

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCÉDES**

Mémoire présenté par :

Mr: HASSANI Azouz
Mr: LARACI Abdelghani

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Génie des Procédés
Option : Génie de l'environnement

THEME

**Evaluation et essais de traitement des eaux
souterraines de la zone TM Béjaïa (SONATRACH)**

Devant le jury composé de:

Mr: HAMACHI Mourad
Mr: BEHLOUL Mourad
M^{me}: SENHADJI Ounissa

MCA, U.A.M.Béjaïa.
MAA, U.A.M.Béjaïa.
MCA, U.A.M.Béjaïa .

Président
Examineur
Promotrice

Promotion 2015

REMERCIEMENTS

*Nous tenons à remercier vivement et chaleureusement notre promotrice Madame **O. SENHADJI** de ce mémoire, pour nous avoir soutenu tout le long de travail, en lui témoignant notre reconnaissance pour son caractère sérieux, sa patience et ses conseils.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à Monsieur **M.HAMMACHI** qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury. Qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.*

*Nos vifs remerciements s'adressent également à Monsieur **M. BEHLOUL** pour accepter de faire partie du jury, montrant aussi l'intérêt qu'il porte au sujet de ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent à tous les responsables de Sonatrach R TC département HSE de Béjaia ceux qui ont contribué à l'accomplissement de ce travail particulièrement à Monsieur **N.BERKOUKI**.*

*Toute notre gratitude et mes remerciements vont au personnel, Ingénieurs et techniciens du laboratoire (**LPMTSR**), des laboratoires d'analyse de MEB, l'infrarouge, SAA et de DRX, du Département de Génie des Procédés de l'université de Béjaia*

Nous Tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à élaborer ce travail.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

A mes parents

A toute ma famille

A mes amis

Abdelghani

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

À mes parents

À toute ma famille

À mes amis

ABOUZ

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Le programme de travail de (2009 et 2010).....	20
Tableau IV.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux des puits sélectionnés	50
Tableau IV.2 : Valeurs des paramètres physico-chimiques de l'eau souterraine étudiées.....	51
Tableau IV.3: Concentrations des métaux lourds des eaux souterraines analysées par SAA...57	
Tableau .IV.4 : variation de la DCO en fonction de la masse de sable	62
Tableau .IV.5 : Variation du pH en fonction de la masse de sable ou de CAG utilisée pour le traitement.....	68
Tableau .IV.6 : Influence de la filtration sur sable et l'adsorption par charbon actif sur la concentration de Nickel	69
Tableau .IV.7 : Efficacités de la filtration sur sable et l'adsorption par charbon actif sur la concentration de Nickel.....	69
Tableau .IV.8: Influence de la filtration sur sable et l'adsorption par charbon actif sur la concentration de plomb	70
Tableau .IV.9 : Influence de la filtration sur sable et l'adsorption par charbon actif sur la concentration de Cadmium	70
Tableau .IV.10: Efficacités de la filtration sur sable et l'adsorption par charbon actif sur la concentration de Cadmium.....	71
Tableau .IV.11: Influence de la filtration sur sable et l'adsorption par charbon actif sur la concentration de Zinc	71
Tableau .IV.12 : Efficacités de la filtration sur sable et l'adsorption par charbon actif sur la concentration de Zinc	72
Tableau .IV.13 : Influence de la filtration sur sable et l'adsorption par charbon actif sur la concentration de Cuivre	73
Tableau .IV.14: Efficacités de la filtration sur sable et l'adsorption par charbon actif sur la concentration de Cuivre.....	73

Liste des figures

Figure. I.1. Cycle de l'eau dans la nature.....	3
Figure. I.2.Direction de l'écoulement de l'eau souterraine – Terminal Béjaïa	18
Figure. I.3. Localisation des sondages – Terminal RTC Bejaia.....	19
Figure. I.4.distribution des sondages visaient – Terminal RTC.....	19
Figure. II.1:divers tubes échantillonneurs.....	23
Figure. II.2:Pompes particulières d'échantillonneurs.....	23
Figure .II.3: Schéma de principe de l'air sparging couplé à un venting	27
Figure .II.4: Schéma de principe du pump and treat	39
Figure II.5 : Schéma de principe du pompage-écrémage	31
Figure II.6 : Schéma de principe d'une barrière perméable réactive classique et d'une barrière «Système entonnoir - porte».....	34
Figure III.1.filtration sur sable.....	42
Figure .III.2.filtration sur charbon actif granulé.....	44
Figure III-3. Spectrophotomètre d'absorption atomique SHIMADZU AA-6501F.....	45
Figure III-4. SHIMADZU IRAffinity-1 à transformé de Fourier.....	46
Figure III-6 Spectrophotomètre UV Visible utilisé est Thermo Scientific Evolution	47
Figure III-7 diffractomètre de Rayon X(DRX).....	48
Figure IV.1 : Représentation des fractions relatives en matière organique et minérale se trouvant dans la matière en suspension des puits sélectionnés.....	52
Figure IV.2 : Micrographie par MEB de la matière en suspension de l'eau de purge	53
Figure. IV.3 : Le spectre d'analyse microscopie électronique a balayage de puits	53
Figure. IV. 4 :le spectre analyse microscopie électronique a balayage de puits d'10-12 d'observation observation 10-03.....	54

Figure IV.5 : Diffractogrammes X de MES de l'échantillon étudié.....	54 ,56
Figure : IV.6: Spectre IR de la phase liquide de l'eau souterraine.....	58
Figure .IV.7 : Les Spectres IR de la phase solide sèche	60
Figure. IV.8 : Représentation des variations de la DCO en fonction de la masse de sable, pour les différents échantillons.....	63
Figure. IV.9: Représentation de la variation de la DCO en fonction de la masse de CAG.....	63
Figure. IV. 10 : les courbes d'efficacité de l'adsorption par charbon actif sur la DCO.....	64
Figure. IV.11: les courbes d'efficacité de la filtration par sable sur la DCO.....	64
Figure. IV.12 : influence de la filtration sur sable sur la conductivité.....	65
Figure. IV.13: influence de la filtration sur sable sur la conductivité.....	65
Figure IV.14 : Variation de la turbidité en fonction de la masse de sable.....	66
Figure IV.15. Variation de la turbidité en fonction de la masse charbon.....	66
Figure. IV.16. Représentation de l'évolution de l'efficacité de l'adsorption sur CAG sur la turbidité..	67
Figure .IV.17. Représentation de l'évolution de l'efficacité de l'adsorption sur sable sur la turbidité .	67

Liste des abréviations

BTEX : Benzène, Toluène, Etylbenzene et Xylène

CEE : Communauté européenne économique

COHV: Composés OrganoHalogénés Volatiles

DCO: Demande chimique en oxygène

FTU : unité de turbidité formazine

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

HCT : hydrocarbures totaux

LPMTSR : Laboratoire Procédés Membranaires et Techniques de Séparation et de Récupération

MES : Matière En Suspension

OMS : Organisation mondiale de santé

RTC : La Région Transport Centre

TMB : Terminal Marin de Bejaia

UTN : unités de turbidité néphélométrique

SOMMAIRE

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale.....1

CHAPITRE I: Recherche bibliographique

I.1. Généralités sur l'eau.....	3
I.1.1. Cycle de l'eau dans la nature	3
I.1.2. Ressources hydriques naturelles	3
I.1.3. Différents types de nappes	4
I.1.3.1. Nappe active (ou nappe libre)	4
I.1.3.2. Nappe captive	4
I.1.3.3. Classement des eaux souterraines selon leur origine	4
I.1.4. Définitions du polluant	5
I.1.5. Pollution des eaux	5
I.1.5.1. La contamination des eaux souterraines	5
I.1.5.2. Les sources de contamination des eaux souterraines	6
I.1.6. Les valeurs réglementaires et recommandations de l’OMS.....	6
I.1.7. Les polluants organiques (hydrocarbures).....	6
I.1.7.1. Les hydrocarbures totaux, ou HCT.....	6
I.1.7.2. Hydrocarbures aliphatiques	7
I.1.7.3. Hydrocarbures alicycliques (cyclanes), plus ou moins saturés.....	7
I.1.7.4. Les hydrocarbures aromatiques ou HAP	7
I.1.7.5. Les BTEX (Benzène, Toluène, Etylbenzene et Xylène).....	7
I.1.7.6. Les Composés Organohalogénés Volatiles ou COHV	7
I.1.8. Les polluants minéraux Les métaux lourds.....	8
I.1.8.2. Les métaux toxiques	9
I.1.9. Principaux types de polluants chimiques(les nitrates et autres composés azotés).....	9
I.1.10 Les autres substances minérales.....	10
I.1.10.1 Les détergents (tensioactifs).....	11

I.1.10.2 Les pesticides	11
I.1.10.2 Les solvants chlorés.....	12
I.1.10.3 La matière organique diffuse.....	12
I.2. présentation de l'entreprise SONATRACH.....	12
I.2.1.Historique.....	12
I.2.2. La Région Transport Centre (RTC)	13
I.2.2. Description du Terminal Marin de Bejaia (TMB).....	13
I.2.2.1. Le Terminal Marin Nord (TM/Nord).....	13
I.2.2.2. Le Terminal Marin sud (TM/sud).....	14
I.2.2.Présentation des Sites et sols pollués de Sonatrach	14
I.3.1.Cadastre des sites et sols pollués du Groupe Sonatrach.....	14
I.3.1.1.Dans le domaine de l'environnement:.....	15
I.3.2.2.Le traitement et valorisation des rejets liquides.....	15
I.3.2.3.Le traitement des boues issues des opérations de forage et work over,.....	16
I.9.2.4.Management des émissions atmosphériques.....	16
I.4.Présentation des plans de réhabilitation et de surveillances de site.....	18
I.4.1.1. Terminal Bejaia (RTC).....	19

Chapitre II

Analyses physico-chimiques et procédés de traitements

II.1. Échantillonnage des eaux souterraines.....	21
II.1.1. Matériel et équipement de prélèvement.....	21
II.1.1.1. Tubes échantillonneurs.....	21
II.8. Méthodes physico-chimiques d'analyse.....	24
II.8.1. La Diffractométrie des Rayons X (DRX).....	24
II.8.2. Spectrophotométrie UV-Visible.....	24
II.8.3.Spectrophotométrie Infrarouge.....	25
II.8.4. Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à flamme (SAA).....	25
II.3 procédés de traitement des eaux souterraines.....	26
II.3.1 Barbotage in situ (ou injection et bullage d'air in situ).....	26
II.3.2. Pompage et traitement.....	28

II.3.3. Pompage-écrémage.....	30
II.3.4. Barrière perméable reactif.....	32

Chapitre III Mise en œuvre expérimental

III.1. Le potentiel d'Hydrogène (pH).....	35
III.1.2. Détermination du pH : méthode électrométrique.....	35
III.1.2. Conductivité.....	35
III.1.2.2. Principe et théorie.....	36
III.1.2.3. Appareillage.....	36
III.1.3. La turbidité.....	36
III.1.3.2. Appareillage.....	36
III.1.3.3. Calcul et expression des résultats.....	36
III.1.4. Matière En Suspension (MES).....	36
III.1.4.2. Détermination des solides en suspension par la méthode gravimétrique.....	37
III.1.5. Demande chimique en oxygène (DCO).....	38
III.1.5.2. Détermination de la DCO (méthode à reflux en système ouvert).....	38
III.2. Procédés de traitement.....	41
III.2.1. Filtration sur sable.....	41
III.2.1.1. Mode opératoire.....	42
III.2.2. Filtration sur charbon actif.....	43
III.2.2.1. Mode opératoire.....	43
III-3 Protocoles de caractérisation.....	43
II-3.1. Dosage des métaux lourds par la Spectroscopie d'absorption atomique (SAA).....	45
III.3.2. Dosage des métaux lourds par l'infra rouge.....	46
III.3.3. Analyse minéralogique des eaux par spectroscopie UV VISIBLE.....	47
III.3.4. Analyses DRX.....	48

CHAPITRE IV: Résultats et discussion

IV-1. Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau souterraine.....	50
IV.2. Caractérisation par méthodes physiques d'analyse des MES.....	50
IV.2.1. Analyse de la MES par microscopie électronique a balayage (MEB).....	52

IV.2.2 Analyse par diffraction des rayons X (DRX) de la matière en suspension MES	54
IV.2.3. Analyse par Spectrophotométrie d’Absorption Atomique à flamme (SAA).....	57
IV.2.3 Analyse de la composition de l’eau souterraine en matière organique par Infrarouge .	58
IV.3. Etude de l’efficacité de traitement des eaux analysées par filtration sur sable et adsorption sur charbon actif	61
IV.3.1. Effet sur la DCO	61
IV.3.1.1. Influence de la filtration sur sable et de l’adsorption sur CAG	61
IV. 3.1.2 Efficacité de la filtration sur sable et sur charbon actif	63
IV.3.2. La conductivité	64
IV.3.3. Influence du la filtration sur sable et CAG sur la turbidité	65
IV.3.4. Effet de la filtration sur le sable et CAG sur le PH.....	67
IV.5 Influence de la filtration sur sable et CAG sur les concentrations en métaux lourds.....	68
Conclusion general.....	74
Références bibliographiques	
Annexes	

INTRODUCTION

Introduction

Par son rôle d'interface vitale entre la biosphère, l'homme et l'environnement, et de son caractère pratiquement non renouvelable à l'échelle des générations humaines, l'eau constitue un patrimoine dont la gestion durable doit s'imposer comme une préoccupation essentielle. Les activités humaines sont à l'origine d'une contamination des eaux souterraines. L'estimation des émissions en polluant et leur répartition dans les eaux a fait l'objet des différentes études récentes[1].

Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Celles-ci s'écoulent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable. Là, elles s'accumulent, remplissant le moindre vide, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé aquifère. Un aquifère est un "corps" (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée (ensemble du milieu solide et de l'eau contenue) suffisamment conducteur d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables. Un aquifère peut comporter une zone non saturée. La taille des aquifères est très variable. Ils peuvent couvrir plusieurs milliers de kilomètres carrés. Une nappe d'eau souterraine est l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique.

Les nappes d'eaux souterraines peuvent être de deux types. Une nappe est dite captive si elle est surmontée par une formation peu (ou pas) perméable, et si la charge hydraulique de l'eau qu'elle contient est supérieure à la cote du toit de la nappe. Par opposition à une nappe captive une nappe libre est une nappe où la surface piézométrique coïncide avec la surface libre de la nappe, et qui est surmontée par une zone non saturée [2].

Les eaux souterraines sont généralement moins touchées par la pollution que les eaux superficielles, mais l'accroissement drastique des rejets de tous types rend ces eaux plus vulnérables. Nous assistons à une dégradation de la qualité de ces eaux au fil des années, par effets de déversements de plus en plus importants.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité de l'eau souterraine de la zone Terminal Marin (TM) (RTC) de la ville de Béjaia. Cette région faisant état de contamination de ses eaux souterraines par des polluants pouvant provenir des rejets des eaux usées, et d'infiltration de pollutions ponctuelles souvent dues à des déversements accidentels (hydrocarbures et autres). Ces facteurs peuvent exposer les eaux souterraines à une pollution

sévère, qui en s'accumulant rendra impossible l'exploitation de cette eau. Au fil des années, cela engendrera un site contaminé dont le traitement deviendrait compliqué.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres ; le premier dédié à une recherche bibliographique sur les eaux souterraines et leurs contaminations par diverses pollution. Ce chapitre englobe aussi la présentation du site de l'étude (Terminal Marin de Béjaia).

Dans le deuxième chapitre, nous avons exposé la méthodologie du travail suivi ; les prélèvements, les analyses et les procédés de traitement.

Le troisième chapitre contient un descriptif des différents protocoles relatifs à la mise en œuvre expérimentale.

Les résultats de cette étude et leurs discussions sont donnés dans le chapitre quatrième chapitre.

Dans la conclusion générale, nous résumons l'ensemble des aboutissements de ce travail.

CHAPITRE I

Recherche bibliographique

Chapitre I : Recherches bibliographiques

I.1. Généralités sur l'eau

I.1.1. Cycle de l'eau dans la nature

Sous l'effet du soleil, l'eau des océans s'évapore et monte dans l'atmosphère, à raison de 1000 km³/jour, l'action du froid rencontré à haute altitude condense cette eau; les nuages ainsi formés se transforment en pluie, neige rosé ou gelés; une fois arrivées sur terre. 60 % de cette eau s'évaporent à nouveau. 15 % ruissellent et rejoignent les cours d'eau, les mers et les océans alors que 25 % s'infiltrent et alimentent les nappes souterraines

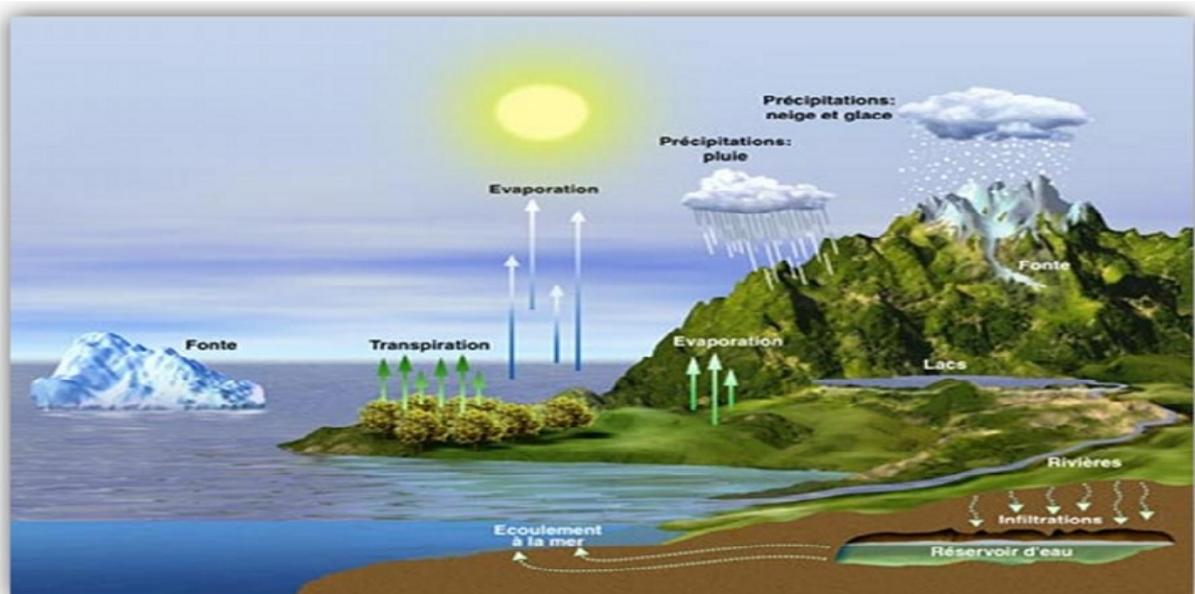


Figure I-1: Cycle de l'eau dans la nature. [3]

I.1.2. Ressources hydriques naturelles

L'homme à recours généralement, pour satisfaire ses propres besoins (production d'eau pour la consommation humaine) et permettre l'usage de l'eau dans ses diverses activités industrielles et agricoles, à deux types de ressources naturelles :

- Les eaux superficielles ou de surface (rivières, fleuves et lacs...)
- Les eaux souterraines (nappes active et captive)

L'eau à l'état naturel, superficielle ou souterraine, n'est jamais « pure » ; c'est un milieu vivant qui se charge très rapidement de divers éléments en contact des milieux qu'elle traverse et sur lesquels elle ruisselle. Ces éléments peuvent être présents dans l'eau sous les trois états (gaz, solide, liquide), posséder un caractère organique ou minéral et à l'état particulaire à voire des dimensions très variables [3].

I.1.3. Différents types de nappes

Selon les conditions géologiques, on peut distinguer deux types de nappes [4, 5].

I.1.3.1. Nappe active ou nappe libre

La nappe active est due à la succession d'une couche imperméable de sol, surmontée d'une roche magasin. L'ensemble du dispositif peut être affecté d'une pente plus ou moins forte. La nappe est alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. Le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue. L'équilibre hydraulique entre pluviométrie et réserve est assuré par le trop-plein qui constitue les sources. Celles-ci apparaissent en des points particuliers dus principalement à la topographie de la couche imperméable. Le niveau supérieur de la nappe piézométrique s'établit uniquement en fonction de la perméabilité du terrain à travers lequel pénètre l'eau d'infiltration .

I.1.3.2. Nappe captive

La nappe captive est le résultat de l'enfoncement d'une roche-magasin par suite de la pente des couches géologiques. L'eau est enfouie dans le sol depuis des milliers ou des centaines de milliers d'années. Ces nappes sont exploitées par des forages profonds jusqu'à 600 et même 1000 m. Toutefois, une nappe captive peut être alimentée en certains points là où le terrain aquifère affleure à la surface du sol ou vient se perdre dans une couche perméable.

I.5.3. Classement des eaux souterraines selon leur origine

Les eaux des nappes souterraines très profondes ont généralement une excellente qualité. Leur composition est assez constante au sein d'une même nappe, elles sont moins vulnérables aux pollutions que les eaux des nappes peu profondes.

Des substances indésirables peuvent également s'y trouver, comme le gaz carbonique, le fer, le manganèse, l'ammonium ou l'acide humique et plus rarement un excès de nitrates ou de pesticides.

Les eaux souterraines peuvent être classées selon leur origine :

- **Eaux météorites** : qui proviennent de l'infiltration des eaux de pluie. Elles traversent les formations perméables et s'accumulent dans les roches sous forme de nappes.

- Eaux juvéniles : dont la formation est liée au métamorphisme des roches divers processus magmatiques.
- **Eaux fossiles**: eaux de mers originelles, dont les quelles les sédiments se sont déposés. [6]

I.1.4. Définitions du polluant

La pollution peut être définie comme l'introduction directe ou indirecte par l'activité humaine, de substances, de vibration, de chaleur, de bruit dans l'air, l'eau ou le sol, susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité de l'environnement, d'entraîner des détériorations aux biens matériels, une détérioration ou une entrave à l'agrément de l'environnement ou à d'autres utilisations légitimes de ce dernier [7].

Un polluant est un produit, une substance ou un composé chimique responsable d'une pollution. On distingue les polluants primaires, rejetés directement dans le milieu naturel, des polluants secondaires qui proviennent des réactions sur les premiers, ou entre eux [8].

I.1.5. Pollution des eaux

La pollution de l'eau est définie comme l'introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de modifier les caractéristiques physiques, chimiques et/ou biologiques de l'eau et de créer des risques pour la santé de l'homme, de nuire à la faune et à la flore terrestres et aquatiques, de porter atteinte à l'agrément des sites ou de gêner toute autre utilisation normale des eaux .

I.1.5.1. La contamination des eaux souterraines

La contamination des eaux souterraines par des composés toxiques organiques, même à faible concentration, peut compromettre l'exploitation de la ressource pour l'alimentation en eau potable pour de très longues périodes.

Les temps de transfert des polluants de la surface du sol vers la nappe puis au sein de l'aquifère peuvent être très longs : ils sont fonction des capacités de rétention des différents matériaux traversés, de la vitesse d'écoulement des eaux souterraines et des possibilités de piégeage et de relargage en fonction du contexte hydrogéologique et des situations hydrologiques (battement de la nappe). Ainsi, certaines pollutions restent parfois ignorées durant plusieurs dizaines d'années.

I.1.5.2. Les sources de contamination des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont soumises, de plus en plus intensivement, aux rejets d'effluents polluants, eaux usées ou eau de ruissellement pluvial en milieu urbanisé ou industriel. Les sources de contaminations des eaux souterraines sont multiples et sont liées aux:

- Rejets urbains résultants de la collecte et du traitement des eaux usées des ménages, des locaux recevant du public, des commerces, ainsi que du ruissellement des eaux pluviales dans les zones urbaines, les dysfonctionnements de la collecte des eaux usées urbaines (mauvais branchements des particuliers, fuites et saturations des réseaux).
- Rejets agricoles résultants de la percolation des eaux de pluie dans les sols, de l'épandage de produits chimiques sur les sols (engrais, pesticides ...).

I.1.6. Les valeurs réglementaires et recommandations de l'OMS

Les rejets en HAP sont régis par divers règlements, lois et ententes visant à protéger l'environnement et la santé humaine. Des concentrations maximales en HAP dans les eaux sont fixées par des textes réglementaires. Par exemple :

Le Décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001, relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles, impose une concentration inférieure à 0,1 µg/l pour la somme des quatre composés suivants : benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3- cd)pyrène. Pour le benzo(a)pyrène, la valeur limite est de 0,01 µg/l.

Les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé imposent dans l'eau potable une teneur limite de 0,2 µg/l pour les 6 HAP (fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3, cd)pyrène, avec une valeur limite pour le benzo(a)pyrène de 0,7 µg/l [8].

I.1.7. Les polluants organiques (hydrocarbures)

I.1.7.1. Les hydrocarbures totaux, ou HCT

Ces polluants le plus souvent rencontrés sont des composés organiques constitués d'atomes de carbone et d'hydrogène. On les rencontre sous plusieurs formes : pétrole brut ou raffiné, essences, fuel, huile de moteur...

I.1.7.2. Hydrocarbures aliphatiques

Les hydrocarbures aliphatiques comprennent au moins 5 atomes de carbone. Ils peuvent être saturés (alcane : méthane, butane, propane), ou insaturés (éthylène, acétylène).

I.1.7.3. Hydrocarbures alicycliques (cyclanes), plus ou moins saturés

Les HAL sont très peu solubles dans l'eau car ils ont une densité inférieure à 1. Ils restent donc en surface des nappes et sont appelés des LNAPL* (Light Non-Aqueous Phase Liquid).

I.1.7.4. Les hydrocarbures aromatiques ou HAP

Ces composés aromatiques possèdent au moins 2 cycles insaturés. Les HAP sont présents dans les produits pétroliers, sur les sites incendiés, ou dans les anciennes usines à gaz ou cokéfaction car ils proviennent de la pyrolyse de la houille. Ils se présentent sous forme liquide visqueux voire solide. Ils sont très peu solubles dans l'eau et très peu volatiles.

I.1.7.5. Les BTEX (Benzène, Toluène, Etylbenzene et Xylène)

Ces hydrocarbures aromatiques monocycliques sont distingués par leur propriété volatile. Ils sont peu solubles dans l'eau et ont une densité inférieure à 1. On les trouve dans l'essence sans plomb et dans de nombreux produits chimiques. Cette famille est appelée BTEX du nom de ses composés les plus importants, mais elle comprend également le cumène, le styrène, le mésitylène etc. Le benzène est le plus toxique d'entre eux car il est mutagène et cancérigène.

I.1.7.6. Les Composés Organohalogénés Volatiles ou COHV

Ce sont des gaz ou des liquides très volatiles, avec une pression de vapeur saturante à 20°C supérieure à 10 Pa. Ils sont généralement faiblement solubles mais leur densité supérieure à 1 fait qu'ils « tombent » au fond des aquifères : ce sont des DNAPL* (Dense Non-Aqueous Phase Liquid). Leur toxicité est très variable. Ils sont utilisés comme solvants dans la fabrication de peintures, le traitement des métaux, les colles etc. Ils sont de moins en moins utilisés à cause de leur toxicité pour l'environnement.

I.1.8. Les polluants minéraux

I.1.8.1. Les métaux lourds

Définition

Les définitions des métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que de l'objectif de l'étude à réaliser.

D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être également définis comme : tout métal ayant une densité supérieure à 5, tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium ($Z=11$), tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques.

Dans le traitement des déchets liquides, les métaux lourds indésirables auxquels on s'intéresse principalement sont : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le mercure (Hg), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le sélénium (Se), le zinc (Zn).

Dans les sciences environnementales, les métaux lourds associés aux notions de pollution et de toxicité sont généralement : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), l'étain (Sn), le zinc (Zn).

Enfin, dans l'industrie en général, on considère comme métal lourd tout métal de densité supérieure à 5, de numéro atomique élevé et présentant un danger pour l'environnement et/ou pour l'homme.

Dès lors que l'on aborde la problématique des métaux lourds, il faut avoir présent à l'esprit que ces éléments se retrouvent dans notre environnement quotidien sous des formes chimiques très diverses, pouvant chacune conférer une propriété particulière (solubilité, toxicité...) au métal étudié. En effet, à côté des formes minérales les plus simples (exemple : Pb^{2+}), les métaux lourds peuvent aussi exister sous forme organique, c'est-à-dire combinés à un atome de carbone (exemple : le plomb tétraéthyl des essences) mais aussi sous forme de complexes (exemple : le salicylate de plomb, provenant de la complexation du plomb avec une substance humique des sols) ou encore sous forme de chélates (exemple : complexe de plomb-EDTA). Toutes ces formes, même si elles sont présentes en quantité minime, et quelles que soient les transformations qu'elles subissent lors de leur cheminement dans l'environnement, doivent être prises en compte lorsque l'on étudie les métaux lourds et ceci confère à ce sujet toute sa complexité [6].

I.8.2. Les métaux toxiques

Les métaux toxiques sont les métaux lourds, de masse volumique supérieure à 4,5 g/cm³, mais également d'autres métaux tels que l'arsenic, l'antimoine ou le sélénium, de masse volumique moindre. Les 8 métaux les plus souvent recherchés sont l'Arsenic, le Cadmium, le Chrome, le Cuivre, le Mercure, le Nickel, le Plomb et le Zinc. La toxicité de ces métaux est très variable, et dépend de la spéciation (forme chimique sous laquelle l'élément est rencontré). Ces métaux proviennent de l'altération des roches, et se retrouvent naturellement dans les sols. Mais les fortes concentrations pouvant être rencontrées s'expliquent par l'activité de l'homme et des sources de pollution diverses, comme les industries métallurgiques ou minières, mais également le stockage de déchets ou l'épandage agricole [11].

I.1.9 Principaux types de polluants chimiques (les nitrates et autres composés azotés)

Toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine des nitrates par un processus d'oxydation biologique.

Les nitrates sont très solubles. Une bonne part des nitrates vient des usines d'engrais qui fixent l'azote minéral de l'air pour fabriquer de l'ammoniac, ultérieurement oxydé. Quand les nitrates sont épandus sur sol nu ou gelé, ils s'infiltreront avec les pluies ou sont lessivés en surface. Au contraire, épandus au printemps et à la bonne dose, ils sont absorbés par les plantes cultivées. Dans les eaux naturelles non polluées, le taux de nitrates est très variable (de 1 à 15 mg/L) suivant la saison et l'origine des eaux [12].

L'accroissement démographique et le développement de l'agriculture et de l'industrie ont modifié les cycles biogéochimiques de l'azote. Depuis quelques années, on observe une élévation lente de la teneur en nitrates des eaux souterraines et superficielles; celle-ci est souvent liée au développement des élevages, à une fertilisation excessive des zones agricoles par les engrais, les fientes, fumiers et lisiers, voire les boues de stations d'épuration. La migration des nitrates est nettement plus rapide sur les surfaces cultivables laissées à nues pendant l'hiver. Les rejets des collectivités et occasionnellement de certaines industries (engrais chimiques azotés, engrais chimiques azotés, oxydants) peuvent aussi concourir à l'enrichissement des eaux en nitrates.

La présence d'azote ammoniacal dans les eaux souterraines provient des rejets d'effluents domestiques et industriels ou de la réduction naturelle des nitrates. Pour les nappes libres, la pollution a lieu dans les plaines alluviales à implantation urbaine et industrielle, à la suite de l'échange existant entre l'eau de la nappe et l'eau de la rivière. Dans les nappes captives, sa présence est le résultat de la réduction des nitrates par des bactéries ou par les ions ferreux présents dans ce type de nappe [12].

Les nitrites sont très peu présents dans les eaux souterraines sauf en cas d'une pollution de surface proche.

Les nitrates sont des sels très solubles qui sont facilement entraînés en profondeur par les eaux d'infiltration. Pour la nappe de la craie, on estime qu'il faut quelques dizaines d'années pour qu'ils passent du sol à la nappe. Leur origine est principalement agricole, la pollution engendrée est diffuse : ils sont le résultat de :

- un excès de matières organiques végétales en décomposition sur et dans le sol après la récolte, après un déboisement.
- un épandage d'engrais azotés en quantité supérieure aux besoins des plantes cultivées : engrais chimiques (nitrates de potasse, scories, ...) et engrais organiques (fumier, lisier, boues de Stations d'Épuration...)

L'origine domestique et industrielle est secondaire; la pollution engendrée est plus ponctuelle (assainissement défectueux par exemple).

I.1.10 Les autres substances minérales

Les chlorures, les sulfates, le fluor (étant des paramètres de la qualité naturelle des eaux) et des éléments toxiques tels que le cyanure et l'arsenic sont des substances minérales issues de l'activité humaine et susceptibles de polluer les nappes de façon ponctuelle.

I.1.10.1 Les détergents (tensioactifs)

Ce sont des substances utilisées pour les diverses opérations de nettoyage. Un détergent est un produit complexe contenant un ou plusieurs agents de surface et des composés minéraux (carbonates, phosphates, polyphosphates, perborates), souvent associés à des matières organiques améliorantes (carboxyméthyl-cellulose, alkanolamides), à des enzymes hydrolysants et à des séquestrants (dérives de l'acide éthylènediamine tétracétique et de l'acide mitriloacétique). La biodégradabilité de ces substances est très variable. Les détergents sont rares dans les eaux souterraines, sauf dans les zones suburbaines, en liaison avec les puisards recevant les eaux usées et dans certaines nappes alluviales en relation étroite avec un cours d'eau pollué. Ces détergents sont peu toxiques mais ils facilitent par leur pouvoir mouillant la dispersion et le transfert d'autres polluants comme les pesticides.

I.1.10.2 Les pesticides

Les produits phytosanitaires sont apportés dans l'environnement par les grandes cultures, par le maraîchage agricole, par le traitement des forêts, par le traitement sur plans d'eau, par les traitements en zone urbaine (espaces verts, jardins, trottoirs, rues), par certains rejets industriels de conditionnement ou de fabrication, par le traitement des routes et des voies de chemin de fer. Ils comprennent:

- des substances minérales (soufre, sulfate de cuivre, arséniates de plomb et de calcium)
- des composés organo-chlorés agissant comme insecticides (DDT, lindane, aldrine, dieldrine, heptachlore...) ou herbicides (dérivés chlorés de phénoxyacides)
- des composés organophosphorés utilisés comme insecticides (parathion, malathion...)
- d'autres composés organiques ou organométalliques à groupements fonctionnels variés (dérivés de l'urée, triazines, carbamates...) employées comme herbicides, insecticides ou fongicides.

L'air et l'eau sont les vecteurs de migration des produits phytosanitaires. Au cours du transport par l'eau dans le sol et la zone non saturée se produisent des processus d'adsorption/désorption et des processus de dégradation, qui peuvent freiner, ou parfois accélérer, la migration.

L'atrazine est une molécule active appartenant à la famille des triazines qui est utilisée pour le désherbage, en particulier celui du maïs. Elle est incomplètement biodégradée dans le sol, notamment en déséthylatrazine. Ces deux molécules montrent une persistance et une mobilité élevée qui favorise la contamination des eaux souterraines par lessivage et ressuyage pendant les périodes de recharge de la nappe [12].

I.1.10.2 Les solvants chlorés

Les solvants chlorés, ou hydrocarbures chlorés aliphatiques, sont utilisés comme solvants aussi bien pour le nettoyage que pour l'extraction et la séparation de certains produits, ils sont également employés comme réfrigérants (chlorofluorocarbone ou CFC). Ils sont largement répandus. Leur présence dans les décharges de tous types constitue un risque de pollution des nappes phréatiques car ils ne sont pas retenus par les argiles. Après percolation dans le sol, les eaux souterraines, près de zones urbaines ou industrielles (décharges industrielles) peuvent être contaminées par ces polluants très volatils. Ils sont peu dégradables et ont tendance à se déposer dans la partie basse de la nappe [12].

I.1.10.3 La matière organique diffuse

La matière organique résiduelle peut être rencontrée dans les aquifères fissurés (karst) et dans les aquifères alluviaux. Elle constitue un milieu nutritif favorable au développement des micro-organismes, notamment pathogènes. Sa présence est un indice de pollution généralement d'origine proche. Elle favorise l'apparition de mauvais goûts, notamment à la suite d'une chloration, et d'odeurs désagréables.

I.2. présentation de l'entreprise SONATRACH

I.2.1. Historique

L'exploitation pétrolière en Algérie remonte au dernier quart du 19^{ème} siècle, avec les premières exploitations dans le Nord, en 1877, dans la région d'Ain Zeft, près de Relizane, Dans l'Ouest de l'Algérie. En 1956, l'un des gisements les plus importants dans le monde fut 1Km².

La création de SONATRACH en 1963 ; affiliée à la Direction Régionale de Bejaia (DRGB), constitué le moteur du développement des richesses du sous-sol algérien.

SONATRACH est la première compagnie pétrolifère et gazière en Afrique et en Méditerranée et la 12^e compagnie énergétique au monde.

I.2.2. La Région Transport Centre (RTC)

La RTC est la première unité opérationnelle chargée du transport du pétrole brute et du condensat, sa création est étroitement liée à la mise en service en 1959 du premier canal en Algérie, reliant Haoud El Hamra (Hassi Messaoud) au Terminal Marin de Béjaïa (TMB). D'une longueur de 668 km, ainsi assurer la livraison de ses produits ; pétrole brute et condensat, destinés à l'exportation via le port de Bejaia.

I.2.2. Description du Terminal Marin de Bejaia (TMB)

L'oléoduc OB1-24''/22'' est équipé de trois stations de pompage principales ; SP1Bis(Djemââ), SP2-Biskra, SP3-Msila. La RTC dispose de 16 bacs de stockages d'une capacité de 64 000 m³, répartis comme suit : 12 bacs au terminal nord et 4 bacs au terminal sud. Le Terminal Marin de Bejaia (TMB) se devise en deux parcs :

I.2.2.1. Le Terminal Marin Nord (TM/Nord)

D'une surface globale de 360510 m², le TM/Nord se compose de :

12 bacs à toit flottant, d'une capacité de 35000 m³, d'un volume utile de 27000 m³, la hauteur et le diamètre sont respectivement de 14,4m et 56m.

Un bac de purge (4Y1) à toit fixe de 2900 m³ pour récupérer les purges des collecteurs et du manifold et recevoir le produit à l'entrée de la ligne lors d'une surpression (décharge des soupapes).

Un manifold : qui est un jeu de vannes, de canalisation et d'instrumentation (indicateurs des écoulement du liquide, indicateurs de pression d'aspiration et de refoulement, filtres...). Il permet de :

- Envoyer le liquide arrivant par la ligne vers un réservoir choisis ;
- Vidanger un bac ou plusieurs vers le poste de chargement ;
- Transvaser le brut d'un bac à un autre.
- Le manifold Nord comprend des vannes réparties comme suit :
 - 08 vannes manuelles de transfert de collecteur (KA, KB, KC, KD, KE, KF, KM, KN) ;
 - 06 vannes de ligne (LA, LB, LC, LD, LF), chacune est reliée à deux réservoir ;
 - 06 vannes pour chaque pompe de remplissage.

Chaque bac est doté d'une vanne motorisée appelée vanne à pied de bac.

I.2.2.2. Le Terminal Marin sud (TM/sud)

Occupant une superficie de 132 925 m², le TM/Sud est composé de :

Le manifold sud assure les mêmes manœuvres que celui du nord. Il possède les vannes suivantes :

04 vannes de ligne (L13, L14, L20, L21), reliée à chaque réservoir ;

04 vannes pour chaque pompe de remplissage

Une pomperait de 03 unités de différent débit :

Deux pompe (Y, Z) à grande débit (3500m³/h) de marque GUINARD, de tension de démarrage de 5500 V d'une puissance de 633 KW tournant à une vitesse de 985tr/mn ;

Une pompe (W) à moyen débit (1280 m³/h).

I.2.2.Présentation des Sites et sols pollués de Sonatrach

Le projet « cadastre des sites et sols pollués du Groupe Sonatrach » lancé en 2006 s'inscrit dans le cadre d'une démarche de gestion environnementale qui vise à mettre en pratique les engagements de l'Entreprise en matière de protection de l'environnement et de conformité avec les exigences légales et réglementaires nationales en vigueur. L'approche est basée sur le recensement de toutes les sources potentielles de pollution du sol et sous sol de façon accidentelle ou chronique. L'évaluation de la vulnérabilité est déterminée à travers l'étude du potentiel de danger intrinsèque aux sources de pollutions, la détermination des facteurs de transfert et des enjeux à protéger.

L'objectif étant de mettre en place une cartographie des sites pollués et une banque de données.

Les prestations en question ont fait l'objet d'un contrat d'accompagnement signé en 2008 avec un bureau d'expertise spécialisé.

I.3.1.Cadastre des sites et sols pollués du Groupe Sonatrach

Le 23 juillet 2008, s'est tenu une réunion d'ouverture des plis des offres commerciales relatives au projet d'accompagnement à l'élaboration du cadastre des sites et sols pollués.

Le marché a été attribué au bureau consulting Canadien **Dessau**, au siège de la Direction Générale en présence des responsables de la Direction Central HSE, des Directeurs HSE des Activités et filiales du Groupe ainsi que des soumissionnaires retenus pour cette phase.

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une démarche de gestion environnementale qui vise à restaurer les dégradations antérieures et à prévenir les pollutions futures. L'approche est basée sur le recensement de toutes les sources potentielles de pollution du sol et du sous-sol de façon accidentelle ou chronique.

Au cours de ce mandat, **Dessau** réévalue le recensement des sites identifiés par SONATRACH et procède à des caractérisations préliminaires sur 14 importants complexes pétroliers incluant des raffineries, des réseaux de conduites et des dépôts pétroliers. Les sites sont ensuite hiérarchisés en fonction de leur état environnemental puis une caractérisation approfondie des sites les plus affectés est réalisée. Le projet s'achève par la mise en place d'un plan de réhabilitation et d'un système de contrôle et surveillance des sites.

I.3.1.1. Dans le domaine de l'environnement:

Sonatrach s'est accoutumée annuellement à consacrer d'importants moyens humains et financiers pour consolider ses performances dans la protection de l'environnement tout en agissant dans une perspective de développement durable qui se traduit par le lancement d'un nombre important de projets engagés, selon leur spécificité, à l'échelle Groupe et au niveau opérationnel. Ces projets concernent notamment :

- La préservation des ressources naturelles ;
- Le renforcement des capacités de traitement des rejets industriels ;
- La réduction des émissions atmosphériques ;
- Le traitement et la valorisation des déchets ;
- La réhabilitation des sites et sols pollués ;
- Le développement des produits respectueux de l'environnement.

Ces projets concernent notamment :

I.3.2.2. Le traitement et valorisation des rejets liquides

D'importants efforts sont déployés par Sonatrach afin de préserver les ressources hydriques à travers une utilisation rationnelle de l'eau et le traitement et la valorisation des rejets liquides industriels et domestiques générés par ses activités.

Les actions engagées pour cette l'année s'inscrivent dans la continuité et la complémentarité avec celles déjà engagées par les unités du Groupe durant les années

précédentes, et ce, concernant la réalisation de nouvelles stations, la maintenance et la rénovation des stations existantes.

Pour l'année 2008, la Division Production a confié la gestion des stations de déshuilage existantes à des entreprises spécialisées devant prendre en charge les prestations liées à la rénovation, la maintenance, le suivi de l'exploitation ainsi que le contrôle de la qualité des eaux traitées. Ainsi, neuf (09) stations de déshuilage sont concernées par ce programme, elles sont réparties sur les sites suivants ; Hassi R'mel, Gassi Touil, Haoud Berkaoui et Hassi Messaoud.

I.3.2.3. Le traitement des boues issues des opérations de forage et work over,

La Division Forage poursuit ses actions visant à prendre en charge les impacts liés à ses activités avec la signature, l'année 2008, de plusieurs contrats avec des entreprises spécialisées pour :

- le traitement des déblais de forage, stockés provisoirement, et ce, à travers le procédé de stabilisation et de solidification en mode off-line. Les sites de stockage feront également l'objet d'une réhabilitation dans le but d'éliminer toute forme de pollution du sol.
- La gestion intégrée des rejets de forage en on-line sera consacrée à :
 - La mise en place d'un processus de séchage des déblais de forage afin de permettre la réduction de la rétention d'huile sur les déblais et la récupération des volumes de fluides de forage ainsi extraits ;
 - Le recyclage des eaux usées et l'optimisation de la consommation d'eau industrielle; la fourniture, la pose et le scellement d'un liner en polyéthylène haute densité PEHD servant à étancher le compartiment du bourbier, devant recevoir les déblais séchés ;
 - Le prélèvement et l'analyse physico-chimique d'échantillons de sels contaminés (carottage).

I.9.2.4. Management des émissions atmosphériques

Le management des émissions atmosphériques fait l'objet d'une vision globale engagée au niveau central pour tout le Groupe Sonatrach. Le programme a été mûri sous forme de projet et lancé en 2008 avec l'implication des Activités AMONT, AVAL, TRC et les Filiales NAFTAL, NAFTEC et l'ENIP. Un plan de management des émissions

atmosphériques du Groupe Sonatrach sera ainsi défini avec un accompagnement d'un bureau conseil spécialisé.

Une première évaluation touchera plusieurs sites représentatifs prédéfinis (production d'hydrocarbures, stockage, transport par canalisation, forage, liquéfaction du gaz naturel, production de GPL, raffinage, pétrochimie, distribution et stockage de produits raffinés) [13].

I.4.Présentation des plans de réhabilitation et de surveillances de site

I.4.1. Terminal Bejaia (RTC)

Etape 1 :

- Effectuer des travaux de caractérisations complémentaire, en réalisant des sondages (tranchées et puits de captage) le long de l'axe de la pipe, et en aval des bourbiers situés à l'est du terminal sud ;
- Réaliser des essais de pompage au niveau des puits de captage ;
- Réaliser des travaux de réhabilitation pour le bourbier hors site (situé à Boukhyama) ;

Etape 2 :

- Programme de surveillance de la nappe d'eau au terminal et aux bourbiers situés à l'est du parc sud, et à l'issue des résultats du programme de surveillance, un plan de réhabilitation sera lancé;
- Réaliser une Evaluation des Risques au bourbier situé à Boukhyama

Etape 3 : Les résultats de l'évaluation des risques, vont permettre de statuer sur la pertinence de réaliser des travaux de réhabilitation complémentaire sur le bourbier de Boukhyama.[12]

I.4.2.Représentation des sondages à réaliser pour la caractérisation complémentaire

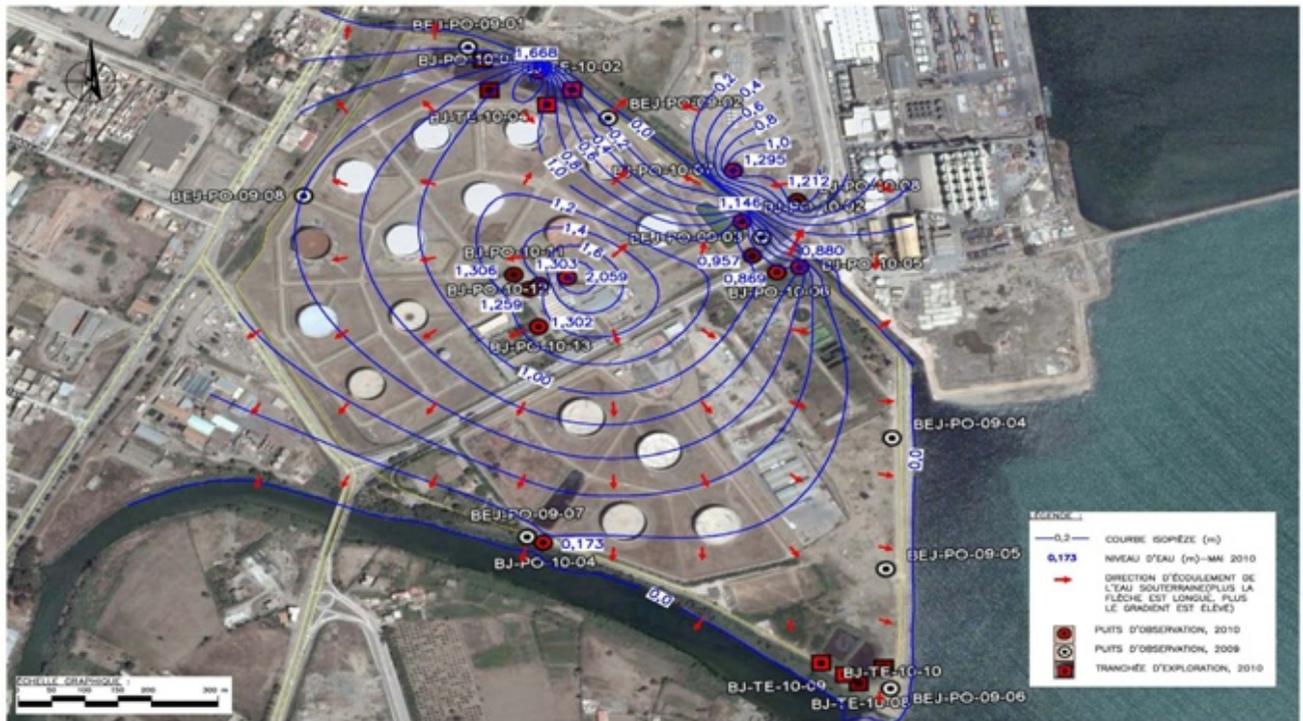


Figure I-2 : Direction de l’écoulement de l’eau souterraine – Terminal Béjaïa (étude 2010)

ACCOMPAGNEMENT À L’ÉLABORATION DU CADASTRE DES SITES ET SOLS POLLUÉS DU GROUPE SONATRACH



Figure I-3 : Localisation des sondages – Terminal RTC Bejaia

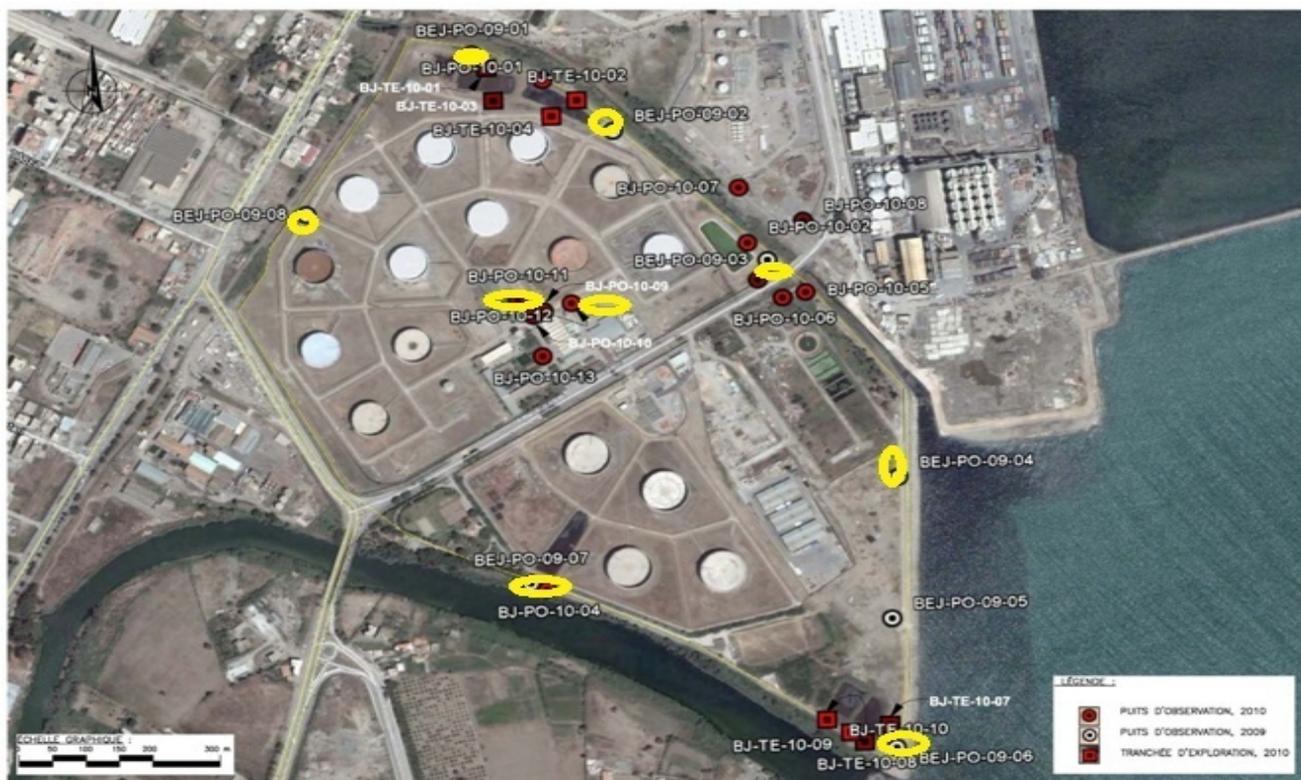


Figure I-4 : distribution des sondages visait – Terminal RTC

I .4.3.Le programme de travail de (2009 et 2010) se résume : pour la surveillance des eaux souterraine

Tableau I.1 : Le programme de travail de (2009 et 2010)

Items	Unités
Nombre de tranché	08 +10
Profondeur moyenne	3m
Nombre de forage	08 +13
Profondeur moyenne	07,5 mètres
Programme analytique – caractérisation	13
Sol - Groupement HC	
Eau – Groupement HC	13

CHAPITRE II

Analyses physico-chimiques et procédés de traitements

**Chapitre II
Analyses physico-chimiques et procédés de traitements****II.1. ÉCHANTILLONNAGE DES EAUX SOUTERRAINES**

L'échantillonnage d'une eau comprend la préparation du prélèvement, le prélèvement proprement dit, le conditionnement de l'échantillon, ainsi que son stockage jusqu'au moment de l'analyse. Chacune de ces étapes est importante pour assurer la fiabilité des résultats d'analyse. Après une présentation de l'instrumentation servant au prélèvement des échantillons, ce chapitre décrit les étapes de préparation d'une campagne, les méthodes à appliquer et les précautions générales à prendre pour l'échantillonnage [14].

II.1.1. Matériel et équipement de prélèvement

Lors de l'échantillonnage d'une eau souterraine, les prélèvements dans les forages non équipés de pompes sont ceux qui peuvent le plus modifier la composition de l'eau, à cause, entre autres, de la difficulté d'obtenir un échantillon représentatif du milieu, de la contamination de l'eau par les instruments de prélèvement, et du contact de l'eau avec l'atmosphère [14].

II.1.1.1. Tubes échantillonneurs

Il existe de très nombreux types de tubes échantillonneurs destinés au prélèvement d'eau dans les forages. Ils sont tous munis d'un système plus ou moins évolué permettant de prélever un volume d'eau à une certaine profondeur (figure II.1). Un filin, enroulé sur une bobine munie d'un compteur métrique, permet de les descendre à la profondeur voulue. Ces tubes ne permettent de remonter à la surface que des volumes d'eau restreints (1 ± 0.5 l). Pour assurer un échantillonnage représentatif, l'eau du forage doit être renouvelée au préalable par pompage. Compte tenu des turbulences créées lors de la descente du tube de prélèvement, l'eau prélevée présente parfois une forte turbidité et nécessite une filtration [14].

- Echantillonneur simple

Il s'agit d'un tube métallique (laiton, acier...) ou en matière plastique lestée, fermé à la base (bailer) et dont le poids est supérieur au poids de son volume d'eau. Son remplissage a lieu par le haut dès qu'il s'enfonce sous le niveau d'eau. Ce système très robuste présente de nombreux désavantages.

Le remplissage par le haut provoque un remous important et une modification des équilibres relatifs aux gaz et composés volatils dissous. Seule l'eau proche de la surface piézométrique peut être prélevée. Le nettoyage du tube est difficile si le fond n'est pas démontable. Les parois métalliques peuvent interagir avec certaines substances organiques ou contaminer l'échantillon avec des métaux-traces. Ce type d'échantillonneur s'avère intéressant pour le prélèvement de substances flottant sur l'eau (LNAPL par exemple), pour autant qu'on le retire avant qu'il ne se soit totalement rempli.

- Echantillonneur avec soupape passive

Dans la partie inférieure du tube de prélèvement, la soupape, formée par une bille de densité 1,4 à 2, laisse pénétrer l'eau dans le tube lorsque ce dernier descend dans le forage et la soupape se ferme lors de la remontée. La vidange se fait par le bas à l'aide d'un dispositif qui permet de minimiser le contact de l'échantillon avec l'air. De tels tubes en PE ou en PTFE se démontent aisément, ce qui permet de les nettoyer. Le prélèvement n'est pas strictement ponctuel car le remplissage du tube se fait de manière dynamique lors de la descente.

- Echantillonneur avec fermeture commandée.

Plusieurs types de tubes de prélèvement comportent un clapet de fermeture à chaque extrémité, qu'il est possible de fermer sur commande lorsqu'on a atteint la profondeur de prélèvement. Ce système permet un prélèvement ponctuel car les deux extrémités du tube sont ouvertes au cours de la descente, ce qui empêche de piéger de l'eau dans le tube avant d'avoir atteint la profondeur d'échantillonnage.

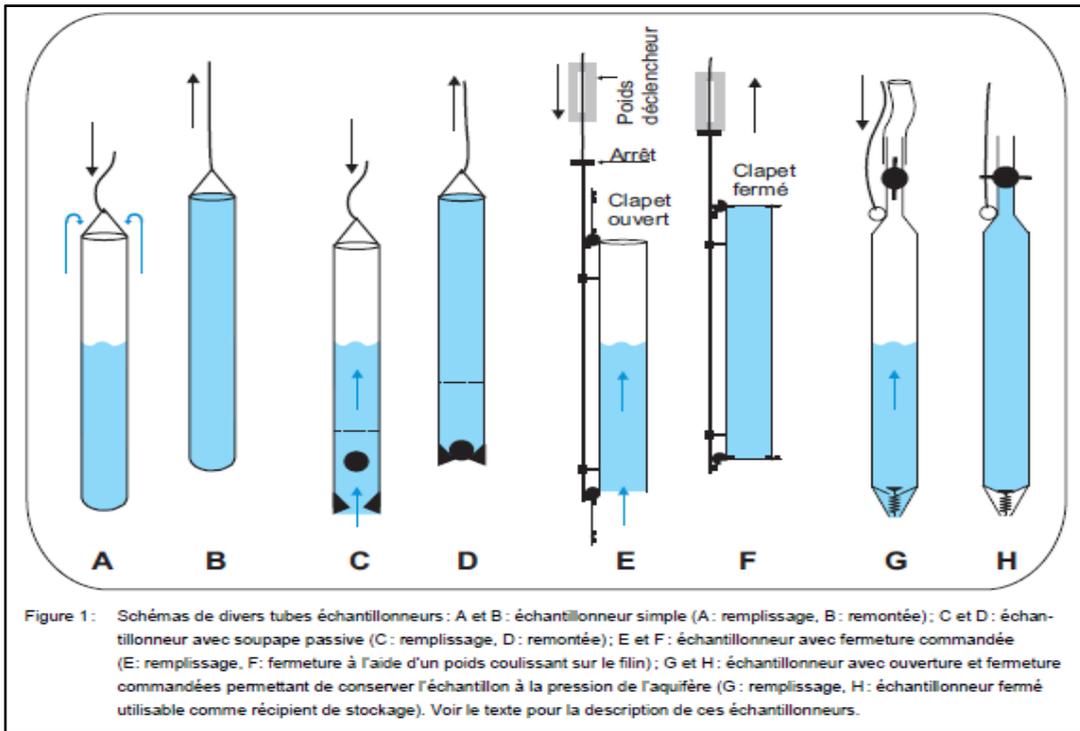


Figure II-1 Schéma de divers tubes échantillonneurs [14]

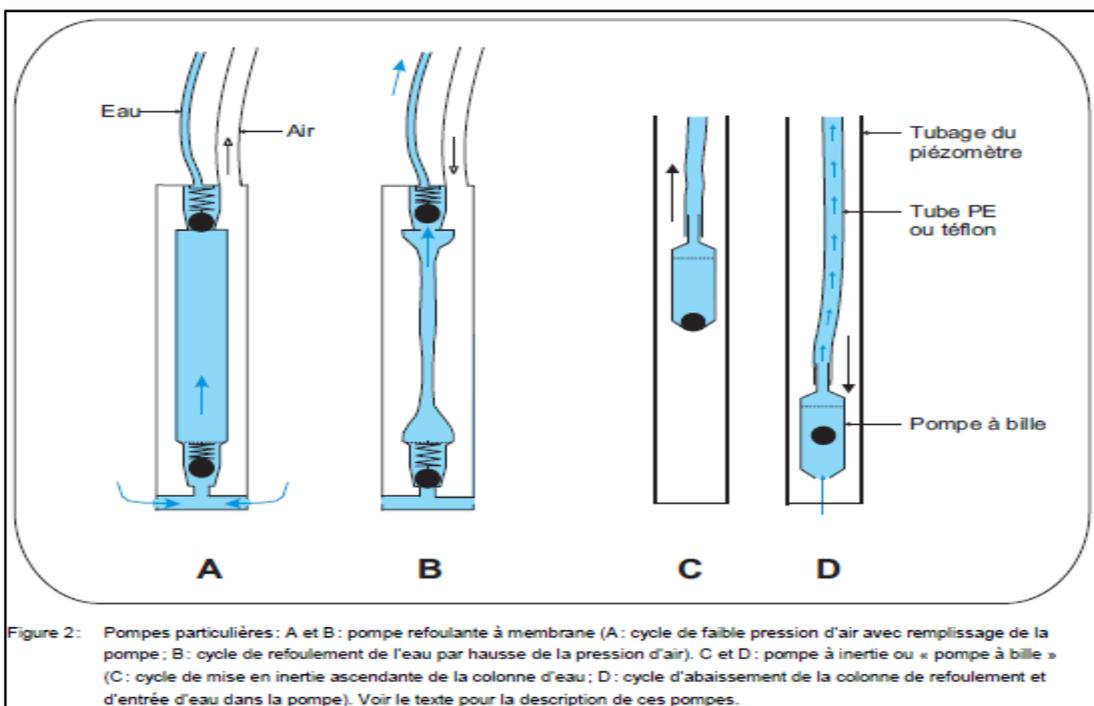


Figure II-2 pompes particulières [14]

II.8. Méthodes physico-chimiques d'analyse

II.8.1. La Diffractométrie des Rayons X (DRX)

Définition

La diffractométrie de rayons X est l'une des méthodes d'analyse physicochimique les plus utiles et les plus répandues, pour l'identification de la matière cristallisée [15].

Principe

La diffraction des rayons X consiste à appliquer un rayonnement de la longueur d'onde ($0.1 < \lambda < 10\text{nm}$) sur un échantillon argileux. On utilise un rayonnement électromagnétique en cuivre dont la longueur d'onde est $\lambda_{K\alpha 1} = 1,542 \text{ \AA}$. Ce rayonnement pénètre le cristal, il y a absorption d'une partie de l'énergie et excitation des atomes, avec émissions de radiations dans toutes les directions. Les radiations émises par des plans atomiques qui sont en phase, vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté [15].

II.8.2. Spectrophotométrie UV-Visible

Définition

La spectrophotométrie d'absorption de l'ultraviolet et du visible est une méthode d'analyse qualitative et quantitative d'un grand nombre d'espèces organiques et inorganiques. Elle est basée sur l'étude des interactions entre la matière et les radiations électromagnétiques [17].

Principe

Le principe repose sur un faisceau monochromatique d'une longueur d'onde donnée qui traverse l'échantillon, et un détecteur en sortie de cuve mesure l'absorption du rayon incident [18].

La loi de Beer-Lambert vérifie que l'absorbance d'une solution d'un composé est proportionnelle à l'épaisseur du milieu traversé par le faisceau lumineux et à la concentration du composé en solution.

$$A = \varepsilon \cdot l \cdot c$$

Où :

A : Absorbance de la solution.

L : Largeur de la cellule contenant la solution.

c : Concentration du composé en solution.

ε : Coefficient d'extinction molaire du composé (constante).

A cause d'interactions chimiques entre les molécules à forte concentration, la loi de Beer-Lambert n'est valable qu'aux faibles concentrations. D'où la nécessité de faire une courbe d'étalonnage (absorbances en fonction des concentrations) pour le dosage d'un composé.

II.8.3. Spectrophotométrie Infrarouge

Définition

La spectrophotométrie infrarouge est une méthode d'analyse quantitative et à la fois qualitative, sensible aux énergies de vibration des liaisons moléculaires. C'est une méthode d'analyse des environnements locaux quelque soit l'état physique du système étudié [20].

Principe

Dans les conditions normales de température et de pression (CNTP), les atomes et groupements fonctionnels constituant la matière, sont animés de mouvements vibratoires. Si ces constituants sont exposés à un rayonnement électromagnétique dont la fréquence est proche de celle de l'une ou l'autre de leurs fréquences de vibrations propres, ils entrent en résonance, empruntant pour ce faire, de l'énergie dans le faisceau incident. Il y a alors absorption d'énergie. Sous l'effet d'un rayonnement électromagnétique infrarouge, les liaisons moléculaires absorbent une partie de cette énergie et vibrent selon des mouvements de différents types (vibrations d'élongation ou de déformation) [17].

II.8.4. Spectrophotométrie d'Absorption Atomique à flamme (SAA)

Définition

C'est une méthode d'analyse physico-chimique quantitative qui englobe une large gamme d'applications en particulier la chimie minérale. Elle permet de doser plus de

soixante dix éléments, métalliques et non métalliques, à l'état de trace (p.p.m) et même d'ultra traces (p.p.b).

Cette méthode est basée sur la mesure de l'absorbance des atomes à l'état ionisé de l'élément, soumis à une lumière de longueur d'onde spécifique de l'élément à doser [17].

Principe

La spectroscopie atomique repose sur l'analyse de l'intensité lumineuse d'une longueur d'onde spécifique d'un élément. L'élément porté à une certaine température, libère des atomes, la flamme est traversée par un faisceau lumineux dont la longueur d'onde est typique de l'élément à analyser (lampe à cathode creuse); une partie de ces radiations est absorbée par les atomes présents dans la flamme. On mesure ainsi l'affaiblissement du rayonnement. Les longueurs d'onde et les intensités énergétiques absorbées sont fonctions de la nature et de la concentration de l'élément. Ce qui nous permet de détecter et de doser les éléments [18].

II.3 procédés de traitement des eaux souterraines

Les eaux souterraines contaminées peuvent être traitées par divers procédés, nous citons ici ceux qui sont les plus appliqués

II.3.1 Barbotage in situ (ou injection et bullage d'air in situ)

Termes anglais : sparging

Description

Le sparging consiste à injecter un gaz (le plus souvent de l'air) sous pression en dessous du toit de la nappe. L'air en se propageant à travers la zone saturée et en remontant vers la surface crée des canaux d'air qui rentrent en contact avec les polluants dissous ou adsorbés, ce qui permet leur volatilisation. L'air se charge alors en polluants et est évacué via des puits d'extraction positionnés en alternance avec les puits d'injection vers le système de traitement des gaz (venting). Cette technique permet aussi de traiter la frange capillaire. Associé au venting, ce procédé permet également de traiter la zone non saturée (Figure II.3).

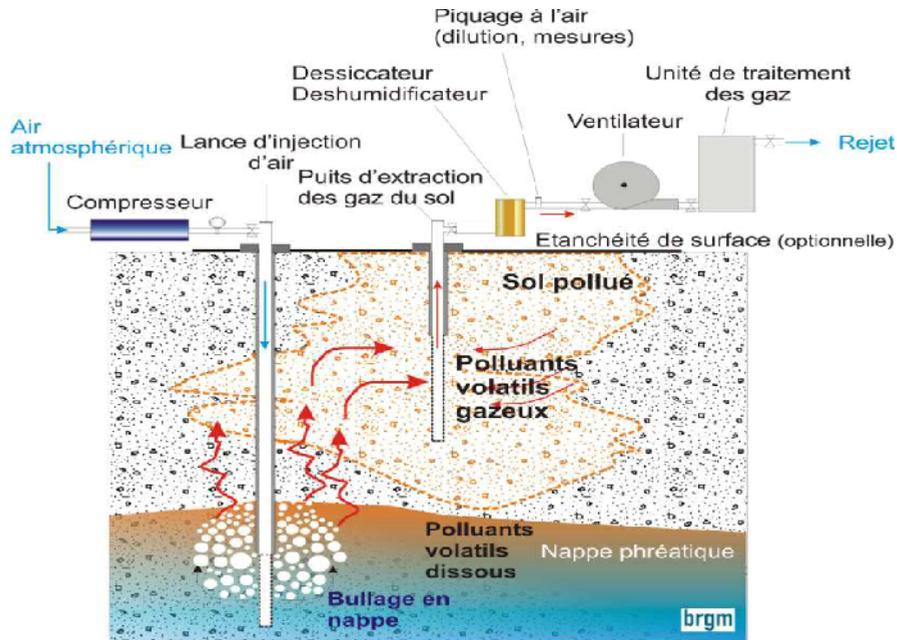


Figure II-3: Schéma de principe de l'air sparging couplé à un venting [19]

L'injection d'air permet la biodégradation aérobie de composés biodégradables présents dans la nappe et la zone vadose (biosparging).

Le sparging peut à la fois être utilisé pour traiter les sources de pollution mais aussi les panaches de pollution en aval. Dans le dernier cas, le système est installé perpendiculairement au sens de migration du panache [19].

Applicabilité

Le sparging permet de traiter des composés organiques volatils et semi-volatils (halogénés ou non halogénés) dans des sols perméables et homogènes (constante de Henry supérieure à $0,01 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$ à 20 °C et/ou pression de vapeur saturante supérieure à $0,5 \text{ mm Hg}$ (67 Pa) à 20 °C). Il est particulièrement adapté au traitement de la frange capillaire de la nappe.

Il est fréquemment utilisé pour traiter des solvants chlorés et des hydrocarbures pétroliers volatils (essences, fuel, kérosène...); néanmoins, il est peu conseillé pour traiter des polluants très solubles (alcools, cétones ...).

Cette technique s'applique principalement dans des sols relativement perméables (sablo-limoneux à graveleux) et homogènes dans les zones saturées et non saturées [19].

II.3.2. Pompage et traitement

Termes anglais : pump and treat

Description

Le pompage et traitement permet d'extraire les polluants organiques ou minéraux en phase dissoute dans la zone saturée et la frange capillaire et de les diriger vers des points d'extraction en vue de traitement.

Cette technique traite le panache plutôt que la source de pollution. Il est donc judicieux de traiter, si possible, au préalable la source de pollution [19].

La circulation d'eau induite par le pompage permet de générer un renouvellement de l'eau dans les pores de la zone saturée. Les équilibres de phases sont alors déplacés, ce qui implique :

- que l'eau en passant dans une zone polluée va se charger en polluants,
- que les concentrations en polluants adsorbés sur la matrice solide (dans la zone capillaire et la zone saturée) et présents sous forme gazeuse (zone vadose) vont légèrement diminuer.

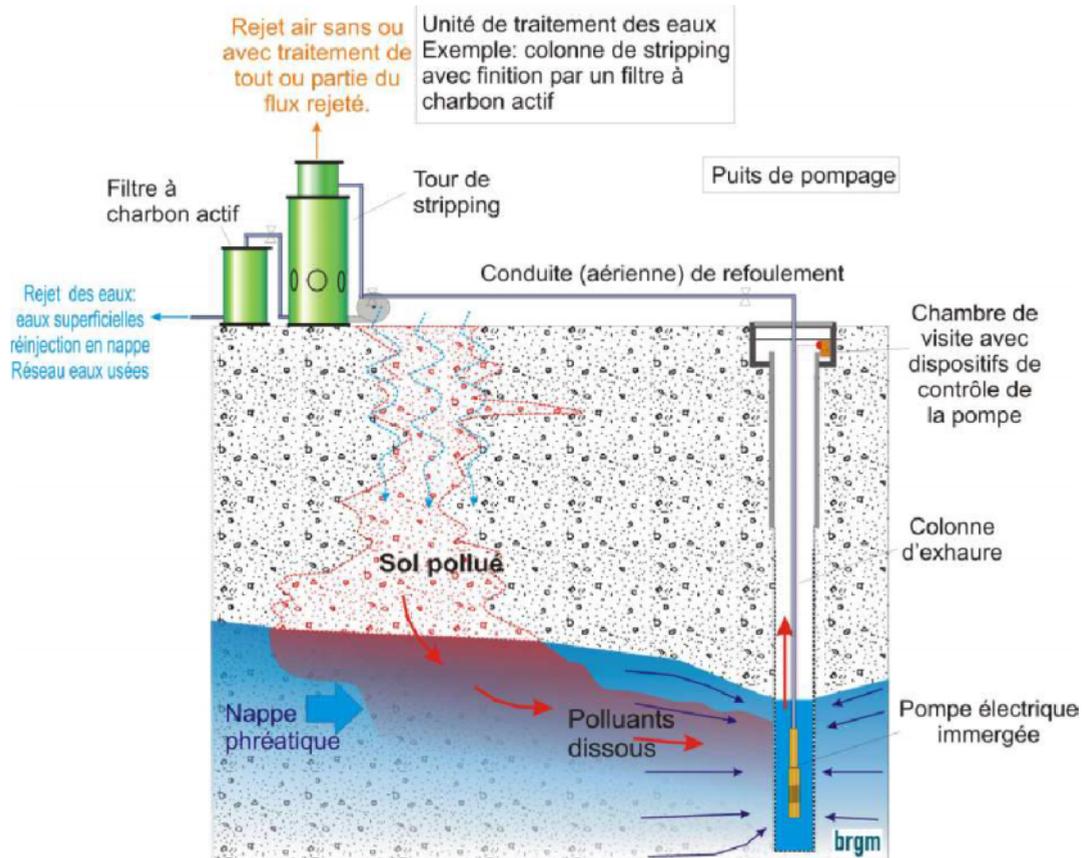


Figure II.4 : Schéma de principe du pump and treat [19]

Préalablement à la mise en place du traitement, il conviendra de trouver un exutoire pour les eaux pompées. Le choix du point de rejet est primordial. Dépendamment du contexte environnemental, des débits pompés et des autorisations administratives, les rejets pourront être réalisés :

- à certaines concentrations, dans les réseaux d'eaux usées, les réseaux d'eaux pluviales, les eaux superficielles, la nappe (réinjection),
- dans certains cas dans des centres d'élimination agréés. En pratique, étant donné les volumes pompés, l'élimination en centre agréé est peu fréquente; elle se limite à des rejets faibles et concentrés.

Applicabilité

Le pump and treat est une technique relativement universelle puisqu'elle s'applique sur les pollutions organiques et minérales, qu'elles soient sous forme libre ou dissoute :

composés organiques (semi-volatils, composés halogénés organiques (semi)-volatils, PCB, certains métaux/métalloïdes. Le pompage, en créant des cônes de rabattement, permet d'améliorer la récupération des LNAPL en phase libre. Néanmoins, en cas de présence de flottant, il est plus judicieux pour des raisons économiques de procéder à la récupération du surnageant indépendamment de la phase dissoute, ceci permet d'éviter une séparation ultérieure dans la filière de traitement des eaux.

Cette technique s'applique principalement dans des aquifères relativement perméables (sablo-limoneux à graveleux) et homogènes [19].

II.3.3. Pompage-écrémage

Terme anglais : *skimming*

Principe

En présence de surnageant, les eaux souterraines sont pompées, ce qui génère un cône de rabattement. Les produits en phase pure s'accumulent gravitairement au centre de ce cône facilitant ainsi leur récupération en surface.

Le pompage-écrémage est la technique la plus utilisée pour récupérer le flottant dans les nappes phréatiques perméables dont le toit se situe à de faibles profondeurs [19].

Description

Le pompage des eaux souterraines produit un cône de rabattement; le surnageant (produit pur de densité inférieure à 1) suit le gradient hydraulique, migre gravitairement vers le(s) point(s) bas et s'accumule. Cette accumulation permet de récupérer plus rapidement le surnageant (Figure III.5).

Le surnageant est alors pompé à l'aide d'écumeurs vers les unités de stockage en surface (citerne) avant d'être éliminé (incinération, récupération des hydrocarbures ...).

Les écumeurs sont positionnés au niveau du surnageant et permettent de récupérer spécifiquement les hydrocarbures en évitant au maximum de récupérer les eaux souterraines. Les systèmes les plus couramment utilisés sont les hydro-éjecteurs pneumatiques, les skimmers (ou crépines flottantes) et les bandes oléophiles. Les pompes de rabattement sont positionnées sous l'interface surnageant/eau.

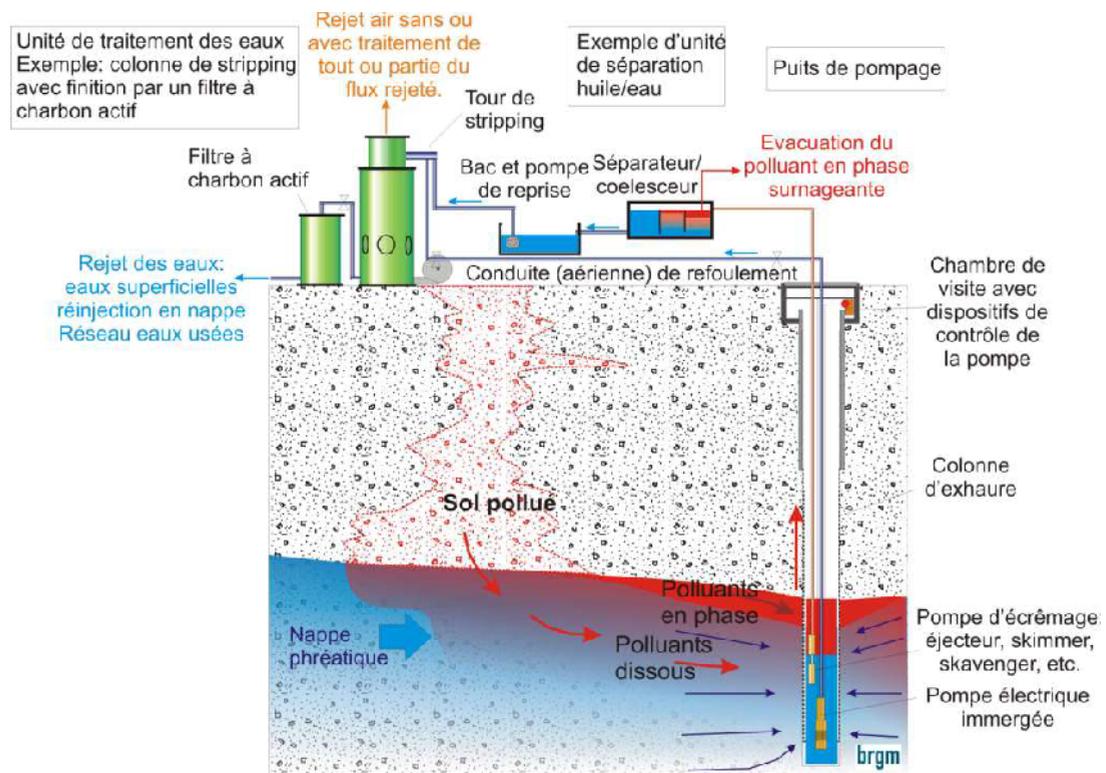


Figure II-5 Schéma de principe du pompage-écrémage [19]

Dépendamment de la position de ces pompes, les eaux seront plus ou moins chargées en hydrocarbures ; positionnées plusieurs mètres sous cette interface, elles contiendront peu de produits dissous. En cas de variations importantes du niveau du toit de la nappe, les débits des pompes de rabattement pourront être asservis à un niveau d'eau (détecteurs de niveau bas et de niveau haut). Par contre, si elles sont positionnées plus haut elles contiendront plus d'hydrocarbures.

Généralement, lorsque cela est possible, les pompes sont dans un premier temps positionnées nettement en dessous du surnageant pendant la phase de récupération du flottant. Une fois que le pompage sélectif des hydrocarbures est impossible, les pompes sont relevées afin de traiter autant que faire se peut les eaux souterraines et le reliquat de surnageant.

Les rejets des eaux souterraines générés par le pompage doivent faire, dépendamment des concentrations et des autorisations de rejet, l'objet d'un traitement adapté (déshuileur, stripping, charbon actif...) [19].

Applicabilité

Cette technique s'applique sur des hydrocarbures de densité inférieure à 1 en phase libre (gasoil, fuel, essence, supercarburant, solvants ...).

Par ailleurs, cette technique s'applique principalement dans des aquifères relativement perméables (sablo-limoneux à graveleux) et homogènes [19].

II.3.4. Barrière perméable réactive

Termes anglais: permeable reactive barrier ou treatment wall

Principe

Une Barrière Perméable Réactive (BPR) est constituée d'une zone perméable de matériaux réactifs (métaux réducteurs, accepteurs ou donateurs d'électrons, adsorbants, lit bactérien,...) située sur le passage d'un panache d'eau souterraine polluée. Par écoulement advectif naturel au travers de la barrière, les polluants présents dans les eaux souterraines sont dégradés en éléments non nocifs (organiques) ou adsorbés/complexés (organiques, métaux et métalloïdes) par le réactif [19].

Description

Le principe de base d'une barrière réactive repose sur la réalisation d'une tranchée dont la longueur doit permettre d'intercepter l'ensemble du panache de pollution (Figure III.6) et la largeur permettre un temps de contact suffisamment long entre le réactif et le polluant afin d'assurer la dégradation ou la sorption de celui-ci. Pour ce faire, cette dernière doit être de préférence orientée perpendiculairement au sens d'écoulement de la nappe phréatique.

Les deux grands types de configuration sont :

- le système mur continu (tranchée continue, Continuous Wall, CW ou Continuous Réactive Wall, CRW) ;
- le système Funnel & Gate noté F&G (littéralement, Entonnoir & Porte).

Dans le système mur continu, la barrière est réactive et perméable sur la totalité de sa longueur ; ce type de configuration minimise les perturbations hydrauliques. Au contraire, dans le cas d'une configuration en F&G, le panache est canalisé à l'aide d'écrans étanches

vers des portes qui forment les zones réactives. Cette seconde configuration modifie les écoulements en les faisant converger. En revanche, elle offre la possibilité de mieux contrôler les performances de la BPR en termes d'abattement de pollution, la zone réactive étant d'extension limitée. Ces deux configurations couvrent la très grande majorité des applications industrielles [19].

Quelle que soit la configuration adoptée, la barrière est ancrée dans le substratum imperméable sous-jacent de telle sorte que le panache ne puisse pas s'écouler sous la barrière. La majorité des BPR est ancrée à des profondeurs comprises entre 10 et 20 mètres. Le volume des zones réactives est très variable (de quelques m³ à plusieurs centaines de m³). Le volume de réactif mis en œuvre est fonction à la fois de la taille de l'ouvrage, de l'extension du panache de pollution, du débit d'eau à traiter, de la cinétique réactionnelle (qui détermine le temps de séjour) des contaminants et de leurs sous-produits et de la capacité d'adsorption (pour les réactifs fonctionnant par adsorption). Dans tous les cas, l'épaisseur de la zone active de traitement doit permettre un temps de contact suffisant entre les eaux et la zone de traitement.

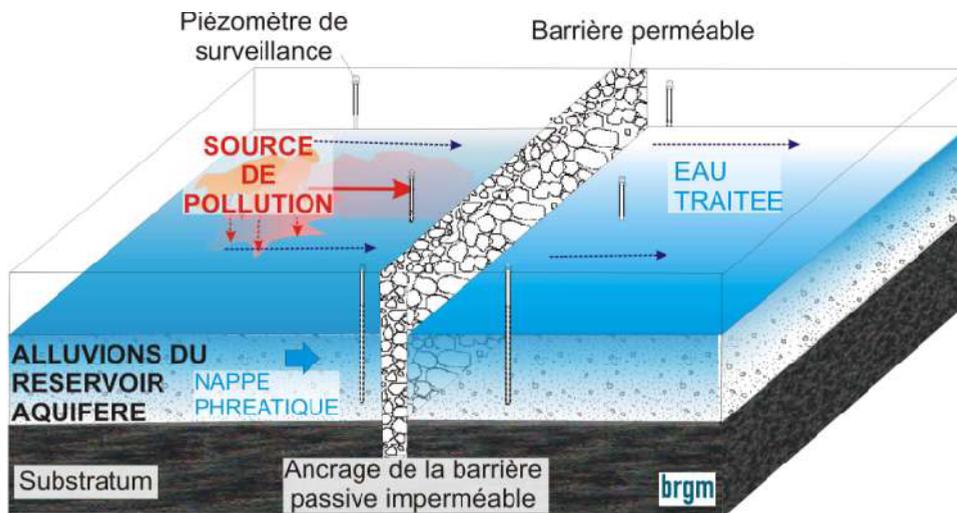
Les temps de contact sont plus élevés pour les BPR de type mur continu que pour celle de type porte car pour ces dernières l'ensemble des masses d'eau en amont est dirigé vers une ou plusieurs portes.

Il faut noter, que les interventions sur les réactifs sont beaucoup plus complexes pour les BPR de type mur continu que pour celle de type porte [19].

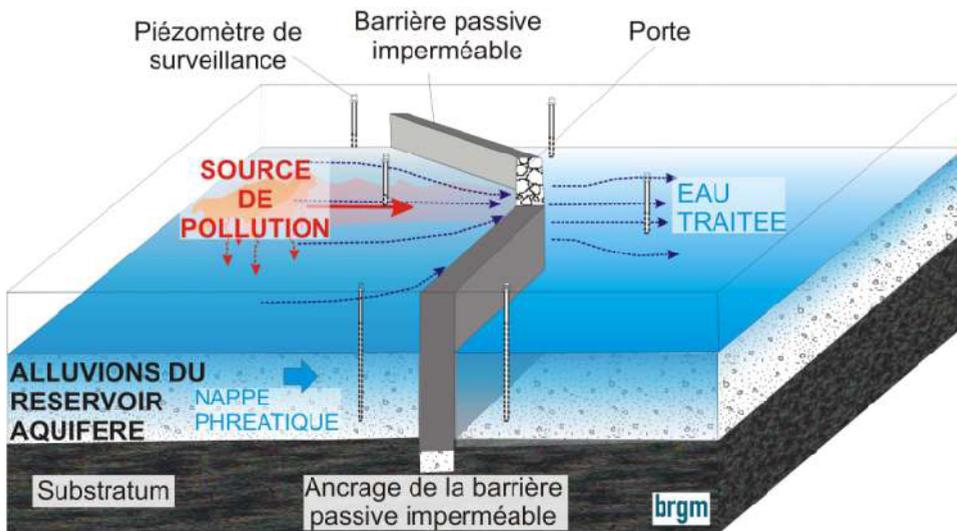
Applicabilité

Les barrières réactives permettent le traitement de nombreux polluants organiques (COV, COHV, SCOHV) et de certains métaux (As, Cd, Cr, Pb ...). Cette technique s'applique dans des aquifères peu perméables à perméables, de préférence dans des milieux homogènes et poreux.

Actuellement, la moitié des sites traités par BPR sont pollués par des solvants chlorés (réduction liée à la présence de Fe⁰) [19].



Barrière perméable réactive classique



Système porte

Figure III-6: Schéma de principe d'une barrière perméable réactive classique et d'une barrière «Système entonnoir - porte» [19]

CHAPITRE III

Mise en œuvre expérimentale

Chapitre III

Mise en œuvre expérimental

III.1.paramètre physico-chimique

III.1.1.Le potentiel d'Hydrogène (pH)

III.1.1.1.Définition

Le pH représente la concentration des ions hydrogène dans une solution. Cette mesure est importante car le pH régit un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Le pH des eaux naturelles varie normalement en fonction du système bicarbonates-carbonates. Dans les eaux naturelles, peu soumises à l'activité humaine, le pH dépend de l'origine de ces eaux et de la nature géologique du milieu. Les eaux d'exhaures et les effluents industriels peuvent abaisser le pH de façon importante, ce qui accentue la corrosion des canalisations des réseaux d'égout et d'aqueduc [20].

III.1.2.Détermination du pH

Le pH mètre utilisé est de type MARTINI instruments Mi 151

III.1.2.1.Mode opératoire

Etalonnage de l'appareil par la solution de pH = 4, puis celle du pH = 10 et enfin avec celle de pH = 7, en rinçant après chaque étalonnage l'électrode. Faire les mesures des échantillons en plongeant l'électrode dans l'échantillon et laisser stabiliser pendant quelques secondes ; noter la valeur du pH de l'échantillon.

III.1.2.Conductivité

III.1.2.1.Définition

La conductivité est la mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique. Elle varie en fonction de la température et est reliée à la concentration et à la nature des substances ionique. En général, les sels minéraux sont de bons conducteurs par opposition à la matière organique et colloïdale, qui conduit peu. Par conséquent, dans le cas des eaux usées fortement chargées en matière organique, la conductivité ne donnera pas forcément une idée immédiate de la charge du milieu. Dans les autres cas, elle permet d'évaluer rapidement le degré de minéralisation d'une eau et d'estimer le volume d'échantillon nécessaire pour certaines déterminations chimiques [21].

III.1.2.2.Appareillage

- Conductimètre avec une cellule pour mesurer la conductivité.
- Thermomètre ou sonde de température.

On a mesuré la conductivité avec un appareil de type INOLAB multi level1.

III.1.3.La turbidité**III.1.3.1.Définition**

La turbidité est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau. Elle est déterminée à l'aide d'un turbidimètre. Cet appareil mesure la lumière dispersée par les particules en suspension avec un angle de 90° par rapport au faisceau de la lumière incidente [22].

III.1.3.2.Appareillage

L'appareil utilisé dans ce travail est un turbidimètre de marque WTW turb550 / turb550 IR.

Où on mesure la turbidité à une température ambiante (10°C à 40°C).

III.1.3.3.Calcul et expression des résultats

Les résultats sont exprimés en UTN (unités de turbidité néphélométrique) ou bien FTU (unité de turbidité formazine) et sont affichés directement par l'appareil.

III.1.4. Matière En Suspension (MES)**III.1.4.1.Définition**

Les solides en suspension sont constitués par la matière en suspension dans l'eau. Ils proviennent de sources naturelles, d'effluents municipaux et industriels, du ruissellement des terres agricoles et des retombées de matières particulaires atmosphériques. Les eaux avec des niveaux élevés de solides en suspension peuvent provoquer des inconvénients dans certains procédés industriels. Il existe plusieurs règlements ou guides ayant une norme pour les solides en suspension. De plus, certains

guides suggèrent de mesurer les solides en suspension après décantation des particules [23].

III.1.4.2. Détermination des solides en suspension par la méthode gravimétrique

a. Domaine d'application

Cette méthode sert à déterminer les solides en suspension dans l'eau. Le domaine d'application se situe entre 1 et 20 000 mg/l. Une limite de détection plus basse peut être obtenue en filtrant un volume d'échantillon plus grand [24].

b. Principe

La détermination des solides en suspension est faite en filtrant une portion d'échantillon au travers d'un filtre « Whatman 934 AH » préalablement pesé. Lorsque la filtration est terminée, le filtre avec le résidu est séché à 105 °C et pesé de nouveau. Le poids de solides en suspension est obtenu par différence des poids [24].

c. Appareillage

- Rampe de filtration et entonnoir à filtration.
- Filtre Whatman 934 AH 47 mm ou l'équivalent.
- Étuve à une température de 105 °C ± 2 °C.
- Balance analytique dont la sensibilité est de 0,001 mg.
- Pompe à vide.

d. Mode opératoire

- Peser le filtre et la capsule à l'aide d'une balance analytique (immédiatement avant de l'utiliser).
- Homogénéiser l'échantillon.
- Filtrer un volume d'échantillon homogène à travers le filtre Whatman 934 AH ou équivalent de façon à mesurer un maximum de 200 mg de matières en suspension.
- Noter le volume d'échantillon filtré.
- Laver le cylindre et l'entonnoir avec 3 portions de 10 ml d'eau que l'on videra sur le filtre en s'assurant que tout le filtre soit bien rincé. Attendre que l'eau soit filtrée avant l'ajout d'une autre portion de 10 ml.

- Maintenir la filtration sous vide 3 minutes après le dernier rinçage.
- Faire sécher à l'étuve à 105 °C pendant une nuit.
- Laisser refroidir, peser le filtre et la capsule jusqu'à l'obtention d'un poids constant c'est-à-dire que la différence entre 2 pesées successives soit inférieure à 4 % du poids précédent ou 0,5 mg en répétant le cycle (séchage - refroidissement - pesage).

III.1.5. Demande chimique en oxygène (DCO)

III.1.5.1. Définition

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies.

En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelle que soit leur origine organique ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfures et chlorures).

La DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités de l'oxydation, etc., il est bien évident que la reproductibilité des résultats et leur interprétation ne pourront être satisfaisantes que dans des conditions de méthodologie bien définies et strictement respectées. Dans la technique, un catalyseur est utilisé pour faciliter l'oxydation mais celle-ci n'est cependant pas totale en présence de composés organiques stables (urée, pyridine, dérivés aromatiques, composés aliphatiques à longue chaîne carbonée) [25].

III.1.5.2. Détermination de la DCO (méthode à reflux en système ouvert)

a. Principe

Dans des conditions définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées à l'ébullition (150 °C) par un excès de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$), en milieu acide et en présence de sulfate d'argent ($AgSO_4$) jouant le rôle de catalyseur d'oxydation et de sulfate de mercure (II) ($HgSO_4$) permettant de complexer les ions chlorure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par des sulfates de fer et d'ammonium ($Fe(SO_4)_2(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$)

Les matières oxydables (et en particulier les matières organiques) de l'échantillon sont oxydées par le dichromate de potassium dans les conditions précitées [28].

Le dichromate de potassium est réduit :



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



La réaction globale du dosage est la suivante :



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

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



b. Réactifs

– Solution d'acide sulfurique à 4 mol/L :

- acide sulfurique ($d = 1,84$) : 220 ml.
- eau distillé : *q.s.p.* 1 L.

– Solution de sulfate d'argent à 10 g/L dans l'acide sulfurique :

- sulfate d'argent cristallisé (Ag_2SO_4) : 10 g.
- acide sulfurique ($d = 1,84$) : *q.s.p.* 1 L.

– Solution de sulfate de fer et d'ammonium à 0,12 mol/L :

- sulfate de fer (II) et d'ammonium $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{NH}_4)_2, 6\text{H}_2\text{O}$: 47,0 g :
- acide sulfurique ($d = 1,84$) : 20 ml
- eau distillé : *q.s.p.* 1 L

– Solution de ferroïne :

- 1,10-phénanthroline : 1,5 g.
- sulfate de fer (II) $\text{FeSO}_4, 7 \text{H}_2\text{O}$: 0,7 g.
- eau distillé: *q.s.p.* 100 ml.

–Solution étalon de dichromate de potassium à 0,04 mol/ L, contenant du sulfate de mercure(II) :

- sulfate de mercure (II) : 80 g.
- acide sulfurique (d = 1,83) : 100 mL.
- dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$: 11,767 g.
- eau distillé: q.s.p 1 L.

c. Vérification de la concentration de la solution de $(FeSO_4)_2(NH_4)_6H_2O$

- Dans un bécher, mettre 5 ml de solution étalon de dichromate de potassium à 0,04 mol/L ;
- Ajouter environ 100 ml de la solution d'acide sulfurique à 4 mol/L ;
- Titrer avec la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium en présence de quelques gouttes de solution de ferroïne ;
- déterminer la quantité nécessaire de sulfate de fer et d'ammonium pour obtenir le virage au rouge.

La concentration C (en mol/L) de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium est donnée par la formule ci-dessous où les volumes sont exprimés en ml [26].

$$C\left(\frac{mol}{l}\right) = \frac{V \text{ dichromate} \times 0.04 \times 6}{V \text{ sulfate de fer}}$$

d. Mode opératoire

1. Dans un tube de réaction introduire 10,0 ml d'échantillon. Si la DCO de l'échantillon est supérieure à 800 mg/L O_2 , une dilution appropriée devra être réalisée.
2. Ajouter 1 ml de la solution sulfurique du sulfate d'argent.
3. Ajouter 5 ml de la solution de dichromate de potassium à 0,04mol/l
4. Puis ajouter 14 ml solution sulfurique de sulfate d'argent.
5. Placer le tube dans le bloc chauffant et porter à ébullition ($150\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$) pendant 2heures.
6. Arrêter le chauffage.
7. Retirer les tubes avec leurs réfrigérants. Les laisser refroidir, puis rincer avec précaution le réfrigérant en recueillant les eaux de lavage dans le tube de réaction.
8. Ôter le réfrigérant.

9. Transvaser le contenu du tube dans un erlenmeyer de 250 ml, rincer et diluer avec environ 40 ml d'eau.

10. Ajouter 2 à 3 gouttes de ferroïne et titrer avec la solution de $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

11. Procéder de la même manière en remplaçant l'échantillon par 10,0 ml d'eau distillé.

e. Expression des résultats

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimée en milligrammes d'oxygène par litre est égale à [26] :

$$\text{DCO} = \frac{8000 \times (V^0 - V) T}{V}$$

V_0 = Volume de sulfate de fer et d'ammonium (II) nécessaire au dosage de l'essai à blanc(ml).

V_1 = Volume de sulfate de fer et d'ammonium (II) nécessaire au dosage de l'échantillon (ml).

T = Titre de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium (en mol/L)

V = Volume de la prise d'essai (en ml).

III.2. Procédés de traitement

III.2.1. Filtration sur sable

La filtration sur sable est l'une des méthodes de traitement de l'eau les plus anciennes, utilisée pour la production d'eau potable et l'affinage des effluents épurés. Si elle est correctement appliquée elle permet de produire une eau de grande qualité. Un filtre à sable est constitué par des couches de sable de qualité et de granulométrie adéquates [27].

III.2.1.1 Mode opératoire Le sable que nous avons utilisé dans ce travail est un sable de mer de diamètre moyenne. Une quantité du matériau (20 g, 40 g, 60g ou 80g) est disposée dans une colonne de 2 cm de diamètre, muni d'un robinet permettant la récupération du fluide percolé (figure III-1).

On verse une quantité de 50 ml de l'échantillon brute, on laisse en contact pendant une heure, puis on récupère l'eau filtrée à un débit régulier.

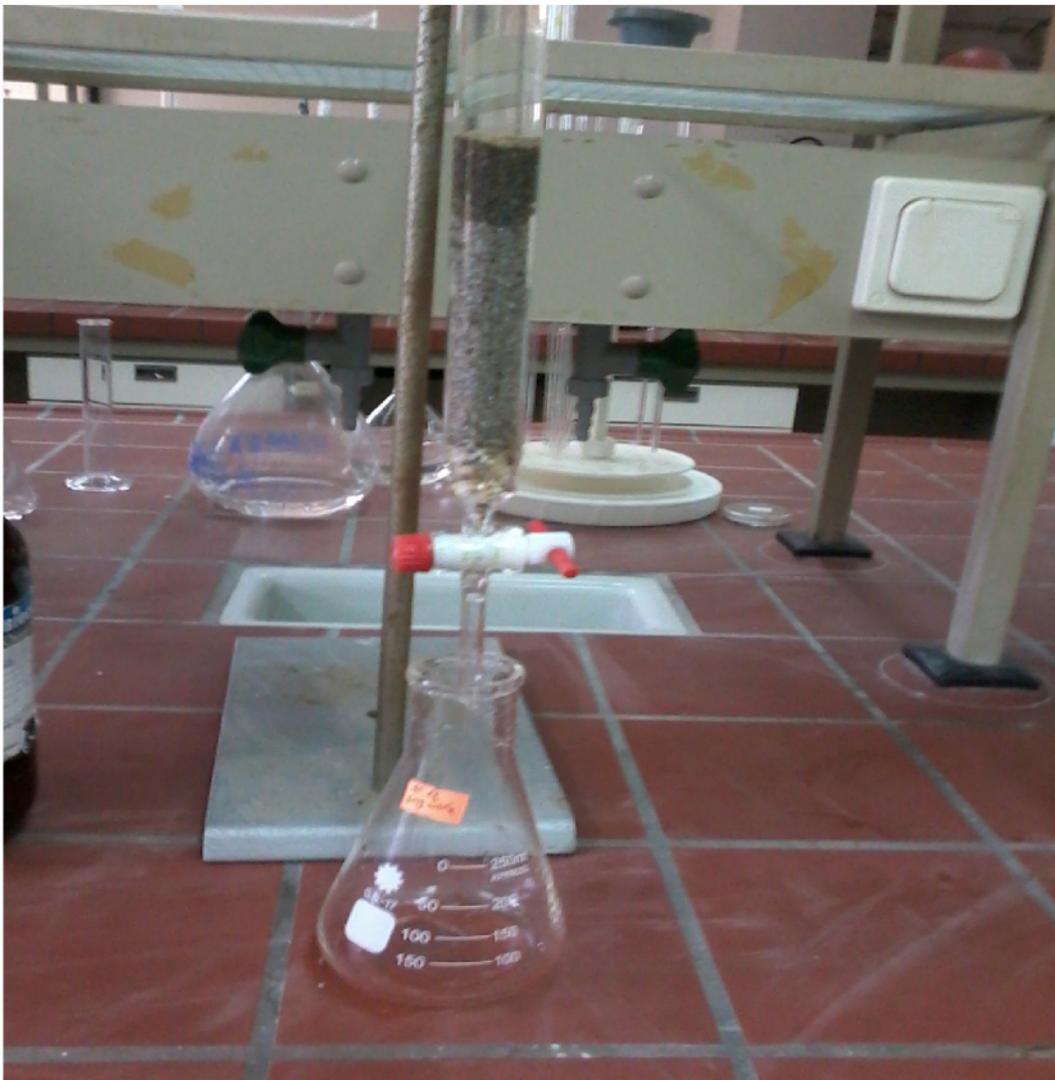


Figure III-1 : filtration sur sable

III.2.2.Filtration sur charbon actif

Le charbon actif a tout d'abord été utilisé pour améliorer les qualités organoleptiques d'une eau en éliminant les matières organiques responsables de goûts, d'odeurs et de couleur. Avec l'accroissement de la pollution, son emploi s'est étendu à l'élimination de nombreux polluants et micropolluants tels que les phénols, les hydrocarbures, les pesticides, les détergents, et même certains métaux lourds qui ne sont pas totalement éliminés par les procédés de coagulation-floculation-décantation et filtration sur sable [28].

III.2.2.1.Mode opératoire

Le procédé de filtration sur charbon actif en grain (CAG) consiste à mettre une quantité de ce matériau (2 g ,4 g , 6g ou 8g) dans une colonne de filtration, comme dans le cas de la filtration sur sable (figure III-2)..

On verse une quantité de 50 ml de l'échantillon brute, on laisse en contact pendant une heure puis on procède à la récupération du fluide traité.



Figure III-2 : filtration sur charbon actif granulé

III-3. Techniques de caractérisation

Afin d'identifier et de quantifier les métaux lourds se trouvant dans les échantillons calcinés et brutes, nous avons exploité plusieurs techniques de caractérisation, à savoir :

- La spectrométrie d'absorption atomique (SAA).
- L'ultraviolet (UV).
- La diffraction à rayons x (DRX).

II-3.1. Dosage des métaux lourds par la Spectroscopie d'absorption atomique (SAA)

a. Principe

La spectrométrie par absorption permet de doser une soixantaine d'éléments chimiques à l'état de traces (quelques mg/litre=ppm). L'analyse se base sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental, et on utilise à cet effet en général des solutions sauf dans le cas des hydrures. Une préparation est donc souvent nécessaire.

La méthode est :

- Quantitative
- Relative : il faut donc faire une courbe d'étalonnage.

Les mesures ont été effectuées avec un spectrophotomètre d'absorption atomique de type SHIMADZU AA-6501F équipé d'un atomiseur piloté au moyen du logiciel. Le principe de l'absorption est que la solution est aspirée en continu dans un nébuliseur qui la transforme en brouillard fin. Ce brouillard est ensuite aspiré vers le brûleur, où la flamme évapore l'eau et casse les molécules en atomes isolés.



Figure III-3. Spectrophotomètre d'absorption atomique SHIMADZU AA-6501F.

b. Mode opératoire

Pour la détermination des teneurs en métaux lourds on a procédé par la manière suivante : Après établissement d'une courbe d'étalonnage qui délimitera la fourchette de mesure d'un métal bien spécifique, on prend une petite quantité de l'échantillon dans un

bécher préalablement préparé on plonge dedans un tube qui compose notre équipement, puis il absorbe 2 ml et fait la lecture sur l'écran de la SAA.

III.3.2. Analyses par l'infra rouge

a. Principe

La spectroscopie infrarouge est un moyen d'analyse permettant de déterminer la nature des liaisons chimiques présentes dans une molécule, elle est un très puissant moyen de caractérisation pour identifier des groupements moléculaires et obtenir de nombreuses informations sur leur conformation et leurs éventuelles interactions. Les spectres IR des échantillons prélevés ont été enregistrés sur des pastilles dans le KBr avec un spectrophotomètre de type SHIMADZU IRAffinity-1 à transformé de Fourier.



Figure III-4. SHIMADZU IR Affinity-1 à transformé de Fourier.

b. Mode opératoire

* Pour l'analyse des échantillons liquides, nous avons procédé selon les étapes suivantes :

- Préparation d'une pastille avec environ 100 milligrammes de bromure de potassium KBr en poudre, cette dernière est ensuite pressée dans une presse sous vide.
- On dépose une goutte de l'échantillon à analyser sur la pastille préparée
- On introduit la pastille dans le compartiment échantillon de l'appareil.
- On lance l'analyse, le spectre IR est ainsi obtenu..

* Pour l'analyse des échantillons solides, nous avons procédé de la même manière, sauf que les pastilles dans ce cas sont préparées en introduisant une petite quantité de l'échantillon (2 à 3 %) dans la poudre de KBr, après mélange et tamisage, la pastille est préparée comme décrit ci-dessus.

III.3.3. Analyse minéralogique des eaux par spectroscopie UV VISIBLE

a. Principe

La spectroscopie d'absorption dans l'UV et le visible est une méthode très commune dans les laboratoires. Elle est basée sur la propriété des molécules d'absorber des radiations lumineuses de longueur d'onde déterminée.

Le spectrophotomètre UV Visible utilisé dans ce travail est de marque Thermo Scientific Evolution 201.

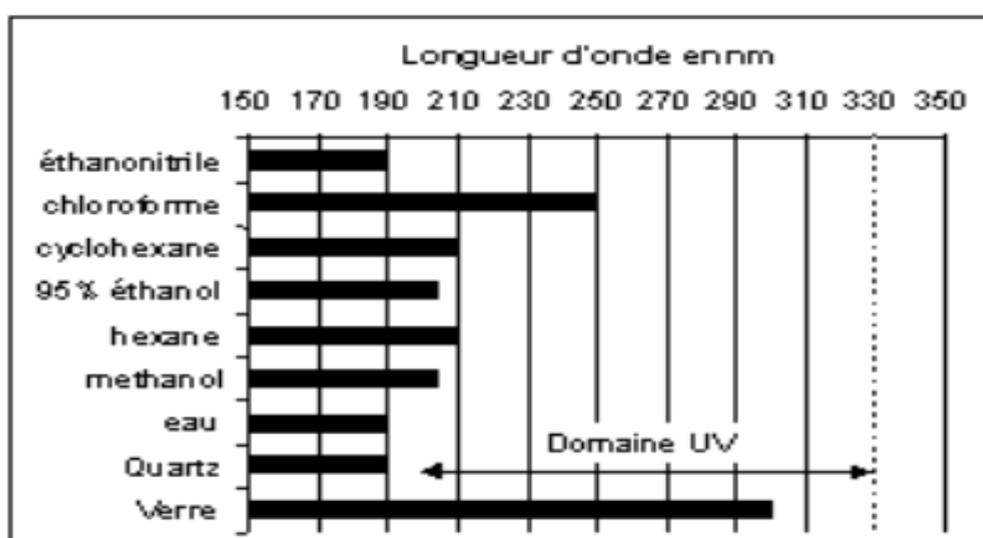


Figure III-5. Zone d'absorption de certains solvants et matériaux.



Figure III-6 Spectrophotomètre UV Visible utilisé est Thermo Scientific Evolution 201.

b. .Méthode

La méthode d'analyse des échantillons se résumant aux étapes suivantes :

La solution est placée dans une cellule de mesure, en quartz de 1 cm de trajet optique. L'analyse se fait par enregistrement du spectre (analyse qualitative) ou par lecture de l'absorbance à une longueur d'onde fixe (541 nm pour l'analyse du chrome).

III.3.4.Analyse DRX**a. Principe**

La **Diffractométrie de Rayons X (DRX)** est une technique d'analyse fondée sur la diffraction des rayons X par une matrice solide. L'appareil de mesure s'appelle un diffractomètre. Les données collectées forment le diagramme de diffraction ou diffractogramme. La diffraction des rayons X sur la matière cristalline permet d'avoir accès à des informations physiques sur les cristaux (la texture, les contraintes et les paramètres cristallins).



Figure III-7 diffractomètre de Rayon X(DRX)

b. Mode opératoire

L'analyse est effectuée sur des échantillons à l'état solide et se résume aux étapes suivantes:

- On prépare l'échantillon sous la forme d'une poudre aplanie avec le broyage dans une coupelle, ou bien sous la forme d'une plaquette solide plate.
- On place l'échantillon dans le compartiment indiqué dans le diffractomètre.
- Le diffractogramme est directement enregistré et visualisé sur l'écran de l'ordinateur qui assure le pilotage de l'appareil.

CHAPITRE IV

Résultats et discussions

Chapitre IV

Résultats et discussions

Dans ce chapitre, nous donnons les résultats de l'étude menée ici et qui concernent d'une part, la caractérisation et l'analyse des eaux prélevées dans différents puits du site étudié et les résultats de traitement de ces eaux par filtration sur sable et par adsorption sur charbon actif en grain (CAG), d'autre part.

IV-1. Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau souterraine

Les points de prélèvement que nous avons choisi sont au nombre de 9 et sont notés selon des références adoptées par l'entreprise (SONATRACH). Les résultats seront donc donnés selon cette notation.

Les paramètres physico-chimiques choisis pour la caractérisation de ces eaux sont les suivants : température (T), pH, conductivité ionique, matières en suspension (MES), turbidité, demande chimique en oxygène (DCO) et les teneurs en métaux en particulier : Nickel (Ni), Cadmium (Cd), Plomb (Pb), Zinc (Zn) et Chrome (Cr VI).

Les résultats obtenus pour les eaux des différents points de prélèvement sont rassemblés dans le tableau IV.1

Tableau IV.1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux des puits sélectionnés

Points de Prélèvement Paramètres	09_01	09_04	09_06	09_08	10_01	10_03	10_04	10_11	10_12
PH	6,66	7,31	6,75	6,41	6,55	6,49	6,58	6,69	6,61
Conductivité (mS/cm)	2,64	7,62	7,54	6,44	1,93	35,40	4,24	4,64	1,66
Turbidité (UTN)	84	42	136	75	84	66	191	96	25
la DCO mg O ₂ /L	102	104	166	115	115	3 187	104	166	173
T (°C)	21,5	22,5	22,3	21,5	22,1	23	22,5	22,2	22,9
MES (g/L)	3,81	3,24	26,60	8,77	9,30	3,91	14,14	6,80	6,08
MO (Matière Organique) (g/L)	3,06	3,23	6,92	6,30	3,52	3,23	3,62	3,37	6,07
MM (Matière Minérale) (g/L)	0,75	0,01	19,68	2,47	5,79	0,68	10,52	3,43	0,01

Les résultats relatifs à ces caractéristiques physico-chimiques de l'eau souterraine étudiée, sont regroupés dans le tableau IV.2, sous forme d'intervalles donnant les valeurs minimale et maximale pour les 9 puits, comparées avec les normes adoptées par la réglementation Algérienne (NA) ainsi que celles considérées par l'OMS et la CEE.

Tableau IV.2 : Valeurs des paramètres physico-chimiques de l'eau souterraine étudiées, comparées aux normes algérienne (NA), organisation mondiale de la santé (N OMS) et les normes communauté économique européenne (N CEE). [Annexe 2, 3,4]

Caractéristique	Valeur	NA	NA effluents	NOMSND	N CEE
Température (°C)	[21- 23]	< 25	< 30	< 25	< 25
pH	[6,41 - 7,31]	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 9	6,5 - 9,5
Conductivité (mS/cm)	[1,66 - 35,4] 7,31 6,41	2,8	2,8	2,0	2,0
Turbidité (FTU)	[25 - 191]	5	-	5	5 - 10
MES (mg/l)	[2660 - 3240]	-	35 - 40	< 20	-
DCO (mg O ₂ /L)	[102 - 500]	100	120 - 130	< 90	-
Teneur en Ni (mg/L)	[0,013 - 0,07]	0,01	0,5	0,07	0,02
Teneur en Cd (mg/L)	[0,016 - 0,03]	0,01	< 0,02	0,003	< 0,005
Teneur en Pb (mg/L)	[0,26 - 0,45]	0,055	< 0,5	0,01	0,01
Teneur en Zn (mg/L)	[0,11 - 0,39]	5	3	-	2
Teneur en Cu (mg/L)	[0,06 - 0,87]	1,5	>1,5	2	2

Les résultats obtenus (tableaux IV.1 et IV.2) montrent que l'eau souterraine est non équilibrée, le pH à une valeur située entre 6,41 et 7,31, attendant à la norme des eaux naturelles, qui situe le pH entre 6,5 et 9. La conductivité est comprise entre 35,4 et 1,66 mS/cm et est dans la plupart des cas non conforme aux différentes normes mentionnées dans le tableau. Les valeurs relatives aux matières en suspension et la DCO sont très élevées, en raison de la présence de fortes concentrations en matières organique (hydrocarbures et autres) et minérale. Nous pouvons donc conclure que l'eau souterraine caractérisée ne répond pas dans l'ensemble aux critères d'une eau naturelle souterraine. Une charge relativement importante en matières organiques (hydrocarbures) et minérales (métaux lourds) a été enregistrée.

Les résultats montrés sur la figure IV.1 et relatifs à la charge massique (MES), indiquent une variation importante en passant d'un point de prélèvement à l'autre. Les puits 09-01 ; 09-04 ; 09-08 ; 10-03 ; 10-11 et 10-12 contiennent des quantités anormalement élevées de matières organiques qui proviennent sûrement d'infiltration de polluants

organiques au niveau de ces points. Rappelons que les eaux souterraines sont caractérisées par de faibles taux de Matière Organique Naturelle (MON).

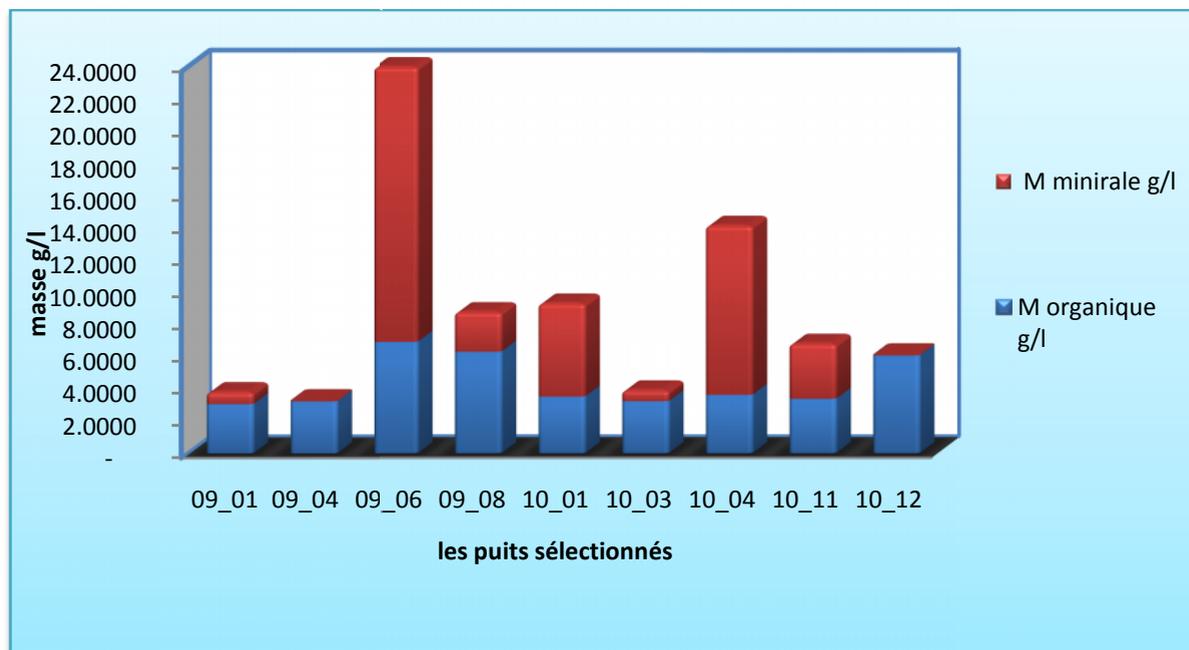


Figure IV.1. Représentation des fractions relatives en matière organique et minérale se trouvant dans la matière en suspension des puits sélectionnés

IV.2. Caractérisation par méthodes physiques d'analyse des MES

Dans le but d'avoir plus d'information sur les matières organique et minérale composant les MES des échantillons étudiés, nous avons utilisé les méthodes physiques d'analyse qui sont la microscopie électronique à balayage (MEB) avec analyse élémentaire (EDAX) et la diffraction des RX (DRX) pour caractériser la composante minérale et l'Infrarouge (IR) pour se identifier de la composante organique.

IV.2.1. Analyse de la MES par microscopie électronique a balayage (MEB)

Les images MEB des MES (séchées à 105°C) des puits 10-12 et 10-03 sont données sur la figure IV.2. Les grains blancs observés dans l'échantillon 10-03 représentent des minéraux d'argile

et de quartz de la matrice minérale de la MES, les taux élevés de Si, Al et O trouvés avec l'identification élémentaire (donnée en figure IV.3) le confirme bien.

La constatation n'est pas la même pour l'échantillon 10-12 qui ne révèle pas la même composition, les résultats donnés en figure IV.4 indiquent une forte teneur en soufre et en oxygène qui peuvent provenir d'une matière organique soufrée.

Des éléments minéraux ont aussi été détectés, il s'agit en particulier des éléments Fe, Cu, Ni et Zn. Les analyses par DRX ont été effectuées afin d'obtenir un complément d'information sur la matrice minérale de ces MES.

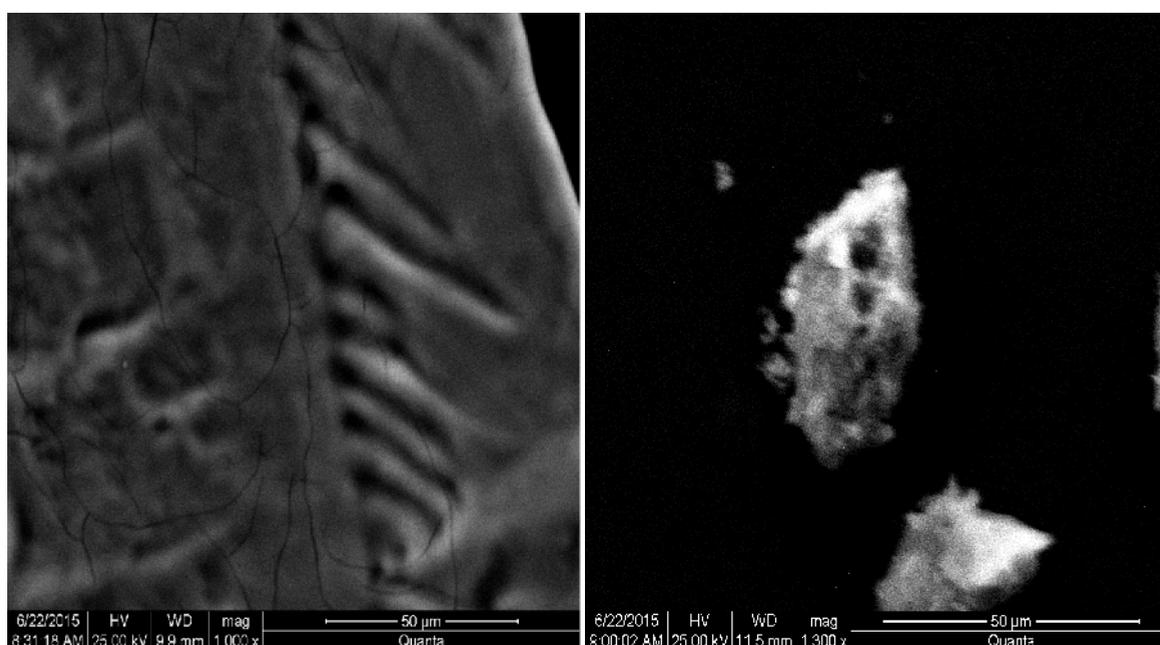


Figure IV.2 : Micrographie par MEB de la matière en suspension de l'eau de purge

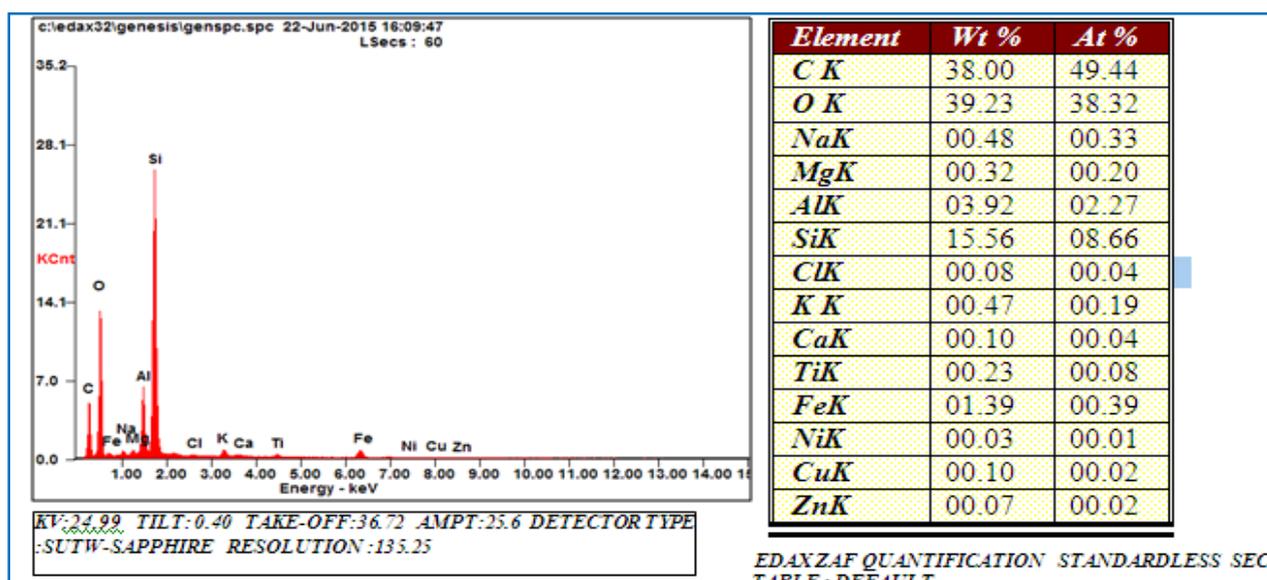


Figure. IV.3. Le spectre d'analyse microscopie électronique a balayage de puits d'observation 10-03

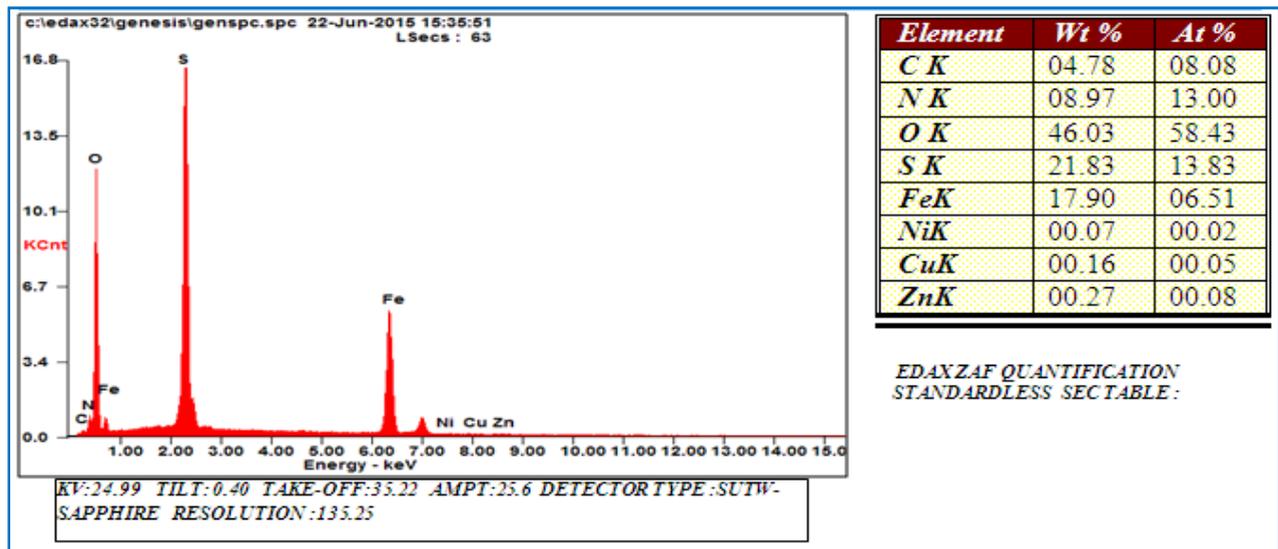


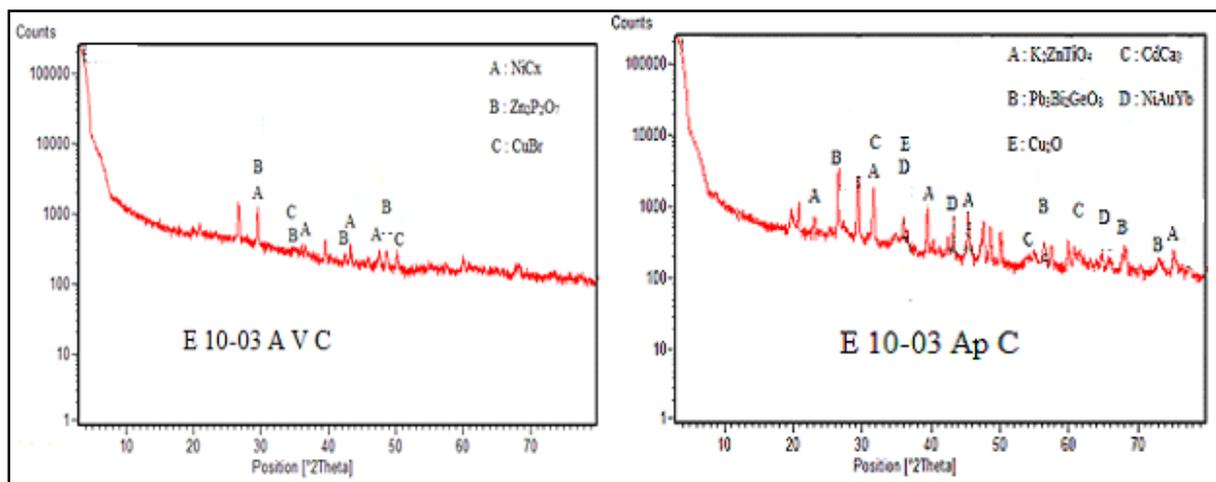
Figure. IV. 4.le spectre analyse microscopie électronique a balayage de puits d'observation 10-12

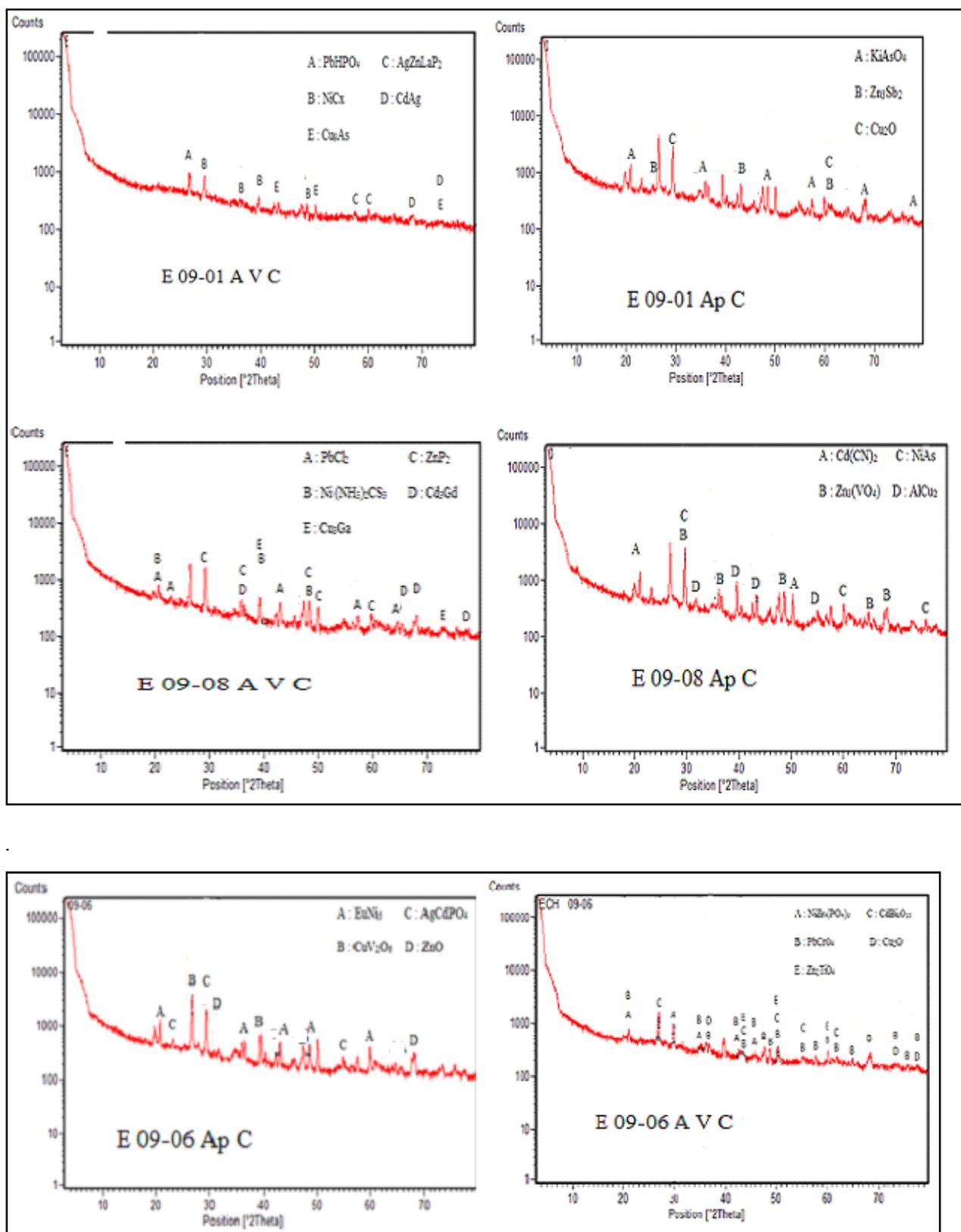
IV.2.2 Analyse par diffraction des rayons X (DRX) de la matière en suspension MES

La diffraction des rayons X nous a permis de caractériser les phases minéralogiques en particulier les métaux sous différentes associations présentes dans la matière MES.

Les analyses ont été effectuées sur les MES sous la forme séchée ou ainsi la forme cendre.

Les spectres d'analyse DRX de MES séchées à 105°C, avant calcination (AvC) et après calcination ont présentés dans les figures qui suivent :





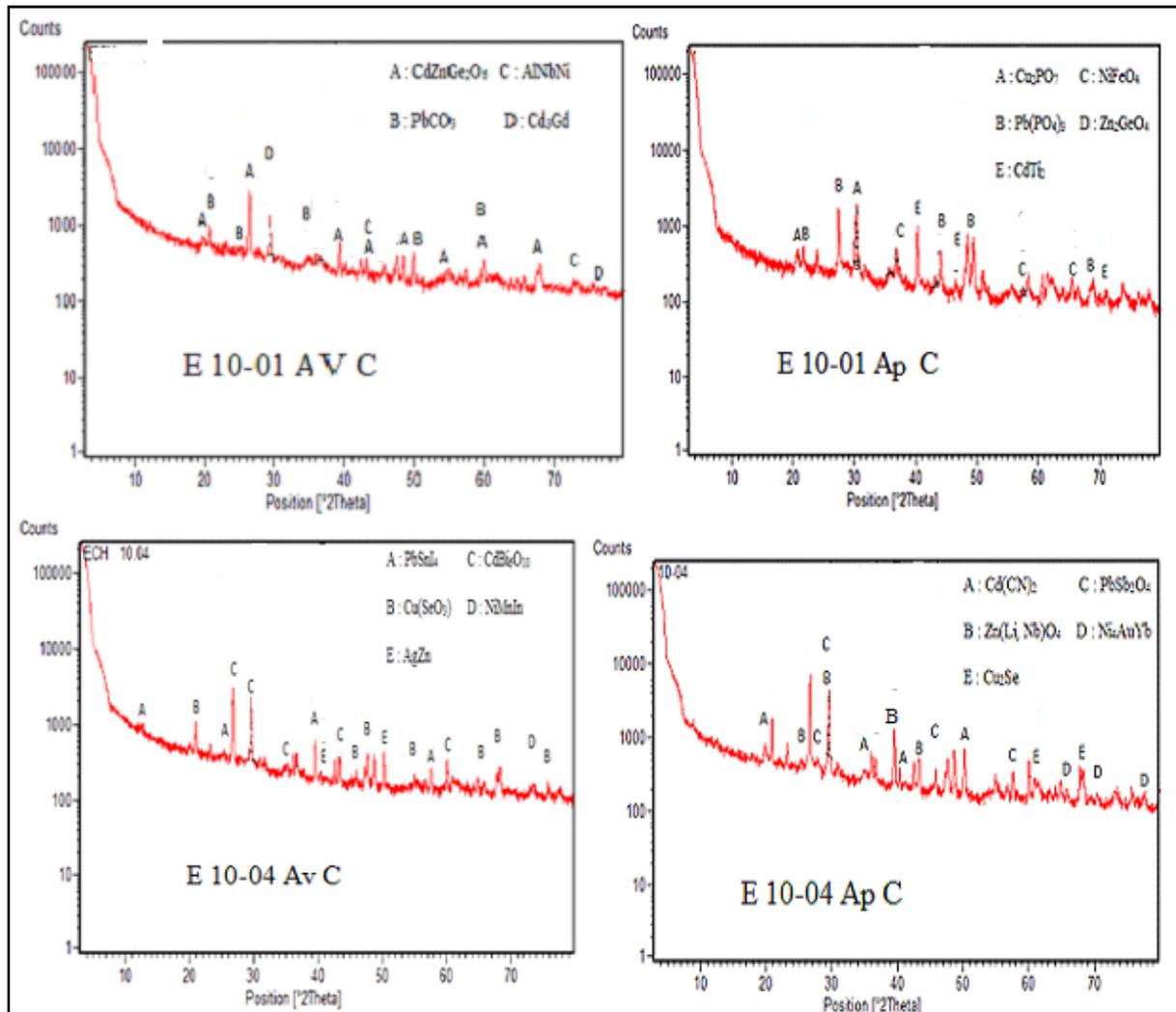


Figure IV.5. Diffractogrammes X de MES de l'échantillon étudié

Les composés minérales majoritaires de MES observés par les diffractogrammes DRX des échantillons (10-04,10-03,09-06,10-11,09-01,09-08) sont : **A** : Cu₁₁O₂(VO₄)₆ **C** : CdTeO₄

B : Bi₂Pb₂Se₅ **D** : NiPrO₃ **E** : ScGaZn₆O₉

Les pic des métaux Ni, Zn, Cu, cd, et Pb observe dont la majoritaires des puits étudiait

IV.2.3. Analyse par Spectrophotométrie d’Absorption Atomique à flamme (SAA)

Les concentrations d’un certain nombre de métaux lourds analysés par la SAA (tableau IV.3) sont relativement élevées et dépassent les normes requises (norme algériennes, OMS et CEE) pour les eaux potables.

Tableau IV.3: Concentrations des métaux lourds des eaux souterraines analysées par SAA.

Echantillon	09_01	09_04	09_06	09_08	10_01	10_03	10_04	10_11	10_12	NA
Cu (mg/L)	0,285	0,474	0,648	0,063	0,822	0,869	0,174	0,427	0,648	1,5
Zn (mg/L)	0,362	0,281	0,394	0,245	0,358	0,27	0,275	0,213	0,114	5,0
Pb (mg/L)	0,249	0,374	ND	0,258	0,457	ND	0,432	0,249	ND	0,055
Cd (mg/L)	0,022	0,019	0,02	0,019	0,017	ND	0,016	0,02	ND	0,01
Ni (mg/L)	0,015	0,07	0,078	0,058	0,032	0,033	0,07	0,034	0,032	0,01

Les concentrations des métaux Pb, Cd et Ni sont très supérieures à la valeur maximale tolérée dans la majorité des puits. Par contre les concentrations des éléments cuivre et zinc sont relativement faibles. Le chrome VI n’a été décelé dans aucun des échantillons analysés.

IV.2.4 Analyse de la composition de l’eau souterraine en matière organique par Infrarouge

L’analyse infrarouge permet de caractériser les groupements fonctionnels majeurs constitutifs d’un composé. Cette technique d’analyse peut donner des indications intéressantes sur la présence des hydrocarbures dans les eaux souterraines étudiés.

La figure(IV.6) montre les spectres IR enregistrés pour les différents échantillons étudiés, en phase liquide. Nous remarquons que les spectres sont semblables et indiquent

présence du même type de matières organiques

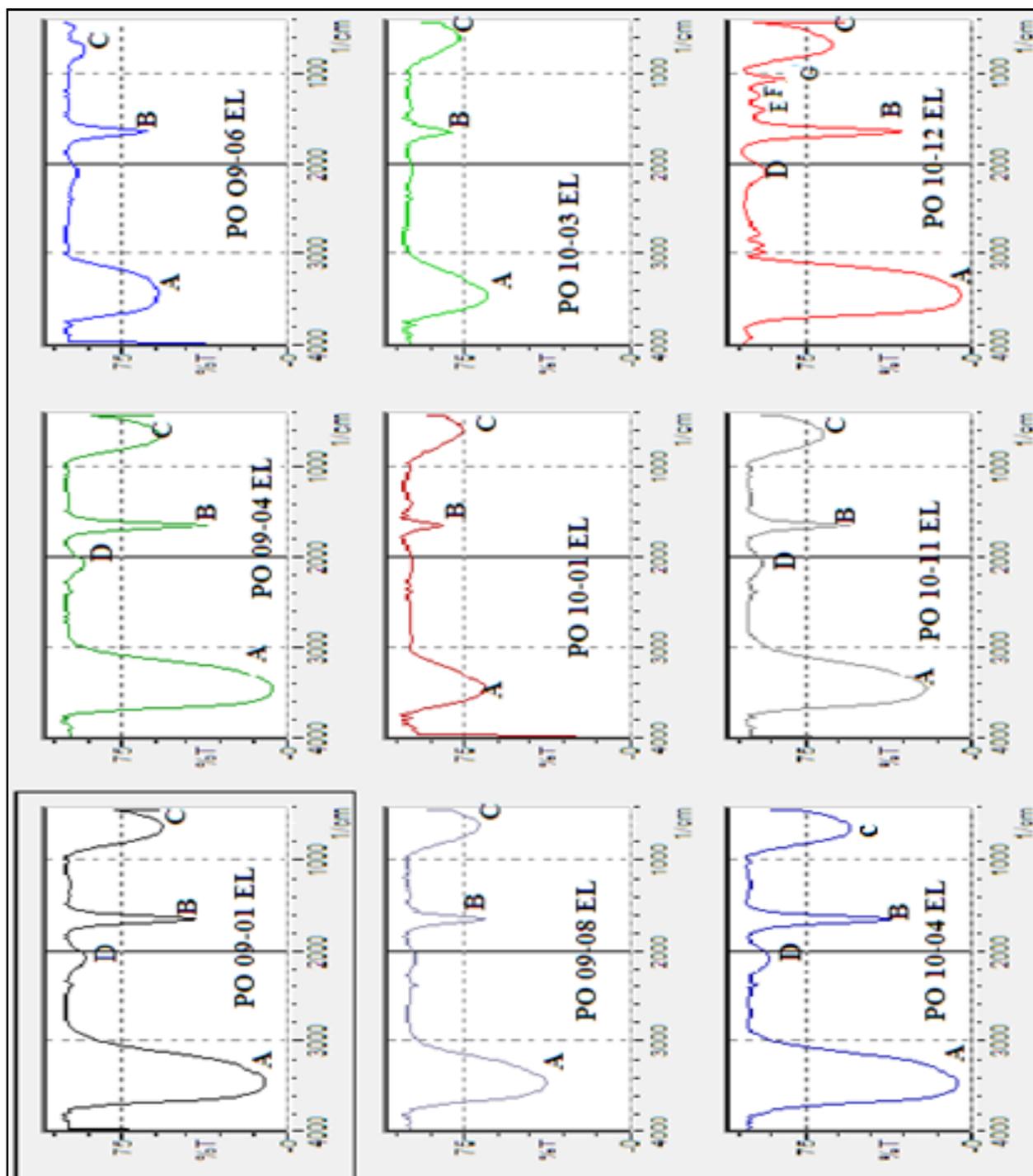


Figure : IV.6:Spectre IR de la phase liquide de l'eau souterraine

Les spectres infrarouges de la phase liquide détectent des vibrations et des caractéristiques des liaisons suivantes : A : O-H B : C=C C : C≡C-H D : C≡C E-F : CH₂ et CH₃ G: C-O

La liaison O-H, présente dans les alcools, les acides carboxyliques et les phénols donne une bande large vers 3500 cm⁻¹.

De même la liaison triple $C\equiv C$ non symétrique, présente dans les alcynes, absorbe vers 2150 cm^{-1} . La liaison double $C=O$ du groupement carbonyle donne une bande fine vers 1700 cm^{-1} pour les aldéhydes, les cétones et les esters, vers 800 cm^{-1} et au-delà pour les chlorures d'acide et les anhydrides.

Les liaisons doubles $C=C$ dans les cycles aromatiques et les alcènes non symétriques (groupe vinyle) donnent des bandes fines vers 1600 cm^{-1} .

La liaison simple $C-O$ présente dans les esters, les époxydes, les éthers et les alcools donne une bande fine entre 1000 cm^{-1} et 1300 cm^{-1} , difficilement identifiable avec certitude.

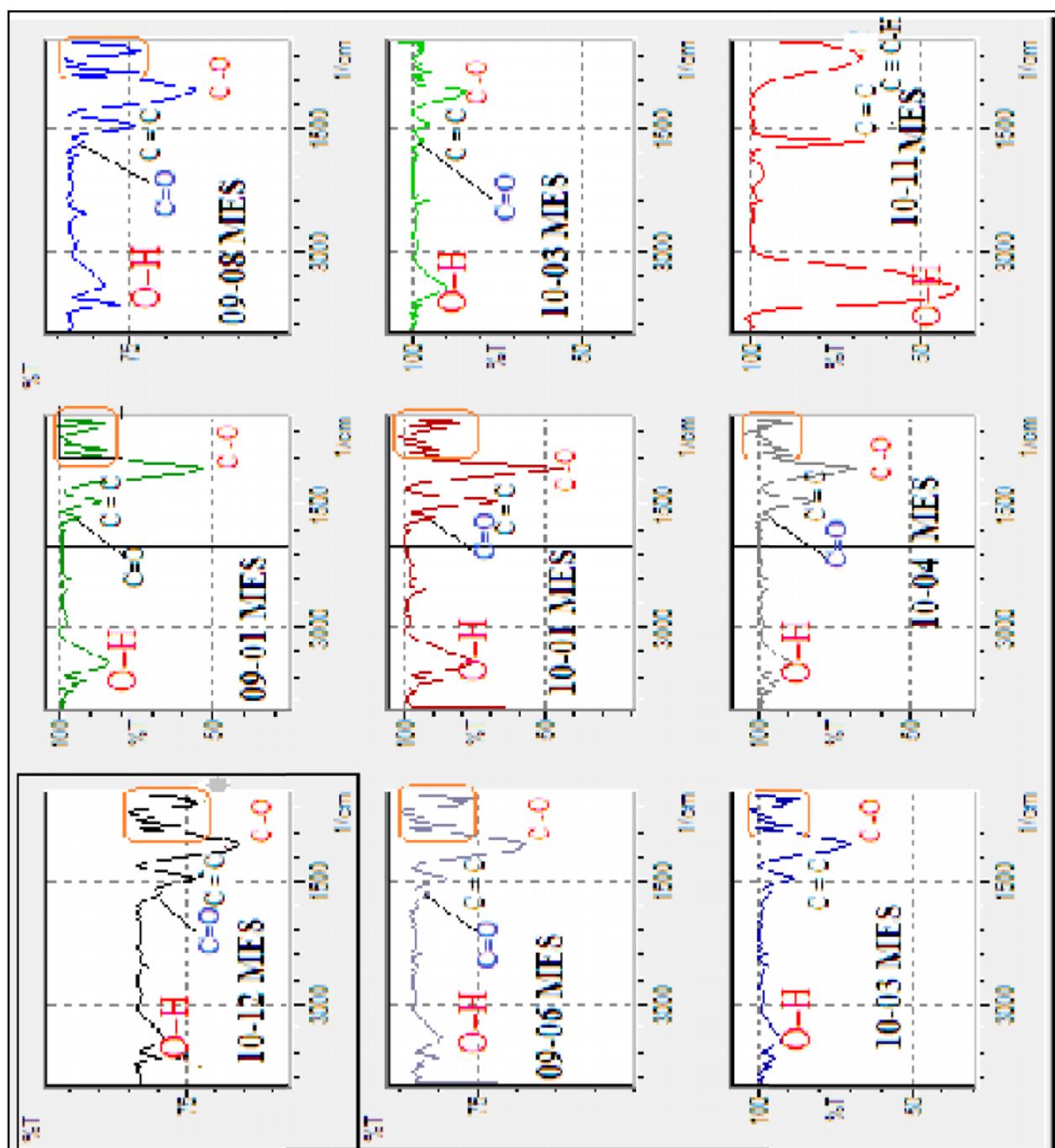


Figure .IV.7.Les Spectres IR de la phase solide sèche

Deux pics 1ere entre $750-850\text{ cm}^{-1}$ C = O et 2eme entre $500-600\text{ cm}^{-1}$ C-O

Spectre IR (figure IV .6.) de la matière en suspension séchée révèle l'existence de composés aromatiques polycycliques identifiés par une seule bande d'absorption à 1620 cm^{-1} (forte) des doubles liaisons C=C des cycles aromatiques de structures présentant une symétrie (cas du naphthalène). Entre $2500\text{ et }2000\text{ cm}^{-1}$, on montre qu'il existe une bande caractéristique de vibration de valence (faible à moyenne) des triples liaisons C≡C attestant de la présence d'alcynes.

IV.3. Etude de l'efficacité de traitement des eaux analysées par filtration sur sable et adsorption sur charbon actif

Dans le but d'améliorer la qualité des eaux souterraines du site étudié, nous avons opté pour deux types de traitements simples, il s'agit de la filtration sur sable et l'adsorption sur charbon actif en grain (CAG). Les deux matériaux sont disposés en lits dans des colonnes. L'efficacité de ces traitements est définie par analyse de paramètres physico-chimiques caractéristiques des eaux traitées. Ces paramètres ont déjà été déterminés dans la première étape de ce travail (voir tableau IV.1 paragraphe IV.1).

Nous avons procédé par variation de la quantité de sable dans l'intervalle allant de 20 à 80 grammes et de 2 à 8 grammes pour le CAG. Les résultats sont donnés dans ce qui suit, pour chaque paramètre.

IV.3.1. Effet sur la DCO

IV.3.1.1. Influence de la filtration sur sable et de l'adsorption sur CAG

La demande chimique en oxygène DCO est une indication sur les quantités de substances organiques chimiquement oxydables, présentes dans les l'eau. Les résultats donnés dans le tableau IV.4. et représentés sur les figure IV.8 et IV.9 Indiquent les variations de la DCO des différents échantillons d'eau étudiés, en fonction de la quantité de sable et de CAG utilisée, pour le traitement.

Ces résultats nous mènent à tirer les conclusions suivantes :

- Les valeurs de la DCO des eaux souterraines traité par filtration sur sable varient en fonction de la masse de sable utilisée et sont fonctions de la DCO de l'échantillon avant traitement ;
- L'augmentation de la quantité de sable n'engendre pas une augmentation proportionnelle de l'efficacité du traitement ;
- Après traitement, la quasi-totalité des valeurs de la DCO se réduisent à des valeurs inférieures à la valeur des normes Algériennes relative à la limite tolérée pour la DCO des eaux potables.
- Une exception est enregistrée pour le puits 10-03 ou la valeur de la DCO reste supérieure à la norme et ceci est bien justifié par la valeur très élevée de la DCO (avant traitement) pour cet échantillon.

Nous pouvons donc dire qu'une simple filtration sur sable avec une quantité moyenne d'environ 60 g/100 ml, permet amélioration satisfaisante de la qualité des eaux étudiées.

- Le traitement sur CAG améliore encore plus la qualité des eaux traitées. Malheureusement, la valeur de la DCO de l'échantillon 10.03 reste encore élevée et dépasse largement la limite tolérée.

Pour expliquer ce résultat, nous avons suspecté un problème relatif à la méthode d'analyse DCO qui est relative à une forte concentration en chlorure qui engendre un mauvais résultat de ce paramètre.

Tableau .IV.4 : variation de la DCO en fonction de la masse de sable

	09.01	09.04	09.06	09.08	10.01	10.03	10.04	10.11	10.12
DCO (mg/L) avant traitement	102	104	166	115	115	3187	104	166	173
Norme DCO (mg/L)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
DCO (mg/L) après traitement avec 20 g	86	38	58		58	326	58	58	134
DCO (mg/L) après traitement avec 40 g	77	-	-	58	38	318	38	38	96
DCO (mg/L) après traitement avec 60 g	58	38	38	-	-	307	38	19	96
DCO (mg/L) après traitement avec 80 g	58	29	19	38	48	307	28	-	58

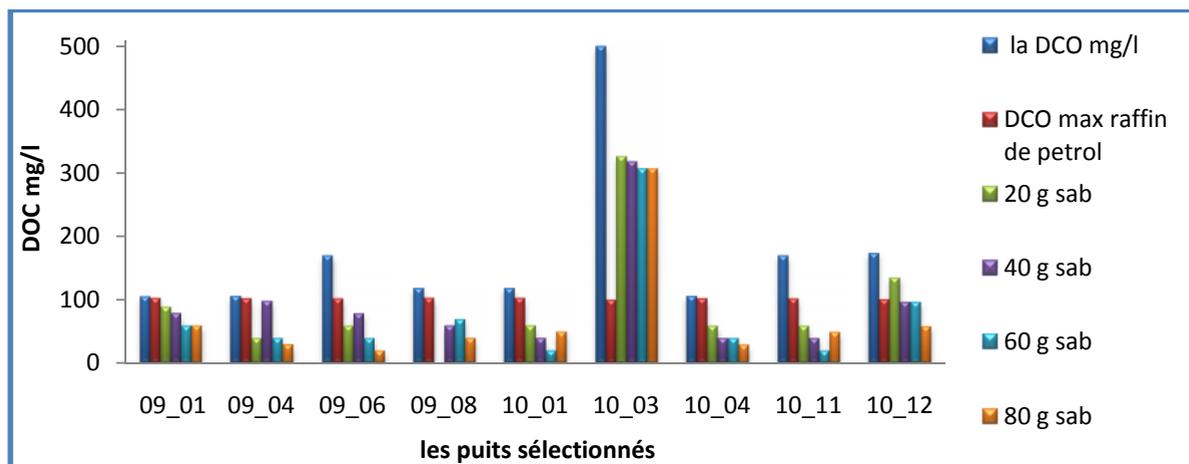


Figure. IV.8 : Représentation des variations de la DCO en fonction de la masse de sable, pour les différents échantillons

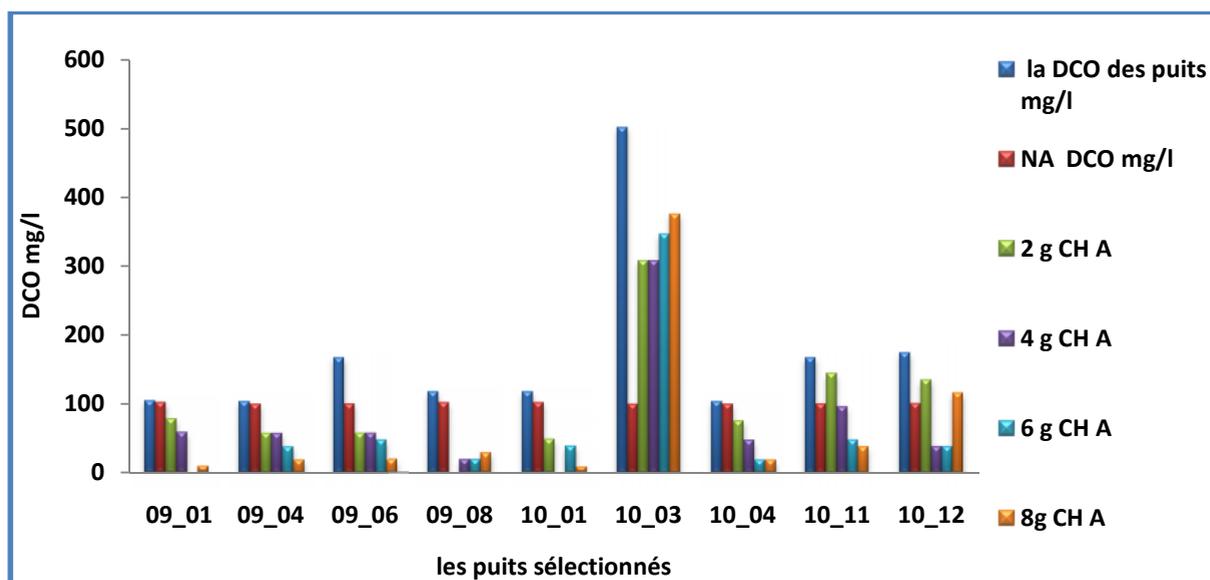


Figure. IV.9: Représentation de la variation de la DCO en fonction de la masse de CAG

IV. 3.1.2 Efficacité de la filtration sur sable et sur charbon actif

Nous avons calculé l'efficacité du traitement par filtration sur sable et sur CAG en utilisant la formule donnée comme suit :

$$\text{Efficacité (\%)} = ((\text{DCO initiale} - \text{DCO après traitement}) / \text{DCO initiale}) \times 100.$$

Les résultats sont représentés sur les figures IV.10. et IV.11

Nous constatons que l'efficacité des traitements varie en fonction de la masse du matériau utilisé, mais beaucoup plus en fonction de la qualité initiale de l'eau traitée. Les rendements obtenus (allant de 13% jusqu'à 93%), sont très satisfaisant et répondent largement à la qualité de l'eau recherchée.

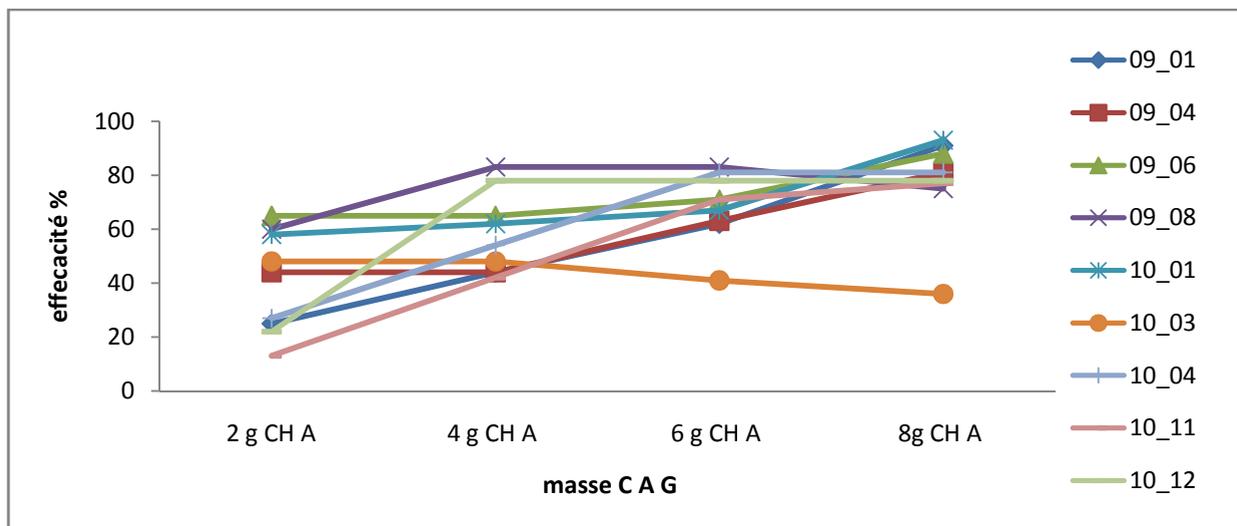


Figure. IV. 10 : les courbes d'efficacité de l'adsorption par charbon actif sur la DCO

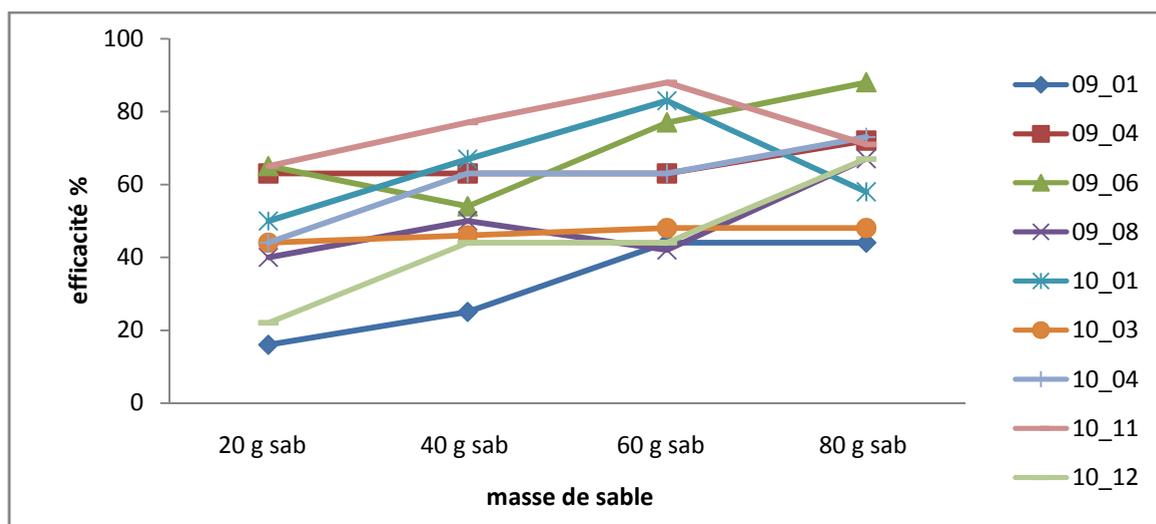


Figure. IV.11: les courbes d'efficacité de la filtration par sable sur la DCO

IV.3.2. La conductivité

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau ou chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique.

Les valeurs de la conductivité dans les puits sélectionnés sont élevées et varient entre 1,66 et 35,4 mS/cm. Toutes ces valeurs dépassent les normes algériennes relatives à la conductivité des eaux souterraines et qui est limitée à 2,8 mS/cm.

Les variations de la conductivité en fonction des masses de sable et de CAG utilisées pour les traitements sont représentées sur les figures IV. 12 et IV.13, respectivement.

Nous constatons que ces traitements sont inefficaces pour l'élimination des ions se trouvant dans les eaux étudiées. Cela nous paraît justifier du fait que ces techniques ne sont pas destinées à l'élimination des ions minéraux en particulier.

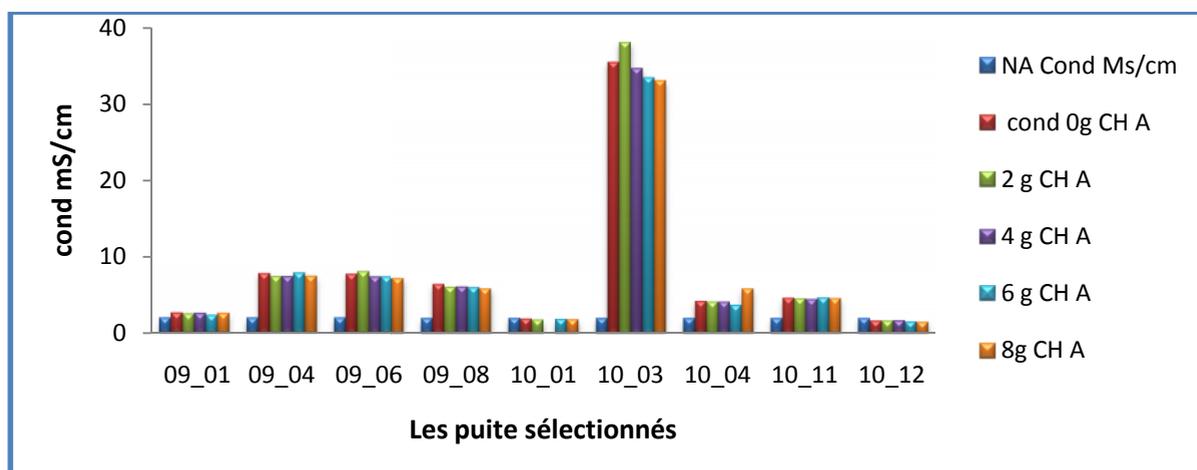


Figure. IV.12 : influence de la filtration sur sable sur la conductivité

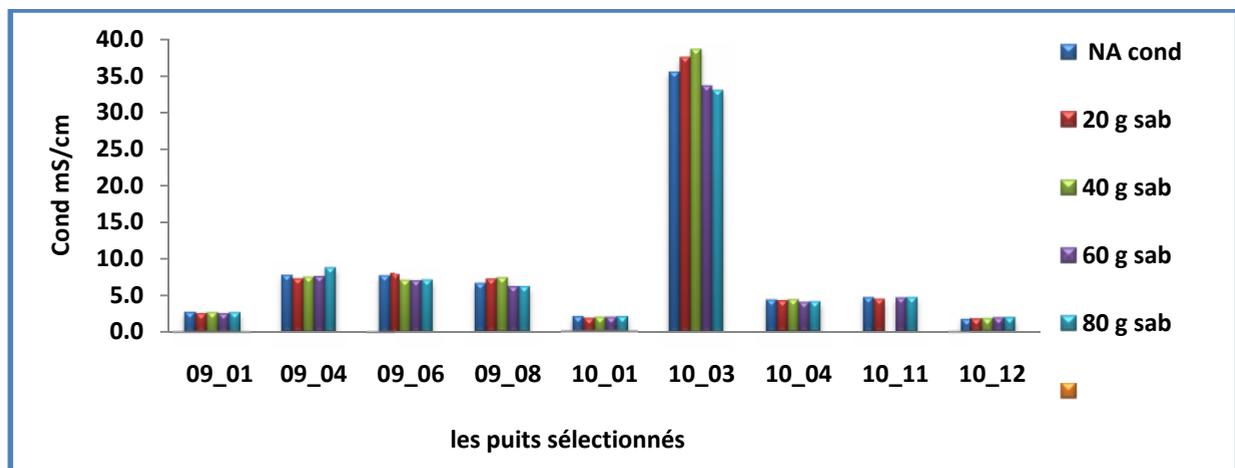


Figure. IV.13: influence de la filtration sur sable sur la conductivité

IV.3.3. Influence du la filtration sur sable et CAG sur la turbidité

La turbidité est causée par la présence de matière en suspension ou par des substances colloïdales (minérales et/ou organiques) qui forment un obstacle au passage de la lumière à travers l'eau.

Les figures IV.16 et IV.15 donnent les variations de la turbidité des eaux traitées par filtration sur sable et sur CAG.

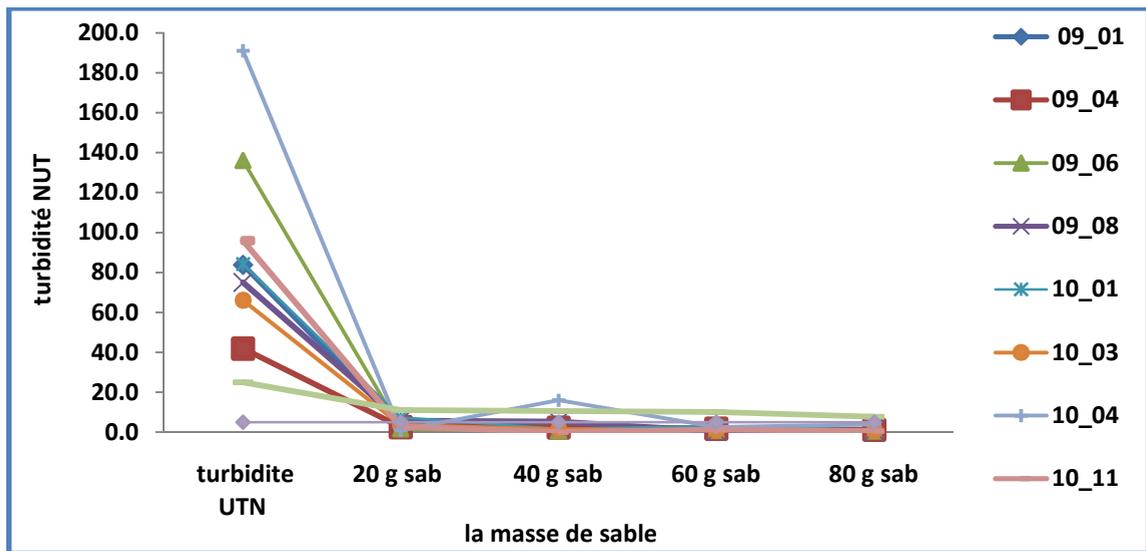


Figure IV.14 : Variation de la turbidité en fonction de la masse de sable

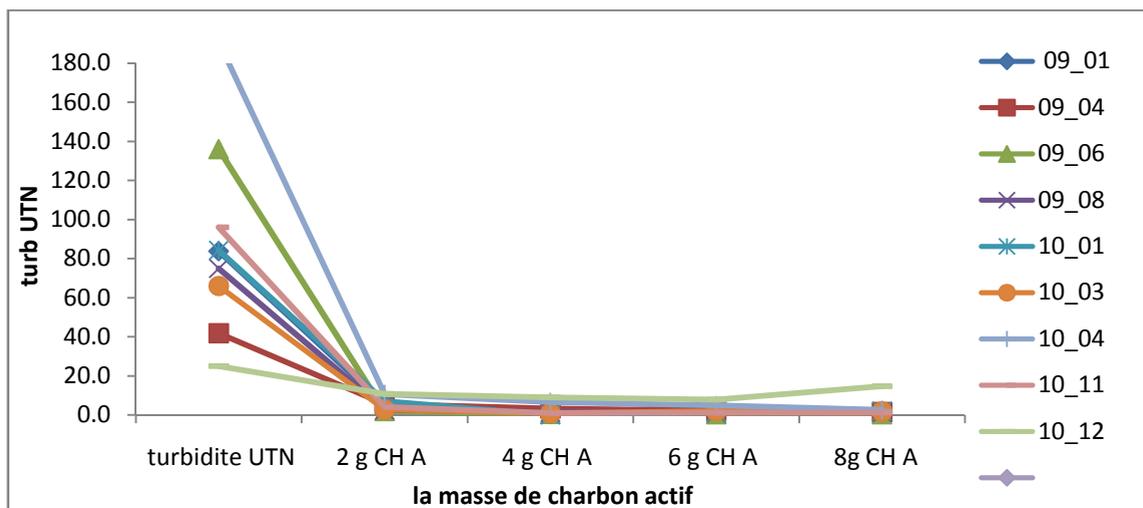


Figure IV.15. Variation de la turbidité en fonction de la masse charbon

Les valeurs obtenues après la filtration (< 5) sont inférieures à celles exigées par les normes algériennes, OMS et CEE sauf pour le puits (10-12) qui est resté supérieure à l'intervalle des normes.

Les figures IV.16 et IV.17 montrent bien que la filtration sur sable et sur CAG est très efficace pour l'élimination des matières responsables de la turbidité des eaux étudiées. Des rendements dépassant 90% sont enregistrés. Cette efficacité est bien évidemment fonction des masses des matériaux utilisés.

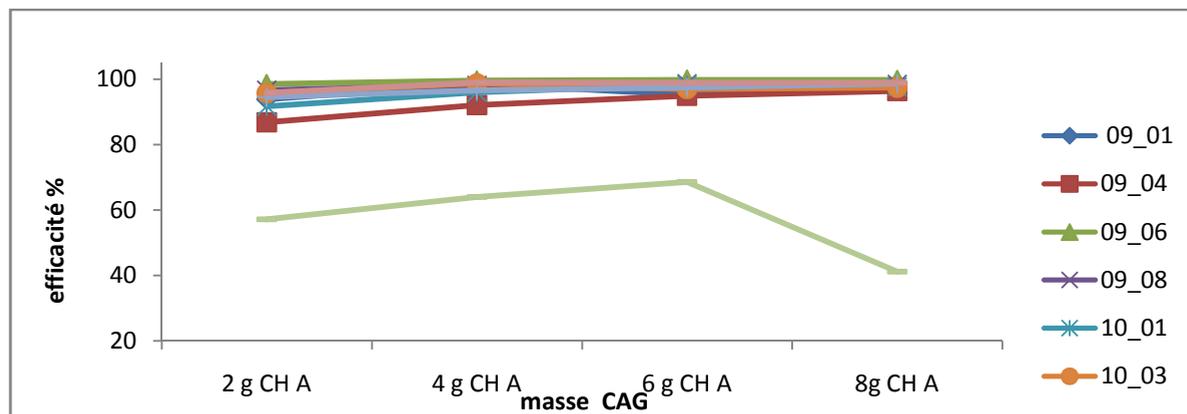


Figure. IV.16. Représentation de l'évolution de l'efficacité de l'adsorption sur CAG sur la turbidité

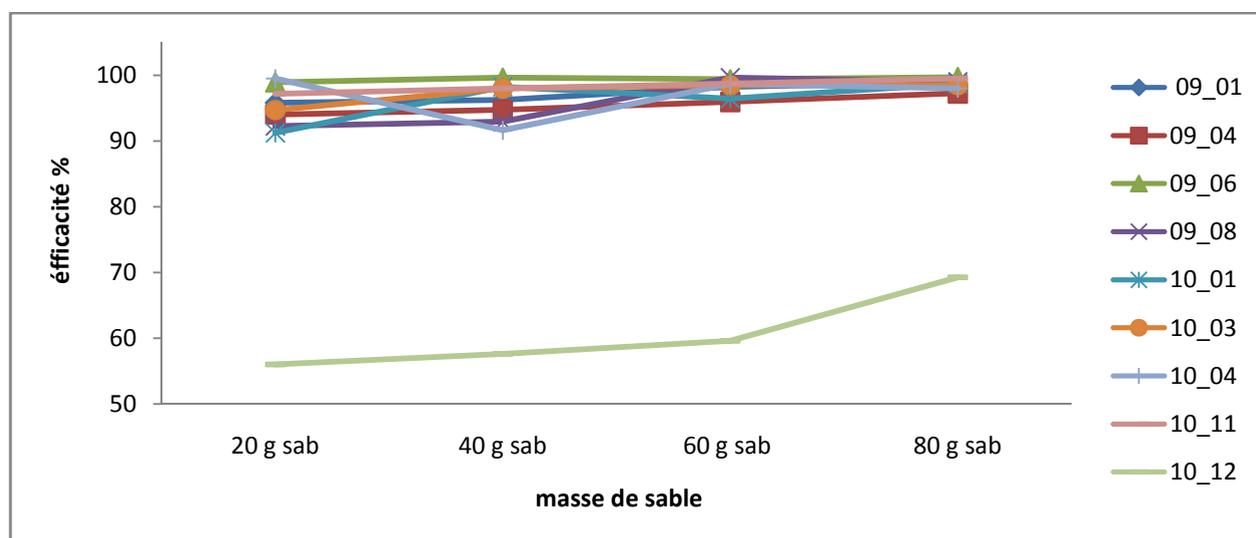


Figure .IV.17. Représentation de l'évolution de l'efficacité de l'adsorption sur sable sur la turbidité

IV.3.4. Effet de la filtration sur le sable et CAG sur le pH

Le pH est l'un des facteurs plus important qui influe sur la réactivité des métaux dans les eaux. Les résultats de mesure des pH des eaux étudiées (avant et après traitement) sont consignés dans le tableau IV.5

Les pH des eaux souterraines analysées sont devenus légèrement basiques après traitement, cela peut être attribué à une libération de base faible du sable utilisé et aussi suite à

un début de décomposition de la matière organique, due à la durée de conservation des échantillons.

Tableau. IV.5 : Variation du pH en fonction de la masse de sable ou de CAG utilisée pour le traitement

Echantillon	09_01	09_04	09_06	09_08	10_01	10_03	10_04	10_11	10_12
PH EB	6,66	7,31	6,75	6,41	6,55	6,49	6,58	6,69	6,61
2 g CH A	8,37	8,42	9,13	8,42	8,64	8,49	8,64	8,54	8,57
4 g CH A	8,81	8,59	9,13	8,59	8,75	8,65	8,77	8,79	8,65
6 g CH A	8,86	8,73	9,13	8,52	8,85	8,58	8,59	8,78	8,88
8g CH A	8,90	8,82	9,13	8,51	8,90	8,54		8,82	9,04
20 g sab	8,10	8,05	8,87	7,88	8,16	8,22	8,22	8,26	8,11
40 g sab	7,90	8,10	8,76	7,90	8,20	8,21	8,06		8,16
60 g sab	8,12	8,45	8,68	8,18	8,85	8,22	8,08	8,31	8,04
80 g sab	8,23	8,52	8,52	8,32	8,39	8,17	7,90	8,46	8,23

IV.5 Influence de la filtration sur sable et CAG sur les concentrations en métaux lourds

Les résultats relatifs à l'évolution des concentrations des différents métaux lourds en fonction des masses de sable et de CAG, sont donnés dans les tableaux IV5.

Les concentrations des métaux lourds restent presque inchangées, après traitement sur le sable ou le CAG, cela confirme bien que ces techniques sont inefficaces pour l'élimination des métaux lourds contenus dans les eaux, surtout pour les faibles concentrations, comme le cas de l'eau étudiée dans ce travail

Tableau .IV.6 : Influence de la filtration sur sable et l’adsorption par charbon actif sur la concentration de Nickel

Ni	09_01	09_04	09_06	09_08	10_01	10_03	10_04	10_11	10_12
20 g sab	0,117	0,000	0,024	0,000	0,000	0,008	0,104	0,106	0,108
40 g sab	0,105	0,010	0,002	0,025	0,000	0,000	0,099	0,000	0,128
60 g sab	0,112	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,114	0,101	0,117
80g sab	0,104	0,000	0,000	0,016	0,005	0,007	0,117	0,108	0,110
2 g char	0,108	0,008	0,035	0,000	0,008	0,009	0,134	0,102	0,105
4 g char	0,113	0,000	0,010	0,000	0,000	0,002	0,093	0,110	0,111
6g char	0,097	0,002	0,002	0,003	0,000	0,000	0,113	0,000	0,103
8g char	0,110	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,224	0,114	0,102
E N F	0,015	0,070	0,078	0,058	0,032	0,033	0,070	0,034	0,032
NA	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010

Tableau .IV.7 : Efficacités de la filtration sur sable et l’adsorption par charbon actif sur la concentration de Nickel.

Ni	09_01	09_04	09_06	09_08	10_01	10_03	10_04	10_11	10_12
20 g sab	_664	100	69	100	100	77	_48	_213	_238
40 g sab	_586	86	97	57	100	100	_41	100	_303
60 g sab	_629	73	100	100	100	100	_63	_197	_269
80g sab	_579	100	100	72	83	80	_67	_216	_245
2 g char	_600	89	55	100	76	73	_91	_200	_231
4 g char	_636	100	87	100	100	93	_33	_223	_248
6g char	_529	97	97	94	100	100	_61	100	_224
8g char	_614	100	100	100	100	100	_219	_235	_221

Tableau .IV.8: Influence de la filtration sur sable et l'adsorption par charbon actif sur la concentration de plomb

Pb	09_01	09_04	09_06	09_08	10_01	10_03	10_04	10_11	10_12
E N F	0,249	0,374	0,366	0,258	0,457	ND	0,432	0,249	ND
20 g sab	0,699	ND	ND	ID	0,441	ID	ID	0,441	ID
40 g sab	0,374	ND	ID	ID	0,008	ID	ID	0,274	ID
60 g sab	0,308	ND	ID	0,216	0,574	ID	ID	0,574	ID
80g sab	ND	ND	ID	ID	0,491	ID	DI	0,241	ID
2 g char	0,649	ND	ID	ID	0,466	ID	ID	0,466	ID
4 g char	0,557	0,033	ID	ID	ID	ID	ID	0,657	ID
6g char	0,649	ID	ID	ID	ID	ID	ID	0,674	ID
8g char	0,258	ID	ID	ID	0,017	ID	ID	0,682	ID
NA	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055

Tableau .IV.9 : Influence de la filtration sur sable et l'adsorption par charbon actif sur la concentration de Cadmium

Cd	9_01	9_04	9_06	9_08	10_01	10_03	10_04	10_11	10_12
20 g sab	0,040	0,003	0,006	ND	ND	ID	0,034	ND	ND
40 g sab	0,029	0,002	0,019	0,025	0,006	ND	0,023	ND	ND
60 g sab	0,025	0,012	0,017	0,022	0,028	ID	0,035	0,035	ID
80g sab	0,023	0,017	0,001	0,038	ND	ID	0,027	0,027	ID
2 g char	0,032	0,036	0,028	0,019	0,013	ID	ND	0,031	ID
4 g char	0,028	0,030	0,021	ND	ND	ID	0,035	0,020	ID
6g char	0,030	0,008	0,016	0,024	0,024	ID	0,039	ND	ND
8g char	0,022	0,012	0,014	0,004	ND	ND	0,032	0,034	ID
E N F	0,022	0,019	0,020	0,019	0,017	ID	0,016	0,020	ID
NA	0,010								

Tableau .IV.10: Efficacités de la filtration sur sable et l’adsorption par charbon actif sur la concentration de Cadmium

Cd	9_01	9_04	9_06	9_08	10_01	10_03	10_04	10_11	10_12
20 g sab	- 82	84	70			68	- 113		
40 g sab	- 32	89	5	- 32	65		- 44		
60 g sab	- 14	37	15	- 16	- 65	100	- 119	- 75	- 67
80g sab	- 5	11	95	- 100		-	- 69	- 35	- 29
2 g char	- 45	- 89	- 40	-	24	- 10		- 55	- 48
4 g char	- 27	- 58	- 5			- 19	- 119	-	5
6g char	- 36	58	20	- 26	- 41	58	- 144		
8g char	-	37	30	79			- 100	- 70	- 62

Tableau .IV.11: Influence de la filtration sur sable et l’adsorption par charbon actif sur la concentration de Zinc

Zn	09_01	09_04	09_06	09_08	10_01	10_03	10_04	10_11	10_12
20 g sab	0,192	0,012	0,044	0,000	0,013	0,379	0,197	0,000	0,201
40 g sab	0,202	0,063	0,076	0,059	0,082	0,019	0,193	0,000	0,193
60 g sab	0,190	0,505	0,012	0,012	0,000	0,016	0,170	0,195	0,189
80g sab	0,197	0,037	0,000	0,174	0,098	0,265	0,167	0,202	0,189
2 g char	0,199	0,060	0,028	0,021	0,035	0,135	0,194	0,265	0,201
4 g char	0,192	0,694	0,066	0,033	0,000	0,008	0,000	0,197	0,186
6g char	0,187	0,007	0,220	0,033	0,013	0,011	0,186	0,000	0,000
8g char	0,191	0,101	0,121	0,011	0,012	0,751	0,574	0,218	0,188
nappe	0,362	0,281	0,394	0,245	0,358	0,270	0,275	0,213	0,114
N A	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000

Tableau .IV.12 : Efficacités de la filtration sur sable et l’adsorption par charbon actif sur la concentration de Zinc

Zn	09_01	09_04	09_06	09_08	10_01	10_03	10_04	10_11	10_12
20 g sab	47	96	89		96	-40	28		-76
40 g sab	44	78	81	76	77	93	30		-69
60 g sab	48	-80	97	95		94	38	8	-66
80g sab	46	87		29	73	2	39	5	-66
2 g char	45	79	93	91	90	50	29	-24	-76
4 g char	47	-147	83	87		97		8	-63
6g char	48	98	44	87	96	96	32		
8g char	47	64	69	96	97	-178	-109	-2	-65

Tableau .IV.13 : Influence de la filtration sur sable et l'adsorption par charbon actif sur la concentration de Cuivre

Cu	09_01	09_04	09_06	09_08	10_01	10_03	10_04	10_11	10_12
E N F	0,285	0,474	0,648	0,063	0,822	0,869	0,174	0,427	0,648
20 g sab	0,037	0,234	0,224	0,000	0,264	0,262	0,018	0,027	0,007
40 g sab	0,021	0,262	0,228	0,259	0,253	0,271	0,031	0,000	0,007
60 g sab	0,011	0,226	0,257	0,211	0,199	0,267	0,024	0,000	0,000
80 g sab	0,030	0,222	0,000	0,247	0,236	0,267	0,034	0,030	0,000
2 g char	0,019	0,259	0,268	0,225	0,260	0,208	0,000	0,015	0,008
4 g char	0,039	0,242	0,229	0,260	0,000	0,230	0,016	0,027	0,000
6 g char	0,021	0,221	0,218	0,234	0,205	0,212	0,017	0,229	0,017
8 g char	0,000	0,262	0,231	0,269	0,247	0,265	0,053	0,098	0,019
NA	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500

Tableau .IV.14 : Efficacités de la filtration sur sable et l'adsorption par charbon actif sur la Concentration de Cuivre

Cu	09_01	09_04	09_06	09_08	10_01	10_03	10_04	10_11	10_12
20 g sab	87	51	65	100	68	70	90	94	99
40 g sab	93	45	65	59	69	69	82	100	99
60 g sab	96	52	60	67	76	69	86	100	100
80 g sab	89	53	100	61	71	69	80	93	100
2 g char	93	45	59	64	68	76	100	96	99
4 g char	86	49	65	59	100	74	91	94	100
6 g char	93	53	66	63	75	76	90	46	97
8 g char	100	45	64	57	70	70	70	77	97

Conclusion Générale

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité des eaux souterraines du site de stockage de pétrole (RTC - TM) situé du côté du port de la ville de Béjaia. Des essais simples de traitement par filtration sur sable et sur charbon actif sont explorés pour l'amélioration de la qualité de ces eaux.

Notre étude a été divisée en trois parties :

- La première partie a été dédiée au diagnostic préliminaire sur le site (historique du site).
- La deuxième partie a été consacrée au diagnostic approfondi qui a concerné le choix des points de prélèvement sur site, la méthode de prélèvement des échantillons ainsi que les conditions de leurs transports et leurs conservations, suivi par l'étape de l'évaluation du degré de contamination de ces eaux souterraines.
- La troisième partie a été réservée à l'évaluation de l'efficacité des traitements par filtration sur sable et sur charbon actif en grain (CAG).

Les résultats obtenus ont permis de :

- Donner, dans une première étape, une appréciation de la qualité des eaux souterraines étudiées, en utilisant différentes méthodes physico-chimiques d'analyse (DCO, SAA, DRX, MEB et IR), et nous pouvons retenir que :
 - La contamination des eaux souterraines en matières organiques (hydrocarbures) et minérale (métaux lourds), varie d'un endroit à un autre.
 - Les analyses par DRX et SAA ont prouvé la présence des métaux lourds ; Ni, Zn, Cu, dans tous les échantillons, l'existence des traces de métaux toxiques Pb et Cd dans certains puits et l'absence du Cr.
 - L'analyse par MEB-EDX pour les échantillons (10-03 et 10-12) a confirmé la présence des métaux lourds détectés par les méthodes DRX et SAA.
 - Les analyses par la méthode infrarouge ont confirmé la présence d'hydrocarbures pour les différents échantillons sous la forme liquide et/ou solide.

Conclusion générale

- Les valeurs des paramètres : DCO, MES, MESV, turbidité et conductivité ont réaffirmé la détérioration relative de la qualité de ces eaux.
- d'évaluer, dans une deuxième étape, l'efficacité des traitements par filtration sur sable et sur CAG. Les résultats obtenus ont montré que :
- L'efficacité de la filtration sur sable est relativement liée à la quantité de sable (20g, 40g, 60g et 80g) utilisée, mais cette opération n'est efficace que pour l'abattement de la turbidité.
 - L'efficacité du traitement est fonction de l'augmentation de la masse du charbon actif utilisé (2g, 4g, 6g et 8g) et des valeurs acceptables ont été atteintes pour les différents paramètres analysés. Le traitement par charbon actif est particulièrement indiqué pour l'élimination des matières organiques et des hydrocarbures, en particulier.

A la fin de ce travail, nous espérons avoir pu donner quelques indices sur la qualité des eaux souterraines du site de stockage de pétrole (RTC) de Béjaia. Cette étude n'est qu'une simple piste d'investigation pour un projet futur qui s'intéressera à la généralisation du diagnostic, en prenant en considération d'autres points de prélèvement afin de pouvoir proposer des procédés de traitement réellement adaptés.

Références bibliographiques



Références bibliographiques

- [1] : MEROUANI Mahdi et BOUGUEDAH A/Baki (Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité à la pollution des eaux Souterraines de la cuvette d'Ouargla) mémoire MASTER UNIVERSITE KASDI MARBAH OUARGLA 2013.
- [2] : Adrienne YRA thèse doctorat (Dispersion active en milieux poreux hétérogènes contaminés par des produits hydrocarbonés) UNIVERSITE BORDEAUX I 2006
- [3] : Dr. CRILLES Olive. 'Chimie industrielle Tome2-L'eau'. 2008. p48
- [4] : M. Goudjil et S. Bencheikh h « La pollution minérale et organique des eaux souterraines de la cuvette d'Ouargla Sud-Est Algérien, mémoire Master en Génie de l'environnement Université Kasdi Merbah Ouargla, 2011.P 2-29.
- [5] : M. LAOUAR. 'Etude du comportement des polluants dans les eaux souterraines (cas des eaux potables) de la région de Ouargla sud est algérien', mémoire master Génie de l'environnement Université Kasdi Merbah Ouargla 2012.p8-13
- [6] : MEROUANI Mahdi et BOUGUEDAH Abdel Baki « Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité à la pollution des eaux Souterraines de la cuvette de Ouargla 2013 »
- [7]: RAPPORT D'ETUDE N°66244-DESP-R01, Guide méthodologique, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
- [8] : glossaire du portail (sites et sols pollués) du MEEDA)
- [9] Mr. FATIH. BOUCENNA cartographie par les différentes méthodes de Vulnérabilité a la 2008/2009
- [11] Rapport annuel HSE de Sonatrach pour l'année 2008
- [12]: D.E .E.S.S qualité et gestion de l'eau (pollution et dépollution des nappes souterraines)
- WWW.u-pecardie.fr/beau_champ/cours.qge
- [14] : guide pratique Echantillonnage des eaux souterraines (office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage OFEFP)
- [15] : SKOOG.HOLLER.NIEMAN, Livre, Principe d'analyse instrumentale, Edition: Boeck, 1997.
- [16]: S. BOUCHARD, livre, Traitement du minerai : Flottation – Méthode physique, Ed. Le Griffon d'argile, pp 206 – 230, 2001.
- [17]: F. ROUESSAC, A. ROUESSAC, D. CRUCHE, Livre, Analyse chimique, Méthodes

Et techniques instrumentales modernes, Edition DUNOD, 2004.

[18] : P. KAMOOUN, Livre, Méthode d'analyses, Edition : Flammarion, 1993.

[19] : quelles techniques pour quels traitement analyse couts et bénéfices (rapport final BRGM /RP 58609 .FR juin 2010.

[20]: D. SAMAKE, Thèse de doctorat, Traitement des eaux usées de tannerie à l'aide de matériaux à base d'argile, Université Josèphe Fourier de Grenoble et de l'université de Bamako, 2009.

[21] : Abdellatif HAKMI « Traitement de l'eau de source Bousfer ORAN », Université des Sciences et de la Technologie Oran - Licence 2006

[22]: CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, Détermination de la conductivité: méthode électrométrique, MA. 115 – Cond. 1.0, Rév. 4, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2010, 8 p.

[23] : CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, Détermination des solides en suspension totaux et volatils dans l'eau : méthode gravimétrique, MA. 104 – S.S. 1.1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2008, 10 p.

[24]: La 21^e Edition de « Standard Methods for the évaluation of water and wastewater ».

[28]: G.H JEFFERY, J. BASSET, J.MENDHAM, R.C.DENNEY; "NEW EDITION VOGEL'S TEXTBOOK OF QUANTITATIVE CHEMICAL ANALYSIS FIFTH EDITION",

[26] : Jean RODIER, Bernard LEGUBE, Nicole MERLET et coll. L'Analyse de l'eau 9^e édition.

[27] : ATTAB Sarah Mémoire de MAGISTER Biologie amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration HAOUUD BERKAOUI par l'utilisation d'un filtre à sable locale université KASDI MERBAH-OUARGLA.

[28] : technique de l'ingénieur

[29] : J. FAERBER, livre, Microscopie électronique à balayage, Microanalyse X par sonde électronique, IPCMS (Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg), 2004.

[30]: P. KAMOOUN, Livre, Méthode d'analyses, Edition: Flammarion, 1993.

Annexes

Annexes

Annexe N°01 :

CONSERVATION DES ECHANTILLONS

Caractéristique ou élément analysé	Réceptier	Conservation	Volume min du prélèvement (ml)	T° de conservation (°C)	Temps de conservation
Ammonium	P ou V	Acide sulfurique (q.s.p pH<2)	200	4	48h (obscurité)
Chlorures	P ou V	-	100	-	1 mois
Conductivité	P ou V	Mesure in situ de préférence	100	4	24h (obscurité)
Fer, Cadmium, Chrome, Cuivre, Manganèse, Plomb, Zinc	P ou V	Acide nitrique (q.s.p. pH<2)	100à500	-	1 mois
Nitrate	P ou V	-	250	4	24h (obscurité)
Nitrite	P ou V	-	200	4	24h (obscurité)
pH	P ou V	Mesure in situ de préférence	100	4	6h (obscurité)
Phosphates	P ou V	-	250	4	24h (obscurité)
Sulfates	P ou V	-	200	4	1 mois
Silice	P	-	50	4	7 jours
Baryum, Calcium, Sodium, Maenésium, Potassium	P	-	-	-	-
Durté (TH)	P ou V	Acide Nitrique (q.s.p PH<2)	100	-	1 mois

P : Polyéthylène

V : Verre

*Source : l'Analyse de l'eau, J.Rodier Bernard Legube, Nicole Merlet et coll ,
9. édition 2009*

ANNEXES 2

27 Rabie El Aouel 1427
26 avril 2006

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 27

11

ANNEXE II
CARACTERISTIQUES DE QUALITE DES EAUX DE SOURCE

CARACTERISTIQUES	UNITE	CONCENTRATIONS
1. - Caractéristiques organoleptiques :		
Couleur	Mg/l de platine (en référence à l'échelle platine/cobalt)	au maximum 25
Odeur (seuil de perception à 25° C)	—	au maximum 4
Saveur (seuil de perception à 25° C)	—	au maximum 4
Turbidité	Unité JACKSON	au minimum 2
2. - Caractéristiques physico-chimiques liées à la structure naturelle de l'eau		
PH	Unité PII	6,5 à 8,5
Conductivité (à 20° C)	µs/cm	au maximum 2.800
Dureté	Mg/l de Ca CO ₃	100 à 500
Chlorures	Mg/l (Cl)	200 à 500
Sulfates	Mg/l (SO ₄)	200 à 400
Calcium	Mg/l (Ca)	75 à 200
Magnésium	Mg/l (Mg)	150
Sodium	Mg/l (Na)	200
Potassium	Mg/l (K)	20
Aluminium total	Mg/l	0,2
Oxydabilité au permanganate de potassium	Mg/l en oxygène	au maximum 3
Résidus secs après dessiccation à 180° C	mg/l	1.500 à 2.000
3. - Caractéristiques concernant les substances indésirables		
Nitrates	Mg/l de NO ₃	au maximum 50
Nitrites	Mg/l de NO ₂	au maximum 0,1
Ammonium	Mg/l de NH ₄	au maximum 0,5
Azote Kjeldahl	Mg/l en N ⁽¹⁾	au maximum 1
Fluor	Mg/l de F	0,2 à 2
Hydrogène sulfuré		Ne doit pas être décelable organoleptiquement
Fer	Mg/l (Fe)	au maximum 0,3
Manganèse	Mg/l (Mn)	au maximum 0,5
Cuivre	Mg/l (Cu)	au maximum 1,5
Zinc	Mg/l (Zn)	au maximum 5
Argent	Mg/l (Ag)	au maximum 0,05
4. - Caractéristiques concernant les substances toxiques		
Arsenic	Mg/l (As)	0,05
Cadmium	Mg/l (Cd)	0,01
Cyanure	Mg/l (Cn)	0,05
Chrome total	Mg/l (Cr)	0,05
Mercure	Mg/l (Hg)	0,001
Plomb	Mg/l (Pb)	0,055
Sélénium	Mg/l (Se)	0,01
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) :		
* Pour le total des 6 substances suivantes :	µ g/l	0,2
Fluoranthène,		
Benzo (3,4) fluoranthène		
Benzo (1,12) fluoranthène		
Benzo ((3,4) pyrène		
Benzo (1,12) pérylène		
indeno (1,2,3 cd) pyrène		
* Benzo (3,4) pyrène	µ g/l	0,01

(1) N de NO₃ et NO₂ exclus.

ANNEXES 2

6

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 26

24 Rabie El Aouel 1427
23 avril 2006

ANNEXE II

TOLERANCE A CERTAINES VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DE REJETS D'EFFLUENTS
LIQUIDES INDUSTRIELS SELON LES CATEGORIES D'INSTALLATIONS

2 - Industrie de l'Energie :

a - Raffinage de pétrole :

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

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

Annexes

Annexes 3

ANNEXE I VALEURS LIMITEES DES PARAMETRES DE REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS

N°	PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITEES	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITEES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
3	MES	mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	"	30	40
5	Phosphore total	"	10	15
6	DCO	"	120	130
7	DBO5	"	35	40
8	Aluminium	"	3	5
9	Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
10	Cyanures	"	0,1	0,15
11	Fluor et composés	"	15	20
12	Indice de phénols	"	0,3	0,5
13	Hydrocarbures totaux	"	10	15
14	Huiles et graisses	"	20	30
15	Cadmium	"	0,2	0,25
16	Cuivre total	"	0,5	1
17	Mercuré total	"	0,01	0,05
18	Plomb total	"	0,5	0,75
19	Chrome Total	"	0,5	0,75
20	Etain total	"	2	2,5
21	Manganèse	"	1	1,5
22	Nickel total	"	0,5	0,75
23	Zinc total	"	3	5
24	Fer	"	3	5
25	Composés organiques chlorés	"	5	7

PH : Potentiel d'hydrogène

DBO₅ : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours

DCO : Demande chimique en oxygène

MES : Matière en suspension

Annexes

Annexes 4

Normes de l'OMS sur l'eau potable

Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable.

Elément/ substance	Symbole/ formule	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH ₄ ⁺	< 0,2 mg/l (peut aller jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobie)	Pas de contraintes
Antimoine	Sb	< 4 µg/l	0.02 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l
Amiante			Pas de valeur guide
Baryum	Ba		0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide
Bore	B	< 1 mg/l	0.5mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺		2 mg/l
Cyanure	CN ⁻		0,07 mg/l
oxygène dissous	O ₂		Pas de valeur guide
Fluorure	F ⁻	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureté	mg/l CaCO ₃		200 ppm
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S		0.05 à 1 mg/L
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l
Mercure	Hg	< 0,5 µg/l	inorganique : 0,006 mg/l
Molybdène	Mb	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Nickel	Ni	< 0,02 mg/l	0,07 mg/l
Nitrate et nitrite	NO ₃ , NO ₂		50 et 3 mg/l (exposition à court terme) 0.2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité			Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
Sélénium	Se	<< 0,01 mg/l	0,01 mg/l

Annexes

Argent	Ag	5 – 50 µg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	< 20 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄		500 mg/l
Etain inorganique	Sn		Pas de valeur guide : peu toxique
TDS			Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
Uranium	U		0.015 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l

Normes de l'UE sur l'eau potable

**Directive du conseil 98/83/EC sur la qualité de l'eau attendue pour la consommation humaine.
Cette directive fut adoptée le 3 novembre 1998:**

Paramètres chimiques

Paramètres	Symbole/formule	Valeur paramétrique (mg/l)
Acrylamide	C ₃ H ₅ NO	0.0001
Antimoine	Sb	0.005
Arsenic	As	0.01
Benzène	C ₆ H ₆	0.001
Benzo(a)pyrène	C ₂₀ H ₁₂	0.00001
Bore	B	1
Brome	Br	0.01
Cadmium	Cd	0.005
Chrome	Cr	0.05
Cuivre	Cu	2.0
Cyanure	CN-	0.05
1,2-dichloroéthane	CH ₂ Cl-CH ₂ Cl	0.003
Epichlorhydrine	C ₃ H ₅ OCl	0.0001
Fluor	F	1.5
Plomb	Pb	0.01
Mercure	Hg	0.001
Nickel	Ni	0.02
Nitrate	NO ₃	50
Nitrite	NO ₂	0.50
Pesticides		0.0001
Pesticides - Totaux		0.0005
PAHs	C ₂ H ₃ N ₁ O ₅ P ₁ 3	0.0001
Sélénium	Se	0.01

Annexes

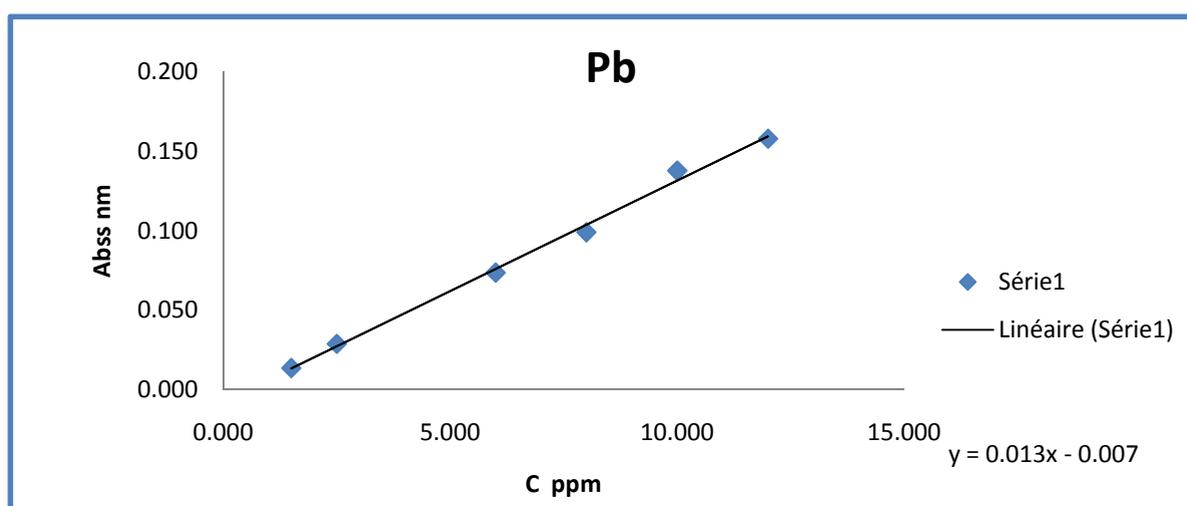
Tetrachloroéthène et trichloréthylène	C_2Cl_4/C_2HCl_3	0.01
Trihalométhanes - Totaux		0.1
Chlorure de vinyle	C_2H_3Cl	0.0005

Read more: <http://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-ue-eau-potable.htm#ixzz3d1rxTaqP>

Annexes

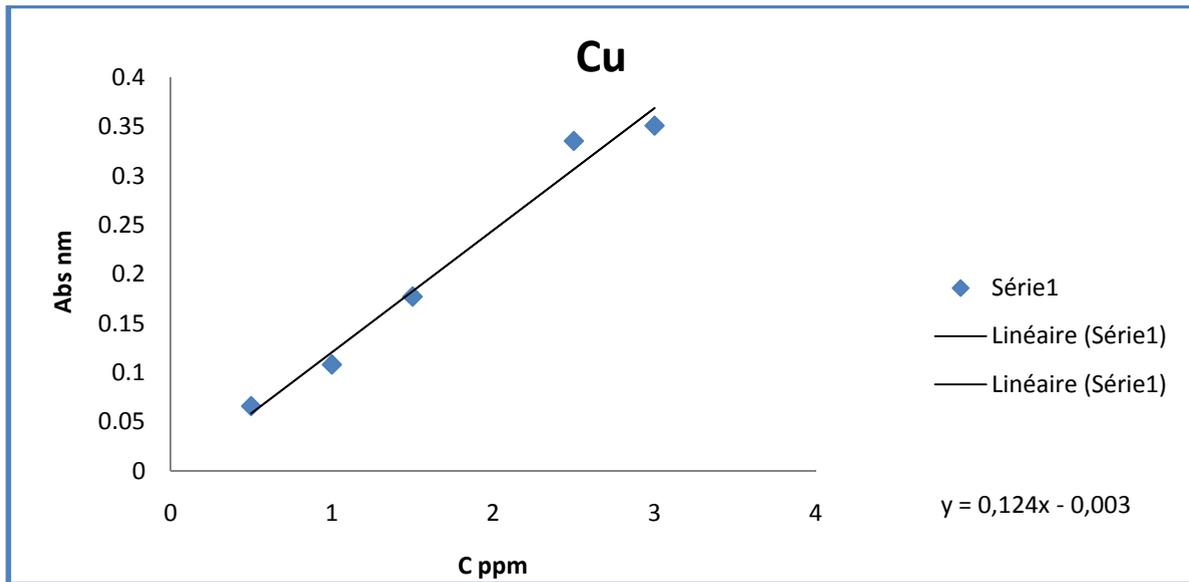
La courbe détalonnage de Pb

[Pb] ppm	1,500	2,500	6,000	8,000	10,000	12,000
Absorbons	0,014	0,029	0,074	0,099	0,138	0,158

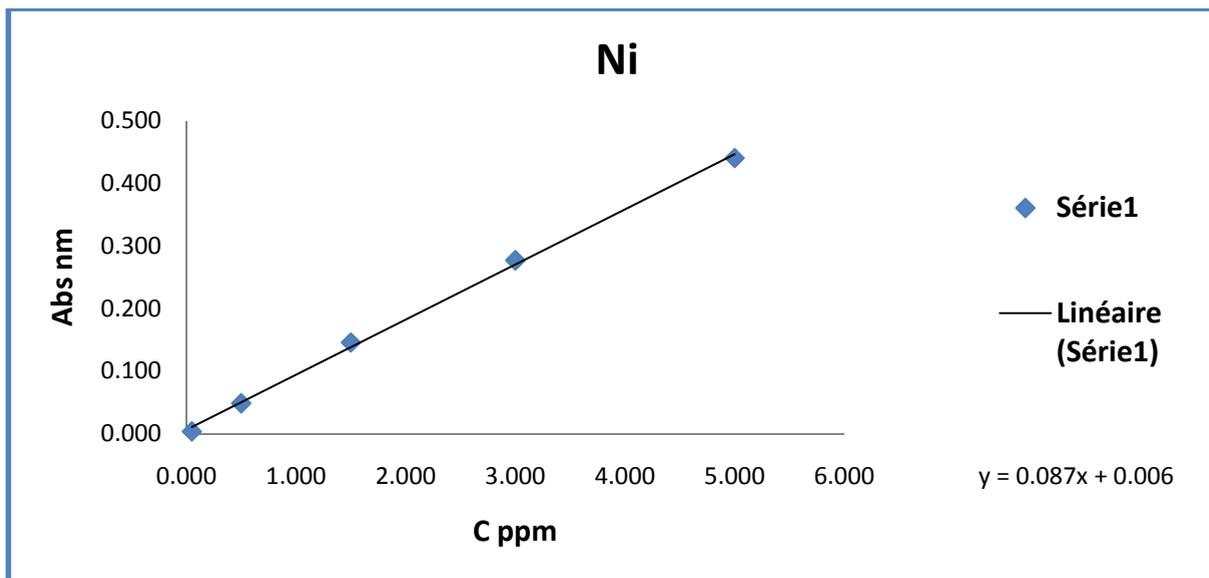


[Cu] ppm	0,500	1,000	1,500	2,500	3,000
Absorbons	0,066	0,108	0,177	0,336	0,351

Annexes

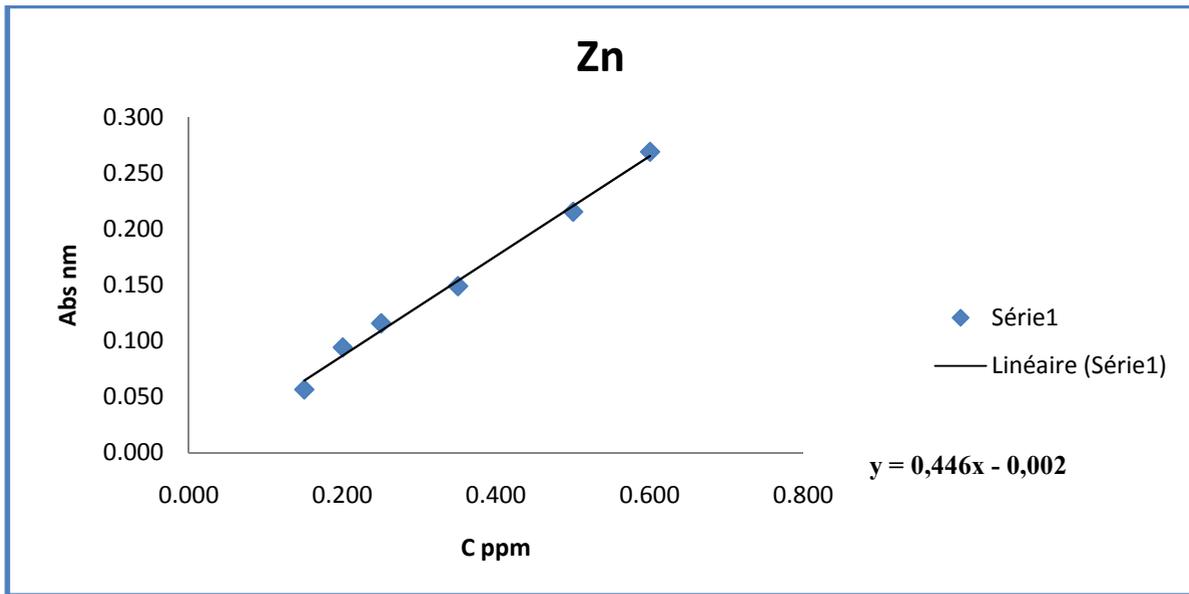


[Ni] ppm	0,050	0,500	1,500	3,000	5,000
Absorbons	0,004	0,049	0,146	0,277	0,440

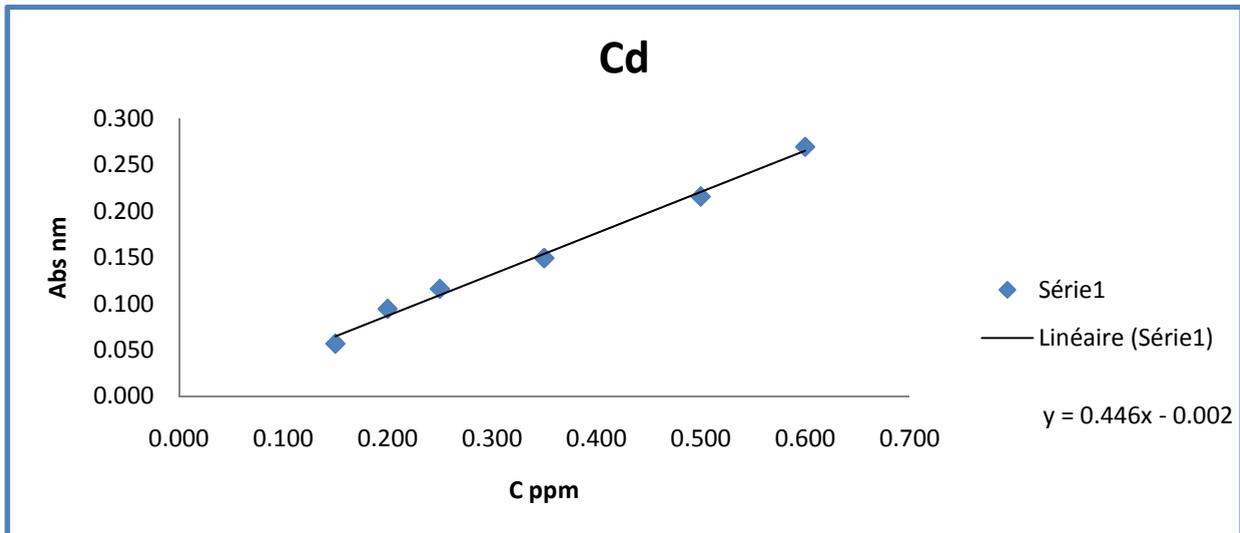


[Zn] ppm	0,150	0,200	0,250	0,300	0,500	0,600
Absorbons	0,057	0,094	0,116	0,149	0,216	0,449

Annexes



[Cd] ppm	0,150	0,200	0,250	0,350	0,500	0,600
Absorbons	0,057	0,094	0,116	0,149	0,216	0,269



Résumé :

L'objectif de ce travail est d'évaluer le degré de contamination de l'eau souterraine de la zone Terminal Marin (TM) (Sonatrach) de la ville de Béjaïa.

Plusieurs méthodes physico-chimiques d'analyse telle que DCO, IR, UV, SAA DRX et MEB ont été utilisées pour qualifier et quantifier certaines formes de polluants ; comme la matière organique, la matière minérale, les métaux lourds et les hydrocarbures. Les valeurs obtenues, pour les différents paramètres, ont été comparées aux valeurs des normes adoptées par la législation Algérienne et Européenne.

Les résultats obtenus ont montré la présence de quantités supérieures aux normes des rejets pour quelques paramètres comme les MES et certains métaux lourds qui sont : Ni, Zn et Cu. Des quantités plus au moins importante d'hydrocarbures ont été décelées dans certains points de prélèvement. Les résultats des essais de traitement par filtration sur sable et sur charbon actif, ont une amélioration de la qualité de l'eau étudiée, par rapport à un certains nombre de paramètres, mais ces traitements restent insuffisants pour répondre rigoureusement aux normes relatives aux eaux souterraines non contaminées.

Mots clés : Contamination, eau souterraine, analyses physico-chimiques, polluants, normes, filtration, sable, charbon actif.

Abstract:

The objective of this work is to assess the degree of contamination of the groundwater in the area Terminal Marin (TM) (Sonatrach) of the city of Bejaia. Several physico-chemical methods of analysis such as COD, IR, UV, SAA, XRD and SEM was used to qualify and quantify certain forms of pollutants such as organic matter, mineral matter, heavy metals and hydrocarbons. The values for the various parameters were compared with the values of the standards adopted by the Algerian and European legislation. The results showed the presence of quantities exceeding the standards of releases for a few parameters such as SM and some heavy metals which are: Ni, Zn and Cu. At least larger amounts of hydrocarbons were detected in some sampling points. The results of filtration treatment tests on sand and activated carbon, indicate the improvement of the quality of the studied water over a certain number of parameters, but these treatments remain insufficient to strictly meet the standards for non-contaminated groundwater.

Keywords: Contamination, groundwater, physico-chemical analyses, pollutants, standards, filtration, sand, activated carbon.