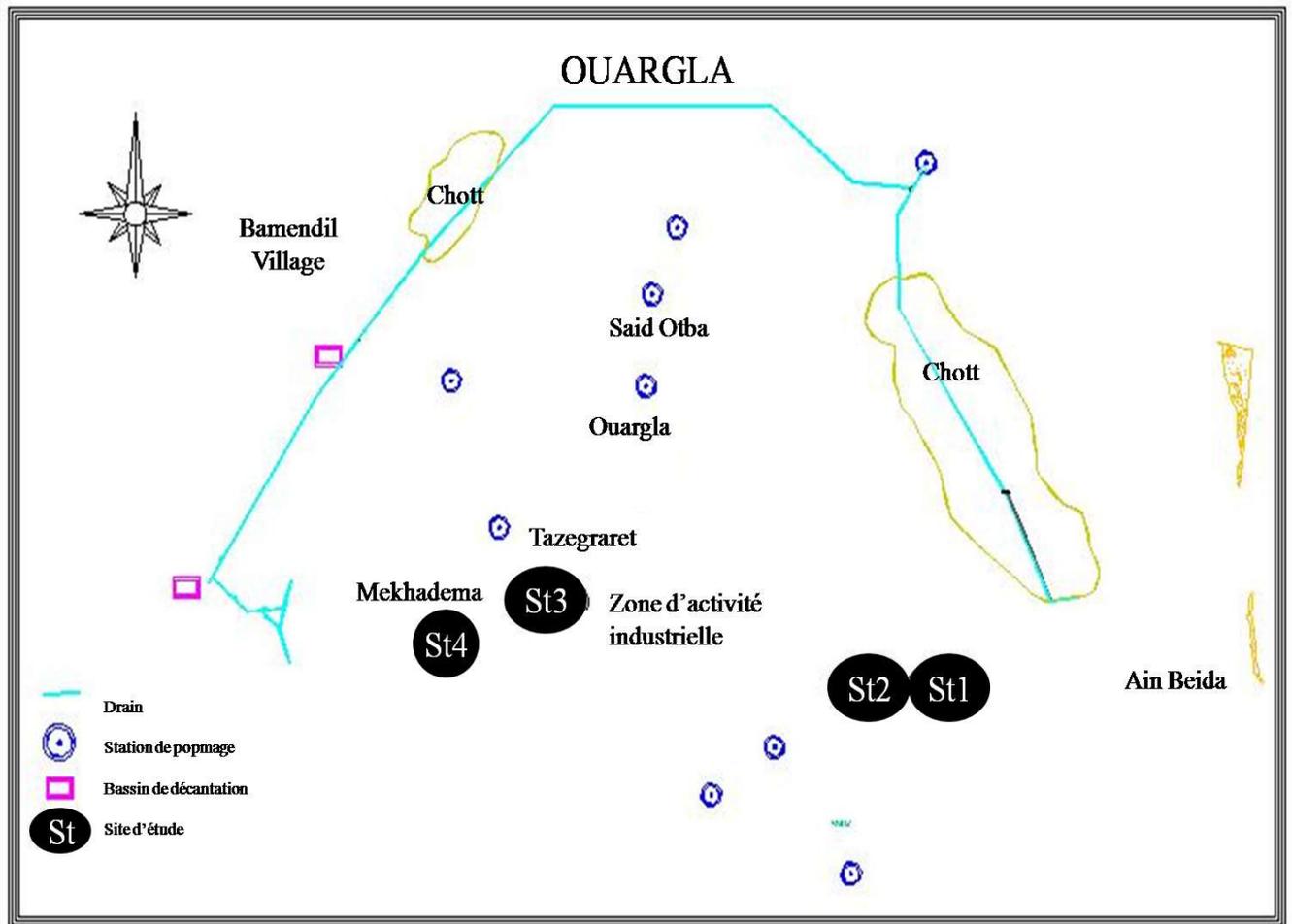


Figure (8): Localisation de sites d'étude dans la ville de Ouargla.

Les quatre sites d'étude choisis sont localisés dans la ville de Ouargla (Figure 8). Sa population est de 100.693 habitants (estimée en 2006), il regroupe les quartiers de : Beni Thour, Sidi Boughoufala, Sidi Amrane, une partie de Mekhadma, Centre Ville, Gara Nord, Tazegrarte, une partie de Gherbouz et la partie Sud du Ksar.

Les effluents de la station de pompage de la Douane (qui regroupe les eaux usées des stations de Souk Essebt et cité Bouzid) et ceux de la nouvelle station de Caserne/Hôpital arrivent à la station d'épuration par lagunage. Les eaux épurées sont évacuées par gravité vers le canal de transfert vers Sebkhata safioune (S.T.E.P.Ouargla, 2009).

Le Site (1) : C'est une station de lavage pourvue de deux salles de lavage. Elle se situe à la cité Bouzid. Elle est alimentée par les eaux potables de forage de Beni Thor à des pH et conductivité de 7.7 et 3580 $\mu\text{s/cm}$ respectivement (Algérienne des eaux 2010).

Le Site (2) : C'est une station de lavage pourvue de deux salles de lavage. Elle se situe à la cité Beni Thor, et alimentée par les eaux potables de son forage à des pH et conductivité de 7.7 et 3580 $\mu\text{s/cm}$ respectivement (Algérienne des eaux 2010)..

Le site (3) : C'est une station de lavage pourvue de deux salles de lavage. Elle se situe à coté de la SNTV, et alimentée par les eaux potables du complexe Mekhadma à des pH et conductivité de 7.59 et 2770 $\mu\text{s/cm}$ respectivement (Algérienne des eaux 2010).

Le site (4) : C'est une station de lavage pourvue de deux salles de lavage. Elle se situe à la cité Mekhdema, et alimentée par les eaux potables du complexe Mekhadma à des pH et conductivité de 7.59 et 2770 $\mu\text{s/cm}$ respectivement (Algérienne des eaux 2010)..

II.7.L'enquête entreprise dans ce travail

Dans le but de cerner :

- *Composés chimiques :*
 - Les polluants à caractériser ;
 - Les étalons pour le traitement.
- *Période et moments de prélèvement :*
 - Heure ;
 - Saison.
- *Un protocole de traitement :*
 - *Bon rendement ;*
 - *Rentable*

Nous avons préparé et distribué un questionnaire (voir l'annexe) pour collecter les informations nécessaires à notre travail. Les résultats de ce questionnaire sont regroupés dans le tableau (9).

Tableau (9) : récapitulatif des résultats de l'enquête.

Type de véhicule	Transport de voyageurs, des produits alimentaires, des animaux
Service présenté	Lavage, vidange
Type de carbure	Gasoil
Type d'huile plus utilisée	SAE40 , 20W50,15W40, SAE90, 10W40, 20W40, 5W40
Ouvrage de traitement (voir l'annexe)	Il n'existe pas un ouvrage de traitement sauf dans des cas rares, et la méthode utilisée n'est pas vraiment efficace surtout avec des grandes quantités des hydrocarbures
L'activité pendant :	
La journée	Matin et surtout à midi
Semaine	Fin de la semaine
Saison	toutes

III.1. Analyse quantitative et semi-quantitative**III.1.1. Introduction**

Le traitement efficace d'un rejet liquide nécessite, au préalable, une bonne connaissance de la quantité, la qualité et les variations temporelles de la composition de l'effluent.

Dans le processus de l'identification des eaux résiduaires, la caractérisation physico-chimique est incontournable si on espère définir avec bonne qualité, les caractéristiques d'un procédé de traitement. En outre, la connaissance de certains paramètres physico-chimiques donne une appréciation préliminaire de la qualité et le degré de la pollution d'une eau [9]

Nous présentons dans cette partie de chapitre :

- la caractérisation de la pollution surtout organique (DCO, DBO5, MO...HCT.....) des rejets de quatre stations de lavage de la ville de Ouargla et l'étude de leur nocivité et effets sur le milieu naturel ;
- l'évaluation quantitative de la pollution de ces rejets, car la lutte contre la pollution de ses sites passe obligatoirement, dans un premier stade, par une meilleure connaissance, par la mesure et le contrôle, de la production polluante [14].

Cette partie de chapitre présente plusieurs éléments de discussion tels que :

- **Interprétation spatiale**

Cet examen tentera d'éclairer la variabilité de l'état de pollution durant la période de travail et la représentativité des stations d'échantillonnage pour chaque site de surveillance.

- **Interprétation temporelle**

Pour chaque paramètre, nous choisirons quelques sites caractéristiques pour tenter de dégager une évolution temporelle des niveaux de pollution rencontrés sur l'ensemble du travail.

III.1.2. Mode de prélèvement et de conservation

Compte tenu de la diversité de la nature des eaux usées ainsi que des systèmes de transfert et de dilution, il est difficile de définir une technique de prélèvement satisfaisante en toutes circonstances. Le but à atteindre consiste essentiellement à obtenir des prélèvements représentatifs du rejet et du milieu récepteur.

Les prélèvements sont effectués dans des flacons bien propres en polyéthylène ou en verre borosilicaté, rincés au moment de l'emploi avec l'eau à examiner. Les récipients sont remplis complètement.

Les échantillons soigneusement étiquetés sont transportés jusqu'au laboratoire dans un laps de temps ne dépassant pas 24 heures. Toutefois, un certain nombre de mesures sont effectuées sur place: la température et le pH. En ce qui concerne les matières en suspension, leur mesure doit intervenir dans les 6 heures qui suivent le prélèvement [11].

Les hydrocarbures (les huiles et les graisses) ayant tendance à être réparties en surface, il est indispensable de prélever des échantillons représentatifs en minimum volume de 1 L dans des récipients soigneusement dégraissés et incomplètement remplis. Étant donné les altérations d'origine microbienne, une acidification par quelques millilitres d'acide chlorhydrique ou acide sulfurique concentrés (environ 4 ml par litre d'échantillon) à $\text{pH} < 2$, facilite la conservation. L'échantillon est conservé à environ 4 °C. Le délai de conservation entre le prélèvement et l'analyse ne doit pas excéder un mois [11].

Nous avons prélevé les eaux usées des sites étudiés à 05 périodes différentes : Juin, Octobre et Novembre –Décembre 2010, Mars 2013 et Juin 2015 manuellement selon la procédure décrite ci-dessus

III.1.3. Matériels et méthodes

Les différentes analyses physico-chimiques des eaux usées industrielles de la région d'étude ont été effectuées au laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques (université de Ouargla). Pour les échantillons des eaux usées prélevées de nos 4 sites étudiés nous avons déterminés, selon la norme AFNOR et ISO, les paramètres suivants:

III.1.3.1. Les paramètres physico-chimiques

a. La température

Il est primordial de connaître la température d'une eau. En effet, elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, et la détermination du pH.

Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau [9, 11].

Nous avons déterminé la température en même temps que le pH à l'aide d'un pH -mètre.

b. Le pH

Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. La valeur du pH peut altérer la croissance et la reproduction des micro-organismes existants dans une eau. La plupart des bactéries peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9, l'optimum est situé entre 6,5 et 8,5, des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et survie des micro-organismes aquatiques selon l'organisation Mondiale de la Santé (OMS) [9, 11].

c. La conductivité électrique (CE) et la salinité

La mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...). Les matières organiques et colloïdales n'ont que peu de conductivité. Dans les eaux résiduaires cette mesure ne donnera pas forcément une idée immédiate de la charge du milieu. Elle est plus importante lorsque la température de l'eau augmente. La conductivité électrique d'une eau usée dépend essentiellement de la qualité de l'eau potable utilisée et du régime alimentaire de la population et des activités industrielles [9, 11]. La mesure de la CE a été faite à l'aide de deux conductimètres.

La conductivité d'un liquide dépend largement de la température. Cette dernière sera relevée très exactement au cours de la mesure. En dehors de 25°C, effectuer une correction de la conductivité électrique mesurée à T°C d'après la formule :

$$CE_{25^{\circ}\text{C}} = CE_T \times f$$

CE_T : Conductivité obtenue à la température lue sur le thermomètre.

f est donné par le tableau spécial (voir l'annexe tableau1) [7, 11].

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité. La minéralisation globale d'une eau peut être calculée à partir des relations empiriques (voir l'annexe tableau2) [7,11].

d. La matière en suspension

La pollution d'une eau peut être associée à la présence d'objets flottants, de matières grossières et de particules en suspension. Cette pollution particulière est à l'origine de nombreux

problèmes comme ceux liés au dépôt de matières, à leur capacité d'adsorption physico-chimique ou aux phénomènes de détérioration du matériel (bouchage, abrasion, ...).

Leur principal effet est de troubler l'eau, diminuant ainsi le rayonnement lumineux indispensable pour une bonne croissance des végétaux au fond des cours d'eau : c'est la turbidité [2], elle s'effectue par filtration. L'eau est filtrée, le poids de matière retenue par le filtre est déterminé par pesée différentielle (norme EN 872:1996). Sa valeur est donnée par l'expression :

$$\text{MES (mg/l)} = (b-a) \times 1000 / V$$

b: est la masse du papier filtre après filtration en mg.

a: la masse du papier filtre avant filtration en mg.

V: est le volume de l'échantillon en ml (voir l'annexe photo2) [14]

III.1.3.2. Les matières organiques

a. La demande biologique en oxygène à 5 jours (DBO₅)

La DBO correspond à l'oxygène qui a été utilisé par des bactéries aérobies pour détruire ou dégrader biochimiquement les matières organiques biodégradables présentes dans l'eau. Cette mesure traduit donc indirectement la fraction biodégradable dans l'eau et représente assez fidèlement le processus de dégradation naturel.

Les transformations des matières organiques s'effectuent en deux stades :

- le 1er stade, et durant les cinq premiers jours se rapportant aux composés carbonés,
- le 2ème stade, se rapportant aux composés azotés, ne commence qu'au bout du cinquième au vingtième jour, ce deuxième stade est généralement décalé dans le temps, du fait que la nitrification ne peut intervenir qu'après une dégradation avancée des substrats carbonés.

C'est pourquoi, il est convenu d'évaluer la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO₅) pour ne prendre en compte que la dégradation de la pollution carbonée à 20°C. Le résultat est exprimé en mg/l d'oxygène consommé pendant 5 jours [2,7]. Dans notre étude nous avons utilisé un DBO-mètre (système manométrique) (voir l'annexe photo3).

b. La demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO correspond à la quantité d'oxygène (en milligramme) qui a été consommée par voie chimique pour oxyder l'ensemble des matières oxydables présentes dans un échantillon d'eau de 1 litre (quelle que soit leur origine, organique (biodégradable ou non) ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfate et chlorures). Elle est moins représentative que la DBO de la décomposition des matières organiques qui a lieu dans le milieu naturel mais elle est rapide, et contrairement à cette dernière, elle possède une bonne reproductibilité. La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel. Elle exprime la quantité d'oxygène fournie par du bichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$, et nécessaire à l'oxydation de substances organiques pendant deux heures à l'ébullition à 150 °C en milieu acide et en présence de catalyseur ($HgSO_4/H_2SO_4$). L'excès de bichromate de potassium est dosé par le sel de Mohr (Sulfate de fer et d'ammonium). Elle est exprimée en $mg\ O_2/l$. Et donnée par l'expression (Norme NFT 90-101) :

$$DCO\ (mg/l) = 8000 \cdot C_{Fe} \cdot (V_T - V_E) / E$$

V_T , V_E : volumes en ml de sel de Mohr utilisé pour titrer le témoin et l'échantillon respectivement.

E: volume en ml de la prise d'essai d'eau.

C_{Fe} : est la concentration, exprimée en mol par litre, de la solution sel de Mohr (voir l'annexe photo 4 et 5)[2, 7, 9, 11].

c. L'indice de biodégradabilité (DCO / DBO5)

Le rapport DCO / DBO5 détermine la possibilité et le rendement de dégradation que l'on peut espérer par un traitement d'oxydation biologique.

Si le rapport DCO / DBO5 est inférieur à 3, on peut dire que l'effluent est facilement biodégradable, un traitement biologique devant être capable d'éliminer l'essentiel de la pollution [2].

d. Matières organiques ou oxydables (MO)

La plupart des matières organiques ne deviennent polluantes que lorsqu'elles se retrouvent en excès dans le milieu. On distingue :

- les matières organiques biodégradables qui se décomposent dans le milieu naturel,

- les matières organiques non biodégradables (hydrocarbures).

De nombreux micropolluants organiques d'origine industrielle ou urbaine affectent la qualité des cours d'eau. Ils traversent les stations d'épuration sans être altérés, résistent à l'autoépuration et se retrouvent à l'état de traces dans les rivières. Outre la réduction d'oxygène dissous qu'ils entraînent, certains confèrent aux eaux de consommation des propriétés irritantes parfois toxiques ainsi qu'une odeur et un goût désagréables. Ces micropolluants peuvent avoir une action nuisible sur la flore bactérienne et gêner, sinon empêcher le bon fonctionnement des stations d'épuration [2]. Elle est calculée par la formule suivante:

$$MO = 1/3 DCO + 2/3 DBO_5$$

III.1.3.3. La quantification des hydrocarbures

Les hydrocarbures se définissent dans le cadre de cette étude comme des carburants, lubrifiants ou solvants pétroliers ou comme des produits usagés assimilables à des déchets tels l'huile de vidange. Les irisations, la couleur et dans la plupart des cas les odeurs font qu'en première approche les témoins et les acteurs qualifient les polluants d'hydrocarbures. Ceux-ci peuvent masquer des contaminants plus persistants comme des huiles de transformateurs électriques ou des huiles de coupe Industrielles.

Les huiles et graisses totales représentent la somme des huiles et des graisses animales, végétales et minérales. Les huiles et les graisses minérales proviennent de la distillation du pétrole et se divisent en deux catégories : les hydrocarbures aliphatiques et les hydrocarbures aromatiques. Une huile est constituée d'hydrocarbures contenant de 17 à 22 atomes de carbone, tandis qu'une graisse est constituée d'hydrocarbures contenant plus de 22 atomes de carbone. Les huiles et les graisses d'origine végétale proviennent de la décomposition de la végétation (terrestre ou aquatique), qui libère des produits secondaires gras et huileux. Les huiles et les graisses d'origine animale proviennent de l'industrie alimentaire (domestique et industrielle), de l'industrie laitière (laiteries et fromageries) et des abattoirs.

Les hydrocarbures du pétrole sont des polluants aux propriétés physiques, chimiques et toxiques variées. Les principales sources d'émission dans l'environnement sont produites par l'industrie pétrolière et par les effluents d'industries utilisant des produits pétroliers à l'intérieur de leur processus industriel. De plus, un entreposage inadéquat de ces produits, un déversement

accidentel ou un lessivage par les eaux de précipitation sont autant de causes susceptibles d'entraîner une contamination ponctuelle par les hydrocarbures [31].

a. Principe et théorie de la méthode gravimétrique (La détermination des hydrocarbures totaux) :

La détermination de la concentration des huiles et graisses totales s'effectue principalement en deux étapes. Les huiles et graisses totales contenues dans l'échantillon sont d'abord extraites à l'aide de Cyclohexane. Cet extrait est par la suite asséché avec du sulfate de sodium, et traité par gel de silice (La polarité de ces composés est un indice de leur origine car, généralement, les huiles et graisses d'origine animale et végétale sont des acides gras, donc polaires, tandis que les hydrocarbures d'origine minérale sont non polaires).

L'extrait de l'échantillon est ensuite évaporé à sec et pesé pour déterminer la concentration des huiles et graisses totales par gravimétrie [31,32].

b. Protocole d'analyse

L'extraction

- Dans une bouteille de 500 ml on prélève 200 ml d'échantillon d'eau et l'acidifie par de l'acide chlorhydrique (50%) jusqu'à $\text{pH} \leq 2$ pour transformer les savons en acides gras et casser les émulsions éventuelles.
- On ajoute 50ml de Cyclohexane (Hexane) dont 25 ml serviront au rinçage du flacon ayant contenu l'échantillon.
- On agite manuellement la bouteille d'extraction environ 10 seconds et enlève la surpression.
- On pose la bouteille sur un agitateur mécanique et fait tourner pendant 30 minutes par une vitesse de 54 trs /min.
- On laisse les couches se séparer dans une ampoule à décanter, soutire la fraction aqueuse et fait couler la phase du Cyclohexane dans un bécher de 500 ml.
- On recommence l'extraction sur la phase aqueuse avec 25 ml de solvant en opérant comme ci-dessus, la nouvelle phase du solvant étant réunie à nouveau dans le bécher. Pour s'assurer de l'élimination complète des Hydrocarbures, effectuer une troisième extraction avec 25 ml de solvant.
- On ajoute Sulfate de sodium (Na_2SO_4) aux phases organiques réunies, pour éliminer les traces d'eaux.

-On ajoute gel de silice aux phases organiques et agite mécaniquement avec un barreau magnétique pendant 5 minutes (Lorsque la quantité d'huiles et graisses totales est > que 100 mg, ajouter 0,3 g de gel de silice pour chaque portion de 10 mg d'huiles et graisses totales additionnelle. Il est permis d'ajouter jusqu'à 9 g de gel de silice pour traiter jusqu'à 300 mg d'huiles et graisses totales) (un traitement subséquent au gel de silice permet de retenir les huiles et graisses polaires).

-On récupère le Cyclohexane en le filtrant à travers le papier-filtre.

Les substances non retenues par le gel de silice encore solubles dans /Cyclohexane sont considérées comme étant les huiles et graisses minérales et elles sont dosées par gravimétrie.

L'évaporation

On évapore à sec le solvant contenu dans l'extrait au moyen de l'évaporateur rotatif tout en maintenant la température du bain d'eau de façon à obtenir une évaporation de Cyclohexane en moins de 30 minutes. Le chauffage ne devra pas dépasser 70°C et sera arrêté lorsqu'il ne restera plus dans le ballon qu'une vingtaine de millilitres. On transvase alors le restant de solvant dans une boîte pétrie pré pesée. On laisse la boîte pétrie à la température ambiante dans le dessiccateur pour une nuit, et on pèse la boîte avec son contenu jusqu'à masse constante pour déterminer le poids des huiles et graisses minérales contenues dans l'échantillon (voir l'annexe photo6) [11, 32, 33].

c. Calcul et expression des résultats

La différence entre la masse de la boîte remplie par les hydrocarbures et sa masse vide donne directement la teneur en matières grasses exprimées en milligrammes par litre d'eau :

$$\text{Hydrocarbure totaux (mg/l)} = (m_{\text{tot}} - m_{\text{b}}) 10^6 / V_e$$

m_{tot} : masse en gramme de la boîte contenant les huiles et graisses minérales (Hydrocarbures).

m_{b} : masse en gramme de la boîte vide servant à l'analyse des huiles et graisses minérales (Hydrocarbures).

V_e : volume d'échantillon prélevé.

III.1.3.4. Appareillage et matériels utilisés

1. pH mètre de marque pH –conductivity EC500 Extech®
2. Conductimètres de type WTW LF330/Tetra Con®325, et de type DDS J-308A.
3. Papier filtre WHATMAN n°40, d=110 mm.
4. DBO mètre de marque WTW (incubateur réglé à T=20 C°, agitateur, des bouteilles brunes, des bouchons (OXITOP®) équipés par un afficheur qui affiche les valeurs mesurées.
5. système de ébullition à reflux (Chauffe ballons à 06 postes, des ballons rodés à fond rond de 500 ml, réfrigérants).
6. Agitateur magnétique de marque IKAMAG^R., et barreaux aimantés
7. Etuve de marque (MEMMERT). et de marque Raypa®.
8. Etuve pouvant maintenir une température de 110 °C (± 5 °C) et de marque Raypa®.
9. Balance de marque SARTORIOUS avec une sensibilité de 0.0001 g.
10. Évaporateur rotatif sous vide (de type Rotavap) de marque Heidolph
11. Agitateur mécanique de marque AGITELEC (Paris)
12. Papier indicateur de pH.
13. Bouteilles de 250 ml.
14. Ballons en verre à fond plat de 250 ml.
15. Ampoule à décanter de 500 ml.
16. Boite pétrie.

III.1.3.5. Réactifs utilisés

1. Bichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ (PROLABO).
2. Acide sulfurique H_2SO_4 (BIOCHEM ,96-98%, CAS n°7664-93-9).
3. Sulfate de mercure $HgSO_4$ (PROLABO).
4. Sulfate de fer $FeSO_4$ (MERCK).
5. Sulfate d'argent $AgSO_4$ (MERCK).
6. 1,10-Phinantroline (PROLABO).
7. Sulfate de fer et d'ammonium (PROLABO).
2. Acide Chlorhydrique, HCl (35-38%), Biochem, Chemopharma
3. Sulfate de sodium anhydre 12-60 Mesh, Na_2SO_4 (CAS no 7757-82-6).
4. Cyclohexane C_6H_{14} (C.A.S :110-82-7), Biochem.

5. Gel de silice (60-200 mesh), Biochem, Chemopharma.

III.1.4. Résultats et discussion

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées des sites étudiés sont présentés dans les tableaux (10), (11), (12), (13), (14):

Tableau (10): Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées des sites étudiés pour la 1^{er} campagne (juin 2010).

<i>Paramètre</i>	<i>VMA</i> *	<i>ST1</i>	<i>ST2</i>	<i>ST3</i>
T (°C)	30	26	26	26
CE (ms/cm) à25°C	2.5	6.59	6.54	6.57
pH	5.5-8.5	6.79	6.63	6.76
Salinité (g/l)		4.48	4.44	4.46
DCO (mg/l)	130	1504	1344	1152

Tableau (11): Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées des sites étudiés pour la 2^{ème} campagne (octobre 2010).

<i>Paramètre</i>	<i>VMA</i> *	<i>ST1</i>	<i>ST2</i>	<i>ST3</i>
T (°C)	30	27.9	27.7	26
CE (ms/cm) à25°C	2.5	25.32	6.83	44.95
pH	5.5-8.5	6.79	6.33	6.8
Salinité (g/l)		19.29	4.62	34.25
DCO (mg/l)	130	20781	36120	3463
DB0₅ (mg/l)	40	250	2350	500
DCO/DBO₅		83.13	15.37	6.93
MO (mg/l)		7094	13606	1487.66

Tableau (12): Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées des sites étudiés pour la 3ème campagne (nov-dec 2010).

<i>Paramètre</i>	<i>VMA *</i>	<i>ST1</i>	<i>ST2</i>	<i>ST3</i>
T (°C)	30	23.2	22.4	21.7
CE (ms/cm) à25°C	2.5	-	6.59	6.54
pH	5.5-8.5	7.39	6.66	6.88
Salinité (g/l)		-	4.48	4.44
MES (mg/l)	30	14702	716	105
DCO (mg/l)	130	1891	1358	1018.1
DB0₅ (mg/l)	40	200	350	400
DCO/DBO₅		9.45	3.88	2.55
MES /DBO₅		73.5	2.05	0.26
MO (mg/l)		763	686	606

Tableau (13): Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées des sites étudiés pour la 4ème campagne (31/03/2013).

<i>Paramètre</i>	<i>VMA *</i>	<i>ST1</i>	<i>ST2</i>	<i>ST3</i>	<i>ST4</i>
T (°C)	30	22	21	22	22
CE (ms/cm) à25°C	2.5	7.15	7.18	5.26	7.2
pH	5.5-8.5	4.83	4.98	4.94	4.94
Salinité (g/l)	1.9	4.85	4.9	3.57	4.9
MES (mg/l)	30	666	1262	1143	1560
DCO (mg/l)	130	749	1307	1261	1776
DB0₅ (mg/l)	40	250	300	30	25
DCO/DBO₅		3	4.36	42	71.04
MES /DBO₅		2.66	4.2	38.1	62.4
MO (mg/l)		415.6	636	440	609

Tableau (14): Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées des sites étudiés pour la 5ème campagne (15/06/2015).

<i>Paramètre</i>	<i>VMA *</i>	<i>ST1</i>	<i>ST2</i>	<i>ST3</i>	<i>ST4</i>
T (°C)	30	35	30	31	30
CE (ms/cm) à 25°C	2.5	1.05	0.21	1.04	1.37
pH	5.5-8.5	6.99	7.23	7.02	7.42
Salinité (g/l)	1.9	0.72	0.14	0.71	0.93
MES (mg/l)	30	13069	8550	36154	15683
DCO (mg/l)	130	4320	4704	4128	2592
DB0₅ (mg/l)	40	130	65	350	150
DCO/DBO₅		33.23	72.4	11.8	17.28
MES /DBO₅		101	131.5	103	105
MO (mg/l)		1527	1611	1609	964

*Valeur maximal admissible (selon les normes algériennes du rejet des eaux usées industrielles).

Les valeurs des concentrations des Hydrocarbures totaux trouvées pour les sites étudiés sont regroupées dans le Tableau (15):

Tableau (15): Concentration des Hydrocarbures totaux en (mg/l) dans les différents sites de prélèvement.

<i>Site</i>	<i>Campagne de 31/03/2013</i>	<i>Campagne de 15/06/2015</i>	<i>La valeur moyenne</i>
St lavage 1	193	12306	6249.5
St lavage 2	923	8350	4636.5
St lavage 3	881	34533	17707
St lavage 4	987	13620	7303.5

De l'ensemble des analyses réalisées, il ressort que la plupart des valeurs mesurées ne sont pas conformes aux normes algériennes.

On remarque par ailleurs, qu'il y a une grande hétérogénéité dans les résultats. Le degré de pollution varie d'un site à l'autre.

La température est un facteur clé de l'activité biologique, en fonction de celle-ci, les microorganismes sont psychrophiles, mésophiles, ou thermophiles [34].

La figure (9) montre les variations des températures des eaux usées des sites étudiés mesurées au cours de la période d'étude. On a remarqué que les valeurs de température pour la 1^{ère} et la 2^{ème} campagnes oscillent autour 26 et 27 °C et ont diminué jusqu'à 21°C pour la 3^{ème} et la 4^{ème} campagne .Et on a enregistré une maximale valeur de 35°C pour le 1^{er} site et 30°C pour les autres sites pour la campagne de Juin 2015.

En se référant aux valeurs limites maximales des paramètres des rejets d'installation de déversement industrielles tableau (10), on remarque que ces valeurs de la température sont inférieures à 30 °C considérée comme la norme algérienne des rejets industriels sauf pour la 5^{ème} campagne ou les valeurs sont égales ou dépassées la norme [34].

La variation de température d'un site à l'autre et d'un prélèvement à l'autre est due aux conditions climatiques et au moment des prélèvements mais l'écosystème zonal peut aussi influencer. Cependant une température supérieure à 15 °C favorise le développement des micro-organismes dans les canalisations en même temps qu'elle peut intensifier les odeurs et saveurs [11].

Le pH est également l'un des facteurs les plus importants qui influe sur l'activité biologique de la microflore des eaux. La grande majorité des microorganismes se développe dans une zone de 4.5-8. En outre, le pH est un élément important pour l'interprétation de la corrosion dans les canalisations des installations de l'épuration et il doit être étroitement surveillé au cours de toutes opérations de traitement [35].

Les valeurs moyennes de pH des eaux usées des différents sites de prélèvement sont généralement comprises entre 6.33 et 7.42 c'est-à-dire dans l'intervalle des valeurs de pH autorisées selon les normes algériennes du rejets [5.5-8.5] (Figure 10). Pour la 4^{ème} campagne, on note occasionnellement des valeurs inférieures de la valeur minimale admissible (selon les normes algériennes du rejet des eaux usées industrielles).

Ces valeurs qui varient entre 4.83 et 4.98. Ces variations seraient liées au surdosage en produits de nettoyage acido-basiques (des rejets accidentels) [30,36].

Alors nous enregistrons généralement pour les stations de lavages un pH peu acide à cause d'une dégradation de la matière organique existante en anaérobiose sous la suspension huileuse [11]. L'acidité remarquée pour ces eaux peut conduire à la corrosion du ciment ou des métaux de canalisations avec l'entraînement de plomb par exemple [11].

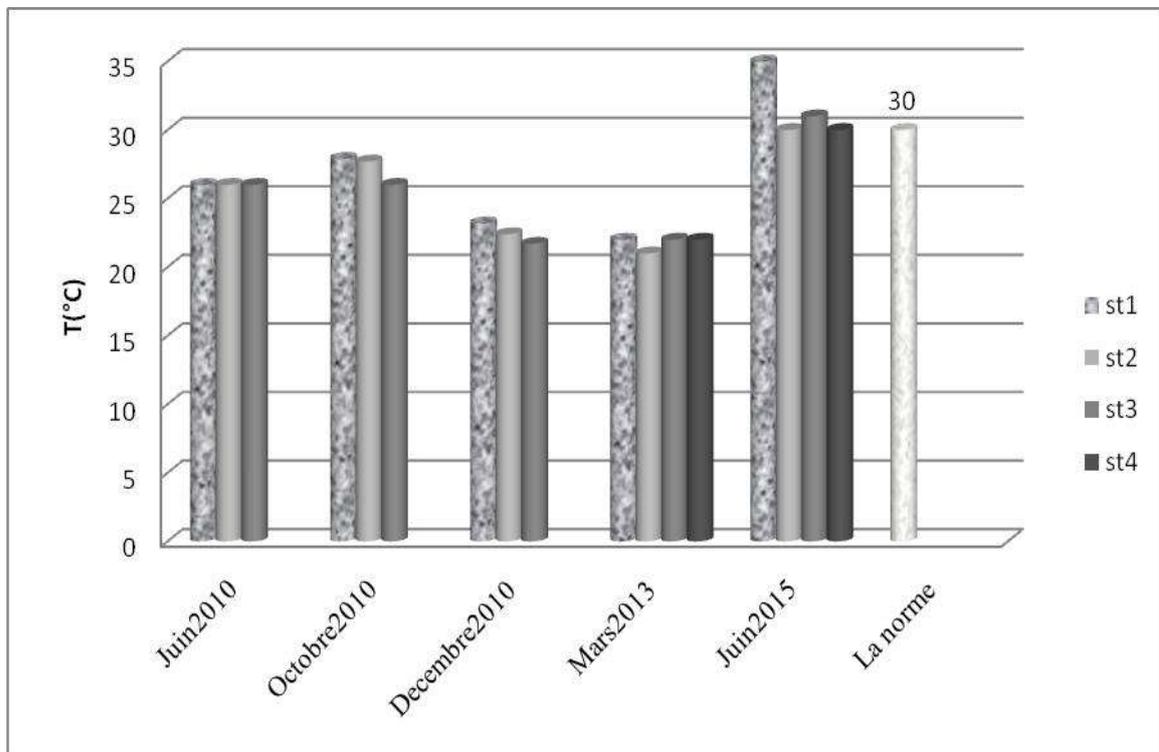


Figure (9): Températures mesurées à partir des eaux des différents sites étudiés

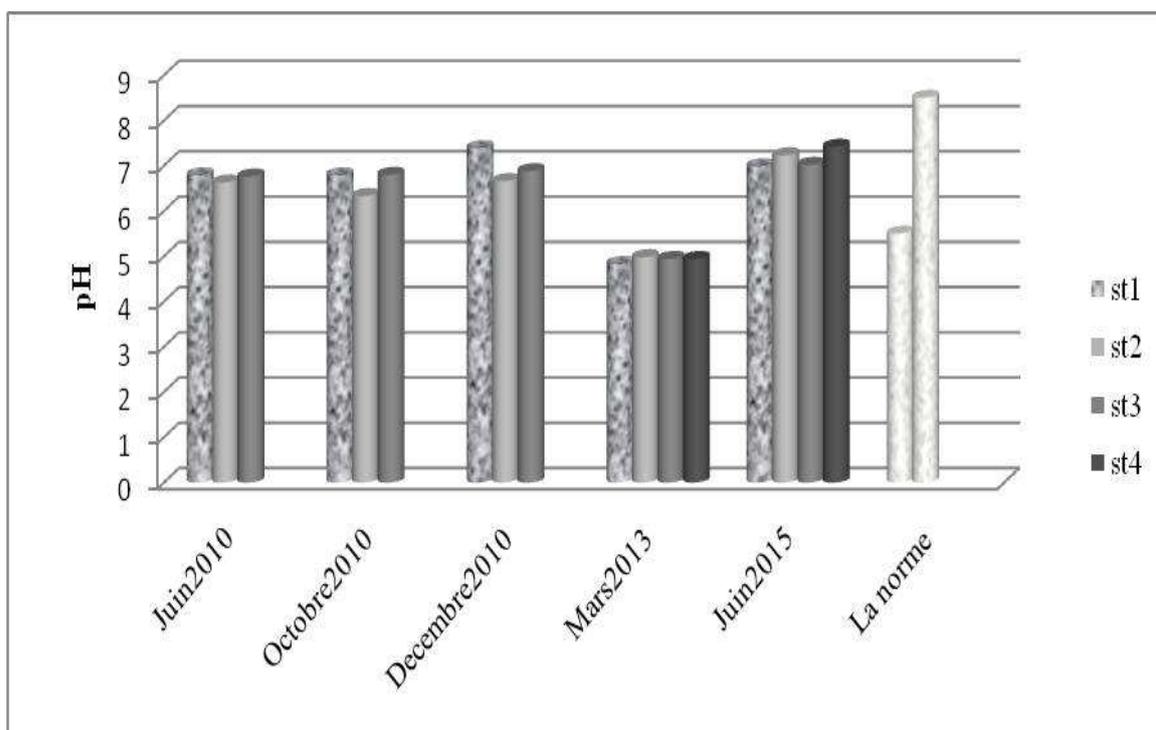


Figure (10): pH mesurés à partir des eaux des différents sites étudiés.

La conductivité électrique est probablement l'une des plus simples et des importants paramètres pour le contrôle de la qualité des eaux usées. Elle traduit le degré de minéralisation globale, elle nous renseigne sur le taux de salinité.

Les résultats des tableaux (10 à 14) laissent apparaître des valeurs de la conductivité électrique variables d'un site à l'autre et d'une campagne aussi à l'autre. Les valeurs enregistrées presque pour tous les sites ont été très proches les unes aux autres pour chaque campagne, sauf pendant la 2^{ème} campagne où des valeurs extrêmement grandes ont été remarquées pour les sites 1 et 3 sont 25.32, 44.95 ms/cm respectivement et une valeur assez moyenne de 6.83 ms/cm pour le 2^{ème} site. Les plus faibles valeurs remarquées dans la figure (11) celles obtenues dans la 5^{ème} campagne, elles sont conformes à la norme et varient de 0.21 à 1.37 ms/cm, mais les autres valeurs mesurées pendant les autres campagnes ont dépassé la norme.

Cette variation de la conductivité électrique est peut être causée par :

- La charge en sels des eaux d'alimentation (les stations de lavage 1 et 2 sont alimentées par le forage de BENI THOUR, la station de lavage (3) à coté de la SNTV est alimentée par le forage de MEKHADMA (eau trop salée).
- L'utilisation des détergents et des produits de nettoyage.
- Un taux du fer est relativement élevé (la rouille).
- Les additifs pour les huiles et les graisses et les lubrifiants destinés à améliorer les propriétés lubrifiantes et protectrices du fluide lubrifiant, qui sont des composés inorganiques (Ca, Na, Li, Al, Ba,...etc) [29, 30].

Nous n'avons pas pu mesurer la valeur de la CE pour le site (2) (station de lavage 2) pour la troisième campagne et l'appareil nous indique un zéro, ce qui s'explique par la dominance d'huiles visqueuses dans l'échantillon (qui jouent le rôle d'isolants).

Lorsqu'on suit bien l'allure de la variation des valeurs de la CE mesurées, on peut remarquer surtout pour les campagnes d'octobre et de décembre et de juin 2015 que ces valeurs varient inversement avec les valeurs de la demande chimique en oxygène et de la matière en suspension, c'est parce que ces deux derniers paramètres représentent pour les stations de lavage et précisément pour nos échantillons la quantité des huiles et des hydrocarbures qui influent négativement sur la mesure de la conductivité isolant de l'électrode).

Les valeurs de la salinité ont été calculées à partir les valeurs de la conductivité électriques, elles sont comprises entre 0.14g/l (la station de lavage 2 pendant la 5^{ème} campagne) et 34.25g/l (la station de lavage 3 pendant la 2^{ème} campagne), elles ont la même tendance que les valeurs de la conductivité, et même interprétation.

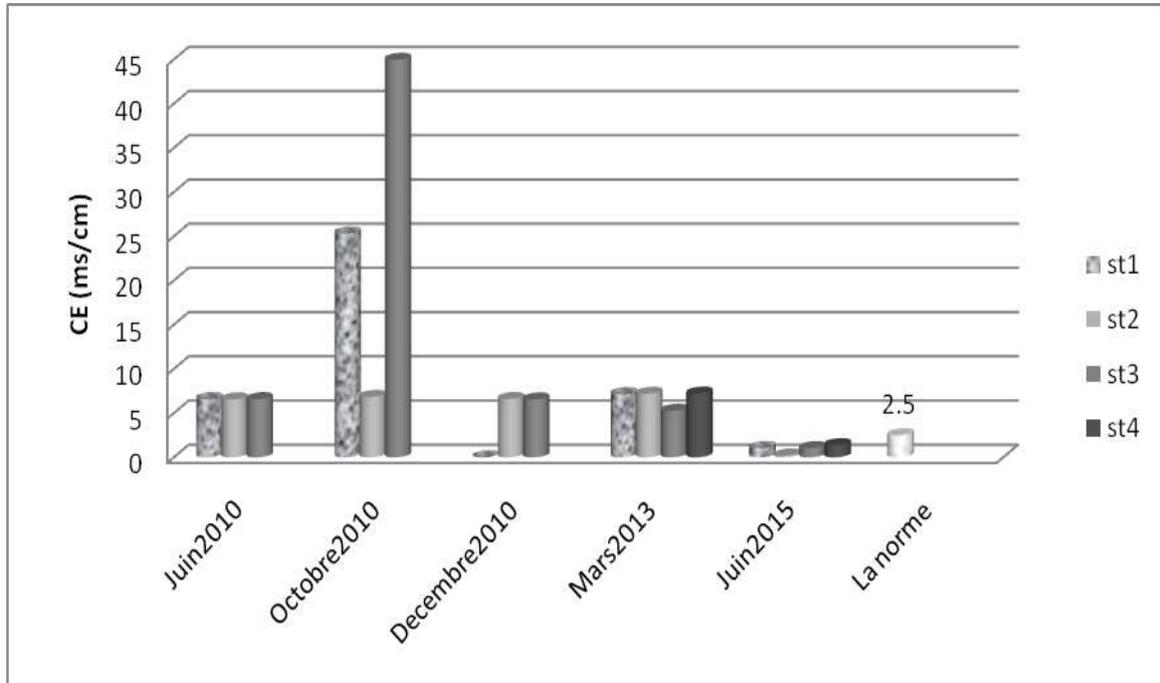


Figure (11): Conductivités électriques des eaux des différents sites étudiés.

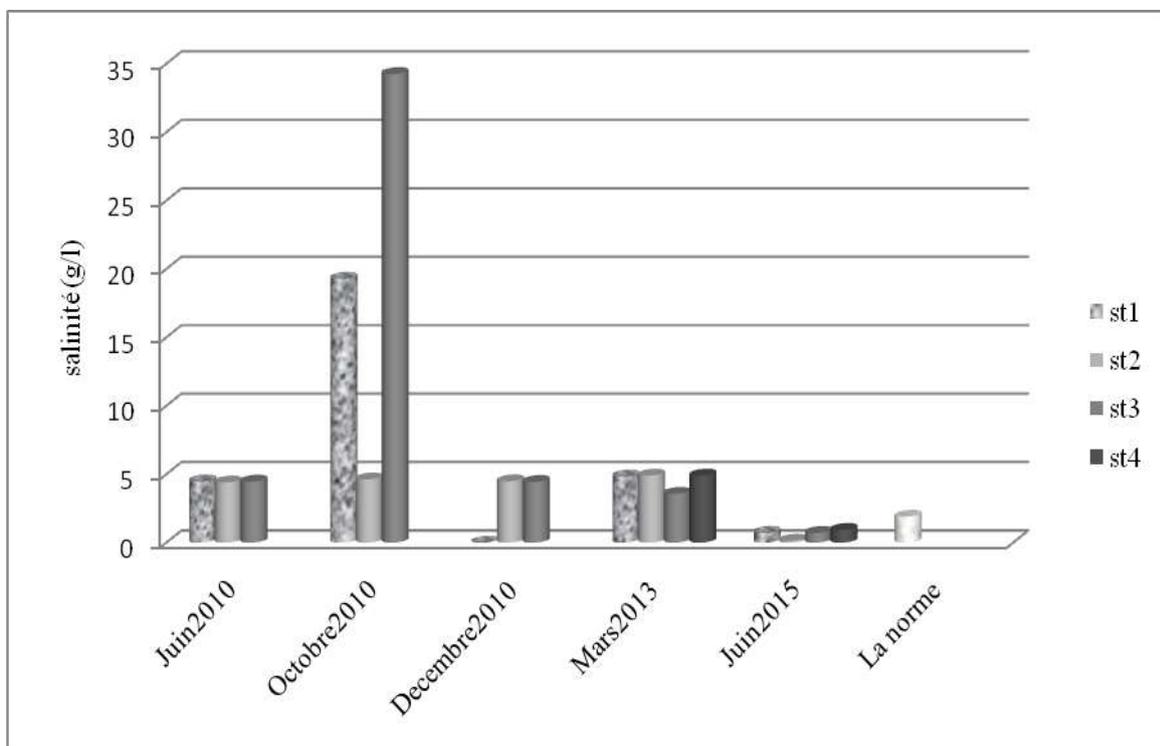


Figure (12): Salinité des eaux des différents sites étudiés.

Pour apprécier la qualité d'une eau, il est toujours nécessaire d'évaluer quantitativement sa charge en matière dissoute et particulaire. Les résultats de la mesure des matières en suspension (MES) la Figure (13), montrent une variation des valeurs entre 105 et 36154 mg/l, toutes ces valeurs ont dépassé énormément et jusqu'à 1000 fois plus élevées par rapport le seuil des valeurs admissibles, limité à 30 mg/l. La plus grande valeur et la petite ont été trouvées pour la même station de lavage (3). Quand on étudie les valeurs de la matière en suspension trouvées, on peut remarquer qu'elles varient parallèlement avec les concentrations des hydrocarbures de nos échantillons, ce résultat est attendu pour les matières en suspension des stations de lavage qui sont composées majoritairement par les huiles et les hydrocarbures. Alors après tous ces résultats on peut conclure que les eaux de rejets des stations de lavage sont trop chargées par les matières en suspension (le principale polluant ce sont les huiles lourds et parfois le déchet des animaux, et des produits alimentaires, et la poussière.....etc).

La présence des MES dans les différents rejets peut altérer de manière sensible le fonctionnement du réseau d'égouts. D'autre part, elle peut causer des dangers tels que les dépôts de boues et le colmatage des fonds aquatiques récepteurs. Les boues décantées sont catastrophiques à la conservation des édifices biologiques naturels, tandis que le colmatage défavorise la biodégradation des micropolluants [34].

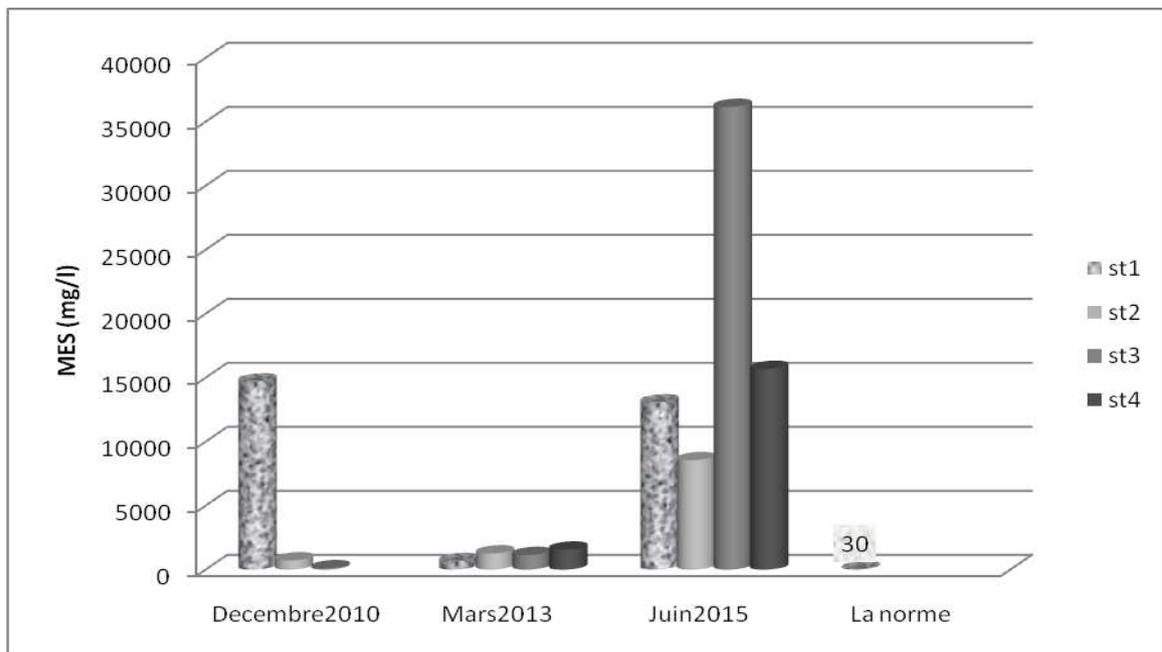


Figure (13): Teneurs en matières en suspension des eaux des différents sites étudiés.

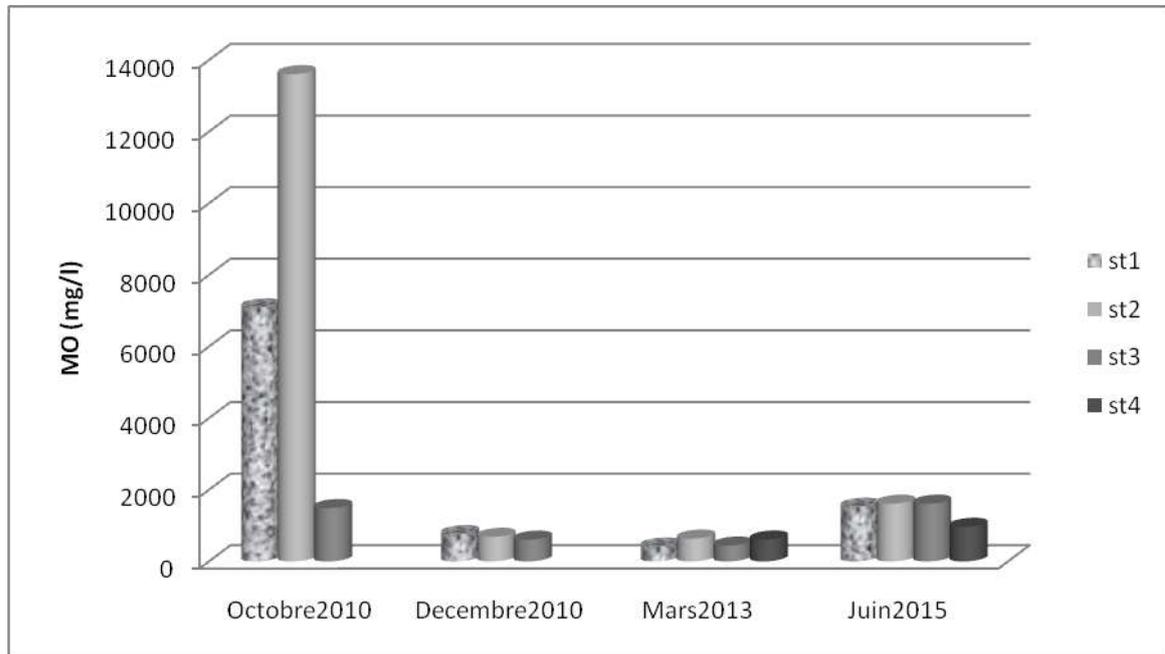


Figure (14): Teneurs en matières organiques des eaux des différents sites étudiés.

La demande chimique en oxygène est la teneur en O_2 consommée par les matières oxydables (réductrices) dans des conditions définies. Pour les eaux usées des stations de lavage la DCO exprime surtout la quantité des hydrocarbures et des détergents. D'après les résultats obtenus, on remarque des valeurs très élevées comme elle montre la Figure (15). Elles sont au-dessus de la valeur limite maximale des paramètres des rejets industriels, ou la valeur de la DCO est égale à 120 mg/l. Elles la dépassent parfois par 277 fois plus, et varient de 1152 à 1504 mg/l pour la campagne de Juin 2010 et de 1018 à 1891 mg/l pour la campagne de Décembre 2010, de 749 à 1776 mg/l pour la campagne de Mars 2013 et de 2592 à 4704 mg/l pour la campagne de Juin 2015, les valeurs montrent une certaine homogénéité pour chaque période. Pour la campagne d'Octobre 2010, on remarque une grande hétérogénéité entre les valeurs qui varient entre 3463 et 36120 mg/l, cette dernière qui est la valeur la plus élevée et qui a été enregistrée pour le site 2. Ces terribles valeurs nous donnent une claire image que les eaux de rejets de stations de lavage sont chargées par les matières organiques, se justifient par la présence de grandes quantités d'huiles et des graisses, aussi des détergents et un peu moins les sels. La production et le degré de pollution de ces composés sont souvent importants à la fin de la période de travail. A noter

que certains de ces rejets sont occasionnels, et peuvent correspondre, par exemple, à des fuites accidentelles de produits lors de leur manutention ou de leur stockage [14,29] .

Les valeurs obtenues pour notre étude apparaissent très élevées. Des nuisances du milieu récepteur sont perceptibles s'il y a un apport élevé de matières organiques dans les eaux usées, engendrant une prolifération importante des micro-organismes pathogènes. La représentativité de la DCO n'est plus satisfaisante pour les eaux chargées en halogénures (rejets salins par exemple). La demande biologique en oxygène, est la quantité d'oxygène en (mg/l) consommée pour épurer biologiquement l'eau en cinq jours à 20 C° et à l'obscurité.

Globalement les valeurs de la DBO₅ trouvées ne sont pas grandes, elles sont comprises entre 25 et 2350 mg/l. La plus grande valeur est 2350 mg/l, qui a été obtenu pour site 2 pendant la 2^{ème} campagne. On a enregistré deux valeurs 30 et 25 mg/l pour les sites 3 et 4 respectivement pendant la 4^{ème} campagne, que n'ont dépassés pas la norme admissible des rejets industriels limités par 40 mg/l.

Nos échantillons de stations de lavage sont chargés par les huiles qui inhibent l'activité microbienne, dans ces zones les valeurs obtenues indiquent l'existence de certaine activité microbienne, C'est que nous ont permis conclure que :

- La quantité des huiles déversée n'inhibe pas totalement l'activité microbienne de ces eaux car les anaérobies peuvent se développer.
- La fraction des matières organiques biodégradables est petite par rapport la fraction non biodégradable. Figure (16) [35].

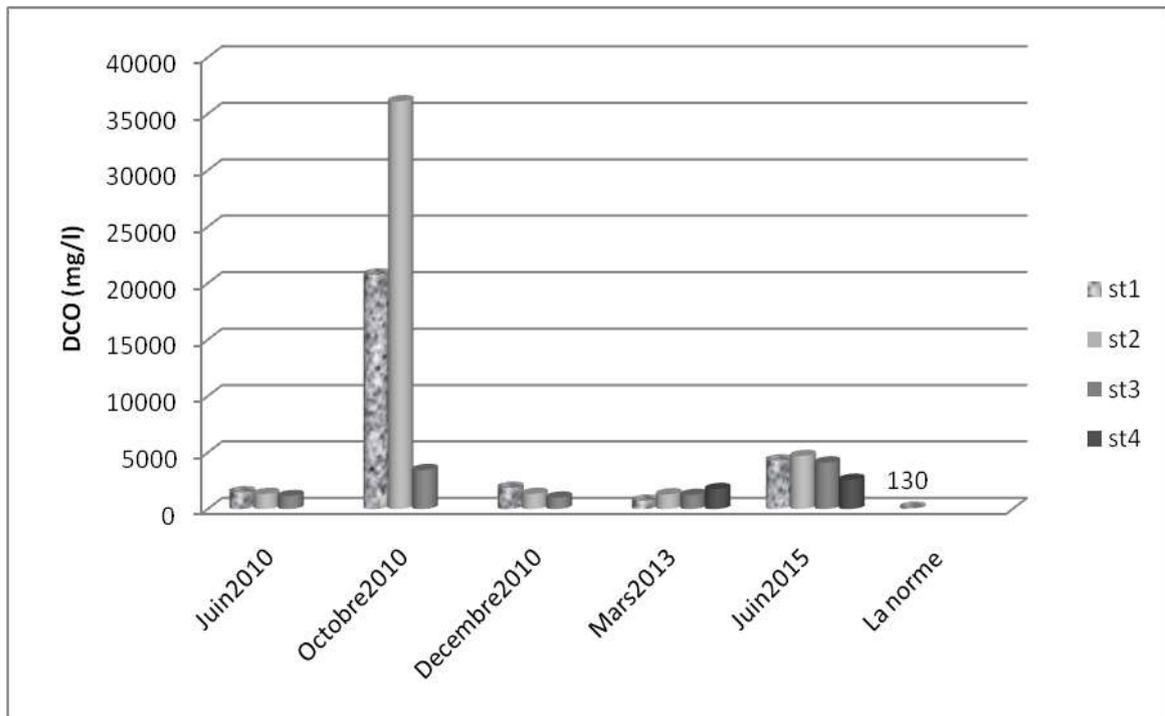


Figure (15): Valeurs de la DCO des eaux des différents sites étudiés.

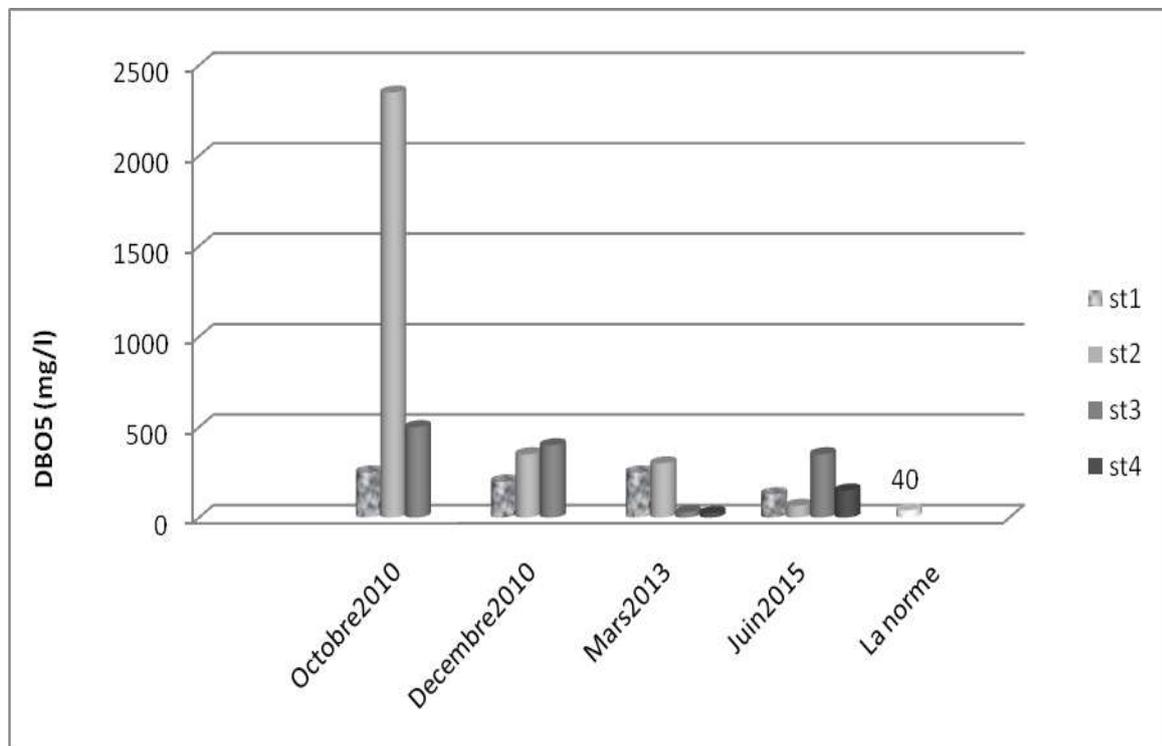


Figure (16): Valeurs de la DBO₅ des eaux des différents sites étudiés.

III.1.4.1. Evaluation de la pollution organique des eaux usées

Pour une meilleure appréciation de la qualité des eaux usées de ces effluents étudiés de quelques stations de lavage, le calcul des rapports DCO/DBO₅, MES/ DBO₅ et l'estimation de la matière oxydable (MO), sont très importants. L'utilisation de ces paramètres de caractérisation constitue un bon moyen pour donner une image du degré et de la qualité de la pollution des effluents bruts des sites étudiés et aussi pour optimiser les paramètres physico-chimiques de ces eaux usées afin de proposer un mode de traitement convenable.

Le rapport DCO/DBO₅

Le rapport DCO/DBO₅ est l'indice de biodégradabilité en milieu liquide d'un effluent. Les résultats de ce rapport constituent une indication de l'importance des matières polluantes peu ou non biodégradables. Il permet de déduire si les eaux usées rejetées directement dans les milieux récepteurs ont des caractéristiques des eaux usées domestiques (rapport DCO/DBO₅ inférieur à 3). L'élévation de ce rapport indique un accroissement des matières organiques non biodégradables [11].

La figure (17) montre des valeurs du rapport DCO/DBO₅ comprises entre 2.55 et 83.13, et malgré que on a parfois des valeurs petites mais la plus part sont très grandes surtout pour la station (1), où nous avons constaté une valeur très importante 83.124 pour la 2^{ème} campagne. Ces valeurs sont très loin du rapport standard des effluents résiduaux urbains donc la biodégradabilité est mauvaise. L'examen de ce rapport pour toutes les sites pendant la période de travail souligne bien le caractère peu à non biodégradable des eaux usées de stations de lavage, et on peut interpréter les petites valeurs du rapport par une échantillonnage à une période d'activité faible de la station (Figure 17).

Le rapport MES/ DBO₅ et matières oxydables (MO)

Pour les eaux usées des stations de lavage étudiées, nous avons remarqués des valeurs très importantes du rapport MES /DBO₅ (la figure18), surtout pour la campagne de Juin 2015 où les valeurs oscillent autour 101 et 132. Pour les valeurs de la matière oxydable, on remarque une homogénéité entre les valeurs de chaque campagne et elles ont varié entre 606 et 763 mg/l pour la 3^{ème} campagne et entre 415 et 636 mg/l pour la 4^{ème} campagne et entre 964 et 1611mg/l pour la 5^{ème} campagne. Des valeurs très élevées sont obtenues pour la 2^{ème} campagne surtout pour le site 2 où la valeur est de l'ordre 13606mg/l figure (18).

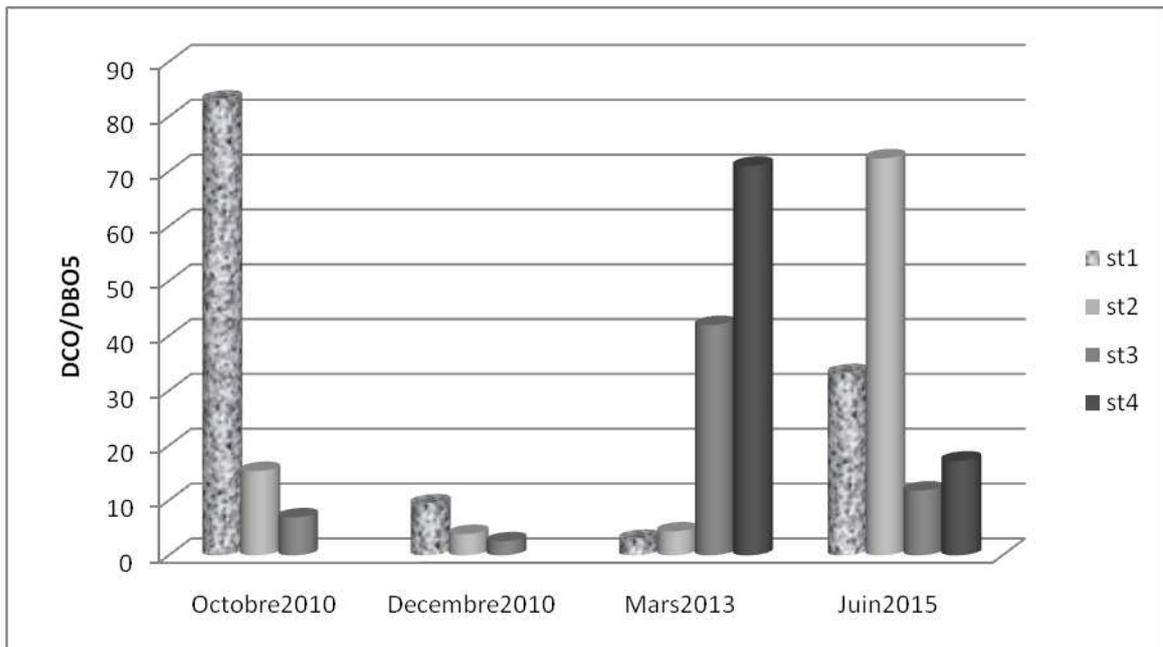


Figure (17): Valeurs de l'indice de biodégradabilité des eaux des différents sites étudiés.

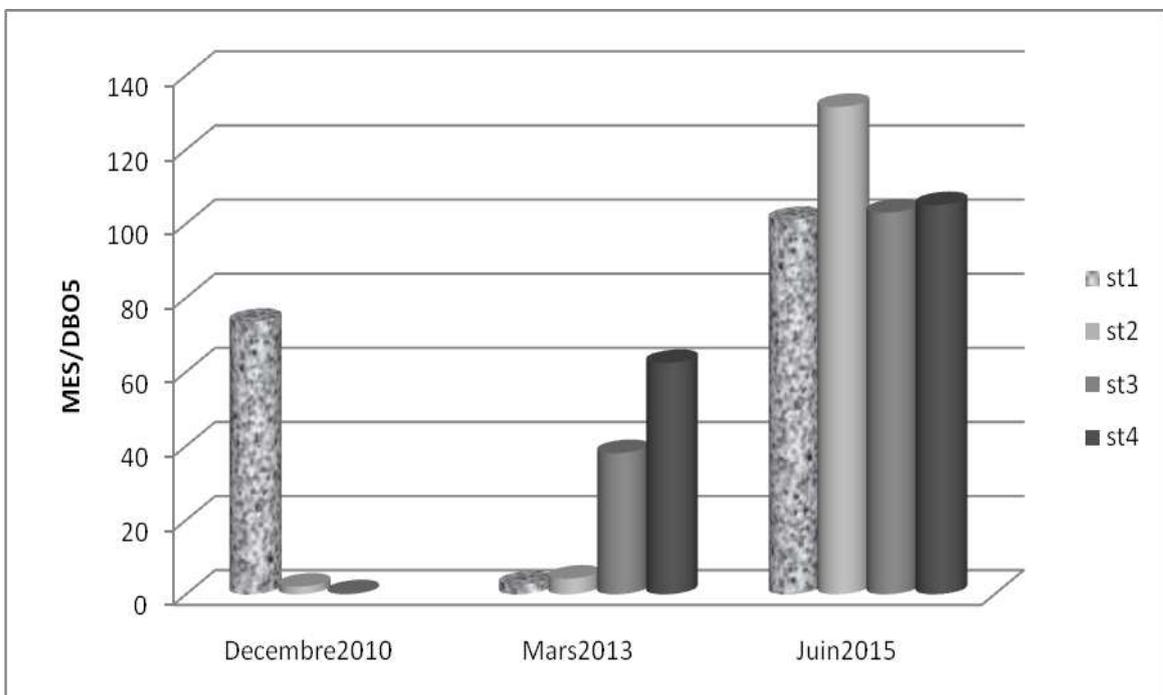


Figure (18): Valeurs du rapport MES / DBO₅ des eaux des différents sites étudiés.

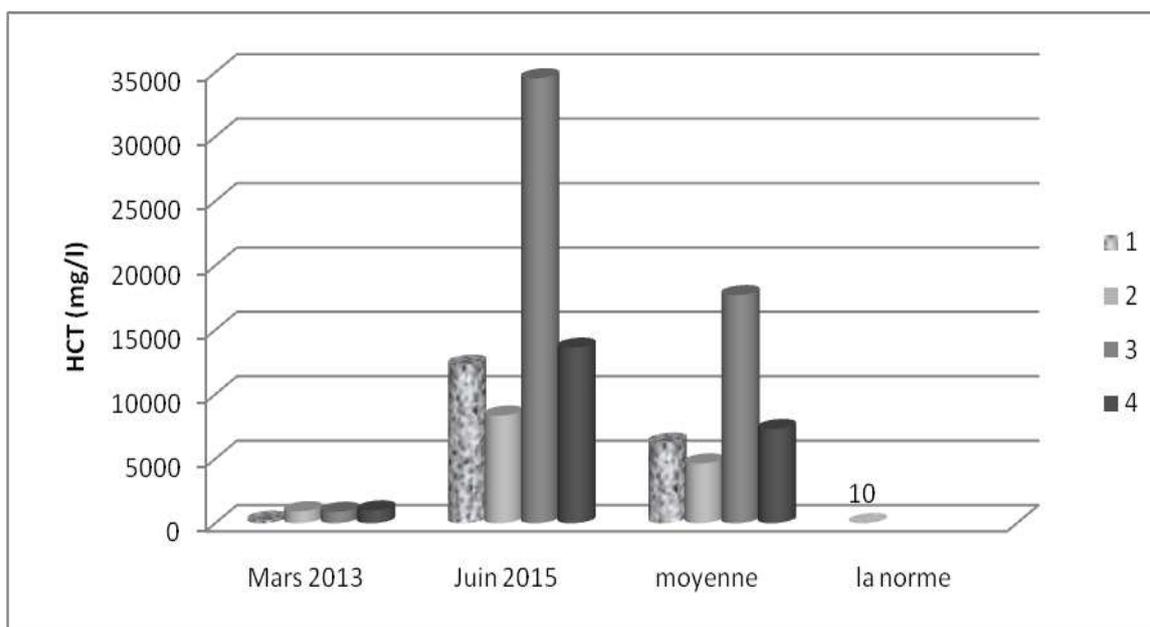


Figure (19): La concentration des Hydrocarbures totaux dans les eaux des différents sites étudiés à des périodes différentes.

Les résultats obtenus dans le tableau (15) montrent que:

- toutes les valeurs des concentrations des hydrocarbures trouvées pour les échantillons des eaux prélevés des sites étudiés ont dépassé énormément la norme dont la concentration maximale admissible des rejets d'eaux industrielles « CMA » est 10 mg/l, elles varient de 193 à 34533mg/l (figure19).
- Nous avons remarqué certain homogénéité entre les taux des hydrocarbures pour chaque campagne, ou les valeurs de campagne de Mars 2015 varient entre 193 et 987 mg/l, et pour la campagne de Juin 2015 elles varient entre 8350 et 34533mg/l. et malgré que les valeurs trouvées pour la 1^{er} campagne sont faibles par rapport les valeurs de 2^{ème} campagne, mais elles sont comme même grandes par rapport la norme ou la petite valeur l'a dépassé plus de 10 fois.
- La plus grande valeur a été enregistrée pour le site 3 pendant la 2^{ème} campagne. Alors nous pouvons dire que les eaux usées de stations de lavage sont chargées par les hydrocarbures pétroliers. Ces hydrocarbures qui sont composé par les carburants et les huiles de dégraissage et de lubrification brûlées. La production et le degré de pollution des ces composé sont

souvent important à la fin de la période de travail et au cours des nettoyages de fin de semaine et des périodes de congés, rappelons que certains des ces rejets sont occasionnels, et peuvent correspondre, par exemple, à des fuites accidentelles de produits lors de leur manutention ou de leur stockage, et parfois à des rejets directs des huiles de vidange [14].

III.1.4.2. Etude de la relation de taux des Hydrocarbures avec la quantité de la matière en suspension.

Nous avons essayé de corrélérer la relation entre les valeurs de la matière en suspension et les valeurs des hydrocarbures totaux dans ce type de site (station de lavage) par le tracé des courbes de l'évolution de ces deux paramètres et le calcul des rapports (MES/HCtot).

Les résultats illustrés dans les figures (20) et (21) et les valeurs de rapport (MES/HCtot) montrent que les courbes ont la même allure. Pour les deux campagnes et que les rapports sont proches. D'après ces résultats nous pouvons conclure que la grande quantité des matières en suspension trouvées pour les stations de lavage sont presque toute des hydrocarbures comme elle montre clairement la courbe de 2ème campagne par des valeurs de ces deux paramètres très proches. Les résultats trouvés ont été confirmés par deux prélèvements à des saisons différentes, le printemps et l'été. Nous remarquons des variations de nos valeurs d'un prélèvement à l'autre mais nous pouvons dire que ce changement est relatif au taux d'activité qui change d'un jour à l'autre.

Tableau (16) : Etude de l'évolution des valeurs des Hydrocarbures en fonction des valeurs de la matière en suspension pour tous les sites pendant la période de travail.

Site	St1		St2		St3		St4	
	Camp1	Camp2	Camp1	Camp2	Camp1	Camp2	Camp1	Camp2
HCtot (mg/l)	193	12306	923	8350	881	34533	987	13620
MES (mg/l)	666	13069	1262	8550	1143	36154	1560	15683
MES/HCtot	3.45	1.06	1.37	1.02	1.3	1.05	1.58	1.15

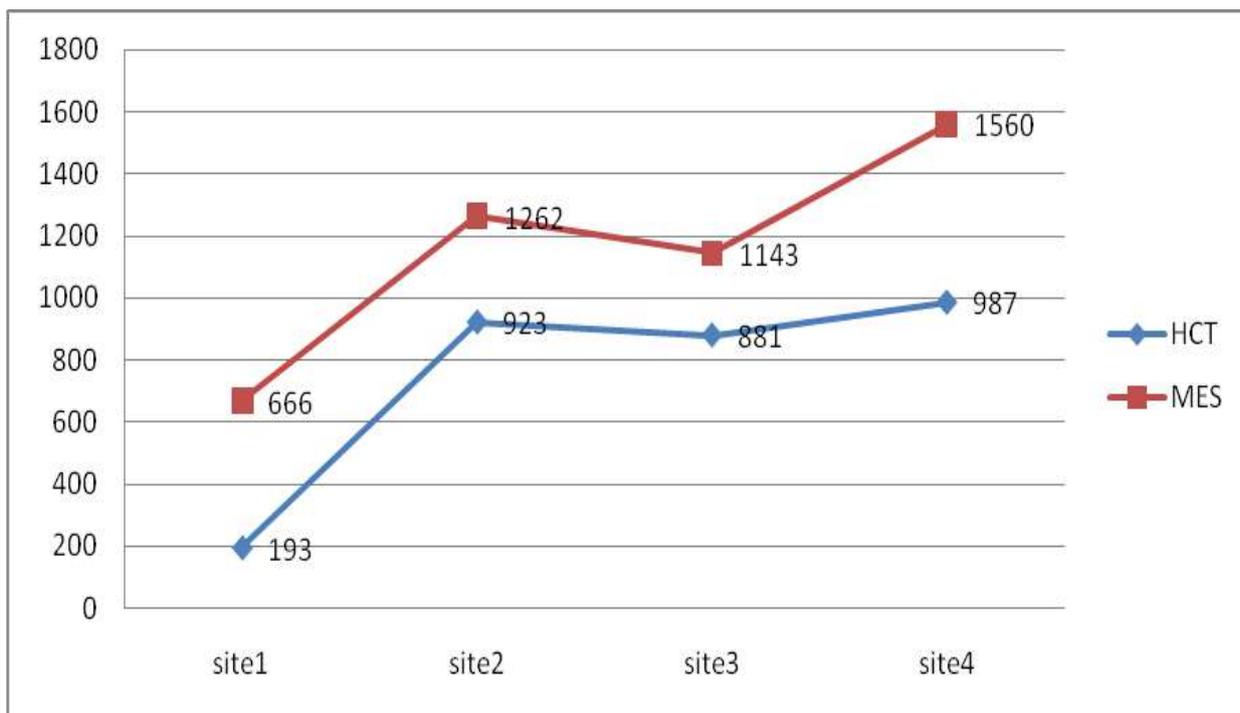


Figure (20) : Evolution des valeurs des hydrocarbures en fonction des valeurs de la MES pendant la 1^{ère} campagne.

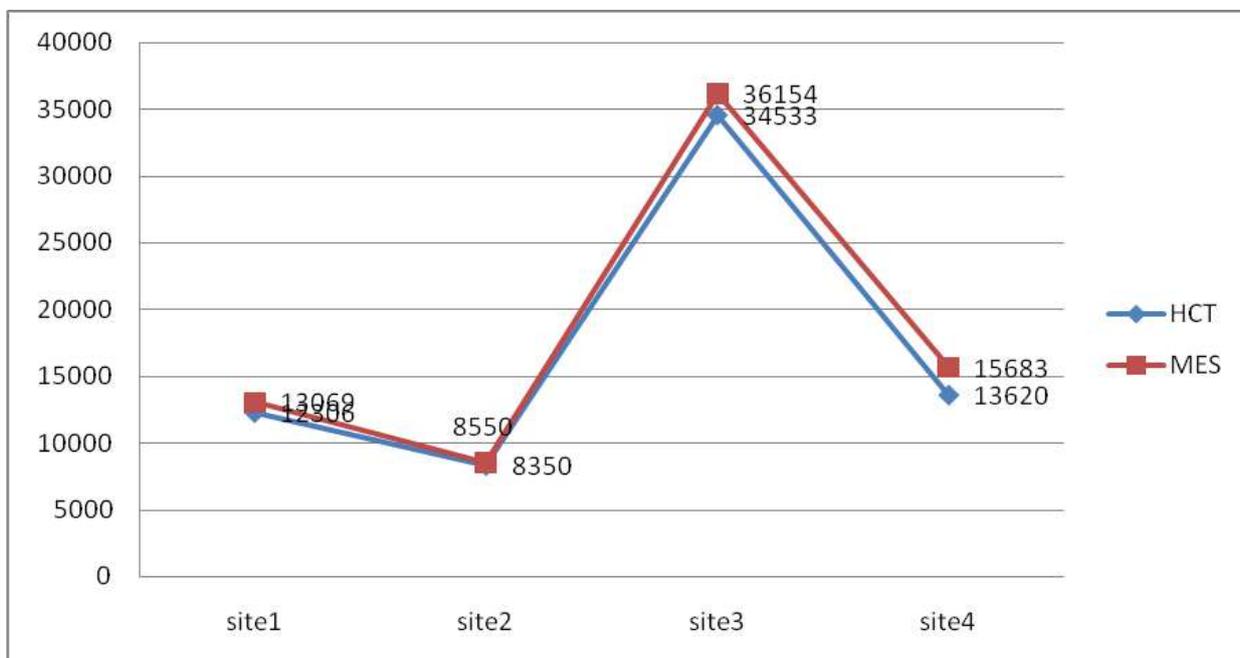


Figure (21) : Evolution des valeurs des hydrocarbures en fonction des valeurs de la MES pendant la 2^{ème} campagne

III.1.5. Conclusion

D'après les résultats obtenus des paramètres étudiés pour les sites choisis pendant la période de travail, qui montrent des grandes valeurs de la DCO et de la MES des valeurs assez faibles de la DBO₅, des valeurs très importantes et de la même tendance des rapports DCO/DBO₅ et MES /DBO₅, ces qui nous informe que la charge en matière organique dans les eaux usées de ces sites est non biodégradable.

Alors nous pouvons conclure que les eaux usées des stations de lavage sont chargées par les matières organiques qui ont une mauvaise biodégradabilité à cause de l'existence des grandes quantités des huiles et des graisses et des détergents.

Les résultats trouvés ont été confirmés par cinq prélèvements à des saisons différentes, l'été, l'automne et l'hiver et le printemps, Nous remarquons des variations de nos valeurs d'un prélèvement à l'autre et de même site mais nous pouvons dire que ce changement est relatif au taux d'activité qui change d'un jour à l'autre.

III.2. Analyse qualitative des polluants**III.2.1. Introduction**

Sur le plan chimique, les eaux usées sont constituées de mélanges complexes de composés organiques et de composés inorganiques. La pollution causée par ces mélanges est soit attribuée aux activités agricoles, industrielles ou domestiques. Elle se caractérise par son caractère insidieux et par sa complexité.

Étant donné les grandes variétés de ces composés, les difficultés analytiques peuvent être considérables; les techniques à utiliser sont toujours d'une mise en œuvre délicate et longue tout en nécessitant des appareillages souvent très performants. Il nous a paru utile de réunir dans cette partie de chapitre les méthodes de séparation (extraction liquide-liquide) et d'analyse qualitative (méthodes spectroscopiques) utiles pour l'identification des Hydrocarbures [11].

III.2.2. Fractionnement des micropolluants organiques

Le protocole de fractionnement, permettant l'analyse d'une large gamme de micropolluants organiques, est basé principalement sur les propriétés physico-chimiques de ces micropolluants telles que la volatilité, l'hydrosolubilité, et le caractère acido-basique.

Ce fractionnement conduit à trois fractions représentatives:

- des composés organiques hydrophobes volatils (COV),
- des composés organiques hydrophobes non volatils, extractibles par un solvant,
- des composés organiques hydrophiles (non ionisables et ionisables).

Cependant, les frontières entre ces classes physico-chimiques sont parfois difficiles à établir et les familles de polluants citées ne sont que des exemples permettant de mieux définir ce mode de fractionnement [11].

Les composés organiques hydrophobes non volatiles sont généralement extractibles par un solvant et sont représentés par différentes familles telles que les phénols, les pesticides, les hydrocarbures, les phtalates, etc.

L'extraction liquide-liquide est communément employée pour extraire ces composés. Elle s'effectue de façon discontinue, ou continue[11]

Les Hydrocarbures qui sont le sujet de notre étude, sont classés dans la 2^{ème} catégorie des micropolluants organiques, ils sont hydrophobes non volatils extractibles par un solvant organique (Figure 22).

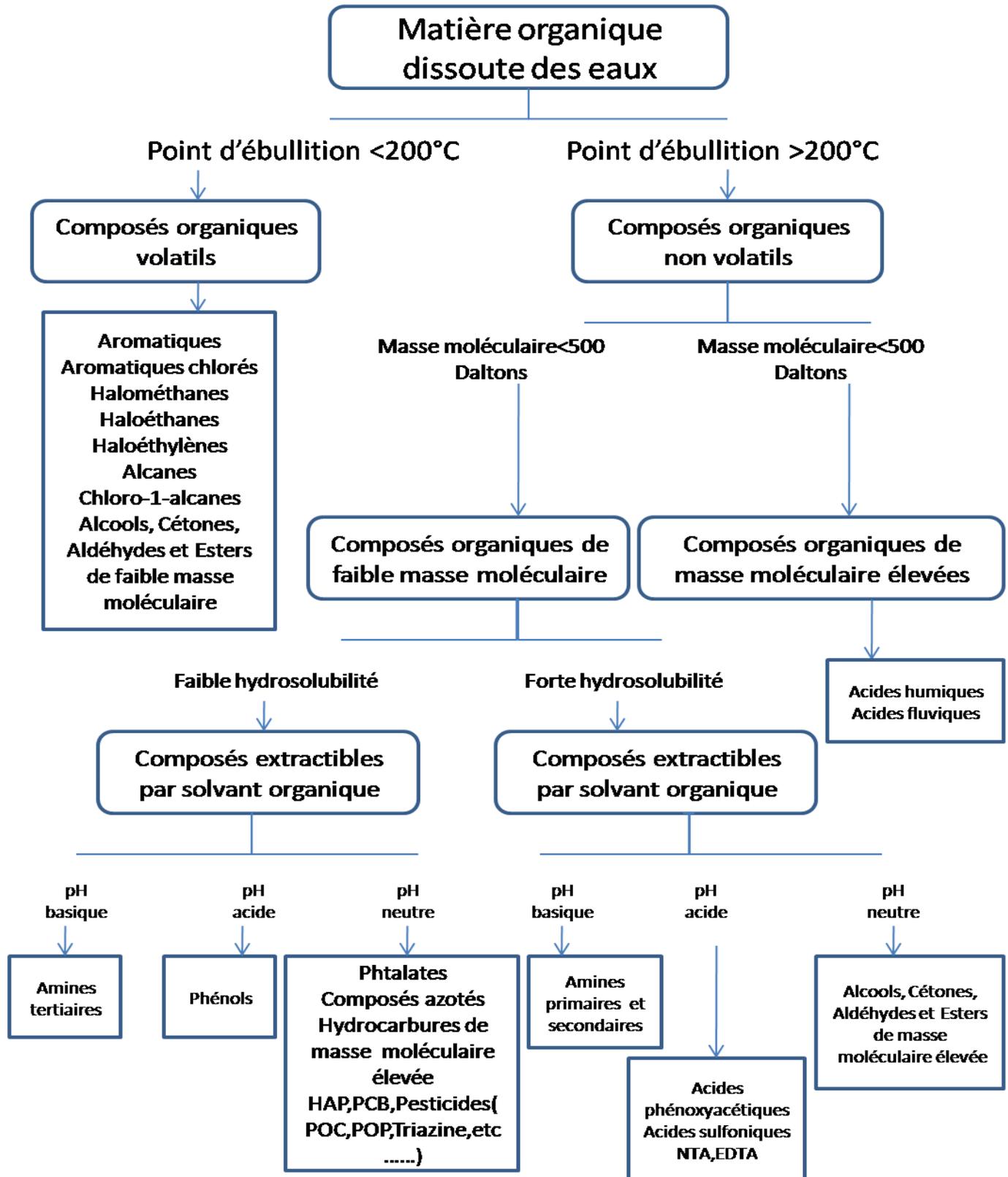


Figure (22): Fractionnement des micropolluants organiques en fonction de propriétés physico-chimiques: point d'ébullition, masse moléculaire, hydrosolubilité et pH [11].

III.2.2.1. Principe (extraction liquide-liquide)

Le principe de cette séparation repose sur le partage différentiel d'une substance entre deux solvants non miscibles (phase aqueuse et phase organique). C'est ce qu'on appelle une extraction liquide-liquide.

L'extraction selon la méthode de EPA fait donc subir à un échantillon d'eau usée toute une série d'extractions liquide-liquide. En faisant varier l'alcalinité ou l'acidité de la phase aqueuse, on pourra ainsi obtenir les extraits, correspondant chacun à un groupe de famille chimique (voir la partie III.1.3.3), puis les extraits sont analysés par les méthodes spectroscopiques et la chromatographie.

[11, 31, 37, 38].

III.2.2.2. Matériels et méthodes**a. Protocole d'extraction**

Pour obtenir les extraits des Hydrocarbures des échantillons d'eaux usées des 4 sites étudiés, nous avons suivi le schéma d'extraction décrit par l'EPA illustré par la Figure (23) (voir la partie III.1.3.3)

III.2.3. L'analyse qualitative

Parmi les nombreuses méthodes d'analyse qualitative, les techniques spectrométriques ont été retenues du fait de leur large domaine d'application et de leur adéquation avec nos besoins et bien sûr la disponibilité des équipements, puisque l'identification d'un composé inconnu doit s'effectuer en jumelant les techniques d'absorption infrarouge, d'absorption ultraviolette, de la résonance magnétique nucléaire et de la spectrométrie de masse.

Dans ce chapitre notre ambition se limitera à un niveau de connaissances relativement modeste. Des généralités sur les méthodes d'analyse spectroscopiques utilisées pour l'identification de nos échantillons : les spectroscopies UV/visible et IR. Ces méthodes sont basées sur l'interaction entre l'échantillon à analyser et le rayon électromagnétique [39, 40].

III.2.3.1. L'analyse par la spectrophotométrie ultraviolette (UV)

L'absorption moléculaire dans la région ultraviolette du spectre électromagnétique présente un grand intérêt pour le chimiste car elle dépend de la structure électronique de la molécule. Un spectre ultraviolet est une courbe précisant les variations d'absorption d'énergie d'une substance

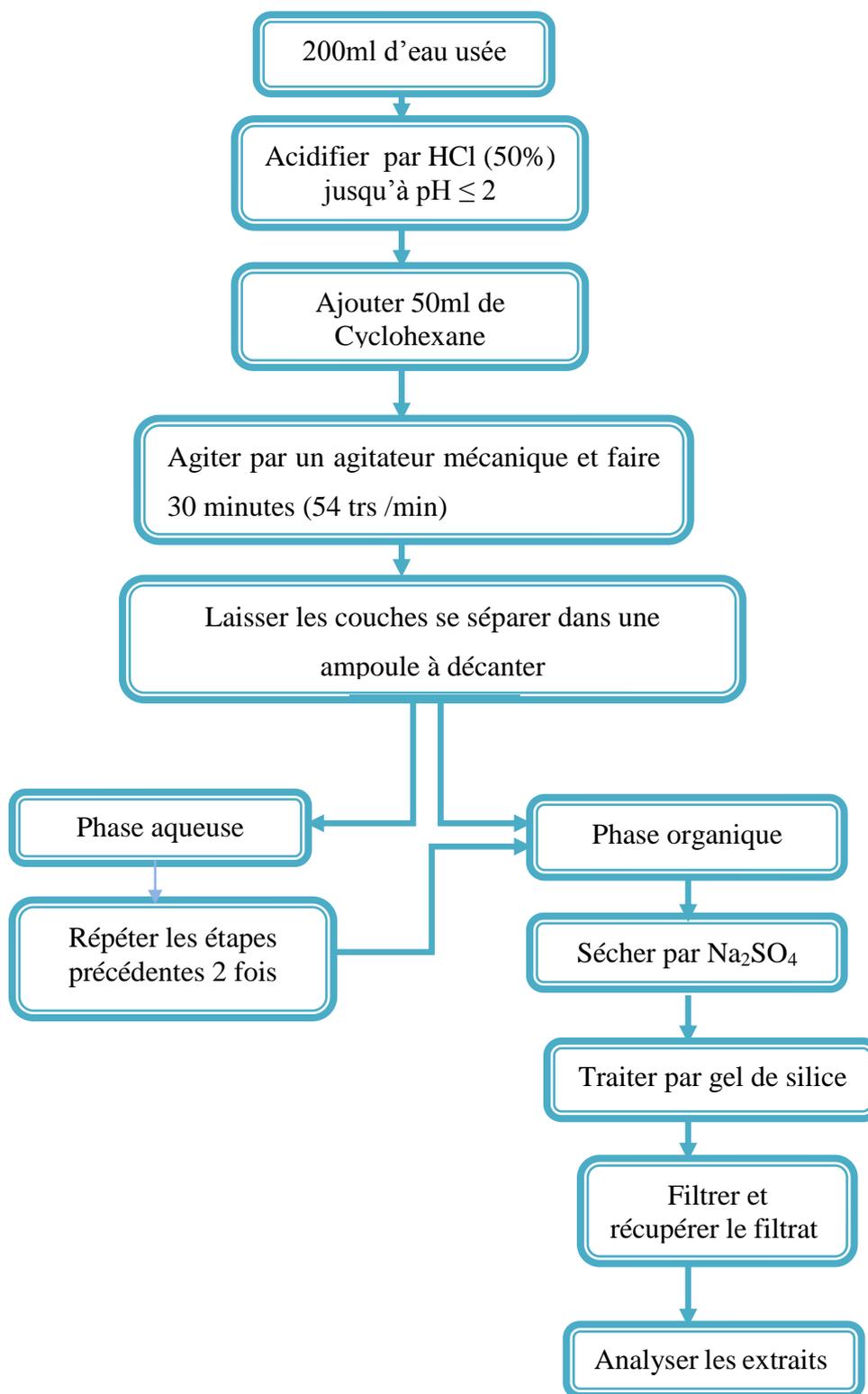


Figure 23: Protocole d'extraction des Hydrocarbures [11, 31, 37, 38].

soumise aux rayonnements ultraviolets : le tracé de cette courbe représente, en effet, l'intensité de l'absorption (sous forme de densité optique) en fonction de la longueur d'onde ou de la fréquence. Les spectres ultraviolets donnent souvent moins de renseignements structuraux que les spectres infrarouges. Si tous les composés organiques possèdent une absorption caractéristique dans l'IR, beaucoup d'entre eux, sont par contre transparents dans le proche ultraviolet. Cependant, de nombreux composés, de structure électronique particulière (cétones, aldéhydes, composés aromatiques et phénoliques) présentent une absorption caractéristique. Cette absorption peut être utile dans la détermination d'une structure. Donc, le spectre ultraviolet servira à confirmer une structure qui aura été proposée par d'autres techniques. Dans notre cas nous allons essayer confirmer par les analyses spectroscopiques ultraviolettes et les spectres obtenus la présence des Hydrocarbures dans nos extraits [39-42]

a. Principe et théorie

La région ultraviolette du spectre électromagnétique s'étend de 10 à 380 nm. Le domaine du proche ultraviolet accessible aux appareils munis d'une optique en quartz s'étend de 200 à 380 nm et celui de l'U.V. lointain au dessous de 200 nm.

Cette méthode s'adresse principalement aux hydrocarbures aromatiques monocyclique (BTEX et autre alkybenzène) et polycycliques (HAP) qui absorbent dans l'ultraviolet entre 200 nm et 290nm [10]

Tableau (17) : Principales structures et transitions électroniques dans les hydrocarbures.

<i>Structure</i>	<i>Exemple</i>	<i>Transition</i>	<i>λ_m (nm)</i>
π	éthylène	$\pi - \pi^*$	165
$\pi - \pi$	butadiène -1,3	$\pi - \pi^*$	220
	hexatriène-1, 3,5	$\pi - \pi^*$	258
aromatique π	benzène	$\pi - \pi^*$	200
		$\pi - \pi^*$	255
aromatique $\pi - \pi^*$	styrène	$\pi - \pi^*$	244
		$\pi - \pi^*$	282
aromatique	toluène	$\pi - \pi^*$	208
		$\pi - \pi^*$	262

b. Matériels et méthodes :

Le spectrophotomètre UV utilisé dans notre étude est de marque UNICAM muni d'une cuve en quartz de 10 mm d'épaisseur (voir l'annexe photo 7, 8, 9).

L'analyse est effectuée dans le domaine UV selon les étapes suivantes:

- Nous avons limité le domaine de longueurs d'ondes à $\lambda = [190-400]$ nm.
- le zéro de l'absorbance est obtenu en utilisant le Cyclohexane (solvant de l'extraction de nos échantillons).
- L'extrait des eaux usées est ainsi placé dans le spectrophotomètre pour obtenir le spectre de chaque échantillon étudié dans ce travail.

Le solvant utilisé, le Cyclohexane de pureté 99%, provient de la firme Biochem.

III.2.3.2. L'analyse par la spectrophotométrie infrarouge (IR)

Le rayonnement infrarouge (IR) occupe la portion du spectre électromagnétique comprise entre celle du visible et celle des microondes. La région comprise entre 4000 cm^{-1} et 400 cm^{-1} est particulièrement utile au chimiste organicien.

Même une molécule très simple peut donner un spectre extrêmement complexe. Le chimiste organicien tire avantage de cette complexité en confrontant le spectre d'un composé connu à celui d'un échantillon inconnu. Une corrélation pic à pic est un excellent moyen d'identification. Il est peu probable que deux composés quelconques, excepté les énantiomères, aient le même spectre IR.

Des informations utiles sur la structure d'un échantillon peuvent être obtenues par simple examen du spectre en se référant à des tables générales regroupant les fréquences des groupes fonctionnels caractéristiques. Ces dernières nous seront des plus utiles [39, 43].

a. Principe et théorie

Cette méthode est applicable à l'analyse d'échantillon d'eau et de sol après extraction et élimination des composés organiques polaires (composés polaires du pétrole, matière organique naturelle, métabolites de biodégradation) sur silicate de magnésium ou gel de silice, elle est encore considérée comme la méthode normalisée de référence [10, 39, 43].

Les Fréquences caractéristiques des groupements organiques constitués les hydrocarbures sont illustrées.

b. Matériels et méthodes

Le spectre obtenu grâce à un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier de type Shimadzu 8300 (voir l'annexe photo 10), est comparé à celui d'un témoin. Les échantillons sont analysés sous forme de liquide en utilisant des disques de NaCl. Le solvant utilisé est le Cyclohexane (Biochim, 99%). Les paramètres utilisés pour l'appareil sont regroupés dans le tableau 18.

Tableau (18): Les paramètres d'analyse par l'appareil d'IR.

<i>Paramètre</i>	<i>Résolution</i>	<i>Nombre de balayage</i>	<i>Détecteur</i>	<i>Mode</i>	<i>Nombre d'onde</i>
Réglage	4	10	Standard	Transmittance	400-4000cm ⁻¹

III.2.4.Résultats et discussion**III.2.4.1.La densité des extraits**

Les extraits des Hydrocarbures des 4 sites étudiés ont conduit aux densités regroupées dans le tableau 19. Ces densités varient de 0.7707 à 0.7790 Elles sont donc comprises dans l'intervalle des valeurs relatives à des huiles et des carburants et au Cyclohexane (solvant d'extraction).

Ces résultats nous donnent une idée sur la composition chimique de nos extraits, mais La confirmation de ces résultats doit passer par l'analyse des spectres UV et Ft-IR.

Tableau (19): Valeurs de la densité mesurées pour les extraits des Hydrocarbures.

<i>Le composé</i>	<i>La densité</i>
Mélange des huiles	0.8815
Cyclohexane	0.777-0.779
N°1	0.7707
N°2	0.7720
N°3	0.7976
N°4	0.7790

III.2.4.2.L'analyse des spectres UV et Ft-IR

a. L'analyse par la spectrophotométrie ultraviolette (UV)

Suite aux précédents résultats, nous avons entrepris dans cette étape la confirmation de la présence des Hydrocarbures dans nos extraits par l'analyse des spectres UV illustrés dans les

figures de 24 à 28. Les spectres UV obtenus pour les extraits de nos échantillons nous montrent des absorbances maximales à des longueurs d'onde enregistrées dans le tableau 20.

Tableau (20): Résultats des analyses par spectrophotométrie UV-Visible.

<i>L'échantillon</i>	λ_{max_1} (nm)	λ_{max_2} (nm)
L'extrait1	212.5	265
L'extrait2	205	-
L'extrait3	201.25, 227.5	257.5
L'extrait4	208.75, 227.5	257.5
Mélange des hydrocarbures	208.75, 220	261.25
Interprétation	(II - II*)	

Nous remarquons que les absorbances sont à des longueurs d'onde de forte intensité comprises entre 205 et 265 nm .Comparativement aux spectres des étalons, ces résultats nous confirment bien que nos extraits contiennent majoritairement des hydrocarbures surtout les aromatiques[41, 42, 43].

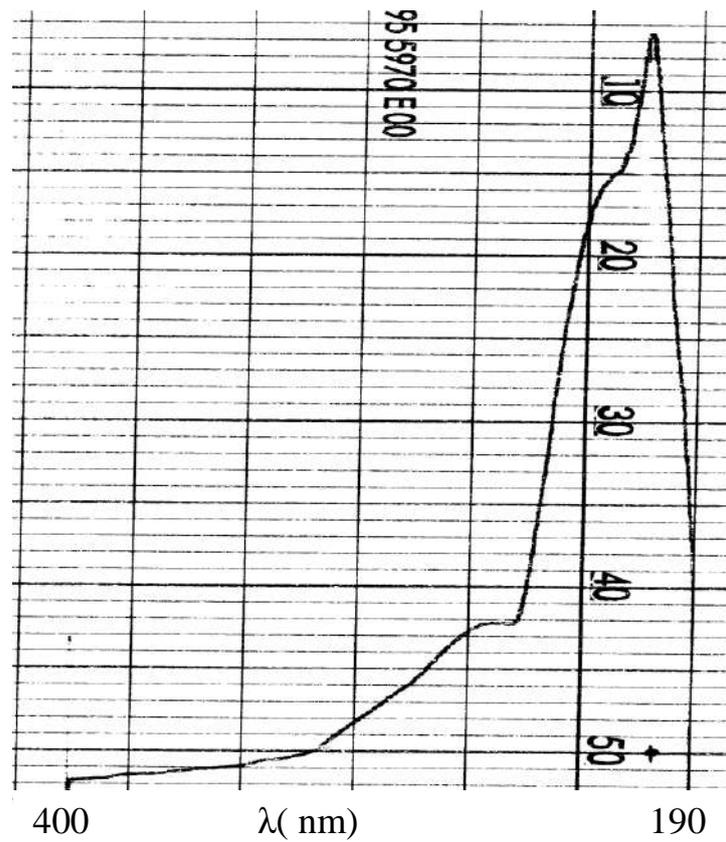


Figure (24): Le spectre UV de l'extrait des Hydrocarbures (1).

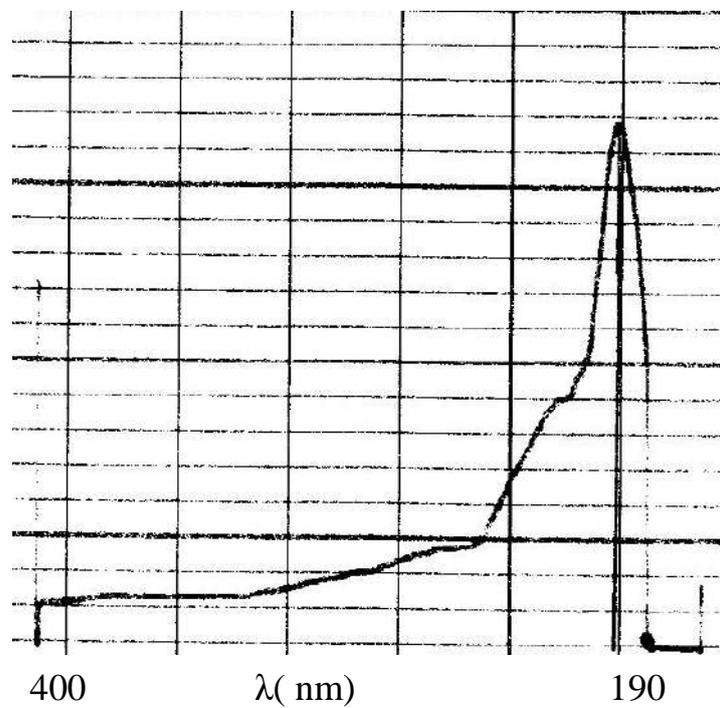


Figure (25): Le spectre UV de l'extrait des Hydrocarbures (2).

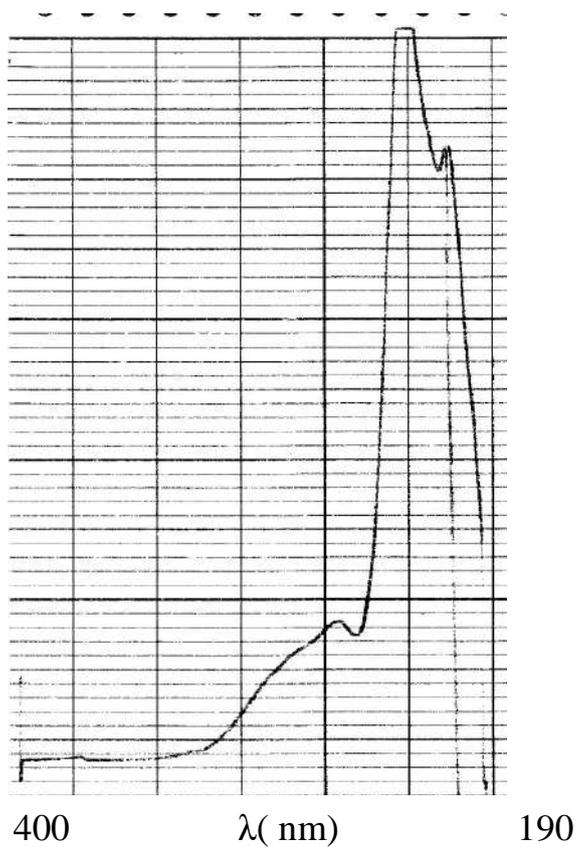


Figure (26): Le spectre UV de l'extrait des Hydrocarbures (3).

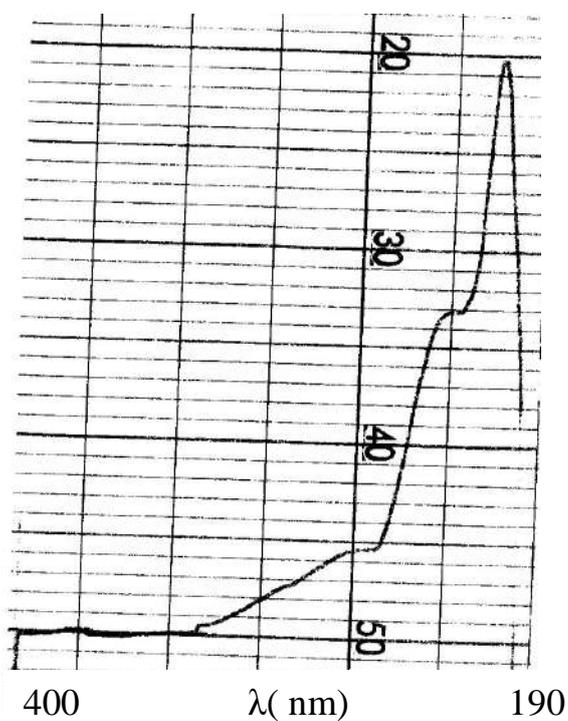


Figure (27): Le spectre UV de l'extrait des Hydrocarbures (4).

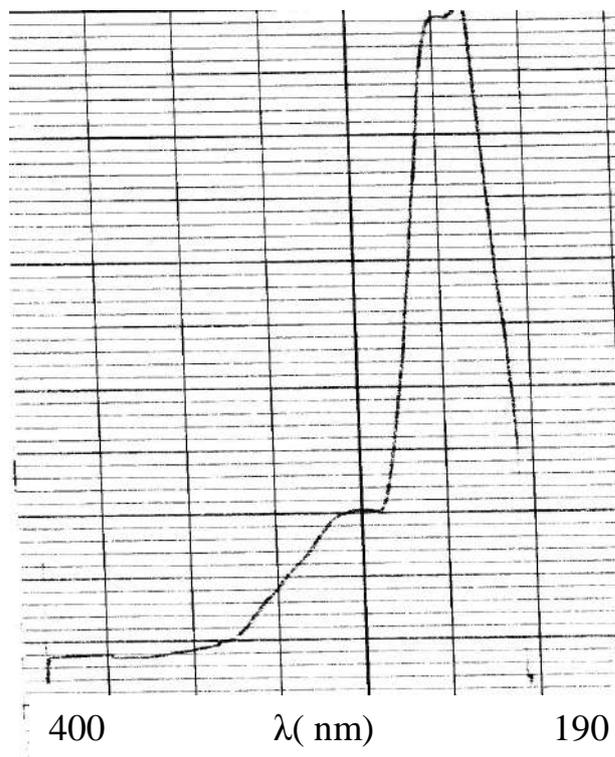


Figure (28): Le spectre UV de l'extrait de mélange des huiles et des carburants.

b. L'analyse par la spectrophotométrie infrarouge (IR)

Les spectres IR obtenus pour les extraits des échantillons des sites étudiés et des étalons (des huiles et carburants) sont illustrés dans les figures de 29 à 39.

Lorsque l'on compare les spectres Ft-IR de nos extraits et des étalons, on constate qu'ils sont relativement similaires. Les bandes caractéristiques observées sont résumées dans le tableau 21.

Tableau (21): Résultats des analyses de nos échantillons par spectrophotométrie IR.

<i>Bande caractéristique des extraits</i>	Interprétation [40, 41,43].
2960 cm ⁻¹ de forte intensité	Vibration d'élongation asymétrique (a) de groupement CH ₃ (La présence de plusieurs groupes méthyles dans une molécule donne lieu à une forte absorption à cette position
2922, 2923.9 cm ⁻¹ de forte intensité	Vibration d'élongation asymétrique (a) de groupement CH ₂
2852.5, 2854.5, 2856.4 cm ⁻¹ de forte intensité	Vibration d'élongation symétrique (s)de groupement CH ₂
1456.2, 1458.1, 1461.9, 1463.9 cm ⁻¹ de moyenne intensité	Vibration de déformation antisymétrique de groupement CH ₃
1377.1, 1375.2 cm ⁻¹ de moyenne intensité	Vibration de déformation symétrique de groupement CH ₃
1465 cm ⁻¹	Vibration de cisaillement de groupement CH ₂
1338.5, 1340.4 cm ⁻¹ de faible intensité	Vibration de torsion de groupement CH ₂
1150 cm ⁻¹	Vibration de balancement de groupement CH ₂
720,721.3 cm ⁻¹ de faible intensité	Rotation de groupement CH ₂
1200-800 cm ⁻¹	C-C : vibration de d'élongation
1667à 1640 cm ⁻¹	C=C non conjuguée

D'après les interprétations regroupées dans le tableau 20, nous pouvons à priori avec les résultats de la spectrophotométrie UV, confirmer la présence des Hydrocarbures surtout aromatiques dans nos extraits.

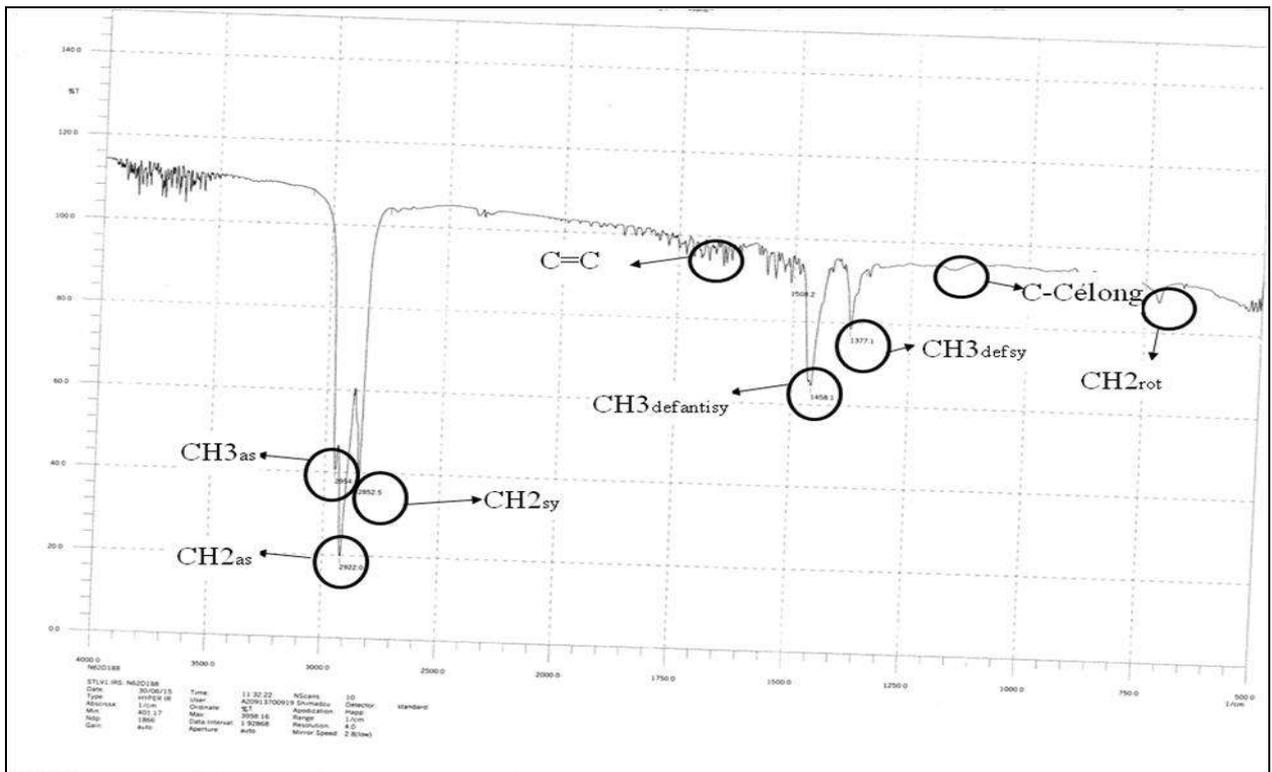


Figure (29): Le spectre IR de l'extrait des Hydrocarbures (1).

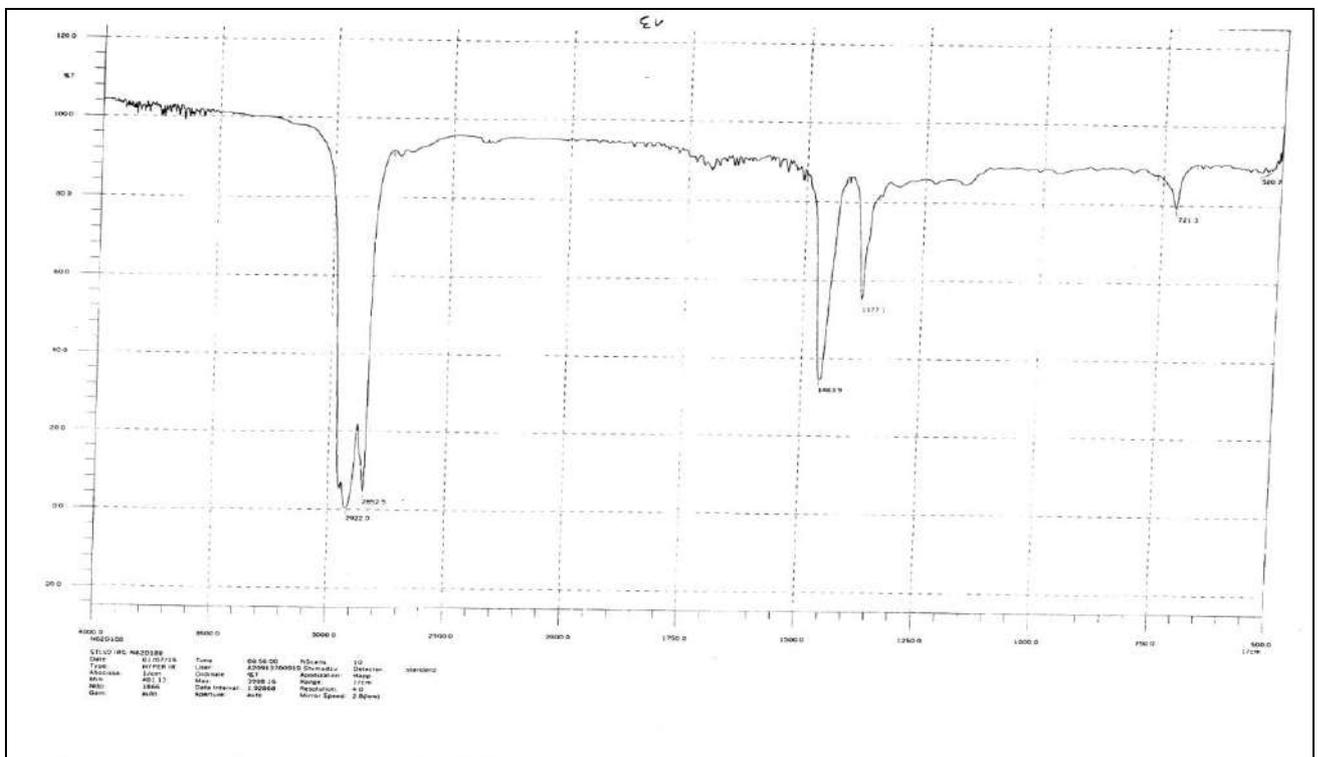


Figure (30): Le spectre IR de l'extrait des Hydrocarbures (2).

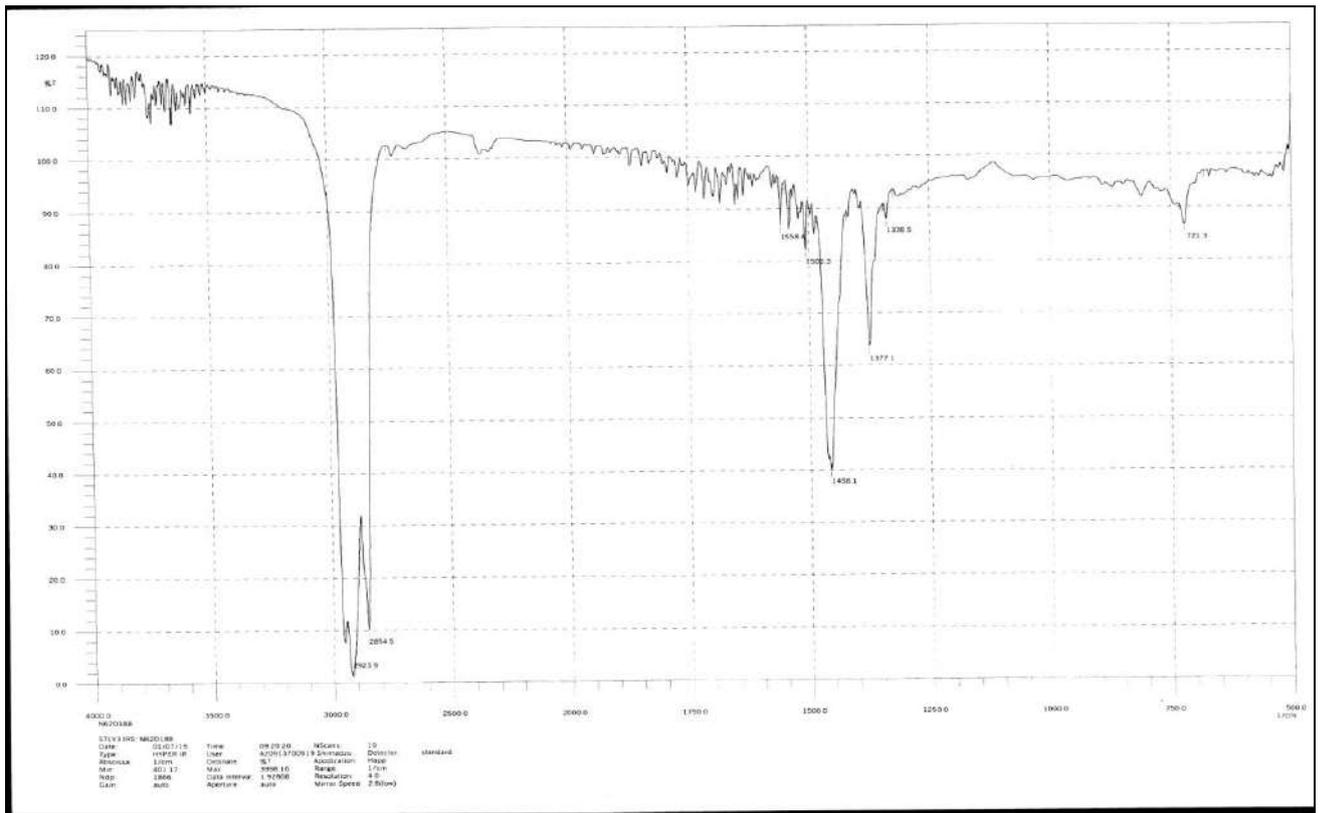


Figure (31): Le spectre IR de l'extrait des Hydrocarbures(3).

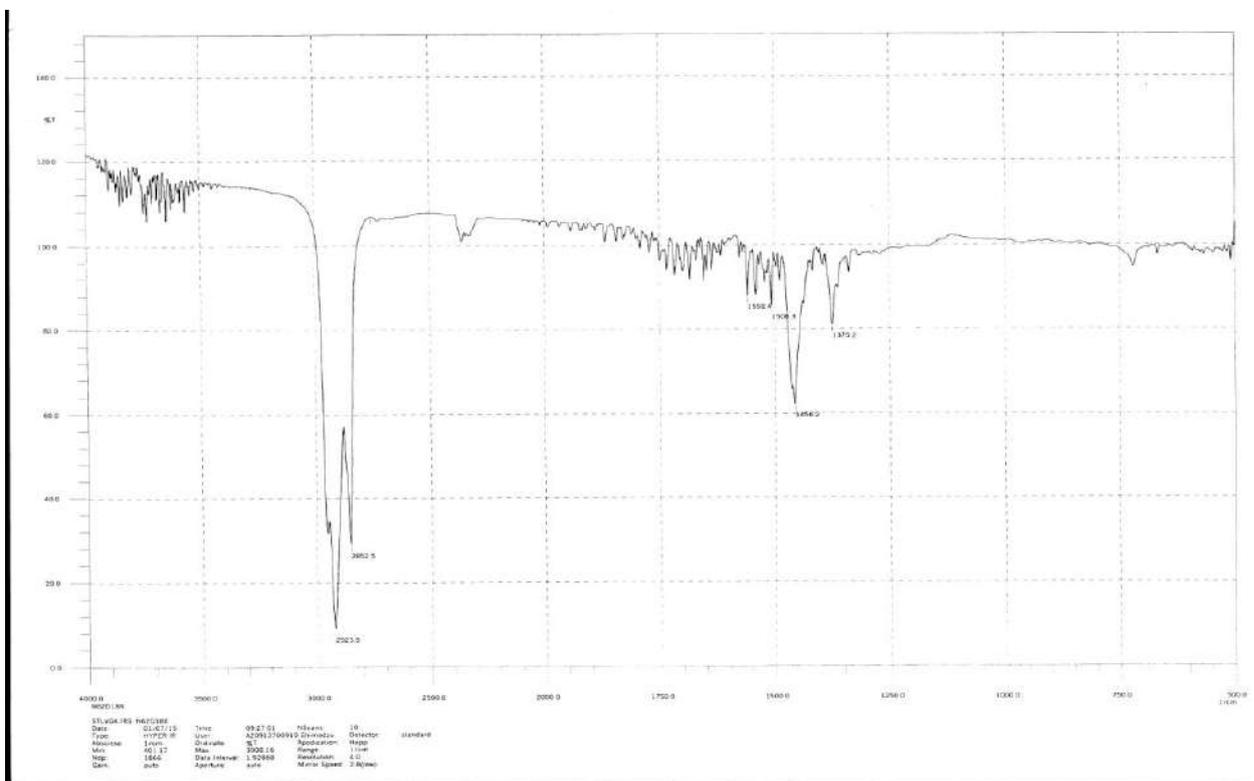


Figure (32): Le spectre IR de l'extrait des Hydrocarbures (4).

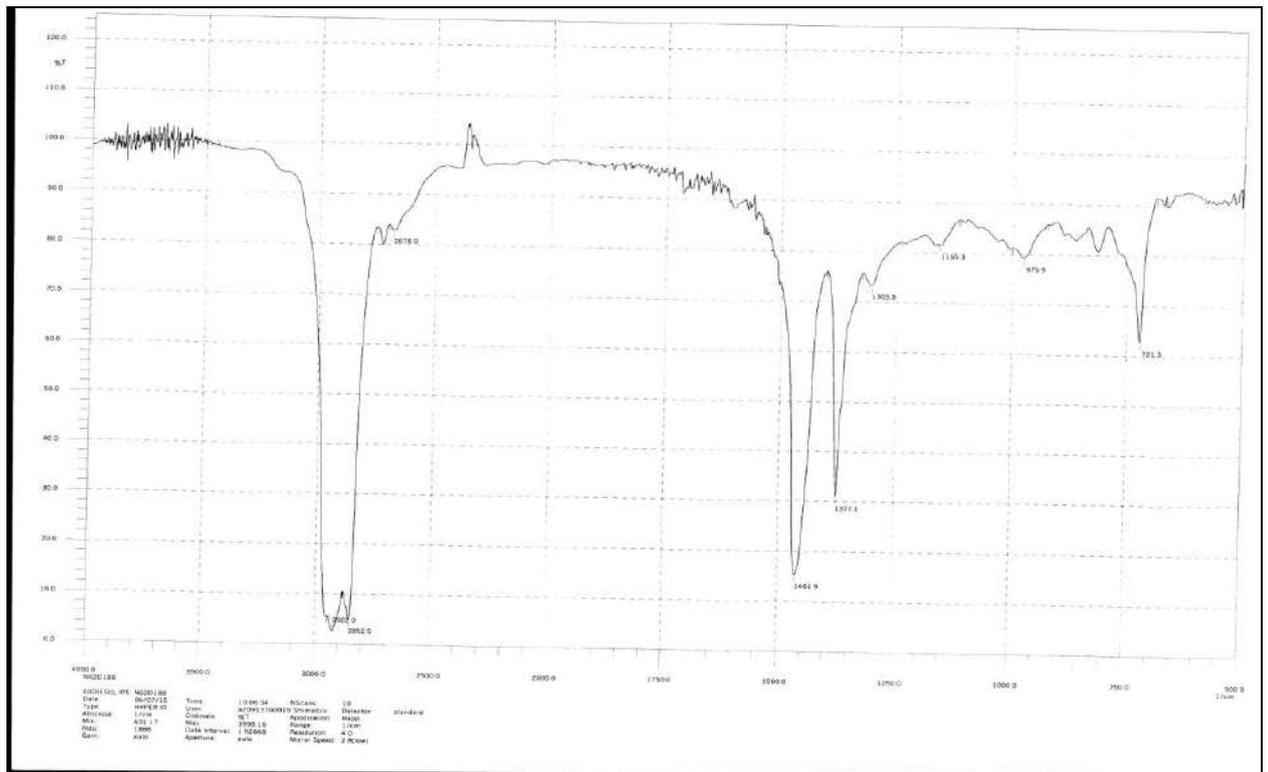


Figure (33): Le spectre IR de 40.

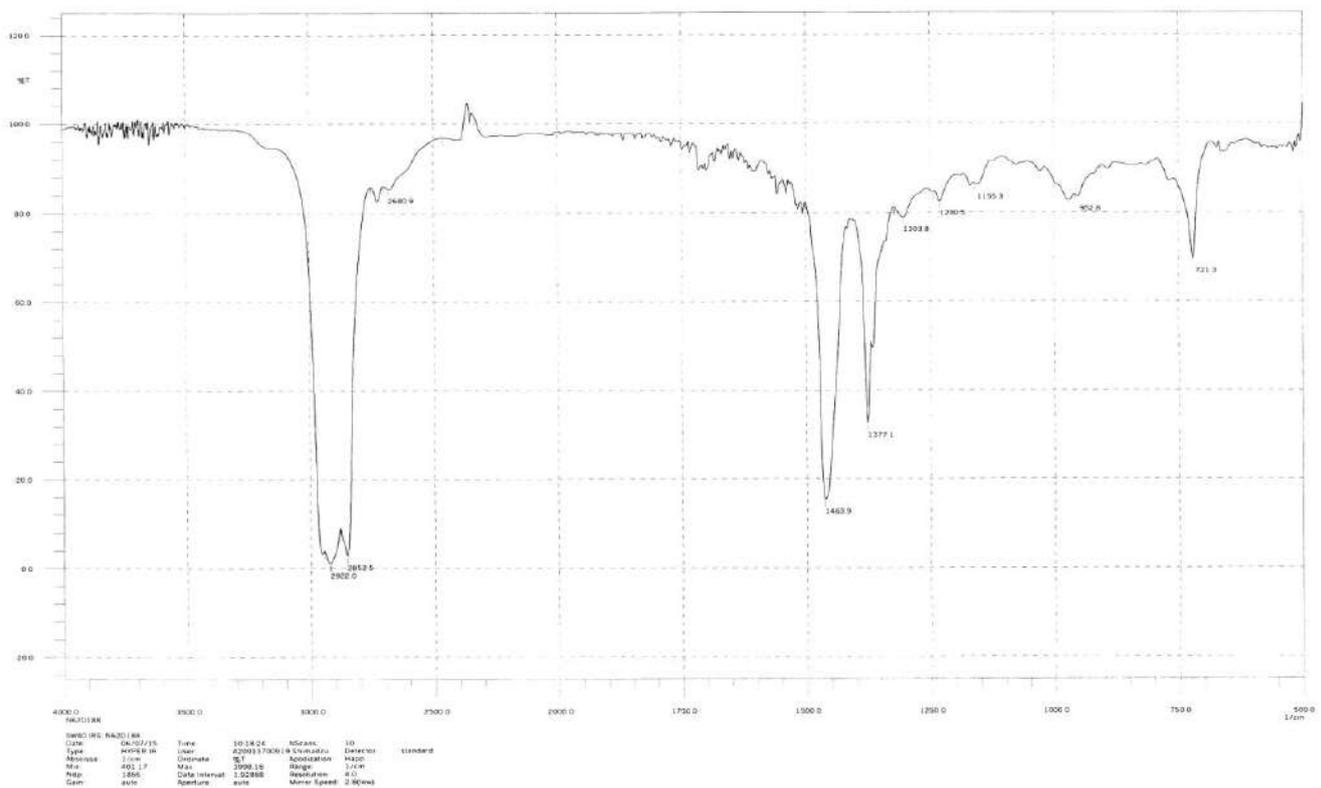


Figure (34): Le spectre IR de 5W40.

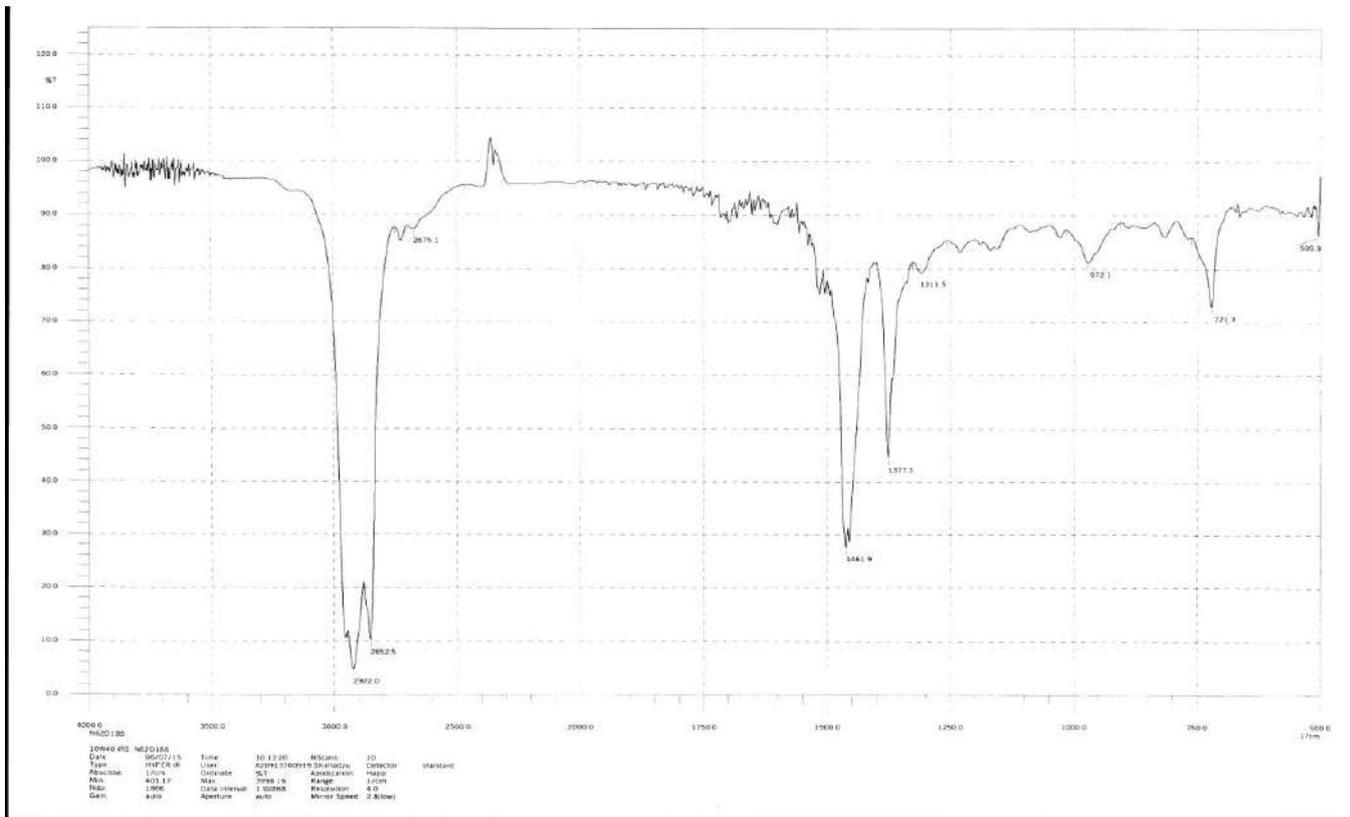


Figure (35): Le spectre IR de 10W40.

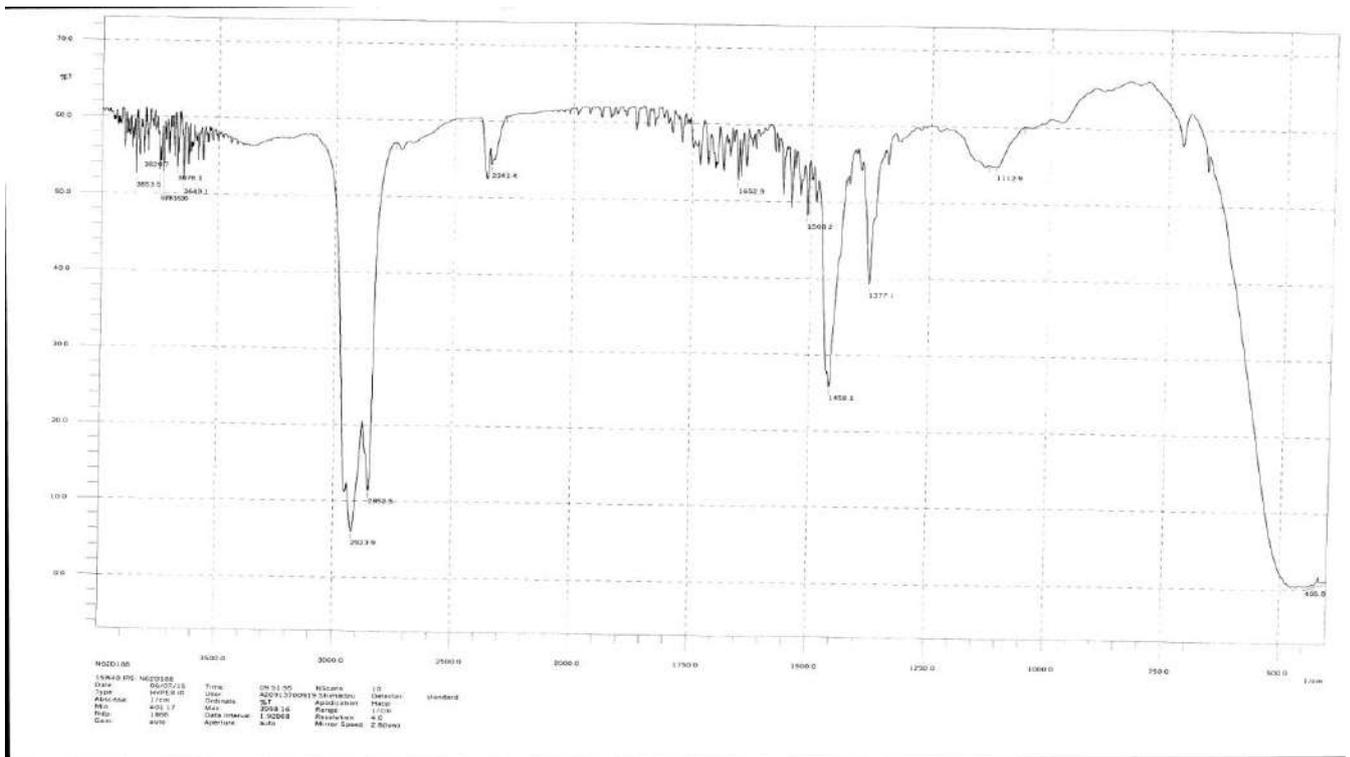


Figure (36): Le spectre IR de 15W40.

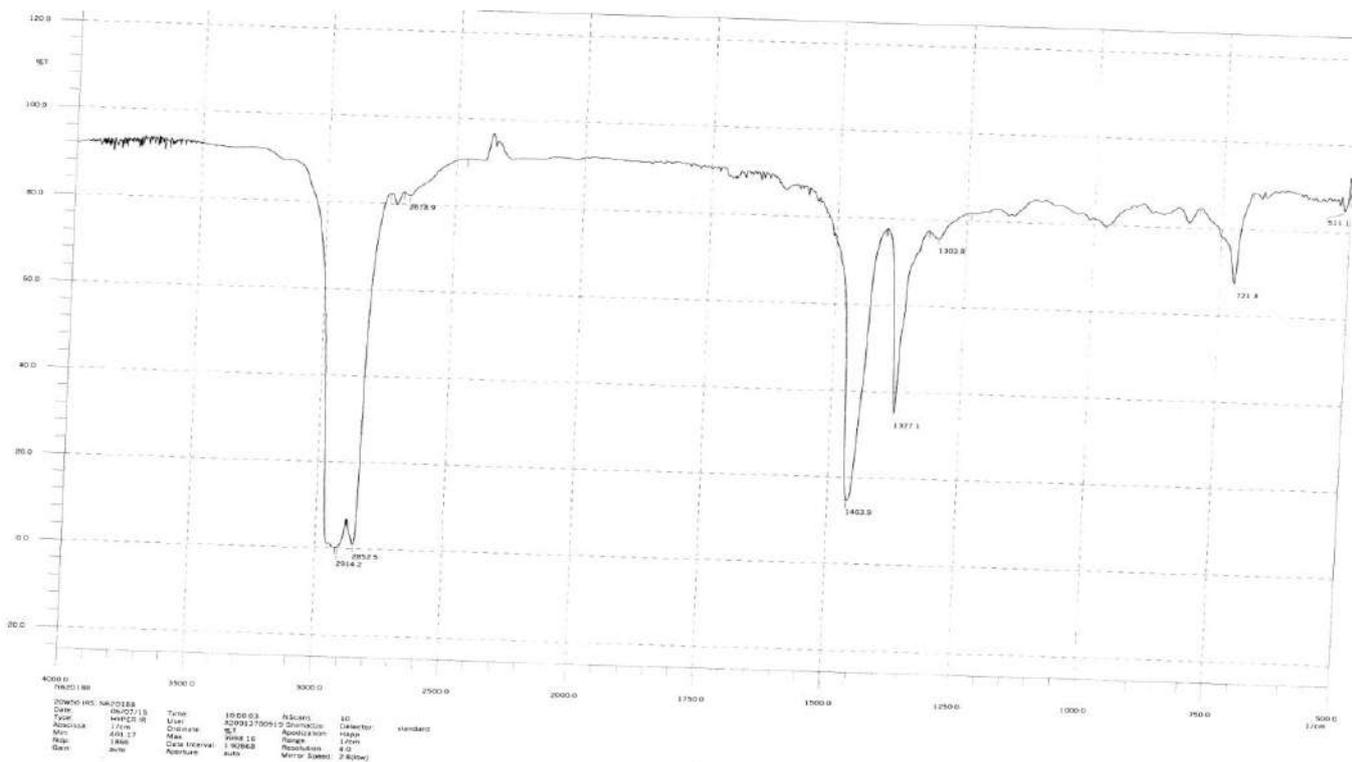


Figure (37): Le spectre IR de 20W50.

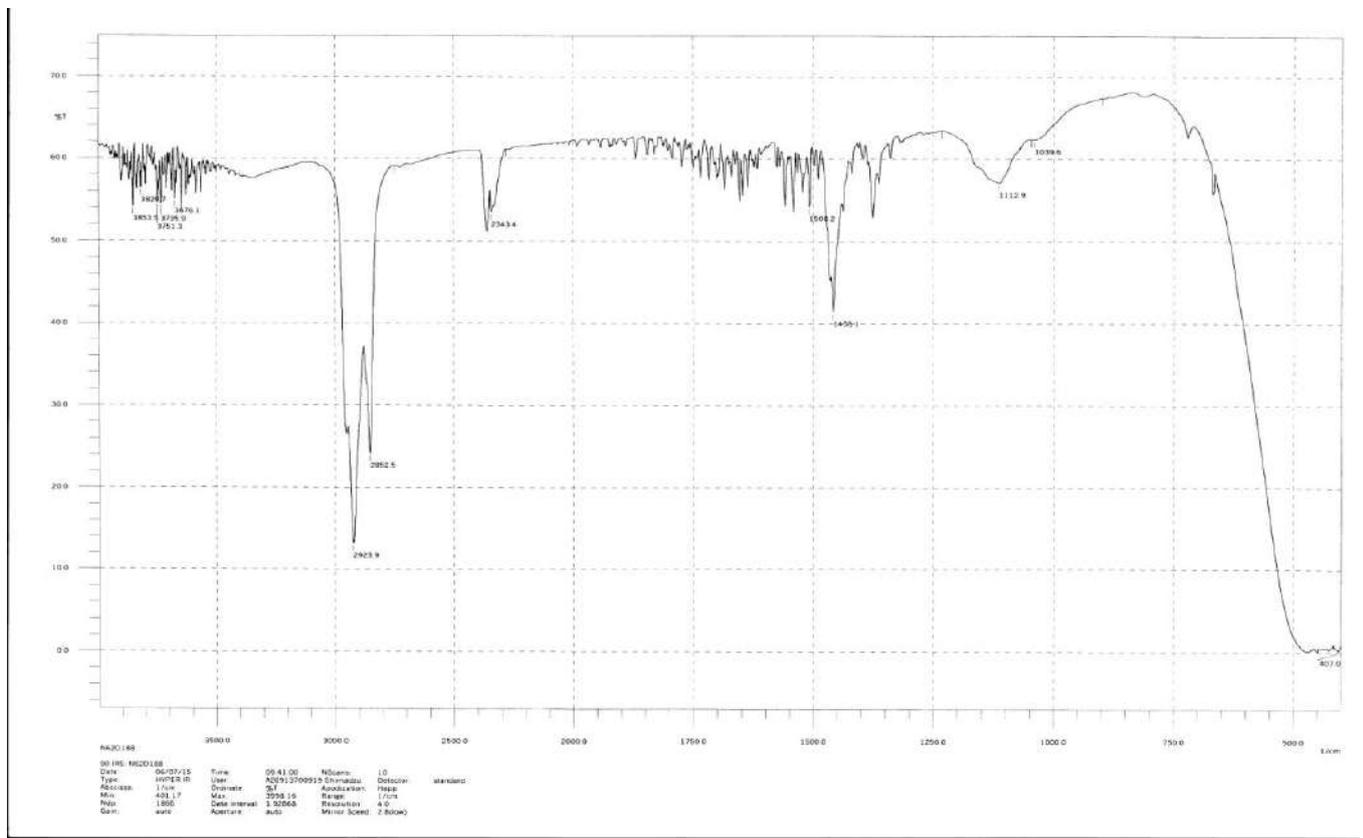


Figure (38): Le spectre IR de 90.

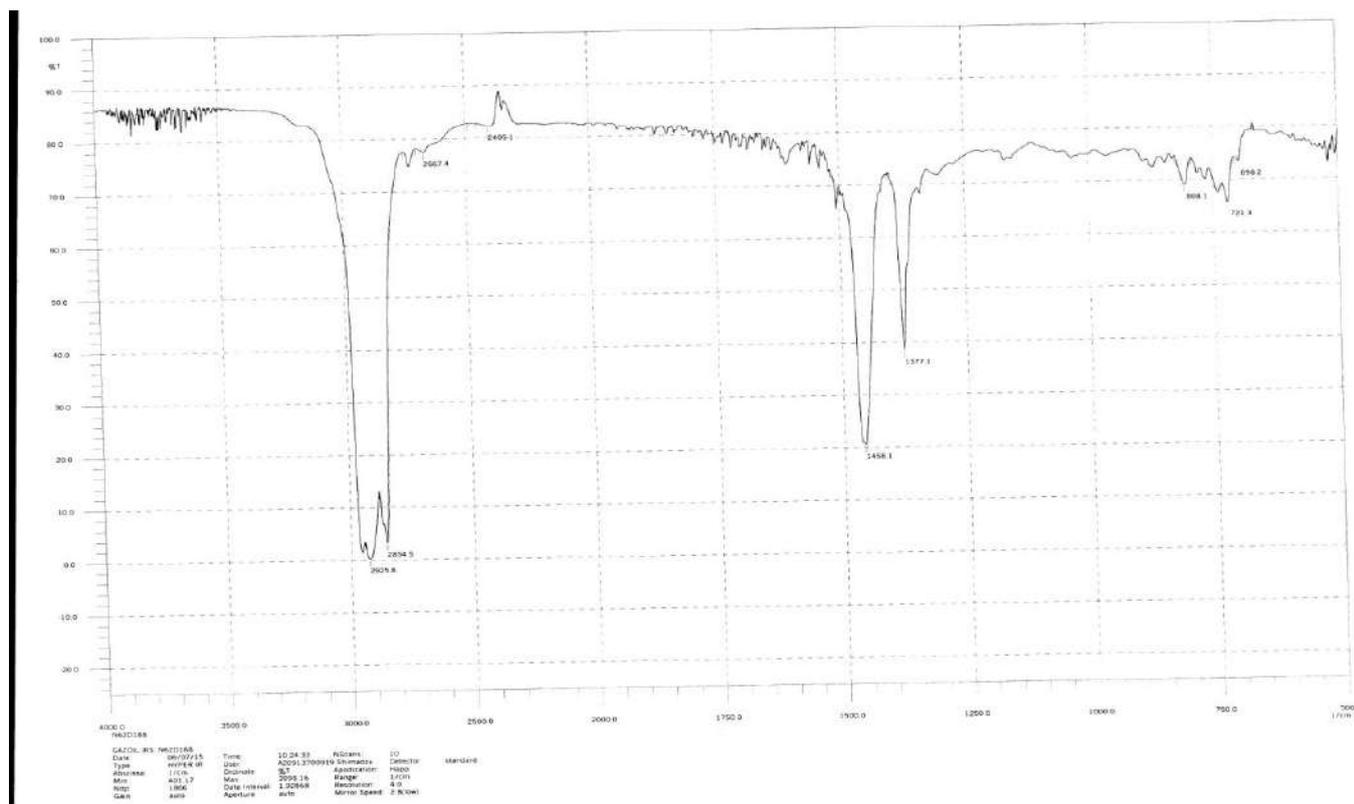


Figure (39): Le spectre IR de Gazoil

III.2.5. Conclusion

Le but de cette partie du chapitre est de confirmer la présence des composés hydrocarbonés dans les extraits des eaux usées de quelques stations de lavage.

D'après les résultats de l'analyse par les spectrométries UV et Ft-IR, nous avons confirmé une présence des hydrocarbures majoritairement saturés et avec des taux moins insaturés. Ces résultats sont conformes avec les résultats de la littérature qui ont prouvé que la composition réelle des produits de combustion sont CO_2 , H_2O , N_2 , H_2 , CO et des produits appelés souvent « hydrocarbures imbrûlés », ou HC, présents en faible concentration. [44]

III.2.3.3. Analyse par la chromatographie en phase gazeuses couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS)**III.2.3.3.1. Introduction**

La chromatographie en phase gazeuses couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) est une technique largement répandue pour la caractérisation des structures de composés volatils dans les mélanges les plus complexes, elle fournit des informations spectroscopiques utiles et peut être appliquée d'une manière fiable et courante. L'identification est effectuée par comparaison des spectres de masse des composés inconnus avec les bibliothèques qui incluent maintenant plus de 200000 spectres. Bien que la GC-MS ait été intensivement employée pour la caractérisation des effluents, cette technique fournit seulement des informations partielles et tous les polluants polaires, lourds et thermiquement instables sont généralement perdus. Actuellement, la GC-MS est très employée dans l'analyse des composés organiques volatils et semi-volatils dans l'eau.

III.2.3.3.2. Matériels et méthodes

Dans notre cas les extraits au Cyclohexane sont analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse en mode d'ionisation par impact électronique (GC-MS/EI). Cette analyse a été réalisée en programmation de température (l'université de Bebb Ezzouar). Les paramètres utilisés pour l'appareil sont regroupés dans le tableau (22).

Tableau (22): Paramètres d'analyse par l'appareil GC-MS.

Le chromatographe	Agilent 19091S-433: 2510.56947
La Colonne	HP-5MS 5% Phenyl Methyl Silox 325 °C: 30 m x 250 µm x 0.25 µm
Le Gaz vecteur	He
Le Débit	54.5 mL/min
Le Mode d'injection	Splitless
Programme de température	70 °C pour 1.5 min , ensuite 10 °C/min à 320 °C pour 10 min

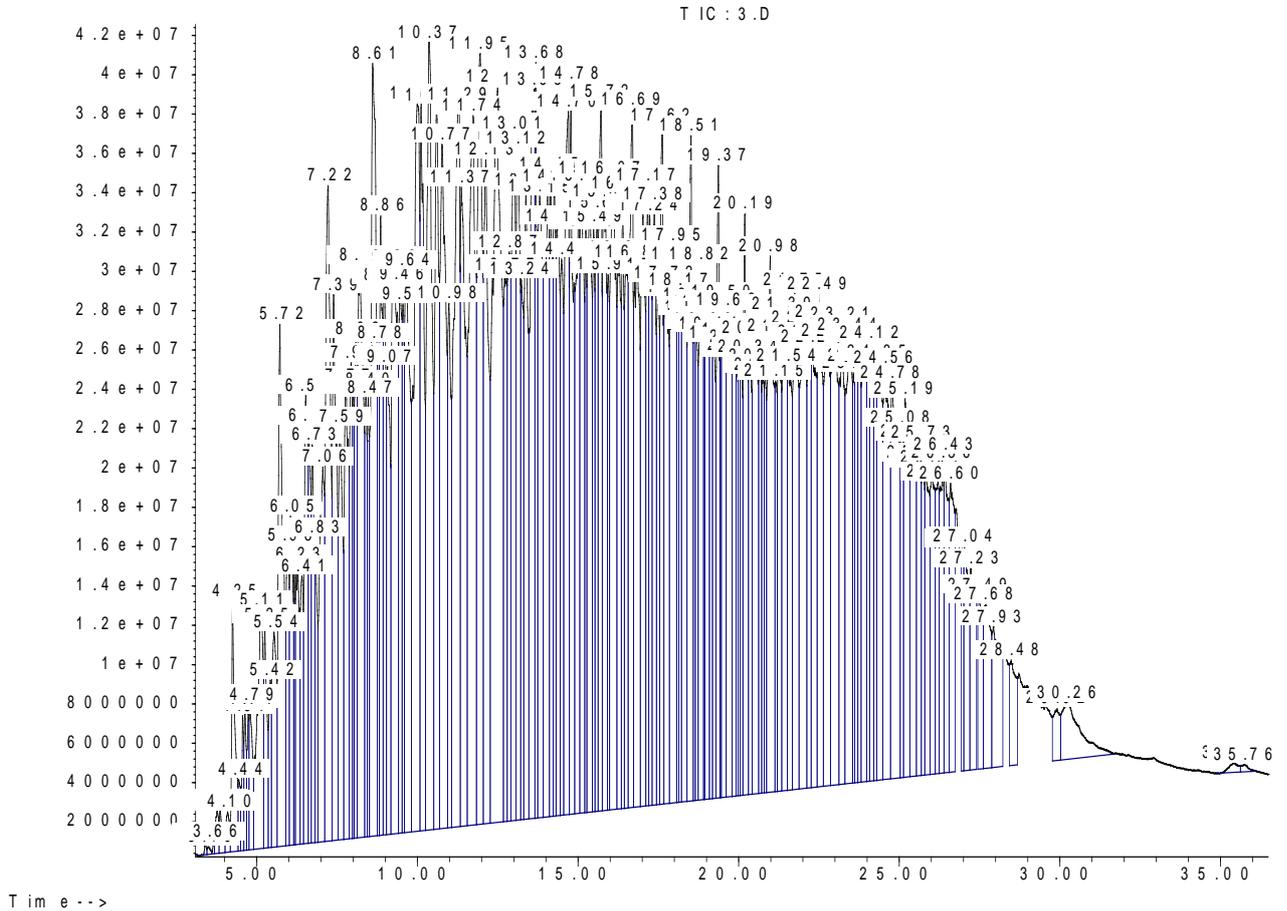
III.2.3.3.3. Résultats et discussion

Les figures (40.41) montre les chromatogrammes obtenus pour deux extraits au Cyclohexane des eaux usées des stations de lavage 3 et 4. Après ces chromatogrammes et le chromatogramme obtenu pour la série d'alcane C₁₀-C₂₉, on a calculé l'indice de rétention par la

$$I(X) = 100 \times (\text{tr}(x) - \text{tr}(z)) / (\text{tr}(z+1) - \text{tr}(z)) + 100z$$

formule cité au dessus et on l'a comparé avec les indices calculés par la littérature d'un coté, et de l'autre coté on a comparé les spectres de masse obtenus avec les spectres de masse cités dans les bases des donnés, les résultats obtenus sont regroupés dans les tableau (23et24)

Abundance



Abundance

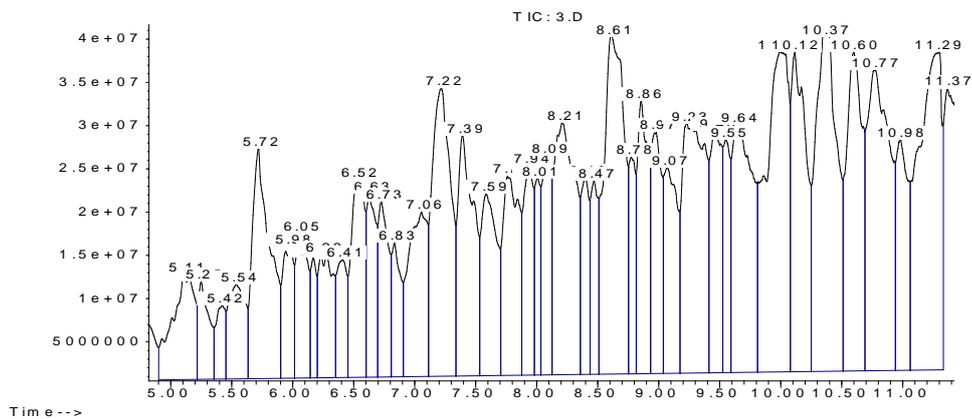


Figure (40) : Chromatogramme obtenu pour un extrait des eaux usées de la station de lavage (3) par GC-MS/EI

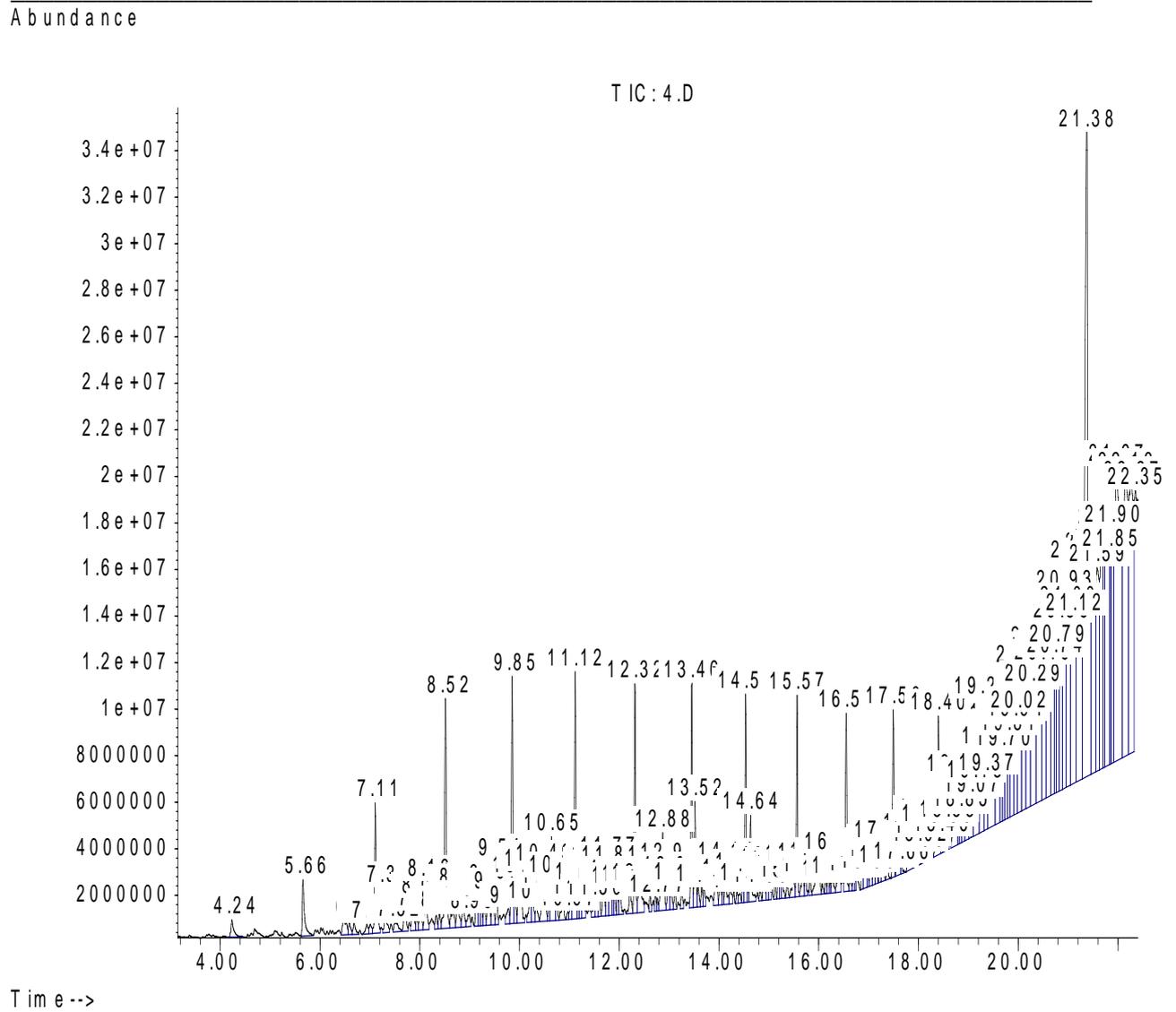


Figure (41) : Chromatogramme obtenu pour un extrait des eaux usées de la station de lavage (4) par GC-MS/EI

Tableau (23): identification des constituants d'un extrait des eaux usées de station de lavage
(3) au Cyclohexane par GC/MS

N°	t _R (min)	I _R	Principaux fragments (m/z)	Spectre de référence	le composé, M ⁺
1	4.241	-	57(99.9), 43(74), 71(51.7), 85(42), 41(40.8), 105(24.3), 55(23.3), 56(21.6), 70(20.5), 84(15.3)	57(99.9), 43(80), 41(64), 71(44.3), 85(29.3), 6(27), 29(25), 55(24.8), 42(20.4), 70(20)	Decane (C ₁₀ H ₂₂), 142
2	4.562	1010	71(99.9), 57(90.9), 43(72.4), 70(39.9), 41(35.4), 55(27.2), 85(25.4), 113(22.8), 56(19), 112(18.3)	43(99.9), 71(85.9), 7(77.5), 41(48.1), 70(37.1), 29(26.3), 55(20.2), 27(19.2), 42 (17.8), 39(13.9)	4- Méthyldecane (C ₁₁ H ₂₄), 156
3	5.418	1064	119(99.9), 69(42.9), 134 (34.2), 55(29.5), 57(26.8), 125(26.6), 41(21.6), 83(21), 97(18), 71(17.7)	119(99.9), 134(25.4), 91 (15.8), 120(10), 117(91), 41 (59), 77(52), 39(48), 65 (47), 115(44)	p- Isopropyltoluene (C ₁₀ H ₁₄) 266
4	5.721	1083	57(99.9), 71(71.6), 43(71.1), 85(54.1), 41(43.6), 55(27.1), 70(23.1), 56(23.1), 69(17.4), 156(17.4)	57(99.9), 43(72.2), 41(55.2), 71(54.6), 85(30.9), 56 (24.8), 55(23.7), 29(19), 70 (17.1), 42(16.9)	Undecane (C ₁₁ H ₂₄) 156
5	5.984	1099	119(99.9), 57(66.8), 134(47.7), 71(44.5), 43(41.2), 41(34.6), 55 (34.5), 85(33.4), 133(33.3), 69(3 1.2)	91(99.9), 134(91.9), 43 (84.4), 119(82), 79(76.1), 41 (63.2), 39(59.2), 77(45.3), 93(42.1), 137(41.5)	cis-p-Mentha-2,8- dien-1-ol (C ₁₀ H ₁₆ O) (152)
6	6.048	1126	119(99.9), 134(53.5), 57(20.8), 9 1(17.7), 71(16.9), 133(14), 43(13.8), 41(12.9), 55(12.4), 85 (11.7)	119(99.9), 134(52.3), 91 (13.3), 120(10.5), 133(94), 7 7(6.5), 117(6), 135(5.9), 39 (56), 41(56)	1,2,3,4- Tetraméthylbenzè ne (C ₁₀ H ₁₄) (134)
7	6.52	1123	119(99.9), 57(63.6), 134(46), 43(30.2), 71(29.3), 41(25.2), 105(23.6), 55(22.8), 69(22.4), 85 (22.3)	119(99.9), 91(86.1), 134 (67.7), 92(38), 93(36), 77 (33.8), 41(29.1), 105(28.1), 109(22.8), 84(22.8)	2-Méthyl-5- isopropénylcyclo hex-2-én-1-ol (C ₁₀ H ₁₆ O) (152)
8	7.214	1177	57(99.9), 71(79.7), 43(69.6), 85 (60.8), 41(43.6), 55(27.8), 56(22.3), 70(22.3), 69(18.1), 84 (16)	57(99.9), 43(68.3), 71(53.6), 41(38), 85(32.9), 55(18.7), 56(17.6), 29(13.7), 70(12.4), 42(10.7)	Dodecane (C ₁₂ H ₂₆) (170)
9	7.394	1191	57(99.9), 71(67.6), 43(45.9), 41 (32.1), 85(28.5), 98(27.8), 13 3(27), 55(24.9), 70(21), 56(19.9)	57(99.9), 43(88.2), 41(59.6), 71(59.4), 85(33.7), 29(29), 55(20.1), 56(19.1), 42(16.7)	Tridecane (C ₁₃ H ₂₈) (184)

				,27(16)	
10	8.607	1278	57(99.9),71(83.6),142(72.2),43(65.6),141(65.2),85(63.4),41(43.4),55(34.6),97(26.8),69(26)	57(99.9),43(91.4)71(76.1),85(59.9),41(39.4),55(23),56(22.3),42(20.8),141(20.1),99(20)	2-Méthyldecane (C ₁₃ H ₂₈) 184
11	10.011	1374	57(99.9),71(85.2),85(69.9),43(66.8),41(42.1),55(32.2),69(21.8),70(21.6),56(20.8),97(20.6)	57(99.9),43(78.3),71(68.8),41(48.6),85(44.6),29(26.5),55(20.6),56(15.9),70(13),27(12.4)	Tetradecane (C ₁₄ H ₃₀) 198
12	10.373	1409	156(99.9),141(82.5),155(36.9),97(21.9),115(21.1),69.19),128(18.9),159(18.7),57(18.5),153(18.2)	156(99.9),141(86.3),155(39.4),115(22.5),128(18.9),153(14.7),77(14),152(13.6),157(12.8),76(12.6)	2,6-Dimethyl Naphthalene (C ₁₂ H ₁₂) 156
13	11.282	1493	57(99.9),71(87.8),85(73),43(66.2),41(41.7),55(33.7),99(23),69(22.8),97(21.5),70(21)	57(99.9),43(71.2),71(60.2),85(55.2),41(39.7),55(24),56(18.7),29(17.5),99(14.7),70(11.7)	Pentadecane (C ₁₅ H ₃₂) 212
14	11.742	1530	170(99.9),155(87.9),153(25.2),169(20.5),152(19.5),171(18.3),97(17.5),69(17.3),128(16.4),83(16.2)	170(99.9),155(60.9),169(18.1),171(14.2),153(14.2),152(12.8),128(10.1),115(8.3),156(8.2),76(7.5)	2,3,5- Trimethylnaphtha lene (C ₁₃ H ₁₄) 170
15	11.742	1530	//	170(99.9),155(94.9),169(24.6),153(20.7),152(16.3),171(13.7),154(13.5),156(12.6),128(12.6),115(9.6)	2,3,6- Trimethylnaphtha lene (C ₁₃ H ₁₄) 170
16	11.742	1530	170(99.9),155(87.9),153(25.2),169(20.5),152(19.5),171(18.3),97(17.5),69(17.3),128(16.4),83(16.2)	155(99.9),170(92),115(28.3),128(22.7),169(20.9),129(17.6),153(15.3),156(12.7),171(12.5),154(12.4)	3-(2-Methyl- propenyl)-1H- indene (C ₁₃ H ₁₄) 170
17	12.5	1589	57(99.9),71(89),85(75.8),43(64.1),41(39.3),55(34.1),99(26.5),(69(24.2),155(24.2),97(24.1)	57(99.9),43(84.5),71(81.7),85(47.4),41(39.4),55(20.1),99(18.4),56(15.4),70(14.8),113(10.9)	Hexadecane (C ₁₆ H ₃₄) 226
18	13.637	1687	57(99.9),71(91.3),85(74),43(64.1),41(37.5),55(33),99(27.3),69(23.6),97(21.7),113(20.7)	57(99.9),43(66.9),71(56.9),85(38),41(37),29(19),55(18),99(13),56(12),70(11)	Heptadecane (C ₁₇ H ₃₆) 240
19	14.698	1781	57(99.9),43(79.8),71(62.2),85(41.6),55(28.3),41(27.5),69(17.6),99(14),56(13.9),29(13.5)	57(99.9), 43 (91), 71(57.6)85(47.7), 41(36), 55(21.8), 56(16.2),99(14.6),29(11.7), 69(98)	Octadecane (C ₁₈ H ₃₈) 254
20	16.691	1996	57(99.9), 71 (91.6), 85(79.9), 43 (62.4), 41 (33.1), 55 (32.9), 99(30.6), 69 (25.7),97(23.8)83(22.4),	57 (99.9), 71(75.4), 43 (61.9) 85 (58.4), 41(31), 55(26.9), 99(19.4), 56 (15.2), 69 (14.7), 113(13)	Eicosane (C ₂₀ H ₄₂) 282

21	17.624	2081	57(99.9),71(91.5),85(80.2),43(61.9),55(33.1),99(31.4),41(30.8),69(26.2),97(24.4),83(23.1)	57(99.9),71(70.2),43(59.4),85(54.9),41(26.3),99(19.3),55(19.3),56(12.2),29(12.2),69(11.7)	Heneicosane (C ₂₁ H ₄₄) 296
22	18.515	2187	57(99.9),71(90.7),85(81.4),43(61.1),55(32.6),99(32),41(29.6),69(27.3),97(26.1),83(24.5)	43(99.9),57(89.8),71(57.1),41(49),85(40.8),55(32.1),69(16.2),56(13.9),210(10.6),99(10.3)	9- HexylHeptadecane (C ₂₃ H ₄₈) 324

Tableau (24): identification des constituants d'un extrait des eaux usées de station de lavage
(4) au Cyclohexane par GC/MS

N°	t _R (min)	I _R	%	Principaux fragments (m/z)	Spectre de référence	le composé, M ⁺
1	4.235	-	0.056	57 (99.9), 43 (79), 71 (47), 41 (41), 85 (37), 105 (29), 55(24), 56 (22)70 (19), 120 (139)	57 (99.9), 43 (80), 41 (64), 71 (44,3) 85 (29,3) 56(27), 29 (25), 55 (25), 42(20), 70 (20)	Decane (C ₁₀ H ₂₂), 142
2	5.657	1079	0.142	57 (99.9), 43 (70.5), 71 (57.6), 85 (38) 41(35,3) 55 (19), 56 (18.6), 70(16,6)	57 (99.9), 43 (87.5), 41 (45.9), 71 (44), 85 (37.7) 29(24), 56 (21), 55 (18)	Undecane (C ₁₁ H ₂₄) 156
3	6.485	1121	0.071	119(99.9), 57 (45.7), 134 (44.5), 43 (27), 71 (22.6) 91 (22), 105 (21.8), 41 (21) 55 (18.5), 69 (17)	119 (99.9), 134 (25.4) 91 (15.8), 120(10), 117(91) 41 (59), 77 (52), 39 (48),	p- Isopropyltoluene (C ₁₀ H ₁₄) 266
4	7.109	1169	0.278	57 (99.9), 71 (66.5), 43 (65.2), 85 (43.3), 41 (33.7) 55(18.6), 56 (16.9), 70 (15.5), 69 (10.2)	57 (99.9), 43 (68.3), 71 (53.6), 41 (38), 85 (32.9) 55(18.7), 56 (17.6), 29 (13.7), 70 (12.4), 42 (10.7)	Dodecane C ₁₂ H ₂₆ 170
5	10.017	1374	0.15	156 (99.9), 141(66.1), 155 (33.7), 57(19), 69(140)157 (134), 115 (13.3), 153 131	156(99.9), 141 (67.6),155 (28.3), 157(11.8), 115 (117),153 (11),152(10.5)	1,7- Dimethylnaphthalene (C ₁₂ H ₁₂) 156
6	11.113	1477	0.403	57 (99.9),71 (80),85(61.4) 43(60.8), 41(32.2), 55(23), 99 (16),56 (16), 70 (156) ,69 (135)	57 (99.9), 43 (71.2), 71 (60) ,55 (24),56 (18.7), 29 (17.5) 99(14.7), 70 117	Pentadecane (C ₁₅ H ₃₂) 212
7	11.276	1492	0.072	155(99) ,170 (54.6), 57 (32.3) ,71(26.2), 55 (21) ,97 (20), 69 (19), 85(18.2), 43 (181), 41 (16.8)	155(99.9), 170 (92), 115 (28), 128(22.7), 169 (21) 129 (17.6), 153 (15.3)	3-(2-Methylpropenyl)-1H-indene (C ₁₃ H ₁₄) 170
8	11.6	1519	0.07	170 (99.9),155 (86.7), 153 (21.6), 169(16), 152 16),	170 (99.9) ,155(74.7), 169 (16.8), 153 (16), 171(14)	2,3,5-trimethyl Naphthalene

				171(15), 128 (12), 83 (11.7), 156 (11.4), 69 (10.9)	152 (11), 156 (9.9), 154(75), 128 (55), 115(41)	(C ₁₃ H ₁₄) 170
9	12.314	1574	0.361	57 (99), 71(81), 85 (62.8) 55 (23), 99(18,5), 56 (15,5), 70(14.7), 69 (14.3)	57(99.9), 43(84.5), 71(81.7) 85. (47.4), 41(39.4), 55 201	Hexadecane (C ₁₆ H ₃₄) 226
10	13.45	1671	0.347	57 (99.9),71(82.1), 85(64.2), 43(58), 41 (30),55 (24),99(20),69 (15),56(15) 70 (14.6)	57(99.9), 43(66.9),71 (56),85 (38),41(37),29(19) 55 (18),99 (13),56(12),70 (110)	Heptadecane (C ₁₇ H ₃₆) 240
11	14.534	1767	0.99	57(99.9), 71(84), 85 (66), 43 (58.5), 41 (28), 55(24.6), 99 (21), 69 (16.6), 56 (14.7), 70 (14.2)	57(99.9), 43 (91), 71 (57.6) 85(47.7), 41(36), 55 (21.8), 56 (16.2), 99 (14.6), 29(11.7), 69(98)	Octadecane (C ₁₈ H ₃₈) 254
12	16.551	1978	0.283	57(99.9), 71 (84.4), 85(67.9), 43 (57), 41 (27), 55 (26.2), 99(22.9), 69 (18.9), 83(15.3), 97(14.8)	57 (99.9), 71(75.4), 43 (61.9) 85 (58.4), 41(31), 55(26.9), 99(19.4), 56 (15.2), 69 (14.7), 113(13)	Eicosane (C ₂₀ H ₄₂) 282
13	17.851	2102	0.122	57(99.9), 71(81.5), 85(66.9) 97(45.8), 69 (44.2), 83 (36.5), 41 (34.5), 111(32)	57 (99.9), 264 (86), 55(84), 69(80), 83(79) ,43(75), 97(68), 71(63), 85 430 ,98 (40)	Oleic acid, eicosyl ester C ₃₈ H ₇₄ O ₂ 562
14	18.399	2172	0.262	57 (99.9), 71 (84.9), 85(67.5)43(56.8), 55(30.5), 41(26.3) 69(24.5), 99(23.6), 97(20.9)	57(99.9), 43(79.8), 71(62.2) 41 (27.5), 69(17.6) 99 (14), 56 (13.9), 29 (13.5)	Heptacosane C ₂₇ H ₅₆ 380
15	21.377	2538	2.821	149(99.9), 167(54), 57 (25.3), 279(23.9), 71(21.4) 150(19.1), 70(15 .2), 113 (13.7), 43 (13), 55 (11.4)	149 (99.9),57(47),43(30) 41 (30),71(28),70(28),167 (26),29 (22),55(18.5),150 (16.5)	Diocetyl o-benzenedicarboxylate (C ₂₄ H ₃₈ O ₄) 390
16	23.411	2795	3.777	57(99.9), 71 (83.5), 85(70.2), 97(68.4), 69 (59.4), 83 (58.8),43(56.8),55 (55.4),111(52.5),95(41.6)	57(99.9), 43 (90.4), 97 (75) 69 (56.9) 71 (56), 41(48.7), 111(41.4) 85 391	17-Pentatriacontene C ₃₅ H ₇₀ 490

Nous remarquons la présence de plusieurs composés organiques tels que : les hydrocarbures aliphatiques et aromatiques (de C10 à C35), on a pu identifier les composés illustrés dans la figure (42) pour l'échantillon(4) avec leurs pourcentage de présence dans l'extrait.

A titre d'exemple, nous donnons dans les figures (43), (44), (45),(46),(47),(48) les spectres de masse de quelques produits identifiés pour les deux extraits et les spectres de référence.

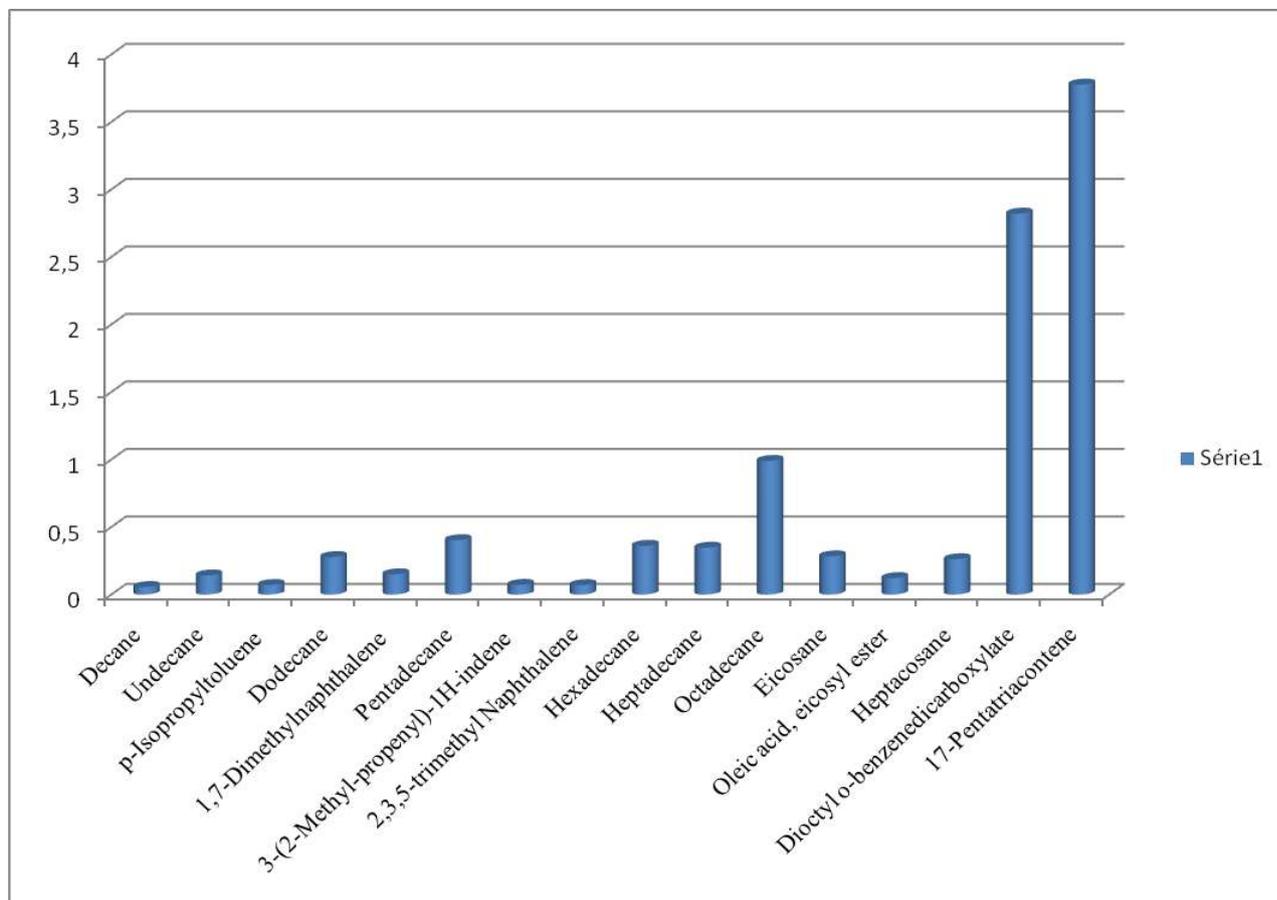


Figure (42) : les composées identifiées dans l'extrait de station de lavage (4) par GC-MS

D'après ces résultats nous pouvons dire que les eaux usées des stations de lavage contiennent des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, parmi eux on retrouve des composés de la liste noire des 16 HPA dangereux déclarés par l'USEPA.

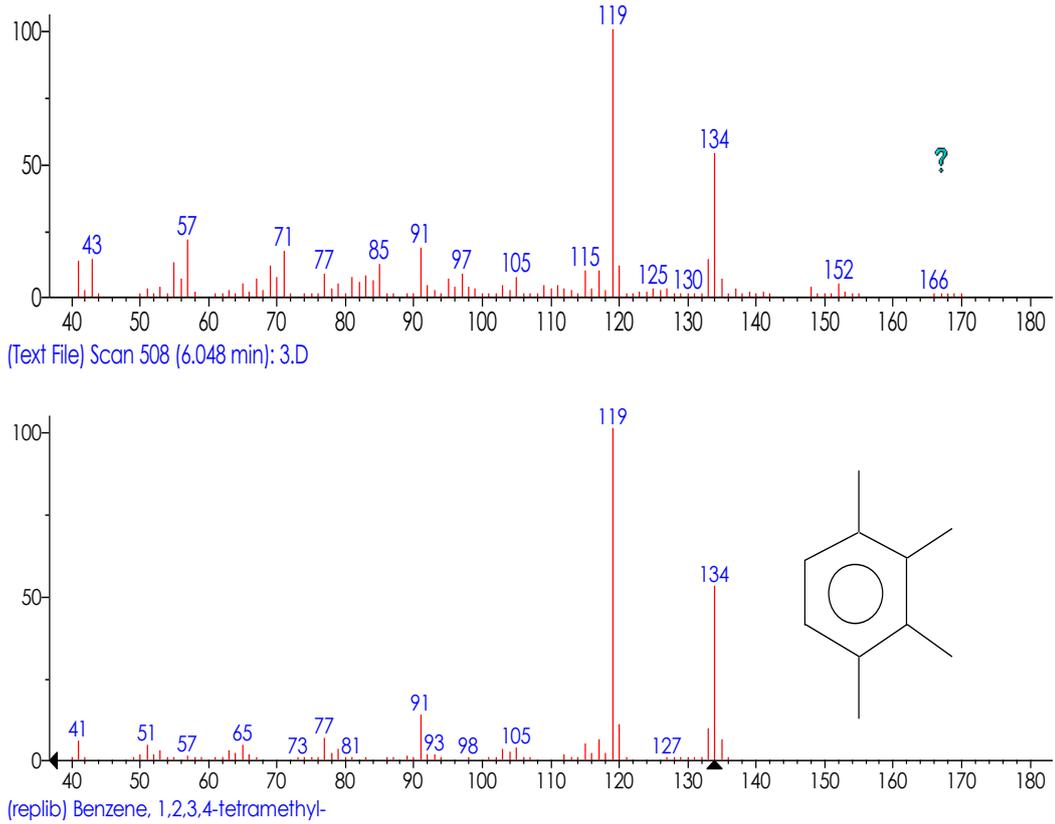


Figure (43) : Spectre de masse de 1, 2, 3,4-Tetraméthylbenzène identifié dans l'extrait(3) et le spectre de masse de référence du même composé

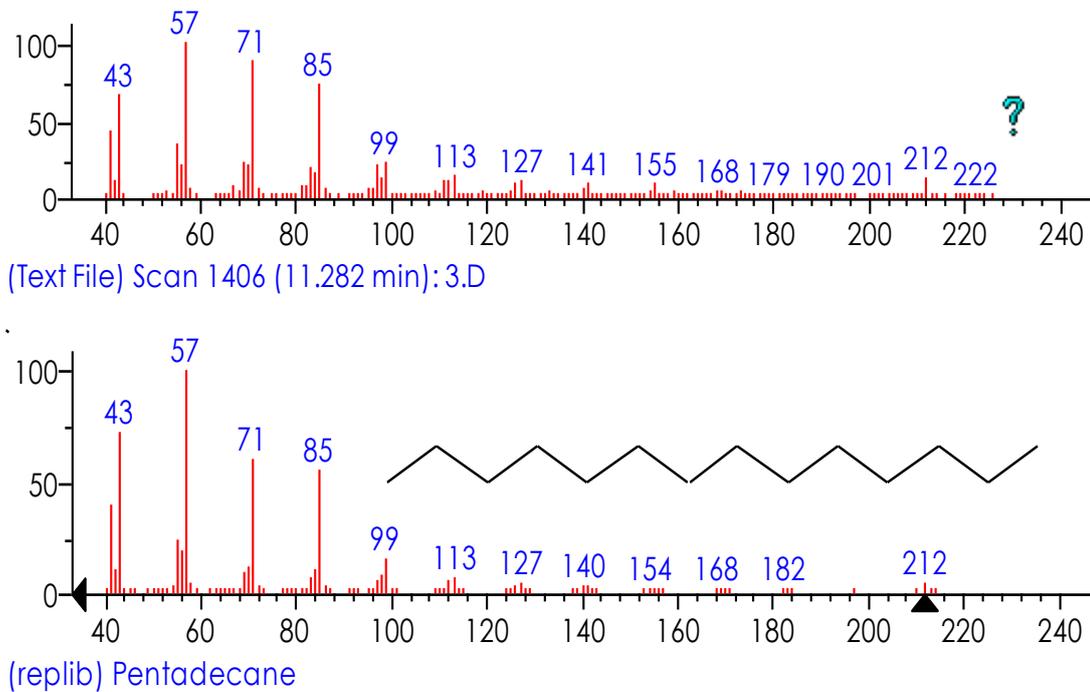
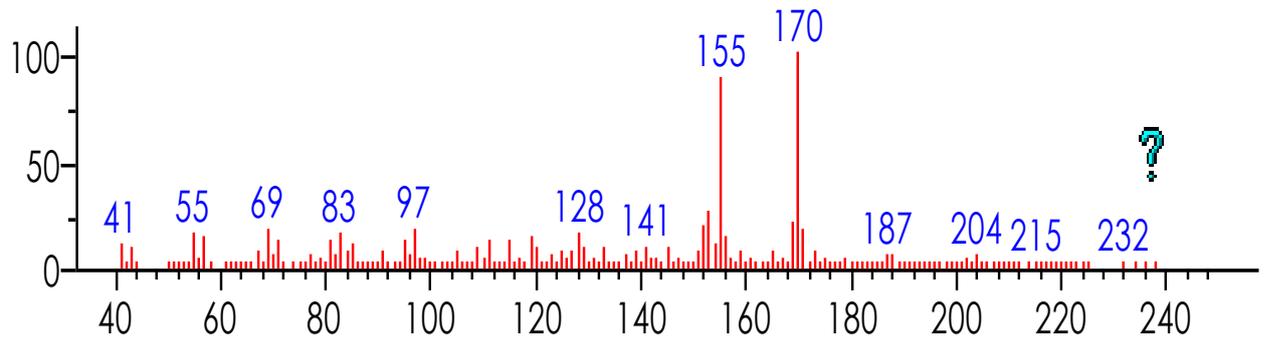
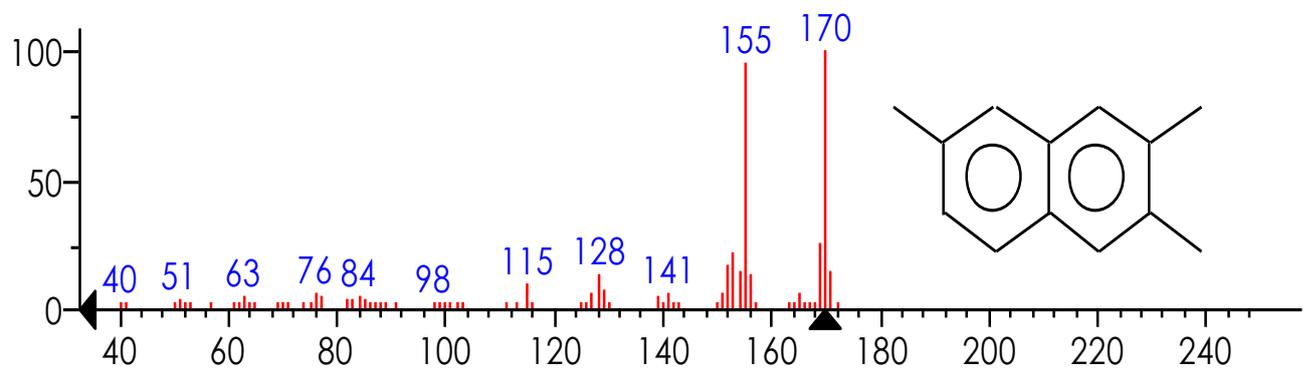


Figure (44) : Spectre de masse de Pentadécane identifié dans l'extrait(3) et le spectre de masse de référence du même composé

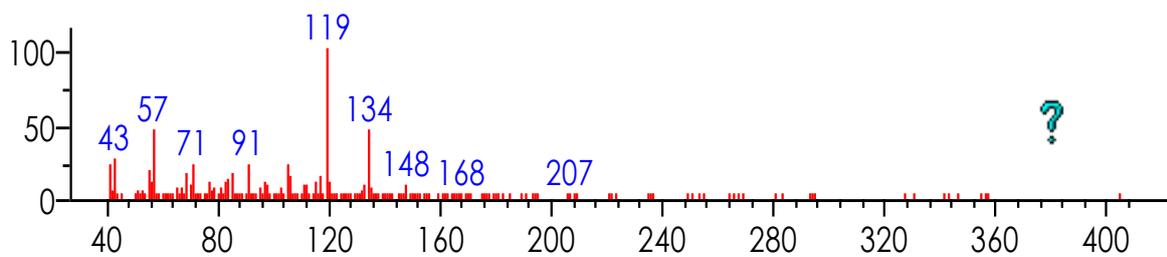


(Text File) Scan 1485 (11.742 min): 3.D

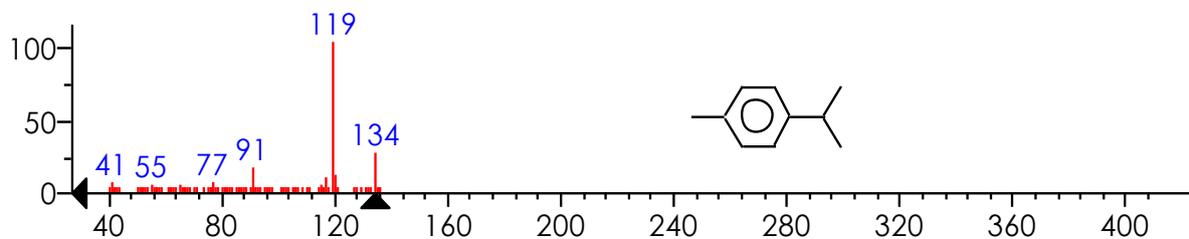


(replib) Naphthalene, 2,3,6-trimethyl-

Figure (45) : Spectre de masse de 2,3,6-Trimethylnaphtalene identifié dans l'extrait(3) et le spectre de masse de référence du même composé

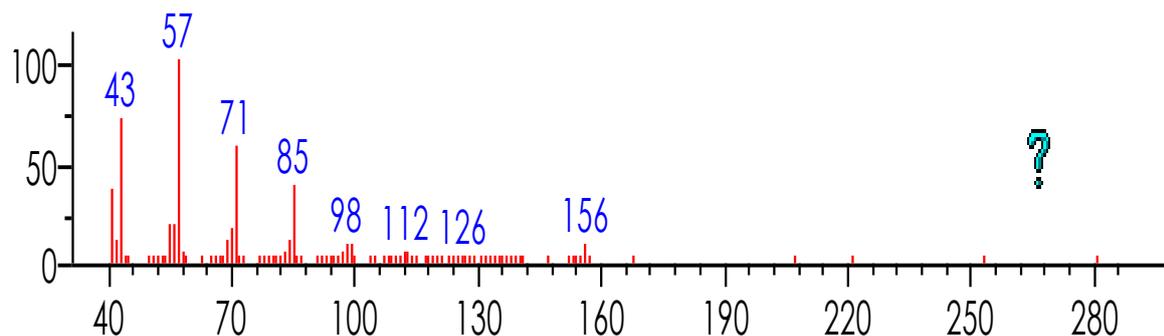


(Text File) Scan 583 (6.485 min): 4.D

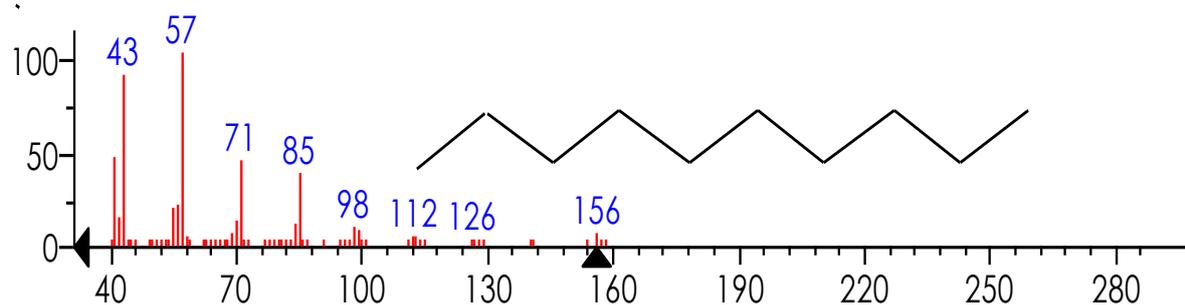


(mainlib) Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-

Figure (46) : Spectre de masse de p-Isopropyltoluene identifié dans l'extrait (4) et le spectre de masse de référence du même composé

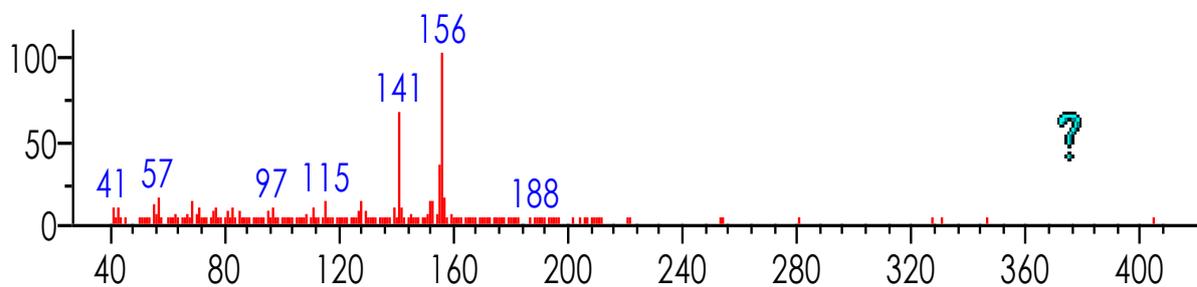


(Text File) Scan 441 (5.657 min): 4.D

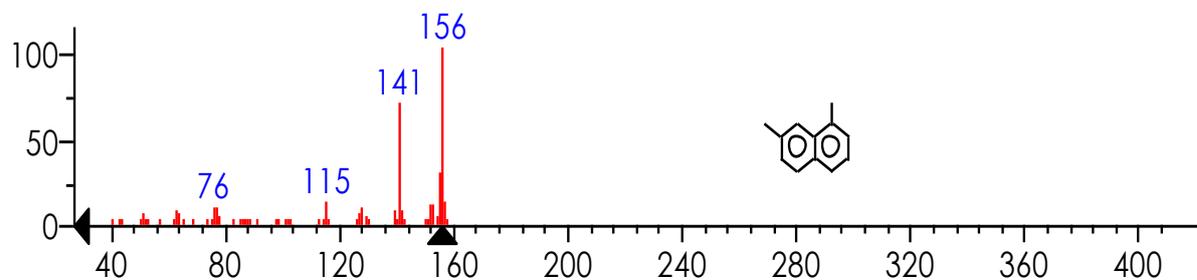


(replib) Undecane

Figure (47) : Spectre de masse de l'Undecane identifié dans l'extrait (4) et le spectre de masse de référence du même composé



(Text File) Scan 1189 (10.017 min): 4.D



(replib) Naphthalene, 1,7-dimethyl-

Figure (48) : Spectre de masse de 1,7-dimethylnaphtalene identifié dans l'extrait (4) et le spectre de masse de référence du même composé.

IV. Introduction

Les produits à base de pétrole sont la principale source d'énergie pour l'industrie et la vie quotidienne. La production mondiale de pétrole brut est plus de trois millions de tonnes par an. Les hydrocarbures peuvent provoquer une pollution de l'environnement au cours des différentes étapes de la production, le transport, le raffinage et l'utilisation. La pollution pétrolière provenant de sources industrielles et autres activités dans les zones portuaires pose plus grand danger pour les écosystèmes terrestres et marins. [34, 45, 46].

Les effluents pollués par les matières organiques provenant de quelques stations de lavage de la ville de Ouargla, apparaissant très chargés par les hydrocarbures tel que cela a été montré dans les chapitres précédents (MES, DCO et HCT), nécessitent un travail de recherche sur les moyens les moins onéreux permettant de réduire cette pollution qui peut engendrer la dégradation de la faune et de la flore [27].

Actuellement, un certain nombre de différentes technologies existent pour l'élimination de ce problème, tels que la précipitation chimique, l'adsorption et l'extraction par solvant. Cependant ces méthodes présentent plusieurs inconvénients, tels que l'élimination incomplète de l'huile, des équipements et des exigences des systèmes de maintenance coûteuses, besoins de réactifs ou de haute énergie et la production de boues toxiques ou d'autres déchets qui nécessitent une élimination [47]. Par ailleurs, des méthodes d'épuration plus efficaces basées sur l'utilisation du sable de dunes, sont à l'origine de la technique de la biosorption qui permet d'améliorer la capacité d'élimination des polluants.

Le présent travail, consiste en l'étude de la dégradation des hydrocarbures par une technique « adsorption/biodégradation » qui est connue par le terme « biosorption » en système continu, en utilisant le sable de dunes comme support filtrant.

Il s'agira donc d'étudier l'efficacité du sable de dunes pour la filtration des eaux chargées en hydrocarbures.

A cet effet, la technique que nous avons utilisé pour l'élimination des hydrocarbures, en milieux aqueux, est une adsorption/filtration dynamique sur une colonne de sable de dunes.

IV.2. Matériels et méthodes

IV.2.1. Systèmes étudiés

L'étude de l'efficacité de notre dispositif (colonne du sable) à traiter les eaux contenant les hydrocarbures a été faite par deux types des eaux usées le premier c'est une eau usée de station de lavage et le deuxième c'est une eau synthétique. Ce choix résulte des travaux antérieurs au sein de laboratoire de Biogéochimie des milieux désertiques université de Ouargla (Algérie) pour but caractériser des effluents industriels de la ville de Ouargla qui ont montré des charges importantes en matières organiques provenant surtout de quelques stations de lavage de la ville de Ouargla, tel que cela a été montré en terme (DCO, DBO₅, MES et indice de phénol) [27, 48] et aussi les résultats trouvées dans la première partie de ce travail qui montrent que les eaux rejetées par les stations de lavage sont trop chargées par les hydrocarbures.

a. Les eaux polluées

Eau polluée n°1 : c'est une eau usée réelle prélevée à partir la sortie des fosses de quelque stations de lavage de la ville de Ouargla mélangée et homogénéisée afin d'obtenir des caractéristiques fixés pour toute la semaine, les caractéristiques de ces eaux sont regroupées dans le tableau (25).

Eau polluée n°2 : c'est une eau synthétique à une concentration des hydrocarbures de 1g/l, nous l'avons préparé par mélanger l'eau du robinet avec des composés hydrocarbonés (huiles et carburants) à des concentrations différentes. On a essayé de simuler les eaux des rejets des stations de lavage tableau(25).

Tableau (25) : Les caractéristiques des eaux polluées.

<i>Paramètre</i>	<i>Eau polluée n°1</i>	<i>Eau polluée n°2</i>
pH	6.87-7.64	6.7
CE (ms/cm)	3.52-4.2	3.8
HCT (mg/l)	876-3947.5	1000
DCO (mg/l)	1229-3408	1100
DBO5 (mg)	22-250	105
MES (mg/l)	177-289	242

Le choix des composés et leurs concentrations résulte de leur fréquence d'utilisation et à des concentrations significatives dans la plus part des stations de lavage de la ville de Ouargla (d'après une enquête qui a été réalisé par nos soins).

Il est évident que les eaux usées des stations de lavage sont constitués majoritairement par des carburants et des huiles de lubrification. Dans le présent travail on a préparé une eau synthétique composée d'un mélange des hydrocarbures (des huiles et carburants à des pourcentages volumique sont regroupés dans le tableau (26)

Tableau (26): La composition des eaux usées synthétiques préparées.

<i>Polluant</i>	<i>Pourcentage volumique</i> (%)
20W50	25
15W40	25
SAW40	15
5W40	10
10W40	10
SAW90	9
GASOIL	6

1. Un carburant :

Deux grands types de carburants sont actuellement utilisés selon le mode de fonctionnement des moteurs à combustion interne mis en œuvre : les essences, distribuées sous forme de divers super carburants et destinées à alimenter les moteurs à allumage commandé, les gazoles dédiés à l'alimentation des moteurs Diesel (moteurs à allumage par compression).

1.1. *Les essences :* de façon générale, les essences correspondent à des mélanges complexes d'hydrocarbures de C₄ à C₁₀ comportant aussi bien des hydrocarbures saturés de type paraffinique (alcanes en chaînes droites ou ramifiées) ou naphénique (alcanes cycliques ou cyclanes) que des hydrocarbures insaturés de type oléfinique (alcène en chaîne droites ou

ramifiées ou cycliques) ou de type aromatique. Leurs points d'ébullition à pression atmosphérique sont compris entre 30 et 190°C environ. La composition détaillée des essences est très variable car elle dépend non seulement du (ou des) pétrole(s) brut(s) utilisé(s) pour les fabriquer, mais également des proportions relatives des fractions pétrolières issues des opérations de distillation et de traitements réalisées en raffineries (réformage catalytique, craquage thermique et /ou catalytique, hydrotraitement, etc...). A ces mélanges d'hydrocarbures sont ajoutés des additifs pour améliorer les caractéristiques de combustion des essences (indice d'octane notamment).

1.2. *Les gazoles* : ils correspondent aussi à des mélanges complexes d'hydrocarbures mais ces hydrocarbures sont plus lourds que ceux contenus dans les essences. Ce sont des hydrocarbures de type paraffinique, naphthénique ou aromatique allant en général de C₁₂ à C₂₅. Leurs points d'ébullition à pression atmosphérique sont compris entre 180 et 360°C environ. Leur composition chimique est voisine de celle des fiouls domestique, Cependant, afin de faciliter le contrôle fiscal, les gazoles sont légèrement colorés en vert et les fiouls domestiques en rouge. Comme c'est le cas des essences, la composition détaillée des gazoles au sein de chaque famille d'hydrocarbures est très variable car elle dépend non seulement de la composition du (ou des) pétrole(s) brut(s) utilisé(s) mais également des multiples opérations réalisées en raffineries (distillation, hydrotraitement, craquage thermique et /ou catalytique, etc...). En dépit des opérations de désulfuration, les gazoles contiennent encore des composés soufrés. Leur teneur en soufre est réglementée. Elle est fixée depuis 1997 à 500ppm en masse. A ces mélanges d'hydrocarbures lourds sont également ajoutés des composés permettant d'améliorer certaines propriétés des gazoles (par exemple, pour abaisser leur point de trouble caractérisant la cristallisation des paraffines en hiver [44]).

2. Une huile de lubrification

L'**huile moteur**, généralement utilisée pour la lubrification des moteurs à explosion, Elle lubrifie, nettoie, inhibe la corrosion, améliore l'étanchéité et contribue à évacuer la chaleur de friction et de combustion (circulation dans les calottes de pistons) de façon que les pièces du moteur restent dans les tolérances de fonctionnement (dimensionnelles et de résistance mécanique). Une huile est constituée d'hydrocarbures contenant de 17 à 22 atomes de carbone, et se divise en deux catégories : les hydrocarbures aliphatiques et les hydrocarbures aromatiques [31].

Il existe plusieurs types d'huile, les huiles minérales, de synthèse et de semi-Synthèse, adaptées à une plage spécifique (monogrades) ou une large plage (multigrades) de température. Aujourd'hui, seules les multigrades subsistent :

1. Les huiles minérales sont obtenues par raffinage de pétrole brut. Elles sont peut utilisées sauf sur les modèles anciens.
2. Les huiles de synthèse sont des huiles dont la structure moléculaire a été modifiée par réaction chimique de manière à obtenir des caractéristiques précises comme une très grande fluidité à froid. L'utilisation de ces huiles entraîne une moindre consommation de carburant et un espacement plus important des vidanges. Dédiées aux moteurs performants et à régimes élevés, leurs prix sont les plus hauts.
3. Les huiles de semi-synthèse sont un mélange dans des proportions variables d'huiles minérales et d'huile de synthèse. Ce sont les plus courantes.
4. Quel que soit le type, elles contiennent 10 à 20 % d'additifs : anti-usure, anti-oxydant, anti-mousse, détergent...

Lorsque vous arrivez dans le rayon des huiles et que vous regardez de plus près un bidon, outre la marque, une des premières choses qui vous saute aux yeux est une association de chiffres et d'une lettre du style « 10w40 », « 5w40 »... Il s'agit de l'indice de viscosité. Pour information, le premier chiffre indique la fluidité de l'huile à froid et le second la performance du lubrifiant à haute température figure (49).

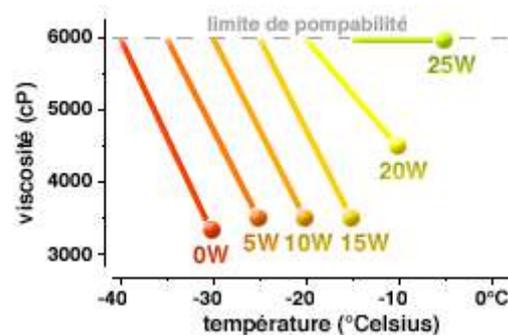


Figure (49) : Indication du symbole ou l'appellation des huiles (1).

Ce symbole présente la classification des huiles à moteur selon la norme américaine SAE (Society of Automotive Engineers). La viscosité des huiles dont le suffixe est W (winter, hiver) ne doit pas dépasser une valeur maximale à basse température une faible valeur indique une bonne fluidité, facilitant les démarrages, alors qu'elle doit être minimale à 100°C plus la valeur est élevée, meilleur est la lubrification. . Les huiles sans suffixe doivent satisfaire seulement à la deuxième de ces exigences. Les huiles dites multigrades (10W30, 10W40, par exemple) doivent satisfaire simultanément aux mêmes exigences que les huiles avec et sans suffixe W.

Indice	Viscosité cinématique à 100-150° (cSt)
20	5,6 - 9,3
30	9,3 - 12,5
40	12,5 - 16,3
50	16,3 - 21,9
60	21,9 - 26,1

L'indice "chaud" ou été -



- L'indice "froid" ou hiver -

Figure (50) :L'indication de symbole ou l'appellation des huiles (2)

Les huiles choisies pour préparer nos eaux usées synthétiques avec leurs caractéristiques sont regroupé dans le tableau (27) :

b. Matériaux filtrants

Cette étude a été réalisée du sable de dune de la région de Ouargla (N'goussa). Ces sables ont été étudiés antérieurement et ont montré une excellente efficacité pour traiter les eaux usées domestiques. Ils ont une composition chimique très uniforme à forte prédominance siliceuse, avec une granulométrie homogène adéquate pour les utiliser comme un lit de filtration [49-52]. Les caractéristiques physico-chimiques de ce sable ont été déterminées au laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques et elles sont résumées dans la Figure (51) et le Tableau (28).

Tableau (27): Les propriétés des huiles et de carburant utilisés

<i>Polluant</i>	<i>20W50</i>	<i>15W40</i>	<i>SAW40</i>	<i>5W40</i>	<i>10W40</i>	<i>SAW90</i>	<i>Gasoil</i>
Pourcentage volumique(%)	25	25	15	10	10	9	6
SAE grade	20W50	15W40	SAE40	5W40	10W40	90	-
Densité à 20°C (g/cm³)	0.885	0.884	0.898	0.855	0.860	0.892	0.820-0.880
Viscosité à 100°C (mm²/s)	18.0	15.4	15.5	14.7	13.8	14.5	-
Viscosité à 40°C (mm²/s)	164.40	124	-	90	87	150	1.6-5.9
Indice de viscosité	121	132	95	172	158	93	-
Point d'écoulement	-24°C	-30	-6	-39	-30	-30	-
Point éclair	244°C	400	>200	230	230	224	55
Taux Sulfate (wt%)	-	1.0	-	-	-	-	0.5
Taux de base (mg KOH/g)	8.0	10	-	-	7.6	-	-

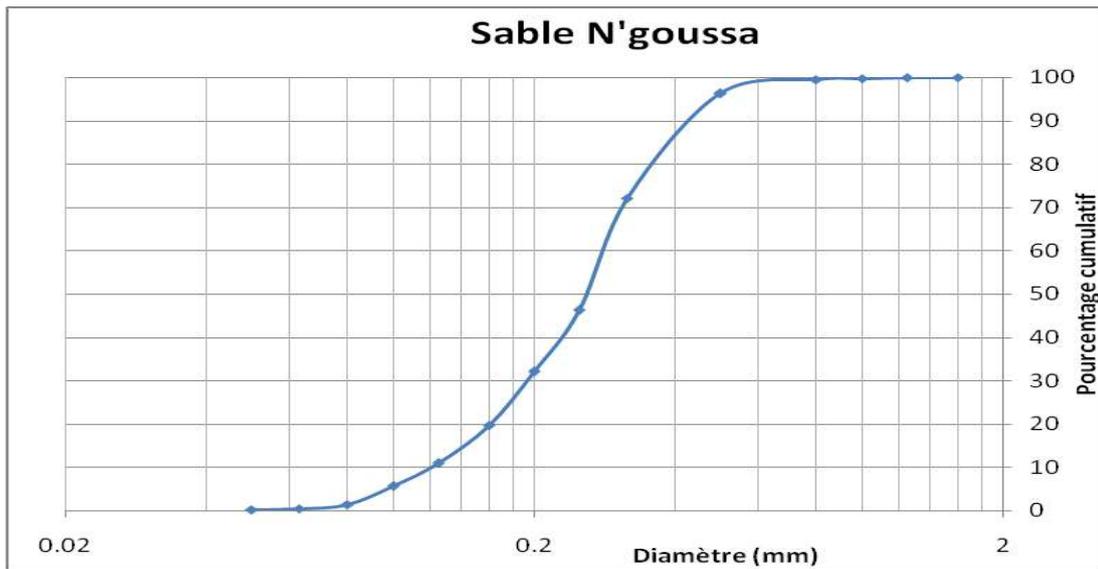


Figure (51): La courbe granulométrique du sable utilisé (sable de N'goussa) [49-52].

Tableau (28): Les caractéristiques du sable utilisé.

<i>Paramètre</i>	<i>Valeur</i>
D ₁₀ (mm)	0.12
D ₆₀ (mm)	0.28
D ₇₅ (mm)	0.34
D ₃₀ (mm)	0.19
D ₂₅ (mm)	0.18
Coefficient d'uniformité Cu	2.33
Coefficient de classification Cc	1.90
La masse volumique réel (ρ réel) (Kg /m ³)	2960
La masse volumique apparente (ρ_{app}) (Kg/m ³)	1785
La porosité (η) (%)	39.70
MO (%)	0.086
pH	8.46
Sels (%)	1.91
CaCO ₃ (%)	0.240
La conductivité CE (ms /cm)	3.3

IV.2.2. Dispositif expérimental et mode opératoire

Pour l'étude de l'efficacité de traitement sur un lit fixe du sable de dune à éliminer les hydrocarbures des eaux usées de stations de lavage, nous avons préparé un dispositif illustré dans la Figure (52). Nous avons utilisé 06 colonnes en PVC de diamètre interne 78 mm et de hauteur 700 mm remplies par du sable de dune à une hauteur de 600 mm. Le matériau filtrant maintenu sur une couche de 20 mm de gravier (qui a été insérée pour empêcher la perte de ses particules, et drainé les eaux traitées). Chaque filtre est équipé par un dispositif de drainage; un tuyau de 15 mm de diamètre monté à la base de la colonne. Les six pilotes sont placés sur un support l'un à coté de l'autre, ces pilotes doivent être bien fixés en position parfaitement verticale et stables pour éviter toute forme de vibrations et aussi pour favoriser l'écoulement gravitaire.

L'alimentation des eaux usées synthétique et de station de lavage des concentrations en hydrocarbures égale à 1 et 1.2 à 3.4 g/l respectivement, se fait manuellement chaque heure avec un débit de 40 ml/h, en continu pendant 13 heures, l'expérience a été réalisée à température ambiante. Les échantillons sont collectés à travers le tube de sortie, à des intervalles de temps réguliers de 7 jours afin de mesurer les paramètres qui sont regroupés dans le tableau (29) Le dispositif est représenté sur la Figure (53).



Figure (52): Photo du dispositif expérimental.

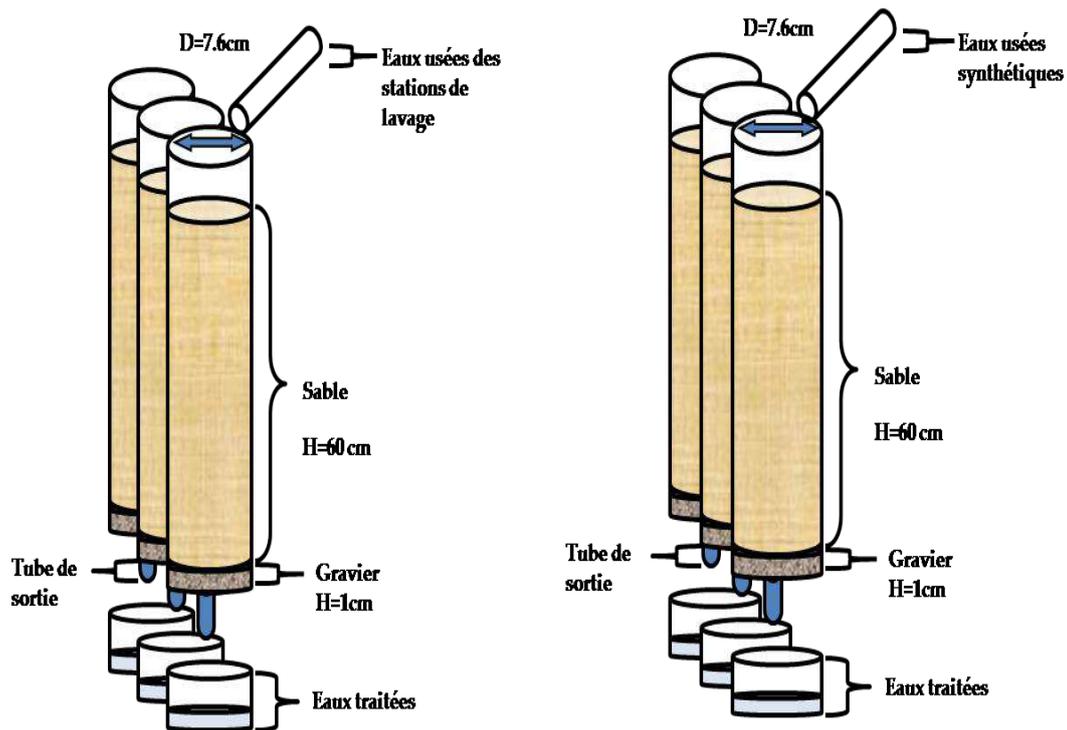


Figure (53): Colonne et procédé d'alimentation.

IV.2.3. Méthodes de dosage :

Pour évaluer l'efficacité de nos colonnes à éliminer les Hydrocarbures, en plus de la concentration des hydrocarbures totaux, les analyses effectuées concernent le plus important paramètre relatif à un traitement c'est la demande chimique en oxygène DCO. et avec des autres paramètres qui sont regroupés dans le tableau (29).

a. L'analyse gravimétrique (taux d'hydrocarbures totaux)

Le taux des hydrocarbures totaux de nos eaux traitées a été dosé par la méthode gravimétrique décrite précédemment.

Il est exprimé en mg/l, est donné par la formule suivante :

$$\text{Hydrocarbure totaux (mg/l)} = (m_{\text{tot}} - m_b) \cdot 10^6 / V_e$$

m_{tot} : masse en gramme de la boîte contenant les huiles et graisses minérales (Hydrocarbures).

m_b : masse en gramme de la boîte vide servant à l'analyse des huiles et graisses minérales (Hydrocarbures).

V_e : volume d'échantillon prélevé [11, 31-37].

Le rendement d'élimination R (%) des hydrocarbures de matériaux filtrant a été calculé par la formule suivante :

$$R(\%) = (HCT_e - HCT_s) \times 100 / HCT_e$$

HCT_e : taux des hydrocarbures mesuré pour les eaux usées à l'entrée de la colonne.

HCT_s : taux des hydrocarbures mesuré pour les eaux traitées à la sortie de la colonne.

b. La demande chimique en oxygène

La Demande Chimique en Oxygène DCO représente la quantité d'oxygène utilisée pour l'oxydation totale des substances organiques et minérales par les oxydants chimiques forts. Cette méthode est souvent utilisée dans les laboratoires municipaux et industriels pour mesurer le niveau global de contamination organique des eaux résiduaires. Cette quantité est exprimée en mg d'O₂ par litre d'échantillon.

L'estimation de la quantité nécessaire d'oxygène pour oxyder totalement les hydrocarbures a été faite selon la méthode normalisée décrite dans le chapitre III (paragraphe III.1.3.2.b).

Le rendement d'élimination R (%) des hydrocarbures en terme de la DCO de matériaux filtrant a été calculé par la formule suivante :

$$R(\%) = (DCO_e - DCO_s) \times 100 / DCO_e$$

DCO_e : DCO mesurée pour les eaux usées à l'entrée de la colonne.

DCO_s : DCO mesurée pour les eaux traitées à la sortie de la colonne.

Les rendements éliminatoire en terme des autres paramètres mesurés sont calculés par la même façon :

$$R(\%) = (X_e - X_s) \times 100 / X_e$$

Tableau (29) : Les méthodes d'analyse des paramètres étudiés.

<i>Paramètre</i>	<i>Méthode d'analyse</i>	<i>Unité</i>	<i>Source</i>
CE	Conductimètre de marquee (WTW LF330/Tetra Con® 325, de marque J DDS-308A)	ms/cm	Analyse de l'eau, Rodier, 2005[20] Analyse de l'eau, Rodier, 2005[20]
pH	pHmètre brand PHB-1 cell		Analyse de l'eau, Rodier, 2005[20]
HC	Gravimétrie	mg/l	MA. 400 – HGT 1.1 [24]
MES	Filtration sur papier	mg/l	Norme EN872 :1996[7]
DCO	Méthode par oxydation avec KMnO ₄	mg/l	Norme NT90-101[2, 47, 20]
DBO₅	Méthode instrumental	mg/l	Analyse de l'eau aspect réglementaires et techniques, F.Rejsek, 2002[7]

IV.2.4. Appareillage et matériels utilisés

1. Colonne en PVC.
2. Balance de marque SARTORIOUS avec une sensibilité de 0.0001 g.
3. pH mètre de marque pH –conductivity EC500 Extech®
4. Conductimètres de type WTW LF330/Tetra Con® 325, et de type DDS J-308A.
5. Papier filtre WHATMAN 40, d=110 mm.
6. DBO mètre de marque WTW (incubateur réglé à T=20 °C, agitateur, bouteilles brunes, bouchons (OXITOP®) équipés par un afficheur qui affiche les valeurs mesurées.
7. Évaporateur rotatif sous vide (de type Rotavap) de marque Heidolph.
8. Système d'ébullition à reflux (Chauffe ballons à 06 postes, des ballons rodés à

fond rond de 500 ml, et des réfrigérants à boules).

9. Etuve de marque (MEMMERT) et de marque Raypa[®].
10. Série de tamis en inox (NF.X11-504 PROLABO France).
11. Agitateur magnétique de marque IKAMAG^R, et barreaux aimantés
12. Agitateur mécanique de marque AGITELEC (Paris)
13. Ampoule à décanter de 500 ml.
14. Entonnoir.
15. Boite pétri.

IV.2.5. Réactifs utilisés

1. Bichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ (PROLABO).
2. Acide sulfurique H_2SO_4 (BIOCHEM ,96-98%, CAS n°7664-93-9).
3. Sulfate de mercure $HgSO_4$ (PROLABO).
4. Sulfate de fer $FeSO_4$ (MERCK).
5. Sulfate d'argent $AgSO_4$ (MERCK).
6. 1,10-Phinantroline (PROLABO).
7. Sulfate de fer et d'ammonium (PROLABO).
8. Acide Chlorhydrique, HCl (35-38%), Biochem, Chemopharma.
9. Sulfate de sodium anhydre 12-60 Mesh, Na_2SO_4 (CAS no 7757-82-6).
10. Cyclohexane C_6H_{14} (C.A.S :110-82-7), Biochem
11. Gel de silice (60-200 mesh), Biochem, Chemopharma.

IV.3. Résultats et discussion

Après une semaine de fonctionnement de notre dispositif, nous avons effectué les analyses de l'eau brute et de l'eau traitée (sortie de la colonne) à un pas du temps d'une semaine. Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux 30 à 35.

L'évolution dans le dispositif expérimental a été suivie pendant 10 semaines. Durant cette période nous avons effectué 10 campagnes de mesure (CE et pH, Taux des hydrocarbures totaux et DCO.DBO5, MES,). Les résultats obtenus sont représentés dans les figures (du 54 à 65)

pH :

Nous constatons à partir les figures (54) et (55) que les eaux traitées gardent toute la période du travail des pH neutres varient dans intervalle des valeurs limité par la valeur de pH du

sable et des eaux usées. Les pH oscillent autour 7.46 et 7.8 pour les colonnes alimentées par les eaux des stations de lavage et autour 7.33 et 7.86 pour les colonnes alimentées par les eaux synthétiques,

Tableau (30): Résultats d'analyse de pH pour l'eau traitée de chaque colonne
en fonction du temps.

<i>Temps (semaine)</i>	<i>pH_e</i>	<i>pH_s (C₁)</i>	<i>pH_s (C₂)</i>	<i>pH_s (C₃)</i>	<i>pH_e</i>	<i>pH_s (C₄)</i>	<i>pH_s (C₅)</i>	<i>pH_s(C₆)</i>
1	7.21	7.67	7.65	7.72	6.7	7.27	7.24	7.47
2	7.16	7.7	7.88	7.82	6.7	7.75	7.78	7.8
3	7.28	7.55	7.97	7.8	6.7	7.88	7.85	7.86
4	6.97	7.64	7.66	7.61	6.7	7.8	7.74	7.72
5	7.64	7.68	7.68	7.64	6.7	7.81	7.72	7.73
6	7.01	7.6	7.63	7.64	6.7	7.77	7.73	7.71
7	6.87	7.46	7.45	7.46	6.7	7.78	7.61	7.61
8	7.4	7.45	7.61	7.49	6.7	7.81	7.78	7.72
9	7.3	7.54	7.65	7.69	6.7	7.95	7.78	7.74
10	7.3	7.77	7.84	7.78	6.7	7.93	7.88	7.78

Tableau (31): Résultats d'analyse de CE (ms/cm) pour l'eau traitée de chaque colonne en fonction du temps.

Temps (semaine)	CE_e	$CE_s (C_1)$	$CE_s (C_2)$	$CE_s (C_3)$	CE_e	$CE_s (C_4)$	$CE_s (C_5)$	$CE_s (C_6)$
1	3.64	7.67	7.65	7.72	3.8	5.62	5.6	5.58
2	4.02	5.88	5.78	5.91	3.8	5.51	5.54	5.39
3	3.78	5.12	5.03	4.91	3.8	4.88	5.01	4.9
4	3.57	4.94	4.89	4.92	3.8	4.9	4.98	4.89
5	3.52	4.94	4.91	4.91	3.8	4.71	4.89	4.59
6	3.52	4.94	4.9	5.085	3.8	4.39	4.63	4.36
7	3.52	5.03	5.23	5.28	3.8	4.43	4.53	4.54
8	4.2	5.25	5.02	5.26	3.8	4.7	4.9	4.96
9	4	4.76	4.6	4.74	3.8	4.36	4.52	4.56
10	4	4.54	4.4	4.73	3.8	4.48	4.5	4.6

Tableau (32): Résultats d'analyse de taux des hydrocarbures totaux pour l'eau traitée de chaque colonne en fonction du temps.

Temps (semaine)	HCT_e (mg/l)	HCT_s (mg/l) (C ₁)	HCT_s (mg/l) (C ₂)	HCT_s (mg/l) (C ₃)	HCT_e (mg/l)	HCT_s (mg/l) (C ₄)	HCT_s (mg/l) (C ₅)	HCT_s (mg/l) (C ₆)
1	1239	4.5	3	4	1000	5.5	4	4
2	1232.5	5.5	1.5	7	1000	4	5	1.5
3	1109.5	6.32	4.34	2.67	1000	6.5	7.8	4.75
4	876	12.33	2	5.56	1000	12	10.37	9.33
5	1475	8.66	9.8	8.66	1000	10.41	9.72	11.39
6	1475	13.51	11.47	10.54	1000	16.75	11.54	17.92
7	3947.5	24.09	27.77	22	1000	14.74	17.26	15.51
8	1026.4	14.93	16.5	17.26	1000	15.61	13.7	13.1
9	895.6	15.14	13.44	11.28	1000	12.37	14.25	14.06
10	1475	27.6	20.81	12.11	1000	13.77	14.06	14.06

Tableau (33): Résultats d'analyse de la DCO pour l'eau traitée de chaque colonne en fonction du temps.

<i>Temps (semaine)</i>	<i>DCO_e (mg/l)</i>	<i>DCO_s (mg/l) (C₁)</i>	<i>DCO_s (mg/l) (C₂)</i>	<i>DCO_s (mg/l) (C₃)</i>	<i>DCO_e (mg/l)</i>	<i>DCO_s (mg/l) (C₄)</i>	<i>DCO_s (mg/l) (C₅)</i>	<i>DCO_s (mg/l) (C₆)</i>
1	2376	67.2	76.8	76.8	1100	48	57.6	38.4
2	2544	57.6	67.2	67.2	1100	48	48	48
3	3408	48	48	67.2	1100	58	58	48
4	1968	86.59	96.04	96.04	1100	105	91.2	86.5
5	3264	67.2	67.2	67.2	1100	58	58	105.6
6	2520	67.2	72	67.2	1100	91.20	77	77
7	1296	68.17	49.96	55.59	1100	106	106	115.2
8	3264	144	158.4	192	1100	135	135	148
9	3072	240	148.8	182.4	1100	96	100.8	134.4
10	3264	192	163.2	110.4	1100	96	96	124.8

Tableau (34): Résultats d'analyse de la DBO₅ pour l'eau traitée de chaque colonne en fonction du temps.

<i>Temps (semaine)</i>	<i>DBO_{5e} (mg/l)</i>	<i>DBO_{5s} (mg/l) (M1)</i>	<i>DBO_{5e} (mg/l)</i>	<i>DBO_{5s} (mg/l) (M2)</i>
1	50	5	105	15
2	230	20	105	20
3	270	10	105	15
4	230	5	105	10
5	230	5	105	15
6	250	10	105	10
7	400	20	105	5
8	110	10	105	-
9	145	30	105	10
10	95	25	105	15

Tableau (35): Résultats d'analyse de la MES pour l'eau traitée
de chaque colonne en fonction du temps.

Temps (semaine)	MES _e (mg/l)	MES _s (mg/l) (C ₁)	MES _s (mg/l) (C ₂)	MES _s (mg/l) (C ₃)	MES _e (mg/l)	MES _s (mg/l) (C ₄)	MES _s (mg/l) (C ₅)	MES _s (mg/l) (C ₆)
1	177	30	35	28	242	29	28	27
2	253	31	30	33	242	32	33	34
3	272	29	30	30	242	28	31	27
4	279	31	30	30	242	33	30	29
5	286	32	31	32	242	31	32	31
6	289	28	28	28	242	29	28	27
7	274	29	33	35	242	29	28	28
8	260	30	38	43	242	28	28	29
9	260	43	37	34	242	30	30	30
10	260	35	36	30	242	29	29	30

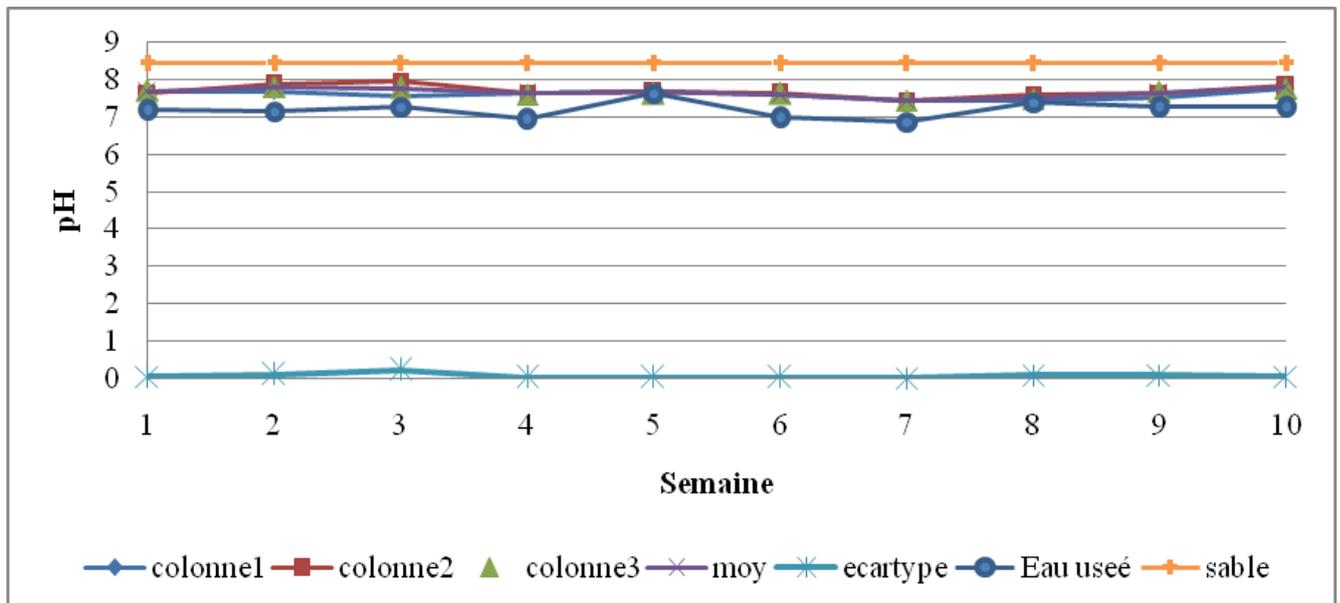


Figure (54): Evolution de la valeur du pH des eaux de station de lavage traitées pendant la période du travail.

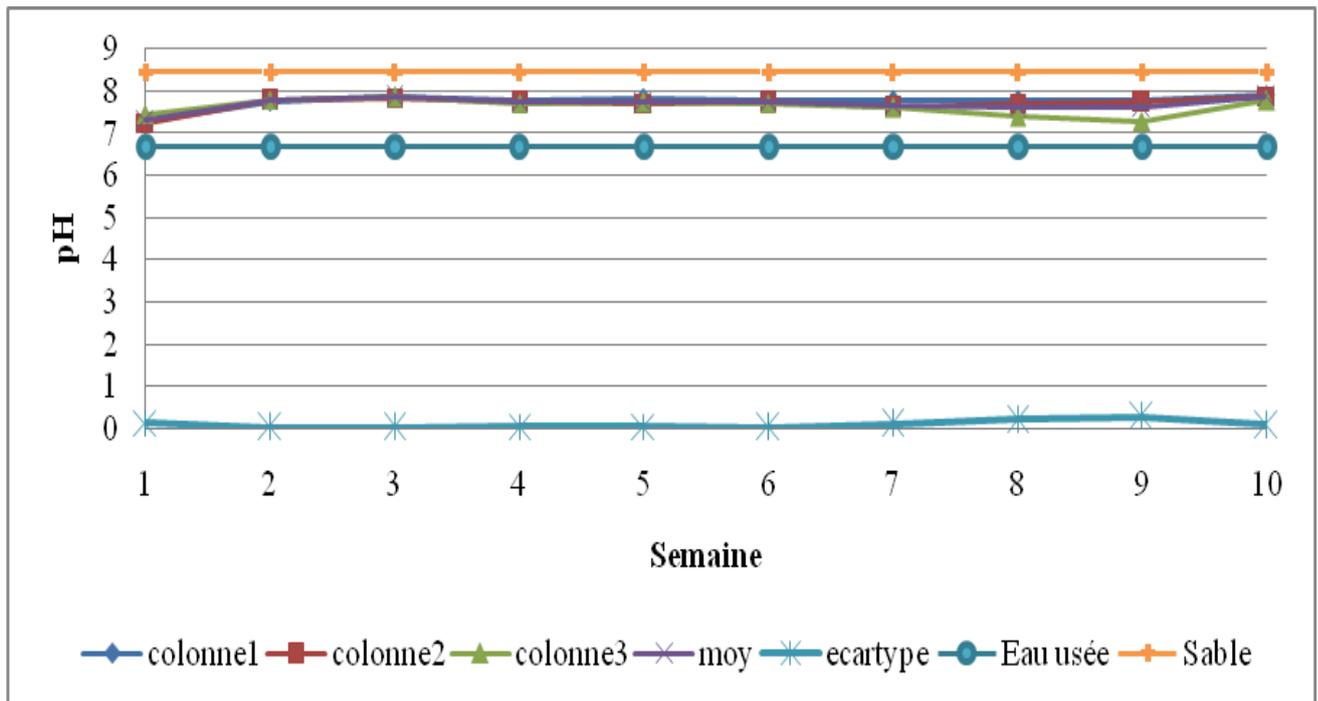


Figure (55): Evolution de la valeur du pH des eaux synthétiques traitées pendant la période du travail.

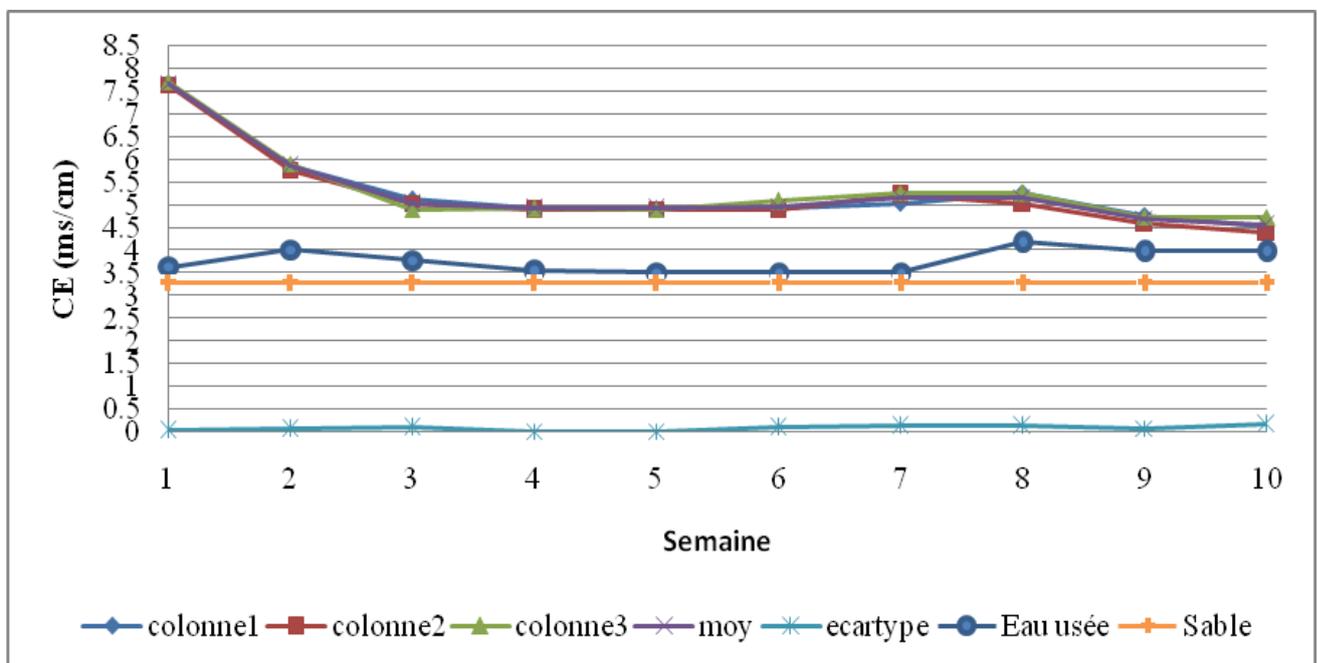


Figure (56): Evolution de la valeur de la CE des eaux de stations de lavage traitées pendant la période du travail.

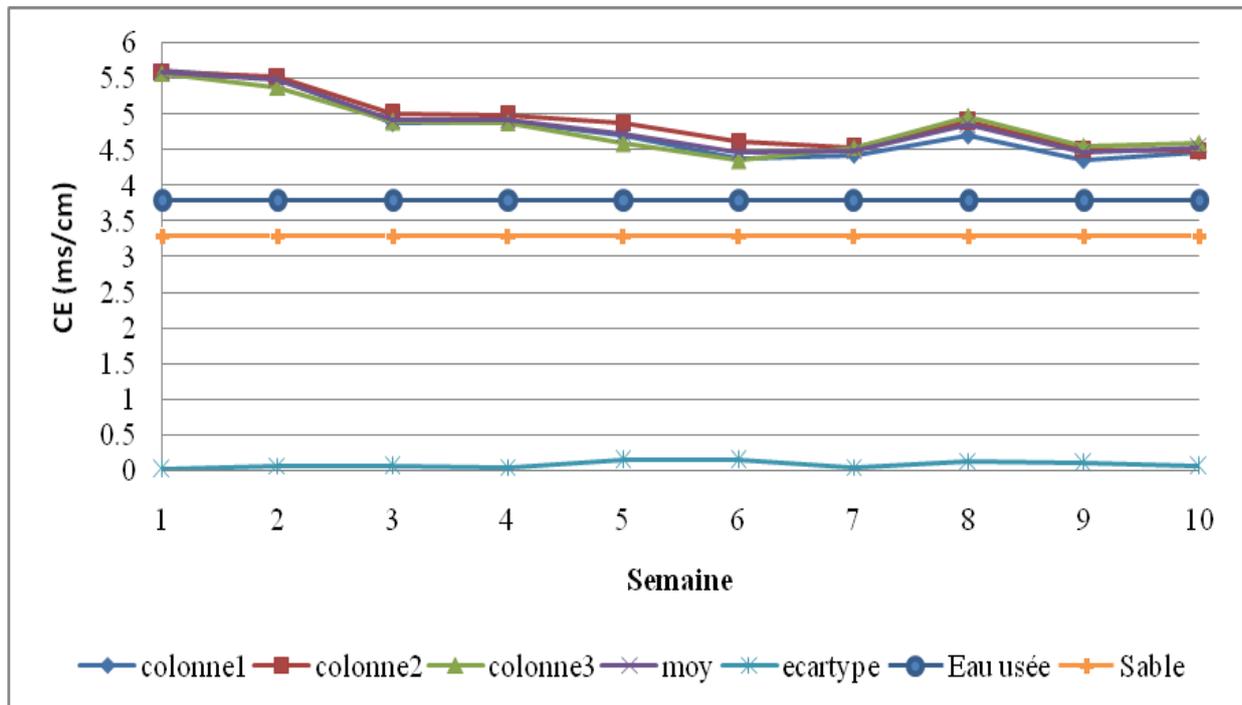


Figure (57): Evolution de la valeur de la CE des eaux synthétiques traitées de stations de lavage pendant la période du travail.

CE :

Les valeurs de la conductivité électrique pour les colonnes alimentées par les eaux des stations de lavage varient entre 4.56 et 7.68 ms/cm et entre 4.46 et 5.6 ms/cm pour les colonnes alimentées par les eaux synthétiques, les résultats sont illustrés dans les figures (56) et (57). Nous avons remarqué que les valeurs de la conductivité des eaux traitées ont dépassés celles des eaux polluées, ce que nous fait conclure que la quantité de sels supplémentaires produit à partir du procédé de lavage de sable, ce que explique les valeurs élevées enregistrées pendant les premières semaines et leurs diminution et stabilité par la suite[50].

HCT :

On a remarqué que les six colonnes du sable éliminent les hydrocarbures des eaux des stations de lavage et des eaux synthétiques presque totalement avec un rendement varient entre 97.12 % et 99.7% pour les premières eaux et 98.42 et 99.65 % pour les deuxièmes. On a remarqué aussi des grands rendements épuratoires pour les premières semaines et une légère diminution avec le temps, le rendement a resté excellent jusqu'à la dixième semaine (temps du travail des pilotes).

DCO : La demande chimique en oxygène est la teneur en O_2 consommée par les matières oxydables (réductrices) dans des conditions définies. Il s'agit d'une autre façon de dosage des hydrocarbures mais moins précise.

Les mêmes constatations sont observées pour l'évolution du rendement en terme de la DCO que pour la concentration des hydrocarbures (figure 60, 61). Pour les colonnes alimentées par les eaux de stations de lavage, on a enregistré pour la troisième semaine un meilleur rendement de 98.6% et pour les colonnes alimentées par les eaux synthétiques le meilleur rendement a été enregistré pour la deuxième semaine avec une valeur de 96%, et on peut dire que les valeurs ont resté excellentes jusqu'à la dernière semaine avec une valeur de 94.36% et 90.42% pour les premières et les dernières colonnes respectivement.

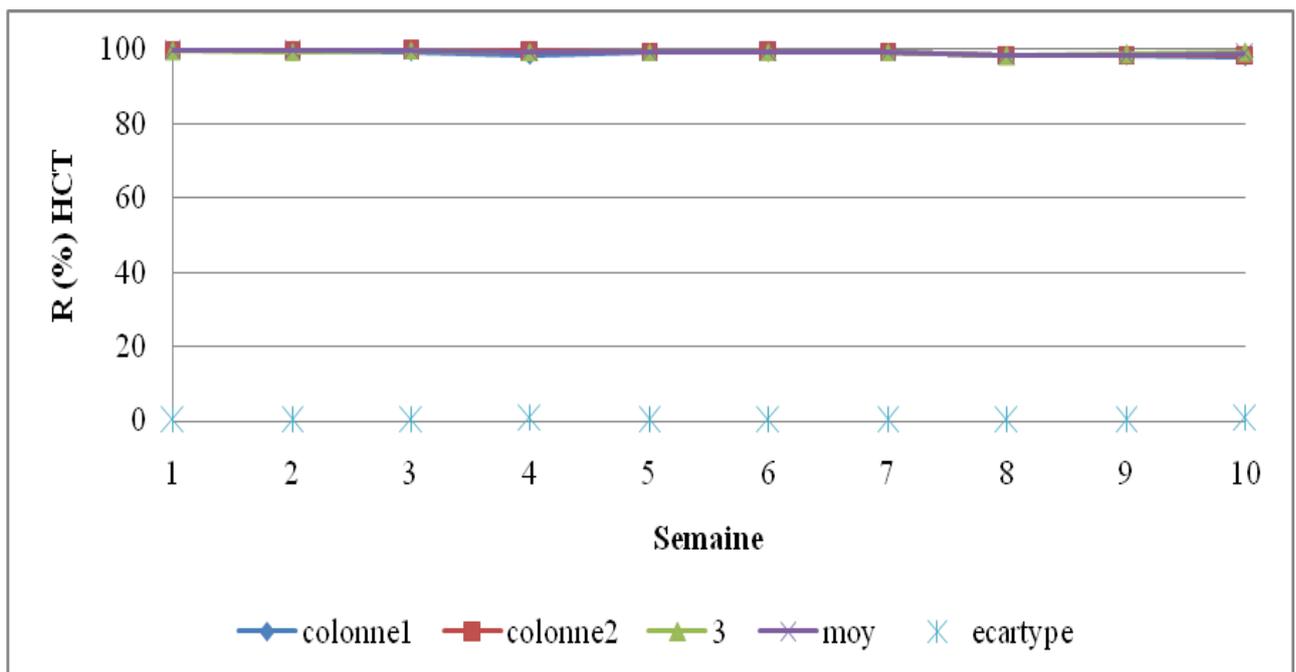


Figure (58): Evolution de rendement épuratoire des eaux de stations de lavage avec le temps (en terme du taux des hydrocarbures totaux).

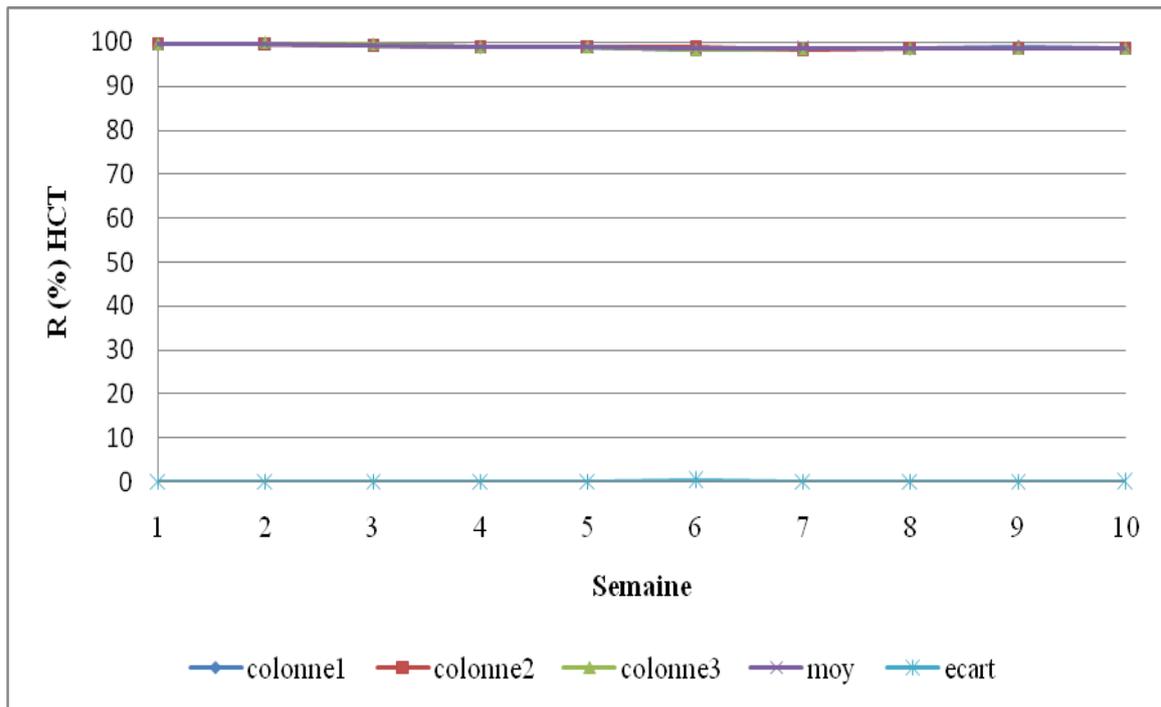


Figure (59): Evolution de rendement épuratoire des eaux synthétiques avec le temps (en terme du taux des hydrocarbures totaux).

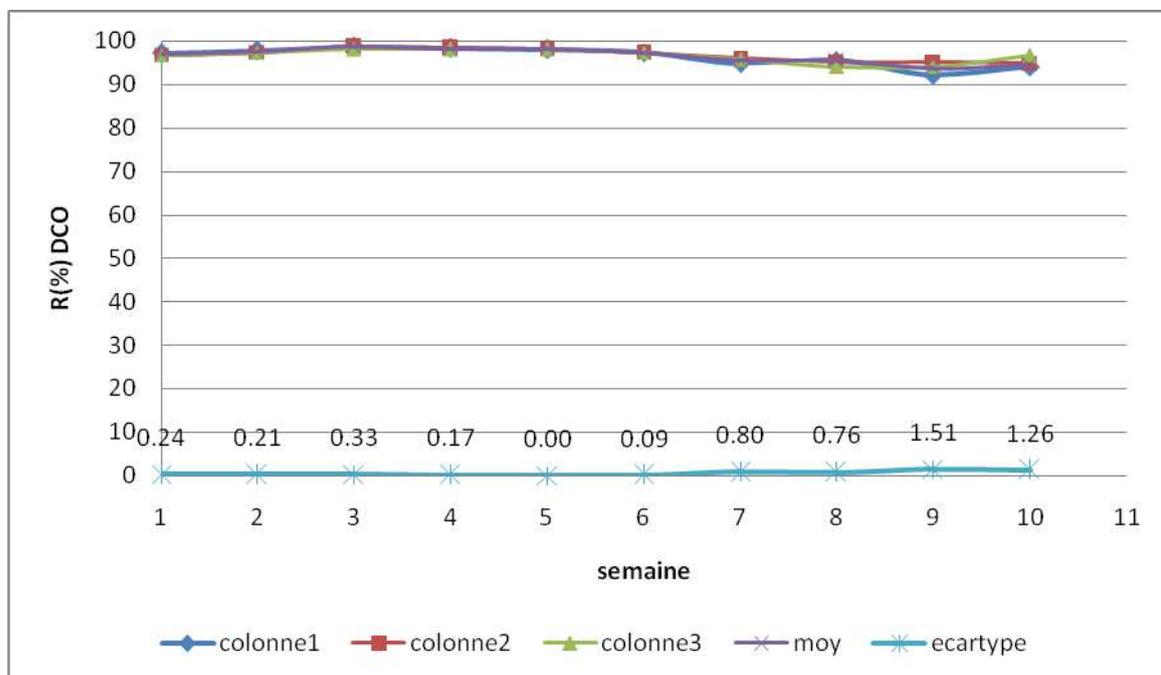


Figure (60): Evolution de rendement épuratoire des eaux de stations de lavage avec le temps (en terme de la DCO)

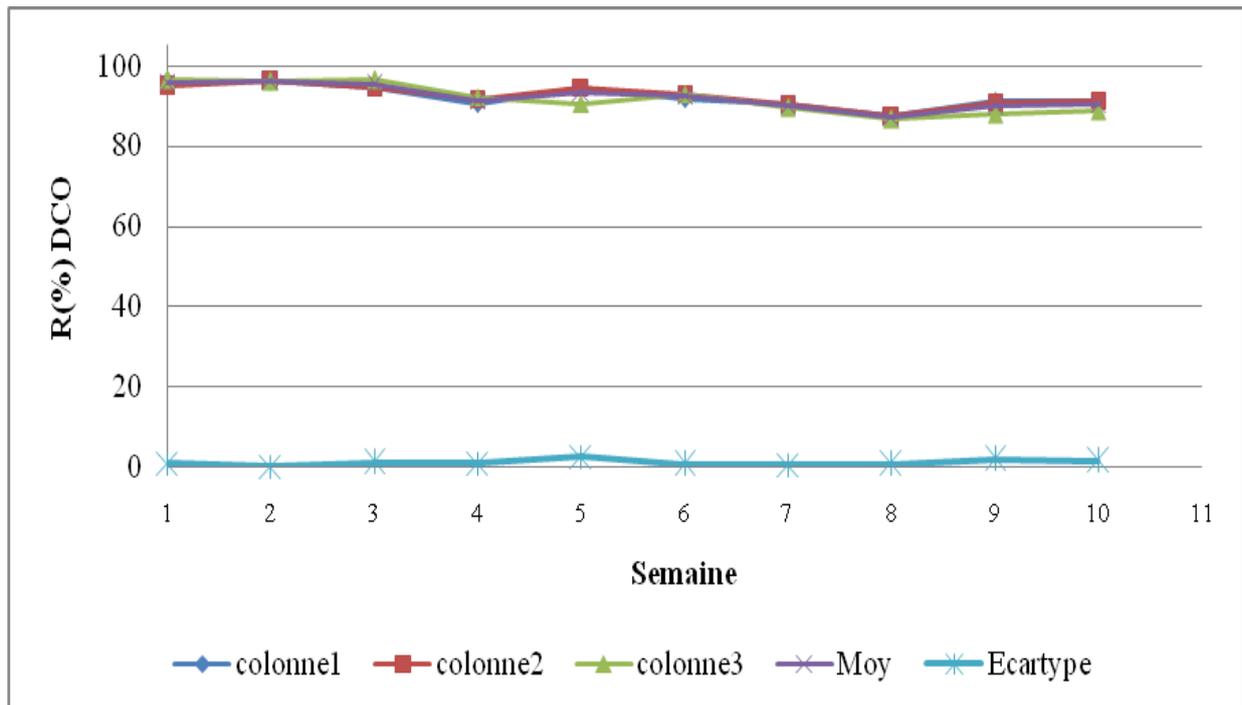


Figure (61): Evolution de rendement épuratoire des eaux synthétiques avec le temps (en terme de la DCO)

DBO5 : La demande biologique en oxygène, est la quantité d'oxygène en (mg/l) consommée pour épurer biologiquement l'eau en cinq jours à 20 C° et à l'obscurité [35]. On a mesuré les valeurs de ce paramètre pour deux mélange des eaux épurées, le premier mélange c'est des volumes égaux des eaux de sorties des premières colonnes, et le deuxième c'est aussi des volumes égaux des eaux de sorties des autres colonnes. Les rendements enregistrés ont été excellents et allant jusqu'à 95.24 %. on a remarqué aussi l'augmentation des valeurs du rendement jusqu'à la 7^{ème} semaine en suite les valeurs ont diminué à une valeur de 85.71% qui a été enregistrée pour la dernière semaine de travail (figure 62, 63).

MES : Pour apprécier la qualité d'une eau, il est toujours nécessaire d'évaluer quantitativement sa charge en matière dissoute et particulaire. Les résultats de mesure de rendements d'élimination des matières en suspension (MES) de notre dispositif illustrés dans la figure (64, 65) montrent une grande efficacité exprimée par un rendement varie entre 82.5 et 90.3% pour les colonnes alimentées par les eaux des stations de lavage et entre 86.36 et 88.42 % pour les colonnes alimentées par les eaux synthétiques.

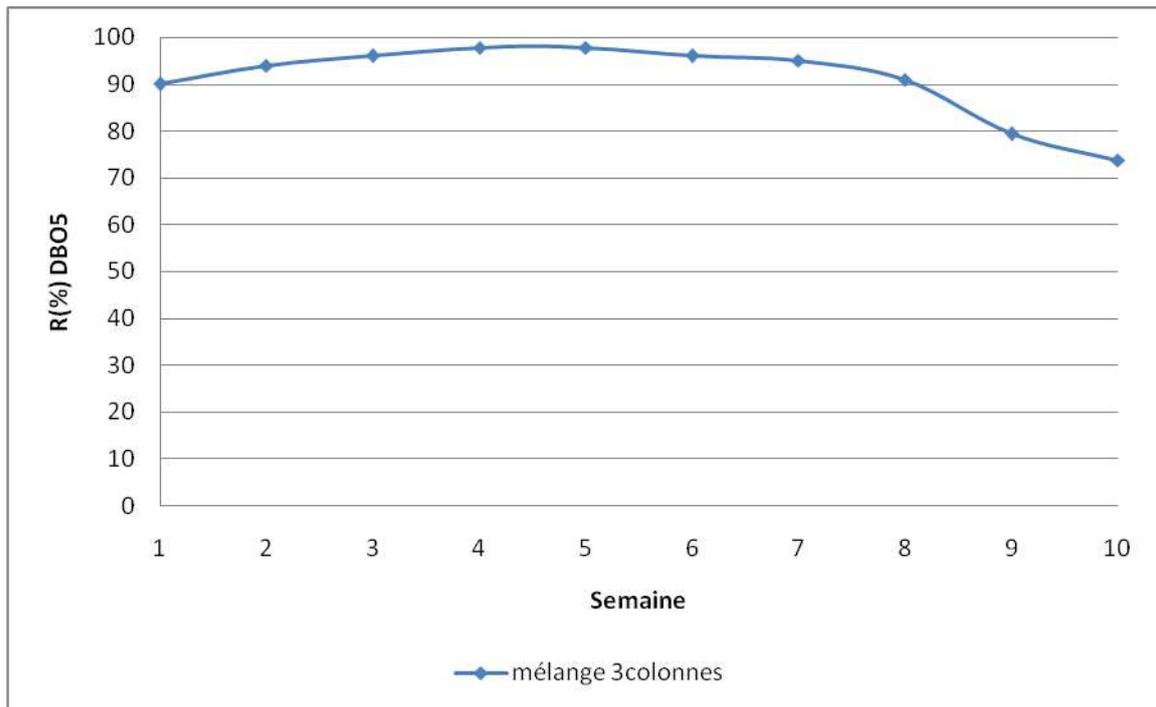


Figure (62): Evolution de rendement épuratoire des eaux de stations de lavage avec le temps (en terme de la DBO5).

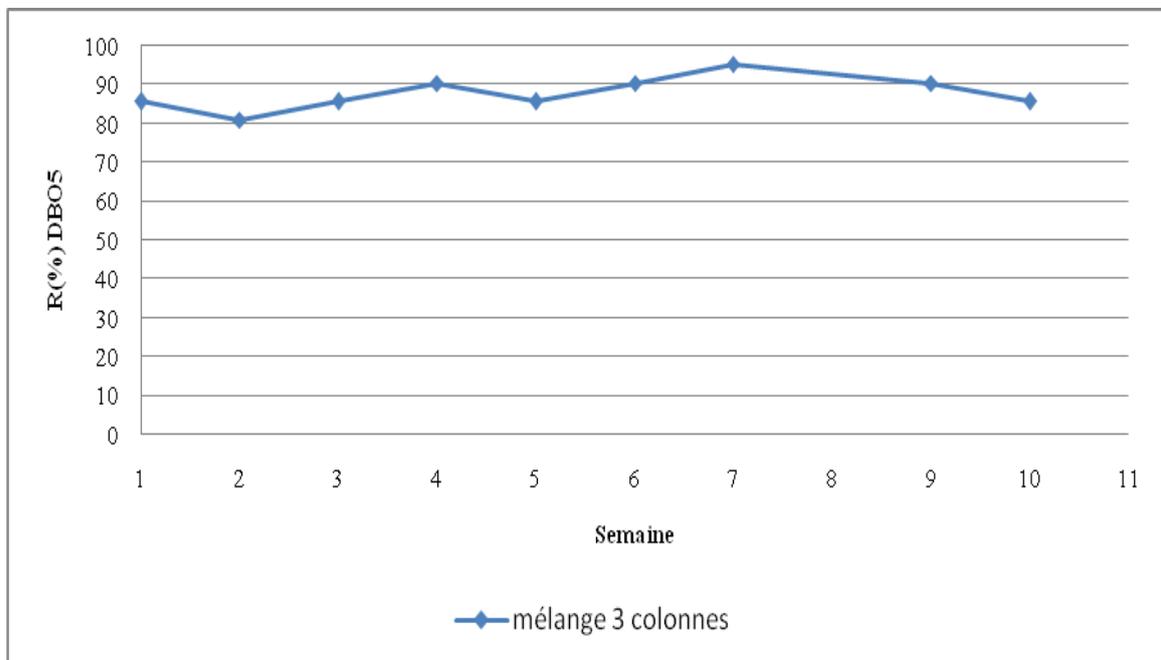


Figure (63): Evolution de rendement épuratoire des eaux synthétiques avec le temps (en terme de la DBO5)

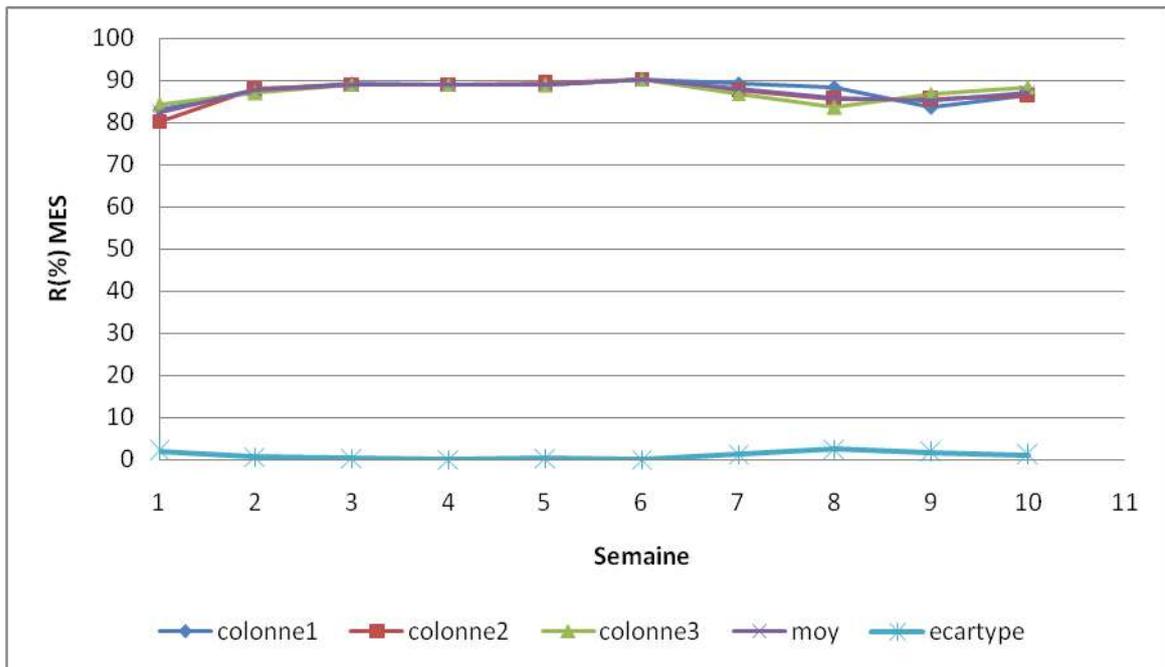


Figure (64): Evolution de rendement épuratoire des eaux de stations de lavage avec le temps (en terme de la MES).

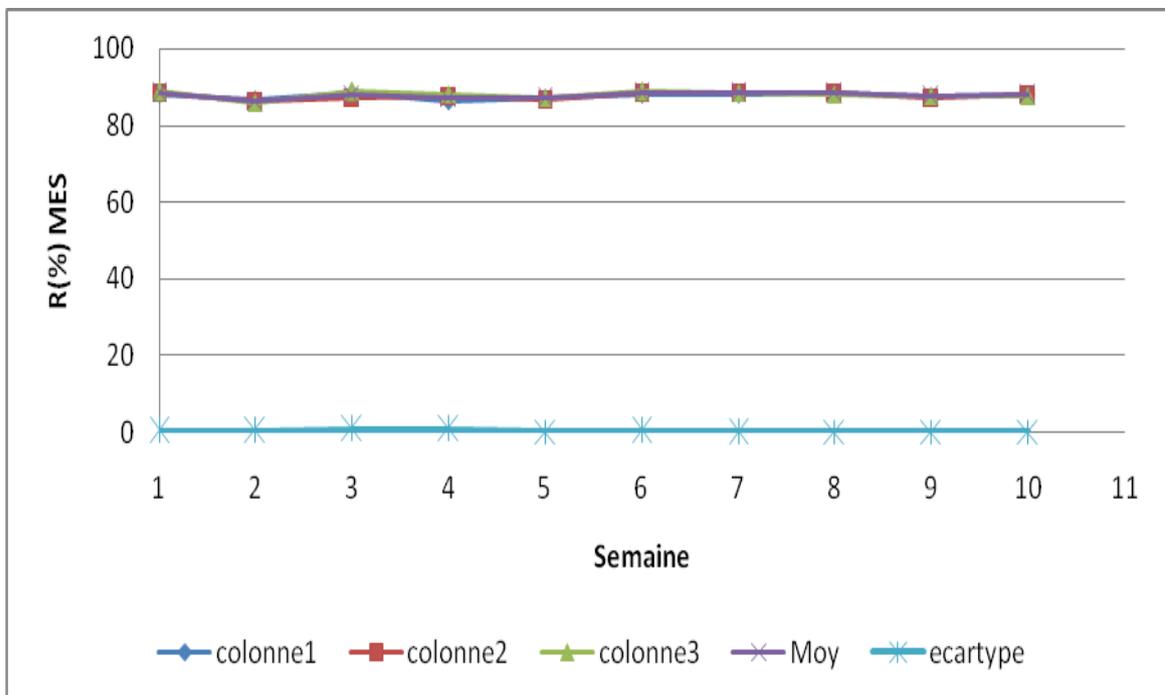


Figure (65): Evolution de rendement épuratoire des eaux synthétiques avec le temps (en terme de la MES)

Globalement et d'après les résultats obtenus et qui sont illustrés dans les figures (54-65), qui ont prouvé l'efficacité des colonnes du sable à traiter les eaux contaminées par les huiles et les hydrocarbures durant une période de 10 semaines avec un très bon rendement allant jusqu'à 100%, on peut conclure que :

- Le sable est très efficace pour traitées les eaux contaminées par les hydrocarbures et les huiles usées ou brulées comme dans le cas des eaux rejetées par les stations de lavage, nous avons confirmé ça par les résultats proches ou identiques données par les 3 colonnes qui sont alimentées par les eaux des stations de lavage et les valeurs calculées de l'écart type qui sont trop petites sauf dans des cas rares qui expriment juste des erreurs de mesure.

- Même constatations sont observées pour les 3 colonnes qui sont alimentées par les eaux synthétiques, ce que nous confirme aussi l'efficacité du sable à traitées les eaux contaminées par les huiles et les hydrocarbures neuves.

- On peut interpréter l'efficacité du sable à éliminer les hydrocarbures à partir les eaux par deux phénomènes (l'adsorption et la biodégradation), l'adsorption qui est le phénomène connu et qui caractérise les matériaux poreux tel que le sable, Les huiles peuvent être adsorbé non pas parce qu'elles sont attirées par la surface du solide mais parce que la solution tend à le rejeter ; c'est ce qui se produit typiquement pour un composé organique hydrophobe en présence d'un adsorbant dont la surface est également hydrophobe [53]. Par ce phénomène, les huiles sont adsorbées sur la surface du sable et accumulent et forment avec le temps une couche superficielle. D'autre coté la couche formée se développe durant une semaine à une biomasse (biofilm) selon des études dans ce domaine [49,54], et aussi des études qui ont prouvé le type des bactéries spécifiques développés tel que (*Bacillus subtilis* et *Pseudomonas aeruginosa*) [55, 56, 57,58].

On peut dire après tout les résultats très satisfaisants obtenus par notre montage, que cette méthode proposée est très efficace pour traiter les eaux contaminées par les hydrocarbures avec une bonne rentabilité, surtout comparativement avec d'autres techniques proposées par d'autre travaux dans ce domaine.

Conclusion

La quantité de polluants introduite dans l'environnement, via les réseaux d'assainissement, met sans aucun doute en danger l'équilibre écologique, si les eaux usées issues de différentes sources ne sont pas traitées au préalable de leur évacuation ou leur réutilisation. Parmi ces polluants, nous nous sommes orientés vers les hydrocarbures. En effet, des impacts négatifs sont observés sur les milieux récepteurs tels que la désoxygénation du milieu due aux apports de matière organique, la pollution microbiologique liée à l'apport d'agents pathogènes, et la pollution chimique associée aux micropolluants minéraux et organiques.

La compréhension du transfert des micropolluants dans un réseau d'assainissement passe principalement par la connaissance de leur mode d'introduction. D'après une enquête que l'on a préparée, quelques stations de lavage des véhicules dans la ville de Ouargla rejettent les eaux usées directement dans l'égout public sans aucun traitement préalable. Sachant que ces eaux contenant des huiles et des hydrocarbures, qui ne se décomposent pas dans les stations d'épuration classiques et les traversent vers les milieux naturels, engendrent une situation alarmante par la création de problèmes environnementaux difficilement maitrisables. Cette situation nécessite un travail de recherche sur les moyens les moins onéreux permettant de les résoudre. Notre travail se présente donc comme une contribution à cette compréhension en passant par l'établissement d'un diagnostic global des eaux de prélèvement des stations de lavage.

Un premier constat peut être fait à travers nos résultats (valeurs moyennes trouvées en MES, DBO₅, et DCO, indice de biodégradabilité) : il s'agit de la présence d'une forte et irrégulière pollution organique, des eaux résiduaires industrielles de la ville de Ouargla, nocive pour le milieu récepteur tout en signalant par la même occasion, au vu des valeurs de la conductivité électrique élevées, l'apparition d'un autre type de pollution par les éléments minéraux.

En outre, la présence des quantités importantes des hydrocarbures est mise en évidence dans les eaux des sites étudiés, dépassant énormément les normes admissibles des rejets d'eaux industrielles. Les techniques spectroscopiques Ft-IR et UV et GC-MS, nous ont permis de confirmer cette présence, mais il est sans doute nécessaire de recourir à des analyses plus poussées pour affiner cette caractérisation.

Une gestion rationnelle des ressources en eau et la mise en place de systèmes de purification des eaux usées des stations de lavage de la ville de Ouargla nous semble indispensable pour minimiser les risques environnementaux liés aux rejets de ces eaux usées à l'état brut dans le milieu récepteur. A cet effet, nous avons entrepris l'étude de l'efficacité de la filtration tout en contribuant à la valorisation des matériaux locaux, afin d'améliorer la qualité de ces eaux et préserver le milieu récepteur des dangers de la pollution citée plus haut. Le dispositif expérimental que nous avons ainsi proposé, est constitué par des colonnes contenant un lit fixe du sable de dune (sable de N'GOUSSA de la région de Ouargla) pour traiter deux types des eaux polluées par les hydrocarbures, a donné des résultats satisfaisants. Ces derniers ont montré une efficacité d'élimination des hydrocarbures, puisque des rendements allant jusqu'à **99.7** % pour les eaux des stations de lavage et 99.5 % pour les eaux synthétiques ont été obtenus.

Il apparaît nécessaire d'élargir le spectre de molécules couramment analysées, aux autres composés organiques et inorganiques, afin d'améliorer le processus d'identification des sources de contamination. Néanmoins, l'utilisation des techniques couplées chromatographie-spectroscopie nous semble être plus indiquée pour une meilleure caractérisation aussi bien qualitative que quantitative. Par ailleurs, il serait intéressant d'approfondir ce travail par :

- Extension de la période de fonctionnement des colonnes à plus de 10 semaines.
- Etude du devenir des sables utilisés.
- Etude d'autres modèles en matériaux locaux pour affiner le modèle de traitement qui pourrait être utilisé dans la lutte contre la pollution des effluents surtout industriels telle que celle des hydrocarbures.

1. L'enquête

Questionnaire

1. Quel type de services présenter ?

-Lavage

-Vidange

-Réparation

2. Les types de véhicule lavés ?

<i>Type de véhicule</i>	<i>La marque</i>	<i>Type de carburant</i>	<i>Type d'huile</i>
Transport de voyageurs		
Transport des produits alimentaires			
Transport des animaux			
Des citernes des produits chimiques			

3. Quel sont les huiles les plus utilisé dans notre régions ?classement selon la fréquence.

.....

4. Est ce qu'il existe un ouvrage de traitement ? Oui non. .

5. S'il existe de quel type (dimension)

Dimensions :.....

Fonctionnement :.....

6. La grande activité de la station pendant

- la journée ? Matin. ..midi. ..soir

-La semaine ? Fin de la semaine autre

-Les saisons ? Automne Hiver Printemps Eté

7. Combien de véhicule lavé par jour ?

.....

8. Combien de véhicule pour changer les huiles ?

.....

9. La quantité d'eau utilisée pour chaque mois?

10. Quel type de produit de nettoyage utilisé ?et la quantité hebdomadaire ?

.....

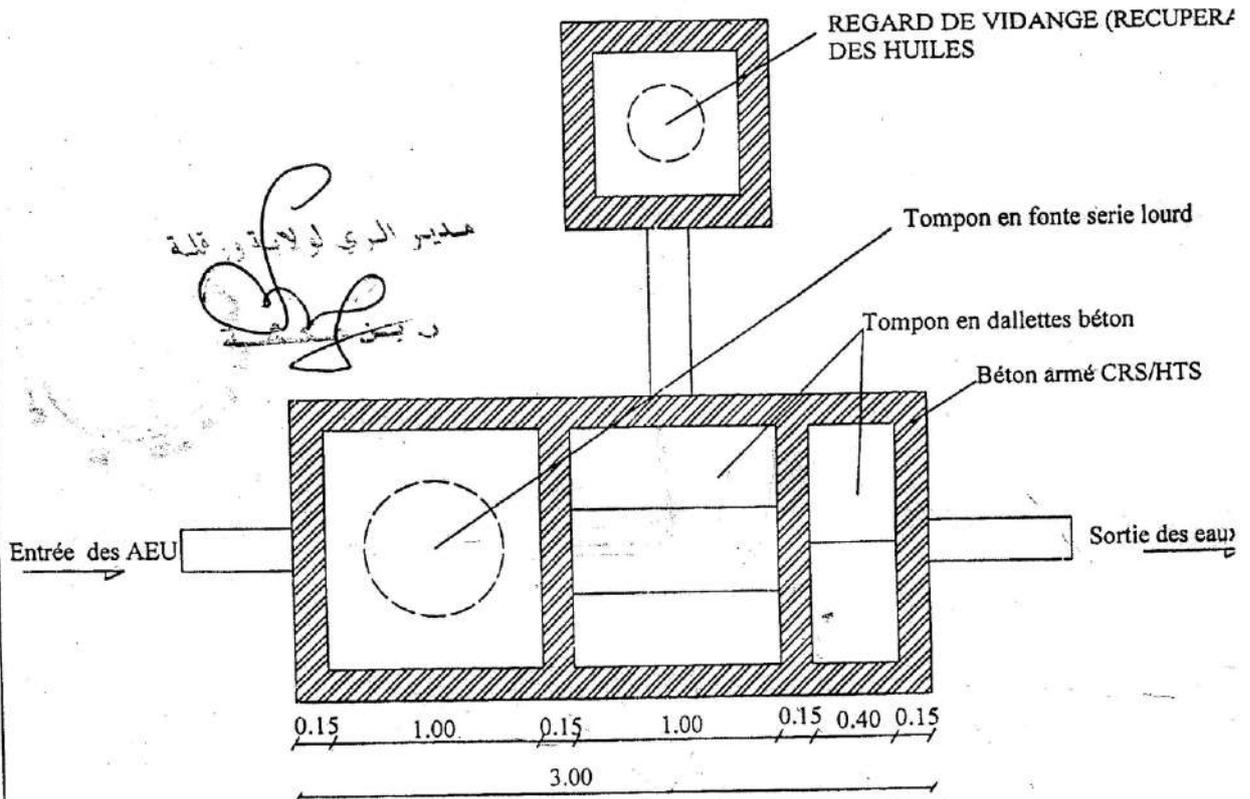
.....

.....

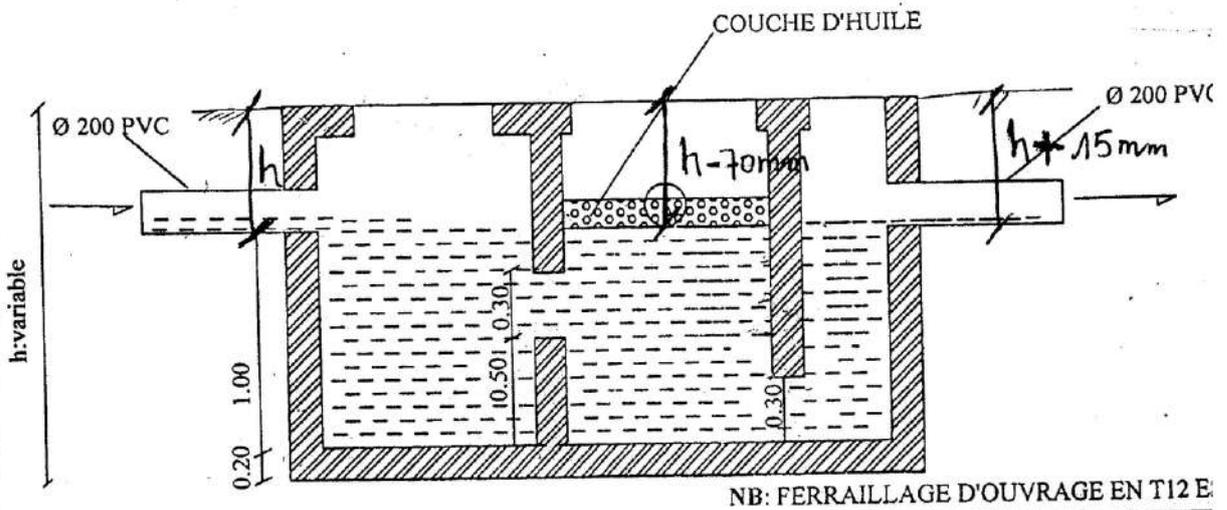
2. l'ouvrage de traitement

OUVRAGE SEPARATEUR EAU - HUILE

VUE EN PLAN



VUE EN COUPE



Annexes

Tableau (1): Facteurs de correction de température, pour la conversion de valeurs de conductivité d'eaux naturelles mesurées à une température différente de 25°C [7, 11].

<i>T</i> °C	<i>f</i> ₂₅									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
15	1.256	1.253	1.249	1.246	1.243	1.240	1.237	1.234	1.231	1.228
16	1.225	1.222	1.219	1.216	1.214	1.211	1.208	1.205	1.202	1.199
17	1.196	1.193	1.191	1.188	1.185	1.182	1.179	1.177	1.174	1.171
18	1.168	1.166	1.163	1.160	1.157	1.115	1.152	1.149	1.147	1.144
19	1.141	1.139	1.136	1.134	1.131	1.128	1.126	1.123	1.121	1.118
20	1.116	1.113	1.111	1.108	1.105	1.103	1.101	1.098	1.095	1.093
21	1.091	1.088	1.086	1.083	1.081	1.079	1.076	1.074	1.071	1.069
22	1.067	1.064	1.062	1.060	1.057	1.055	1.053	1.051	1.048	1.046
23	1.044	1.041	1.039	1.037	1.035	1.032	1.030	1.028	1.026	1.024
24	1.021	1.019	1.017	1.015	1.013	1.011	1.008	1.006	1.004	1.002
25	1.000	0.998	0.996	0.994	0.992	0.990	0.987	0.985	0.983	0.981
26	0.979	0.977	0.975	0.973	0.971	0.969	0.976	0.965	0.963	0.961
27	0.959	0.957	0.955	0.953	0.952	0.950	0.948	0.946	0.944	0.942
28	0.940	0.938	0.936	0.934	0.933	0.931	0.929	0.927	0.925	0.923
29	0.921	0.920	0.918	0.916	0.914	0.912	0.911	0.909	0.907	0.905
30	0.903	0.902	0.900	0.898	0.896	0.895	0.893	0.891	0.889	0.888
31	0.886	0.884	0.883	0.881	0.879	0.877	0.876	0.874	0.872	0.871
32	0.869	0.867	0.866	0.864	0.863	0.861	0.859	0.858	0.856	0.854
33	0.853	0.851	0.850	0.848	0.846	0.845	0.843	0.842	0.840	0.839
34	0.837	0.835	0.834	0.832	0.831	0.829	0.828	0.826	0.825	0.823
35	0.822	0.820	0.819	0.817	0.816	0.814	0.813	0.811	0.810	0.808

Annexes

Tableau (2): Calcule de la minéralisation à partir de la conductivité mesurée à 20°C [7, 11].

<i>Conductivité en $\mu\text{S.cm}^{-1}$</i>	Minéralisation en mg.L^{-1}
<50	1.365079 x conductivité (*) ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) à 20°C
Entre 50 et 166	0.947658 x conductivité (*) ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) à 20°C
Entre 166 et 333	0.769574 x conductivité (*) ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) à 20°C
Entre 333 et 833	0.715920 x conductivité (*) ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) à 20°C
Entre 833 et 10000	0.758544 x conductivité (*) ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) à 20°C
> 10000	0.850432 x conductivité (*) ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) à 20°C
(*) x 1.116 pour 25°C.	

Tableau (3): Les normes algériennes de rejet des eaux et les paramètres d'analyse de la pollution (Journal officiel de la république algérienne, 1993)

<i>Paramètre</i>	Valeur limite
T (°C)	30
pH	5.5- 8.5
CE ($\mu\text{S/cm}$)	2500
DCO (mg/l)	120
DBO5 (mg/l)	40
MES (mg/l)	30
Cl^- (mg/l)	200
P_2O_5 (mg/l)	2
SO_4^{2-} (mg/l)	250
NO_3^- (mg/l)	80
NO_2^- (mg/l)	0,1
Indice de phénol (mg/l)	0.5

II. Photos

1. Caractéristiques des matériaux filtrants



Photo1: L'analyse granulométrique

1. Les analyses physico-chimiques



Photo 02: Filtration pour la détermination de MES.



Photo 03: La DO mètre pour la détermination de la DO.



Photo 04: Montage à reflux pour la détermination de la DCO.



Photo 05: Titrage pour la détermination de la DCO.

2. Le dosage gravimétrique des hydrocarbures totaux

Protocole d'analyse gravimétrique

Acidifier
par HCl à
pH \leq 2



Ajouter
Cyclohexane

Agiter par
l'agitateur
mécanique



Séparer les
phases
organique et
aqueuse



Sécher la
phase
organique
par
Na₂SO₄+ gel
de silice



Évaporer le
solvant à sec



Récupérer
l'extrait

Peser et
calculer



Photo 06: Protocole d'extraction des hydrocarbures

3. L'analyse qualitative (UV-Visible, IR)



Photo 7:Le spectrophotomètre UV-visible.

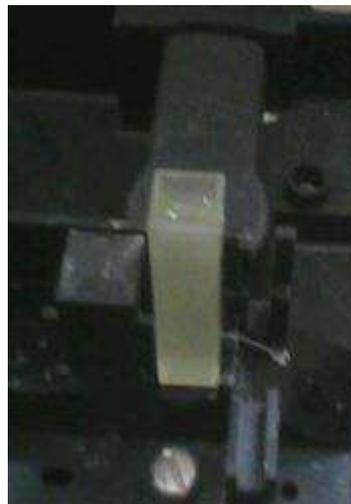


Photo 8:La cuve en quartz.

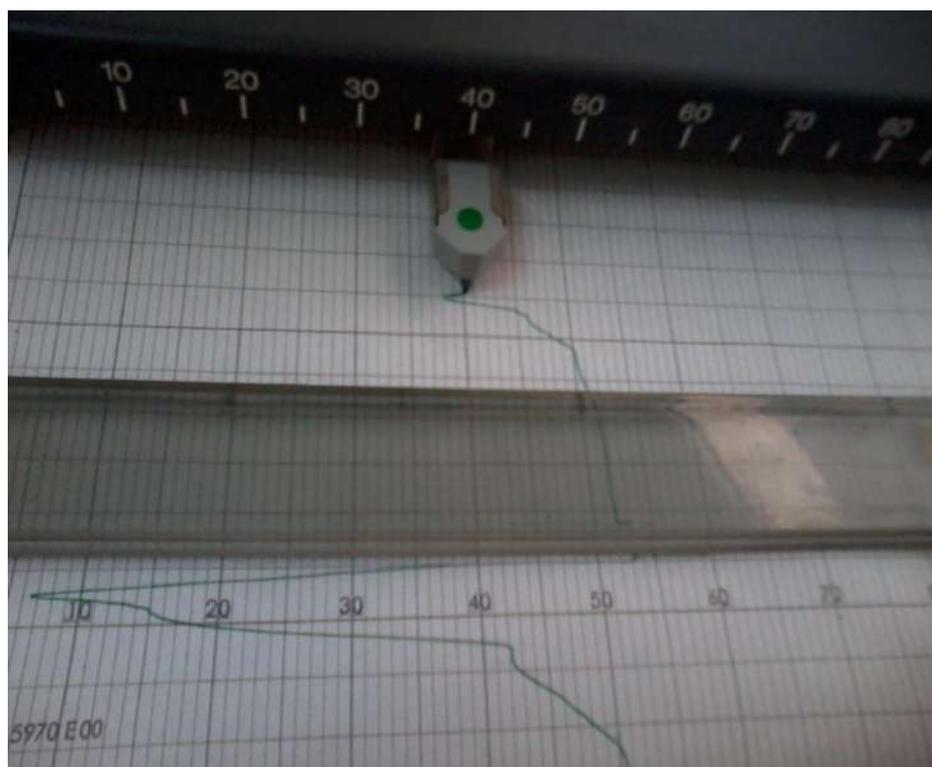


Photo 9:Le spectre UV-visible



Photo 10:Le spectrophotomètre FTIR.

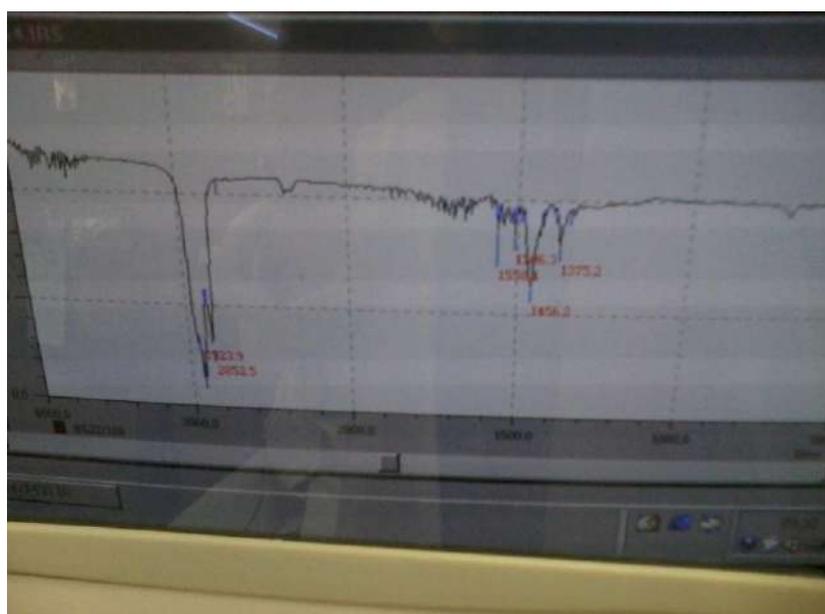


Photo 11:Le spectre FTIR.

Références

- [1] C. AYRAL, Elimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur charbon actif, Thèse de doctorat, L'Institut National Polytechnique de Toulouse, L'université de Toulouse, France, p8-11, 2009.
- [2] C. MANOLE-CREANCA, Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradables (par adsorption puis oxydation catalytique), Thèse de doctorat, L'institut National Polytechnique de Toulouse, France, p1-iii-iv-v-8-9-10-14-15-16-17-18-19-58-63-66, 2007.
- [3] F. ZAVISKA, P. DROGUI, G. MERCIER, J-F. BLAIS, Procédés d'oxydation avancée dans le traitement des eaux et des effluents industriels : application à la dégradation des polluants réfractaires, revue des sciences de l'eau/ journal of Water Science, vol.22, n°4, p.535-564, 2009.
- [4] F. BADIA-GONDARD, L'assainissement des eaux usées, Editions Techni. Cités, p5, 2003
- [5] L. ZELLA, D. SMADHI, L'eau la gouvernance et l'éthique, Office des publications universitaires, p 9-11, Ed 2006
- [6] A. RODRIGEZ-GRACIA, Etude de la congélation comme technique de traitement des eaux: applications spécifiques, Thèse de doctorat, L'institut National Des Sciences Appliquées de Toulouse, L'université de Toulouse, France, p9-10-11, 2004
- [7] F. REJSEK, Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, Edition Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine France, p71-72-73-165-166-204-206-209-211-, 2002
- [8] Conseil canadien des ministres de l'environnement, Proposition de Cadre Réglementaire sur les Eaux Usées, p1, Octobre 2007.
- [9] R. SALGHI, Différents filières de traitement des eaux, cours préparés, Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir.
- [10] C.BOCARD, Marées noires et sols pollués par des hydrocarbures « enjeux environnementaux et traitement des pollutions, editionTechnip, Paris, France, 2006.
- [11] J. RODIER, l'analyse de l'eau 8^e edition , Dunod, Paris, P9-59-61-64-66-369-379-381-535-537-564-567-1044, 2005.
- [12] C. SAURET, Ecologie des Communautés Bactériennes Marines Soumises à Une Pollution Pétrolière : Influence des facteurs environnementaux, de la prédation et de la récurrence des pollutions, Thèse de doctorat, Ecole Doctorale Sciences de l'Environnement d'Ile de France (ED129), p39-41, 2011.

- [13] J. GASPERI, Introduction and transfer of hydrocarbons on different spatial scales within the Parisian combined sewer ,Thèse de doctorat, Sciences of the Universe, Ecole des Ponts ParisTech, p18-32, 2006.
- [14] J-C. BOEGLIN, Analyse des eaux résiduaires. Pollution industrielle de l'eau caractérisation, classification, mesure, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie industriel, G 1 210, p1, 1997
- [15] S. BAHROUN, B.KHERICI, Évaluation de l'indice de pollution organique dans les eaux naturelles cas de la région d'El Taraf (Nord-Est Algérien), Larhyss Journal, n° 09, pp. 171-178, 2011.
- [16] C. DAINES, B. BOZKAYA, Elimination de la matière organique dans les concentrats membranaires, Veolia Environnement Centre de Recherche sur l'Eau, Anjou Recherche, 2008
- [17] R. COLOMB, Hydraulique urbaine, Edition Eyrolles Paris, 1989
- [18] C. GOUGOUSSIS, Assainissement individuel et aptitude des sols a l'élimination et a l'épuration des effluents domestiques, Edition Institut national polytechnique de lorraine, 1979
- [19] R. DISJADIND, Le traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal, 1997
- [20]:DEGREMONT, Mémento technique de l'eau, Edition du cinquantenaire, 9^{ème} Edition,Tome1, 1989.
- [21] A. MUSY, M. SOUTTER, Physique du sol, Presse polytechnique et universitaires romandes, 1991
- [22] G. AUBERT, Méthodes d'analyse des sols, Edition centre régional de documentation pédagogique de Marseille, 1978
- [23] A. LANCASTRE, Hydraulique générale, Edition Eyrolles Paris, 1996
- [24] D. BAIZE, Guide des analyses en pédologie, Edition INRA éditions paris, 2000
- [25] Compte-rendu des groupes de travail, Colloque de Lancement du programme Medicis, 2003
- [26] Z.XIO BAI, Etude expérimentale de quelques paramètres affectant la dissipation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans la rhizosphère de plantes mycorhizées
Experimental study of some parameters affecting polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) dissipation in the rhizosphere of mycorrhizal plants, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Université-CNRS, Nancy, France,2010.
- [27]H. MESSROUK, M. HADJ MAHAMMED, Y.TOUIL, A.AMRANE, Physico-chemical Characterization of Industrial Effluents From The Town of Ouargla (South East Algeria), Energy Procedia, vol. 50, no. special, pp. 255-262, 2014.

- [28] C. LEGER, Vallée de Ouargla- Etude d'assainissement des eaux résiduaires pluviales et d'irrigation, Mission IIB:Caractérisation environnementale de la situation actuelle, Office National de L'assainissement des Ressources en eau, Algérie, 2003
- [29] S. YASIN, T. IQBAL, Z. ARSHAD, M. RUSTAM & M. ZAFAR, Environmental Pollution From Automobile Vehicle, Journal of Quality and Technology Management ,Vol.8, n°1, P 61 – 70 , 2012.
- [30] IRH Ingénieur Conseil, Lavage des Véhicules, Fiche d'activité , Etude PME – PMI.
- [31] CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC. Détermination des huiles et graisses totales: méthode gravimétrique, MA. 400 – HGT 1.1, Rév. 2, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements climatiques du Québec, p10, 2014.
- [32] USEPA, Method 1664, Revision A:N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel TreatedN-Hexane Extractable Material (SGTHEM; Non-polar Material) by Extractionand Gravimetry ,Office of Water Washington, DC 20460 Agency, February 1999.
- [33] Division de l'expertise technique, Détermination gravimétrique des huiles et graisses totales et minérales (matières extractibles à l'hexane), No : M-CR-5.4-017, Version : 5.1.0, p14, Montréal.
- [34] O. BORDJIBA, F. BEKHOUCHE, A. HASSAINE, R. DJENIDI, European Journal of Scientific Research ,Vol.26 No.1, p87-97, 2009
- [35] Y. ELGUAMRI'L, D. BELGHYTIL, K. ELKHARRIM, S. RAWEH, I. SYLLA'L, M. BENYAKHEF, Sud Sciences et Technologie, n°16, 0796-5419, juin 2008
- [36] S. HAZOURLI, L. BOUDIABA, M. ZIATI, Larhyss Journal, 1112-3680, n°06, p45-55, 2007
- [37] CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC. Détermination des hydrocarbures pétroliers (C10 à C50) : dosage par chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur à ionisation de flamme, MA. 400 – HYD. 1.1, Rév. 2, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, et Lutte contre les changements climatiques du Québec, 17 p. 2015.
- [38] R. KANAN, Développements méthodologiques pour l'extraction et l'analyse des polluants organiques d'intérêt pour l'environnement marin : Application aux hydrocarbures aromatiques polycycliques, Thèse de doctorat, L'université Bordeaux1, École doctorale des sciences chimiques, 2012.
- [39] T-C. ZERARKA, Méthodes spectroscopiques d'analyses chimiques, Office des publications universitaires 09, p5, 1994

[40] P. GOSSART, Contribution à l'étude des interactions de la matière organique des sols avec les métaux lourds Etude structurale et analytique de molécules modèles, Thèse de doctorat, l'Université des sciences et Technologies de Lille, p46-49, 2001

[41] الدكتور ا.الصفار، الطرق الآلية في التحليل الكيميائي، ديوان المطبوعات الجامعية رقم النشر 1.03، 2375، ص52-1991، 122-99-50

[42] P. GALEZ, Techniques Spectroscopiques -Spectrophotométrie UV/visible, Mesures Physiques Annecy – MPh2 SE3 ME3 – PG, 2008

[43] R. SILVERSTEIN, F. WEBSTER, D. KIEMLE, Identification spectrométrique de composés organiques, Edition de Boeck et Larcier s.a., 2^{ème} édition, p72, 2007

[44] J-C. GUIBET, Les carburants et la combustion, © Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique, BM 2 520 - pp.1-28.

[45] Y. Li, Y. ZHAO, S. PENG, Q. ZHOU, L. Ma, Temporal and spatial trends of total petroleum hydrocarbons in the seawater of Bohai Bay, China from 1996 to 2005, Marine Pollution Bulletin, vol. 60, pp. 238-243, 2010.

[46] D. NILANJANA, C. PREETHY "Microbial Degradation of Petroleum Hydrocarbon Contaminants, SAGE-Hindawi Access to Research Biotechnology Research International, vol. 21, no. 1, pp. 1-13, 2011.

[47] A. ABDULRAHIM, M. A. GABER Biological Treatment of Hydrocarbon Contaminants: Petroleum hydrocarbon uptake by Pseudomonas Alkanolytica, J.KAU:Eng. Sci, vol. 21, no. 1, pp. 39-53 2010.

[48] H. MESSROUK, M. HADJ MAHAMMED, Y. TOUIL, Analyse quantitative des composés phénoliques dans les effluents industriels de la ville d'Ouargla, Annales des Sciences et Technologie, vol. 4, no. 2, pp. 95-101, 2012.

[49] Y. GHERAIRI, A. AMRANE, Y. TOUIL, M. HADJ MAHAMMED, F. GHERAIRI, L. BAEMER L, A Comparative Study of the Addition Effect of Activated Carbon Obtained from Date Stones on the Biological Filtration Efficiency using Sand Dune Bed, Energy Procedia, vol. 36, no. special, pp. 1175-1183, 2013.

[50] F. GHERAIRI, B. HAMED-ALAISSA, Y. TOUIL, M. HADJ MAHAMMED, H. MESSROUK, A. AMRANE, Comparative Study between Two Granular Materials and Their Influence on The effectiveness of Biological Filtration, Energy Procedia, vol. 74, no. special, pp. 799 – 806, 2015.

[51] Y. TOUIL, Y. GHERAIRI, R. ISSAADI, A. AMRANE, Biological filtration on sand of dunes – Filters fouling, Energy Procedia, vol. 50, no. special, pp. 471 – 478, 2014.

- [52] K. KHENGAOUI, M. HADJ MAHAMMED, Y. TOUIL, A. AMRANE, Influence of secondary salinity wastewater on the efficiency of biological treatment of sand filter, *Energy Procedia*, vol. 74, no. special, pp. 398 – 403, 2015
- [53] C. MORLAY, I. LAIDIN, M. CHESNEAU, J.P.JOLY, Charbons actifs et traitement des eaux, *L'Act. Chim*, vol. 95, no. Special, pp. 295-296, 2006.
- [54] K. ALLIA ,N. TAHER , L.TOUMI ,Z. SALEM Z“ Biological Treatment Of Water Contaminated By Hydrocarbons In Three-phase Gaz- Liquid-Solid Fluidized Bed, “*Global NEST Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 9-15., 2006.
- [53] X. XIA, H. YU, Z. YANG, G. HUANG, Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the natural waters of the Yellow River: Effects of high sediment content on biodegradation, *Chemosphere*, vol. 65, no. 3, pp. 457-466, 2006.
- [54] R. LATHA, R. KALAIVANI, Bacterial Degradation of Crude Oil by Gravimetric Analysis, *Pelgia Research Library USA*, vol. 3, no. 5, pp. 2789-2795., 2012
- [55] M. PEYMAN M.R.SERGE, J. RONALD, Encapsulation of Bacteria for Biodegradation of Gasoline Hydrocarbons methods in Biotechnology: Immobilisation of Enzymes and Cells, Second Edition, J. M Guisan©Humana Press Inc, Totowa, NJ.
- [56] H. MESSROUK, M. HADJ MAHAMMED, Y.TOUIL, A. AMRANE, Elimination of Hydrocarbon Contaminants from Synthetic Waste water by Soil Filter, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 6, no.11.pp.517-521, November-2015.